

Lab macht den Käse

von *Andreas Steneberg*

Zusammenfassung

Milchprodukte sind weltweit verbreitete Grundnahrungsmittel. Käse wird hierbei als länger haltbares Nährstoffkonzentrat seit dem Altertum genutzt. Ein wichtiges Hilfsmittel zur Herstellung von Käse ist die Dicklegung der Milch durch Labferment. Dieses natürlich in Wiederkäuermägen vorkommende Enzymgemisch wird traditionell in Käsereien verwendet. Aus vielerlei Gründen ist die Verwendung von Natur-Lab, gewonnen aus Kälbermägen, eingeschränkt, die Nachfrage übersteigt das Angebot. Das liegt nicht nur an dem ungebremsten Käsehunger, sondern ist auch für Vegetarierinnen und Vegetarier, sowie aus religiösen Gründen undenkbar. Seit ein paar Jahrzehnten stehen mikrobielle Labaustauschstoffe zur Verfügung, die unter anderem mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen produziert werden. In diesem Beitrag werden auch pflanzliche Alternativen als Labersatz vorgestellt und bewertet.

Schlüsselwörter: Milch, Käse, Labferment, Biotechnologie, Proteasen

Abstract

Rennet for cheese production

Andreas Steneberg

Dairy products are common staple foods around the world. Cheese has been used in this context as a longer-lasting nutrient concentrate since ancient times. An important aid in the production of cheese is the thickening of milk by rennet ferment. This enzyme mixture, which occurs naturally in ruminant stomachs, has traditionally been used in cheese dairies. For many reasons, the use of natural rennet, derived from calves' stomachs, is limited, and demand exceeds supply. This is not only due to the unrestrained hunger for cheese, but is also unthinkable for vegetarians, as well as for religious reasons. Microbial rennet substitutes have been available for a few decades, produced with genetically modified microorganisms, among others. This paper also presents and evaluates plant-based alternatives as rennet substitutes.

Keywords: milk, cheese, rennet ferment, biotechnology, proteases

UMWELT & GESUNDHEIT 2 (2022) 49-53

Einleitung

Muttermilch ist die beste Erstnahrung für Säugetiere, die die optimale Zufuhr von Nähr- und Abwehrstoffen garantiert. Die Zusammensetzung der Milch ist artspezifisch. Der Mensch nutzt seit dem Altertum artfremde Säuglingsnahrung als Nahrungsquelle bis ins hohe Alter. So verzehrt er vor allem Milch von Nutztieren wie Kuh, Schaf und Ziege in vielerlei Zubereitungsformen: roh, erhitzt und fermentiert in der ursprünglichen Zusammensetzung oder Konzentration bestimmter Bestandteile. Beispiele sind Vollmilch, Magermilch, Quark, Butter und Käse. Die Käseherstellung ist dabei in vielerlei Hinsicht die Krönung der Haltbarmachung und Geschmacksvielfalt.

Käse-Technologie – Die Lab-Fermentierung



Abbildung 1: Schneiden des Käsebruchs (Foto: ©blazeandtyler.com)

Der erste wichtige biochemische Prozess bei der Käseherstellung ist die Umwandlung der flüssigen Milch in ein weiches Gel, den Käsebruch. (Abbildung 1) Dieser seit dem Altertum bekannte Schritt wird durch eine Substanz im Magen von Wiederkäuern angeregt. Schafe, Ziegen und Rinder besitzen vier Mägen: Pansen, Netzmagen, Blättermagen und Labmagen. Während in den ersten drei Mägen die pflanzliche Nahrung abgeschlossen, gemischt und zersetzt wird, findet im vierten Magen ein mit Nichtwiederkäuern wie dem Menschen vergleichbarer Prozess statt: Säure senkt den pH-Wert und Enzyme spalten Proteine. Im Labmagen von milchtrinkenden Kälbern, Lämmern und Zicklein wird ein Enzymgemisch aus Chymosin und

Trypsin produziert, das zum Ausfällen von Milcheiweiß führt und die Muttermilch durch Eindicken verdaubar macht.

