

Freispülen von Spiralwickelmembran-Modulen von Milchprotein-konzentraten: Experimentelle Untersuchung und Entwicklung eines Simulationsmodells

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Technische Universität München Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung (ZIEL), Abt. Technologie Prof. Dr. Ulrich Kulozik/M.Sc. Ingrun Kieferle
Forschungsstelle II:	Technische Universität München School of Life Sciences Forschungsdepartment Life Science Engineering Professur für Fluidodynamik komplexer Biosysteme Prof. Dr. Natalie Germann/Nikolas Fischer
Industriegruppen:	VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt DGMT - Deutsche Gesellschaft für Membrantechnik e.V., Essen Vereinigung zur Förderung der Milchwissenschaftlichen Forschung an der TUM e. V., Freising
	Projektkoordinator: Ronald de Kloet CUT Membrane Technology GmbH, Düsseldorf
Laufzeit:	2016 – 2019
Zuwendungssumme:	€ 455.610,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Zu Beginn jeder Cleaning-in-Place (CIP)-Phase von Produktionsanlagen erfolgt das Freispülen der Anlagen durch Wasser und damit das Ausschleiben des Produktes. Dabei entstehen Mischphasen und Produktverluste. Das Freispülen von Membrananlagen ist gegenüber Rohrleitungen bzw. anderen Bauteilen erschwert, da Membranen permeabel sind und ein unvermeidbarer Stoffstrom zur Membran hin stattfindet. Besonders bei Spiralwickelmembranen (SWM), die in der Milchwirtschaft weit verbreitet sind, ist das Freispülen wegen des strömungstechnisch besonderen Aufbaus schwierig.

In Hinblick auf eine nachhaltige Produktion werden in der Praxis neben apparatespezifischen Leistungsmerkmalen zunehmend weitere Kriterien bedeutsam; insbesondere der Wasserverbrauch für Reinigungs- und Spülvorgänge sowie aus wirtschaftlicher Sicht die für CIP-Reinigungen aufzuwendende Zeit sind dabei für die Industrie rele-

vant. Offen ist derzeit die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von SWM in Hinblick auf ihr Freispülverhalten bezüglich Zeitaufwand, Milchverlust, Wasserkosten sowie des Wasserverbrauchs.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, einen Beitrag zur Klärung dieser offenen Fragen zu liefern und den Einfluss der Strömungsverteilung, des Fließverhaltens, der Produktviskosität sowie der Prozessbedingungen in der Spülphase auf den Mischphasenverlauf und das entstehende Mischphasenvolumen von SWM auf Verlustminimierung hin zu untersuchen.

Forschungsergebnis:

Versuche zur Erfassung des Mischphasenverlaufes in Abhängigkeit der Freispülbedingungen zeigten, dass die zum Ausschleiben des Konzentrates aus einer SWM benötigte Zeit von dem Freispülvolumenstrom, der Feedspacerdicke und der Konzentratviskosität, nicht jedoch von der Frei-

spültemperatur, abhängt. Die minimale Freispülzeit ergibt sich bei maximal möglichen Freispülvolumina. Das entstehende Mischphasenvolumen wird dabei primär von der Konzentratviskosität bestimmt und kann durch den Freispülvolumenstrom kaum beeinflusst werden. Weiterhin wurde geprüft, ob der innovative Einsatz von Xanthanlösungen als Freispülmedium zu einer Reduktion der Freispülzeit führt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Einfluss der Xanthankonzentration auf die Freispülzeit bei geringen Freispülvolumenströmen äußerst gering ist und mit zunehmendem Freispülvolumenstrom sogar weiter abnimmt. Folglich ist der notwendige Mehraufwand durch das Ansetzen der Lösungen nicht lohnenswert. Ursächlich für den geringen Effekt ist der besonders stark scherverdünnende Charakter der Xanthanlösungen.

Anhand eines selbst entwickelten CFD-Simulationstools in der Simulationssoftware OpenFOAM konnte gezeigt werden, dass die Spacernetzgeometrie, die Freispülbedingungen als auch die rheologischen Eigenschaften der Milch Einfluss auf die Freispülzeit sowie das Mischphasenvolumen haben. Bei konstanter Temperatur wurden Simulationen für unterschiedliche Spacerdicken bei verschieden ausgeprägtem scherverdünnenden Charakter der Milch durchgeführt. Die Freispülzeit und das Mischphasenvolumen können durch Erhöhung des Freispülvolumenstroms reduziert werden. Weiterhin zeigt sich eine geringere Freispülzeit und ein geringeres Mischphasenvolumen bei Vergrößerung des Filamentdurchmessers. Die Simulationsergebnisse deuten darauf hin, dass der hier untersuchte Proteingehalt von 4 % bis 9 % nur eine untergeordnete Rolle in Bezug auf Freispülzeit und Mischphasenvolumen beim Freispülen des Spacerkanals spielt.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Produktionsanlagen in der Lebensmittelindustrie und in der pharmazeutisch-medizinischen Industrie müssen mindestens einmal täglich gereinigt werden, um die erforderlichen hygienischen Bedingungen zu bewahren. Aufgrund der kurzen Produktionsintervalle kumulieren sich die jeweils einzeln weniger auffälligen Produktverluste, die dadurch entstehen, dass das in der Mischphase enthaltene Produkt nur schwer oder nicht wiedergewonnen werden kann. Je Reinigung ergeben sich zwei produktenthaltende Mischphasen, weshalb die Minimierung des Mischphasenvolumens von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung ist.

