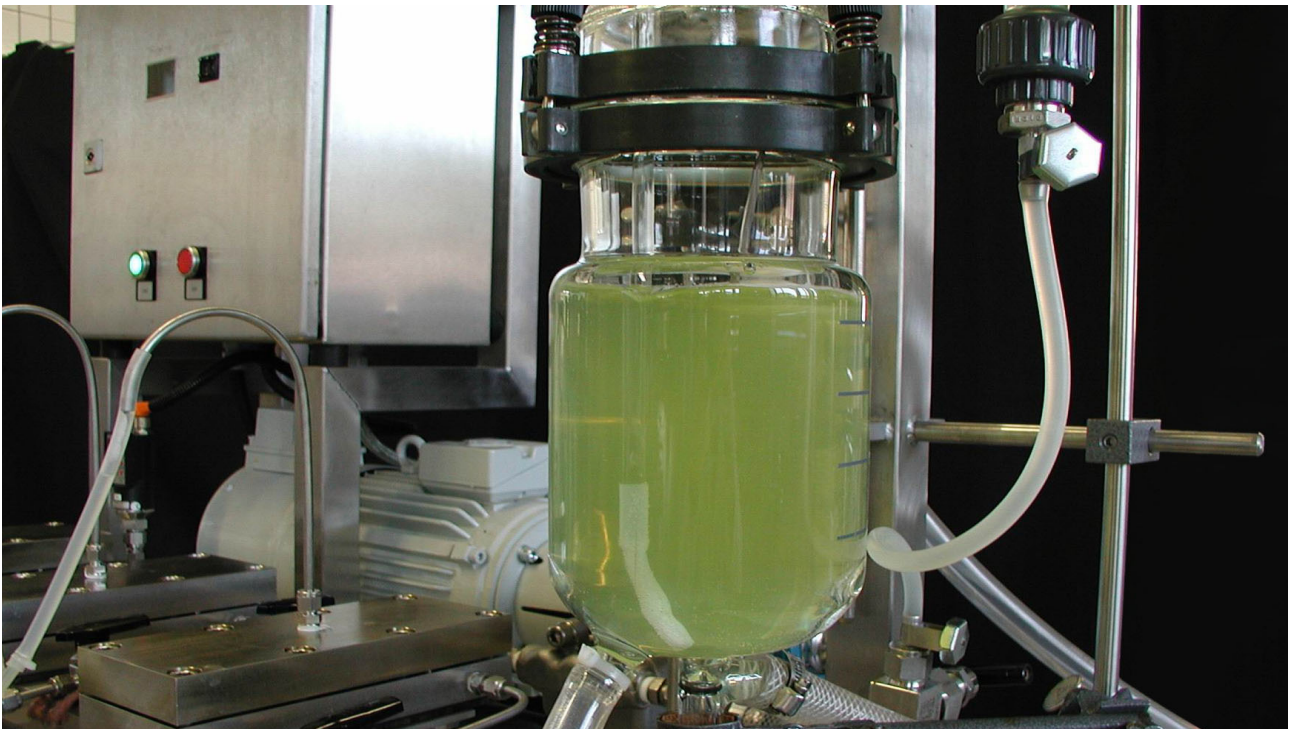


ALP science 2004, Nr. 477

GEWINNUNG VON ZUCKERSIRUP AUS MILCHSERUM

Technisch-wissenschaftliche Informationen



Inhalt

Zusammenfassung	3
Membrantrennverfahren in der Milchwirtschaft	3
Einsatzbereich der Nanofiltration	4
Gewinnung von Zuckersirup	4
Hydrolyse von Lactose	5
Lactose-Hydrolyse ist vielversprechend	6
Nanofiltration zur Gewinnung von Zuckersirup	6
Ein Prozess in vier Teilschritten	8
Einsatzmöglichkeiten der hergestellten Produkte	9
Literaturverzeichnis	10
Résumé	10
Summary	10

ALP science
(vormals FAM Info)

Titelbild

Zuckersirupgewinnung aus Milchserum

Erschienen in:

Agrar Forschung 11 (8), S. 348–353, 2004

Autoren

Andreas Thomet und Brita Rehberger (Agroscope Liebefeld-Posieux)

Bernhard Wyss und Walter Bisig (Schweiz. Hochschule für Landwirtschaft)

Herausgeber

Agroscope Liebefeld-Posieux

Eidg. Forschungsanstalt

für Nutztiere und Milchwirtschaft (ALP)

Schwarzenburgstrasse 161

CH-3003 Bern

Telefon +41 (0)31 323 84 18

Fax +41 (0)31 323 82 27

http: www.alp.admin.ch

e-mail: science@alp.admin.ch

Kontakt Rückfragen

Andreas Thomet

e-mail andreas.thomet@alp.admin.ch

Telefon +41 (0)31 323 26 52

Fax +41 (0)31 322 86 16

Gestaltung

Helena Hemmi (Konzept), Müge Yildirim (Layout)

Erscheinung

Mehrmals jährlich in unregelmässiger Folge

ISSN 1660-7856 (online)

GEWINNUNG VON ZUCKERSIRUP AUS MILCHSERUM

In der Schweizer Milchwirtschaft sind für die wirtschaftlich und ökologisch sinnvolle Verwertung von Nebenprodukten wie Molke und Ultrafiltrations-Permeat (UF-Permeat) neue Lösungen gefragt. Eine mögliche Schlüsseltechnologie zur Verbesserung der aktuellen Situation stellt dabei die Nanofiltration (NF) dar. Der Einsatz der Nanofiltration ermöglicht die Gewinnung von Zuckerlösungen aus UF-Permeat oder Molke.