Milch enthält zwei Hauptproteine: Das zur Käseherstellung genutzte Kasein macht etwa 80 Prozent des Gesamtproteins der Milch aus, das Molkenprotein 20 Prozent. (Ternes et al. 2005) Kasein besteht aus mehreren Proteinen (α S1-, α S2-, β -, κ -Kasein) und bildet in der Milch zusammen mit Calciumphosphat und anderen Bestandteilen Molekülkomplexe (Mizellen). Nach Zusatz von Milchsäurebakterien entstehen Frischkäse und Sauermilchkäse wie Harzer oder Handkäse. Durch Einfluss von Lab-Enzymen wird Kasein an einer bestimmten Stelle gespalten: Das Kasein verklumpt und trennt sich von der wässrigen Molke.

Der einleitende Proteinabbau während der Käsereifung wird als primäre Proteolyse bezeichnet, die vor allem durch das Lab-Enzym bestimmt wird. Während der Hauptreifung, die für die einzelnen Käsesorten unterschiedlich verläuft, können durch weiteren Eiweißabbau spezifisch gewünschte Aromen und Konsistenzen, aber auch unerwünschte Stoffe entstehen, die sich negativ auf Textur, Farbe, Aroma und Geschmack (bitter!) auswirken. (Fischer und Glomb 2015)



Abbildung 2: Gebrauchsfertiges tierisches Lab für die Herstellung von Cheddar-Käse (Foto: ©Rebecca Siegel/wikimedia.org)

Der Mensch nutzt traditionell tierisches „Natur“-Lab bei der Herstellung von Käse. (Abbildung 2) Da jedes Säugetier ein anders zusammengesetztes Labenzym produziert, ist für die Herstellung von Kuhkäse Kälberlab am besten geeignet. Die beste Labqualität mit dem

Schwerpunkt

höchsten Chymosin Gehalt liefern dabei die jüngsten Tiere, die fast ausschließlich Muttermilch zu sich genommen haben. Die Labmägen von geschlachteten Saugkälbern werden traditionell getrocknet, zerteilt und nach fünftägigem Stehenlassen in Wasser, Salz und Säure filtriert. Heute werden speziell aufbereitete Labmägen tiefgefroren an Laberzeuger verkauft. Die extrahierten und gefilterten Extrakte werden entweder in Salzlösung konserviert oder getrocknet als Labpulver angeboten. Ein Kilogramm Labextrakt mit einem Enzymgehalt von nur einem Gramm reicht für die Herstellung von 500 kg Käse. Da die überwiegende Menge des Labenzym während des Käseprozesses mit der Molke ausgeschwemmt wird, verbleiben weniger als 1 ppm (0,001 g/kg) im genussfertigen Käse. (Fox et al. 2004)

Die Verwendung von Natur-Lab, gewonnen aus Kälbermägen, ist eingeschränkt; die Nachfrage übersteigt das Angebot. Das liegt nicht nur an dem weltweit unbremsten Käsehunger: Die Käseproduktion ist von 1961 bis 2011 um das 3,5-fache gestiegen. (Jacob et al. 2011) In Deutschland liegt der Pro-Kopf-Verzehr 2022 bei voraussichtlich etwa 20,2 kg Käse, mit weiterhin steigender Tendenz. (Statista 2022) Einerseits ist die Extraktion aus Mägen geschlachteter Kälber limitiert, teuer und aufwändig, andererseits für Vegetarierinnen und Vegetarier sowie aus religiösen Gründen undenkbar. Im Islam gilt die Halal-Zertifizierung und nach jüdischen Speisegesetzen ist Naturlab nicht koscher. (Bruhn 2016)

Lab austauschstoffe

Die geringere Verfügbarkeit von Kälberlab in Verbindung mit dem steigenden Preis und der wachsenden Nachfrage nach Käse hat dazu geführt, dass nach Labersatzstoffen für die Gerinnung gesucht wird. Tatsächlich deckt Kälberlab heute nur noch 20-30 % des weltweiten Bedarfs an Milchgerinnungsmitteln. (Jacob et al. 2011)

Lab austauschstoffe müssen ähnliche biochemische Eigenschaften wie Kälberlab haben, wie zum Beispiel eine hohe Gerinnungskraft der Milch, eine hohe Spezifität für κ -Kasein, proteolytische Aktivität bei pH-Wert und Temperatur bei der Käseherstellung und eine ausreichende Thermolabilität, um Molkeprodukte ohne Restgerinnungsaktivität zu gewährleisten. (Liburdi et al. 2019)

