Technologie lactosefreier Milchprodukte

Auch ohne Milchzucker wertvoll

Rund 10 Millionen Menschen leiden in Deutschland unter einer Milchzucker-Unverträglichkeit. Die Technologien zur Herstellung lactosefreier Produkte stehen prinzipiell schon seit Jahrzehnten zur Verfügung, die Anwendung hat gerade erst begonnen.

Mit einem Gehalt von etwa 4,7 % ist Lactose (Milchzucker) das hauptsächliche Kohlenhydrat der Kuhmilch; der Gehalt an Lactose variiert von Art zu Art sehr stark. Als minore Kohlenhydrate werden Glucose und Galactose sowie eine Reihe von Oligosacchariden und Zuckerderivaten nachgewiesen. Zusätzlich liegen Kohlenhydrate mit Proteinen konjugiert in Glykoproteinen der Milch vor (Schlimme und Buchheim, 1999). Der erste Schritt zum Lactoseabbau ist die Hydrolyse in die Monosaccharide Glucose und Galactose durch das Enzym β-Galactosidase. Etwa 75 % der Weltbevölkerung verlieren die Fähigkeit zur Synthese des Enzyms β-Galactosidase weitgehend im Laufe der Kindheit, als Erwachsene sind sie lactoseintolerant. Dass viele Europäer oder Menschen mit europäischer Abstammung auch als Erwachsene Milch verdauen können, ist die Folge einer zufälligen Genmutation vor etwa 7500 Jahren in Zentraleuropa, die dazu geführt hat, dass die β-Galactosidase auch

noch im Erwachsenenalter gebildet wird. Dennoch ist davon auszugehen, dass in Deutschland etwa 10 Millionen Menschen unter einer Milchzucker-Unverträglichkeit leiden (Peper, 2006). Die Bereitstellung lactosefreier Milch und Milchprodukte ist somit von besonderem Interesse.

Konsummilch und Milchpulver

Die Herstellung lactosefreier Milch erfolgt in Deutschland in der Regel als diskontinuierlicher Prozess mit direkter Enzymzugabe (Abb. 1, linke Seite). Pasteurisierte Milch wird nach Zugabe der β-Galactosidase bei Temperaturen unter 10 °C unter Rühren inkubiert. Eine Lactosehydrolyse ist auch bei 37 °C – allerdings mit wesentlich kürzerer Inkubationszeit – möglich. Als Enzyme werden überwiegend neutrale Lactasen aus *Saccharomyces (Kluyveromyces) marxianus var. lactis* oder *Bacillus circulans* eingesetzt. Wenn der Lactosegehalt < 0,1 g/100 g ist, wird die Milch einer weiteren Wärmebehandlung unterworfen und anschließend verpackt. Die Hydrolyse der Lactose macht Milch für lactoseintolerante Menschen zu einem ernährungsphysiologisch hochwertigen Lebensmittel und wichtigen Calciumlieferanten. Als Folge des Milchzuckerabbaues ist die Milch süßer, weil die Monosaccharide Galactose und Glucose eine höhere Süßkraft haben als Lactose. Die intensivere Süße ist nicht bei allen Verbrauchern beliebt (Adhikari et al., 2010). Im Falle der weiteren Verarbeitung der lactosehydrolysierten Milch zu Produkten wie Milchmischgetränken und fermentierten Milcherzeugnissen kann aufgrund der höheren Süße der Zusatz anderer Zucker deutlich reduziert und damit der Gesamtzuckergehalt von Milcherzeugnissen erheblich gesenkt werden. Im Verlauf des Milchzuckerabbaues findet neben der Hydrolyse auch eine Transgalactosylierung statt, die zur Bildung von Galactooligosacchariden (GOS) führt. Je nach eingesetzter Lactase werden 5 bis 10 % der Lactose in GOS umgesetzt (Novozymes 2010). Die Oligosaccharide werden im humanen Intestinum kaum hydrolysiert und weisen prebiotische Eigenschaften auf (Martinez-Villaluenga et al. 2008). Darüber hinaus wurde festgestellt, dass der Prozess zur Herstellung lactosefreier Milch zu einer verstärkten *Maillard*-Reaktion führt.