Die von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Nutztiere und Milchwirtschaft (ALP) und der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft (SHL) im Labormasstab durchgeführten Arbeiten stellen ein neues Verfahren vor, das eine Kombination der NF-Technologie mit der Lactosehydrolyse darstellt und aus vier Teilschritten besteht: Vorkonzentrierung und partielle Demineralisierung von Milchserum; Pasteurisation; kontinuierliche, enzymatische Hydrolyse der Lactose sowie Trennen und Konzentrieren von Zuckersirup und Mineralsalzlösungen.

Durch eine mehrfache Verwendung des Enzyms wird die Wirtschaftlichkeit des Prozesses deutlich verbessert.

In der Schweiz fallen jährlich rund 1.3 Mio. Tonnen an Molke oder UF-Permeat als Nebenprodukte an (Studie Bleiker, 2002).

Diese Nebenprodukte sind reich an wertvollen Inhaltsstoffen, ihnen sollte daher aus wirtschaftlichen Gründen besondere Beachtung geschenkt werden (Rehberger und Thomet, 2003). Die Nanofiltration stellt dabei eine interessante Schlüsseltechnologie dar (Rehberger et al., 2003), die Wertschöpfung in der Milchprodukteherstellung zu erhöhen.

Membrantrennverfahren in der Milchwirtschaft

Unter Membrantrennverfahren versteht man die Trennung von Stoffen aus flüssigen Systemen in Abhängigkeit der Stoffgrösse entsprechend der Porenweite der Membranen.

Obwohl Membranprozesse beim Stoffaustausch in der Natur eine zentrale Rolle spielen, wird diese Technik erst seit etwa 25 Jahren in der Lebensmittelindustrie für Trennaufgaben angewendet. In der schweizerischen Milchwirtschaft werden Membranverfahren hauptsächlich zur Proteingewinnung, zur Weich- und Frischkäseherstellung sowie zur Molkenkonzentrierung eingesetzt.

In Abhängigkeit der Porenweite der Membranen werden Mikrofiltration (MF), Ultrafiltration (UF), Nanofiltration (NF) und Umkehrosmose (RO) unterschieden. Im Schnittbereich der RO und der UF ist die Nanofiltration anzusiedeln (Abb.1).

Abb. 1: Einsatzbereich der Membrantrennverfahren

Mikrometer (log-Skala)	Elektronisches Mikroskop		Optisches Mikroskop		Von Auge erkennbar	
	Ionenbereich	Molekularbereich	Makromolekularbereich	Mikropartikelbereich	Makropartikelbereich	
	0.001	0.01	0.1	1.0	10	100
Molekulargewicht (Da)	200	20.000	200.000	2.000.000		
Relative Grösse der typischen Bestandteile	Ionen Salze Laktose	β -Lactoglobulin α -Lactalbumin	Immunoglobuline Kaseinmizellen	Fettkügelchen Hefen, Schimmelpilze Bakterien		
Trennverfahren	Umkehrosmose	Ultrafiltration		Nanofiltration	Mikrofiltration	Herkömmliche Filtration

Einsatzbereich der Nanofiltration

Die Umkehrosmose dient der Aufkonzentrierung der Inhaltsstoffe von Flüssigkeiten. Durch die äusserst engporige Membran können im Idealfall nur Wassermoleküle passieren, alle gelösten und suspendierten Stoffe werden zurückgehalten. Der Übergang von der Umkehrosmose zur Nanofiltration ist fließend. Die Nanofiltrationsmembran ist als eine spezielle RO-Membran anzusehen. Einfach geladene Ionen können dabei die Membran passieren, während mehrfach geladene Ionen und grössere Moleküle von der Membran zurückgehalten werden. Die NF eignet sich also zur teilweisen Entmineralisierung von Lösungen bei einer gleichzeitigen Entwässerung.

