

Stressverweilzeitverhalten beim Premix-Membranemulgieren

Fluiddynamische Untersuchung der Stressbeanspruchungen proteinstabilisierter o/w-Phasengrenzflächen beim Premix-Membranemulgieren

A. Kyrloglou, P. Giefer, U. Fritsching, Fachgebiet Mechanische Verfahrenstechnik, Universität Bremen

Kurzgefasst

- Membrandurchströmung
- Stressbelastung
- Phasengrenzflächen

In der Verfahrens- und Prozesstechnik finden Dispersionen, also flüssig / flüssig Systeme eine breite Anwendung. In der Prozessierung von Lebensmitteln, sowie pharmazeutischen Anwendungen, spielen Emulsionen eine entscheidende Rolle. Das Premix-Membranemulgieren ist ein Verfahren, bei dem grobdisperse Voremulsionen mittels Dispergierung durch eine poröse Membran, in eine Feinemulsion bzw. Dispersion überführt werden. Ein Schlüsselparameter der Emulsionsqualität ist die Tropfengrößenverteilung, die maßgeblich durch das Stress-Verweilzeitverhalten beeinflusst wird. Bei der Einbindung von schersensitiven Medien, in diesem Fall Proteinen, ist die genaue Charakterisierung von besonderer Relevanz und bedarf wissenschaftlicher Klärung. Daraus können mechanistische Schädigungsmodelle abgeleitet werden.

Um einen genauen Einblick in das Aufbruchphänomen zu bekommen, konzentriert sich das Forschungsvorhaben auf die Beschreibung der mehrphasigen Strömung in porösen und idealisierten Strukturen. Um die Scher- und Dehnkräfte an den Phasengrenzflächen analysieren zu können, wurde ein Modell entwickelt und in die Open Source Software OpenFOAM implementiert. Da die, im Prozess eingebundenen Proteine an den Phasengrenzen adsorbieren, ist dies von besonderem Interesse. Ziel des Projektes ist es, die Kriterien für die Tropfendeformation und den Tropfenaufbruch anhand dieser Belastungen zu quantifizieren.

In der letzten Förderperiode wurden Simulationen in idealisierten Porenstrukturen durchgeführt. Gleichzeitig wurde ein zweiphasiger viskoelastischer Solver für openFoam 7 entwickelt und validiert. Weiterhin sind aus der bisherigen Förderperiode folgende Ergebnisse hervorgegangen.

Tropfendispersion in Einzelporen

Parallele Aufbruchvorgänge in Membranen machen eine mechanistische Betrachtung der Dispersion sehr schwierig. Um die Tropfendispersion in Membranen verstehen zu können, ist es sinnvoll, den Tropfenaufbruch in Einzelporen zu analysieren. Dazu wurden idealisierte Einzelporen betrachtet und verschiedene Parameter, wie die Benetzbarkeit der Porenoberfläche, die Viskosität der dispersen Phase, als auch die Grenzflächenspannung und Geschwindigkeit variiert.

Während der Einfluss von Viskosität und Grenzflächenspannung weitestgehend bekannt ist, ist die Abhängigkeit der Porenbetzbarkeit auf die mechanistische Dispersion ungeklärt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die erste Wandinteraktion der dispersen Phase für den Tropfenaufbruch entscheidend ist. Mit steigender Benetzbarkeit der Wand für die disperse Phase bilden sich Instabilitäten im Eingang der Pore aus, deren Wellenlänge deutlich kleiner sind als die auftretenden Rayleigh-Plateau Instabilitäten.

Tropfendruckverlust in idealisierte poröse Systeme



Abbildung 1: Tropfen in idealisierter poröser Struktur mit parallelen Kanälen. Der weiße Strich von 0 bis 0.007 m zeigt das Druckprofil in Abbildung 2

Ein anderer Teil der Arbeit in der letzten Förderperiode war die Analyse des Druckverlusts eines Tropfens beim Poreneintritt. Abbildung 1 oben zeigt den Tropfen in der Simulation mit einem charakteristischen Druckprofil, das qualitativ gut mit der analytischen Lösung übereinstimmt. Das Druckprofil zeigt sechs lineare Abschnitte. Am Anfang bleibt der Druck im Eingangsbereich konstant. Genau an der Grenzfläche steigt der Druck und bleibt noch mal fast konstant über den Tropfenradius. Ein geringer Druckverlust innerhalb des Tropfens ist sichtbar, in dem Bereich des Eintritts in die Pore. An der anderen Grenzfläche sinkt der Druck noch mal bis

nahe des Auslassdrucks.

Stab.

