

Versuche aus dem Küchenschrank Von Milch bis Käse, alles erste Sahne

Pitt Hild, Kirsten Kallinna, Thomas Löffel, Livia Murer, Markus Emden*

Preprint

Pitt, Hild, Kirsten Kallinna, Thomas Löffel, Livia Murer und Markus Emden. 2022. «Von Milch bis Käse, alles erste Sahne. Versuche aus dem Küchenschrank.» Preprint. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6501654>.



This preprint is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>. Copyright Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Reproduced with permission.

Original

Pitt, Hild, Kirsten Kallinna, Thomas Löffel, Livia Murer und Markus Emden. 2022. «Von Milch bis Käse, alles erste Sahne. Versuche aus dem Küchenschrank.» *Chemie in unserer Zeit* 56 (2): 132-134. <https://doi.org/10.1002/ciuz.202100038>.

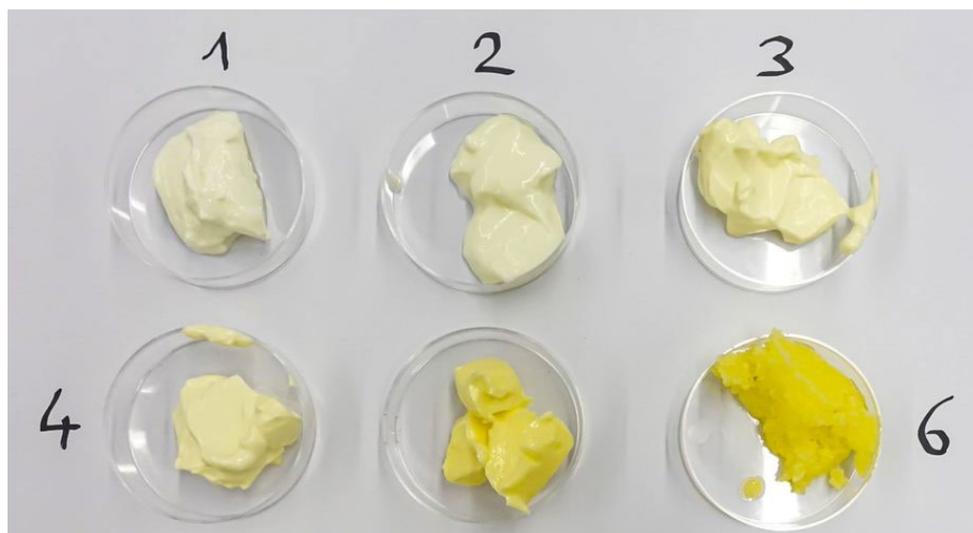
Anliegen der in loser Folge erscheinenden Versuche ist es, Impulse für chemische Versuche zu geben, die gefahrlos zu Hause mit haushaltsüblichen Gegenständen durchgeführt werden können. Sie können damit als Quelle für das gemeinsame Ausprobieren mit Kindern dienen, z. B. in Kindergärten oder an Schulen sowie zur Verwendung bei Tagen der offenen Tür. Ein Stückweit sind sie zu verstehen als Antwort auf den oft gehörten Satz: „Ach, Du bist Chemiker/in!? Dann mach doch mal eben ein Experiment.“

Die Versuche sind explizit nicht als Experimente im fachdidaktischen bzw. wissenschaftstheoretischen Sinn konzipiert, sondern sollen vor allem durch Erzeugung einfacher naturwissenschaftlicher Phänomene eine positive Haltung gegenüber der Chemie wecken.

Von Milch bis Käse, alles erste Sahne

Man nehme

- Magerquark (< 1 % Fettgehalt), Halbfettquark (5 %), Crème fraîche (35 %), Crème double (45 %), Butter (82 %) und Butterschmalz oder Ghee (99 %)
- Safran und Kurkuma (Gelbwurz)



- | | | |
|-----------------|------------------|-----------------------------------|
| 1. Magerquark | 2. Halbfettquark | 3. Crème fraîche |
| 4. Crème double | 5. Butter | 6. Ghee (indisches Butterschmalz) |

Abbildung 1: Sechs Milchprodukte

Auf 10 Gramm Milchprodukt streut man jeweils eine Spatelspitze Kurkuma oder Safran. Mit einem Glasstab vermischt man das Gewürz mit dem Milchprodukt. Man bringt das Gemisch auf ein Filterpapier auf.