Die Anwendungsgebiete der Nanofiltration sind in der Lebensmittelindustrie sehr vielfältig, wie :

- Gewinnung von Lactoselösungen aus UF-Permeat
- Teilentsalzung bei gleichzeitiger Aufkonzentrierung von Molke oder UF-Permeat
- Gewinnung von Lactosederivaten in Kombination mit Fermentationsprozessen
- Gewinnung bioaktiver Peptide
- Vorbehandlung von Molke zur Herstellung von entmineralisierten (90% und mehr) Molkenprodukten mittels Ionenaustauschern
- Gewinnung von Quark-ähnlichem Frischkäse aus dem NF-Retentat von Milch

Gewinnung von Zuckersirup

Die Gewinnung von Zuckersirup aus UF-Permeat durch eine Kombination der Nanofiltrationstechnologie mit der Lactosehydrolyse im Labormassstab war Ziel der an ALP durchgeführten Arbeiten. Als Zuckersirup wird die Lösung aus einem Gemisch der Monosaccharide Glucose und Galactose sowie Reste von Lactose verstanden. UF-Permeat weist eine Trockensubstanz (TS) von rund 55 g/kg auf, wovon die Lactose mit ca. 85% den Hauptanteil ausmacht (Tab. 1). Neben der Lactose ist das UF-Permeat reich an monovalenten Anionen (Cl⁻), bi- oder polyvalenten Anionen (Phosphate), monovalenten Kationen (K⁺, Na⁺) sowie bivalenten Kationen (Ca²⁺, Mg²⁺). Kalzium, Phosphor sowie Zitronensäure können sowohl echt wie auch komplex gelöst (Ca-Phosphat, Ca-Zitrat) auftreten.

Inhaltsstoff	Konzentration g/kg
Trockensubstanz (TS)	55.0
Lactose	47.0
Mineralstoffe (Asche)	4.95
Kalzium (Ca)	0.22
Phosphor (P)	0.35
Zitrat (Zi)	1.60
Kalium (K)	1.50
Chlorid (Cl)	0.96
Natrium	0.34

Tab. 1: Typische chemische Zusammensetzung von UF-Permeat (Analysen, ALP)

Terminologie der Membrantrenntechnik

Membran: Nach Definition ist eine Membran eine Struktur, die eine Barrierefunktion bei aktivem oder passivem Stofftransport ausübt. Es existieren sowohl dünne (Flächenfilter) wie auch dicke (Tiefenfilter) Membranen, wobei in der Lebensmittelindustrie vorwiegend Flächenfilter zur Anwendung gelangen.

Retentat: Die von der Membran zurückgehaltene Phase, wird auch als Konzentrat bezeichnet.

Permeat: Die Membranpassierende Phase, wird auch als Filtrat bezeichnet.

Flux: Die Leistungsfähigkeit der Membran, wird in Liter Permeat pro m² Membran pro Stunde angegeben.

Dalton (Da): Einheit des Molekulargewichtes

Abb. 2: Hydrolyse der Lactose (Hediger, 1985).

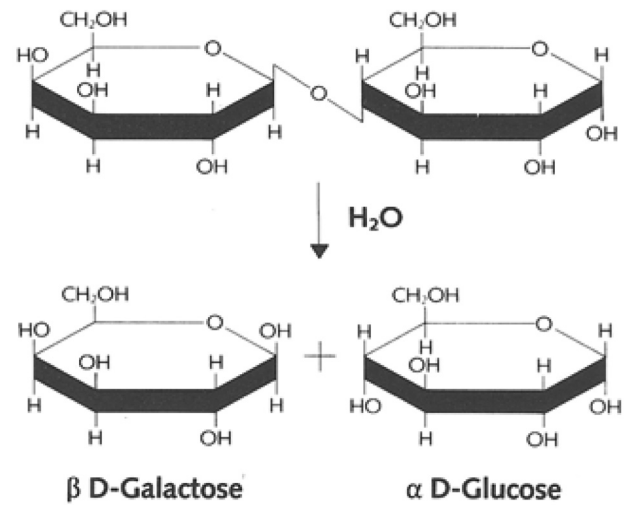
Hydrolyse von Lactose

Das Hauptkohlenhydrat der Milch ist die Lactose, auch als Milchzucker bezeichnet. Lactose ist ein Disaccharid, das aus den Monosacchariden D-Glucose und D-Galactose besteht, welche β -glykosidisch über eine 1–4 Bindung miteinander verknüpft sind (Hermann, 1985). Die Spaltung von Lactose kann chemisch oder biochemisch (enzymatisch) unter Addition eines Wassermoleküls erfolgen (Abb. 2).

Die Umwandlung der Lactose in Glucose und Galactose ist für den Einsatz in der Lebensmittelindustrie von grossem Interesse: Die Süßkraft wird durch die Hydrolyse ohne Zunahme des Kaloriengehaltes etwa um den Faktor 2 gesteigert. Zudem ist die Löslichkeit der beiden Monosaccharide wesentlich höher als die von Lactose, dadurch können hochkonzentrierte Sirupe hergestellt werden, die nicht auskristallisieren und aufgrund des tiefen a_w -Wertes (Wasseraktivität) mikrobiologisch stabil sind. Ein idealer Bereich liegt zwischen 55–65% Trockensubstanz. Durch die Spaltung der Lactose wird das Problem der Lactoseintoleranz entschärft. Im Gegensatz zu Lactose kann Glucose im menschlichen Körper direkt resorbiert werden und für Galactose bestehen bessere Abbaumöglichkeiten.

