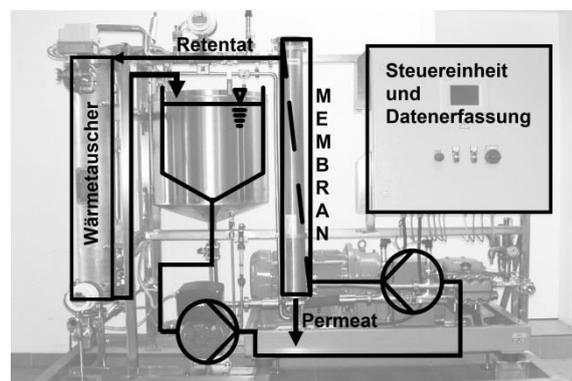


**Fraktionieren komplexer Zuckerlösungen mittels Nano- und Diafiltration:  
Einfluss von Membran, Prozessparametern und Milieubedingungen**



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	Universität Hohenheim Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie FG Milchwissenschaft und -technologie Prof. Dr. Dr. Jörg Hinrichs
Industriegruppe(n):	Milchindustrie-Verband e. V. (MIV), Berlin
Projektkoordinator:	Dr. Simon Bauer Bayerische Milchindustrie eG (BMI), Landshut
Laufzeit:	2018 – 2020
Zuwendungssumme:	€ 235.440,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

**Ausgangssituation**

In Be- und Verarbeitungsprozessen der Lebensmittelindustrie fallen z. T. komplexe Zuckerlösungen an. Oft ist jedoch nicht ein einzelnes Saccharid das Zielprodukt, sondern die An- bzw. Abreicherung einer bestimmten Zuckerfraktion ist ausreichend für den Einsatz in Lebensmittelformulierungen; nur eine bestimmte Fraktion stört, weil sie z. B. kalorisch wirksam ist, unverträgliche Zucker enthält und/oder zusätzliche Süße vermittelt. So werden zunehmend Sirupe aus Stärkeverzuckerungsprodukten als maßgeschneiderte Lösung z. B. zur Kristallisationsstabilität im Lebensmittelsektor eingesetzt. Ebenso wird in Molkenpermeat enthaltene Lactose enzymatisch zu prebiotischen Oligosacchariden umgesetzt: Nach der Biotransformation mittels geeigneter  $\beta$ -Galactosidasen liegen neben den prebiotischen Galactooligosacchariden geringe Mengen an Lactose (Unverträglichkeit) und Süße vermittelnde Monosaccharide Glucose und Galactose vor. Weitere Beispiele sind die Herstellung von Invertzuckersirup aus Saccharose, die nicht vollständig umgesetzt wird und im Sirup verbleibt, und die mikrobielle Produktion von Trehalose, bei der Glucose als Substrat verwendet wird. Die Gewinnung einer Zielfraktion, z. B. durch eine fraktionierte Kristallisation, scheidet meist an den geringen Löslichkeitsunterschieden der Zucker.

Für die Aufreinigung komplexer Zuckerlösungen und die Isolierung einzelner Saccharide wird, obwohl es für Lebensmittelformulierungen meist nicht notwendig wäre, in der Regel die Chromatographie eingesetzt, die jedoch große Mengen an Eluenten – meist Wasser – benötigt. Zur großtechnischen Gewinnung hochangereicherter Fructoselösungen wird heute die mit höherer Produktivität zu betreibende kontinuierliche Chromatographie (SSMB-Verfahren: Sequential Simulated Moving Bed) genutzt. Allerdings müssen chromatographische Systeme hinsichtlich Beladung und Prozessparametern sehr genau auf das Zielprodukt abgestimmt werden und zeigen eine geringe Flexibilität bzgl. Produktwechsel.

