
Geschäumtes, elastisches, protein-basiertes Produkt, Verfahren zur Herstellung solcher Produkte, insbesondere von pflanzenprotein- und pflanzenfaser-basierten extrudierten Fleischanalogen, Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens sowie Verwendung des Produktes zur Herstellung von pflanzenprotein-basierten Fleischanalogen

Beschreibung

Gattung

Die Erfindung betrifft ein geschäumtes, elastisches, protein-basiertes Produkt.

Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines derartigen Produktes, mit definiert eingestelltem Porenöffnungsgrad.

Außerdem betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Schließlich betrifft die Erfindung eine Verwendung des erfindungsgemäßen Produktes als Hauptkomponente zum Herstellen von Pflanzenprotein basierten Fleischanalogen.

Stand der Technik

Viskose Massen können in Extrudern aufgeschäumt werden, in dem unter Atmosphären- oder Überdruck Gas zudosiert, gemischt/dispergiert und/oder unter Überdruck teilweise bis vollständig gelöst, nachfolgend durch Druckentspannung wieder freigesetzt wird und in der viskosen Masse schaumbildend teilweise bis vollständig eingebunden bleibt /1,2/.

Eine weitere bekannte Möglichkeit bietet der Zusatz von Schäumungsmitteln, welche in Folge chemischer/physikochemischer und/oder thermischer Reaktion ein Gas bilden, welches ebenso unterstützt durch Misch-/Dispergiervorgänge in die viskose Masse schaumbildend teilweise bis vollständig eingebunden wird. Entsprechende viskose Massen können synthetischer und/oder biologischer Natur sein bzw. auch aus Mischungen solcher bestehen und Basis oder Komponente von Produkten der Lebensmittel-, Kosmetik-, Pharma-, Baustoff-, oder Kunststoffindustrie sein. In Extrudern werden derartig geschäumte viskose Massen von den Extruderschnecken gefördert und durch eine Extruderdüse gepresst. Dabei erfolgt infolge Verengung des Strömungsquerschnittes beim Übergang von Extrudergehäuse zur Extruderdüse ein statischer Druckaufbau, welcher in der Düse bei mehr oder weniger konstant gehaltenen Düsenquerschnitt über die dort herrschenden Strömungsschubspannungen infolge Wandreibung und innerer Fluidreibung wieder bis auf Atmosphärendruck am Extruderdüsenaustritt abgebaut wird. Der Druckaufbau in der Düseneinlaufzone (vor Eintritt in die Düse) komprimiert das in den Schaumblasen eingeschlossene Gas und verkleinert damit die Schaumblasen, der Druckabbau in der Extruderdüse bis auf Austritts-Atmosphärendruck lässt das Gas in den Schaumblasen wieder expandieren und vergrößert damit die Schaumblasen. Größere

Gasblasen lassen sich in der Düsenströmung gegenüber kleineren Gasblasen bei kleineren Strömungsspannungen deformieren und sofern eine kritische Spannung überschritten wird aufbrechen und somit in kleinere Blasen umwandeln.

In aller Regel ist angestrebt, dass aus der Extruderdüse ein definiert geformter Materialstrang austritt, da mittels der Extruderdüse auch typischerweise die Produktformgebung erfolgt. Häufig ist die Maßhaltigkeit solcher Produkte auch ein wichtiges Qualitätsmaß. Dies wird unter anderem dadurch erreicht, dass eine gleichmäßige laminare Strömung in der Düse realisiert wird, welche einer ebenen Schichtenströmung entspricht. Wird ein geschäumtes Fluidsystem in einer solchen Düsenströmung bewegt, herrscht infolge des typischen parabolischen Strömungsprofils verstärkte Scherung des Fluidsystems an der Düsenwand, wohingegen in der Düsenkanalmitte keinerlei Scherung auftritt. Eine Quervermischung des derartig strömenden Fluidsystems erfolgt nicht (parallele Schichtenströmung), sofern der Düsenkanal keine Strömungshindernisse aufweist. Die maximale in der wandberührenden Fluidschicht vorliegende Wandschergeschwindigkeit (= Geschwindigkeit des betrachteten wandnahen Fluidfilms an seiner der Düsenkanalmitte zugewandten Seite dividiert durch die Fluidfilmdicke) bewirkt in aller Regel die Ausbildung einer wandnahen Grenzschicht. Sofern das Fluidsystem disperse Komponenten beinhaltet, werden diese infolge der in der betrachteten wandnahen Fluidschicht wirksamen Wandschergeschwindigkeit in Rotation versetzt und erfahren durch diese eine dynamische Auftriebskraft (Liftforce), welche eine von der Wand weg in Düsenkanalmitte weisende Separation der dispersen Komponenten bewirkt. Dies gilt grundsätzlich für Feststoffpartikeln /3/ aber auch Gasblasen /4/ und führt zu einer Verarmung der wandnahen Fluidschicht an ebensolchen dispersen Komponenten.

Bei der Extrusion von Fleischanalogen auf Pflanzenproteinbasis wird bevorzugt der Prozess des „High Moisture Extrusion Cooking (HMEC)“ eingesetzt. Dieser steht für eine unter hoher Temperatur (bis ca. 170°C) und hohen statischen Drücken (bis ca. 100 bar) erfolgende Extrusion unter Produkt-Wassergehalten von bis ca. 70 Gew.%. In einer unter diesen Konditionen erzeugten wässrigen Protein-Schmelze erfolgt Proteindenaturierung in Form sich bildender Proteinfibrillen, welche in der Extruderdüsen-Einlaufströmung in Folge dort wirksamer Dehnströmungsanteile in Strömungsrichtung orientiert und durch nachfolgende Abkühlung (auf ca. 60°C) in einer langen ($\geq$ ca. 1 m) Extruder-Kühldüse in diesem orientierten Strukturzustand verfestigt werden. Das abgekühlte Produkt tritt bei typischerweise laminarer Düsenströmung als glatter Strang aus der Extruderdüse. Die orientierten Proteinfibrillen verleihen dem Produkt eine fleischartig faserige Textur /5/. In Folge der langsamen Abkühlung des Produktes in der Extruderdüse wird eine schlagartige Wasserdampfentspannung unterdrückt und die Strukturbildung somit nicht gestört.

Der Stand der Technik hinsichtlich HMEC Extrusionsverfahren zur Herstellung von pflanzenprotein-basierten Fleischanalogen wird beispielsweise in den Patentschriften US6,635,301B1, WO2016/150834 A1, EP1182937 A4, WO2009075135, US20050003071 A1, WO2016150834 A1 und US 10,716,319 B2 umfassend beschrieben. US 10,716,319 B2 (Method of making a structured protein composition) wird in technologischer Hinsicht als nächstliegende Beschreibung (closest state of the art) zur in dieser Patentapplikation beschriebenen, erfindungsgemäßen Technologie betrachtet:

(Übersetzte Zusammenfassung aus US 10,716,319 B2): „Die im Extruder erhaltene faserige Zusammensetzung verlässt den Extruder bei einer Temperatur der Zusammensetzung, die höher als die anwendbare Siedetemperatur von Wasser ist (z. B. 100 °C bei atmosphärischem Druck oder niedriger, falls eine Vakuumöffnung verwendet wird). Es wird angenommen, dass dies zu einer Expansion und einem anschließenden Zusammenfallen des texturierten Produkts führt. Es wird ferner angenommen, dass die Expansions-/Kollabierungsbehandlung die Faserorientierung stört und somit zur Bildung einer zufälligeren Orientierung der gebildeten Fasern führt. Daneben wird angenommen, dass es zur Bildung von Lufteinschlüssen (auf Mikro- und Makroskala) im texturierten Produkt kommt. Zur Feinabstimmung des Mundgefühls (Biss), der Zartheit und der Saftigkeit kann nach dem Texturierungsprozess das extrudierte Produkt in einer wässrigen Flüssigkeit bei erhöhten Temperaturen, das heißt zwischen 40 und 150°C, bis zu einem endgültigen Feuchtigkeitsgehalt von 50 bis 95% hydratisiert werden. Schneidetests werden am häufigsten verwendet, um die Zartheit der Extrudate zu messen, beispielsweise mittels Warner Bratzler-Scherblatt // oder Kramer-Scherzelle //. Das Produkt der Erfindung hat eine heterogene Struktur und ein relativ großes freies Volumen. Dies trägt zu seiner relativ hohen Wasseraufnahmefähigkeit bei. Dies ist von Vorteil, da die Absorption wässriger Flüssigkeiten das Hinzufügen gewünschter Geschmackskomponenten erleichtert und es ermöglicht, das Produkt hinsichtlich Saftigkeit und Biss zu variieren. Eine Infusion in das erfindungsgemäße Extrudat erfolgt in das durch Extrusion erhaltenen feuchte Produkt. Abweichend vom Hintergrund der Technik erfordert das Extrudat der vorliegenden Erfindung kein Trocknen und Rehydratisieren. Es bleibt im Wesentlichen feucht und wird dann durch Infusion weiter mit Wasser oder einer anderen wässrigen Zusammensetzung gefüllt. Das Extrudat hat vorzugsweise einen Wassergehalt von 55 Gew.-% bis 70 Gew.-%.

Die strukturierte pflanzliche Proteinzusammensetzung, die aus der Infusion mit einer wässrigen Flüssigkeit resultiert, weist vorzugsweise einen Wassergehalt von 70 Gew.-% bis 90 Gew.-% auf. Überraschenderweise kann die oben erwähnte Infusion durch eine wässrige Flüssigkeit verbessert werden (das heißt schneller ablaufen und/oder den Einbau von mehr Wasser ermöglichen), wenn das Extrudat zuerst eingefroren (und dann vor der Infusion aufgetaut) wurde. Vorzugsweise liegt die Gefriertemperatur unter -5°C und -15°C."

Die Mikroschäumung hochviskoser und viskoelastischer, teigartiger, Protein- und Nichtprotein-basierter Massen mittels Extrusionsverfahren wird in WO 2017/081271 A1 beschrieben.

Der Stand des Wissens zu Lebensmittel-Schaumsystemen wird beispielsweise in Peter J. Hailing & Pieter Walstra (1981) Protein-stabilized foams and emulsions, C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 15:2, 155203, DOI:[10.1080 /10408398109527315](https://doi.org/10.1080/10408398109527315) und in Ashley J. Wilson (1989) Foams: Physics, Chemistry and Structure; Springer-Verlag London, ISBN 978-1-4471-3809-9 beschrieben.

Die Herstellung offenporiger Schäume ist aus der Kunststoff-/Schaumstoffindustrie bekannt (N. Mills (2007); Polymer Foams Handbook; Hardcover ISBN: 9780750680 691; Imprint: Butterworth-Heinemann).

Herkömmliche Extrusionsverfahren, insbesondere Kochextrusionsverfahren im Bereich von Lebensmittel, Baustoff und Tierfutteranwendungen realisieren eine nur in weiten Grenzen und nicht reproduzierbare Porenbildung durch schlagartige Verdampfung von Wasser/Lösungsmittel am Extruderdüsenaustritt. Dabei erfährt das Produkt (Extrudat) die Ausbildung einer schaumartigen Struktur, welche durch die schlagartige Verdampfung des Wassers infolge des Druckabfalls realisiert wird.

Bei neueren Extrusions-/Kochextrusionsverfahren kann ein aufgeschäumtes Produkt auch mittels Gaszudosierung und Gasdispergierung bzw. Gaslösung und Renukleierung von Gasblasen zu einem in der Schaumstruktur besser kontrollierten Produkt führen. Allerdings sind solche Produkte typischerweise geschlossenporig und bilden bei der Durchströmung durch die Extruderdüse infolge der wandnahen maximalen Scherung eine weitgehend Schaumblasen-/Poren freie Hautschicht aus.

Für die Anwendungsfälle der Schaumextrusion ist es zur Einstellung der Produkteigenschaften essentiell die Schaumporenstruktur dahin gehend zu kontrollieren, dass das Verhältnis von geschlossenen und offenen Poren eingestellt werden kann.

Offene Poren ermöglichen die in bestimmten Anwendungsfällen, z.B. bei Instantprodukten eine gewünschte schnelle Aufnahme von Flüssigkeit durch Kapillarkräfte, geschlossene Poren sind wünschenswert bei Einstellung von möglichst niedriger Produktdichte, Erhalt eines schaumigen/cremigen Mundgefühls (Lebensmittel) oder Reduktion der Aufnahmegeschwindigkeit von Fluid (Schaumblasen als Stofftransportbarrieren).