Zur Spaltung der Lactose wird das Enzym β -D-Galactosidase benötigt. Der Vorteil der enzymatischen Spaltung gegenüber der chemischen Hydrolyse ist die hohe Spezifität des Enzyms. Es entstehen dabei praktisch keine Nebenprodukte, zudem sind die Reaktionsbedingungen sehr mild (Hediger, 1985). Die Temperaturen liegen in der Regel zwischen 35–60°C und der pH-Wert zwischen 3.0–7.3. In der Milchwirtschaft finden bisher hauptsächlich die β -D-Galactosidasen aus *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Kluyveromyces fragilis* und *Kluyveromyces lactis* Anwendung (Wyss, 2003). Neben pH-Wert und Temperatur haben auch andere Faktoren wie Enzymkonzentration, Substratkonzentration, Inkubationszeit sowie gewisse Inhibitoren und Kofaktoren einen Einfluss auf

Lactose



die Enzymaktivität. Geringe Mengen an Kalium, Phosphat, Mangan oder Magnesium sollen sich dabei positiv auswirken. Als Inhibitoren hingegen wirken einige Schwermetalle wie Kupfer, Zink oder Quecksilber sowie Kalzium, Natrium und die freiwerdende Galactose (Hermann, 1985). Die Enzympräparate können sowohl in gelöster wie auch in immobilisierter Form mittels verschiedener Anwendungsmethoden eingesetzt werden.

Den Vorteilen der einfachen Dosierung und Anwendung gelöster Enzyme stehen verschiedene Nachteile gegenüber: Das Enzym bleibt im Produkt und muss am Ende der Reaktion hitzeinaktiviert werden. Die Wiederverwendung des Enzyms ist bisher wenig entwickelt und die hohen Enzympreise verteuern das Verfahren mit gelösten Enzymen enorm, zudem limitieren Inhibierungsvorgänge gewisser Stoffen die Reaktion stark. Ein Vergleich der Enzymaktivität bei gleichzeitiger Milieuo-optimierung ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

Enzym	pH	Temperatur [°C]	Dosierung [g/100 g]	Aktivität [U/g Enzym-lösung]
Maxilact® L2000	6.4	37	1.0	101
	6.6	37	1.0	144
Maxilact® LX5000	6.4	37	1.0	221
	6.6	37	1.0	333
Lactase L017P	4.5	54	1.0 *	101
	5.0	54	1.0 *	102

Tab. 2: Vergleich der Enzymaktivitäten verschiedener β -D-Galactosidase-Präparate bei unterschiedlichem pH-Wert in 5%-iger (w/w) Lactoselösung

*Enzymlösung (c = 2 g/100 g), hergestellt aus pulverförmiger β -D-Galactosidase

Lactose-Hydrolyse ist vielversprechend

Ziel der durchgeführten Versuche war, eine Mehrfachverwendung der Enzympräparate zu erreichen, um die Wirtschaftlichkeit des Prozesses damit deutlich zu verbessern.

Nach einer Lactose-Hydrolyse im Batch-Modus während zwei Stunden wurde in den durchgeführten Versuchen die β -D-Galactosidase in einem semi-kontinuierlichen Ultrafiltrations-Prozess während 8 Stunden und 10 Minuten im Retentat zurückgehalten, um durch eine stetige Zufuhr von UF-Permeat eine Mehrfachverwendung des Enzympräparats zu erreichen. Durch die Einstellung einer Durchflussrate von konstant 0.5 l/h verbleiben die Lactose-Moleküle während zwei Stunden im System.

Nach der zweistündigen Reaktionszeit im Batch-System betrug der Hydrolysegrad der Lactose 91.3%. Im semi-kontinuierlichen Prozess wurde das Enzym vierfach genutzt. Im Verlauf der Filtration wurde im Permeat zunächst eine Abnahme der Monosaccharid-Konzentration und eine Zunahme der Lactosekonzentration (Abb. 3) beobachtet. Dies ist auf Stabilisierungseffekte des Systems nach Beginn der Zufuhr frischer Ausgangslösung zurückzuführen sowie auf den anfänglichen Permeatfluss, der über dem Soll-Wert von 0.5 l/h lag, was eine kürzere Aufenthaltsdauer der Lactose im Reaktionsbehälter bedingte.

Nanofiltration zur Gewinnung von Zuckersirup

Bei der Gewinnung von Zuckersirup aus UF-Permeat stehen folgende Hauptkriterien an das Produkt respektive an den Prozess im Vordergrund: die Zuckerausbeute im Produkt sollte möglichst hoch sein, die Entmineralisierung der Zuckerlösung sollte sich möglichst ausgeprägt zeigen und ein hoher Permeat-Flux ist bei der NF wünschenswert. In früheren an ALP durchgeführten Arbeiten (Rehberger et. al. 2002) zur partiellen Entmineralisierung von UF-Permeat mittels NF-Techniken wurden mehr als 50% der Mineralstoffe bei hohen Permeatflux-Werten eliminiert.