Man beobachtet

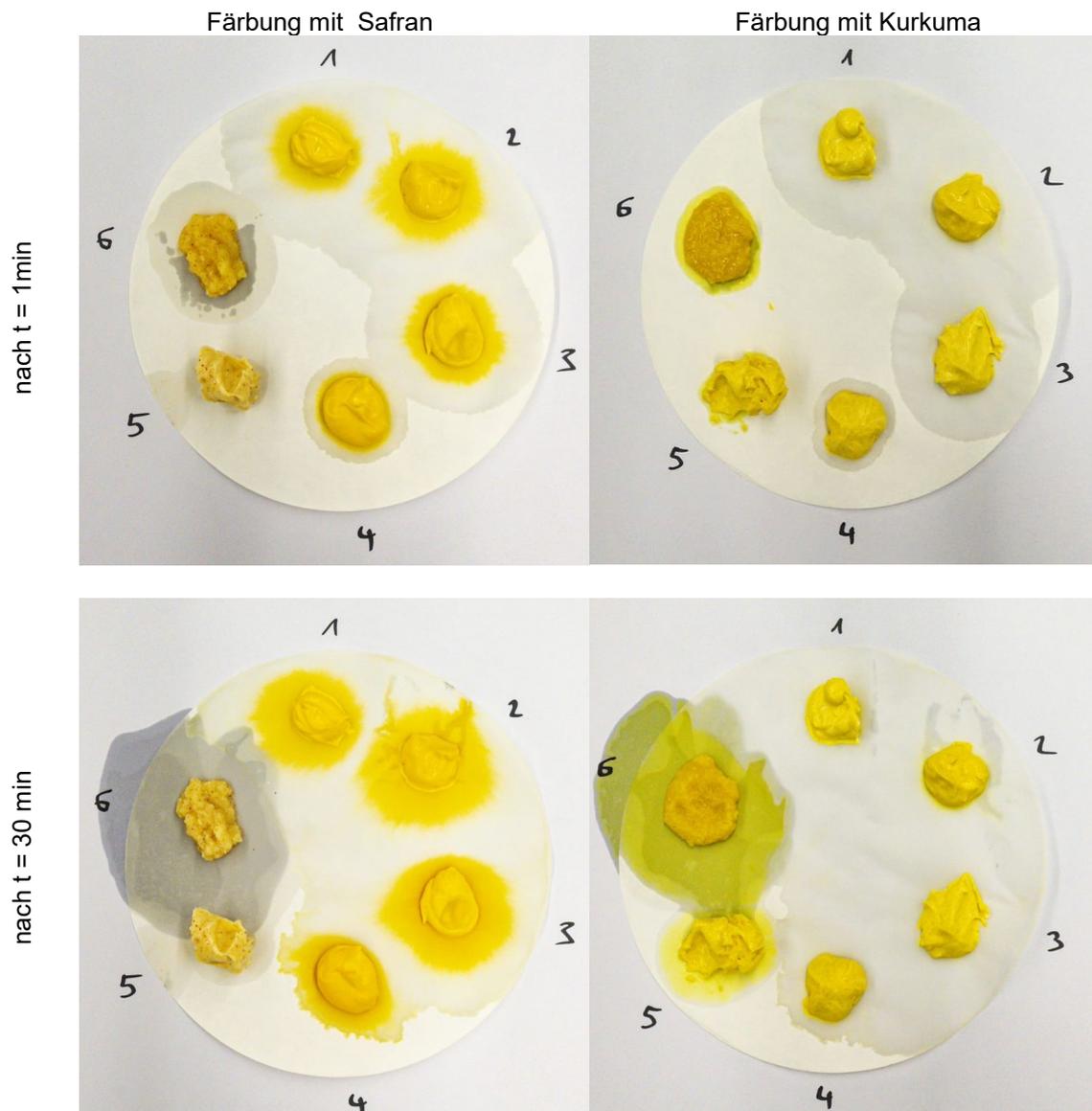


Abbildung 2: Die sechs angefärbten Milchprodukte auf Filterpapier

Auf dem Filterpapier bilden sich bei allen Produkten, teils schon nach kurzer Zeit, deutliche Flecken. Diese Flecken werden bei den Produkten 1-4 von Safran gefärbt, bei den Produkten 5 und 6 von Kurkuma.

Erklärung

Bei Rohmilch handelt es sich um eine proteinstabilisierte Öl-in-Wasser-Emulsion. In Deutschland wurden 2019 dreiunddreissig Millionen Tonnen Rohmilch produziert – der Preis für 100 kg Rohmilch (nicht «bio») schwankte in demselben Jahr zwischen 32,9 und 35,5 €. Hauptverantwortlich für die Bildung/Stabilisierung der Emulsion sind nebst den Phospho- und Glycolipiden die Caseine bzw. Milch- und Molkenproteine ($\approx 3\%$ Milchanteil), sowie β -Lactoglobulin & α -Lactalbumin. Diese vermögen Milchfett ($\approx 3.7\%$ Milchanteil, bestehend zu 95-96 % aus Triacylglycerolen) und Wasser ($\approx 93\%$ Milchanteil) zu vereinen, obwohl die sich eigentlich spinnefeind

sind [1]. Bei der Emulsion ist Milchfett als Tröpfchen (bei Kuhmilch mit einem Durchmesser von etwa 10-30 μm , siehe Abb. 3) in der wässrigen Flüssigkeit (Milchplasma) dispergiert. Im Zentrum dieser Fetttröpfchen sind flüssige und kristallisierte Triacylglycerole (Schmelzbereich 28-33°C, Kristallisationsbereich 19-24°C [7]) umgeben von Emulgatormolekülen und weiteren Stoffen (u. a. spezielle Membranproteinen, Carotinoiden), die zusammen eine komplexe Membran bilden. Obwohl die meisten Caseine in Form von Mizellen im Milchplasma liegen, findet sich ein Teil der Proteine auch auf der Membran der Fetttröpfchen [10].

