

Stressverweilzeitverhalten beim Premix-Membranemulgieren

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

L. Luhede, T. Wollborn, U. Fritsching, Fachgebiet Mechanische Verfahrenstechnik, Universität Bremen

Kurzgefasst

- Membrandurchströmung
- Stressbelastung
- Phasengrenzflächen

Emulgierverfahren werden im Rahmen des Downstream-Prozessierens und der Weiterverarbeitung/Formulierung zur Homogenisierung oder auch Verkapselung in biogenen Produkten eingesetzt. Beim Premix-Emulgieren wird eine grobdisperse Vor-emulsion mittels der Dispergierung in porösen Membranen in eine Feinemulsion bzw. -Dispersion überführt. Insbesondere das Stress-Verweilzeitverhalten und die darauf erfolgende Reaktion eines proteinstabilisierten dispersen Systems bedarf einer vertieften wissenschaftlichen Klärung. Hieraus können mechanistische Schädigungsmodelle abgeleitet werden. Die im Emulgier-Prozess auftretenden mikromechanischen Belastungen auf biologische Systeme sind nicht vollständig geklärt, die Prozessumgebung ist somit noch weiter zu entwickeln im Hinblick auf die Anpassung an spezielle biologische Systeme. Der Fokus dieses Forschungsvorhabens liegt auf

der Beschreibung des mehrphasigen fluiddynamischen Prozesses beim Premix-Emulgieren in porösen Strukturen. Es wurde ein Modell zur Beschreibung von Scher- und Dehnkräften an der Phasengrenze entwickelt und in die Open Source Software OpenFOAM implementiert. Dieses Modell wurde in idealisierten Strukturen sowie komplexen, porösen Geometrien verwendet. Der Einfluss von Scher- und Dehnkräften auf die Grenzfläche ist von besonderem Interesse für die Untersuchung von Tropfenaufbruchskriterien beim Premix-Emulgieren, sowie zur Bestimmung der dabei entstehenden Belastung der an Phasengrenzen adsorbierten Proteine. Ziel des Projekts ist es die Kriterien für Tropfendehnung und -Aufbruch zu ermitteln und anhand der Belastungen auf die Grenzfläche zu quantifizieren.

in der ersten Förderperiode wurde ein Modell zur Beschreibung von Scher- und Dehnkräften an der Phasengrenze entwickelt. Das Scher-Stress-Verweilzeitverhalten von Tropfen in verschiedenen idealisierten Porenstrukturen untersucht wurde. Im Folgenden wird das Verweilzeitverhalten verschiedener Tropfendurchmesser anhand einer Verengung von einer großen Kapillare in eine kleinere dargestellt (Abbildung 1).

Das Scher-Verweilzeitverhalten des $400\ \mu\text{m}$ großen Tropfens wird in Abbildung 2 gezeigt. Man sieht die die Scherkräfte über die Position des Tropfens während des Aufstiegs aufgetragen (Abbildung 2 a). Deutlich zu erkennen sind die Dehnung des Tropfens sowie der Tropfenaufbruch (bei Aufspaltung des Graphen). Die Scherraten zeigen einen Anstieg am unteren Ende des Tropfens, das heißt an dem Teil, der durch Reibungskräfte festgehalten wird und dadurch eine Kraft auf die Grenzfläche erfährt. Der obere Teil weist moderate Scherraten auf, nachdem die Deformation nach der Verengung erfolgt ist. Deutlicher zu erkennen ist dieser Trend bei Betrachtung der auf den Tropfen wirkenden Dehnkräfte (Abbildung 2 b).

Dehn- und Scherkräfte sind sich im Verlauf ähnlich, wobei die Dehn- die Scherungskräfte überwiegen. Vergleicht man nun alle Tropfendurchmesser (Abbildung 3) zeigt sich, dass die maximalen Dehnkräfte mit dem Durchmesser ansteigen. Der Anstieg der Dehnungsrate zum Eintritt des Tropfens in die Kapillare ist deutlich sichtbar und die Steigung in der Dehnkraft für alle Tropfen sehr ähnlich. Alle Tropfen weisen einen kurzen Abfall in der maximalen Dehnkraft auf, sobald der obere Teil der Tropfen anfängt sich von der Kapillarwand zu lösen. Darauf steigt die

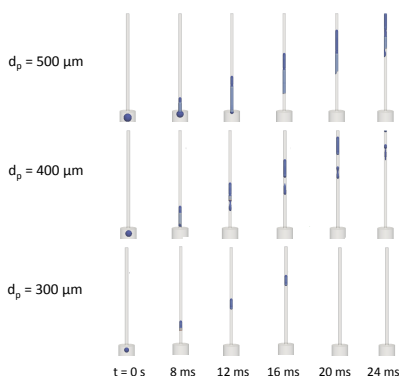


Abbildung 1: Tropfendehnung in einer Verengung von verschiedenen Tropfendurchmessern bei einer konstanten Geschwindigkeit von $0,012\ \text{m/s}$

