

IJSO 2016 – *Milch echt „kuhl“*

Begleitheft für Betreuende, Teil A

Recherche zum Thema

Zusammengestellt von

Dr. Sabine Hansen, Ulrike Taege, Rolf Albers

Hinweis

Die Zusammenstellung in diesem Heft versteht sich nicht als eigenständiger Autorenbeitrag.

Um Ihnen den Einstieg in das Thema Milch in seinen vielen Facetten zu erleichtern, wurde hier ein Zusammenschnitt von Rechercheergebnissen erstellt.

Große Textanteile sind direkt oder nur geringfügig umformuliert aus [wikipedia.org](https://www.wikipedia.org) und verschiedenen anderen im Verzeichnis angegebenen Quellen übernommen worden.

Die Begleitmaterialien werden Ihnen zum persönlichen Gebrauch im Rahmen der Wettbewerbsbetreuung in der Internationalen JuniorScienceOlympiade zur Verfügung gestellt.

Inhalt

Teil A: Milch – echt „kuhl“ Informationen zum Thema

1	Informationsblätter	5
1.1	Über die Milch	
1.1.1	Allgemeines zur Säugermilch	5
1.1.2	Allgemeines zum Lebensmittel Milch	7
1.1.3.	Die wichtigsten Bestandteile der Milch	9
	– Wasser	
	– Fett	
	– Eiweißstoffe (Milchproteine)	
	– Kohlenhydrate (Milchzucker)	
	– Mineralstoffe und Spurenbestandteile	
1.2	Chemisches Grundwissen: Reinstoffe, Gemische, Kolloide und Dispersionen	19
1.2.1	Homogene und heterogene Gemische	19
1.2.2	Dispersionen	21
1.2.3	Haltbarkeit und Stabilisierung von Emulsionen	23
1.3	Milchprodukte und deren Herstellung	27
1.3.1	Von der Rohmilch zur Trinkmilch mit verschiedenen Fettkonzentrationen	29
1.3.2	Von der Rohmilch zu den verschiedenen Milchprodukten	31
	– Butterherstellung	
	– Sauermilchprodukte	
	– Käseherstellung	
2	Themenvorschläge für weiterführende Schülerarbeiten	39
3	Ausgewählte Quellen zur weiterführenden Recherche	41
4	Quellennachweis	43

Milch stellen alle weiblichen Säugetiere ihrem Nachwuchs nach der Geburt quasi als Wachstumsbeschleuniger während der Laktationsperiode als zunächst einzige Nahrungsquelle zur Verfügung. Sie muss damit alle für das Heranwachsende notwendigen Nährstoffe enthalten. Gebildet wird sie in Milchdrüsen, bei denen es sich um spezialisierte Hautdrüsen handelt.

Bei den Kloakentieren finden wir den ursprünglichsten Typ von Milchbildung in Form eines Milchfeldes auf der Bauchseite. Einzelne Drüsen sondern ihr Produkt in das Milchfeld ab, aus der es von den Jungen durch Lecken aufgenommen wird.

Bei den übrigen Säugetieren sind die Ausgänge der Milchdrüsen in Zitzen zusammengefasst. Um hieraus die Milch optimal aufsaugen zu können, verfügen die Jungen über Lippen, die in der Lage sind, die Zitzen luftdicht zu umschließen.

Die Lage der Zitzen ist unterschiedlich. Bei den Primaten beispielsweise befinden sie sich als Brüste auf dem Brustkorb. Hund, Katze und Schwein verfügen über zwei Milchleisten, die sich vom Brustkorb bis zu Leiste erstrecken. Bei Wiederkäuern und beim Pferd befinden sie sich in der Leiste und werden als Euter bezeichnet.

Bei Beuteltierweibchen bildet sich aus einer Hautfalte um die Zitzen herum der Beutel, in dem die Jungtiere mit ihrer Nahrungsquelle verwachsen und optimal aufgehoben sind.

Die Zusammensetzung der Milch verschiedener Säugetiere ist den jeweiligen Entwicklungsbedürfnissen der Jungtiere angepasst.

	Mensch	Kuh	Pferd	Schaf	Ratte
Wasser	88,0 %	87,0%	89,0%	81,0%	79,0%
Fett	3,8 %	4,2%	1,9%	7,4%	10,0%
Eiweiß	1,0 %	3,3%	1,5%	5,5%	8,0%
Milchzucker	7,0 %	4,7%	6,2%	4,8%	3,0%

Tabelle 1.1.1: Zusammensetzung der Milch verschiedener Säugetierarten

Quelle: http://www.wdr.de/tv/applications/fernsehen/wissen/quarks/pdf/Q_Milch.pdf

Im Vergleich zu Kuhmilch fallen bei der Milch von Mensch und Pferd ein hoher Anteil an Milchzucker und ein geringer Anteil an Eiweißstoffen auf (Tabelle 1.1.1). Die vergleichsweise geringe Eiweißmenge bedingt ein langsames Wachstum. Beim Vergleich eines Menschen mit einer Dogge wird augenfällig, wie langsam das menschliche Wachstum verläuft. Der Hund hat bereits mit anderthalb Lebensjahren schon etwa das Gewicht eines ausgewachsenen Tiers, während der Mensch dies frühestens ab dem 15. Lebensjahr erreicht.

Kuhmilch enthält weniger Milchzucker, aber mehr Fett und Eiweiß als menschliche Muttermilch. Da das Kalb im Vergleich zum Menschenjungen sofort auf eigenen Beinen stehen muss, bekommt es die hierfür benötigte Energie in Form von Fett geliefert. Die Gewichtsverdoppelung des Kalbes innerhalb von 6 bis 8 Wochen nach der Geburt wird durch den hohen Proteingehalt ermöglicht. Wegen des hohen Protein- und relativ niedrigen Zuckergehaltes der Kuhmilch wird künstliche Milchnahrung für Säuglinge verdünnt und mit Laktose angereichert.

Fohlen halten sich ständig in der Nähe des Muttertieres auf und haben somit die Möglichkeit nach Bedarf zu trinken. Die Tiere tun das bis zu 40mal am Tag in kleinen Portionen – eine optimale Anpassung als Fluchttier.

Die Stutenmilch ähnelt in ihrer Zusammensetzung eher der menschlichen Muttermilch als Kuh- oder Schafsmilch. Sie eignet sich auch wegen der größeren Ähnlichkeit des Proteins zu dem der Muttermilch eher zum Verzehr durch den Menschen, insbesondere, wenn eine Allergie gegen Kuhmilch besteht.

Die Mehrlinge der Schafe müssen alle sofort optimal versorgt werden, da sich alle als Nestflüchter sofort auf ihren eigenen Beinen fortbewegen müssen. Das Fett liefert die dafür notwendige Energie und das Mutterschaf muss nicht so große Mengen produzieren.

Die Mehrlingsnesthocker verbringen ihre erste Lebenszeit im Bau. Damit die Rattenmutter genügend Milch produzieren kann, muss sie die drei- bis vierfache Menge des sonst Üblichen fressen und ist dadurch zwangsläufig längere Zeit nicht im Bau. Ihre Milch muss daher besonders fett- und proteinhaltig sein, damit die Jungen während der Wartezeit genügend Energie durch die Fettversorgung und genügend Eiweiß für das Wachstum haben.

Bemerkenswertes gibt es zur Milch der Blauwale. Sie kann bis zu 50 % Fett und bis zu 14 % Proteine enthalten. Der Grund für den hohen Fettgehalt ist u. a. darin zu suchen, dass die Wale ihren Wasserbedarf aus dem Fettstoffwechsel beziehen. Auch die Produktionsmenge muss enorm sein. Schätzungen zufolge bilden Blauwalkühe bis zu 600 Liter Milch am Tag. Das Junge nimmt täglich etwa 100 kg an Gewicht zu, in einer Stunde also etwa 4 kg.

Mäusemilch, die lediglich zu Forschungszwecken gewonnen wird, ist die teuerste Milch. Ein Liter, den man durch Melken von 4000 bis 4500 Mäusen gewinnen kann, hat einen Wert von etwa 20.000 Euro. Das Melken einer einzelnen Maus mithilfe einer Pipette liefert etwa 0,25 mL und dauert etwa eine halbe Stunde. Die Redewendung „das ist doch zum Mäusemelken“ hat ihren Ursprung wohl in dem hohen Gewinnaufwand von Mäusemilch.

Eines der ältesten bisher bekannten fossilisierten Säugetiere ist das Morganucodon, das ungefähr 10 cm groß war und dessen Versteinerungen aus Westeuropa und Ostasien stammen. Dass dieser Ursäuger bereits Milch trank, schließt man aus der Tatsache, dass es nur einen Satz bleibender Zähne hatte. Reptilien, die keine Milch trinken, erneuern dagegen ihre Zähne lebenslang.

Quelle: http://www.wdr.de/tv/applications/fernsehen/wissen/quarks/pdf/Q_Milch.pdf

Autoren: Benedikt Bjarnason, Falko Daub, Dirk Gilson, Jakob Kneser, Ilka aus der Mark

1.1.2 Allgemeines zum Lebensmittel Milch

Lebensmittelrechtlich wird unter Milch lediglich die Milch von Kühen verstanden. Kommt die Milch von anderen Säugetieren, muss die Tierart zusätzlich deklariert werden. Im Handel sind z. B. Stutenmilch, Ziegenmilch, Schafmilch, Kamelmilch oder Büffelmilch. Pflanzliche Milchersatzprodukte z.B. aus Soja oder Reis dürfen in ihrer Bezeichnung nicht den Zusatz Milch führen.

Die Milchverordnung definiert Milch als „das durch ein- oder mehrmaliges tägliches Melken gewonnene, unveränderte Eutersekret von zur Milchgewinnung gehaltenen Kühen“.

Beim Melkvorgang ist die Ausschüttung des Hypophysenhormons Oxytocin durch die Kuh zu beobachten. Das Hormon steigert die Permeabilität der Drüsenmembranen, sodass auch höhermolekulare Protein- und Fettmicellen in die Milch gelangen können.

Die erste Milch bis fünf Tage nach der Kalbung, die so genannte Kolostralmilch (bei Kühen auch der Biest oder die Biestmilch genannt), darf nicht als Milch oder als „Erzeugnis auf Milchbasis“ in den Handel gebracht werden. Es muss als diätetisches Lebensmittel gekennzeichnet werden. Der Biest enthält im Prinzip dieselben Nährstoffe wie die später produzierte Milch, der Anteil an Fett ist jedoch geringer, während sein Antikörpergehalt und sein Gehalt an Wachstumsfaktoren höher ist. Kolostrum gilt als ausgesprochen gesund. Es soll u. a. vor Infektionskrankheiten schützen und die Wundheilung fördern.