Die zusätzlich durchgeführten Nanofiltrationen zeigten den Einfluss des Konzentrationsfaktors (c_v) auf die Retention der verschiedenen Inhaltsstoffe. Die Retention ist nicht für jeden der analysierten Stoffe gleich gross. Die Retention der Monosaccharide blieb, trotz Erhöhung des Konzentrationsfaktors von 2.0 auf 4.0 relativ konstant auf tiefem Niveau. Bei Galactose war mit zunehmendem Konzentrationsfaktor sogar ein leichter Abfall der Retention zu beobachten. Ebenfalls einen verhältnismässig kleinen Einfluss scheint der Konzentrationsfaktor auf die Retention von Kalium, Natrium, Chlorid und Nicht-Protein-Stickstoff zu haben. Anders sieht es jedoch für Lactose, Asche, Phosphor, Kalzium und Zitrat aus.

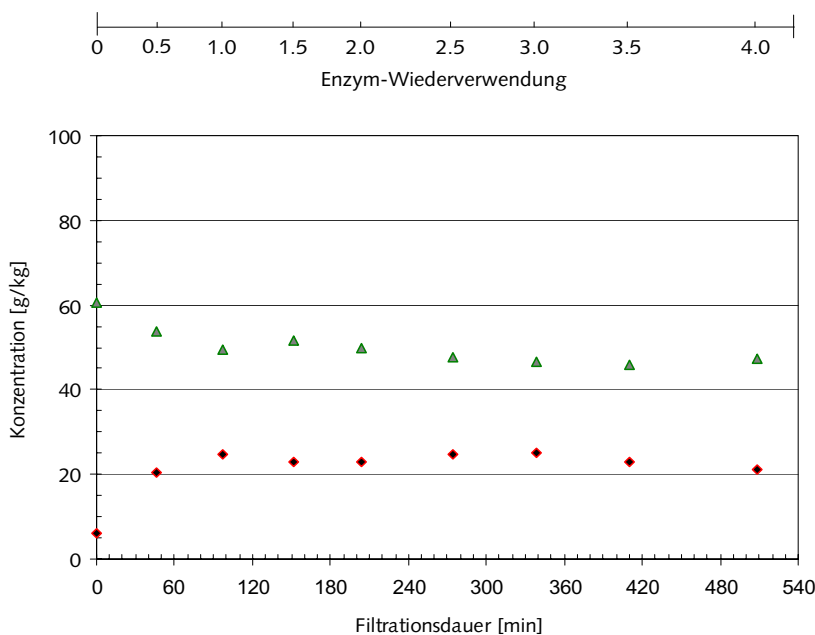


Abb. 3: Verlauf der Zuckergehalte während der kontinuierlichen Lactose-spaltung.

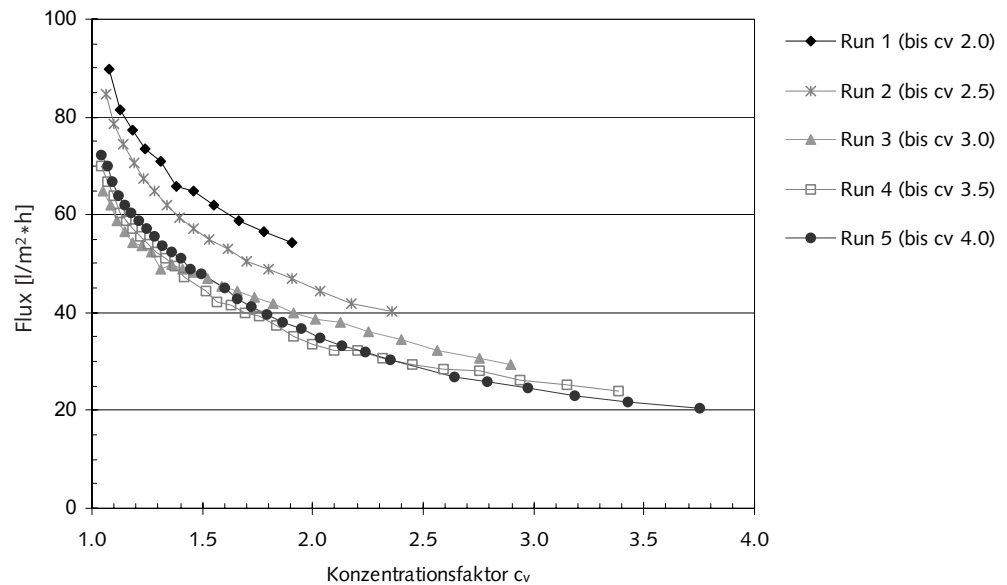
▲ Summe Glucose +Galactose
 ◆ Lactose
 Filtrationsbedingungen:
 Membran: NTU-2120
 Temperatur: 37°C
 pH-Wert: 6.6
 TMP: variabel
 Feed: Pasteurisation 80°C / momentan
 TS: 95.1 g/kg

Die höchsten Retentions-Werte traten für Lactose, Asche und Zitrat bei einem Konzentrationsfaktor von 3.0 sowie für Phosphor und Kalzium bei $c_v = 3.5$ auf.