Ein weiteres Verfahren zur Produktion lactosehydrolysierter Milch beruht auf der sterilen Zugabe der β-Galactosidase zu UHT-erhitzer Milch und anschließender aseptischer Verpackung (Abb. 1, rechte Seite). Der Milchzuckerabbau findet bei diesem Verfahren während der Lagerung beziehungsweise Distribution in der verpackten UHT-Milch statt. Das Ausmaß der *Maillard*-Reaktion ist im Vergleich zum oben beschriebenen Verfahren geringer, allerdings verbleibt das Enzym in aktiver Form im Endprodukt.

Um die mit den relativ hohen Monosaccharidgehalten verbundenen chemisch-sensorischen Änderungen der Produkteigenschaften nach enzymatischer Lactosehydrolyse zu vermeiden, wurden – insbesondere von dem finnischen Molkereiunternehmen Valio Ltd – Verfahren zur weitgehenden Abtrennung der Lactose aus Milch entwickelt (Harju, 2004). Die EP 226035 B1 beschreibt ein chromatographisches Verfahren, bei dem die Inhaltsstoffe der Magermilch in ionische (Proteine, Salze) und nicht-ionische Stoffe (Lactose) getrennt werden. Das Verfahren ist relativ zeitaufwändig und komplex. Normalerweise verfügen Molkereien nicht über die entsprechenden Chromatographiegeräte (Shakeel-Ur-Rehman, 2009). In einem weiteren Patent (DE 60317057 T2) wird die Entfernung der Lactose aus Milch durch Einsatz mehrerer Membranverfahren dargestellt: Nach Ultrafiltration (UF) der Magermilch wird das erhaltene Permeat nanofiltriert

KURZ GEFASST

- 10 Mio. Menschen in Deutschland leiden unter Milchzuckerunverträglichkeit
- Verschiedene Verfahren zur Herstellung lactosefreier Produkte werden sukzessive angewendet
- Weniger Zuckerzusatz bei lactosehydrolisierter Milch

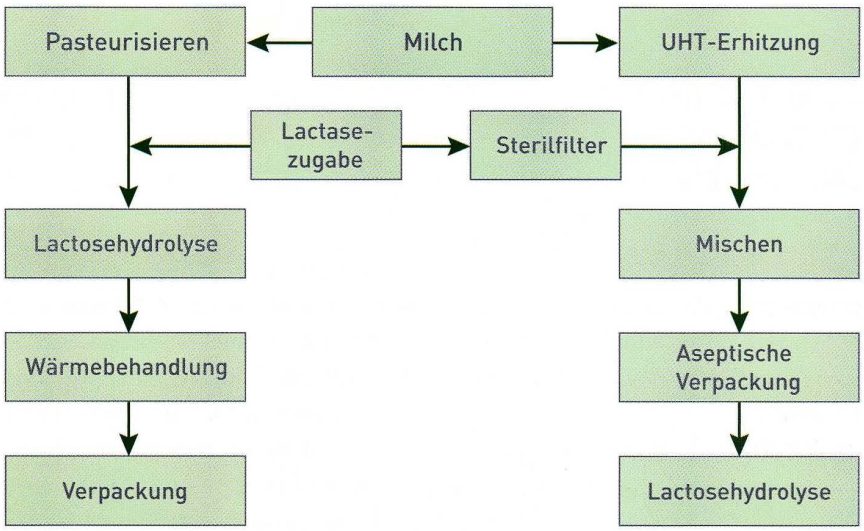
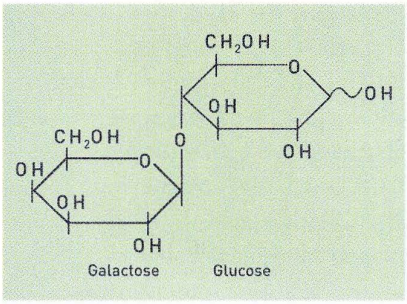


Abb. 1: Herstellungsverfahren lactosefreier Milch

(NF). Das NF-Permeat wird durch Umkehrosmose (RO) aufkonzentriert. Das RO-Retentat wird dem UF-Retentat der Magermilch zugegeben. Mit beiden Verfahren wird die Lactose nur partiell entfernt. Die Restlactose wird enzymatisch hydrolysiert. Beide Verfahren werden in Europa (Finnland, Schweiz) zur industriellen Herstellung lactosefreier Milch genutzt. Die Produkte werden als Milchdrink bezeichnet. Mit den Verfahren der Firma Valio Ltd können Restlactosegehalte von 0,01 g/100 g erreicht werden. Wird die Milch ausschließlich mit β-Galactosidase hydrolysiert, verbleiben Gehalte von 0,1 g/100 g Produkt. Für lactoseintolerante Verbraucher ist ein Lactosegehalt von 1 g pro Liter Milch völlig unproblematisch. Menschen, die an Galactosämie leiden, sollten aufgrund der Galactosegehalte auch auf den Verzehr lactosefreier Milch verzichten (EFSA 2010).