Der weltweit größte Produzent von Milch im Jahr 2014 war die EU mit 144 Millionen t, gefolgt von den USA mit 93,38, Indien mit 60,13 und China mit 36 Millionen t. Auf den folgenden Plätzen befanden sich Brasilien, Russland und Neuseeland.

Obleich der Wassergehalt von Milch mit bis zu 89% hoch ist, ist sie nicht klar und durchsichtig, sondern weißlich bis leicht gelblich und trüb-undurchsichtig. Die trübe Erscheinung hat ihren Grund darin, dass Fetttropfen und Proteinmicellen, die in der Milch dispergiert sind, Licht streuen und absorbieren. Fettfreie Magermilch ist deswegen noch weiß, weil auch die Proteinmicellen zu diesem Verhalten des Lichts beitragen. Die gelbliche Färbung geht auf den Carotingehalt der Fettphase, der bei Weidefütterung im Sommer höher ist, und dem Vitamin B₂ (Riboflavin) der wässrigen Phase zurück.

Milch stellt physikochemisch ein polydisperses System dar. Dispersionen (von lat. dispersio = Zerteilung) sind heterogene Gemische aus einer Hauptphase (Dispersens, Dispersionsmittel, kontinuierliche oder äußerer Phase) und ein oder mehreren darin fein verteilten Nebenphasen (dispergierte oder innere Phasen). Milch ist ein polydisperses System. Dies bedeutet, dass die Milchhaltsstoffe sowohl grobdispers, als auch kolloidal- und molekular-dispers in der Milch vorliegen.

1.1.3 Die wichtigsten Bestandteile der Milch

Die Hauptbestandteile der Milch sind Tabelle 1.1.3.1 zu entnehmen.

Bestandteil	Durchschnittlicher Gehalt in Milch (in %)	Schwankungsbreite in %	Dichte bei 20 °C in kg m ⁻³
Wasser	87,4	87,0 – 89,0	1.000
Fett	3,8	2,0 – 7,0	920
Protein (Casein, Molkenproteine)	3,3	2,5 – 6,0	1000
Lactose (Milchzucker)	4,7	3,5 – 5,5	1530
Mineralstoffe	0,7	0,5 -0,8	
Vitamine	Spuren		
Andere Nebenbestandteile	Spuren		

Tabelle 1.1.3.1: Prozentualer Anteil der Milchbestandteile und ihre Dichte

Frische Milch weist eine Dichte zwischen 1,028 und 1,034 g/mL auf. Eine geringere Dichte weist auf eine „Verlängerung“ mit Wasser hin.

Die Berechnung einer fiktiven Dichte der Milch mithilfe der in der Tabelle 2.3.1 angegebenen Werte, die neben Wasser und Fett auch Proteine und Milchzucker berücksichtigen, ergibt:
Dichte (Fett-Wasser) = $(0,88 \cdot 1000 + 0,038 \cdot 920) \text{ kg m}^{-3} = 915 \text{ kg m}^{-3}$
Dichte (Fett-Wasser-Zucker-Eiweißstoffe) = $(0,88 \cdot 1000 + 0,038 \cdot 920 + 0,048 \cdot 1530 + 0,033 \cdot 1000) \text{ kg m}^{-3}$
= 1.021 kg m^{-3}

Ein weiteres wichtiges Qualitätskriterium der Milch ist ihr pH-Wert, der zwischen 6,4 und 6,7 liegen sollte. Mit zunehmendem Alter der Rohmilch sinkt ihr pH-Wert, da der Milchzucker von Bakterien zu Milchsäure verarbeitet wird.

Wasser

Hauptphase der Milch ist **Wasser**, dessen Gehalt in der Milch zwischen 87,0 und 89,0 % schwankt. Dieser hohe Wassergehalt, verbunden mit dem sehr guten Nährstoffangebot, macht die Milch zu einem idealen Bakterienlebensraum.

In der Regel kommt die Milch keimfrei aus dem Euter. Sowie sie aber aus dem Euter ausgetreten ist, erfolgt die Besiedlung mit Keimen, die sich am Euter selbst (vor dem Melken werden die Euter deshalb gesäubert, nach dem Melken desinfiziert), im Melkgeschirr, in den Schläuchen, die die Milch in die Kühl tanks leiten, auf dem Boden und in der Luft befinden. Je sauberer der Stall, desto geringer ist die Gefahr für eine Kontaminierung der Milch. Bakterienwachstum läuft umso schneller, je wärmer das Substrat ist. Die Milch wird deshalb sofort auf fünf Grad Celsius heruntergekühlt, die Keime können nur relativ langsam heranwachsen und sich vermehren (Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-Regel, eine Erhöhung der Temperatur um 10°C erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit um das 2–4fache. Umgekehrt wirkt sich eine Temperaturniedrigung aus).

Wenn die Milch aus dem milcherzeugenden Betrieb abgeholt wird, enthält sie im Schnitt bereits 17.000 Keime pro Milliliter. Ab einer Belastung mit 100.000 Keimen pro Milliliter darf sie nicht mehr weiterverarbeitet werden.

Fett

Das **Fett** als weiterer Bestandteil ist in der Rohmilch in Form feiner Tröpfchen verteilt. Fett und Wasser sind nicht ineinander löslich, es bildet sich ein heterogenes Gemisch – eine Öl-in-Wasser-Emulsion. Ein Liter Milch enthält 2-6 Milliarden solcher Fettkügelchen, deren Durchmesser zwischen 0,1 und 10 µm liegt. Der Kern der Fetttröpfchen besteht aus Triacylglyceriden, die 98-99 % des Milchfettes ausmachen. Der Fettkern ist umgeben von einer etwa 10 nm dicken Membran aus Monoacylglyceriden, Phospholipiden, Sphingolipiden, Sterinen und Proteinen. Diese wirken als Emulgatoren und bedingen die außergewöhnliche Stabilität der Milch gegen Koaleszenz. Denn auch wenn große Fettkugeln aufgrund ihrer geringeren Dichte aufrahmen, so kommt es doch auch bei einer Aufkonzentration der Fettkugeln bis zu 80 % nicht zum Zusammenfließen derselben.

Im Fett der Kuhmilch sind über 60 verschiedene Fettsäuren nachgewiesen worden. Die meisten von ihnen in einer Konzentration von deutlich unter 1%. Das Besondere am Milchfett ist sein hoher Gehalt an kurz- und mittelkettigen Fettsäuren (sog. MCTs). Diese Fettsäuren werden leichter resorbiert als die langkettigen (LCTs) und sind somit besser verdaulich. Sie müssen nicht über die Bildung von Lipoproteinen mit Gallensäure transportiert werden, sondern gelangen direkt über die Pfortader in die Leber.

Neben den Neutralfetten befinden sich weitere Lipide in der Milch. Erwähnenswert ist der Gehalt an Phospholipiden, Sphingolipiden und Sterinen wie Cholesterin.

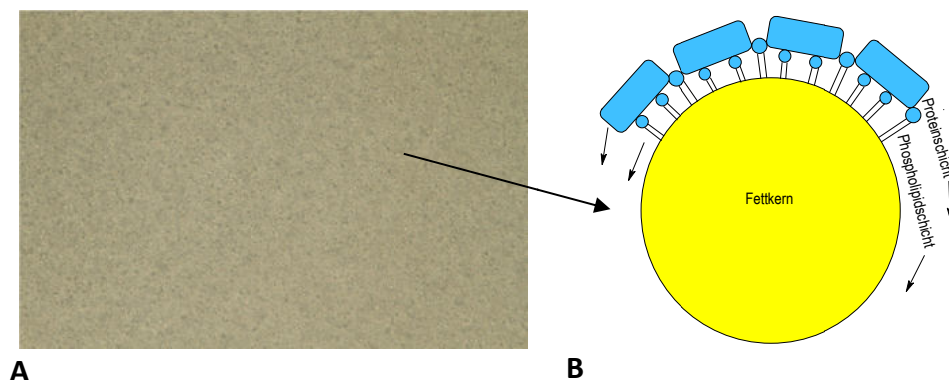


Abbildung 1.1.3.1:

A Homogenisierte Vollmilch bei etwa 400-facher Vergrößerung **B** Schema eines Fetttröpfchens

Eiweißstoffe (Milchproteine)

Kuhmilch enthält durchschnittlich 3,3 % **Gesamtprotein**, das aus mehreren hundert Proteinarten besteht. Die Proteine sind einteilbar in die globulären Molkenproteine und die micellar organisierten Caseine. Die Caseine bilden mit 80% die Hauptmenge der Milchproteine bezogen auf die Milch insgesamt machen sie etwa 2,7 % aus (Abbildung 1.1.3.2). Die beiden Proteinfractionen unterscheiden sich in ihrem Verhalten gegenüber Säuren und Wärme. Während das Casein bei einem pH-Wert von 4,6 säurekoagulierbar ist, werden die Molkenproteine durch Hitze ausgefällt.

Die biologische Wertigkeit der Milchproteine ist hoch. Mit diesem Wert wird angegeben, wieviel Gramm Körpereiwweiß durch 100 g Nahrungsprotein ersetzt werden können. Der menschliche Tagesbedarf an essentiellen Aminosäuren ist mit etwa einem halben Liter Milch zu decken. Trinkt man 2 Liter Milch, deckt man seinen täglichen Gesamtproteinbedarf. Schon mit kleinen Mengen Milcheiweiß lässt sich eine pflanzliche Grundernährung mit Getreide, Hülsenfrüchten u. ä. soweit ernährungsphysiologisch aufwerten, dass der Tagesbedarf an Eiweiß zu decken ist. Unter diesem Aspekt ist die Gestaltung von Hilfsprogrammen für Hungernde zu sehen, die stets Milchpulver enthalten sollten, wobei allerdings die Lactoseverträglichkeit der entsprechenden Bevölkerung sicherzustellen ist.