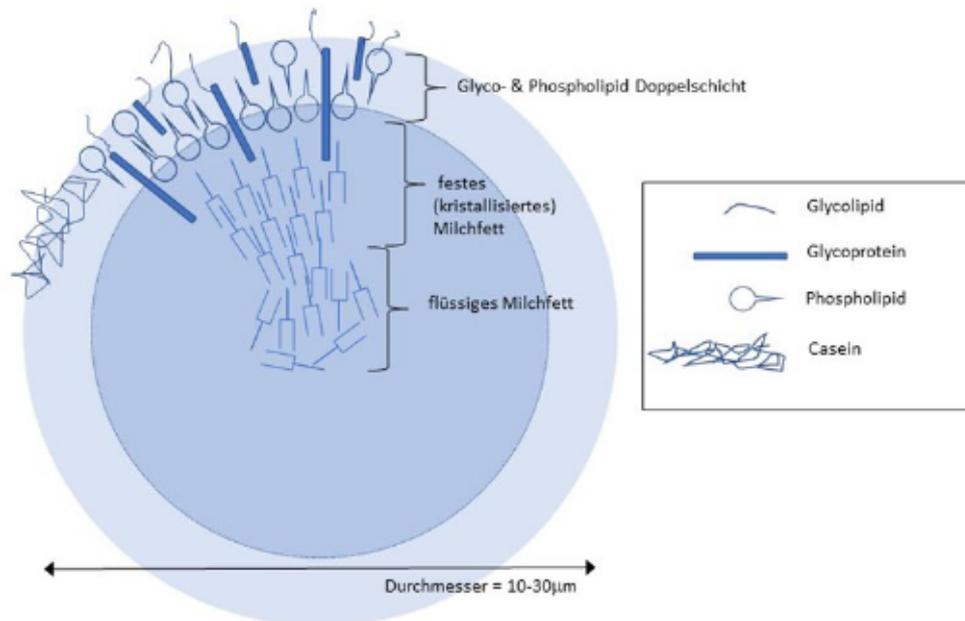


Abbildung 3: Aufbau eines Fetttröpfchens (in Anlehnung an [9,10])

Lässt man Rohmilch lange genug stehen, führt die Dichtedifferenz zwischen fettiger und wässriger Phase dazu, dass die Tröpfchen zur Oberfläche aufsteigen und dort eine Sahneschicht bilden («Aufrahmen»): Fetttröpfchen lagern sich dabei zunächst zusammen (Kumulation) und fließen schließlich in Folge von Membranrissen zusammen (Aggregation und Koaleszenz). Dabei nimmt das Tröpfchenvolumen zwar zu [3], im Verhältnis verringert sich aber die Tröpfchenoberfläche, sodass sich durch das Zusammenfließen ein Energievorteil ergibt. Der Aufrahmungsprozess kann durch Homogenisierung der Milch verhindert werden: Rohmilch wird dabei mit hohem Druck (15-20 MPa) gegen eine Metallplatte gesprüht, sodass die Fetttröpfchen aufplatzen, verteilt werden und zu einem Durchmesser von $< 1\mu\text{m}$ wieder aggregieren [6]. Die Instabilität zwischen Wasser- und Fettphase kann jedoch auch bewusst genutzt werden, um einen Anteil des Milchfetts bzw. des Wassers loszuwerden, bspw. bei der Herstellung von Magerquark oder Butter. So sorgte das Butterfass früher dafür, dass durch eine gute Durchmischung der Rohmilch – gekoppelt mit lokal hohem Druck (Stampfen) – die Fetttröpfchen immer weiter aufwachsen konnten. Die Palette an Milchprodukten mit unterschiedlich hohem Fettanteil ist groß, nebst den charakteristischen Öl-in-Wasser-Emulsionen wie bspw. Milch und Joghurt sind auch viele fettangereicherte Milchprodukte im Handel erhältlich (siehe Tab. 1). Da alle Produkte die gleichen Emulgatoren enthalten (schließlich basieren sie auf demselben Grundprodukt), stellt sich die Frage, ab welchem Fettanteil die Emulsion nach außen eher fettige Eigenschaften zeigt bzw. wie lange die wässrigen Eigenschaften der Emulsion überwiegen.

	Butterschmalz	Butter	Dreifachrahmkäse	Doppelrahmkäse	Frischkäse	Halbfettbutter	Streichkäse	Halbfettquark	Milch & Joghurt	Magerquark, -milch, Skyr
Exemplarischer Fettanteil (%)	99.5	82	>75	60-87	<60	40	30	5	4	<1

Tabelle 1: Exemplarischer Fettanteil [in Gewichtsprozenten] unterschiedlicher Milchprodukte (vgl. [1])

Zur Herstellung fettiger Milchprodukte wird meistens die aufgerahmte Milch von (einem Teil) der wässrigen Phase getrennt und weiter verarbeitet [4]. Bereits im zweiten Jahrtausend vor Christus wurde Butter hergestellt und zum Kochen verwendet [8]. Um Butter herzustellen, wird die Öl-in-Wasser-Emulsion letztendlich zerstört: wie bereits angedeutet aggregieren dabei die Lipidbestandteile und es entsteht eine Wasser-in-Öl-Emulsion, wobei die Ölphase zwar dann die kontinuierliche Phase ausmacht, jedoch immer noch aus kristallisierten Öltröpfchen besteht [9,11].