In der Praxis fehlt ein Verfahren, mit dem Zuckerlösungen in große (Oligosaccharide) und kleine Moleküle (Monosaccharide) fraktioniert werden können und das ohne Eluenten auskommt. Das Fraktionieren über

Membranen könnte mehr Flexibilität bieten und für verschiedene Zuckerprodukte wirtschaftlich darstellbar sein. Für den Einsatz in Lebensmittelformulierungen oder Nutraceuticals sind meist keine Isolate notwendig, aber eine Anreicherung (Zielprodukt im Retentat) oder Abreicherung (Zielprodukt im Permeat) wäre vorteilhaft für innovative Produktformulierungen. Sollten jedoch Isolate notwendig sein, könnte eine Fraktionierung mittels Nanofiltration der Chromatographie vorgeschaltet werden.

Die Nanofiltration wird bereits seit über 20 Jahren in der Lebensmittelindustrie erfolgreich angewandt, um Melassen, Zuckersirupe oder auch Molke zu demineralisieren. Es finden sich zudem Studien, in denen mittels Nanofiltration gewünschte Oligosaccharide (3 - 10 Saccharideinheiten) angereichert wurden bzw. Zuckerlösungen fraktioniert wurden. In Vorarbeiten mit Nanofiltrationsmembranen verschiedener Hersteller konnte gezeigt werden, dass es Membranen gibt, die Disaccharide gut zurückhalten und dabei die wenig kleineren Monosaccharide permeieren lassen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, aufbauend auf diesen Vorarbeiten Nanofiltrationsmembranen zu untersuchen und zu ermitteln, welche Eigenschaften, diese aufweisen müssen, um komplexe Zuckerlösungen zu fraktionieren bzw. gezielt einzelne Komponenten an- oder abzureichern. Ferner sollte geklärt werden, welchen Einfluss die Prozessparameter auf die Fraktionierungsaufgabe haben und wie sie zielgerichtet optimiert werden können. Mit den generierten Daten sollte eine Strategie erarbeitet werden, mit der es Herstellern möglich wird, Nanofiltrationsmembranen schnell für eine vorgegebene Fraktionieraufgabe auszuwählen.

### **Forschungsergebnis**

Mit Hilfe der HPLC-ELSD-Methode konnten alle Analyten bis auf zwei voneinander getrennt werden. Da Lactose und Lactitol sehr ähnliche Retentionszeiten aufweisen, erscheinen diese als ein Peak. Auch bei optimierten Elutionsbedingungen konnten diese Peaks nicht getrennt werden. Ein Protokoll zur optimalen Probenvorbereitung wurde erstellt. Abschließend wurde im Rahmen der Validierung ein Konzentrationsbereich, die Linearität und die Wiederfindung für jeden Analyten bestimmt.

Die Membrananlage erfüllt alle Kriterien des Anforderungskatalogs. Dementsprechend konnten alle geplanten Experimente durchgeführt werden. Ein Protokoll zur Vorbereitung von Membranen und Anlage wurde erstellt. Die Membranen unterscheiden sich überwiegend hinsichtlich ihrer Fructoseretention. Beim Kontaktwinkel konnten Unterschiede festgestellt werden, die auf das Material zurückgeführt werden können. Durch die AFM-Messungen wurden zwei Membranen mit einer hohen Oberflächenrauigkeit identifiziert, die gleichzeitig eine niedrige Fructoseretention aufweisen. Außerdem konnte gezeigt werden, dass die Retention mit steigender transmembraner Druckdifferenz bzw. sinkender Filtrationstemperatur abnimmt. Diese Effekte sind am deutlichsten bei Fructose zu beobachten und treten am stärksten auf, falls sich die Retention im mittleren Bereich (ca. 0,5) befindet. Des Weiteren wurde eine sinkende Saccharidretention während des Konzentrierens beobachtet werden.

Durch die Charakterisierung der Membranen in der Labormembrananlage und den AFM-Messungen konnte eine für die gesuchte Fraktionierungsaufgabe geeignete Nanofiltrationsmembran ausgewählt werden. Diese wurde sowohl im Labor- als auch im Technikumsmaßstab zur Fraktionierung von Lactose und Fructose getestet. Im Technikum wurden außerdem Lactose und Fructose in einer Molkenmatrix getrennt. Allerdings konnten zwischen Reinslösung und realer Molkenmatrix nur bedingt vergleichbare Ergebnisse erzielt werden. Dieser Einfluss soll im Rahmen eines derzeit laufenden Folgeprojekts (AiF 21100 N) vertieft erforscht werden. Dabei sollen Lactose-haltige Nebenströme durch Nanofiltration konditioniert werden, damit eine erhöhte Süße enzymatisch generiert werden kann. Schließlich soll ein Sirup erzeugt werden, der zur Zuckerreduzierung in Milchprodukten eingesetzt werden kann.