Durch eine Erhöhung des Konzentrationsfaktors wurde im hydrolysierten NF-Permeat neben der Reduktion von polyvalenten Salzen auch eine Steigerung der Zuckerausbeute erzielt, was v.a. auf die Reduktion der Retentat-Menge zurückzuführen ist. Bei einem Konzentrationsfaktor von 3.5 wurden ohne Diafiltration Ausbeuten an Glucose und Galactose von knapp 60% (w/w) erreicht (Tab. 3).

Die bei der Nanofiltration erzielten Permeat-Flux-Werte lagen in einem Bereich von 20 bis 90 $l/m^2 \cdot h$ (Abb. 4). Während die Anfangswerte zwischen 65 und 90 $l/m^2 \cdot h$ betragen, nahmen sie mit zunehmendem Konzentrationsfaktor und zunehmender Filtrationsdauer ab. Der Flux wurde dabei zu Beginn stärker reduziert als im weiteren Verlauf der Filtrationen, was sich in den in Abb. 4 aufgeführten abflachenden Flux-Kurven widerspiegelt. Bei einem Konzentrationsfaktor von 3.5 wurde immer noch ein Flux von ca. 20 $l/m^2 \cdot h$ erreicht.

Abb. 4: Verlauf des Permeat-Flux bei Nanofiltrationen (Membran NTR-7410, 50°C, 20 bar, pH 6,6) von hydrolysiertem und pasteurisiertem (80°C/momentan) UF-Permeat-Konzentrat unterschiedlicher Konzentrationsfaktoren.

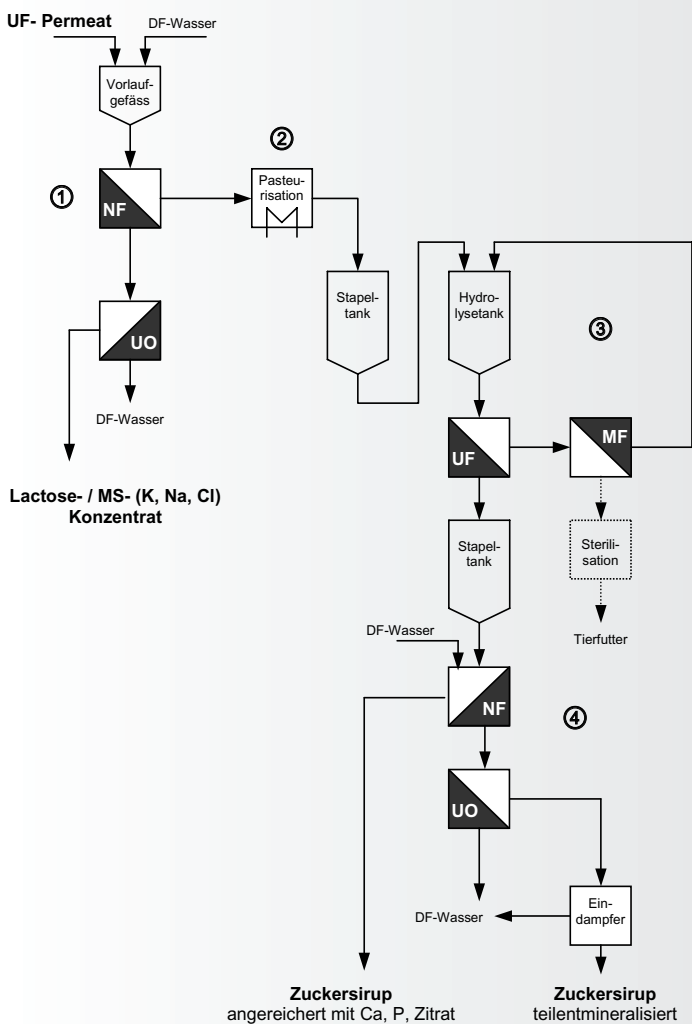


Ein Prozess in vier Teilschritten

Vier Prozessschritte bilden dabei die Hauptstruktur eines möglichen Verfahrens zur Gewinnung von Zuckersirup aus UF-Permeat: eine erste Nanofiltration, die Pasteurisation des UF-Permeats, die kontinuierliche Lactose-Hydrolyse sowie

ein zweiter Nanofiltrations-Schritt (Abb. 5). Dabei entsteht der gewünschte teilentmineralisierte Zuckersirup. Die beiden anderen Halbfabrikate sind mineralstoffreiche Nebenprodukte, welche möglichst wenig Zuckerverluste ausweisen sollten.