Mikrobielles Lab

Zu den am häufigsten kommerziell genutzten Ersatzstoffen für tierisches Lab gehören mikrobielle Gerinnungsmittel, die von *Mucor*-Schimmelpilzen wie *Rhizomucor miehei* und *Rhizomucor pusillus* produziert werden und in Struktur und Fähigkeit dem Chymosin ähneln. (Aktayeva et al. 2018) Mikrobielle Koagulanzen sind preiswert herstellbar und für Vegetarier, Juden und Moslems geeignet. Unerwünschte Eigenschaften sind eine hohe Hitzestabilität und eine hohe Proteolyseaktivität, bei der oft bitter schmeckende Peptide gebildet werden. (Abbildung 3)

Bei der Herstellung von Chymosin hat die Gentechnik vor 30 Jahren Einzug ge-

Werden Enzyme mit Hilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen (GVO) erzeugt, besteht auch zukünftig keine Deklarationspflicht, wenn sie nicht als im verzehrfähigen Produkt vorhandene Zusatzstoffe eingesetzt werden. Käse, der mit Hilfe von Chymosin hergestellt worden ist, das von GMO stammt, ist **nicht kennzeichnungspflichtig!** In Bio-Produkten gilt ein Gentechnikverbot bei Anbau und Verarbeitung – auch für Enzyme und Zusatzstoffe. (Steneberg 2010)

Die Marktanteile verschiedener Labenzyme in der Käseproduktion können nur geschätzt werden. So sollen in den USA und in Großbritannien Käse zu einem großen Teil (60 bis 80 Prozent) mit

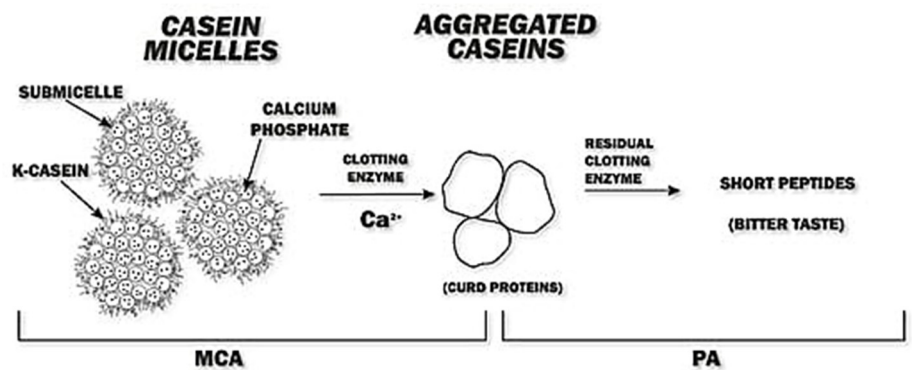


Abbildung 3: Abbau von Kaseinen durch Gerinnungsenzyme und Entwicklung von Bitterpeptiden. MCA = milchgerinnende Aktivität, PA = proteolytische Aktivität. (Nicosia et al. 2022)

halten. Dabei wird das Chymosin-Gen aus dem Labmagen von Tieren auf allgemein als sicher anerkannte Mikroorganismen übertragen, die in der Lage sind, Chymosin durch Fermentation zu produzieren. Der zur Käseherstellung verwendete Lab austauschstoff Chymosin („Chymogen“, „Chy-Max“ und „Maxire“), der aus dem als gesundheitlich unbedenklich eingestuften Schimmelpilz *Aspergillus niger var. awamori*, dem Bakterium *Escherichia coli* und dem Hefepilz *Kluyveromyces lactis* hergestellt wird, darf seit 1997 in die Bundesrepublik Deutschland verbracht und hier in den Verkehr gebracht werden. (LMBG 1997)

Dieses Chymosin ist mit der tierischen Quelle identisch und als Einzelsubstanz reiner als Kälberlab, das bekanntlich 20 Prozent Pepsin enthält. (Harboe et al. 2010) Außerdem führen GMO-Enzyme zu einer erhöhten Ausbeute und zu einem verringerten Bittergeschmack im Vergleich zu natürlichem Lab und mikrobiellen Ersatzstoffen.

gentechnisch gewonnenem Chymosin erzeugt werden. Wahrscheinlich kommen diese Chymosin-Präparate auch in der EU und Deutschland zum Einsatz. (Transgen 2022) Hierzulande ist jedoch die Herstellung und Anwendung von mikrobiellem Lab durch speziell gezüchtete Mikroorganismen, die nach aktueller Gesetzgebung keine gentechnisch veränderten Organismen (GVO) darstellen, weit fortgeschritten. Die Qualität dieses Lab austauschstoffes lässt kaum zu wünschen übrig.

