

# Extrusion zur Verkapselung von Wirkstoffen

Dipl.-Ing. Lebensmitteltechnologie Uta Kühnen  
Dipl. Lebensmitteltechnologe Edgar Strobel

Coperion GmbH, Stuttgart

Verkapselte Wirk- und Zusatzstoffe gewinnen in vielen Anwendungsbereichen immer mehr Bedeutung. Sowohl die Pharma-, Kosmetik- und Chemiebranche als auch die Lebensmittelindustrie nutzen die Verkapselung zum Schutz oder zur kontrollierten Freisetzung eines eingebetteten Kernmaterials. Insbesondere im Bereich der funktionellen Lebensmittel und bei Nahrungsergänzungsmitteln hat das steigende Gesundheitsbewusstsein der Verbraucher dazu geführt, dass immer mehr Lebensmittel mit verkapselten Inhaltsstoffen angereichert werden.

Die Extrusion mit Doppelschneckenextrudern gilt als etabliertes Verfahren für die Einarbeitung und Verkapselung von Wirkstoffen. Coperion, ehemals Werner & Pfleiderer, besitzt langjährige Erfahrung und umfassendes Fachwissen bei der Realisierung von Extrusionsanlagen für die (Mikro-)Verkapselung von Feststoffen und Flüssigkeiten, u.a. von pharmazeutischen Wirkstoffen, Aromen, Vitaminen oder Futtermittelzusätzen.

Die intensive Mischwirkung des gleichsinnig drehenden, dichtkämmernden Doppelschneckenextruders ZSK MEGAvolume PLUS erzielt eine hochdisperse Verteilung der Inhaltsstoffe. Gleichzeitig erfolgt das Kneten und Mischen im Doppelschneckenextruder scherarm und temperaturschonend, so dass höchste Produktqualität erzielt wird. Die Entfaltung der verkapselten Wirkstoffe erfolgt erst bei bestimmungsgemäßem Gebrauch.

## Was ist Verkapselung?

Unter dem Begriff „Verkapselung“ werden alle Verfahren zur vollständigen Umhüllung oder Einbettung von Flüssigkeitstropfen, festen Partikeln oder Gasen in eine feste Hüllsubstanz (Matrix) zusammengefasst. Kernmaterial und Hüllsubstanz sind nicht miteinander mischbar. Die Kapselgrößen bei der Mikroverkapselung bewegen sich etwa zwischen 5 und 500 µm Durchmesser. Die Wahl des Verkapselungsverfahrens hängt von den Eigenschaften des Kern- und Hüllmaterials sowie von den verfolgten Zielen ab. So spielt die Wirtschaftlichkeit neben verarbeitungs- und anwendungsspezifischen Eigenschaften eine entscheidende Rolle.

## Wozu Verkapselung?

Hauptgrund für die Verkapselung von Wirkstoffen ist der Schutz des Kern-



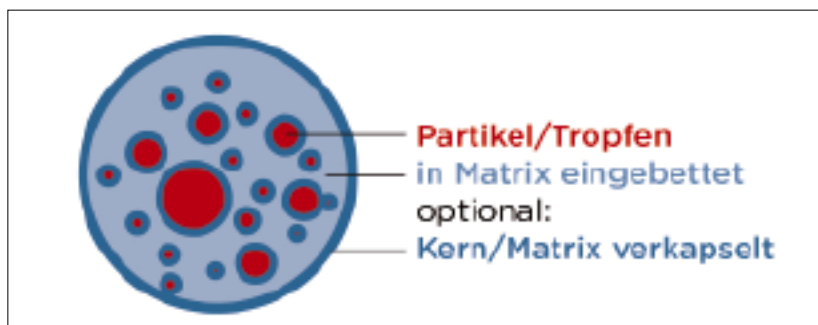
Foto: Coperion GmbH

Abb. 1: Verkapselte Wirkstoffe in Futtermittelkonzentrat.

materials bzw. der sogenannten inneren Phase vor schädlichen Einflüssen wie Licht, Sauerstoff und Feuchtigkeit. Diese Einflüsse würden zum schnellen Verderb und Verlust der Wirksamkeit der wertbestimmenden Substanz führen. Darüber hinaus kann das Ziel der Mikroverkapselung die Verbesserung von Prozesseigenschaften sein. Dazu zählen die Überführung von Flüssigkeiten in eine feste, einfacher zu dosierende Form, die Verhinderung von Staubentwicklung, die Stabilisierung und Anreicherung von Stoffen.