Abb. 5: Mögliches Produktionsschema zur Gewinnung von Zuckersirup aus UF-Permeat.



Schritt 1: Konzentrierung und partielle Demineralisierung von Milchserum mittels Nanofiltration

Die Vorbehandlung dient der Teilentmineralisierung und Aufkonzentrierung des UF-Permeats. Dabei wird die Reinheit des Zuckersirups durch Abtrennung von monovalenten Ionen erhöht und das Hydrolysevolumen stark reduziert.

Schritt 2: Pasteurisation

Die Pasteurisation des NF-Retentats dient der Verbesserung der mikrobiologischen Stabilität des Prozesses. Des Weiteren werden durch die thermische Behandlung die polyvalenten Salze (Ca, P, Zitate) zum Teil aus der Lösung ausgefällt, was bei der zweiten Nanofiltration die Trennung der Salze von den Einfachzuckern verbessert und damit bessere Entmineralisierungswerte und steigende Fluxwerte resultieren.

Schritt 3: Kontinuierliche, enzymatische Hydrolyse der Lactose

Die kontinuierliche Lactose-Hydrolyse ist ein wichtiger Schritt zum wirtschaftlichen Erfolg des Verfahrens. Der Einbau einer Ultrafiltrationsstufe ermöglicht eine mehrfache Verwendung der teuren Enzympräparate. Zur Verhinderung eines mikrobiologischen Wachstums im System während der Hydrolyse, ist ein zusätzlicher Einbau einer Mikrofiltrationsmembran zwischen Ultrafiltration und Hydrolysetank sinnvoll.

Schritt 4: Trennen und Konzentrieren von Zuckersirup und Mineralsalzlösungen

Die Abtrennung der Monosaccharide Glucose und Galactose von den polyvalenten Salzen (Zitrat, Ca, P) und von der Lactose erfordert nach der Hydrolyse eine zweite Nanofiltration. Durch eine Diafiltration des Retentates, können weitere Zuckermoleküle (Glucose und Galactose) ausgewaschen werden, was die Zuckerausbeute im Permeat verbessert. Eine enzymatische Spaltung der Restlactose vor der Umkehrosiose (UO) würde die Reinheit des Zuckers weiter verbessern, den Prozess jedoch verteuern.

Einsatzmöglichkeiten der hergestellten Produkte

Die drei aus dem vorgeschlagenen Produktionsprozess resultierenden Zuckerkonzentrate, der teilentmineralisierte Zuckersirup, der Mineralstoff-angereicherte Zuckersirup und das Lactose-/Mineralstoff-Konzentrat, unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung und damit auch in ihren Einsatzmöglichkeiten.

Eine vollständige Trocknung der Zuckerkonzentrate würde den Herstellungsprozess verteuern und zusätzliche Kristallisationsprobleme mit sich bringen. Die Konzentrate eignen sich daher für den Einsatz in flüssigen bis konzentrierten Erzeugnissen sowie aufgrund des «Molkengeschmacks», den Produkte auf Molken- oder UF-Permeat-Basis häufig aufweisen, für den Einsatz in aromatisierten Lebensmitteln.

Die Einsatzmöglichkeiten für die verschiedenen Zuckerkonzentrate erweisen sich als vielfältig (Tab. 4). Für teilentmineralisierten Zuckersirup scheint Speiseeis einen idealen Einsatzbereich darzustellen. Mit dem Gemisch aus Glucose, Galactose und Lactose kann eine gewünschte Gefrierpunk-

terniedrigung im Speiseeis sowie die Süsse eingestellt werden. Weitere Anwendungsmöglichkeiten des teilentmineralisierten Zuckersirups liegen im Getränkebereich, bei Saucen und weiteren gesüßten Lebensmitteln. Der Zuckersirup dient dabei in erster Linie zur Süßung als Ersatz von Saccharose oder von aus Stärke hergestelltem Glucose-Sirup.

Die Anwendung des Mineralstoffangereicherten Zuckersirups ist aufgrund des höheren Mineralstoffgehaltes in gesalzenen oder gewürzten Produkten vorzuziehen. Der Sirup ist reich an polyvalenten Mineralstoffen und bietet sich daher u.a. als Komponente zur Einstellung der Schmelzeigenschaften im Schmelzkäsebereich an. Das Lactose-/Mineralstoff-Konzentrat könnte beispielsweise als Fermentationssubstrat, bei der Herstellung von Wurstwaren oder als Futtermittel-Zusatz Verwendung finden.

Über einen möglichen Absatz der Produkte aus UF-Permeat wird massgeblich der Preis entscheiden. Der Verkaufspreis des Zuckersirups pro kg Trockensubstanz darf daher nicht über dem Preisniveau von Saccharose oder Glucose-Sirup liegen.

Tab. 4: Auswahl möglicher Einsatzgebiete für teilentmineralisierten Zuckersirup, mineralsalzreichen Zuckersirup und für ein Lactose-/Mineralsalz-Konzentrat.