Zur Herstellung lactosereduzierter Milcherzeugnisse kann Magermilch zur weitgehenden Abtrennung der Lactose durch Ultrafiltration um den Faktor 4–5 aufkonzentriert werden. Eine enzymatische Hydrolyse der Restlactose ist möglich. Die UF-Retentate werden anschließend mit weiteren Zutaten versetzt, erhitzt und aseptisch verpackt. Zur Anwendung – insbesondere in der Weiterverarbeitung – werden die Konzentrate mit Trinkwasser verdünnt (EP 0 316 938 A2).



Strukturformel der Lactose

In Milchpulver aus enzymatisch lactosehydrolysierter Milch kommt es während der anschließenden Lagerung zu einer exponentiellen Beschleunigung der *Maillard*-Reaktion, die zu fast braunen Milchpulverprodukten führt. Durch Optimierung der Trocknungstechnologie sowie einer möglichst zeitnahen Weiterverarbeitung der Milchpulver zu Lebensmitteln kann das Ausmaß der *Maillard*-Reaktion in Grenzen gehalten werden. Wird die Lactose in der Ausgangsmilch durch Chromatographie- oder Membranfiltrationsverfahren weitgehend entfernt und die Restlactose enzymatisch hydrolysiert, ist das Ausmaß der *Maillard*-Reaktion im Milchpulver deutlich geringer. Während die *Maillard*-Reaktion in Milchpulver aus trophofunktionellen Gründen eher unerwünscht ist, führt sie andererseits zu deutlich verbesserten technofunktionellen Eigenschaften der resultierenden Produkte (Hiller und Lorenzen, 2010).