Darüber hinaus können Ernährungs- und Gesundheitsfragen im Fokus stehen, um Inhaltsstoffe gezielt an einer bestimmten Stelle im Verdauungstrakt oder retardiert freizusetzen. In diesem Sinne spielt auch die Maskierung unerwünschter Geruchs- und Geschmackseindrücke wertvoller Substanzen im Endprodukt eine Rolle. Das aber wohl größte Einsatzgebiet ist die Verkapselung von Aromen, um zum Zeitpunkt des Verzehrs ein optimales Geschmackserlebnis zu garantieren.

Weitere Anwendungsbeispiele sind die Verkapselung von Mineralstoffen und Vitaminen, z.B. für Getränke, Cerealien, Süßwaren und Nahrungsergänzungsmittel oder auch für die Futtermittelindustrie. Neben Mikroorganismen für Starterkulturen und Probiotika gibt es Anwendungen für natürliche Farbstoffe und Extrakte (z.B. Curcumine, Carotine), Süßungsmittel und Säuren (Ascorbinsäure bei Backwaren, Milch-



Grafik: Coperion GmbH

Abb. 1: Schema eines extrudierten Pellets mit mikroverkapselten Partikeln/Tropfen.



Foto: Coperion GmbH

Abb. 2: Extrudierte, verkapselte Flüssigaromen.

säure in Rohwurstwaren, Aminosäuren). Weitere Beispiele sind sekundäre Pflanzenmethabolite wie Anthocyane oder Phenole und hochwertige, essentielle Öle und Fette (Omega-3-Fettsäuren, Fischöle), die verkapselt oder in Matrizen eingebettet werden und somit als Aufwertung für die klassischen, bekannten Lebensmittel als Rezepturbestandteile verfügbar sind.

## Welche Matrix?

Ebenso vielfältig wie die Anwendungsbereiche der Mikroverkapselung in der Lebensmittelindustrie ist die Auswahl möglicher Matrixzusammensetzungen. Die Wand-, Mantel- oder Hüllmaterialien der Kapseln stellen keine homogene Gruppe dar. In vielen Fällen werden Hydrocolloide wie Kohlenhydrate oder Proteine genutzt. Dies beinhaltet Mono- und Oligosaccharide wie Zuckerstoffe, Dextrine, Stärke- und Cellulosederivate sowie Gluten, Caseine und Molkenproteine. Darüber hinaus werden auch Pflanzengummis wie Agar, Alginat und Pektin oder höher schmelzende Fette und Wachse eingesetzt.

Die Matrix der Hüllsubstanz der Mikrokapselformung soll gewöhnlich im Glaszustand vorliegen, um optimal zu schützen. Zur Verarbeitung bzw. Verkapselung ist jedoch häufig der Zusatz von Weichmachern oder Emulgatoren erforderlich.

## Welches Verfahren?

Sprühtrocknung und Extrusion sind die in der Lebensmitteltechnik am häufigsten eingesetzten Verkapselungsverfahren. Beide werden seit langer Zeit im großtechnischen Maßstab für die kon-

tinuierliche, wirtschaftliche Produktion eingesetzt.