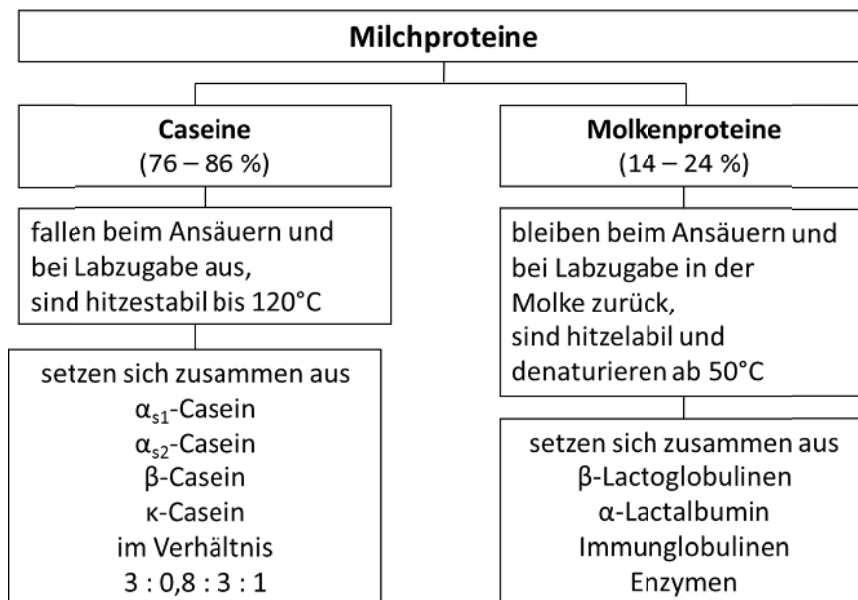


Abbildung 1.1.3.2: Zusammensetzung der Milchproteine der Kuhmilch

Bei der Ca^{2+} -Ionenkonzentration der Milch von 0,03 mol/l ist lediglich das κ -Casein wasserlöslich, die übrigen, eher lipophilen Caseine, würden in der Milch ausfallen, wenn sie nicht durch eine Hülle aus κ -Casein, das einen emulgatorähnlichen Aufbau besitzt, stabilisiert werden würden.

Die Caseinmicellen in der Milch setzen sich gemäß des Submicellenmodells aus bis zu etwa 100 Submicellen zusammen. Es existieren 2 Typen von Subeinheiten. Der eine Typ enthält κ -Casein, der andere nicht. Die κ -Caseine sind an der Oberfläche der entsprechenden Submicellen angeordnet. Ihre hydrophilen Enden ragen wie Haare aus der Oberfläche heraus und behindern so eine weitere Zusammenlagerung und vermitteln aufgrund ihrer Hydrophilie den Kontakt zum wässrigen Milieu (Abbildung 1.1.3.3). Ist die gesamte Oberfläche einer Micelle von κ -Casein-Submicellen besetzt, kommt es zur Beendigung des Micellenwachstums. Die Submicellen selbst sind über Calciumphosphatbrücken miteinander verknüpft.

Um Käse herzustellen, wird die Milch zunächst mithilfe von Labenzym dickgelegt. Das Labenzym schneidet die "Haare" der Micelle ab, wodurch aus den κ -Caseinen para-Caseine und Glycopeptide entstehen. Aus den zurückbleibenden para-Casein-Micellen entstehen zunächst kleinere Aggregate, die anschließend unter Gelbildung zu einem dreidimensionalen Netzwerk zusammentreten. Die Fettkügelchen der Milch werden dabei in das Netzsystem mit eingeschlossen.

Schema einer Caseinmicelle

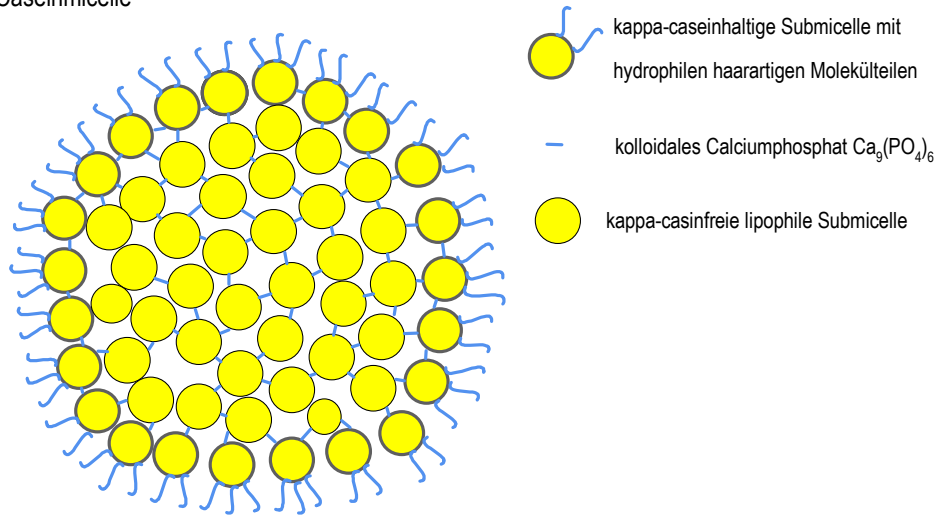


Abbildung 1.1.3.3: Schema einer Caseinmicelle

Kohlenhydrate (Milchzucker)

Das wichtigste **Kohlenhydrat** der Milch ist die **Lactose** (Milchzucker). In geringen Mengen findet man auch Glukose und einige Oligosaccharide (Tabelle 1.1.3.2). Der Anteil von Lactose in der Milch beträgt durchschnittlich 4,7 %. Lactose ist ein Disaccharid, das sich aus den Monosacchariden Glukose und Galaktose zusammensetzt. Der süßliche Geschmack der Milch ist auf ihren Milchzuckergehalt zurückzuführen. Es gibt nur wenige Mikroorganismen, die Lactose verarbeiten können. Lässt man Milch bei Raumtemperatur stehen, gewinnen gewöhnlich Milchsäurebildner die Oberhand. Die gebildete Milchsäure legt die Milch dick. Dieser Prozess wird heute in großem Maßstab durch gezielte Beimpfung mit selektierten (z. B. aus dem menschlichen Dickdarm) Milchsäurebakterien z. B. bei der Herstellung von Sauermilchprodukten herbeigeführt.

Die biologische Verwertung der Lactose nach ihrer Zufuhr in den Verdauungstrakt erfolgt an der Dünndarmoberfläche durch die dort lokalisierte Laktase. Laktase (β -Galaktosidase) spaltet die glykosidische Bindung zwischen Galaktose und Glukose. Diese Spaltung erfolgt relativ langsam. Der Verzehr reiner Milchprodukte führt daher nicht zu einer unmittelbaren Erhöhung des Blutzuckerspiegels. Milchprodukte wirken somit länger sättigend. Der mikrobielle Abbau der Lactose im Darm führt zur Bildung von Milchsäure. Schwer lösliche Ca^{2+} -Salze gehen in Lösung und können resorbiert werden. Die Calciumversorgung des Körpers wird verbessert.

Fehlt das Enzym Laktase, kann der Milchzucker nicht verdaut werden, es kommt zu Verdauungsproblemen. In Europa leiden etwa 15 % der Bevölkerung an der sog. Lactoseintoleranz, in Asien sind es 80 bis 100 %.

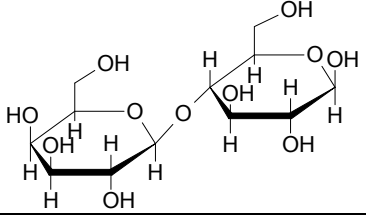
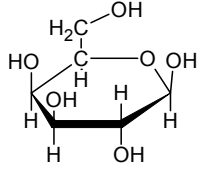
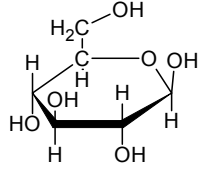
		
Lactose, Milchzucker	β -D-Galaktose	β -D-Glucose
bedeutendes Kohlenstoffhydrat in der Milch von Säugetieren, wichtiges Nährsubstrat für Pilze bei der Produktion von Penicillin	Vorkommen in der Milch; Bestandteil von Milchzucker	Vorkommen wie die α -Form; Monomer von Zellulose; Bestandteil der Laktose

Tabelle 1.1.3.2.: Die wichtigsten Kohlenhydrate in der Milch

Mineralstoffe und Spurenbestandteile

Der **Mineralsalzgehalt** der Milch ist hoch. Es sind alle essentiellen Mineralstoffe und Spurenelemente in der Milch enthalten (Tabelle 1.1.3.3). Bei den Kationen herrschen Kalium, K^+ und Calcium, Ca^{2+} vor, daneben finden sich auch Natrium, Na^+ und Magnesium, Mg^{2+} . Die wichtigsten Anionen sind Phosphat, PO_4^{3-} - und Chlorid-Ionen, Cl^- . Weitere, allerdings organische Anionen der Milch sind Citrat-, Acetat- und Lactationen.

Bestandteil, kationisch	mg/L
Kalium	1500
Calcium	1200
Natrium	500
Magnesium	120

Bestandteil, kationisch	$\mu\text{g/L}$
Zink	4000
Aluminium	500
Eisen	400
Kupfer	120
Molybdän	60
Mangan	30
Nickel	25

Bestandteil, anionisch	mg/L
Phosphat	3000
Chlorid	1000
Sulfat	100

Bestandteil, anionisch	$\mu\text{g/L}$
Silicium	1500
Brom	1000
Bor	200
Fluor	150
Iod	60

Tabelle 1.1.3.3: Mineralstoffe in der Milch

Milch enthält **alle Vitamine** in unterschiedlichen Mengen (Tabelle 1.1.3.4). Die fettlöslichen, lipophilen Vitamine (A, D, E) sind vorwiegend in den Fetttropfchen gelöst, die wasserlöslichen, hydrophilen Vitamine (B-Gruppe, Vitamin C) sind aufgrund ihrer Löslichkeitseigenschaften im Milchserum gelöst. Bei der Verarbeitung gehen die fettlöslichen Vitamine in den Rahm, die wasserlöslichen verbleiben in der fettreduzierten Milch bzw. in der Molke.

Vitamin	mg/L	Vitamin	mg/L
A (Retinol)	0,4	B_{12} (Cobolamin)	0,005
D (Calciferol)	0,001	Nicotinamid	1,0
E (Tocopherol)	1,0	Pantothensäure	3,5
B_1 (Thiamin)	0,4	C (Ascorbinsäure)	20
B_2 (Riboflavin)	1,7	Biotin	0,03
B_6 (Pyridoxin)	0,6	Folsäure	0,05

Tabelle 1.1.3.4: Vitamine in der Milch

Spezielle Milch Inhaltsstoffe sind Orotsäure und Methional, das unter Lichteinwirkung aus der Aminosäure Methionin der Milch entsteht (Tabelle 1.1.3.5).

Orotsäure ist ein Zwischenprodukt der Synthese von Pyrimidinnukleotiden (Bestandteile z. B. von DNA und RNA). Orotsäure dient als Indikator des Milchanteils von Lebensmitteln.

