



Multiple und Doppelemulsionen

Fortschritte bei der Herstellung und den Einsatzmöglichkeiten

Prof. Dr. habil. Gerald Muschiolik

Food Innovation Consultant, Potsdam

Die Erzeugung von multiplen und Doppelemulsionen wird derzeit mit einer hohen Forschungsaktivität begleitet. Das Ziel ist die Erweiterung spezifischer Eigenschaften und die Erschließung neuer Anwendungsgebiete, die sich auch auf deren Intermediate beziehen.

Neben der Food-, Pharma- und Kosmetikbranche konzentrieren sich diese Aktivitäten z. B. auf medizinische Anwendungen, die Biotechnologie, technische Chemie, den Umweltschutz und deren Qualitätscharakterisierung. Während vor 15 Jahren die Publikationen auf diesem Gebiet noch überschaubar waren, wurden 2022 unter der Thematik „Doppelemulsionen“ etwa 6.000 Veröffentlichungen bei ScienceDirect registriert.

Unterschiede zwischen multiplen und Doppelemulsionen

Bei diesen „Tropfen-in-Tropfen“-Systemen wird in letzter Zeit deutlicher zwischen multiplen und Doppelemulsionen unterschieden. Während in den Anfangsjahren ihrer Entwicklung die Doppelemulsionen als multiple Emulsionen bezeichnet wurden, wird aufgrund des Technikfortschritts bei der Herstellung derartiger Systeme eine weitere Spezifizierung vorgenommen.

Doppelemulsionen bestehen aus Tropfen, in denen sich nur Tropfen einer anderen Phase befinden (Abbildung 1A), multiple Emulsionen sind dagegen durch mehr als zwei Phasen in Tropfenform gekennzeichnet (Abbildung 1C).

Doppelemulsionen setzen sich aus Wasser-in-Öl-in-Wasser ($W_1/O/W_2$) oder Öl-in-Wasser-in-Öl ($O_1/W/O_2$) zusammen, multiple Emulsionen können z. B. aus Wasser-in-Öl-in-Wasser-in-Öl ($W_1/O_1/W_2/O_2$, Triplemulsion) bestehen.

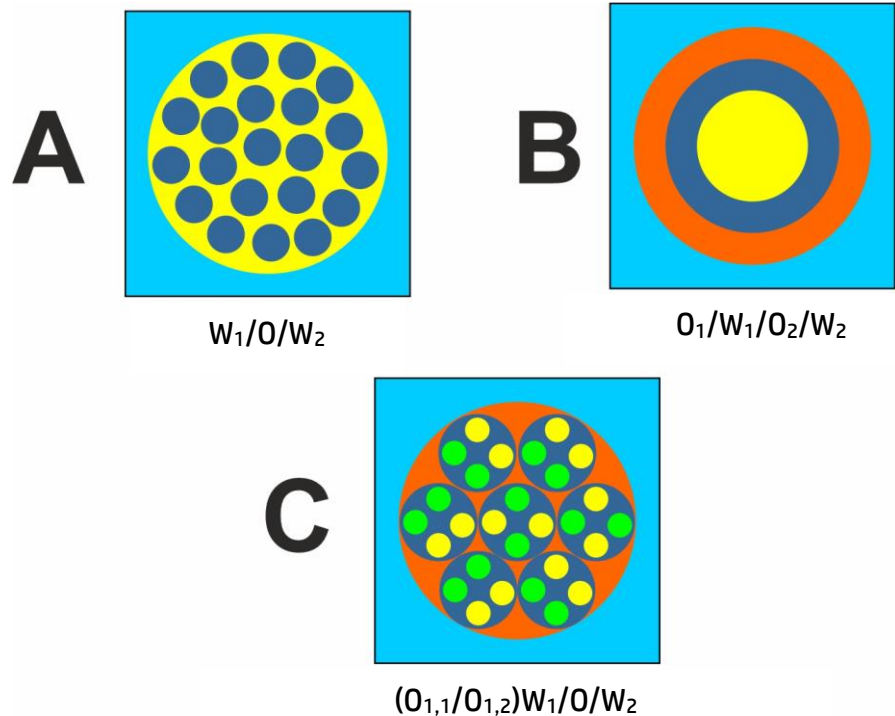


Abb. 1: Varianten von Doppelemulsionen (1A) und multiplen Emulsionen (1B und 1C)

Via Bildung multipler Emulsionen ist auch die Erzeugung von Tropfen mit mehreren Schichten (Abbildung 1B) sowie von Tropfen mit definierter Anzahl verschiedener Phasen möglich (Abbildung 1C).