Zuckersirup (teilentmineralisiert)	Zuckersirup (mineralsalzreich)	Lactose- / Mineralsalz- Konzentrat
<u>Milchprodukte:</u> Speiseeis Dessertprodukte aromatisierte Milchdrinks Joghurt- / Quarkgrundstoff	<u>Milchprodukte:</u> ev. Speiseeis Kalziumangereicherte Produkte aromatisierte Milchdrinks	<u>Diverses:</u> Wurstwaren Fermentationssubstrat Futtermittel Pet-Food
<u>Getränke:</u> Milchserumgetränke isotonische Sportgetränke aromatisierte Limonaden	<u>Getränke:</u> Milchserumgetränke isotonische Sportgetränke aromatisierte Limonaden	
<u>Saucen:</u> Salatsaucen Ketchup Mayonnaise / Senf Dip-Saucen	<u>Saucen:</u> Salatsaucen Ketchup Mayonnaise / Senf Dip-Saucen	
<u>Diverses:</u> Fruchtsirup Konfitüren Hustensäfte Fertigsuppen	<u>Diverses:</u> Fertigsuppen Fleisch- und Gemüse- Bouillon Wurstwaren	

Literaturverzeichnis

Bleiker U.: Lösungen für die Schottenverwertungsproblematik. Studie im Auftrag der Schweizerischen Milchproduzenten (SMP), Teilprojekt 4 (2002)

Hediger T.: Die enzymatische Hydrolyse der Lactose mit Hohl-faserreaktoren. Dissertation ETH Zürich, Nr. 7933 (1985)

Hermann M.: Lactosehydrolyse. Eine zusätzliche Möglichkeit der Molkenverarbeitung. *Deutsch Milchwirtschaft*, Nr. 44, 1665–1467 (1985)

Rehberger B., Thomet A., Jean-Richard B., Bisig W.: Gewinnung von Lactose aus UF-Permeat. *Schweizerische Milchzeitung*. Nr. 47 (2002)

Rehberger B., Thomet A., Wyss B., Bisig W.: Nanofiltration (NF) – eine interessante Technologie zur Verwertung von Nebenprodukten. *Schweizerische Milchzeitung*. Nr. 21 (2003)

Rehberger B., Thomet A., Wyss B., Bisig W.: Nanofiltration – Schlüsseltechnologie zur Verwertung von Nebenprodukten. *Deutsche Milchwirtschaft*. Nr.18, 765–774 (2003)

Risse J.M.: Versuchsanleitung zu den Biokatalyse-Praktikumsversuchen 3+4. Technische Fakultät der Universität Bielefeld, Lehrstuhl für Fermentationstechnik (2001)

Wyss B.: Vorstudien zur Gewinnung von Zuckersirup aus Ultrafiltrations-Permeat. Diplomarbeit an der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft (SHL). unveröffentlicht (2003)

Résumé

Pour l'économie laitière suisse, une utilisation judicieuse du point de vue économique et écologique de sous-produits tels que le lactosérum et le perméat de l'ultrafiltration (perméat UF) nécessite la recherche de nouvelles solutions. Une des technologies-clés possible permettant d'améliorer la situation est en l'occurrence la nanofiltration (NF). L'utilisation de la nanofiltration permet d'obtenir différentes solutions de sucre à partir de perméat UF hydrolysé ou de lactosérum.

La Station fédérale de recherches en production animale et laitière (ALP) et la Haute école suisse d'agronomie (HESA) ont examiné des possibilités et voies intéressantes pour obtenir du sirop de sucre à partir du lactosérum. Les travaux exécutés constituent un nouveau processus divisé en quatre étapes: préconcentration et déminéralisation de lactosérum; pasteurisation; hydrolyse enzymatique continue du lactose ainsi que séparation et concentration de sirop de sucre et de solutions de sels minéraux. Une hydrolyse continue du lactose couplée à une ultrafiltration permet d'utiliser à plusieurs reprises la coûteuse enzyme ce qui permet d'améliorer grandement l'efficacité et la rentabilité de processus.

Summary

The Swiss dairy industry needs to find new solutions for the economical and ecological use of by-products such as whey and ultrafiltration-permeates (UF-permeate). A possible key solution is the use of nanofiltration. Nanofiltration of hydrolysed whey or UF-permeate yields various sugar solutions.

The Swiss Federal Research Station for Animal Production and Dairy Products (ALP) and the Swiss College of Agriculture (HESA) have examined the possibilities and methods for obtaining sugar syrup from whey. The new process can be divided into four steps: pre-concentration and partial demineralisation of whey; pasteurisation; enzymatic hydrolysis of lactose followed by separation and concentration of sugar syrup and salt solutions. Continuous lactose hydrolysis combined with ultrafiltration greatly reduces the cost of the expensive enzyme and improves the efficiency and economy of the process.

Keywords:

whey, whey product, nanofiltration, hydrolysis of lactose, isolation of lactose, sugar syrup, concentration