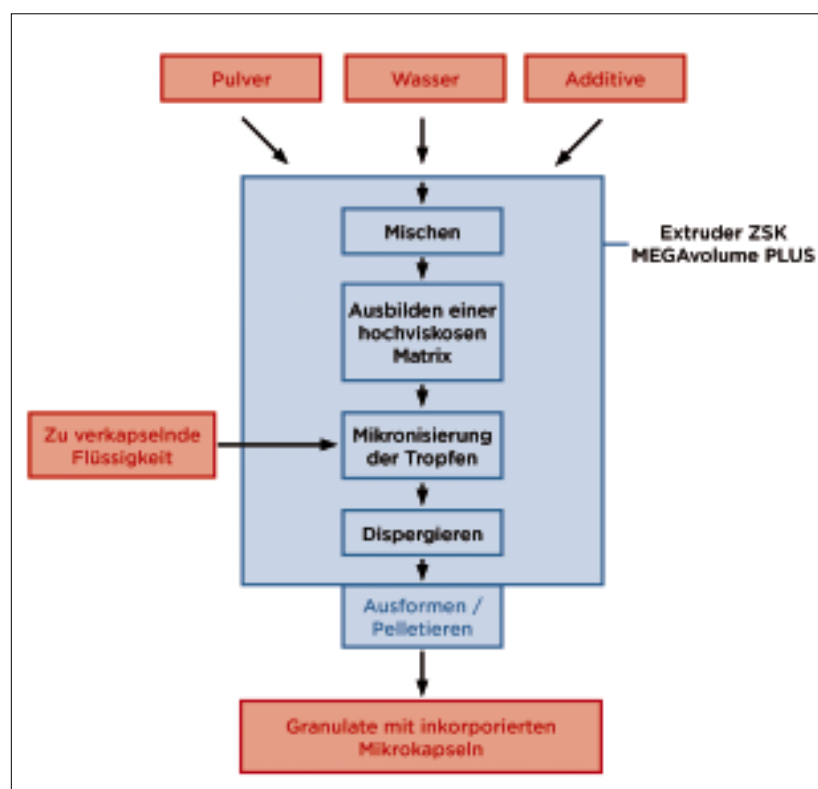
Die Extrusion im gleichsinnig drehenden Doppelschneckenextruder besitzt gegenüber der Sprühtrocknung zahlreiche Vorteile, da sie in hochviskosen Medien erfolgt. Ein aufwändiger, produktschädigender und unwirtschaftlicher Rücktrocknungsschritt entfällt bei diesem Verfahren. Zudem kann die Temperaturführung der Mikroverkapselung bei der Extrusion unabhängig von Verdampfungstemperaturen von Solvationsmitteln (zumeist Wasser) gewählt werden. Die Zugabe der zu verkapselnden Substanz erfolgt im Normalfall nach Ausbildung/Strukturierung der hochviskosen Hüllmatrix. Ein weiterer Vorzug der Mikroverkapselung im Extrusionsverfahren ist die Vielzahl an möglichen Wandmaterialien. Von der Maschinen- seite gibt es nahezu keine Grenzen für die Wahl des Matrixmaterials. Extrudierte Mikrokapselformen sind mit Ausnahme der die Granulatoberfläche berührenden Einschlüsse vollständig von der Hüllsubstanz umschlossen. Extrudierte Mikrokapselformen sind darüber hinaus im Gegensatz zu sprühtrockneten Produkten

ohne weitere Agglomerationsschritte gut benetzbar.

## Welche Freisetzungsmechanismen?

Die Kombination aus einer dichten, dicken, mechanisch stabilen Hülle und einer quasi uneingeschränkten Rezepturwahl bei der Mikroverkapselung ermöglicht im Extrusionsverfahren eine Vielzahl von Freisetzungsmechanismen des verkapselten Kerns:

- Mechanische Freisetzung durch Zerstören der Hülle, beispielsweise beim Kauen des Endproduktes
- Aufschmelzen der Hülle beziehungsweise Auflösen des Mantels durch Solvatisieren der Matrix bei Verzehr im Mund oder bei der Zubereitung durch den Konsumenten
- Freisetzung mittels Diffusion durch das Wandmaterial für eine zeitgesteuerte Migration
- Zersetzung der Hülle durch chemische oder enzymatische Hydrolyse im Verdauungstrakt oder bei weiteren Produktionsschritten bzw. während der Zubereitung durch den Konsumenten.



Grafik: Coperion GmbH

Abb. 3: Fließbild zur kontinuierlichen Verkapselung durch Extrusion.



Foto: Coperion GmbH

Abb. 4: ZSK 45 MEGAvolume PLUS in food design.

## Funktionsweise des Extrusionsverfahrens?

Bei der Extrusion wird zuerst das pulverförmige Basismaterial dem Verfahrensteil zudosiert, zumeist ein Hydrokolloid oder eine geeignete Vormischung mit filmbildenden Eigenschaften. Je nach Bedarf werden stromab Wasser oder Weichmacher zugegeben, später das zu verkapselnde Produkt. Im Verfahrensteil wird eine homogene Mischung von Kernmaterial und Hülle erzeugt und unter Druckaufbau durch geeignete Düsen gepresst. Aufgrund des modularen Aufbaus der Doppelschnecken werden im Verfahrensteil unterschiedliche Prozessschritte wie Mischen, Kneten, Scheren und Aufheizen bewirkt. Dadurch werden zunächst Zucker geschmolzen, kolloidale Gele ausgeformt und Polymere plastifiziert und in diese Matrix das zu verkapselnde Produkt als Feststoff oder Flüssigkeit zudosiert und mit speziellen Mischelementen dispergiert. Es werden somit hochviskose, wasserarme