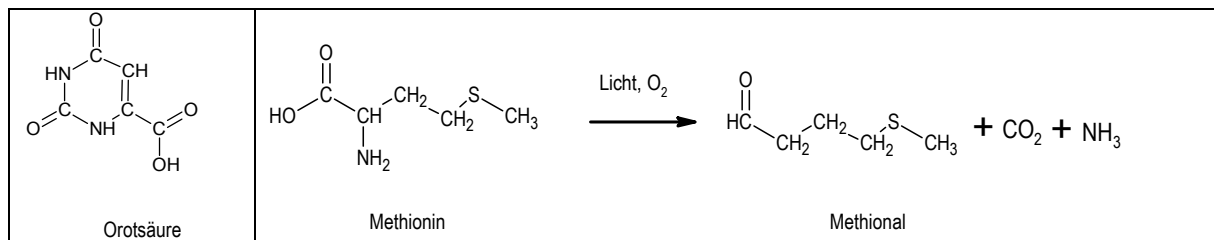


Tabelle 1.1.3.5: Spezielle Milch Inhaltsstoffe Orotsäure, Methionin und Methional

Methional besitzt eine niedrige Geruchsschwelle von 0,2 µg/kg im Wasser und ist für den „Sonnenlichtgeschmack“ von Milch verantwortlich. Um diesen und auch die Zerstörung von Vitamin B₂ zu verhindern, wird Milch in lichtundurchlässigen Verpackungen bzw. in braunen Glasflaschen in den Handel gebracht.

Häufig sind **Fremdstoffe (Xenobiotika)** in der Milch enthalten. Es handelt sich dann vor allem um **Pestizide**, die in der konventionellen Landwirtschaft eingesetzt werden, um **Antibiotika**, die z. B. zur Bekämpfung der Mastitis (Euterinfektion) gebraucht werden, um **Reinigungs- und Desinfektionsmittel**, die in die Milch gelangen können, wenn die Milchgewinnungsanlagen nach der Reinigung und Desinfektion nicht gründlich genug mit Wasser gespült worden sind und um Schwermetalle und Radionuclide, die über die allgemeine Umweltbelastung auch in die Milch gelangen.

Wenig untersucht ist bisher das Auftreten von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen (wie z. B. von Pyrrolizidinalkaloiden aus Greiskräutern) in der Milch.

1.2 Chemisches Grundwissen: Reinstoffe, Gemische, Kolloide und Dispersionen

Bei Milch handelt es sich um ein komplexes Gemisch einer Vielzahl von Stoffen. Physikochemisch würde man sie als ein polydisperses System bezeichnen.

Gemische setzen sich aus mindestens zwei Reinstoffen zusammen. Die unterschiedlichen stofflichen Bestandteile von Gemischen verlieren ihre ursprünglichen Eigenschaften im Gemisch nicht. Durch Fraktionier- oder Trennmethoden, wie z. B. Filtration, Destillation, Zentrifugation, Extraktion, Chromatografie, usw. können die beteiligten Reinstoffe deswegen aus Gemischen wieder „unversehrt“ voneinander getrennt werden. Gemische haben keine konstanten Fixpunkte wie z. B. Schmelz- und Siedepunkt; ihre Eigenschaften hängen vom Mischungsverhältnis ab.

Reinstoffe sind dagegen solche Stoffe, die durch Trennverfahren nicht mehr zerlegbar sind. Sie besitzen konstante Schmelz- und Siedepunkte sowie andere nicht variable Eigenschaften. Man unterscheidet bei den Reinstoffen chemische Verbindungen und Elemente.

1.2.1 Homogene und heterogene Gemische

Gemische werden unterteilt in homogene (einheitliche, einphasige) und heterogene (uneinheitliche, mehrphasige).

Homogene Gemische Lösungen (bestehen immer aus einer Phase)		Heterogene Gemische (sind immer mehrphasig-trüb)	
Solche Stoffe sind als Gemische rein äußerlich nicht zu erkennen, da sie einheitlich durchsichtig aussehen. Dieses resultiert aus der Tatsache, dass die einzelnen Stoffe bis zu den kleinsten Teilchen miteinander vermischt und daher nicht mehr unterscheidbar sind.		Solche Stoffe bestehen sichtbar (zumindest im Mikroskop) aus zwei oder mehr Phasen, die durch Grenzflächen voneinander getrennt sind. Sie erscheinen unserem Auge als milchig-unklar. Das hat seinen Grund darin, dass die einzelnen Stoffe nicht bis auf das Niveau der kleinsten Teilchen miteinander vermischt sind.	
Man nennt solche Gemische, wenn sie flüssig sind, Lösungen. Gasmischungen sind immer klardurchsichtig, man nennt sie Gasmischungen. Auch Metalllegierungen erscheinen einheitlich.		Einteilung: Gemenge, Suspensionen, Emulsionen, Rauch, Nebel, Schaum, Aerosole	
Aggregatzustand der Bestandteile	Bezeichnung	Aggregatzustand der Bestandteile	Bezeichnung
fest – fest	Legierung	fest – fest	Gemenge
fest – flüssig	Lösung	fest - flüssig	Suspension
flüssig - flüssig	Lösung	fest – gasförmig	Rauch
gasförmig – fest	Lösung	flüssig – flüssig	Emulsion
gasförmig – flüssig	Lösung	flüssig - gasförmig	Schaum
gasförmig - gasförmig	Gasgemisch		

Tabelle 1.2.1: Gegenüberstellung homogene und heterogene Gemische

Homogene Gemische können sich bilden, wenn die verschiedenen Reinstoffe dieselben Löslichkeits-eigenschaften besitzen. Man unterscheidet allgemein hydrophile (= lipophobe), d. h. im Lösungsmittel Wasser lösliche Stoffe und lipophile (= hydrophobe), d. h. in Fett lösliche Stoffe.

Zwischen hydrophilen Stoffen bilden sich Wasserstoffbrücken oder Dipol-Dipol-Kräfte aus, zwischen lipophilen wirken Van-der-Waals-Kräfte.

Kommen lipophile und hydrophile Stoffe miteinander in Kontakt, können sich die zwischenmolekularen Kräfte zwischen den verschiedenen Mischungspartnern nicht ausbilden, sie grenzen sich voneinander ab und es entstehen heterogene Gemische. An der Phasengrenze bildet sich eine Grenzflächenspannung aus, deren Bildung energieaufwändig ist. Dies sorgt dafür, dass sich eine möglichst kleine Grenzfläche ausbildet.

Als **heterogener** Gemischtyp spielt bei Milch die Emulsion eine wichtige Rolle. Zur Herstellung und Stabilisierung einer Emulsion sind grenzflächenaktive Substanzen, die Tenside bzw. Emulgatoren notwendig. In Milch wirken die Milchproteine als natürliche Stabilisatoren und grenzflächenaktive Substanzen. Mit ihrer Hilfe lagern sich die Milchfett-Tröpfchen zu Micellen zusammen. Technisch wird die Stabilität der Emulsion durch das Homogenisieren erhöht und damit das Entrahmen der Milch verlangsamt.

Erzeugt man z. B. durch kräftiges Schütteln von Pflanzenöl und Wasser eine Emulsion, so fließen die feinen Fettröpfchen nach kurzer Zeit wieder zusammen und sammeln sich auf dem Wasser. So erreicht das System seinen energieärmsten Zustand.

1.2.2 Dispersionen

Eine **Dispersion** ist in der Kolloidchemie ein heterogenes Gemisch aus mindestens zwei Stoffen, die sich nicht oder kaum ineinander lösen oder chemisch miteinander verbinden. Dabei ist mindestens ein Stoff (disperse Phase) fein verteilt in einem anderen kontinuierlichen Stoff (Dispersionsmedium). Abhängig von den Aggregatzuständen gibt es bei zweiphasigen Dispersionen insgesamt acht Dispersionsarten, die in Tabelle 1.2.2.1 aufgeführt sind.

		disperse Phase		
		flüssig	gasförmig	fest
Dispersions- medium	flüssig	flüssig in flüssig: Emulsion	gasförmig in flüssig: Schaum	fest in flüssig: Suspension
	gasförmig	flüssig in gasförmig: Aerosol, flüssig (Nebel)	gasförmig in gasförmig: keine Dispersion, sondern Mischung!	fest in gasförmig: Aerosol, fest (Rauch)
	fest	flüssig in fest: poröser Festkörper (fester Schaum), durch- feuchtet	gasförmig in fest: poröser Festkörper (fester Schaum), trocken	fest in fest: feste Mischung, gefügedicht

Tabelle 1.2.2.1: Dispersionstypen

Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Dispersion_\(Chemie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Dispersion_(Chemie))

Anmerkung: Eine *Gasmischung* ist mikroskopisch betrachtet immer homogen und daher keine Dispersion (dies gilt auch, wenn makroskopisch betrachtet Konzentrationsgradienten vorliegen). Blau markiert sind die Dispersionen, die in unserem Kontext (Milch, Milchschaum, Milchprodukten) vorkommen. *Kolloide* sind eine Zwischenform homogener und heterogener Gemische. Beispielsweise ist bei einer kolloidalen Suspension der Feststoff in sehr kleinen Teilchen (meist Nanometer-Bereich) in der Flüssigkeit verteilt. Deshalb ist das Gemisch heterogen (es enthält mehrere Phasen), es verhält sich aber annähernd wie eine homogene Lösung.

Nach ihrer Teilchengröße lassen sich disperse Phasen in drei Gruppen einteilen. Gemäß Tabellen 1.2.2.2 und 1.2.2.3 ist das Milchfett grob dispers gelöst, die Molkenproteine mit ihrer geringeren Teilchengröße aber kolloidal dispers gelöst.

Bezeichnung	Teilchengröße	Beispiel
molekular dispers gelöst	< 1 nm	echte Lösung / fluide Phasen
kolloidal dispers gelöst	1 nm bis 1 µm	Proteinlösungen
grob dispers gelöst	> 1 µm	Milchfettkügelchen

Tabelle 1.2.2.2: Einteilung der dispersen Phasen nach ihrer Teilchengröße

Name	Dispersionstyp	Anteil (%)	Spezifische Masse(g/ml)
Fettkügelchen	Emulsion	3,8	0,92
Caseinmicellen	Suspension	2,8	1,11
Globuläre Proteine (Molke)	Kolloidale Lösung	0,6	1,34
Lipoproteinpartikel	Kolloidale Suspension	0,01	1,10

Tabelle 1.2.2.3: Disperse Phasen der Milch

Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Dispersion_\(Chemie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Dispersion_(Chemie))

1.2.3 Haltbarkeit und Stabilisierung von Emulsionen

Ein System zweier nicht mischbarer Flüssigkeiten (hier Fett-Wasser) hat die Tendenz, dass die Phasengrenze die kleinstmögliche Fläche einnimmt (stabiles Gleichgewicht, Energieminimum). Dieser Zustand wird erreicht, wenn die Phasen sich trennen. Das bedeutet im Fall von Fett und Wasser, dass Fett mit der geringeren Dichte auf Wasser mit der höheren Dichte schwimmt.