Für eine bestimmte Palette an Produkten aus verschiedenen Anwendungsbereichen ist die Einstellbarkeit des Verhältnisses von geschlossenen zu offenen Poren wesentlich für die Ausprägung bestimmter Qualitätsmerkmale. Typische Beispiele dafür sind Fischfütterpellets welche in ihrer Sinkgeschwindigkeit bzw. in ihrem Schwimmverhalten auf bestimmte Fischarten, welche typischerweise ihre Futteraufnahme vom Grund des Gewässers (aus der Schwebelage in bestimmter Gewassertiefe oder schwimmend von der Oberfläche) aufnehmen.

Keine industriell relevante Lösung liegt bislang vor für Lebensmittelprodukte mit hohem Gehalt an gebundenen Wasser, wie beispielsweise pflanzenproteinbasierte Fleischanaloga, die bis zu > 60% an intermolekularer Wasserbindung aufweisen, um solche einerseits durch definiert einstellbare (i) Mikroschaumbildung und (ii) Verhältnis offener zu geschlossenen Schaumporen in ihrer Konsistenz und damit textursensorisch zu optimieren und andererseits ein einstellbares zusätzliches, insbesondere produktionsrelevant schnelles (Sekundenbereich) Fluidaufnahmevermögen zu realisieren, um z.B. Saftigkeit und bestimmte Weiterbehandlungseigenschaften in z.B. Bratprozessen/Grillprozessen sowie Geschmack-/Aroma und nutritive Funktionalitäten zu optimieren.

Aus der KR 1020200140499 A ist bekannt, eine Schaumstruktur zu erzeugen, wobei zufällig Gaseinschlüsse erzeugt werden. Es wird auch vorgeschlagen mittels empirischer Rezepturänderungen eine Veränderung der Gaseinschluss-Schichten und deren Form zu beeinflussen, was aber wiederum nicht gezielt möglich ist. Am Extruderdüsenaustritt entsteht eine stochastische poröse Struktur, welche verfahrenstechnisch kaum beeinflusst werden kann, da es sich um eine unkontrollierte rapide Expansion handelt. Sofern

langkettige elastische Glutenmoleküle vorliegen, wird einer solchen Dampfexpansion verstärkt entgegengewirkt und damit ein weniger expandiertes Produkt erhalten. Diese verfahrenstechnisch nicht kontrollierte Herstellung von porösen Extrudatprodukten wird auf glutenhaltige Fleischanalogue übertragen.

Aus 2020/0060310 A1 ist es vorbekannt, eine poröse Struktur durch „puffing“ zu erzeugen. Hierunter wird eine schlagartige Expansion verstanden, welche nicht hinreichend kontrollierbar ist hinsichtlich der resultierenden Porosität und erst recht nicht hinsichtlich einem definierten Porenöffnungsgrad.

Aufgaben

Der Erfindung liegt zunächst die Aufgabe zugrunde, ein geschäumtes Produkt, mit hohem gebundenen Wasseranteil, im Falle extrudierter Fleischanalogue basierend auf einer konzentrierten Pflanzenproteinschmelze mit > 30 Gew.% Pflanzenproteinanteil und > 5 Gew.% Pflanzenfaseranteil sowie einem Gasvolumenanteil im Endprodukt von > 10 Vol.% zu schaffen, wobei das Gasvolumen in Form von Poren/Blasen vorliegt, welche zu einem einstellbaren Anteil als zur Produktoberfläche hin offene Poren vorliegen sollen, um z.B. eine beschleunigte weitere Flüssigkeitsaufnahme, mit in dieser Flüssigkeit beinhalteten sensorisch und/oder nutritiv relevanten Komponenten in das Produkt zu gewährleisten.

Des Weiteren liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem sich derartige Produkte herstellen lassen.

Außerdem liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine entsprechende, das Verfahren ermöglichende Vorrichtung bereitzustellen.

Schließlich besteht die Aufgabe ein derartiges Produkt, beispielsweise zum Herstellen von pflanzenprotein-basierten Fleischanalogen/Fleischalternativen, zu verwenden.

Lösung der Aufgabe betreffend ein Produkt

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des **Patentanspruches 1** gelöst.

Einige Vorteile

Die erfindungsgemäßen neuen, geschäumten Produkte lassen über die Einstellung des Schaumporenöffnungsgrades eine gekoppelte Einstellung bestimmter sensorischer und nutritiver Attribute als „intrinsische“ Eigenschaften dieser Produkte zu, welche für herkömmliche Produkte dieser Kategorie bislang nicht oder in geringem Umfang nur durch Zusatzprodukte (Saucen, Toppings etc.) erzielt werden konnten. Im Falle geschäumter, pflanzenproteinbasierter Fleischanaloge werden somit die für den Konsumenten maßgeblichen (a) sensorischen Qualitätsattribute: Zartheit, Saftigkeit, Knusprigkeit, Fleischgeschmack/Aroma, (b) nutritiven Funktionalitäten (z.B. durch Einbringung von bioverfügbarem Eisen sowie B-Vitaminen) sowie (c) Convenience Eigenschaften durch Ermöglichung bzw. Verbesserung der Koch-, Brat- und Grillfähigkeit, in abstimmbare einzustellender Weise verfügbar gemacht.

Die Schaumstrukturbildung in einem hochviskosen bis halbfesten Produkt lässt dessen mechanisches Verhalten maßgeblich in Richtung eines leichter deformierbaren/weicheren Materials beeinflussen. Bei solchen Produkten im Lebensmittelbereich wie sie beispielsweise extrudierte, geschäumte pflanzenproteinbasierte Fleischanalogue darstellen, würde man eine weniger kompakte, harte bzw. „zartere“ Konsistenz durch Aufschäumen konstatieren. Sofern es sich um (A) ein geschlossenporiges Schaumsystem handelt, trägt die Kompressibilität des in den Poren eingeschlossenen Gases zum Deformationsverhalten des Schaumproduktes bei. Die elastische Rückdeformation wird bei Wegnahme einer deformierenden Kraft durch die Rückexpansion des in den Poren eingeschlossenen Gases unterstützt, bei hohem Gasvolumenanteil auch dominiert. Bei (B) offenporigen Schäumen kann das in den Poren befindliche Gas bei Deformation der Schaummatrix, abhängig von der Porengröße mehr oder weniger schnell entweichen. Damit dominiert das Deformationsverhalten des die Schaumlamellen bildenden Matrixmaterials das makroskopische Deformationsverhalten des Schaumproduktes.

Bei geschäumten Lebensmitteln, welche einer maßgeblichen Deformationen durch Beißen und Kauen beim Verzehr derselben unterzogen werden, verstärkt eine geschlossene Schaumporenstruktur (A) die sensorischen Textureindrücke (i) Zartheit (tenderness) aber auch (ii) Gummiartigkeit (gumminess) im Falle fester Strukturen der die Gasblasen umgebenden Schaumlamellen sowie (iii) Kremigkeit (creaminess) im Falle fluiden Schaumlamellen Eigenschaften.

Offenporöse, schwammartige Schaumstrukturen (B) lassen die sensorischen Texturattribute (iv) Knusprigkeit (crunchiness) aber auch (v) Sprödigkeit (brittleness) bei festen Schaumlamelleneigenschaften in den Vordergrund treten. Der Fall fluider Schaumlamelleneigenschaften ist bei offenporigen Produktsystemen irrelevant, da ein Zerfließen des Matrixmaterials zu einem Schaum mit geschlossenen Poren führt.

Bei definiert geschäumten Matrices von pflanzenprotein-basierten Fleischanalogen, welche eine feste Struktur der die Gasblasen umgebenden Schaumlamellen aufweisen, adressieren die Konsumentenwünsche/Konsumentenvorstellungen als sensorische Texturattribute insbesondere Fasrigkeit (fibrousness) verbunden mit Zartheit (tenderness) sowie als weitere wichtige Attribute Saftigkeit (juiciness) und Knackigkeit/Biss/Knusprigkeit (crunchiness), oft auch im Kontext zu bestimmten Zubereitungsverfahren (z.B. Kochen, Braten, Grillen).

Im Falle solcher geschäumten Fleischanalog-Produkte mit zumindest teilweise offenen Poren lassen sich deren sensorische, nutritive und die Zubereitungs-Convenience betreffenden Eigenschaften maßgeblich dadurch erweitern, dass die Poren des geschäumten Basisproduktes mit funktionellen oder funktionalisierten Fluiden teilweise oder vollständig gefüllt werden, wobei solche Fluide nach Porenbefüllung auch verfestigen können. Mittels derartiger "Fluidfüllungen" der offenporigen Fleischanalogen lassen sich bestimmte Geschmack und Aroma bezogene sensorische und/oder auch nutritive Produkteigenschaften

ten sowie gegebenenfalls die Produktstabilität über konservierende Komponenten optimieren.

Die Befüllung offener Poren kann beispielsweise durch Kapillarkräfte erfolgen, welche bei abgestimmten Benetzungseigenschaften der Füllfluidphase in Folge der Ausbildung eines kapillaren Unterdruckes das Fluid einsaugen lassen. Da sich derartige Kapillarkräfte umgekehrt proportional zum Porendurchmesser verhalten, sind kleine Porendurchmesser im Bereich $\leq$ ca. 500 Mikrometer zu bevorzugen.

Der Erfindungsgegenstand legt eine wie vorab beschriebene HMEC Technologie zur bevorzugten Herstellung von pflanzenprotein-basierten Fleischanalogen zugrunde, wobei diese Technologie maßgeblich ergänzt wird durch Kombination mit einem Mikro-Schäumungsprozess, welcher im Extruder erfolgt und in vergleichbarer Weise, bezogen auf die Herstellung geschäumter Backwaren in /2/ beschrieben wurde. Dabei wird eine definiert dosierte Gasmenge (z.B. N₂, CO₂) in der wässrigen Proteinschmelze im Extruder unter dem dort eingestellten hohen Druck zunächst gelöst und anschließend unter Druckabsenkung in der Extruderkühldüse wieder entspannt. Dabei werden am Anfang der Extruderdüse Gasblasen nukleiert und im weiteren Verlauf der Düsenströmung unter fortschreitender Druckentspannung vergrößert und somit eine Schaumstruktur gebildet.

Im Weiteren wird in der Beschreibung des vorliegenden Erfindungsgegenstandes von dieser Aufschäumtechnologie und deren Übertragbarkeit auf die Herstellung von somit geschäumten Fleischanalogen, hergestellt mittels HMEC Technologie, ausgegangen. Der produktbezogene Fokus des nachfolgend beschriebenen Erfindungsgegenstandes liegt auf den pflanzenprotein-basierten (geschäumten) Fleischanalogen, welche durch Einstellbarkeit des Verhältnisses von geschlossenen zu zur Produktoberfläche hin offenen Poren/Porenkanälen innovative Einstellmöglichkeiten sensorischer und nutritiver Produktcharakteristika von maßgeblicher Konsumentenrelevanz verfügbar machen.

Die bei der Herstellung von Fleischanalogen beginnende wandnahe Abkühlung des Produktstromes aus dem HMEC Extruder am Eintritt in die Extruderdüse lässt unter dem dort noch herrschenden hohen Druck und der in Düsenwandnähe bereits merklich abgesenkten Temperatur (von typischerweise ca. 140-160°C auf ca. 90°C) in Folge der bei tieferer Temperatur verbesserten Gaslöslichkeit weniger Schaumblasen in Düsenwandnähe entstehen.

Die (i) hohe Scherung der abkühlenden, geschäumten Proteinschmelze in Düsenwandnähe unterstützt zusätzlich zum benannten Effekt der (ii) verbesserten Gaslöslichkeit eine (iii) Gasblasenverarmung durch Strömungseffekte (dyn. Auftriebskräfte) in der Düsenwandzone. Die damit an Gasblasen teilweise bis gänzlich verarmte "Hautschicht" des extrudierten geschäumten Fleischanalog-Stranges schirmt innere Schaumporen von der Umgebung ab. Da in Folge der typischerweise langsamen Produktabkühlung in bei der

Fleischanalog-HMEC Extrusion verwendeten langen gekühlten Extruderdüsen am Düsenaustritt keine signifikante Restdruckentspannung mehr erfolgt, bleibt eine wie beschrieben gebildete Produkthautschicht geschlossen erhalten. Für die mikro-geschäumten Produkte bedeutet dies das Vorliegen eines geschlossenen Schaumporensystems.