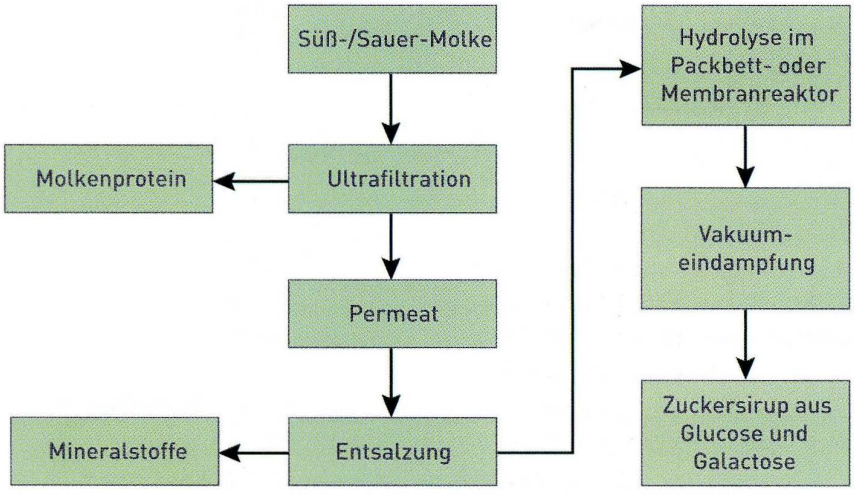


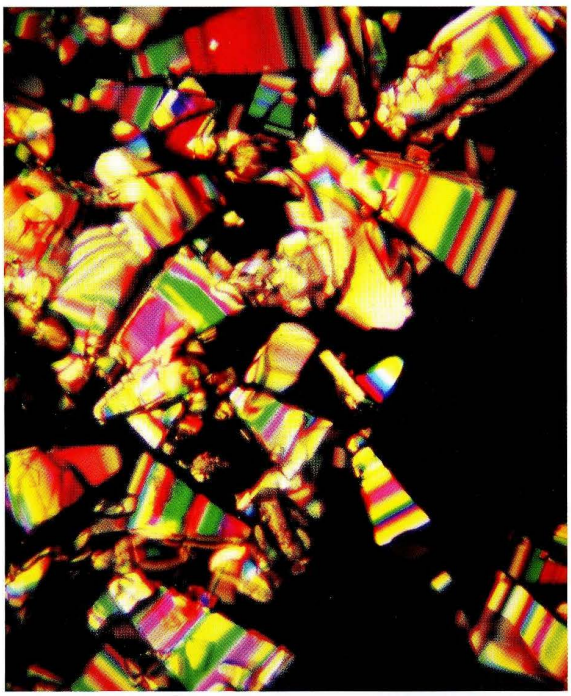
Abb. 2: Herstellung von Zuckersirup aus lactosehydrolysiertem Molkenpermeat

Milchprodukte

In der Herstellung von lactosefreiem Joghurt stehen prinzipiell zwei Verfahren zur Verfügung. Zum einen kann die Lactosehydrolyse – wie oben beschrieben – in der Ausgangsmilch vor der Fermentation erfolgen. Zum anderen ist es auch möglich, den Milchzuckerabbau und die Fermentation gleichzeitig durchzuführen (Baumgartner und Hinrichs, 2000). Um bei dem zweiten Verfahren eine ausreichende Lactaseaktivität zu gewährleisten, sollte die Inkubationstemperatur 40 °C nicht überschreiten. Unter einem pH-Wert von 5,7 nimmt die Aktivität der Lactase deutlich ab, so dass für die Hydrolyse im Rahmen der Fermentation nur ein limitierter Zeitraum zur Verfügung steht. Das Enzym-Substrat-Verhältnis muss entsprechend angepasst werden.

Zwar werden die Starterkulturen aufgrund ihrer Fähigkeit, Lactose zu fermentieren, ausgewählt, dennoch scheint die Spaltung der Lactose in die Monosaccharide der reaktionsbegrenzende Faktor zu sein (Peper, 2006). Durch den Abbau des Milchzuckers wird das Wachstum der Joghurtkulturen stimuliert, die Säuerung verläuft in lactosehydrolysierter Milch entsprechend schneller ab. Zwischenzeitlich stehen auch Joghurtkulturen zur Verfügung, die an lactosehydrolysierter Milch als Substrat adaptiert sind.

Mit entsprechend angepassten Verfahren werden weitere lactosefreie Milchprodukte wie Milchmischerzeugnisse, Frischkäse, Käse, Sahne und Butter produziert. In der Herstellung von Eiskrem wird durch die Hydrolyse eine Kristallisation der Lac-



Tomahawk-Kristalle in α-Lactose-Monohydrat

tose verhindert und eine leichtere Portionierbarkeit erreicht (Shakeel-Ur-Rehman, 2009).

Zuckersirup aus hydrolysierter Lactose

Im Jahr 2009 sind in Deutschland rund 12 Mio. Tonnen Molke angefallen. Nur etwa 50 % davon werden gegenwärtig zur Lebensmittelherstellung genutzt. Hier bietet sich ein großes Potenzial zur Herstellung von Zuckersirupprodukten für die Weiterverarbeitung. Zur Herstellung von Zuckersirup wird Molke ultrafiltriert (Abb. 2). Das Molkenpermeat enthält 40–50 g/l Lactose. Nach Abtrennen der Milchsalze durch Ionenaustausch, Elektrodialyse oder Nanofiltration erfolgt die Hydrolyse der Lactose mit immobilisierten Enzymen im Packbett- oder Membranreaktor. Mit Hilfe der Vakuumeindampfung wird der Zuckersirup auf 60 bis 65 % Trockensubstanz konzentriert (Law 2010, Shakeel-Ur-Rehman 2009, Kulbe 2002). Die Anwendungsmöglichkeiten für Zuckersirupe aus Molkenpermeat mit variierenden Gehalten an Mineralstoffen sind vielfältig. So eignen sich teilentmineralisierte Produkte in der Eiskremherstellung zur Einstellung einer definierten Gefrierpunkterniedrigung und Süße. Weitere Einsatzmöglichkeiten liegen im Getränkebereich sowie im Süß- und Backwarenbereich (Law 2010, Thomet et al. 2004, Mahoney 1997).