Emulsionen sind thermodynamisch instabile Systeme; die disperse Phase ist bestrebt, sich durch Koaleszenz zu größeren Bereichen zu vereinigen. Dabei wird die Grenzflächenenergie zwischen den beiden Phasen verringert. Emulsionen haben deshalb eine begrenzte Lebensdauer. Emulsionen sollen meist für einen bestimmten Zeitraum (zwischen wenigen Stunden und einigen Jahren) und unter bestimmten Bedingungen (Temperaturbereich, pH-Bereich) erhalten bleiben.

Die Haltbarkeit einer Emulsion bzw. deren Entmischung wird von verschiedenen Prozessen bestimmt, die häufig gleichzeitig nebeneinander stattfinden. Dabei spielen u. a. Aufrahmung oder Sedimentation, Aggregation und Koaleszenz eine Rolle.

Stabilisieren durch Homogenisieren

Technisch wird die Stabilität der Emulsion durch das Homogenisieren erhöht und Ziel der Homogenisierung ist es, den mittleren Durchmesser der in der Rohmilch vorhandenen Fettkügelchen (10 bis 30 μm) unter hohem Druck (150 bis 300 bar) auf einen Tropfendurchmesser von 1 bis 2 μm stark zu reduzieren, damit das Entrahmen der Milch verlangsamt. Dazu wird die Milch unter hohem Druck auf eine Metallplatte gespritzt. Im Homogenisator wirksame Kräfte sind Scher-/Dehnkräfte, Prallströmungen, aber hauptsächlich Kavitation.

Durch die Homogenisierung nimmt die Anzahl der Fetttröpfchen pro Volumeneinheit zu, aber auch die Größe der Grenzfläche Fett-Wasser. Physikalisch gesehen kann zwar eine so behandelte Milch immer noch aufrahmen, allerdings steigt die für eine sichtbare Aufrahmung benötigte Zeit sehr stark an. Denn die Aufrahmung setzt voraus, dass sich Fett-Kügelchen zusammenlagern, dafür müssen sich diese Teilchen aber berühren: Je kleiner die Fett-Kügelchen sind, umso kleiner ist bei homogener Verteilung im Raum die statistische Wahrscheinlichkeit, dass sich zwei Teilchen berühren. Entsprechend stabiler ist die Emulsion und umso länger dauert ein Aufrahmen. [Anmerkung: Die Homogenisierung allein führt allerdings nicht dazu, dass die Milch aus mikrobieller Sicht länger haltbar wird.]

Abbildung 1.2.3.1 visualisiert, dass bei gleichem Volumen der lipophilen Phase die Grenzfläche zwischen beiden Phasen im entmischten Zustand kleiner ist als die Oberfläche aller Fett-Tröpfchen in einer Emulsion.

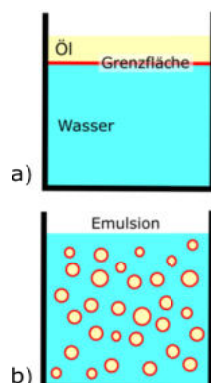


Abbildung 1.2.3.1: a) Grenzfläche zwischen Öl und Wasser
b) Öl in Wasser-Emulsion

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Emulsion#/media/File:Grenzfl%C3%A4cheUndEmulsion.png>

Durch die Verkleinerung der Tropfen bei der Herstellung einer Emulsion erhöht sich die Grenzfläche zwischen den beiden Phasen. Dabei muss die Grenzflächenspannung überwunden und eine neue Grenzfläche geschaffen werden. Dies erfordert Arbeit, die mechanisch in das System eingebracht werden muss. Durch dabei auftretende Scherkräfte werden die Tröpfchen immer kleiner. Wer schon einmal eine Mayonnaise selbst aufgeschlagen hat, weiß wie viel Kraft das Schlagen mit dem Schneebesen erfordert und wie viel Energie damit in der Mayonnaise steckt. Je kleiner die zerschlagenen Teilchen sind, umso mehr mechanische Energie ist erforderlich und umso länger dauert es, bis sich das System wieder entmischt, um das Energieminimum zu erreichen.

Hiermit hat man in Analogie auch ein Maß für den Energiegehalt der beiden Systeme. Man kann daraus ableiten, dass man erhebliche Arbeit leisten muss, um die Fettkügelchen in viele kleinere zu teilen und eine Emulsion herzustellen. Umgekehrt verringert sich beim Zusammenfließen von kleinen Tröpfchen zu größeren Tröpfchen die Größe der Grenzfläche und damit auch die Energie des Gesamtsystems. Sehr anschaulich wird diese Thematik behandelt in dem Artikel „Delikate Grenzflächen - Von der Sauce Vinaigrette zur Mayonnaise“ in dem Buch „Chemische Köstlichkeiten“ von Klaus Roth.

Quelle: Klaus Roth (2010) Chemische Köstlichkeiten. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 1. Auflage

Stabilisieren durch Tenside (Emulgatoren)

Zur zusätzlichen Stabilisierung einer Emulsion können Hydrokolloide als Stabilisatoren eingesetzt werden. Diese Stoffe erhöhen die Viskosität der kontinuierlichen Phase und verzögern dadurch das Brechen der Emulsion.

Micellen, auch Assoziationskolloide genannt, sind Aggregate aus amphiphilen Molekülen bzw. grenzflächenaktiven Substanzen, die sich in einem Dispersionsmedium (meist Wasser) spontan zusammenlagern (Abbildung 1.2.3.2). Micellen bilden sich ab einer bestimmten Stoffkonzentration, der kritischen Micellbildungskonzentration (CMC), aufgrund der Neigung der Tenside zur Phasentrennung. Das bedeutet, die hydrophilen Teile (Köpfe) der Tensidmoleküle richten sich zu den angrenzenden Wassermolekülen aus, wogegen die hydrophoben Teile (Schwänze) sich zusammenlagern und somit eine eigene Phase bilden. Eine solche Micelle hat typischerweise eine Größe von wenigen Nanometern.



Abbildung 1.2.3.2:

A Vergleich von Liposom und Micelle **B** Micelle in Wasserlösung

https://de.wikipedia.org/wiki/Liposom#/media/File:Phospholipide_in_Wasser.svg

<https://de.wikipedia.org/wiki/Tenside#/media/File:Micelle.png>

Die Grenzflächenspannung an der Öl-Wasser-Phasengrenzfläche wird durch das Tensid deutlich gesenkt. Sie haben einen polaren (hydrophilen) und einen unpolaren (lipophilen) Teil. Ihr polarer Teil kann Wasserstoffbrücken ausbilden und sich mit hydrophilen Stoffen verbinden, während der unpo-

lare Teil des Tensid-Moleküls Van-der-Waals-Kräfte ausbildet und sich mit lipophilen Stoffen verbindet. So vermitteln Tenside zwischen den beiden Phasen.

Durch Tenside, die häufig auch als Emulgatoren bezeichnet werden, lassen sich die Grenzflächen-spannungen drastisch senken. Das Tensid soll auch verhindern, dass die neu entstandenen Tröpfchen wieder koaleszieren (zusammenfließen). Dazu muss er möglichst schnell an die neue Grenzfläche diffundieren. Synthetische Tenside schaffen dies in einigen Millisekunden. Große Tensidmoleküle, die noch dazu die Viskosität deutlich erhöhen (z. B. Stärke), benötigen einige Minuten bis zu einer halben Stunde, um den neuen Tropfen vollständig zu umhüllen. Eine höhere Viskosität hat jedoch auch einen stabilisierenden Einfluss, da die Bewegung der Tröpfchen und somit eine mögliche Koaleszenz erschwert wird.

Eine genauso zu beachtende Eigenschaft des Tensids ist seine Spreitungsgeschwindigkeit (Ausbreitungsgeschwindigkeit). Die Grenzfläche eines neuen Tropfens ist zunächst nur teilweise von Tensid belegt. Dieses spreitet nun zu jenem Teil der Grenzfläche, der zunächst noch unbelegt war. So entsteht zunächst ein Tensidkonzentrations-Gradient an der Grenzfläche, der je nach Spreitungsgeschwindigkeit mehr oder weniger schnell zu einer gleichmäßigen Tensidverteilung ausgeglichen wird. Weil die Konzentration des Tensids an der Grenzfläche aber insgesamt zu gering ist (größere Grenzfläche benötigt mehr Emulgator), müssen Tensidmoleküle nachdiffundieren, bis ein Konzentrationsmaximum erreicht wird.

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Emulsion#Tenside_.28Emulgatoren.29