Für eine Mehrzahl von Anwendungen bzw. Produktendformaten ist es vorteilhaft, offene schwammartige Porensysteme zu erzeugen, welche in der Lage sind Flüssigkeiten durch nach außen geöffnete Poren in die poröse (schwammartige) Produktmatrix aufzunehmen. In solcher Form aufgenommene Fluide können mit der Matrixstruktur wechselwirken, Fluidcharakter beibehalten oder auch verfestigen bzw. teilverfestigen unter einzustellenden Rahmenbedingungen (z.B. Temperatur). Beispielsweise könnten für mit derartiger offenporiger Porosität ausgestattete Lebensmittelsysteme Flüssigkeiten aufnehmen, welche dem entsprechenden Lebensmittel Saftigkeit verleihen. Für Baustoffe entsprechender Porenstruktur könnten geeignete Fluidsysteme zur Imprägnierung verbesserte Beständigkeit gegen Schimmel-/Pilzbefall oder Schadinsekten bewirken. Für Anwendungen bei der Wundheilung kann entsprechend offenporig porös strukturiertes Abdeckmaterial mit Fluiden zur Desinfektion oder die Wundheilung fördernden Fluidkomponenten getränkt sein.

Vor diesem Hintergrund besteht anwendungsspezifisch großes Interesse in Extrusionsverfahren geschäumte Produktsysteme hinsichtlich ihrer Porenstruktur gezielt einzustellen.

Demgemäß adressiert der erfindungsgemäße Gegenstand eine Technologie zur Einstellung des Verhältnisses von geschlossenen Poren/Blasen zu offenen zur Produktoberfläche hin geöffneten Poren/Porenkanälen. Mechanistisch kann dies grundsätzlich auch durch die Verbindung ursprünglich geschlossener Schaumblasen/Poren realisiert werden, sofern diese in definierter Weise zur Koaleszenz bzw. Ausbildung von Verbindungskanälen zwischen denselben sowie an die Produktoberfläche, ohne maßgeblichen Verlust an Gesamtgasvolumenfraktion und Feinporigkeit, gebracht werden können.

Erfindungsgemäß wird die Einstellung des Porenvolumenverhältnisses $E = \varepsilon_{OP}/\varepsilon$ (ε_{OP} = Porosität der offenen Poren; ε = Gesamtporosität) einstellbar mittels verschiedener spezifischer Maßnahmen in deren einzelner oder gekoppelter Anwendung erreicht. Diese erfindungsgemäßen Porenöffnungs-Technologien POT_i sind Tabelle 1 zu entnehmen und werden nachfolgend detailliert beschrieben.

Nr.	Kurzbezeichnung	Beschreibung	Einstellschärfe
POT1	Flash-Opening (FOP)	Poren werden (POT-1.1) durch verstärkte Restdruckentspannung und gegebenenfalls zusätzliche (POT-1.2) Teilvakuum-Nachbehandlung nach außen geöffnet	o
POT2	Cut-Opening (COP)	Extrusionsproduktstrang wird geschnitten bzw. Hautschichten „abgeschält“	+

POT3	Penetration Opening (POP)	Multiple Nadelpenetration am Düsenaustritt öffnet Zugangs- und Verbindungskanäle zu bzw. zwischen den inneren geschlossenen Poren.	++
POT4	Forced Secondary Mixing-Flow Opening (Mix-Opening, MOP)	Eine die Fließeigenschaften des Produktes, während dessen Abkühlung in der Extruderdüse gezielt nutzende verstellbare Apertur (Blende) erzeugt sogenannte Sekundärströmungs-Mischeffekte, welche mit einstellbarem Ausprägungsgrad innere Produktbereiche nach aussen kehren und Porenkanäle/Spalte öffnen bzw. erzeugen lassen. Viskoelastische Fluide wie Proteinschmelzen lassen solche Strömungseffekte verstärkt und einstellbar erzeugen.	+
POT5	Slow Freeze-Opening (FOP)	Schaumlamellen zwischen geschlossenen Schaumporen werden durch Eiskristalle penetriert und somit offene Porenkanäle ausgebildet	

POT-1:

Eine erfindungsgemäße in der Spaltweite verstellbare Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) wird kurz vor Ende oder am Ende einer gegebenenfalls verkürzten Extruderschlitzdüse angeordnet und auf eine Position verengt, welche den statischen Druck vor Eintritt in den verengten Schlitzspalt auf einen Wert $\geq$ ca. 1.5-2 bar des nach Austritt aus dem Schlitzspalt herrschenden statischen Druckes, welcher typischerweise Atmosphärendruck ist, einstellen lässt. Der Extrudatstrang wird bei diesem erfindungsgemäßen Vorgehen nicht

direkt am Düsenaustritt abgeschnitten, sondern erst ab einer Länge von 5-10 cm. Damit beträgt die kürzere Längendistanz zwischen der Extrusionsstrangmitte und dessen Oberfläche gegenüber der extrudierten Produktstranglänge bis zu Strangschneidervorrichtung ca. $\leq 1/2 - 1/6$. Dies bewirkt erfindungsgemäß eine bevorzugte Gas-Druckentspannung in der Produktquerschnittsrichtung und somit zur Produktoberfläche hin. Dies ist begründet auf Grund des in dieser Richtung realisierten deutlich größeren Druckgradienten im Vergleich zu dem in der Strang-Längenrichtung herrschenden Druckgradienten. Die Ausprägung der in der Druckentspannungsrichtung gebildeten Porenkanäle und deren Aufbruch nach Außen zur Extrusionsstrangoberfläche hin wird durch die rheologischen Eigenschaften des extrudierten Produktes zum Zeitpunkt des Austritts aus der Extruderdüse maßgeblich mitbestimmt. Niedrigere Viskosität (bzw. Elastizität) erlaubt eine stärker ausgeprägte Materialdeformation unter Wirkung des Entspannungsdruckgradienten und einhergehend eine verstärkt ausgeprägte Porenkanalbildung.

Die erfindungsgemäße Ausführung der Geometrie der verstellbaren Schlitzdüsenvorrichtung (VSDA) ermöglicht eine unterschiedliche geometrische Formgebung des Strömungsquerschnittsverlaufes in Strömungsrichtung. Die Verengung ist erfindungsgemäß vorzugsweise abrupt (ca. 90°) ausgeführt, womit die Ausbildung einer Sekundärströmung des Extrusionsstrangfluids in der Zone der Wiederaufweitung des Strömungskanalquerschnittes forciert wird. In dieser Nachlauf-Sekundärströmungszone erfolgt eine deutliche Absenkung des statischen Druckes und andererseits die Erzeugung einer walzenartigen Sekundärströmung, welche eine Durchmischung des Strangfluids quer zu dessen Strömungsrichtung in Höhenrichtung des Schlitzdüsenkanals bewirkt. Die "von Innen nach Außen Kehrung" des Extrusionsstrangmaterials hängt von der Intensität der Sekun-

därströmung und deren Rotationsfrequenz ab. Da sich das Strangmaterial kurz vor dem Düsenaustritt oder auch direkt an diesem befindet, besteht keine erneute Möglichkeit der Ausbildung einer geschlossenen Hautschicht auf dem Produktstrang, welche zum erneuten Porenverschluss führte. Somit erfolgt die Bildung von bleibenden zur Extrusionsstrangoberfläche hin offenen Poren/Porenkanälen.

Die erfindungsgemäßen Produkte, hergestellt durch das erfindungsgemäße Verfahren unter Anwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung machen neuartige, in ihrer Schaumstruktur definiert eingestellte Extrusionsprodukte verfügbar. Diese bilden eine praxisrelevante Basis für neuartige Produktentwicklungen:

- (a) mit eingestelltem Volumenverhältnis von offenen und geschlossenen Poren (Poren-Öffnungsgrad POG),
- (b) ohne Haut-/Randschichtbildung beim Durchströmen der Extruderdüse
- (c) mit einstellbaren Textureigenschaften (Zartheit, Knusprigkeit, Saftigkeit)
- (d) mit erweiterten Möglichkeiten der Geschmacks-/Aroma-/Wirkstoff-Optimierung durch in die offenen Poren aufgenommene Fluidsysteme, welche entsprechende Geschmacks-, Aroma- oder Wirkstoffkomponenten beinhalten, die den Extrusionsprozess nicht durchlaufen, deren Funktionalitätsverminderung damit vermeiden lassen und deren Freisetzung bei Anwendung (Verzehr und Verdauung bei Lebensmitteln, Einnahme von pharmazeutischen Produkten) über die offenen Porenkanäle) beschleunigen.
- (e) mit erweiterten Möglichkeiten zur „Instant-Produkt“ Herstellung, welche eine beschleunigte Benetzung und Dispergierung in Flüssigkeiten zulassen

Weitere erfinderische Ausgestaltungen

Weitere erfinderische Ausgestaltungen sind in den **Ansprüchen 2 bis 10** beschrieben.

In den **Ansprüchen 2 bis 5** wird die wichtige Rolle des Proteinanteils und der eingestellten denaturierten, gegebenenfalls anisotrop ausgebildeten Proteinstruktur hervorgehoben, da die bevorzugt in Betracht gezogenen Fleischanalog-Produkte den denaturierten, fibrillären Proteinstrukturen ihre fleischähnlichen Textureigenschaften maßgeblich verdanken.

Hierzu beschreibt **Anspruch 2** ein Produkt, bei welchem der Proteinanteil 10 – 95 Gew.% in seiner Trockensubstanz beträgt, während **Anspruch 3** ein Produkt beschreibt, bei welchem der Proteinanteil von 0 – 100 Gew.% aus pflanzlichem Protein besteht. .

Das Produkt in **Anspruch 4** ist dadurch gekennzeichnet, dass das Protein im Produkt in teilweise bis vollständig denaturierter Form vorliegt und eine fibrilläre Struktur aufweist, während das Produkt gemäß **Anspruch 5** dadurch gekennzeichnet ist, dass die denaturierte Form eine orientierte fibrilläre Struktur aufweist.

In den **Ansprüchen 6 bis 8** finden Ingredienzien und deren Quantitäten Berücksichtigung, welche für die Einstellung der sensorischen und nutritiven entsprechender veganer Fleischanaloge von besonderer Bedeutung sind.

Hierzu beinhaltet das Produkt nach **Anspruch 6** einen Pflanzenfaseranteil von 0.5 - 20 Gew.%, bezogen auf die Trockensubstanz.

In **Anspruch 7** ist ein Produkt beschrieben, bei welchem das Produkt einen Anteil an Fetten oder Ölen von 0.1 - 15 Gew.%, bezogen auf die Trockensubstanz, beinhaltet, während das Produkt in **Anspruch 8** dadurch gekennzeichnet ist, dass es einen Anteil an würzenden und/oder färbenden und/oder den nutritiven Wert zusätzlich zum Pflanzenfaseranteil verstärkenden Komponenten von 0.1 - 5 Gew.%, bezogen auf die Trockensubstanz, beinhaltet.

Die **Ansprüche 9 und 10** adressieren eine überraschenderweise gefundene Besonderheit der erfindungsgemäßen geschäumten Produkte mit offenem Porenanteil, welche deren Volumen, Form, Struktur und Textur bezogene Rekonstituierbarkeit nach nahezu vollständiger Trocknung darstellt. Der Einfluss des Porenöffnungsgrades ist sowohl bei der Trocknung als auch bei der Rekonstitution für die Beschleunigung des Wassertransportes aus dem feuchten Produkt bzw. in das trockene Produkt von maßgeblichem Einfluss.

Hierzu schlägt **Anspruch 9** ein Produkt vor, das sich nach Trocknung auf Restwassergehalte von ≤ 5 Gew.% und verderbfreier mehrmonatiger feuchtekontrollierter Lagerung unter Raumtemperaturbedingungen, bei in Kontaktbringung mit Wasser oder einem wasserhaltigen Fluidsystem unter Wiedereinstellung seines ursprünglichen Volumens und seiner Textur, ohne Trockensubstanzverlust, rekonstituiert.