Die Untersuchungen bieten Unternehmen eine geeignete Datengrundlage zur Anpassung der Prozessbedingungen, um das Mischphasenvolumen

zu reduzieren. Aus den Untersuchungen wurde ein Vorgehen zur Verbesserung der Effizienz des gesamten Spülprozesses vor der CIP-Reinigung für ein 6,3“-Modul abgeleitet. Zunächst wird das Konzentrat für 20 - 60 s mit einem möglichst hohen Volumenstrom aus dem Rohrkernbereich ausgeschoben. Durch Maximierung des Freispülvolumenstromes kann die Freispülzeit beim Ausschieben eines hochviskosen Konzentrates um bis zu 25 s verkürzt werden, wobei das Mischphasenvolumen annähernd konstant bleibt. Anschließend erfolgt die Ablösung der Proteindeckschicht von der Membranoberfläche bis zum Erreichen des angestrebten Wasserfluxes durch Rezirkulation des in der Anlage befindlichen Wassers. Zuletzt wird das mit Protein beladene Wasser für ca. 20 s ausgeschoben.

Bezüglich der Gesamtdauer dieses physikalischen Reinigungsschrittes lassen sich aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen keine konkreten Zahlenwerte für industrielle SWM-Anlagen ableiten, da die tatsächliche Spüldauer von der vorliegenden Anlagenkonfiguration im Unternehmen (u.a. der Anzahl an Modulen je Druckrohr, dem Moduldurchmesser und der Loopstrukturen) abhängt. Auch können die Untersuchungsergebnisse nicht unmittelbar dazu beitragen, die Länge der CIP-Zyklen zu verringern, da sich das Ablösen der Proteindeckschicht nach dem Freispülen des Rohrkernbereiches als zeitlimitierender Faktor beim physikalischen Reinigungsschritt herausstellte; das Ablösen der Deckschicht war jedoch nicht Gegenstand der Untersuchungen.

Mit Hilfe des im Rahmen des Vorhabens entwickelten und validierten CFD-Simulationstools können nunmehr Freispülparameter untersucht und die Optimierung des Freispülprozesses bei individuellen Industrieenanwendungen unterstützt werden.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2019.
1. Kieferle, I. & Kulozik, U.: Importance of process conditions in the displacement of protein concentrates from spiral-wound membrane modules, *Food Bioprod. Proc.* 126, 51-61, doi: 10.1016/j.fbp.2020.12.002 (2021).
2. Fischer, N., Kieferle, I., Kulozik, U. & Germann, N.: Three-dimensional numerical investigation of the displacement of shear-thinning milk protein concentrates in spacer-filled channel, *J. Food Eng.* 296, 110459, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110459 (2021).
3. Kieferle, I.: Bypass-Strömungen um Spiralwickelmembranen beeinflussen das Verweilzeitverhalten, *Jahresb. 2019 Milchw. Forsch. ZIEL*, 88 - 90, ISBN 978-3-947492-16-9 (2020).

4. Kieferle, I., Hiller, K., Kulozik, K. & Germann, N.: Rheological properties of fresh and reconstituted milk protein concentrates under standard and processing conditions. J. Coll. Interf. Science. 537, 458-464, doi: 10.1016/j.jcis.2018.11.048 (2019).
5. Kieferle, I.: Ausschleiben viskoser Produkte aus Spiralwickelmodulen und keramischen Röhrenmembranen. Jahrb. 2018 Milch. Forsch. ZIEL, 85-87, ISBN 978-3-947492-10-7 (2019).
6. Kieferle, I., Meintrup, D. & Kulozik, U.: Interrelations between consecutive process steps: Using the example of the displacement of dispersions subsequently to the filtration. J. Food Eng. 263, 155-164 (2019).
7. Kieferle, I., Rehlklaus, E., Benteler, S. & Quitt, D.: Anwendung der Wirkungsflächenmethode zur Vorhersage der für das Freispülen von Spiralwickelmembranen (SWM) benötigten Zeit. Jahrb. 2017 Milch. Forsch. ZIEL (2018).
8. Kieferle, I. & Hiller, K.: Beschreibung des Fließverhaltens frischer und rekonstituierter Milchproteinkonzentrate im Rahmen des Projekts ‚Freispülen von Spiralwickelmembranen‘. Jahrb. 2016 Milch. Forsch. ZIEL, 86-88, ISBN 978-3-947492-00-8 (2017).
9. Kieferle, I.: Ausschleiben von Milchproteinkonzentrat aus Spiralwickelmembran-Modulen: Experimentelle Untersuchung und Entwicklung eines Simulationsmodells. Jahrb. 2015 Milch. Forsch. ZIEL, 71-74, ISBN 978-3-939182-93-1 (2016).

Weiteres Informationsmaterial:

Technische Universität München
Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittel-
forschung (ZIEL), Abt. Technologie
Weihenstephaner Berg 1
85350 Freising-Weihenstephan
Tel.: +49 8161 71-4205
Fax: +49 8161 71-4384
E-Mail: ulrich.kulozik@wzw.tum.de

Technische Universität München
School of Life Sciences
Forschungsdepartment Life Science Engineering
Professur für Fluidodynamik komplexer Biosysteme
Maximus-von-Imhof Forum 2, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-3785
Fax: +49 8161 71-4242
E-Mail: natalie.germann@tum.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

... 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.