1.3 Milchprodukte und deren Herstellung

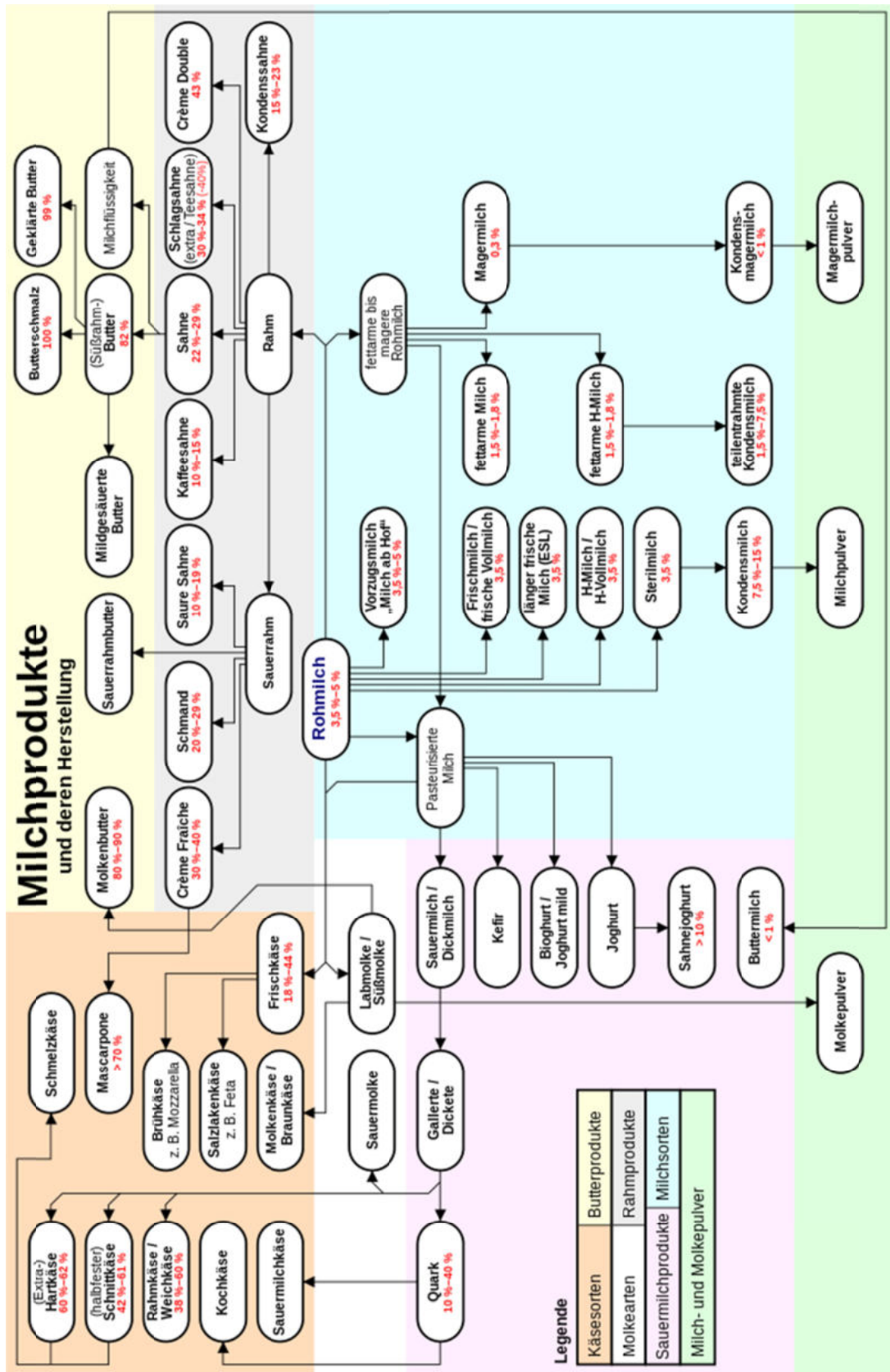


Abbildung 1.3.1: Milchprodukte und deren Herstellung

Quelle: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2e/Milch.svg/1024px-Milch.svg.png>

1.3.1 Von der Rohmilch zur Trinkmilch mit verschiedenen Fettkonzentrationen

Rohmilch ist ein leicht verderbliches Nahrungsmittel. Sie muss daher weiter bearbeitet und haltbar gemacht werden. Die Milch wird zunächst vom Bauernhof mit Tankwagen abgeholt und in die Molke-
rei gebracht. Hier wird sie auf Reinheit, den Frischzustand, den Fett- und Wassergehalt sowie die bakteriologische Beschaffenheit geprüft. Sind alle Testergebnisse gut, wird die Milch wie folgt weiter verarbeitet.

1. Reinigung: Grobe Verunreinigungen werden entfernt.

2. Entrahmung: Durch Zentrifugieren wird der Rahm, das ist das leichte Fett der Milch und einige Proteine, von der schwereren Magermilch abgetrennt.

3. Einstellung des Fettgehaltes: Um den gewünschten Fettgehalt zu erreichen, wird der entrahmten Milch wieder ein Teil des Fettes bzw. des Rahms zugeführt

4. Homogenisieren: Die Rohmilch wird bei einem Druck von 200 bar durch feinste Düsen gepresst, wodurch die Fetttropfchen in ihrer Größe sehr stark zerkleinert werden. Durch die größere Zahl an Fetttropfchen wird Fettoberfläche größer.

5. Wärmebehandlung: Milch wird wärmebehandelt, um krankheitserregende Mikroorganismen abzutöten. Milchproteine denaturieren dabei und Enzyme werden inaktiviert. Diese Prozesse machen Milch länger haltbar und auch besser verdaulich. Um den Geschmack und den Nährstoffgehalt zu erhalten wird Milch pasteurisiert (nach dem französischen Forscher L. Pasteur):

Entweder erfolgt dies als Hoherhitzung oder Momentanerhitzung: 8 bis 16 Sekunden auf 85 °C, als Kurzzeiterhitzung: 14 bis 40 Sekunden auf 71 bis 74 °C oder als Dauererhitzung: 30 Minuten auf 62 bis 65 °C.

Pasteurisierte Milch kann gekühlt drei bis sechs Tage aufbewahrt werden. Soll Milch länger haltbar gemacht werden, muss sie ultrahoherhitzt oder sterilisiert werden. Beide Verfahren mindern die Qualität, für die die MAILLARD-Reaktion (Bräunung der Milch und Bildung von HMF, Hydroxymethylfurfural) verantwortlich ist und führen zu einem deutlichen Vitaminverlust.

Beim Ultrahoherhitzen (UHT) wird sie zunächst auf 50 °C erhitzt, dann durch Dampf etwa 3-4 Sekunden auf eine Temperatur zwischen 140 und 150 °C gebracht. Diese als H-Milch im Handel erhältliche Milch ist danach mindestens sechs Wochen ohne Kühlung haltbar.

Beim Sterilisieren wird die Milch in der Verpackung 15-30 Minuten auf 115-117 °C erhitzt. Die Sterilmilch ist ca. ein halbes Jahr ungekühlt haltbar. Nachteilig ist ihr geringerer Nährwert im Vergleich zu Frischmilch. Als Nahrung für Säuglinge und Kleinkinder sollte sie nicht verwendet werden.

6. Kühlung: Nach der Wärmebehandlung wird die Milch möglichst schnell abgekühlt. Verpackt gelangt sie zum Verbraucher. Damit die Milch die Reise zu dem Verbraucher auch einwandfrei übersteht, darf die Kühlkette nicht unterbrochen werden. Im Lebensmittelhandel ist die Trinkmilch dann im Kühlregal zu finden.

Quelle: <http://www.chemieunterricht.de/dc2/milch/m-bearb.htm>

Tabelle 1.3.1.1 gibt einen Überblick über die einzelnen Milchprodukte mit den verschiedenen Fettkonzentrationen.

Milchsorte	Behandlung	Eigenschaften/Weiterverwendung
Rohmilch Vorzugsmilch	unbehandelte Milch, nach dem Melken lediglich gefiltert und gekühlt	natürlicher Fettgehalt (ca. 3,8 g/100g), nicht pasteurisiert (hitzebehandelt), muss nach maximal 96 Stunden verbraucht sein. Herstellung von Rohmilchkäsesorten wie z. B. Schweizer Emmentaler, Greyerzer, Comté und Appenzeller, Weichkäse aus Rohmilch z. B. Roquefort oder Brie de Meaux
Trinkmilch 3,5%	Pasteurisierung (bei 72-75°C)	3,5 % Fettgehalt, hoher Gehalt an Kohlenhydraten, Proteinen, Fettsäuren, Mineralstoffen und Vitaminen Haltbarkeit: gekühlt, ungeöffnet 6 bis 10 Tage geöffnet 2 bis 4 Tage
Trinkmilch fettarm 1,5%	s. Trinkmilch, Entrahmung	1,5-1,8% Fettgehalt, hoher Gehalt an Kohlenhydraten, Proteinen, Mineralstoffen und Vitaminen
Magermilch	s. Trinkmilch, Entrahmung	0,1 bis 0,5 Prozent Milchfett, hoher Gehalt an Proteinen und Kohlenhydraten Gehalt an wasserlöslichen Vitaminen wie bei der Trinkmilch, geringerer Anteil an fettlöslichen Vitaminen
ESL-Milch	Pasteurisierung, verschiedene Erhitzungsverfahren	wie Trinkmilch, länger haltbar, 12-21 Tage (bei 8-10°C), 20-40 Tage (bei 5°C)
H- Milch alle Fettstufen	Homogenisierung, zusätzlich ultrahocherhitzt bei 135 bis 150 Grad und sofort wieder auf vier bis fünf Grad Celsius abgekühlt	mindestens sechs bis acht Wochen, geringer Anteil an Vitaminen und Spurenelementen
Dickmilch alle Fettstufen	Milchsäurebildung aus dem Milchzucker bei Verwenden von Rohmilch, heute industriell aus pasteurisierter und homogenisierter Kuhmilch durch Zusatz von Starterkulturen mit Milchsäurebakterien. Ausflocken des Caseins macht die Milch dick.	je nach Fettgehalt 3,5%; 1,5%; 0,1% Kohlenhydrate, Proteine, Mineralien wie Trinkmilch, besonders für Menschen mit Laktoseintoleranz geeignet

Tabelle 1.3.1.1: Milchsorten und Fettkonzentrationen. Zusammengestellt aus folgenden Quellen:

<http://lebensmittel-warenkunde.de/lebensmittel/milch-milchprodukte.html>; <https://de.wikipedia.org/wiki/Milch>;
<http://www.milch-guide.de>

1.3.2 Von der Rohmilch zu den verschiedenen Milchprodukten

Eine Übersicht über die verschiedenen Milcherzeugnisse gibt die nachfolgende Tabelle 1.3.2.1.

Produkt	Fettgehaltstufen	Herstellung
Dickmilch (Flüssig)	0,3%	Milch werden Milchsäurebakterien zugesetzt
Sauermilch (Schnittfest)	1,5%	
	3,5%	
Joghurt	0,3%	Pasteurisierte Milch werden bestimmte Bakterienkulturen zugesetzt und bei ca. 42°C ca. 3 Stunden warmgestellt
	1,5%	
	3,5%	
	10%	
Bioghurt	0,3%	Herstellung wie Joghurt. Es werden jedoch Bakterienkulturen verwendet, die natürlich im menschlichen Magen und Darm vorkommen. Deshalb ist Bioghurt besonders bekömmlich
	1,5%	
	3,5%	
	10%	
Kefir	0,3%	Pasteurisierte Milch werden Kefirkörner ("Kefirpilz", "Kefirknolle"), ein Hefepilz, zugesetzt. Es entsteht eine alkoholische Gärung. Das Ergebnis ist erfrischend, leicht kohlenstoff- und alkoholfaltig.
	1,5%	
	3,5%	
	10%	
Buttermilch	1%	Beim Schlagen von Butter trennt sich die Buttermilch ab.
Sahne	30%	Durch das Zentrifugieren der Milch wird Rahm abgetrennt. Saure Sahne wird mit Milchsäurebakterien hergestellt.
Kaffeesahne	10%	
Saure Sahne	10%	
Schmand	24%	
Crème Fraîche	30%	
Kondensmilch	7,5%	Sterilisierte, eingedickte Milch, evtl. mit Zuckerzusatz
Kaffeesahne	10%	

Tabelle 1.3.2.1: Übersicht über verschiedene Milcherzeugnisse

Quelle: <http://www.netzwissen.com/ernaehrung/milch-und-milchherstellung.php>

Im Internet sind dazu von der TU Clausthal einige Filmsequenzen zur Butter- und Labkäseherstellung zu finden: <http://video.tu-clausthal.de/film/193.html>

Butterherstellung

Früher schöpfte man den Rahm ab, der sich von alleine oben absetzt, wenn man frische Kuhmilch zwei Tage stehen lässt, und stellte daraus Butter her.