In einem im Jahre 2001 in der UMWELT & GESUNDHEIT geführten Interview zeigte sich der damalige Leiter der Bundesanstalt für Milchforschung, Knut Heller, verwundert, warum trotz überwiegender Ablehnung von Gen-Food seitens der deutschen Bevölkerung die Zulassung gentechnisch hergestellten Chymosins kaum angeprangert wurde. (Heller 2001)

Schwerpunkt

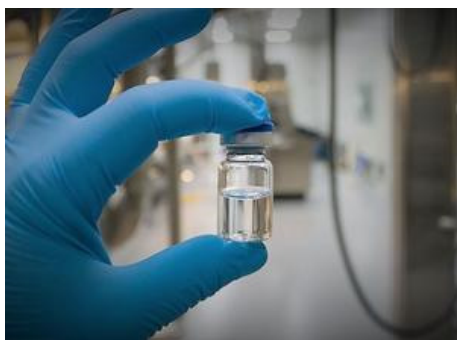


Abbildung 4: Lebensmittelenzyme: Zulassungspflicht, aber keine Gentechnik-Kennzeichnung (Foto: ©Transgen)

Chymosin-Präparate müssen in der EU auf Unbedenklichkeit geprüft und in einer Zulassungsliste aufgeführt werden. Strittig ist aber die Einteilung als Zutat oder Verarbeitungshilfsstoff. Trotz nicht zwingend erforderlicher Deklarationspflicht kennzeichnen viele Hersteller „mikrobielles Lab“ als für Vegetarierinnen und Vegetarier geeignete Zutat, unabhängig davon, ob die Mikroorganismen gentechnisch oder konventionell gezüchtet wurden. Mit dem Label „ohne Gentechnik“ versehener Quark und -Käse verweist auf traditionelle Lab-Herstellung. (Transgen 2022) Mikrobielles Lab aus GVO ist nach der EU-Öko-Verordnung im Bio-Käse nicht erlaubt. Der Einsatz von Lab basierend auf Basis von gezüchteten Schimmelpilz-Kulturen wird zunehmend mehr in Ökokäsereien eingesetzt.

Pflanzliche Labaustauschstoffe

Die Verwendung von pflanzlichen Gerinnungsmitteln bei der Käseherstellung ist seit dem Altertum im Mittelmeerraum, Südeuropa und Westafrika bekannt. Bereits *Homer* schrieb in der *Ilias*, dass Feigensaft die Milch gerinnen lassen kann. *Hippokrates* im 5. Jahrhundert und *Aristoteles* im 4. Jahrhundert vor Christus beschrieben die Verwendung von Feigenlatex zur Gerinnung von Milch. (Almeida und Simões 2018) Mit dem Einsatz tierischen Labs gerieten Pflanzen nahezu in Vergessenheit der Käseherstellung. Heute nimmt das Interesse an pflanzlichen Gerinnungsmitteln wieder zu.

Die Bewertung der Enzymaktivitäten von pflanzlichen Gerinnungsmitteln und ihr Vergleich mit denen von kommerziellem Lab (Chymosin) ist ein wichtiger erster Schritt bei der Auswahl eines geeigneten pflanzlichen Labersatzes.

Im Milchsaft, Früchten, Wurzeln, Samen und Saft, hauptsächlich aber in Blättern oder Blüten von Pflanzen befinden sich Enzyme (Proteasen), die unterschiedliche Funktionen erfüllen.

Proteasen werden anhand der Aminosäurereste im aktiven Zentrum klassifiziert und in Cystein-, Serin- und Asparaginproteasen unterteilt. (Mazorra-Manzano et al. 2018) Eiweißspaltende Proteasen sind daher in der Lage, Milch gerinnen zu lassen und Proteine wie κ -Kasein zu fällen.