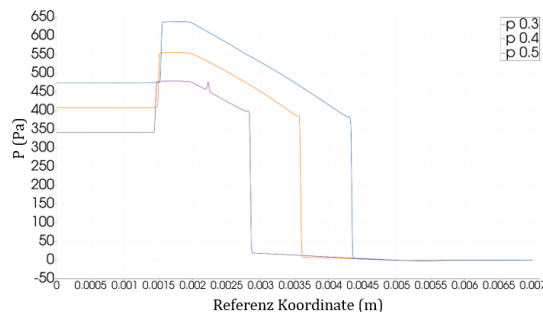


Abbildung 2: Tropfendruckverlust beim Poren Eintritt bei drei verschiedenen Eingangsgeschwindigkeiten (0.3 m/s bis 0.5 m/s)

Tropfenaufbruch in komplexen Membranstrukturen

Die Ergebnisse wurden im Detail in (Wollborn et al., 2019) veröffentlicht. Neben den Ergebnissen zu Modellstrukturen wurden auch Simulationen in komplexen Geometrien durchgeführt. Diese zeigen den Tropfenaufbruch in einer Membran. Weiterführende Simulationen zur genauen Auswertung und Einordnung der Ergebnisse sind nötig wie z.B. in der Abbildung 3 (Wollborn et al., 2021).

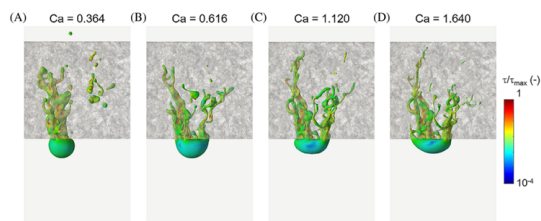


Abbildung 3: Visualisierung der Tropfendispersion bei unterschiedlichen Kapillarzahlen (Ca , A-D) bei ähnlichem Dispersionsfortschritt. Die Färbung des Tropfens zeigt die Grenzflächen-Schubspannung in einer logarithmischen Skala an. (Wollborn et al., 2021).

Entwicklung des Viskolastischen Solvers

Zur Untersuchung komplexer mehrphasiger Fluide wurde ein zweiphasiger viskoelastischer Solver entwickelt. Dieser Solver basiert auf viscoelasticFluidFoam in OpenFoamExt 4.1 und interFoam von OpenFoam 6 und 7, der neue viscolInterFoam Solver wird auch zur Quantifizierung und Untersuchung der Scherspannung auf die Flüssig-Flüssig und Flüssig-Wand Grenzflächen eingesetzt. In der letzten Förderperiode wurde dieser Solver validiert. In Abbildung 4 sieht man ein Simulationsergebnis des Weissenberg Effekts zur Validierung des Solvers. In dieser Simulation eines viskoelastischen Polymers steigt die Flüssigkeit an einem rotierenden

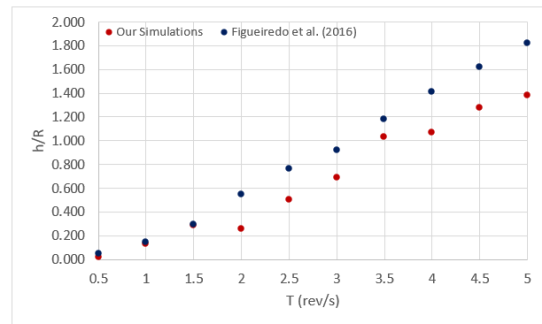
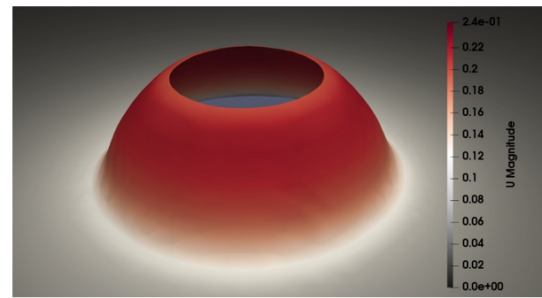


Abbildung 4: Oben) Weissenberg-Effekt Simulation zur Validierung des viskoelastischen Solvers. Unten) Validierungsgrafik im Vergleich mit veröffentlichten Daten. h/R ist die Steighöhe des Polymers.

In der neuen Förderperiode wird das Projekt in insgesamt vier Abschnitte gegliedert. Im ersten Arbeitspaket wird die Modellvalidierung der Kontaktwinkelmodelle durch die idealisierten Geometrien behandelt in Verbindung mit dem viskoelastischen Solver. Im zweiten Teil werden idealisierte poröse Strukturen berechnet. Im letzten Abschnitt werden reale Strukturen mittels CTs sowie zufällig generierte Kugelschüttungen betrachtet. Es erfolgt auch hier die Variation von Kontaktwinkel, Kapillarzahl und anderen Stoff- und Prozessparametern.

WWW

<http://www.iwt-bremen.de>

Weitere Informationen

- [1] T. Wollborn, L. Luhede, U. Fritsching, *Phys. Fluids* **31**, 012109 (2019). doi: 10.1063/1.5064858
- [2] T. Wollborn, P. Giefer, U. Fritsching, et al., *Can. J. Chem. Eng.*, (2021). doi:10.1002/cjce.24186

Förderung

DFG SPP 1934 DISPBiotech
DFG GRK 1860 MIMENIMA