Beim Butterungsprozess wird der Rahm im (Stoß)Butterfass geschlagen. Das Butterfass fasst ein Volumen von 1 bis 3 Liter. Der Stößel wird im Rahm auf und ab bewegt. Durch die mechanische Beanspruchung werden die Hüllen der MilCHFETTKÜGELCHEN zerstört und sie brechen auf. Dadurch kann sich das Fett zusammenlagern und untereinander „verkleben“.

Der größte Anteil des Milchserums (Wasser und darin gelöste Stoffe) tritt als Buttermilch aus. Aber Teile der Fetthüllen, Wasser und etwas Milcheiweiß werden im Fett eingeschlossen. Aus der flüssigen Fett-in-Wasser-Emulsion (Milch, Rahm) wird eine feste Wasser-in-Fett-Emulsion (Butter). Den Übergang von einer Fett-in-Wasser-Emulsion in eine Wasser-in-Fett-Emulsion nennt man Inversion.

Die Butter selbst wird schließlich zu einer homogenen, geschmeidigen Masse geknetet, die anschließend geformt und abgepackt wird.

Süßrahm/ Sauerrahmbutter

Süßrahmbutter wird aus Rahm ohne den Zusatz von Milchsäurebakterien hergestellt. Ihr Geschmack ist frisch-sahnig und mild. Der Säuregrad darf nicht unter dem pH-Wert von 6,4 liegen. Sauerrahmbutter ist ein Sauermilchprodukt und aus mikrobiell gesäuerter Milch, Sahne oder Molkensahne hergestellt. Mit Hilfe von spezifischen Milchsäurebakterien (mesophilen Säureweckern) entstehen Aromastoffe (Diacetyl), die der Sauerrahmbutter den typischen Geschmack verleihen. Der Säuregrad darf den pH-Wert von 5,1 nicht unterschreiten.

Gelbfärbung der Butter

Wenn die Kühe im Winter (in der modernen Landwirtschaft allerdings auch ganzjährig) kein frisches Gras, sondern Kraftfutter und Heu erhalten, welche kaum Carotinoide enthalten, ist die Butter eher weiß gefärbt. Damit der Verbraucher allerdings das ganze Jahr über Butter mit der gleichen Farbe erhält, wird in Deutschland heute, den jeweiligen Futterbedingungen angepasst, der Sahne in der Molkerei oder bereits dem Futter der Kühe eine entsprechende Menge β -Carotin zugesetzt. Eine Beifütterung von Karotten ist ebenfalls möglich.

Auch früher wurde die Butter schon durch Blütensaft der Ringelblume und der – heute als durchaus giftig bekannten – Sumpfdotterblume gelblich gefärbt. Die Gelbfärbung hatte und hat vorwiegend den Zweck, die bei nicht mehr ganz frischer Butter typische, außen beginnende Gelbverfärbung weniger auffallen zu lassen.

Anmerkung: Wieviel Fett die Butter enthält, hängt vom Herstellungsverfahren ab. Aus Milch mit einem hohen Fettanteil kann lediglich mehr Butter, aber nicht Butter mit einem höheren Fettgehalt hergestellt werden. Deshalb ist die Gelbfärbung der Butter auch nicht abhängig vom Fettgehalt der Milch, aus der die Butter hergestellt wird.

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Butter>

Sauermilchprodukte

Wichtige Sauermilchprodukte sind Buttermilch, Crème double, Crème fraîche, Dickmilch, Joghurt, Kefir, Sauermilch mit Fruchtzusätzen, Saure Sahne, Schmand, Schwedenmilch, Trinkmolke, Trinksauermilch.

Sauermilchprodukte finden großen Anklang, obwohl sie „sauer“ sind. Sauer bedeutet nur, dass Produkte wie z. B. Joghurt, Kefir und Dickmilch durch Zugabe von Bakterienkulturen entstanden sind. Je nach Herstellungsverfahren, (nach Art der zugesetzten Bakterienstämme und der Temperatur) entsteht Joghurt, Kefir, Dickmilch oder Sauermilch. Wie alle anderen Milchprodukte sind sie reich an Nährstoffen und Vitaminen.

Grundlegender Prozess zur Herstellung von Sauermilchprodukten ist die bakterielle Milchsäuregärung. Die Milchsäurebakterien benötigen das Enzym Lactase, welches unter Verwendung von Wasser den Milchzucker Lactose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) in Glucose ($C_6H_{12}O_6$) und Galaktose ($C_6H_{12}O_6$) umwandelt. Nach Bereitstellung dieser Einfachzucker werden diese im Verlauf weiterer Prozessschritte umgesetzt. Die Abbildung 1.3.2.1 zeigt die homofermentative Milchsäuregärung als Übersichtsschema, bei der Glucose über Brenztraubensäure (bzw. ihr Anion Pyruvat) in Milchsäure (bzw. ihr Anion Lactat) umgewandelt wird. Der Vorgang dient der Energiegewinnung, er verläuft exergonisch. Pro Molekül Glucose werden zwei Moleküle ATP gebildet.

Milchsäurebakterien sind hinsichtlich ihres Bedarfs an Kohlenhydraten, Aminosäuren, Vitaminen und anderen Wachstumsfaktoren anspruchsvoll. Sie bevorzugen eine anaerobe Umgebung und sind ubiquitär.

Industriell erfolgt die Herstellung von Sauermilchprodukten durch Vergärung von Milch oder Molke vor allem durch die folgenden *Lactobacillus*-Arten: *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* (*Lactobacillus bulgaricus*), *Lactobacillus helveticus* sowie weiterhin durch *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus* (*Streptococcus thermophilus*), *Lactococcus lactis*.

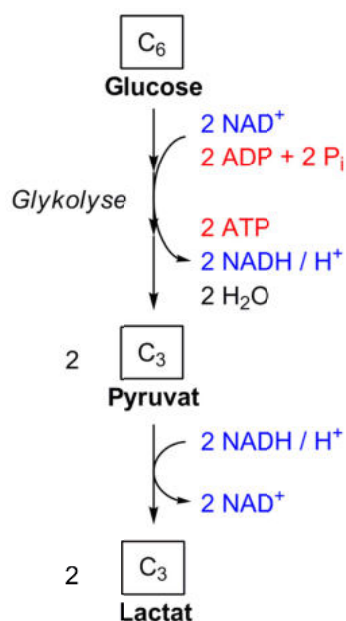


Abbildung 1.3.2.1: Die homofermentative Milchsäuregärung als Übersichtsschema, ausgehend von Glucose. Hierbei werden pro Molekül Glucose zwei Moleküle ATP und 2 Moleküle Lactat gebildet.

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Milchsäuregärung>

Milchsäure wurde historisch sowohl in Europa wie auch in Asien zur Säuerung und Konservierung von Lebensmitteln, insbesondere für Milch (Sauermilch), Gemüse (Bsp. Sauerkraut) und auch zur Herstellung von Silagen als Futtermittel bereits seit Jahrhunderten oder Jahrtausenden genutzt.

Milchsäure ist eine Hydroxycarbonsäure, die sowohl eine Carboxylgruppe als auch eine Hydroxylgruppe besitzt. Sie wird nach den Nomenklaturempfehlungen der IUPAC als 2-Hydroxypropan-säure bezeichnet.

Milchsäure ist eine starke Carbonsäure, die unter physiologischen Bedingungen stark dissoziiert. Das Anion hat die Konstitutionsformel $\text{CH}_3\text{-CHOH-COO}^-$ und wird als Lactat bezeichnet. Die Salze und Ester der Milchsäure heißen Lactate. Da Milchsäure in zwei enantiomeren Formen vorkommt, gibt es auch zwei entsprechende Formen ihres Anions, die man meistens nach ihrer Ausrichtung in der Fischer-Projektion als D- und L-Form bezeichnet. Im menschlichen Körper gebildetes Lactat liegt ausschließlich in der rechtsdrehenden L-Form vor.

Zur Herstellung von Sauermilchprodukten wird die Milch zuerst erhitzt, um alle Bakterien abzutöten. Für die anschließende Fermentation wird die Milch für 2-3 Stunden angesäuert, dazu wird sie mit Milchsäurebakterien versetzt. Die Bakterien bauen wie oben beschrieben den Milchzucker zu Milchsäure ab, wobei Eiweiß gerinnt. Durch diesen Vorgang wird die Konsistenz der Milch dickflüssig bis fest.

Die Herstellungsprozesse der verschiedenen Sauermilchprodukte unterscheiden sich durch die Temperatur und die eingesetzten Bakterienkulturen. Während für die Joghurtherstellung zum Beispiel *Streptococcus thermophilus* und *Lactobacillus bulgaricus* verwendet werden, benötigt man für die Dickmilchproduktion *Streptococcus lactis* und *Streptococcus cremoris*. Außerdem erfolgt die Fermentation bei Dickmilch bei 20-30°C, hingegen sind für die Joghurtherstellung 42-45°C erforderlich. Zur Herstellung von Kefir werden neben Milchsäurebakterien auch Hefekulturen verwendet. Die Hefekulturen bewirken, dass beim Abbau des Milchzuckers 0,05 Prozent Alkohol entstehen. Diese Art der Gärung nennt man alkoholische Gärung. Trotz des Alkoholanteils können auch Kinder unbedenklich Kefir zu sich nehmen.

Quellen:

<http://www.meine-milch.de/milkipedia/sauermilchprodukte>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Milchsäuregärung>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Milchsäure>

Die Internetseite <http://www.chemieunterricht.de/dc2/milch/m-sauer.htm>

bietet verschiedene Experimente zur Herstellung von Sauermilchprodukten an und erläutert weitere Hintergründe.

Wer Quark oder Frischkäse selber machen möchte, findet auf der folgenden Internetseite zusätzlich zum Text auch eine Videoanleitung:

<http://www.kaese-selber.de/milchprodukte-selber-machen/quark-und-frischkäse-selber-machen/>

Käseherstellung

Bis aus Milch Käse wird, ist es ein langer Weg. Wie bei der Behandlung der Rohmilch auf dem Weg zur Trinkmilch wird die Milch gereinigt, geprüft, der Fettgehalt eingestellt und pasteurisiert. Um Geschmack, Konsistenz, Aussehen und Farbe zu beeinflussen, verwendet man unter anderem Kochsalz, Gewürze und Farbstoffe wie z. B. β -Carotin für die Gelbfärbung.