### **Wirtschaftliche Bedeutung**

Im Jahr 2015 wurde in Deutschland Rohmilch aus 71.000 Erzeugerbetrieben zu unterschiedlichsten Milchprodukten und Halbfertigfabrikaten verarbeitet (Umsatz 22 Mrd. €, 35.000 Beschäftigte). Pro Kilo hergestelltem

Käse fallen ca. 10 kg Molke als zuckerhaltiger Nebenstrom an. In Europa summiert sich dieser Nebenstrom auf 86 Mio. t jährlich (weltweit 160 Mio. t). Betrachtet man den Rohstoff Saccharose, so wurden im Wirtschaftsjahr 2019/20 in Deutschland 4,2 Mio. t Zucker erzeugt (Umsatz 2,1 Mrd. €, 5.070 Beschäftigte); davon gingen rund 85 % an die Zucker verarbeitende Industrie, das Handwerk und die chemische Industrie bzw. die Fermentationsindustrie. Nur 15 % wurden als Haushaltszucker über den Lebensmittelhandel verkauft. Ein Lieferant für Zuckersirupe ist auch die Stärkeindustrie, die im Jahr 2019 rd. 4,0 Mio. t agrarische Rohware verarbeitet hat.

Alle Veredler agrarischer Rohwaren sind durch Einstellen von Quotenregelungen bzw. die Öffnung der Märkte nicht nur innerhalb der EU, sondern auch weltweit vermehrt dem Wettbewerb ausgesetzt. Entsprechend groß ist das Interesse betroffener Unternehmen an neuen Produkten und Technologien. Allerdings ist weiteres Know-how notwendig, um Forschungsideen zur biotechnologischen Gewinnung funktioneller Zucker in eine geeignete Technologie zu übersetzen und maßgeschneiderte Produkte für spezifische Anforderungen (z. B. im Bereich klinischer Ernährung, Sportlernahrung oder Spezialprodukte) herzustellen.

Die Ergebnisse werden dieser Entwicklung Vorschub leisten und zugleich helfen, die Entwicklung von Nanofiltrationsmembranen und Technologien für die Zuckerfraktionierung voranzutreiben, wovon u. a. der Bereich des Prozessengineerings und des Maschinen- und Apparatebaus für lebensmittel(bio)technologische Unternehmen profitieren wird (Umsatz 6 Mrd. €, 2019).

### **Publikationen (Auswahl)**

---

1. FEI-Schlussbericht 2020.
2. Schmidt, C. M., Sprunk, M., Löffler, R. & Hinrichs, J.: Relating nanofiltration membrane morphology to observed rejection of saccharides. *Sep. Purific. Technol.* 239, 116550 (2020).
3. Schmidt, C.: Downstream processing of enzymatically generated lactulose via nanofiltration to produce a probiotic whey drink for elderly people - Quantification, generation and fractionation of complex saccharide solutions. PhD-thesis, University of Hohenheim. Verlag Dr. Hut, München (2020).

### **Weiteres Informationsmaterial**

---

Universität Hohenheim  
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie  
FG Milchwissenschaft und -technologie  
Garbenstraße 21, 70599 Stuttgart  
Tel.: +49 711 459-23792  
Fax: +49 711 459-23617  
E-Mail: [jh-lth@uni-hohenheim.de](mailto:jh-lth@uni-hohenheim.de)

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)  
Godesberger Allee 125, 53175 Bonn  
Tel.: +49 228 3079699-0  
Fax: +49 228 3079699-9  
E-Mail: [fei@fei-bonn.de](mailto:fei@fei-bonn.de)

**Förderhinweis**

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

*Bildnachweis - Seite 1: © Universität Hohenheim*

Stand: 18.07.2023