Die allgemeine Hydrolyse von Kaseinen hängt von der proteolytischen Aktivität (PA) des Enzyms ab. Eine hohe PA kann mit der Entwicklung eines bitteren Geschmacks und Mängeln in der Käsetextur verbunden sein. (Nicosia et al. 2022, Harboe et al. 2010)

Die am weitesten verbreiteten und verwendeten Asparaginproteasen sind sicherlich die aus *C. cardunculus* extrahierten Cardosine. (Verissimo et al. 1995) Eine der am besten untersuchten Cysteinproteasen ist Papain aus *Carica papaya*. (Konno et al. 2004, Abbildung 5) Auch in Kiwis ist die Cysteinprotease Actinidin reichlich vorhanden, die als vielversprechendes Milchgerinnungsmittel diskutiert wird. (Puglisi et al. 2014) Die Pflanzengattung *Cynara* kennen wir vor allem durch die bei Feinschmeckerinnen und Feinschmeckern geschätzte Artischocke, eine aus der Wildpflanze *Cynara cardunculus* gezüchtete Distel. Einige spanische, portugiesische, französische und italienische Käsesorten werden mit Blütenextrakten von *C. cardunculus* als Gerinnungsmittel hergestellt. (Abbildung 7) Bekannteste

Vertreter sind die Schafmilchkäse *Serra* und *Serpa* aus Portugal, sowie *Los Pedroches*, *La Serena*, *Torta del Casar* aus Spanien. (Roseiro et al. 2003, Tabelle 4) In Kuhkäse entwickeln *Cardosine* einen bittereren Geschmack als in Schafkäse. (Tejada et al. 2008) Die niedrige Konzentration dieser Proteasen verhindert jedoch eine industrielle Umsetzung. (Folgado et al. 2021)



Abbildung 5: *Carica papaya* (Foto: ©Lydia Simmons/freepngimg.com)



Abbildung 6: *Ficus carica* (Foto: ©David Karp/invasive.org)

Italienische Forschende aus Viterbo und Rom untersuchten die Gerinnungseigenschaften von drei Pflanzensäften in der Milch verschiedener Tierarten. Mit Extrakten aus *Carica papaya* (Papayabaum), *Ficus carica* (Echte Feige, Abbildung 6) und *Cynara cardunculus*

Tabelle 1: Käsesorten in Abhängigkeit von pflanzlichen Koagulantien (Nicosia et al. 2022)

Käse-Typ	Name	Milch-Typ	Pflanzliche Gerinnungsmittel-Quelle
Weichkäse	Torta del Casar	Schaf	<i>Cynara cardunculus</i>
	Dangke	Büffel/Kuh	<i>Carica papaya</i>
	Domiat	Büffel	<i>Heliantus hamius</i>
	Warankashi	Kuh und Sojamilch	<i>Calotropis procera</i> oder <i>Carica papaya</i>
Halbfester Schnittkäse	Castelo Branco, Serra da Estrela, Serpa, Azeitão, La Serena, Caciofiore dei Sibillini	Schaf	<i>Cynara cardunculus</i>
	Flor de Guía, Mestiço de Tolosa	Schaf und Ziege	<i>Cynara cardunculus</i>
	Asadero	Kuh	<i>Solanum elaeagnifolium</i>
Schnittkäse	Los Pedroches, Évora Nisa	Schaf	<i>Cynara cardunculus</i>

Schwerpunkt

(Artischocke), wurden Rinder-, Büffel-, Ziegen- und Schafsmilch bei unterschiedlichen Temperaturen versetzt. Zum Vergleich der Aktivitäten wurde tierisches Lab als Referenzgerinnungsmittel herangezogen.



Abbildung 7: *Cynara cardunculus* (Foto: ©H. Zell/wikimedia.org)

Das pflanzliche Gerinnungsmittel, das aus den Blütenstempeln von Artischocken extrahiert wurde, erwies sich als das am besten geeignete milchgerinnende Enzym für die Käseherstellung, da es ähnliche Eigenschaften wie herkömmliches Kälberlab besitzt. Der *F. carica*-Latex war zwar nicht für die Milchgerinnung geeignet, schien aber bei höheren Temperaturen ein vielversprechendes alternatives Gerinnungsmittel zu sein. Die starke proteolytische Aktivität von Papain führte in allen Milchproben zu einer schlechten Gerinnung der Milch und kann daher den Käseherstellungsprozess negativ beeinflussen. Die Forschenden sehen aber durchaus Chancen für den Einsatz von Pflanzenlab bei der Optimierung und Herstellung neuer Käsesorten. (Liburdi et al. 2019)

In einer kürzlich veröffentlichten Studie kommen tunesische und italienische Forschende zu dem Schluss, dass sich für die Herstellung von Ziegenfrischkäse Papayaextrakt als Ersatz für tierisches Lab eignet. Bei optimalem Einsatz von 0,2 % frischen Papayaextraktes waren Geruch, Farbe, Konsistenz und Geschmack ohne Beanstandungen. (Hachana et al. 2021) Ebenso mit Papayaextrakt wird in Indonesien Dangke, ein Käse aus Büffel- oder Kuhmilch, hergestellt. Geschmacklich am besten bewertet wurden Käse mit einer geringeren Menge des Gerinnungsmittels: Die mit 0,10 g Papain geimpfte Probe erzielte die besten Ergebnisse, wahrscheinlich weil geringere Mengen an Gerinnungsmitteln mit einem niedrigeren PA verbunden sind. (Rana et al. 2017)