Anspruch **10** beschreibt hierzu ein Produkt, das sich nach Trocknung auf Restwassergehalte von ≤ 5 Gew.% und verderbfreier mehrmonatiger feuchtekontrollierter Lagerung unter Raumtemperaturbedingungen, bei in Kontaktbringung mit Wasser oder einem wasserhaltigen Fluidsystem unter Wiedereinstellung seines ursprünglichen Volumens und seiner Textur, rekonstituiert.

Lösung der Aufgabe betreffend das Verfahren

Diese Aufgabe wird durch **Anspruch 11** gelöst, der dadurch gekennzeichnet ist, dass das Verfahren die Öffnung von im geschäumten Produkt eingeschlossenen Gasporen oder Gasblasen zur Produktoberfläche hin in einstellbarer Weise realisiert, wobei ein Extrusionsverfahren vom Typ „Hochfeuchtes Extrusionskochen“ (High Moisture Extrusion Cooking, HMEC) mit Gaseintrag, temporärer Gaslösung und kontrollierter Gasblasennukleierung sowie Schaumbildung zugrunde gelegt ist und zur Porenöffnung fünf Verfahrensvarianten: (a) Öffnung durch rapiden Umgebungsdruckabfall (Flash-Opening, FOP), (b) Öffnung durch Zerteilen bzw. Schälen des Produktes (Cut-Opening, COP), (c) Öffnung durch multiple Nadelpenetration (Penetration-Opening, POP), (d) Öffnung durch forcierte Sekundär-Mischströmung (Mix-Opening, MOP) und (e) Öffnung durch Gefrierstrukturierung (Freeze-Opening, FOP) einzeln oder in Kopplung angewendet werden, wodurch die Öffnung von im geschäumten Produkt eingeschlossenen Gasporen oder Gasblasen zur Produktoberfläche hin in einstellbarer Weise realisiert wird.

Einige Vorteile

Das erfindungsgemäße Verfahren und seine Ausgestaltungen lassen sich mit dem HMEC-Extrusionsprozess direkt koppeln und die zur Strukturierung der Proteinmatrix einzustellenden Extrusionsparameter zur Porenöffnung direkt übertragen. So kann für den Mechanismus der (a) Porenöffnung durch rapiden Umgebungsdruckabfall (Flash-Opening, FOP) der im Extruder aufgebaute statische Druck bis zum Düsenende so weit aufrechterhalten werden, dass eine hinreichend rapide und effiziente Restdruckentspannung zur Porenöffnung realisiert werden kann. Bei den Mechanismen (b) Porenöffnung durch Zerteilen bzw. Schälen des Produktes (CUT-Opening, COP) und (c) Porenöffnung durch multiple Nadelpenetration (Penetration-Opening, POP) wird die Bewegung bzw. kinetische Energie des Extrudatstranges am Düsenende zum Schneiden/Schälen oder zur Nadelpenetration genutzt. Zur Aktivierung des (d) Porenöffnungsmechanismus durch forcierte Sekundär-Mischströmung (Mix-Opening, MOP) wird ein Teil der kinetischen Strömungsenergie des Extrudatstranges zur Erzeugung einer walzenförmigen, für viskoelastische Massen zusätzlich periodisch oszillierenden Sekundärströmung genutzt, welche quer zur Strömung in Höhenrichtung der Extruder-Schlitzdüse eine Durchmischung bewirkt, die einhergehend geschlossene Schaumporen längt, zur Strangoberfläche hin bewegt und die Oberflächenstruktur derart, in der Intensität einstellbar „aufreißt“, dass ein somit ebenfalls einstellbarer Teil der entsprechend behandelten Poren zur Produktoberfläche hin geöffnet wird. Die Einstellbarkeit des Grades der Porenöffnung basiert dabei auf der Einstellbarkeit der Intensität der Misch-Sekundärströmung, welche wiederum über die Einstellung einer lokalen Schlitzdüsen-Höhenreduktion und die Transportgeschwindigkeit des Extrudatstranges in weiten Grenzen einstellbar ist. Der Mechanismus

(e) zur Porenöffnung durch Gefrierstrukturierung wird erfindungsgemäß auf Schaumstrukturen angewendet, um bei bevorzugt langsamer Gefriergeschwindigkeit vor allem große Eiskristalle zur Penetration von Materialzwischenwänden zwischen geschlossenen Poren zu penetrieren und diese damit in offene Poren umzuwandeln. Bei den präferiert betrachteten pflanzenproteinbasierten Fleischanalogen trägt der hohe Wassergehalt derselben (bis ≤ 60 Gew.%) zur Unterstützung der Eiskristallbildung bei.

Weitere erfinderische Ausgestaltungen

Weitere erfinderische Ausgestaltungen sind in den Ansprüchen 12 bis 25 beschrieben.

Gemäß den **Ansprüchen 12 bis 21** werden die Porenöffnungsverfahren mittels der Mechanismen (a) - (e) in ihrer verfahrenstechnischen Umsetzung detailliert. (a) mobilisiert Druckkräfte zum nach außen zur Produktoberfläche hin gerichteten Aufbruch von Porenbegrenzungen. (b) nutzt gezielte Schnittführungen zur Freilegung der Porenöffnungen. (c) schafft durch Nadelpenetration Verbindungskanäle zwischen den geschlossenen Produktporen und nach außen zur Produktoberfläche. (d) bezieht sich auf die Erzeugung von Sekundärströmungen in der Extruderkühldüse, um in der laminaren Schlitzdüsenströmung erzeugte weitgehend geschlossene Produkt-Hautschichten durch Quervermischung in der Höhenkoordinatenrichtung des Düsenkanals aufzubrechen und zusätzliche oberflächliche Querkanaäle/Querrinnen zu schaffen. Für die proteinreichen fleischanalogen Produktsysteme, welche vorrangig adressiert werden, lässt sich eine zusätzliche strömungsdynamische Besonderheit von viskoelastischen Fluidsystemen erfindungsgemäß vorteilhaft nutzen. Der sogenannte elastische Turbulenzeffekt (z.T. in der die Kunst-

stoffverarbeitung betreffenden Literatur auch als „Schmelzebruch-Phänomen“ benannt) entsteht in Folge der elastischen Deformationsenergie-Speicherung in der konvergierenden Einlaufströmung einer erfindungsgemäß ausgeführten und im Düsenkanal definiert angeordneten, hinsichtlich Schlitzkanalverengung verstellbaren Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) - Vorrichtung. In der divergierenden Auslaufströmung nach der Verengung entspannen sich die vorab gespeicherten elastischen Zugspannungen teilweise wieder durch elastische Rückdeformation des viskoelastischen Fluids (z.B. einer Proteinschmelze entsprechend bei HMEC extrudierten Fleischanalogen). Kleine Strömungsasymmetrien bzw. die stochastische Varianz der elastischen Deformation bewirken die Ausbildung einer periodisch, sinusförmig oszillierenden walzenartigen Strömungsstörung. Wie sich überraschenderweise auf Basis rheologischer Labormessungen für eine Vielzahl an Polymerschmelzen zeigte, entwickelt sich das vorab beschriebene Sekundärströmungsphänomen bei einem Verhältnis der Ersten Normalspannungsdifferenz N_1 zur Schubspannung τ ab einem Wert von $N_1/\tau \geq 1.5 - 2$ und wird in einem Bereich $N_1/\tau \approx 4 - 5$ besonders wirksam, um den beschriebenen erfindungsgemäßen Effekt der sinusförmig oszillierenden Sekundär-Misch-Strömung (OSMS) im Nachlauf einer lokalen Schlitzdüsen-Spaltverengung zur Quervermischung in der Extruderdüse für die Porenöffnung zur Produktoberfläche hin, zielführend zu nutzen. Die OSMS kann somit im Bereich $2 \leq \tau_w / N_1 < 5$ in ihrer erfindungsgemäß verfahrensrelevanten Intensität eingestellt werden. τ_w und N_1 sowohl in rheometrischen Labormessungen mittels Kegel-Platte Scherspalt als auch in hochdruckkapillarrheometrischen Messungen messbar. Letztere werden erfindungsgemäß auch direkt auf in-line Messungen in der Extruderschlitzdüse übertragen. Dies erfolgt erfindungsgemäß mittels statischen Druckprofil-Messungen im Düsenkanal

vor und nach der lokalen Schlitzdüsen-Höhenreduktion oder auch alternativ in der Extruder-seitigen Düseneintrittszone. Erfindungsgemäß vereinfacht wird die Intensität der OSMS über die Amplitude der statischen Druckschwankung im Schlitzdüsenkanal vor oder nach der lokalen Schlitzdüsen-Höhenreduktion, gemessen. Die Einstellung einer maximalen elastisch-turbulenten OSMS über eine erfindungsgemäße, verstellbare Apertur zur lokalen Schlitzdüsen-Höhenreduktion wird gegebenenfalls dadurch begrenzt, dass ein zu stark fragmentierter Produktstrang am Düsenaustritt vermieden werden soll. Dies wird dadurch erreicht, dass die erfindungsgemäße, verstellbare Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) Vorrichtung typischerweise in den ersten zwei Längendritteln der Extruderkühldüse in diese eingebaut wird. Damit wird der elastisch-turbulent durchmischte Produktstrang in der nach der Apertur sich wiedereinstellenden laminaren Schichtenströmung teilweise wieder definiert vergleichmäßig und Rissbildungen in der Struktur soweit erwünscht wieder graduell ausgeheilt. Um die erneute Ausbildung einer Hautschicht des Produktstranges mit einhergehendem Porenverschluss zur Produktoberfläche hin zu vermeiden, werden erfindungsgemäß der über die VSDA wie beschrieben einstellbare Grad der OSMS und die Länge der Extruderdüse im Apertur-Nachlauf abgestimmt, bzw. materialsystemspezifisch kalibriert.

Die **Ansprüche 22** und **23** nehmen Bezug auf die Möglichkeit, die Produkte nach erfolgter Porenöffnung gemäß einem oder einer Kombination der Verfahren (a)-(e) zu trocknen, um damit eine verlängerte Haltbarkeit bei Umgebungstemperatur-Lagerung zu erzielen. Die Porenöffnung wirkt sich auf den Wassertransport beim Trocknen als auch bei der Rekonstitution erfindungsgemäß vorteilhaft beschleunigend aus.

Gemäß den **Patentansprüchen 24 und 25** werden die Rahmenbedingungen für die Genauigkeit der Einstellung des Porenöffnungsgrades und des zugrunde gelegten Gesamtgasporenvolumens im Produkt, welches eine offene Verbindung zur Produktoberfläche aufweisen bzw. erhalten soll, festgelegt. Die sich daraus ergebende Bandbreite von (i) minimal 10 Vol.% Gesamtgasanteil (in Porenform) zu davon 5% geöffnet, bis (ii) maximal 80 Vol.% Gesamtgasanteil (in Porenform) zu davon 90% geöffnet ist z.B. für geschäumte Fleischanalogue relevant, um im Fall (i) z.B. eine leichte Durchdringung mit intensiv würzenden Substanzen in Fluidform zu erreichen, und im Fall (ii) z.B. 72% des Produktvolumens mit einer Konsistenz/Textur gebenden gegebenenfalls im Nachgang zur Porenbefüllung erstarrenden Fluidphase homogen zu durchdringen. Im letzteren Fall resultierte in der Anwendung auf Fleischanalogue eine gerüstgebende Proteinstruktur mit z.B. veganer Pasteten/Wurstbrät-Füllung. Im Bereich zwischen (i) und (ii) lassen sich "marmorierte" Produktstrukturen mit angepasster Fett-/Gel-Einlage realisieren, um typische Fleisch/Fett/Bindegewebe/Gel-Strukturen und verbundene sensorisch bevorzugte Textureigenschaften weitergehend einstellen.

Gemäß **Anspruch 25** wird der gaserfüllte Volumenanteil auf 80 Vol.% begrenzt, da sich die erfindungsgemäßen auf eher feste Schaumprodukte bezogenen Porenöffnungsmechanismen bei zu fragilen Schäumen nicht mehr hinreichend zerstörungsfrei für das Gesamtprodukt übertragen lassen.