Anschließend erfolgt das Dicklegen der Milch mit Hilfe der Säurefällung durch Zugabe von Milchsäurebakterien oder durch Labfällung durch Zugabe von Labenzymen.

Rohmilch wird durch die in der Luft vorhandenen Milchsäurebakterien von selbst sauer (Umsetzung von Lactose in Milchsäure) und wird dann zu den verschiedenen Rohmilchkäsesorten weiterverarbeitet.

Pasteurisierte Milch säuert nicht von selbst. Um die vorbereitete Milch, die Kesselmilch, dickzulegen und das Milcheiweiß gerinnen zu lassen werden entweder Milchsäurebakterien oder Labenzyme zugesetzt. Während des Gerinnungsprozesses sondern sich in einer gallertartigen Masse (Dickete), eine Mischung aus Proteinen (Casein) sowie eine wässrige, grünlich-gelbe Restflüssigkeit (Molke) ab. Während des Gerinnungsprozesses wird die Dickete mit rotierenden Schneidevorrichtungen, den Käseharfen, zerkleinert; es entsteht der Käsebruch. Je intensiver die Bearbeitung erfolgt, desto kleiner werden die Körner und desto mehr Molke wird ausgeschieden. Durch das Abscheiden der Molke verfestigt sich der Bruch.

Im weiteren Verlauf der Verarbeitung unterscheidet man zwischen der Herstellung von Frischkäse und gereiftem Käse. Für die Herstellung von Frischkäse bzw. Quark wird der Bruch, mit Salz, Gewürzen, Kräutern oder anderen Zutaten vermischt, verpackt und dann in den Handel gebracht. Bei gereiftem Käse wird der Bruch in Formen gefüllt. Damit die Molke weiter abfließen kann, haben diese Formen durchlässige Wände. Mehrfaches Pressen und Wenden der Käse begünstigt den Molkeaustritt. Außerdem fördert das Pressen die Rindenbildung. Der entstandene junge Käse kommt nun in ein Salzbad, wodurch Geschmacksbildung und weiterer Molkeaustritt gefördert werden. Außerdem dient das Salz der Haltbarmachung (Konservierung).

Zugesetzte Reifungskulturen sorgen dafür, dass das Casein zu Peptonen, Peptiden und Aminosäuren abgebaut wird. Teilweise wird durch den bakteriellen Stoffwechsel Kohlendioxid frei, welches für die Löcher im Käse verantwortlich ist. Durch fettspaltende Enzyme entstehen aromatisch wirksame Carbonyl-Verbindungen, die mit den Casein-Abbauprodukten für den charakteristischen Geschmack des Käses sorgen. Bei der Herstellung von Weichkäse erfolgt die Reifung von außen nach innen, bei Hart- und Schnittkäse gleichmäßig durch die ganze Masse.

Nach der Reifung wird der Käse in speziellen Kellern oder sogar Höhlen gelagert. Wichtig ist dabei die richtige Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Während die Lagerung von Hartkäse - je nach Sorte - einige Wochen bis Monate dauert, zieht sich die Lagerzeit von Parmesankäse über mehrere Jahre hin. Je länger der Käse gelagert wird, desto weniger Feuchtigkeit enthält er noch und desto härter wird er.

Quellen:

<http://www.chemieunterricht.de/dc2/milch/kaes-her.html>

<http://www.kaese-selber.de>

<http://www.kaeserei-weizern.de/kinder-kaese-machen.html>

2 Themensammlung für weiterführende Schülerarbeiten

Im Folgenden sind exemplarisch einige Themen aufgeführt, die sich für die weitergehende Beschäftigung mit dem Thema Milch in Form von Referaten, Experimenten oder Mini-Forschungsprojekten eignen.

Klasse 5/6

- Warum ist die Butter gelb?
- Warum kocht Milch so leicht über?
- Warum bildet sich beim Abkühlen von heißer Milch eine Haut?
- Warum wird Sahne beim Schlagen steif?
- Ist Milch gesund?
- Ist es gesünder fettarme Milch oder Magermilch zu trinken?
- Welche Faktoren beschleunigen das Sauerwerden der Milch in Abhängigkeit von der Milchsorte?
- Untersuche das Trink- und Essverhalten an Beispielen von Milch- und Milchprodukten in der Klasse/in der Schule/in der Familie.
- Milch – um jeden Preis? Was ist uns Milch wert?

Klasse 7 bis 10

- Wie entsteht Milch im Körper von weiblichen Säugetieren?
- Warum wird Milch im Körper nicht sauer?
- Wie entsteht im Körper eine Emulsion von Fett in Wasser?
- Welche Rolle spielte die Fähigkeit Milch zu produzieren bei der Evolution der Säuger?
- Wie wurde der erwachsene Mensch zum Milchtrinker?
- Welche Rolle spielt der Genuss von Milch für eine gesunde Ernährung?
- Ist Sojamilch global gesehen eine Alternative zu Kuhmilch?
- Wie unterscheidet sich eine Lactoseintoleranz von einer Kuhmilchallergie?
- Überprüfe die Wirksamkeit von Medikamenten gegen Lactoseintoleranz im Experiment.
- Erstelle eine Übersicht über das Vorkommen von Lactoseintoleranz in der Weltbevölkerung und begründe diese.
- Wie werden lactosefreie Milchprodukte hergestellt und für wen lohnt sich der Kauf?
- Wie hat sich die Milchviehhaltung in Deutschland entwickelt und welche Folgen hat das für die Umwelt?

3 Ausgewählte Quellen zur weiterführenden Recherche

Literatur

- Macht Milch müde Schüler munter? RAAbits Chemie; 30. Ergänzungslieferung; Dr. Josef Raabe Verlag, 2010.
- Teste dein Wissen mit Aufgaben aus der JuniorScienceOlympiade! Milch - echt „kuhl“. CHEMKON, 22(4), November 2015.
- Milch. Naturwissenschaft im Unterricht – Chemie, Nr. 33, 1996.
- Milch und Milchprodukte. Unterricht Biologie 170, Dezember 1991.
- Roth, K.: Chemische Köstlichkeiten. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 1. Auflage, 2010.

Versuchsanleitungen, Unterrichtseinheiten, Examensarbeiten zum Thema Milch

- <http://www.chemieunterricht.de/dc2/milch/allmilch.htm>
- <http://www.chids.de/welcome.html> Auf der Startseite dem Link Experimentalvorträge folgen
- http://home.snafu.de/helmert/Milch/Materialien_Downloads/experimentiermappe_milch.pdf
- <https://www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor/downloads/milch>

Allgemeine Informationen zu Milch und Milchprodukten

- <http://www.planet-schule.de/sf/multimedia-interaktive-animationen-detail.php?projekt=molkerei>
- Virtuelle Molkerei, Von der Rohmilch zu den Molkereiprodukten, auf den Themenseiten finden sich weitere Informationen zu Milch und Milchprodukten, weiterführende Links
- <http://www.milch-guide.de>
- Wissenswertes und Info über Milch, Übersicht über die verschiedenen tierischen und pflanzlichen Milchsorten
- http://home.snafu.de/helmert/Milch/Materialien_Downloads/
- Sammlung verschiedener Materialien und Unterrichtseinheiten zum Thema Milch
- <http://www.kuhparadies.de/kuh/milch.php>
- <http://www.kuhparadies.de/kuh/milchsorten.php>
- <http://www.zeit.de/2013/10/Infografik-Milch>
- Grafische Übersicht über Milchprodukte
- http://www.wdr.de/tv/applications/fernsehen/wissen/quarks/pdf/Q_Milch.pdf
- Weg der Milch von der Kuh in die Tüte, Evolution der Europäer zu Milchtrinkern
- <http://milchwirtschaft.de>
- Informationsbroschüren für u. a. Schulen, Milchlexikon
- http://www.aid.de/lernen/lebensmittelkunde_milch_im_unterricht.php
- Broschüren (kostenpflichtig)

Warum kocht Milch über?

<https://de.wikipedia.org/wiki/Milchhaut>
Informationen und weiterführende Links

Milchschaum und Milchschaumverfahren

<https://de.wikipedia.org/wiki/Milchschaum>
<http://www.kaffeefibel.com/blog/milchschaum-ohne-aufschaeumer/>
http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation_diss_1305
<http://www.milchschaum.net/milchschaum/>

Kasein - ein Kleber in der Milch

http://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/didaktik_der_chemie/seminarfriese/milch.pdf
<http://www.wdr.de/tv/wissenmachtah/bibliothek/kleber.php5>

Herstellung von Milchprodukten wie Joghurt, Käse, Dickmilch im Haushalt

<http://www.kaese-selber.de>
<http://www.jean-puetz-produkte.de/news/joghurt-selber-machen.php>
https://www.jean-puetz-produkte.de/shopdev/essen-und-trinken-joghurt-selber-machen-c-6_47.html
<http://www.die-joghurt-macher.de>
<http://www.milch-guide.de/milchprodukte/dickmilch-sauermilch.html>
Infos über Milch und Milchprodukte, Milchprodukte selber machen

Die Zusammenstellung in diesem Heft versteht sich nicht als eigenständiger Autorentext. Um Ihnen den Einstieg in das Thema Milch in seinen vielen Facetten zur erleichtern, wurde hier ein Zusammenschchnitt von Rechercheergebnissen erstellt.

Große Textanteile sind direkt oder nur geringfügig umformuliert aus wikipedia.org und verschiedenen anderen im Verzeichnis angegebenen Quellen übernommen worden.

Text- und Bildquellen im Internet, letzter Zugriff am 28.10.2015:

<http://lebensmittel-warenkunde.de/lebensmittel/milch-milchprodukte.html>

<http://video.tu-clausthal.de/film/193.html>

<http://www.chemieunterricht.de/dc2/milch/kaes-her.html>

<http://www.chemieunterricht.de/dc2/milch/m-bearb.htm>

<http://www.chemieunterricht.de/dc2/milch/m-sauer.htm>

<http://www.kaeserei-weizern.de/kinder-kaese-machen.html>

<http://www.kaese-selber.de>

<http://www.meine-milch.de/milkipedia/sauermilchprodukte>

<http://www.milch-guide.de>

<http://www.netzwissen.com/ernaehrung/milch-und-milchherstellung.php>

http://www.wdr.de/tv/applications/fernsehen/wissen/quarks/pdf/Q_Milch.pdf

Autoren: Benedikt Bjarnason, Falko Daub, Dirk Gilson, Jakob Kneser, Ilka aus der Mark

[https://de.wikipedia.org/wiki/Dispersion_\(Chemie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Dispersion_(Chemie))

<https://de.wikipedia.org/wiki/Milch>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Milchsäure>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Milchsäuregärung>

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2e/Milch.svg/1024px-Milch.svg.png>