Der Gehalt an pflanzlichen Proteasen unterliegt großen Schwankungen nicht nur innerhalb der Pflanze, sondern wird auch durch klimatische und regionale Faktoren stark beeinflusst. Eine schwierige Standardisierung schränkt die industrielle Umsetzung ein. (Almeida und Simões 2018) Fast allem pflanzlichen Labersatz gemeinsam ist eine verhältnismäßig große proteolytische Aktivität, die zu bitterem Nachgeschmack führen kann. Daher ist die Verwendung pflanzlichen Labs in Deutschland kaum, in Südeuropa meist in traditionellen Klein- und Spezialitäten-Käsereien verbreitet.

Es werden Möglichkeiten diskutiert, diese negativen Wirkungen auszugleichen: durch Verwendung von zusätzlichen Bakterienkulturen wie zum Beispiel Stämme von *Lactococcus lactis*, die in der Lage sind, diejenigen Peptide zu hydrolysieren, die einen bitteren Geschmack verursachen. Andere Strategien zur Verwendung von pflanzlichen Gerinnungsmitteln mit reduzierter Bildung von Bitterstoffen bestehen darin, Kuhmilch zu ultrafiltrieren, mit Hochdruck zu behandeln, Gerinnungsenzyme zuzusetzen oder den Käse hoch zu erhitzen, um die Restaktivität des Enzyms nach der Milchgerinnung zu stoppen. (Nicosia et al. 2022)

Eher anekdotisch und historisch ohne wissenschaftliche Belege wird immer wieder die Verwendung von Echtem Labkraut (*Galium verum*) zur Käseherstellung beschrieben. (Abbildung 8) Schon der botanische Name weist auf Milch (griechisch: *gala*) hin. Labkraut enthält ein Enzym, das das Milcheiweiß gerinnen lässt. Selbstversuche mit Labkraut führen im Fernsehzeitalter mühsam zu einem schmackhaften Frischkäse. (Querbeet 2017)



Abbildung 8: Gemeines Labkraut (*Galium verum*) Foto: ©fotoculus/flickr.com

Schlussfolgerungen und Zukunftsperspektive

Mit tierischem Labenzym kann aus vielerlei – technologischen, finanziellen, ethischen und hygienischen – Gründen der gestiegene Konsum an Käse nicht gedeckt werden. Auf der Suche nach Alternativen bieten sich vor allem mikrobiologische Labersatzstoffe an. Diese sind einfach zu gewinnen, preiswert und qualitativ dem tierischen Original zumindest ebenbürtig, wenn nicht sogar vom Reinheitsgrad (Chymosin) überlegen. Zunehmend werden gentechnisch modifizierte Mikroorganismen als Chymosin-Produzenten durch herkömmliche Bakterien- und Pilzspezies ersetzt.

Pflanzliche Gerinnungsenzyme, die in der Käsetechnologie verwendet werden, sind für eine Massenproduktion nur bedingt geeignet, da sie einen hohen PA-Gehalt aufweisen, was zu Bitterstoffen in den Endprodukten führt. Enzyme aus Papaya, Feige und Artischocke sind eher für frische, weiche und cremige, nicht so sehr für Hartkäse akzeptabel. Dabei scheint Schafsmilch am besten für die Käseherstellung mit pflanzlichen Proteasen geeignet. Bis zum Einsatz standardisierter pflanzlicher Lab-Präparate ist noch viel Forschungsarbeit notwendig, wobei auch die Schritte der sekundären Gärung/Proteolyse genauer untersucht werden müssen.