Lösung der Aufgabe betreffend die Vorrichtung

Diese Aufgabe wird durch **Anspruch 26** gelöst, der dadurch gekennzeichnet ist, dass der Extrusionsdüse eine Abschneidevorrichtung und ein abschnittsweise mittig teilperforiertes Förderband der Kühldüse eines HMEC-Aufschäumextruders nachgeschaltet sind sowie das Förderband mit dem aufliegenden, abgeschnittenen Teil des Produktes zwischen zwei Vakuumier-Halbschalen geführt ist, welche von oben und unten gegeneinander anpressend das Förderband nebst Produkt dichtend einschließen, und wobei diese Vakuumier-Halbschalen zur schlagartigen Aufbringung eines Teilvakuums auf das geschäumte extrudierte Produkt über eine mit einem Ventil zur schnellen Öffnung versehene Vakuumleitung mit einem Vakuumspeicherbehälter und dieser mit einer Vakuumpumpe verbunden sind.

Die Porenöffnungsmechanismen nutzen mechanische, fluidmechanische oder thermodynamische Wirkprinzipie, um die Öffnung geschlossener Poren zur Produktoberfläche hin mittels einer:

- (a) Vorrichtungsvariante zur Einstellung eines rapiden Umgebungsdruckabfalls (Flash-Opening, FOP),
- (b) Vorrichtungsvariante zum Zerteilen bzw. Schälen des Produktes (CUT-Opening, COP) im Austrittsbereich der Extruderkühldüse,
- (c) Vorrichtungsvariante zur multiplen Nadelpenetration (Penetration-Opening, POP) direkt nach Austritt des teilgekühlten Produktes aus der Extruder-Kühldüse

- (d) Vorrichtungsvariante zur Erzeugung einer Sekundär-Mischströmung (Mix-Opening, MOP) in der Extruderkühldüse.
- (e) Vorrichtungsvariante zur Erzeugung großer Eiskristalle zur Schaumlamellen-Penetration mittels Gefrierstrukturierung (Freeze-Opening, FOP) in einer Nachbehandlung zur Quench-Kühlung nach Extruderkühldüsenaustritt, welche in einzelner oder gekoppelter Anwendung zu nutzen sind.

Kernelement der Vorrichtungen zur Aktivierung der Porenöffnungsmechanismen gemäß (a) und (d) ist eine Verstellbare Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA). Deren freie Querschnittsfläche für den Durchtritt des Extrudates entspricht im zu 100% geöffnetem Zustand exakt den Massen des freien Extruder-Schlitzdüsen Querschnitts. Für den Fall eines flachen, rechtwinkligen Extruderdüsen-Schlitzkanals sind in die obere und untere den Durchströmungsschlitz der Aperturvorrichtung begrenzenden Wand über die gesamte Schlitzbreite, rechtwinklig zur Strömungsrichtung jeweils ein angeschnittener drehbar gleitgelagerter Metallzylinder (2) in das Apertur-Gehäuse (1) dichtend eingelassen. Die Anschnittflächen dieser Zylinder sind bei vollständiger Aperturöffnung bündig mit der Strömungskanalwand (3). Von außerhalb des Apertur-Gehäuses (1) sind die Metallzylinder (2) von Hand oder mittels zweier Stellmotoren gesteuert bzw. geregelt verdrehbar einzustellen, so dass eine einseitige oder zur Düsenlängsachse symmetrische Verengung der Apertur erfolgt, welche bei einem Verdrehwinkel von 90° dem maximalen Verschlussgrad des Schlitzkanalquerschnittes entspricht (weitere Details, siehe Beschreibung der Figuren, Figur 1).

Eine Aktivierung des Porenöffnungsmechanismus d) zur Erzeugung einer Sekundär-Mischströmung (Mix-Opening, MOP) in der Extruderkühldüse, kann alleine mittels der VDSA Vorrichtung erfolgen. Diese wird im Falle (d) in einer Position zwischen 10-95% der Düsenlänge gemessen vom Düsenaustrittsende in die Düse integriert. Dies gewährleistet im Falle einer stark desintegrierten Extrudatstruktur, dass diese auf der verbleibenden Düsenstrecke nach Aperturpassage wieder zu einem Teil reintegriert und damit ein Zerfallen des Extrudatstranges am Düsenaustritt vermieden wird.

Zur Inanspruchnahme des Porenöffnungsmechanismus (a) in Folge schlagartiger Restdruckentspannung wird die VDSA Vorrichtung in einer Position zwischen 0-10% der Düsenlänge gemessen vom Düsenaustrittsende in die Düse integriert. Damit ist gewährleistet, dass erst kurz vor dem Düsenaustritt bzw. direkt am Düsenaustritt die schlagartige Entspannung des statischen Restdruckes und somit Porenöffnung zur Extrudatoberfläche hin erfolgt.

Für den Fall einer zusätzlichen schlagartigen Beaufschlagung des Extrudates mit partiellem Vakuum zur Porenöffnung werden abgeschnittene Extrudatteile in einer separaten quasikontinuierlich arbeitenden Vakuumvorrichtung direkt nach dem Düsenaustritt nachbehandelt. Diese Zusatz-Behandlungsvariante wird bevorzugt bei weicheren Extrudaten vorgenommen, welche im Falle von proteinbasierten Fleischanalogen eine höhere Düsenaustrittstemperatur bzw. einen höheren Wassergehalt besitzen.

Bei Anwendung der Porenöffnungsvariante (c) zur multiplen Nadelpenetration (Penetration-Opening, POP) direkt nach Austritt des teilgekühlten Produktes aus der Extruderkühldüse sind in der erfindungsgemäß bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung am Extrudedüsenaustritt zwei gegenläufig rotierende Hohnadel- oder Widerhaken Filznadel-Walzen derart angebracht, dass die von beiden Seiten in das Extrudat eindringenden Nadeln ineinandergreifen und die Rotation der Nadelwalzen bevorzugt ohne Hilfsantrieb, alleine durch den Vorschub des Extrudates durch den Spalt zwischen den beiden Nadelwalzen erfolgt (weitere Details siehe Beschreibung der Figuren, Figur 5).

Bei Anwendung der Porenöffnungsvariante (c) mittels Zerteilen bzw. Schälen des Produktes (CUT-Opening, COP) im Austrittsbereich der Extruderkühldüse, wird eine Schneide-/Schälmesser Anordnung kurz vor Austritt oder direkt am Austritt des Extrudatstranges aus der Extruderdüse angeordnet. Damit wird der Extrudatstrangvorschub genutzt, um die Schneidekräfte zu realisieren. Innenliegende Schaumporen werden damit zur neu geschaffenen Produktoberfläche hin geöffnet. Dies ist insbesondere dann angezeigt, wenn sich in der Düsenströmung eine an Schaumporen verarmte "Hautschicht" gebildet hat.

Einige Vorteile

Mit Ausnahme der zusätzlichen Vakuumbeaufschlagung zur Aktivierung des Porenöffnungsmechanismus (a) zur Einstellung eines rapiden Umgebungsdruckabfalls (Flash-Opening, FOP), sowie der Gefrierstrukturierung zur Aktivierung des Porenöffnungsmechanismus (e) zur Porenwandpenetration mittels Eiskristalle (Freeze-Opening FOP) sind

alle weiteren Vorrichtungen einfach aufgebaut und direkt in bzw. mit der Extruderdüse gekoppelt angeordnet. Damit resultiert der besondere Vorteil der direkten Koppelbarkeit dieser Mechanismen und der zugehörigen Vorrichtungsvarianten. Alle diese Vorrichtungen sind verschmutzungsunempfindlich, mechanisch robust und einfach voreinstellbar, so dass es keiner weiteren Manipulationen während des Produktionsablaufes bedarf.

Die Porenöffnung ist mittels der erfindungsgemäß konfigurierten Vorrichtungen effektiv und reproduzierbar vorzunehmen, wobei die Güte und der Grad der Porenöffnung noch durch das Materialverhalten des Extrudates bestimmt wird. Dieses muss eine Grundfestigkeit bzw. Fließgrenze aufweisen, welche gewährleistet, dass die erzeugten offenen Poren nicht durch ein Zusammenfließen der Matrixmasse wiederverschlossen werden. Durch die erfindungsgemäße vorteilhaft einfache Überlagerbarkeit der Porenöffnungsmechanismen (a)-(e) und der dafür vorgesehenen erfindungsgemäßen Vorrichtungen kann auch für kritische, weiche Extrudate eine hinreichende Porenöffnungseffizienz gewährleistet werden.

Weitere erfinderische Ausgestaltungen

Weitere erfinderische Ausgestaltungen sind in den **Ansprüchen 27 bis 34** beschrieben.

Lösung der Aufgabe betreffend die Verwendung

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des **Anspruch 35** gelöst, der dadurch gekennzeichnet ist, dass das resultierende geschäumte Produkt mit eingestelltem Porenöffnungsgrad als strukturiertes Basiselement für Fleischanaloge verwendet wird, wobei die eingesetzten Proteine lediglich pflanzlichen Ursprunges sind und solche Fleischanaloge-Basiselemente in Menüs verwendet werden, welche durch komplementierte, fluide Saucen- oder Saft- oder Dressing- oder Marinaden- oder Topping-Komponenten eine graduelle bis vollständige Füllung der offenen Poren der strukturierten Basiselementes bewirken.

Weitere erfinderische Ausgestaltungen

Eine weitere vorteilhafte Verwendung bzw. Ausgestaltung wird durch die Merkmale des **Anspruchs 36** beschrieben.

Einige Vorteile

Bisher mittels High Moisture Extrusion Cooking (HMEC) Technologie auf Pflanzenproteinbasis herstellbare, fibrillär strukturierte Fleischanaloge weisen eine kompakte Struktur auf, welche den umfassenden sensorischen Anforderungen der Konsumenten an wirklich vergleichbare Textur-, Geschmacks- und einigen nutritiven Eigenschaften von Fleisch nicht hinreichend nahekommen, um als wirkliche Alternative akzeptiert zu werden. Die

erfindungsgemäß erzielbaren Produktstrukturen mit einstellbarem Verhältnis von geschlossenen und offenen Poren, lassen die für Fleischanaloge geforderten Attribute erfüllen, indem sie sich einerseits direkt positiv texturgebend (Zartheit, Knusprigkeit) und über die einfache Aufnahmefähigkeit von Fluidsystemen geschmacksgebend (Saftigkeit) zielführend nutzen lassen. Die grundsätzliche Nichtbeschränktheit des erfindungsgemäßen Technologiepaketes auf Fleischanaloge schafft darüber hinaus einen breiten Umsetzungshorizont für weitere geschäumte Lebensmittelsysteme. Umsetzungen auf pharmazeutische und kosmetische Produkte sowie auf Bau/Konstruktionsmaterialien sind ebenfalls avisierbare Anwendungshorizonte.

In der Zeichnung ist die Erfindung – teils schematisch – beispielsweise veranschaulicht. Es zeigen:

Figur 1 zeigt die erfindungsgemäße Verstellbare Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) für eine flache Schlitzdüse. In Figur 1 gelten folgende Bezeichnungen: 1 = Apertur-Gehäuse, 2 = angeschnittener drehbar gleitgelagerter Metallzylinder - 2a in 0-Stellung mit freiem Strömungsquerschnitt, 1b in Uhrzeigerrichtung gedreht, 2c in Gegenuhrzeigerrichtung gedreht, 3 = Schlitzdüsenwand, 4a - 4c = Apertur-Einlaufströmung für die verschieden gedrehten Metallzylindereinstellungen gemäß 2a-2c, 5a - 5c = Apertur-Auslaufströmung für die verschieden gedrehten Metallzylindereinstellungen gemäß 2a-2c, 6 = Geometrische Bezeichnungen zur Positionierung der Metallzylinder, α = Drehwinkel der Metallzylinder, β = Winkel zwischen Metallzylindermittelpunkt und Kanten der Anschnittfläche des Metallzylinders.

Die Berechnungsgrundlagen zur definierten Höhenreduktion des Extruderdüsen-Flachschlitzkanals als Funktion des Drehwinkels δ der drehbar zu verstellenden Metallzylinder und als Funktion des Metallzylinderradius R_1 sowie der Platzierung der Anschnittfläche (Winkel β) und der damit festgelegten Mittelpunktskoordinate R_1 der Metallzylinder, sind in **Figur 8** ausgeführt.