Fazit

Die Hydrolyse und/oder Abtrennung des Milchzuckers macht Milch und lactosereiche Milchprodukte für lactoseintolerante Menschen zu ernährungsphysiologisch hochwertigen Lebensmitteln und wichtigen Calciumlieferanten. Andere, üblicherweise Milchzucker enthaltende Lebensmittel werden für lactoseintolerante Menschen verfügbar, wenn zu ihrer Herstellung hydrolysierte Lactose eingesetzt wird. In der Weiterverarbeitung lactosehydrolysierter Milch zu Produkten wie Milchmischgetränken und fermentierten Milcherzeugnissen kann aufgrund der höheren Süße der Zusatz anderer Zucker deutlich reduziert, und damit der Gesamtzuckergehalt von Milcherzeugnissen erheblich gesenkt werden.

Darüber hinaus bieten sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der Lebensmittelherstellung. Die Technologien zur Herstellung lactosefreier Milch und Milchprodukte stehen prinzipiell schon seit Jahrzehnten zur Verfügung, die Anwendung hat gerade erst begonnen.

Literatur:

- Adhikari, K., Dooley, L.M., Chambers, E., Bhumiratana, N.: Sensory characteristics of commercial lactose-free milks manufactured in the United States. LWT-Food Science and Technology 43 113-118 (2010).
- Baumgartner, C. und Hinrichs, J.: Süße Produkte ohne Zuckerzusatz. dmz-Deutsche Molkereizeitung 121 (15) 635-639 (2000).
- Baumgartner, C., Hinrichs, J.: Einsatz von Lactasen in fermentierten und gesäuerten Milchprodukten. Deutsche Milchwirtschaft 51 (19) 824-826 (2000).
- EFSA Journal 2010, 8(9):1777: Scientific Opinion on lactose thresholds in lactose intolerance and galactosaemia (2010).
- Harju, M.: Chromatographic and enzymatic removal of lactose from milk. In: Bulletin of the International Dairy Federation 389 (2004).
- Harju, M.: Process for the specific separation of lactose from milk. EP 226035 B1 (1990).
- Herning, A., Lorenzen, P.Chr., Lassleben, K.: „Milk concentrate and process for the preparation thereof". (EP 0 316 938 A2) (1989).
- Hiller, B. und Lorenzen, P.Chr.: Functional properties of milk proteins as affected by Maillard-reaction induced oligomerisation. Food Research International 43 1155-1163 (2010).
- Kulbe, K.D.: Neue Verwendungsmöglichkeiten für Lactose durch enzymatische Umwandlung. dmz-Deutsche Molkereizeitung 123 (9) 28-34 (2002).
- Law, B.A.: Enzymes in dairy product manufacture. In: Enzymes in Food Technology (Eds. R.J. Whitehurts, M. van Ort), Wiley-Blackwell, UK (2009).
- Mahoney, R.R.: Lactose: Enzymatic Modification. In: Advanced Dairy Chemistry, Vol. 3, (ED. P.F. Fox), Chapman & Hall, London (1997).
- Martinez-Villaluenga, C., Cardelle-Cobas, A., Corzo, N., Olano, A.: Study of galactooligosaccharide composition in commercial fermented milks. Journal of Food Composition and Analytic 21 540-544 (2008).
- Novozymes Produktbroschüren 2010.
- Peper, M.: Lactosereduzierte fermentierte Milchprodukte. Deutsche Milchwirtschaft 57 (14) 583-585 (2006).
- Schlimme, E. und Buchheim, W.: Milch und ihre Inhaltsstoffe. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen (1999).
- Shakeel-Ur-Rehman: Reduced lactose and lactose-free dairy products. In: Advanced Dairy Chemistry, Volume 3, Springer Science + Business Media, New York (2009).
- Thomet, A., Rehberger, B., Wyss, B., Bisig, W.: Sugar syrup from dairies for the food industry. European Dairy Magazine 16 30-33 (2004).
- Tossavainen, O., Sahlstein, J.: Verfahren zur Herstellung eines lactosefreien Milchprodukts. DE 60317057 T2 (2008).
- Zeit online vom 31. August 2009.

Autor: Peter Chr. Lorenzen
Max Rubner-Institut (MRI) Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,
Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch, Kiel
E-Mail: peter-christian.lorenzen@mri.bund.de