Dipl.oec. troph. Andreas Steneberg

Walter-Jost-Str. 20

58638 Iserlohn

Tel.: 02371-63543

Email: a.steneberg@onlinehome.de

Literatur:

Aktayeva S, Akishev Z, Khassenov B: Proteolytic enzymes in cheese making. Eurasian J Appl Biotechnol 1 (2018) 10-6

Almeida, CM, Simões I: Cardoon-based rennets for cheese production. Appl Microbiol Biotechnol 102 (2018) 4675-86

Bayrischer Rundfunk: Labkraut -Alternative zur Käseherstellung. Querbeet, Sendung vom 03. August 2017

BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: Labaustauschstoff Chymosin (Chymogen, Chy-Max, Maxiren). Allgemeinverfügung gemäß § 47 a des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes vom 04. März 1997

Bruhn C: Koscher, halal und vegan. Deutsche Apotheker Zeitung 43 (2016) 46-9
<https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/daz-az/2016/daz-43-2016/koscher-halal-und-vegan>

Schwerpunkt

Fischer M, Glomb MA: Moderne Lebensmittelchemie. Behrs Verlag (Hamburg 2015) 539

Folgado A, Serra AT, Prazeres I, Bento-Silva A, Bronze MR, Abranches R: Hairy root cultures of *Cynara cardunculus* L. as a valuable source of hydroxycinnamic acid compounds. PCTOC 147 (2021) 37-4

Fox PF, McSweeney PLH, Cogan TM, Guinee TP: Cheese: Chemistry, physics and microbiology: General Aspects. Elsevier (Amsterdam 2004)

Hachana Y, Frija I, Maoual R, El Akram Znaidi I, Fortina R: Verwendung von Papayablattextrakt für die Herstellung von Ziegenfrischkäse als Alternative zu tierischem Lab. Arch Lebensmittelhyg 72 6 (2021) 185-91

Harboe M, Broe ML, Qvist KB: The production, action and application of rennet and coagulants. In: Lav BA, Tamime AY (Eds.): Technology of Cheesemaking, Blackwell Publishing (Hoboken 2010) 98-129

Heller KJ: Probiotische und gentechnische Milchfermentierung: Fitness durch Jogurt oder Käse? Interview in: UMWELT & GESUNDHEIT 12 3 (2001) 91-2

Jacob M, Jaros D, Rohm H: Recent advances in milk clotting enzymes. Int J Dairy Technol 64 1 (2011) 14-33

Konno K, Hirayama C, Nakamura M, Tateishi K, Tamura Y, Hattori M, Kohno K: Papain protects papaya trees from herbivorous insects: Role of cysteine proteases in latex. Plant J 37 3 (2004) 370-8

Liburdi K, Boselli C, Giangolini G, Amatiste S, Esti M: An evaluation of the clotting properties of three plant rennets in the milks of different animal species. Foods 8 12 (2019) 600

Mazorra-Manzano MA, Moreno-Hernández JM, Ramírez-Suárez JC: Milk-clotting plant proteases for cheesemaking. In Biotechnological Applications of Plant Proteolytic Enzymes. Springer (Cham, Switzerland 2018) 21-41

Nicosia FD, Puglisi I, Pino A, Caggia C, Randazzo CL: Plant milk-clotting enzymes for cheesemaking. Foods 11 2 (2022) 871

Puglisi I, Petrone G, Piero ARL: A kiwi juice aqueous solution as coagulant of bovine milk and its potential in mozzarella cheese manufacture. Food Bioprod Process 92 1 (2014) 67-72

Rana M, Hoque M, Rahman M, Habib R, Siddiki M: Papaya (*Carica papaya*) latex - an alternative to rennet for cottage cheese preparation. J Adv Vet Anim Res 4 3 (2017) 249-54

Roseiro LB, Barbosa M, Ames JM, Wilbey RA: Cheesemaking with vegetable coagulants - the use of *Cynara* L. for the production of ovine milk cheeses. Int J Dairy Technol 56 2 (2003) 76-85

Statista: <https://de.statista.com/outlook/cmo/lebensmittel/milchprodukte-eier/kaese/deutschland>, Stand Februar 2022

Steneberg A: Schimmelpilze und Bakterien – Enzymproduzenten für die Nahrungsmittelindustrie. Umwelt & Gesundheit 21 2 (2010) 51-7

Tejada L, Abellán A, Cayuela JM, Martínez-Cacha A, Fernández-Salguero J: Proteolysis in goats' milk cheese made with calf rennet and plant coagulant. Int Dairy J 18 2 (2008) 139-46

Ternes W, Täufel A, Tunger L, Zobel M: Lexikon der Lebensmittel. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft (Stuttgart 2005) 310-1

Transgen: Chymosin (Labenzym, mikrobielles Lab). <https://www.transgen.de/datenbank/enzyme/2000.labferment-chymosin.html>, Letzte Änderung 14. Februar 2022

Verissimo P, Esteves C, Faro C, Pires E: The vegetable rennet of *Cynara cardunculus* L. contains two proteinases with chymosin and pepsin-like specificities. Biotechnol Lett 17 (1995) 621-6

Bier und Blauschimmelkäse schon vor 2.700 Jahren auf dem Speiseplan

Ein Forschungsteam unter der Leitung von Eurac Research und dem Naturhistorischen Museum Wien gewinnt einzigartige Einblicke in die komplexen Ernährungsgewohnheiten der europäischen Urgeschichte und die Geschichte der Käseproduktion.