Für den Fall eines flachen, rechtwinkligen Extruderdüsen-Schlitzkanals sind in die obere und untere den Durchströmungsschlitz der Aperturvorrichtung begrenzenden Wand über die gesamte Schlitzbreite, rechtwinklig zur Strömungsrichtung jeweils ein angeschnittener drehbar gleitgelagerter Metallzylinder (2) in das Apertur-Gehäuse (1) dichtend jedoch drehbar eingelassen. Die Anschnittflächen dieser Zylinder sind bei vollständiger Aperturöffnung bündig mit der Strömungskanalwand (3). Von außerhalb des Apertur-Gehäuses (1) sind die Metallzylinder (2) von Hand oder mittels zweier Stellmotoren verdrehbar einzustellen, so dass eine einseitige oder zur Düsenlängsachse symmetrische Verengung der Apertur erfolgt, welche bei einem Verdrehwinkel von 90° dem maximalen Verschlussgrad des Schlitzkanalquerschnittes entspricht.

Für den Fall einer Ring-Schlitzdüse, welche für erhöhte Extrudatmassenströme Einsatz findet, wird der Mechanismus der Schlitzspalt-Höhenverstellung über eine konzentrische konische Ausführung von Düsengehäuse-Innenwand und einem axial verschiebbaren Stempel mit konischer Spitze, wie in **Figur 2** dargestellt, realisiert.

Für Figur 2 gelten die folgenden Bezeichnungen: 7 = konisches Düsengehäuse, 8 = axialer Spalt-Einstellstempel mit konischer Spitze, 9 = Einstellstempel-Führungsrohr, 10 = Temperierfluideintritt in Einstellstempel-Führungsrohr, 11 = Temperierfluidaustritt aus Einstellstempel-Führungsrohr, 12 = Temperierfluid Kanäle in inneren (12a) und äußeren (12b) Düsengehäusewänden sowie im Einstellstempel (12c), 13 = Führungen für axiales Einstellstempel-Führungsrohr, 14 = Düsenspalt in Ausgangsstellung (14a) und bei verengter Spalteinstellung (14b), 15 = Ringschlitzdüsen Innengehäuse Wandteil, 16 = Flansch zur Verbindung von Ringdüsentteilen bzw. mit Extrudergehäuse

Für die zusätzliche Nachbehandlung gemäß Anwendung des Porenöffnungsmechanismus (a) zur Porenöffnung durch rapiden Umgebungsdruckabfall (Flash-Opening, FOP) mittels partieller Vakuumbeaufschlagung wird die erfindungsgemäße Vorrichtung wie in **Figur 3** dargestellt, verwendet.

Für die Bezeichnungen in Figur 3 gelten: 17 = Schlitzdüsen-Strömungskanal, 21 = Extrudatstrang, 26 = teilperforiertes Förderband, 27a = obere Vakuumier-Halbschale, 27b = untere Vakuumier-Halbschale, 28a = Anpressdruck-Pneumatik für obere Vakuumier-Halbschale, 28b = Anpressdruck-Pneumatik für untere Vakuumier-Halbschale, 29 = abgeschnittenes Extrudatteil, 30 a,b = Rohrleitungen für Absaugung (Teilvakuum Übertragung), 31 = Teilvakuum Speicherbehälter, 32 = Vakuumpumpe, 33 = Strang-Abschneidevorrichtung

POT2: Die erfindungsgemäß realisierte Vorrichtung zur Porenöffnung gemäß Mechanismus (c) mittels Zerteilen bzw. Schälen des Produktes (CUT-Opening, COP) appliziert im Austrittsbereich der Extruderkühldüse eine Schneide-/Schälmesser (gegebenenfalls Wasserstrahl- oder Laser-Schneidevorrichtungen) - Anordnung wie schematisch in Figur 4 dargestellt.

Als Bezeichnungen in **Figur 4** gelten: 17 = Schlitzdüsen-Strömungskanal, 18 = Laminare Schlitzdüsenströmung, 19 = Schneidevorrichtung zur Positionierung über der Schlitzkanalhöhe H, Schneidevorrichtung zur Positionierung über der Schlitzkanalbreite W.

POT3: Die Vorrichtung zur Realisierung der Porenöffnung gemäß Mechanismus (c) zur multiplen Nadelpenetration (Penetration-Opening, POP) ist direkt nach dem Extruderdüsenaustritt angeordnet und kombiniert in der erfindungsgemäß bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung zwei gegenläufig rotierende Hohl-nadel- oder Widerhaken Filznadel-Walzen, wobei die von beiden Seiten in das Extrudat penetrierenden Nadeln wie in **Figur 5** dargestellt, ineinandergreifen.

Als Bezeichnungen in **Figur 5** gelten: 17 = Schlitzdüsen-Strömungskanal, 22a = obere Nadelwalze, 22b = untere Nadelwalze, 23 = Penetrationsnadel (Hohl-nadel oder Widerhaken-Filznadel), 24 = Förderband Teilvorrichtung, 25 a, b = obere, untere Penetrationsnadelwalzen Anpress-Teilvorrichtung (pneumatisch/hydraulisch/mechanisch).

POT-4: Die Vorrichtung zur Realisierung der Porenöffnung gemäß Mechanismus d) zur Erzeugung einer Sekundär-Mischströmung (Mix-Opening, MOP) in der Extruderkühldüse, kann prinzipiell auf die Verstellbare Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) Vorrichtung beschränkt bleiben, zur in-line Kontrolle der Intensität der eingestellten Sekundär-Mischströmung ist jedoch die Kopplung mit einer erfindungsgemäßen Messanordnung zur Ermittlung des statischen Druckes vor und nach der VSDA Vorrichtung angezeigt. Diese Druckmessanordnung ist in Kombination mit der VSDA Vorrichtung in den Figuren 6 und 7 dargestellt.

Figur 7 beinhaltet eine Erweiterung der Druckmessanordnung aus Figur 6 für den Fall viskoelastischer Fluide, wie sie im Falle von Proteinschmelzen für die Herstellung von Fleischanalogen vorliegen.

Als Bezeichnungen in den Figuren 6 und 7 gelten: 1 = Apertur-Gehäuse, 2 = angeschnittener drehbar gleitgelagerter Metallzylinder - 2b in Uhrzeigerrichtung gedreht, 3 = Schlitzdüsenwand, 4b = Apertur-Einlaufströmung für gedrehten Metallzylinder im Uhrzeigersinn (2b), 5b = Apertur-Auslaufströmung gedrehten Metallzylinder in Uhrzeigerrichtung (2b), 17 = Schlitzdüsen-Strömungskanal, 35 = Membran-Druckaufnehmer zur statischen Druckmessung P1; 36 = Membran-Druckaufnehmer zur statischen Druckmessung P2, 37 = Membran-Druckaufnehmer zur statischen Druckmessung P3, 38 = Membran-Druckaufnehmer zur statischen Druckmessung P4, 39 = Druckaufnehmermembranen, 40 = Verbindungsflansche, 41 = konische Düseneinlaufströmungs-Geometrie, 42 = Membran-Druckaufnehmer zur statischen Druckmessung P5, 43 = P5 - Druckmess-Kavität.

Für ausgeprägt viskoelastische Extrusionsfluide wie sie beispielsweise geschäumten Proteinschmelzen entsprechen wird die vorab bezeichnete VSDA erfindungsgemäß in weiterer Distanz zum Düsenaustritt in die Extruderdüse eingebaut als bei der Technologie POT-1. Bei viskoelastischen Produktfluidsystemen werden die vorgenannten Sekundärströmungen infolge einstellbarer Kanalquerschnitts-Verengung und -Wiederaufweitung maßgeblich forciert durch den Effekt der elastischen Turbulenz (Relaxation der elastischen Extranormalspannungen und resultierende Strang-Rückdeformation). Dieser Effekt kann bereits bei geringfügiger Schlitzdüsen-Querschnittsverengung ausgelöst sowie in seiner Ausprägung zur Erzeugung einer offenen Porenstruktur zielführend eingestellt und genutzt werden.

Hierzu erfolgen erfindungsgemäß, wie in Figur 6 dargestellt, statische Druckmessungen an einer Position im Extrudergehäuse vor dem Düseneinlaufquerschnitt (P1) an zwei Längenpositionen in der Extruderschlitzdüse (P2, P3) nach der Düseneinlaufzone (nach konischer Verengung), nach der VSDA (P4), sowie (P5) im Schlitzdüsenkanal vor der VSDA, direkt gegenüber (Schlitzdüsenkanal-Unterseite) zur Druckmessposition P2.

Aus P2 und P3 lässt sich die lokale Schubspannung τ_w an der Schlitzdüsenkanalwand und in Kenntnis des am Düsenaustritt ermittelten Produktvolumenstromes dV/dt , die Produktscherviskosität η ermitteln. Unter Miteinbezug von P1 besteht die Möglichkeit einen Düseneintritts-Druckverlust ΔP_{ein} zu ermitteln, welcher aus der Summe (i) eines viskosen Dehndruckverlustes $\Delta P_{D,\text{ein}}$ unter Wirkung der Dehnaviskosität des extrudierten Fluids sowie (ii) einem elastischen Druckverlustanteil $\Delta P_{E,\text{ein}}$ in Folge elastischer Energiespeiche-

rung, resultiert. Mittels der zusätzlichen statischen Druckmessung P5 kann zwischen den Messstellen für P5 und P2 aus P5-P2 eine rein elastische Kenngröße Fluidantwort durch Rückdeformation in Folge elastischer Spannungsrelaxation ermittelt werden. P2-P5 ist proportional zur sogenannten Ersten Normalspannungsdifferenz N1, welche in rheometrischen Labormessungen mittels Kegel-Platte Scherspaltgeometrie gemessen und mit den in-line ermittelten Werten verglichen bzw. eine Kalibration daraus abgeleitet werden kann. Aus P2-P5 lässt sich damit die elastische Komponente $DP_{E, \text{ein}}$ des Düseneintrittsdruckverlustes ΔP_{ein} ermitteln, und somit wird auch der komplementäre viskose Dehnanteil $\Delta P_{D, \text{ein}}$ von ΔP_{ein} erhalten. Damit liegen durch die erfindungsgemäße Anordnung der Druckmessstellen P1-P3 und P4 separate rheologische Kennwerte für (a) die Scherviskosität, (b) die Dehnviskosität und (c) die Elastizität der extrudierten Masse unter den gegebenen Extrusionsbedingungen vor. Bei der Druckmessung P5 ist hier speziell zu beachten, dass diese nicht wie alle anderen Druckmessungen (P1-P4) über eine wandbündige Membran des Druckaufnehmers im Schlitzdüsenkanal erfolgt, sondern am Ende einer mit dem Extrusionsfluid gefüllten Kavität, welche zur Messung der Ersten Normalspannungsdifferenz aus P2-P5 einen in Strömungsrichtung erstreckten (schmalen) Rechteckquerschnitt (z.B.: bei 60 mm Düsenkanalbreite: 10 x 50 mm) aufweist. Die Druckmessung P4 erfolgt an einer Position im Schlitzdüsenkanal unmittelbar nach der mittels VSDA Vorrichtung erzeugten Verengung (Höhenreduktion des Schlitzdüsenkanals ΔH). Damit werden insbesondere durch eine forcierte Sekundär-Mischströmung im VSDA Nachlauf erzeugte periodische, statische Druckschwankungen $DP_4(t)$ erfasst. Diese sind erfindungsgemäß ein Maß für die Mischintensität und die damit einherge-

hende Schaumporen-Öffnungseffizienz gemäß dem vorab bezeichneten und beschriebenen Mechanismus (d).