Will man nun mit einfachen Mitteln herausfinden, ob Milchprodukte eher wässrige (Öl-in-Wasser-Emulsion) oder fettige (Wasser-in-Öl-Emulsion) Eigenschaften besitzen, stehen mehrere Unterscheidungsverfahren zur Auswahl. Denn wässrige Emulsionen mischen sich mit Wasser, hinterlassen einen Wasserrand auf Filterpapier und wasserlösliche Farbstoffe (z. B. Crocin aus Safran) färben diese Emulsionen homogen. Fettige Produkte schwimmen auf dem Wasser, hinterlassen auf Filterpapier farblose Fettflecken und lassen sich mit öllöslichen Farbstoffen (z. B. Curcumin aus Gelbwurz) homogen anfärben.

Abbildung 2 zeigt, dass die Produkte 1 bis 4 klar einen Wasserrand und keinen Fettfleck auf Filterpapier hinterlassen, da die Flecken von Safran – und nicht von Kurkuma – gefärbt werden. Butter und Butterschmalz hingegen bilden Fettflecken auf Filterpapier, die mit Kurkuma angefärbt sind. Milchprodukte mit einem Fettanteil < 50% scheinen überwiegend wässrige Eigenschaften aufzuweisen, sodass es sich hierbei eher um Öl-in-Wasser-Emulsionen handelt. Produkte mit einem Fettanteil > 80% zeigen klar fettige Eigenschaften, sodass es sich um Wasser-in-Öl-Emulsionen handeln dürfte.

Ob man – quasi im Gegenschuss – Fettanteile in Milchprodukten semiquantitativ durch Anfärben mit Safran oder Kurkuma nachweisen kann, muss derzeit allerdings verneint werden. Bei Verwendung von drei Milchprodukten (Halbrahm (in Deutschland vergleichbar: Crème légère), Vollrahm (Crème fraîche), Doppelrahm (Crème double)), die - laut Identitätskennzeichen – zur gleichen Zeit am selben Standort produziert wurden, konnten keine überzeugenden Ergebnisse erzielt werden. Die Produkte wurden jeweils mit einer Spatelspitze Safran oder Kurkuma vermischt. Erwartungsgemäss entstanden auf Filterpapier drei Wasserränder und keine Fettflecken. Desweiteren zeigte sich beim Mischen mit Kurkuma, dass das fettreichste Produkt intensiver angefärbt wurde (siehe Abb. 4). Darüber hinausgehende Unterscheidungen waren nicht möglich. Für Crocin mag dies erklärbar sein durch die sehr hohe Färbewirkung des Moleküls und die durchgehend hohen Wasseranteile in den Produkten (55-68 %) [2,5]. Im Falle des Curcumins gilt zu berücksichtigen, dass der ansteigende Massenanteil mit nur vergleichsweise geringen Zuwächsen an Stoffmenge einhergeht; das Fett in Kuhmilch besteht zum überwiegenden Teil aus Myristin- (C₁₄; 10,7 %), Palmitin- (C₁₆; 27,6 %) und Stearinsäureestern (C₁₈; 10,1 %) [6]. Das 'Mehr' an lipophilem Farbstoff, das überhaupt zu lösen ist aufgrund eines 'Mehr' an Solvens, dürfte in absoluten Zahlen eher gering ausfallen: Pro Gramm Fett dürfte der Zugewinn an potenziellen Solvens-Molekülen im zweistelligen µmol Bereich liegen, die sich auf ein Volumen von gut 1 cm³ verteilen [12]. Eine Farbvertiefung wäre entsprechend nur sehr fein gradiert anzunehmen. Beim Crocin 'bringen' jede 10 % Massegewinn auf Seiten des Wassers 5,6 mmol zusätzlichen Solvens, was 0,1 cm³ entspricht.