Anwendung von multiplen und Doppelemulsionen

Mit Hilfe derartiger Systeme wird in der Food-, Pharma- und Kosmetikbranche der schonende Einschluss sowie die kontrollierte Freisetzung empfindlicher Inhaltsstoffe (z. B. Nutrazeutika, Wirkstoffe, geschmacksgebende Stoffe) ermöglicht. Weiterhin gestatten die Verfahren zur Bildung derartiger Emulsionen u.a. die Erzeugung von Mikrogelen (als Probiotika- oder Wirkstoffträger), Mikrokapseln (als Enzymträger oder Mikroreaktor) und Mikrohohlparkeln (zur Bindung von Schadstoffen oder Seltenen Erden).

Einen besonderen Vorteil bietet die Einarbeitung von $W_1/O/W_2$ -Emulsionen in Lebensmittel. Neben der Anreicherung mit empfindlichen Komponenten in der inneren W_1 -Phase (z. B. Vitamine, Flavonoide, Probiotika) ist zugleich die Erzeugung fettreduzierter Lebensmittel möglich, die sich im Mundgefühl von fetthaltigen Produkten ohne W_1 -Phase nicht unterscheiden.

Verfahren zur Emulsions- bzw. Tropfenbildung

Die Erzeugung von Doppelemulsionen zum Einschluss von Nutrazeutika für Lebensmittelanwendungen kann mit weniger komplizierter Technologie, z. B. mit Membranen oder mit schonenden Scherdispergierverfahren erfolgen. Sollen jedoch definiert Tropfen gebildet werden, die verschiedene weitere vertropfte Phasen enthalten, werden spezi-

elle Mikrofluidik-Techniken herangezogen. Auf diese Weise erzeugte multiple oder Doppelemulsionen sind in den Verkapselungs- und Freisetzungseigenschaften sehr gut einstellbar. Darüber hinaus erleichtert diese Technik die Erzeugung von Mikrogelen, Mikrokapselfen sowie von Mikrohohlparkeln.

Von den verschiedenen Mikrofluidik-Techniken zur Tropfenbildung werden hier nur zwei Varianten zur Bildung von Einzeltropfen bzw. zur Bildung mehrschichtiger Tropfen (zur Kapselbildung) vorgestellt.

Abbildung 2 zeigt eine Variante zur Bildung multipler Emulsionen (mehrschichtige Kapsel) mittels Mikrokapillaren (kombinierte T-Junctions). Mikrokapillaren mit Mikrodüse ermöglichen via Doppelemulsionsbildung die Erzeugung von Tropfen, die z. B. mit kapselbildenden Phasen umhüllt werden (Abbildung 3). Der Einbau zusätzlicher Düsen und die Kombination mit weiteren Kapillarmodulen ermöglicht die Bildung multipler Emulsionen gemäß Abbildung 1C.

Wichtige Parameter bei der Emulsionsbildung

Um derartige Emulsionssysteme mit definierten Eigenschaften (z. B. Verkapselungs- und Freisetzungseigenschaften) zu erzeugen, sind mehrere Parameter von Bedeutung. Hierzu gehören u.a. der Energieeintrag, die Grenzflächenspannung, das Viskositätsverhältnis beim Scherdispergieren und die Auswahl polymerisierender Strukturgeber.

Beim Einsatz der Mikrofluidik-Technik sind u.a. die Parameter Phasen-Fließgeschwindigkeit, Viskositätsverhältnis zwischen den Phasen sowie Kontaktwinkel zur Materialoberfläche von Bedeutung. Die Stabilität dieser Emulsionen wird insbesondere durch die Viskosität der Emulsionstropfen, den Aufbau der Grenzschichten und die osmotischen Verhältnisse bestimmt.

Eine Reduzierung der Partikelgröße von Doppelemulsionen-Premix, wie z. B. $W_1/O/W_2$, unter geringem Energieeintrag und mit hohem Flux ist durch Anwendung des Membranemulgiervfahrens möglich.