Wie in laborrheometrischen Messungen für eine Mehrzahl an polymeren Fluidsystemen überraschenderweise gefunden wurde, zeigt sich das "Elastische Turbulenzphänomen" (in der Kunststoffindustrie auch Schmelzebruch genannt) in einem bestimmten Bereich des Verhältnisses von Erster Normalspannungsdifferenz zur Schubspannung $N_1(\gamma_w)/\tau(\gamma_w)$ bei an der Schlitzdüsenkanalwand wirksamen Wandschergeschwindigkeit g_w . Dieser Bereich liegt bei $2 \leq N_1(\gamma_w)/\tau(\gamma_w) < 5$. Die erfindungsgemäß genutzte Ausprägung des elastischen Turbulenzeffektes zur Nutzung des erfindungsgemäßen Mechanismus (d) der Schaumporenöffnung durch forcierte Sekundär-Mischströmung erfolgt bevorzugt im Bereich $2 \leq N_1(\gamma_w)/\tau(\gamma_w) < 3.5-5$. Bei Erhöhung dieses Verhältniswertes wird der Sekundär-Mischströmungseffekt graduell gesteigert. Abhängig von (i) der Rheologie des extrudierten Fluidsystems (hier bevorzugt Pflanzenprotein-basierte Schmelze zur Fleischanalog Herstellung) sowie der mittleren Strömungsgeschwindigkeit im Schlitzdüsenkanal wird die VSDA Vorrichtung hinsichtlich der Schlitzdüsen-Höhenreduktion so eingestellt, dass der beabsichtigte Grad an Sekundärmischströmung mit korreliertem Porenöffnungseffekt resultiert. Somit kann mittels stoffsystemspezifischer Kalibrierung ein quantitatives Kriterium für die Einstellung der VSDA-Schlitzöffnung zur Auslösung bzw. Einstellung einer graduellen Ausprägung des forcierten "elastisch-turbulenten Sekundärströmung-Mischeffektes" bestimmt werden, welches zur erfindungsgemäßen Porenöffnung mittels der POT-4 Technologie und dem damit ausgelösten Mechanismus (d) in einstellbarer Weise befähigt.

Die Ausprägung des für POT-4 genutzten viskoelastischen Sekundärströmungseffektes kann zu einer nahezu vollständigen Desintegration des Extrudatstranges führen. In der Kunststofftechnik wird dieses unerwünschte elastische Phänomen auch als "Schmelzebruch" bezeichnet. Um dies zu vermeiden wird die VSDA Vorrichtung erfindungsgemäß $> 0.2 L_D$ (L_D = Düsenlänge) vor dem Extruderdüsenende eingebaut. Dies hat zur Folge, dass der Extrudatstrang im Falle einer erfolgten Teildesintegration in der ungestörten Düsenströmung nach Durchtritt durch die VSDA wieder soweit "ausheilt", dass ein kompakt zusammenhängender geschäumter, teil-offenporiger Produktstrang resultiert, ohne durch eine wiederholte strömungsbedingte "Hautbildung" den durch die elastisch-turbulente Durchmischung erzielten Porenöffnungseffekt zunichte zu machen.

Beispielhafte Darstellungen mit den erfindungsgemäßen Vorrichtungen unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens erzielter erfindungsgemäßer pflanzenprotein-basierter Fleischanalog-Produktstrukturen und Porenöffnungsgrade werden in den Figuren 8-10 nachfolgend beschrieben.

Rahmenbedingungen für die nachfolgend gegebenen Beispiele sind:

HMEC Extruder: Corotating Twin Screw BCTL Extruder der Bühler AG mit Schneckendurchmesser 42 mm und einem Extruderlängen zu Schneckendurchmesser Verhältnis von $L/D = 28$.

Extruder Kühldüse: $L = 1.85\text{m}$, $W = 60\text{ mm}$, $H = 15\text{ mm}$

Material/Basis-Rezeptur: 52.5% Wasser, 0.5% Öl, 41.2% Erbsenprotein-Isolat (PPI), Erbsenfaser 5.8%

Prozessbedingungen: Schneckendrehzahl: 230 rpm; Massenstrom 37.5 kg/h; Düseneintrittstemperatur der Schmelze: 150°C; Extruderaustrittsdruck: 18 - 20bar, Düsen Kühltemperatur: 60°C

Beispiel 1 (s. Figur 9): Porenöffnungsmechanismus mittels (a) Schlagartiger Restdruckentspannung und (d) überlagerter forcierter Sekundärmischströmung.

Unterschiedliche Grade der Porenöffnung wurden eingestellt mittels den überlagerten Porenöffnungsmechanismen durch **(a) Rapiden Druckabfall** (statische Restdruckentspannung) und **(d) forcierte Sekundär-Mischströmung**, erzeugt mittels am Düsenaustrittsende eingebauter Verstellbarer Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) bei unterschiedlichen Einstellungen der Schlitzkanal Höhenreduktion ΔH / %:

- Abbildung A: $\Delta H \approx 5\%$ / resultierender Porenöffnungsgrad POG $\approx 3 - 5\%$
- Abbildung B: $\Delta H \approx 10\%$ / resultierender Porenöffnungsgrad POG $\approx 10 - 12\%$
- Abbildung C: $\Delta H \approx 50\%$ / resultierender Porenöffnungsgrad POG $\approx 25 - 30\%$

Die Ermittlung des Porenöffnungsgrades (POG) erfolgte gemäß:

POG = VOP Volumen der offenen Poren/VGP Gesamtporenvolumen. VOP wurde ermittelt, indem eine extrudierte Probe für 5 s in Wasser bei Raumtemperatur (25°C) eingelegt und nach Entnahme der Strangoberfläche anhaftendes freies Wasser mittels Haushaltspapier in einem definierten schnellen Handhabungs-Procedere durch beidseitig einmaliges Auflegen auf eine Lage des Papiers für jeweils 1s, oberflächlich abgetrocknet. Aus der Differenzwägung vor und nach solcher Behandlung resultierte die in zur Produktober-

fläche hin offene Produktporen durch Kapillarkräfte eingesaugte Wassermasse. Die Bestimmung von VGP erfolgte durch Volumen und Masseermittlung des extrudierten Produktes, woraus im Vergleich zum nicht geschäumten Produkt der Gasvolumenanteil bzw. Overrun (= relative Volumenzunahme durch Aufschäumung) ermittelt wurde.

Wie Figur 9 zu entnehmen ist zeigt die Extrudatoberfläche mit zunehmender VSDA Schlitzdüsenkanal-Höhenreduktion eine zunehmende "Zerklüftung", in Folge der aufgeprägten forcierten Sekundär-Mischströmung bei gleichzeitiger Restdruckentspannung. Dies ist ein typisches Bild des resultierenden Produktes beim Einbau der VSDA am Düsenende.

Die in diesem Beispiel berücksichtigten hinsichtlich Porenöffnung unbehandelten Proben besaßen einen Gasvolumenanteil nach Aufschäumung von ca. 25-35 Vol.% in $\geq$ ca. 98 % geschlossenen inneren Schaumporen.

Beispiel 2 (s. Figur 10): Porenöffnungsmechanismus mittels **(d) forcierte Sekundär-Mischströmung**, erzeugt mittels bei Düsenlänge 0.75 m vom Düsenaustritt eingebauter Verstellbarer Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) bei Einstellung der Schlitzkanal Höhenreduktion $DH / \% \approx 15\%$.

Figur 10 zeigt eine überwiegend glatte Extrudatoberfläche mit eindeutig sichtbaren Fließmustern, welche der forcierten Sekundär-Mischströmung entstammen. Diese "heilen" in Folge der nachfolgenden Düsenströmung (hier über weitere 0.75m der Düsenlänge weitergehend aus. Dies reduziert in geringem Umfang den für das Endprodukt er-

zielten Porenöffnungsgrad, lässt jedoch erfindungsgemäße in hohem Masse aus Konsumentensicht qualitätsrelevante Strukturmuster erzeugen, welche eine natürliche Verteilung von Strukturinhomogenitäten wie in Fleischprodukten widerspiegelt (im gezeigten Beispiel: Lachs/Fisch bzw. marmorierte Wagyu-Beef Strukturen). Der erzielte Porenöffnungsgrad unter den in diesem Beispiel gewählten Randbedingungen beträgt 18-20%.

Die in diesem Beispiel berücksichtigten hinsichtlich Porenöffnung unbehandelten Proben besaßen einen Gasvolumenanteil nach Aufschäumung von ca. 15 Vol.% in $\geq$ ca. 98 % geschlossenen inneren Schaumporen.

Beispiel 3 (s. Figur 11): Porenöffnungsmechanismus mittels **(d) forcierter Sekundär-Mischströmung**, erzeugt mittels bei Düsenlänge 0.3 m vom Düsenaustritt eingebauter Verstellbarer Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) bei Einstellung der Schlitzkanal Höhenreduktion $DH / \% \approx 15\%$.

Abbildung 11 zeigt eine vergrößerte Aufnahme der Produktoberfläche. Die wellenförmigen Streifenmuster-Strukturen sind gut erkennbar. Es wechseln (H) hellere (verstärkt ausgeschäumte) und (D) dunklere (reduziert aufgeschäumte) streifenförmig angeordnete Bereiche ab. Die H-Bereiche entstammen der inneren Strang-Schaumstruktur, welche durch die forcierte Sekundär-Mischströmung an die Produktoberfläche gefördert wird. Die D-Bereiche entstammen der ursprünglichen an Schaumporen verarmten "Oberflächen-Hautschicht".

Die in diesem Beispiel berücksichtigten hinsichtlich Porenöffnung unbehandelten Proben besaßen einen Gasvolumenanteil nach Aufschäumung von ca. 30 Vol.% in $\geq$ ca. 98 % geschlossenen inneren Schaumporen. Der erzielte Porenöffnungsgrad (POG) beträgt ca. 18-20%.

Beispiel 4 (s. Figur 12): Porenöffnung mittels (b) Schneide-/Schäl Mechanismus erzeugt mittels **am Düsenaustrittsende** eingebauter Verstellbarer Schneidevorrichtung.

Figur 12 zeigt einen geschäumten, kontinuierlich geschnittenen Extrudatstrang. Auf der Schnittfläche sind aufgeschnittene Porenstrukturen zu detektieren. Ein Porenöffnungsgrad von ca. 10-15% wurde im gezeigten Beispiel erzielt. Die diesem Beispiel zugrunde gelegten Extrudate besaßen ca. 15-20% Gasvolumenanteil.

Zur Anreicherung der beispielhaft beschriebenen pflanzenproteinbasierten Fleischanaloga mit sensorisch (Aroma, Geschmack) sowie nutritiv (B-Vitamine, Mineralien (Fe, Zn)) wird ein Gesamtvolumen an offenen Poren von 2-5% als hinreichend bewertet. Für die Erhöhung der Produktsaftigkeit sind $\geq$ 10%, abhängig vom Wassergehalt der Produktmatrix relevant.

Die in den Patentansprüchen und in der Beschreibung beschriebenen sowie aus der Zeichnung ersichtlichen Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebigen Kombinationen für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|---|
| 1 | Apertur-Gehäuse |
| 2 | Metallzylinder |
| 3 | Schlitzdüsenwand |
| 4a | Apertur-Einlaufströmung |
| 4b | „ „ |
| 4c | „ „ |
| 5a | Apertur-Auslaufströmung |
| 5c | „ „ |
| 5c | „ „ |
| 6 | Bezeichnungen, geometrische zur Positionierung der Metallzylinder |
| 7 | Düsengehäuse, konisches |
| 8 | Spalt-Einstellstempel, axialer |
| 9 | Einstelstempel-Führungsrohr |
| 10 | Temperierfluideintritt |

- 11 Temperierfluidaustritt
- 12 Temperierfluid-Kanäle
- 12a Temperierfluid-Kanäle, innere
- 12b Temperierfluid-Kanäle, äußere
- 12c Temperierfluid-Kanäle im Einstellstempel
- 13 Führungen
- 14 Düsenspalt
- 14a Düsenspalt in Ausgangsstellung
- 14b verengte Spalteinstellung durch Düsenspalt
- 15 Ringschlitzdüsen
- 16 Flansch
- 17 Schlitzdüsen-Strömungskanal
- 18 Laminare Schlitzdüsenströmung
- 19 Schneidevorrichtung
- 20 -
- 21 Extrudatstrang
- 22a Nadelwalze, obere
- 22b Nadelwalze, untere

- 23 Penetrationsnadel
- 24 Förderband-Teilvorrichtung
- 25a Penetrationsnadelwalzen-Anpress-Teilvorrichtung, obere
- 25b Penetrationsnadelwalzen-Anpress-Teilvorrichtung, untere
- 26 Förderband, teilperforiertes
- 27a Vakuumier-Halbschale, obere
- 27b Vakuumier-Halbschale, untere
- 28a Anpressdruck-Pneumatik, obere
- 28b Anpressdruck-Pneumatik, untere
- 29 Extrudatteil, abgeschnittenes
- 30a Rohrleitungen für Absaugung
- 30b Rohrleitungen für Absaugung
- 31 Teilvakuum-Speicherbehälter
- 32 Vakuumpumpe
- 33 Strang-Abschneidevorrichtung
- 34 -
- 35 Membran-Druckaufnehmer
- 36 " "