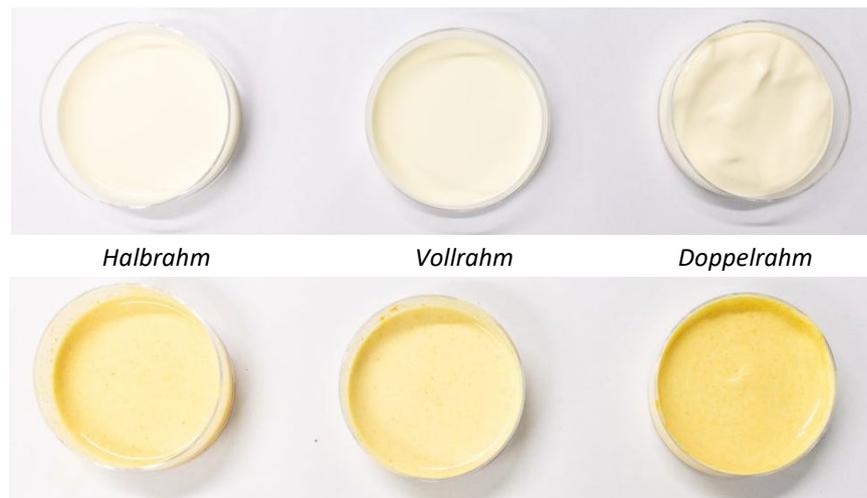


Abbildung 4: Je 10 g Milchprodukt ohne (oben) und mit Kurkuma (unten).

Quellen

- [1] H.-D. Belitz, W. Grosch und P. Schieberle, Food Chemistry, 4. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [2] S. S. Deosarkar, C. D. Khedkar, S. D. Kalyankar und A. R. Sarode, in: Encyclopedia of Food and Health, Elsevier, 2016, 331–337.
- [3] E. Dickinson, Caseins in emulsions: interfacial properties and interactions, International Dairy Journal, 1999, 9, 305–312.
- [4] E. Eugster-Meier, Funktionelle Eigenschaften der Milchproteine, Eidgenössische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Liebefeld, 1999.
- [5] R. W. Hartel, J. H. von Elbe und R. Hofberger, Confectionery science and technology, Springer, Cham, Switzerland, 2018.
- [6] R. Jost, in: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VC, Weinheim, 2000, 315–375.
- [7] A. O. Khamis A. O. et al., Triacylglycerol composition, melting and crystallization profiles of lipase catalysed anhydrous milk fats hydrolysed, International Journal of Food Properties, 2017, 20, 1230–1245.
- [8] F. R. McDowall, The butter makers' manual, New Zealand University Press, Wellington, 1953.
- [9] H. Mulder und P. Walstra, The milk fat globule. Emulsion science as applied to milk products and comparable foods, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1974.
- [10] H. M.P. Ranjith, in: Fats in Food Technology (Hrsg.: K. K. Rajah), 2. Aufl., John Wiley & Sons, Chichester, 2014, 83–132.
- [11] M. A. Rogers, D. Tang, L. Ahmadi und A. G. Marangoni (2008), in: Food Materials Science (Hrsg.: J. M. Aguilera und P. J. Lillford), Springer, New York, 2008, 369–414.
- [12] P. D. Watson und R. P. Tittsler. Density of Cream at low Temperatures, Journal of Dairy Science 1962, 45, 159–163. [11] L. Sadaghiani, M. A. Wilson und N. H. F. Wilson. Effect of selected mouthwashes on the surface roughness of resin modified glass-ionomer restorative materials, Dental Materials 2007, 23, 325–334, DOI: 10.1016/j.dental.2006.01.024.
- [12] E. Wendler, Zähne: Ein Wegweiser zur Mundgesundheit, Springer, Berlin u. a., 1993.

- [13] S. N. White, W. Luo, M. L. Paine, H. Fong, M. Sarikaya und M. L. Snead. Biological organization of hydroxyapatite crystallites into a fibrous continuum toughens and controls anisotropy in human enamel, *Journal of dental research* 2001, 80, 321–326, DOI: 10.1177/00220345010800010501.

**Zentrum für Didaktik der Naturwissenschaften, Pädagogische Hochschule Zürich*