Hochverarbeitete fermentierte Lebensmittel wie Bier oder Käse nehmen wir vor allem als ein Kennzeichen der Moderne wahr. Man weiß zwar aus historischen Schriften, dass beispielsweise im alten Ägypten Milch fermentiert wurde. Doch den weltweit ältesten Nachweis für den tatsächlichen Konsum von Blauschimmelkäse lieferte nun ein Forschungsteam, das außergewöhnlich gut erhaltene prähistorische und historische Exkremate von der Bronze- bis zur Barockzeit aus dem Salzbergwerk Hallstatt (Österreich) untersuchte. Auch Hinweise auf eine mögliche Bierkultur liegen vor. Besonders fruchtbar erwies sich die Kombination aus archäologischen und molekularbiologischen Methoden, die die überraschenden Einblicke in urgeschichtliche Ernährungsgewohnheiten und Lebensmittelproduktion möglich machte.

Das prähistorische Salzbergwerk von Hallstatt ist die älteste noch im Betrieb befindliche Salzmine der Welt, und durch die hohe Salzkonzentration in den Stollen und die konstante Temperatur von 8°C haben sich jahrtausendealte Überreste außergewöhnlich gut erhalten.

Auch menschliche Exkremate – „was die archäologische Stätte zu einer einzigartigen Schatzgrube für die Forschung macht,“ so die Wiener Archäologin Kerstin Kowarik. „Die Exemplare, die wir untersucht haben, sind nahezu perfekt konserviert – sie enthalten noch menschliche DNA, zudem DNA von Darmbakterien, sowie auch noch Proteine und Teile der gegessenen Nahrung“, erklärt der Mikrobiologe Frank Maixner vom Bozner Forschungszentrum Eurac Research.

In einer Probe aus der Eisenzeit entdeckte das Forscherteam zu seiner Überraschung größere Mengen zweier Pilzarten, *Penicillium roqueforti* und *Saccharomyces cerevisiae*, die für die Veredelung und Fermentierung von Lebensmitteln – in diesem Fall Blauschimmelkäse und Bier – verwendet werden. „Besonders spannend ist, dass wir aufgrund unserer Analysen klare Hinweise darauf haben, dass diese spezifischen Hefepilzvarianten nicht nur aus Zufall verwendet, sondern gezielt für die Bierherstellung gezüchtet und eingesetzt worden waren“, erzählt Maixner.

Die Forschenden liefern damit erstmals den Beweis auf molekularer Ebene, dass schon in der Eisenzeit komplex verarbeitete Nahrungsmittel eine größere Rolle spielten, als bislang angenommen wurde.



Abbildung: Zwei Exkrementen-Proben, die analysiert wurden. (© Frank Maixner Eurac Research)

Aus den Exkrementen konnte das Team durch mikroskopische und molekulare Untersuchungen nicht nur die Ernährung der Bergleute über 3.000 Jahre hinweg rekonstruieren – stark faserhaltig und kohlenhydratreich, ergänzt durch Proteine aus Bohnen und gelegentlich durch Früchte, Nüsse oder tierische Nahrung –, sondern auch erstaunlich genaue Aussagen über die Bakterienbesiedelung des Darms treffen, also über das Darmmikrobiom.

Die Verarmung des Mikrobioms durch den Lebensstil westlicher Industriegesellschaften wird von der Wissenschaft heute als ein wichtiger Faktor in Zusammenhang mit zahlreichen Krankheiten erkannt, wobei viele Aspekte aber noch unverstanden sind.

Studie: Maixner F, Sarhan MS, Huang KD et al: Hallstatt miners consumed blue cheese and beer during the iron age and retained a non-westernized gut microbiome until the baroque period. Curr Biol 31 23 (2021) 5149-5162

Quelle: Eurac Research, 13. Oktober 2021