Teige oder Schmelzen verarbeitet, die meist nur eines geringen nachträglichen Trocknungs- oder Kühlaufwands bedürfen. Die Schmelze wird direkt nach Austritt aus der Düse mit Hilfe einer zentrischen Granulierung zu sich verfestigenden Pellets geschnitten. So können sphärische oder linsenförmige Produkte ab einem Durchmesser von 0,5 mm erzeugt werden. Sie sind mechanisch stabil. Die verkapselten Partikel/Tropfen sind in die kontinuierliche Matrix, die eine dicke Schutzschicht bildet, vollkommen eingeschlossen. Die Extrudate weisen eine Beladung von unter 10% bis max. 25% auf. Eine Nachbehandlung der Oberfläche ist möglich, um freiliegende Tröpfchen/Partikel zu entfernen. Mit diesem Extrusionsverfahren können je nach Maschinengröße Durchsätze im Laborbereich von 1 bis 10 kg/h und im Produktionsmaßstab bis zu mehreren 100 kg/h realisiert werden.

Die gleichsinnig drehenden Doppelschneckenextruder ZSK von Coperion

bieten für Food- und Pharmaanwendungen hygienische Vorteile. Es handelt sich bei der Maschine um ein geschlossenes, kontinuierlich arbeitendes System, das konstante Produktqualitäten liefert. Das Verfahrensteil der ZSK Extruder ist modular aus einzelnen Gehäusen in verschiedenen Typen und Schneckenelementen aufgebaut und wird in unterschiedlichen Baugrößen für ein breites Anwendungsspektrum eingesetzt – unter anderem für die Mikroverkapselung.

Für Forschung und Produktentwicklung sowie für kleine Produktionsmengen bietet Coperion die Doppelschneckenextruder ZSK 18 MEGAlab und ZSK 26 MEGAcoumder an. Sie erzielen Durchsätze von 1 kg/h bis etwa 20 kg/h. Für größere Produktionschargen steht die ZSK MEGAvolume PLUS Baureihe zur Verfügung. Diese steht in sieben Baugrößen von 34 mm bis 125 mm Schneckendurchmesser zur Verfügung. Die ZSK MEGAvolume PLUS Baureihe zeichnet sich durch ein großes freies Schneckenolumen und eine geringe Scherbelastung aus, die hohe Drehzahlen zulässt.

Die ZSK Doppelschneckenextruder können mit ihrer hohen Leistungsdichte problemlos die Drehmomente übertragen und die erforderliche spezifische Energie für den Mikroverkapselungsprozess einbringen. Aufgrund des modularen Aufbaus kann jeder ZSK Extruder individuell an das Verfahren sowie das Produkt angepasst werden. Jedes einzelne Gehäuse ist separat temperierbar – elektrisch beheizt durch Heizpatronen oder Heizschalen bzw. intensiv wassergekühlt durch ein eng an die Gehäusewände angebrachtes System von Kühlbohrungen.

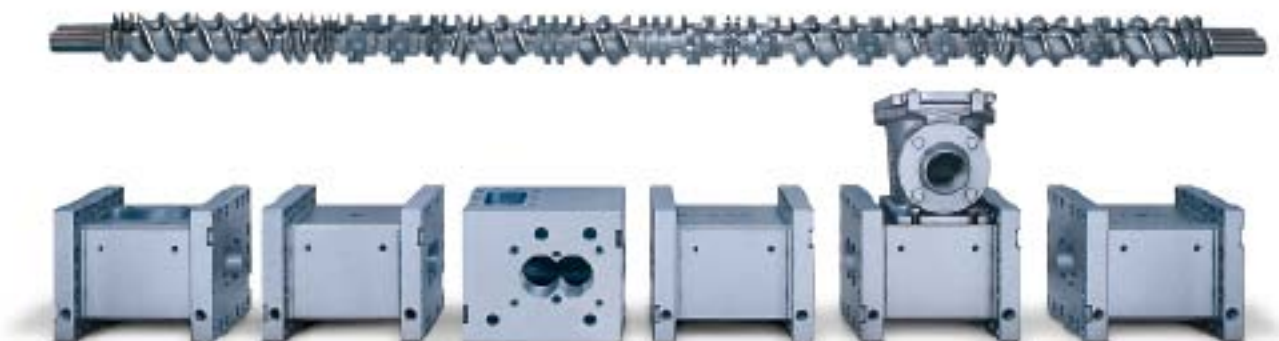


Foto: Coperion GmbH

Abb. 5 : Baukasten Prinzip der ZSK Extruder.