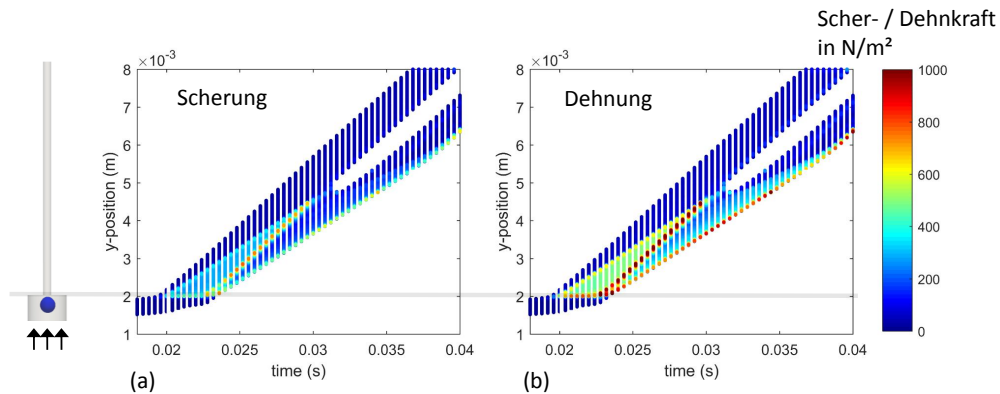


Abbildung 2: Verlauf der (a) Scher- und (b) Dehnkräfte eines 400 μm großen Tropfens über die Simulationsdomain.

gesamte Dehnkraft jedoch wieder an, da sich der Anteil an Tropfen bereits in der Kapillare und damit in Wandnähe weiter erhöht.

Für den 300 μm Tropfen ist deutlich zu erkennen, dass er sich am schnellsten von der Wandreibung löst, da die Dehnkraft stark abnimmt und sich am schnellsten durch die vorgegebene Geometrie bewegt (Vgl. auch Abbildung 1). Für den 400 μm Tropfen löst sich neben dem Kopf auch der hintere Teil (zur Hälfte) von der Wand, was zu einer leichten Reduktion in der maximalen Dehnkraft führt. Erkennbar ist der Tropfenaufbruch, an diesem Punkt findet eine sprunghafte Reduktion der Dehnkraft statt. Im weiteren Verlauf kommt es zu einem erneuten Anstieg, in dem sich der neu entstandene Tropfen ein weiteres Mal dehnt, aber anstatt wieder zu reißen zurückfedert. Beide Tropfen erreichen kurz vor Ende der Domain ihren Taylorblasen-ähnlichen Endzustand, welcher an der abgefallenen Dehnkraft sichtbar ist.

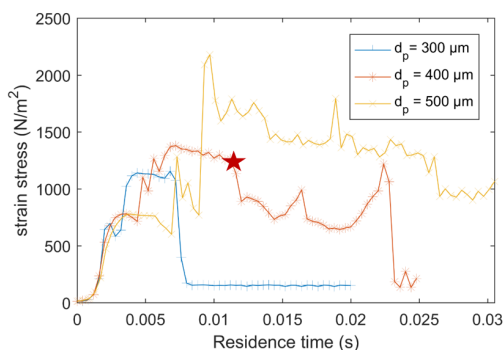


Abbildung 3: Vergleich der maximalen Dehnkräfte für verschiedene Tropfendurchmesser.

Die Studien in der ersten Förderperiode haben gezeigt, dass das Tropfenverhalten in porösen Struktu-

ren noch viel Forschungspotential hat. Insbesondere die Deformation ohne Aufbruch innerhalb von Kapillaren zeigten interessante, bisher nicht beschriebene Effekte. Diese sollen in der neuen Förderperiode weiter untersucht werden.

Einen Großteil des neuen Projekts wird die weitere Betrachtung komplexer Strukturen einnehmen. Hier soll insbesondere das Zusammenspiel zwischen verengten und erweiterten Poren mit Scher- und Dehnkräften in Verbindung gesetzt werden. Bereits in den Modellstrukturen konnte gezeigt werden, dass das Verhältnis von Tropfendurchmesser zu Porendurchmesser von höchster Bedeutung für das Tropfenverhalten ist. In einer komplexen Geometrie, wechseln sich Verengungen und Erweiterungen ab, sie können so dicht aufeinander folgen, dass Instabilitäten durch eine erste Verengung hervorgerufen, noch nicht zu einem Tropfenaufbruch geführt haben, bevor die nächste Erweiterung und eine erneute Verengung erreicht werden. Auch zu diesem Fall sollen komplexere Modellstrukturen betrachtet werden. Die Betrachtung unter definierten Bedingungen lässt Rückschlüsse auf die vorliegenden Effekte zu, welche unter realen Bedingungen nicht quantifizierbar wären. Dennoch wird die bereits begonnene Studie von auf CTs realer Membranen basierender Strukturen fortgesetzt. Diese ist wichtig zur Verbindung der Simulationsergebnisse mit experimentellen Daten.

WWW

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

Weitere Informationen

Förderung

DFG SPP 1934 DISPBiotech