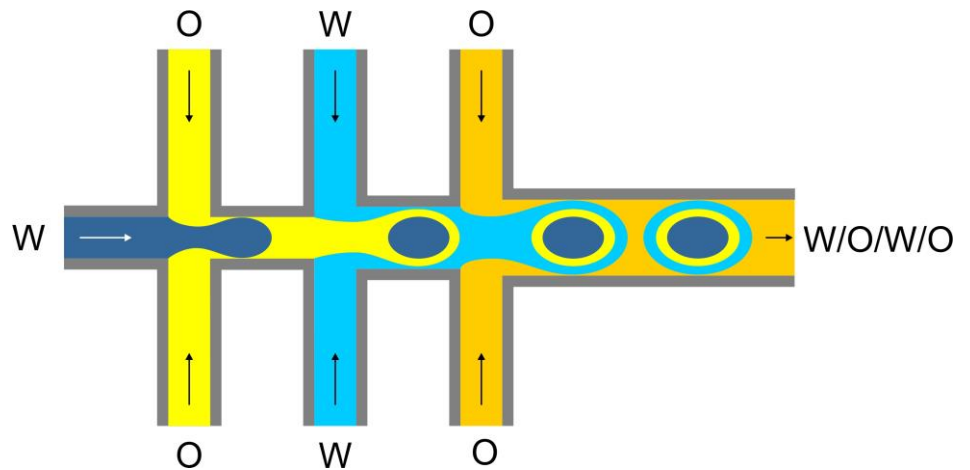


Abb. 2: Bildung von multiplen Emulsionen mittels Mikrokapillaren

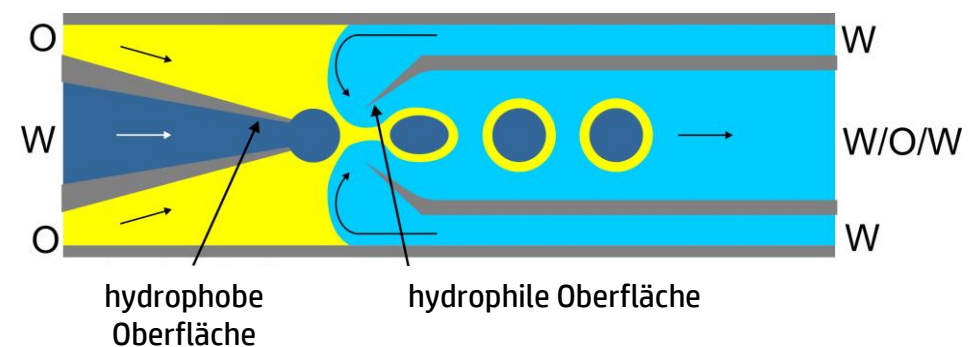


Abb. 3: Bildung von Doppelemulsionen mittels Düse in Mikrokapillaren

Ausblick

Der Erkenntnisfortschritt hinsichtlich der Stoffeinträge auf die Stabilität von Doppel- und multiplen Emulsionen, der Einsatz schonender Emulgiervfahren zur Bildung von Doppelemulsionen sowie die technologischen Fortschritte hinsichtlich der Nutzung mikrofluidischer Systeme, tragen erheblich zur Erweiterung der Applikationsbreite dieser innovativen Emulsionssysteme bei. Die derzeitige Aufgabe besteht darin, geeignete Schnellmethoden zur Produktions- und Qualitätskontrolle zu entwickeln und geeignete Produktionsanlagen mit ausreichender Produktivität zur Verfügung zu stellen.

Detailliertere Informationen zur Bildung von multiplen und Doppelemulsionen, zu deren Einsatzmöglichkeiten sowie zu den Charakterisierungsmethoden enthält die zweite Auflage des Buches „Multiple Emulsionen“.

Literatur:

- [1] Muschiolik, G. (Hrsg.) „Multiple Emulsionen - Herstellung und Eigenschaften, 2. Auflage“ – Behr's Verlag Hamburg, 2022, ISBN 978-3-95468-865-4
- [2] Muschiolik, G. – „Energiesparende Mikrofluidik-Technik für den Einschluss von Lebensmittelkomponenten“ – in: Behr's Jahrbuch 2023 LMI, Behr's Verlag Hamburg, 2022
- [3] Muschiolik, G. – „Emulsionsbildung mit geringem Energieeintrag – Bildung von Mikropartikeln mit gesundheitsfördernden Komponenten unter schonenden Bedingungen“ – LVT Lebensmittel Industrie 67 (2022) Heft 4, S. 26-29
- [4] Muschiolik, G. – „Mikrofluidik-Technik für die Lebensmittelindustrie“ – Handbuch Milch, Loseblattwerk, 81. Aktualisierungslieferung 2022, Kapitel 4.1.1, S. 1-21, Behr's Verlag Hamburg, ISBN: 978-3-86022-069-6