- 37 Membran-Druckaufnehmer
- 38 " "
- 39 Druckaufnehmermembranen
- 40 Verbindungsflansche
- 41 Düseneinlaufströmungs-Geometrie, konische
- 42 Membran-Druckaufnehmer

- α Drehwinkel des Metallzylinders 2
- β Winkel zwischen Metallzylindermittelpunkt und Kanten der Anschnittsfläche des
Metallzylinders 2
- δ Drehwinkel des Metallzylinders 2
- R_1 Metallzylinderradius
- L_D Düsenlänge

Literaturverzeichnis

/1/ V. Lammers¹, A. Morant, J. Wemmer, E. Windhab (2017); High-pressure foaming properties of carbon dioxide-saturated emulsions; Rheol Acta (2017) 56:841–850

/2/ E. Windhab, V. Lammers (2017); Patent: Aufgeschäumtes teigbasiertes Lebensmittelprodukt sowie Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung des aufgeschäumten teigbasierten Lebensmittelprodukts; Patent Application Nr. DE 10 2016 111 518 A1

/3/ L. Zeng, F. Najjar, S. Balachandar, P. Fischer (2009); Forces on a finite-sized particle located close to a wall in a linear shear flow; Physics of Fluids 21, 033302, 2009

/4/ D. Legendre, J. Magnaudet (1998); The lift force on a spherical bubble in a viscous linear shear flow; J. Fluid Mech. (1998), Vol. 368, pp. 81±126. # 1998 Cambridge University Press

/5/ P.J. Fellows (2016); Food Processing Technology: Principles and Practice; Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology & Nutrition; Woodhead Publishing, 2016; ISBN 0081005237, 9780081005231

/6/ P. J. Hailing & P. Walstra (1981) Protein-stabilized foams and emulsions, C R C Critical Reviews in Food Sci. & Nutrition, 15:2, 155203, DOI: [10.1080 /1040839810952 7315](https://doi.org/10.1080/10408398109527315)

/7/ Ashley J. Wilson (1989) Foams: Physics, Chemistry and Structure; Springer-Verlag London, ISBN 978-1-4471-3809-9.

/8/ N. Mills (2007); Polymer Foams Handbook; Hardcover ISBN: 9780750680 691; Imprint: Butterworth-Heinemann).

/9/ US6,635,301 B1

/10/ WO2016/150834 A1

/11/ EP1182937 A4

/12/ WO2009075135

/13/ US20050003071 A1

/14/ WO2016150834 A1

/15/ US 10,716,319 B2

/16/ WO 2017/081271 A1

/17/ KR 1020200140499 A

/18/ US 2020/0060310 A1

Patentansprüche

1. Geschäumtes, elastisches, protein-basiertes Produkt mit Trockensubstanzanteil von 20-60 Gew.%, gebundenem Wasseranteil von ≥ 40 Gew.% und Gasporenstruktur, wobei das Verhältnis von zur Produktoberfläche hin offenen gaserfüllten Poren (OP) zu im Produktvolumen eingeschlossenen, gaserfüllten Poren (GP) im Bereich von 0.05 - 0.95 eingestellt ist.
2. Produkt nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Produkt einen Proteinanteil von 10 – 95 Gew.% in seiner Trockensubstanz aufweist.
3. Produkt nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Proteinanteil zu 0 – 100 Gew.% aus pflanzlichem Protein besteht.
4. Produkt nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Protein im Produkt in teilweise bis vollständig denaturierter Form vorliegt und eine fibrilläre Struktur aufweist.

5. Produkt nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die denaturierte Form eine orientierte fibrilläre Struktur aufweist.
6. Produkt nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Produkt einen Pflanzenfaseranteil von 0.5 - 20 Gew.%, bezogen auf die Trockensubstanz, beinhaltet.
7. Produkt nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Produkt einen Anteil an Fetten oder Ölen von 0.1 - 15 Gew.%, bezogen auf die Trockensubstanz, beinhaltet.
8. Produkt nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Produkt einen Anteil an würzenden und/oder färbenden und/oder den nutritiven Wert zusätzlich zum Pflanzenfaseranteil verstärkenden Komponenten von 0.1 - 5 Gew.%, bezogen auf die Trockensubstanz, beinhaltet.
9. Produkt nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich das Produkt nach Trocknung auf Restwassergehalte von ≤ 5 Gew.% und verderbfreier mehrmonatiger feuchtekontrollierter Lagerung unter Raumtemperaturbedingungen, bei in Kontaktbringung mit Wasser oder ei-

nem wasserhaltigen Fluidsystem unter Wiedereinstellung seines ursprünglichen Volumens und seiner Textur, ohne Trockensubstanzverlust, rekonstituiert.

10. Produkt nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich das Produkt nach Trocknung auf Restwassergehalte von ≤ 5 Gew.% und verderbfreier mehrmonatiger feuchtekontrollierter Lagerung unter Raumtemperaturbedingungen, bei in Kontaktbringung mit Wasser oder einem wasserhaltigen Fluidsystem unter Wiedereinstellung seines ursprünglichen Volumens und seiner Textur, rekonstituiert.
11. Verfahren zur Herstellung eines Produktes nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren die Öffnung von im geschäumten Produkt eingeschlossenen Gasporen oder Gasblasen zur Produktoberfläche hin in einstellbarer Weise realisiert, wobei ein Extrusionsverfahren vom Typ „Hochfeuchtes Extrusionskochen“ (High Moisture Extrusion Cooking, HMEC) mit Gaseintrag, temporärer Gaslösung und kontrollierter Gasblasennukleierung sowie Schaumbildung zugrunde gelegt ist und zur Porenöffnung fünf Verfahrensvarianten: (a) Öffnung durch rapiden Umgebungsdruckabfall (Flash-Opening, FOP), (b) Öffnung durch Zerteilen bzw. Schälen des Produktes (Cut-Opening, COP), (c) Öffnung durch multiple Nadelpenetration (Penetration-Opening, POP), (d) Öffnung durch forcierte Sekundär-Mischströmung (Mix-Opening, MOP) und (e) Öffnung durch Gefrierstrukturierung (Freeze-Opening, FOP)

einzelnen oder in Kopplung angewendet werden, wodurch die Öffnung von im geschäumten Produkt eingeschlossenen Gasporen oder Gasblasen zur Produktoberfläche hin in einstellbarer Weise realisiert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Öffnung geschlossener Poren zur Produktoberfläche hin mittels der Öffnungsmechanismen (c) durch multiple Nadelpenetration (Penetration-Opening, POP) und (e) durch Gefrierstrukturierung nach Austritt des teilgekühlten Produktes aus der Extruder-Kühldüse, mittels den Öffnungsmechanismen (a) durch rapiden Umgebungsdruckabfall (Flash-Opening, FOP) und (b) durch Zerteilen bzw. Schälen des Produktes (CUT-Opening, COP) im Austrittsbereich der Extruderkühldüse und dem Öffnungsmechanismus (d) durch forcierte Sekundär-Mischströmung (Mix-Opening, MOP) in der Extruderkühldüse, erfolgen.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Öffnung geschlossener Poren zur Produktoberfläche hin mittels (a) rapiden Umgebungsdruckabfall (Flash-Opening, FOP) durch Aufrechterhaltung des statischen Druckes bis kurz vor dem Düsenaustritt auf einem Druckniveau ≥ 2 bar mittels einer verstellbaren Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA), welche am Extruderdüsenaustritt oder kurz (≤ 10 cm) vor diesem eingebaut in Abhängigkeit der Viskosität der austretenden Fluidmasse auf einen vor der VSDA herrschenden statischen Druck derart eingestellt wird, dass die Öffnung innerer Poren zur Produktoberfläche hin

zu einem ebenfalls produktspezifisch eingestellten Anzahlanteil der nach zur Produktoberfläche hin geöffneten Poren, bezogen auf die Gesamtanzahl an geschlossenen und offenen Poren, gegeben ist.

14. Verfahren nach Anspruch 11 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Öffnung geschlossener Poren zur Produktoberfläche hin mittels (a) Porenöffnung durch rapiden Umgebungsdruckabfall (Flash-Opening, FOP) durch schlagartiges Anlegen eines partiellen Vakuums von ≤ 100 mbar für einen Extrudatstrangteil nach dessen Abschneiden in einer quasi kontinuierlich arbeitenden Vakuumkammervorrichtung erfolgt.
15. Verfahren nach Anspruch 11 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Öffnung geschlossener Poren zur Produktoberfläche hin mittels (b) Zerteilen bzw. Schälen des Produktes (CUT-Opening, COP) erfolgt, indem der Extrudatstrang über eine in der Extruderschlitzdüse an deren Ende eingebaute Schneidevorrichtung kontinuierlich aufgeschnitten wird bzw. seine Oberflächenschichten abgeschält werden.
16. Verfahren nach Anspruch 11 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Öffnung geschlossener Poren zur Produktoberfläche hin mittels (c) multipler Nadelpenetration (Penetration-Opening, POP) erfolgt und dabei Verbindungskanäle mit Durchmessern von 0.1 - 2 mm zwischen

inneren geschlossenen Poren oder Blasen und der Produktoberfläche erzeugt werden.

17. Verfahren nach Anspruch 11 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Öffnung geschlossener Poren zur Produktoberfläche hin mittels des erfindungsgemäßen Mechanismus der (d) forcierten Sekundär-Mischströmung (Mix-Opening, MOP) erfolgt, wobei durch lokale Querschnittsverengung der Extruderschlitzdüse mittels einer innerhalb der Extruderkühldüse eingebauten verstellbaren Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) über eine mit dieser vorgenommenen einstellbaren Schlitzspalthöhenreduktion im Nachlauf der erzeugten Verengung eine in ihrer Intensität und einhergehenden Mischeffizienz in Richtung der Schlitzhöhenerstreckung des Düsenpaltes damit ebenfalls einstellbare, walzenförmige Sekundärströmung erzeugt wird, mit Ausrichtung der Walzenströmungs-Rotationsachsen über die Düsen-schlitzbreite quer zur Hauptströmungsrichtung.
18. Verfahren nach Anspruch 11 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Öffnung geschlossener Poren zur Produktoberfläche hin mittels des erfindungsgemäßen Mechanismus der (d) forcierten Sekundär-Mischströmung (Mix-Opening, MOP) erfolgt, wobei für viskoelastische wässrige Proteinschmelzen sowie andere viskoelastische Fluidsysteme durch lokale Querschnittsverengung der Extruderschlitzdüse mittels einer in diese einge-

bauten verstellbaren Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) im Nachlauf einer mittels dieser einstellbar vorgenommenen Verengung durch Schlitzdüsenhöhenreduktion, eine in ihrer Intensität und einhergehenden Mischeffizienz in Richtung der Schlitzhöhenerstreckung des Düsenpaltes damit ebenfalls einstellbare walzenförmige, periodisch fluktuierende Sekundärströmung erzeugt wird, mit Ausrichtung der Walzenströmungs-Rotationsachsen über die Düsen Schlitzbreite quer zur Hauptströmungsrichtung, und wobei mittels einer erfindungsgemäßen in-line Messung der Amplitude des sinusförmig oszillierenden zeitlichen, statischen Druckverlaufs vor oder nach der VSDA, der Intensitätsgrad des Sekundärströmungs-Mischeffektes quantitativ beschrieben und durch Verstellung der Düsen Schlitzspaltweite innerhalb der VSDA Vorrichtung graduell eingestellt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 11 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spaltverengung durch Schlitzhöhenverstellung mittels der erfindungsgemäßen verstellbaren Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) nach Maßgabe durch in-line oder off-line in einem Kegel-Platte-Scherspalt rheometrisch gemessene viskose und elastische Materialkenngrößen der extrudierten fluiden Masse unter Extrusionsbedingungen erfolgt, wobei die viskosen Eigenschaften durch die Schubspannung τ als Funktion der Schergeschwindigkeit $\dot{\gamma}$, die elastischen Eigenschaften durch die erste Normalspannungsdifferenz N_1 als Funktion der Schergeschwindigkeit $\dot{\gamma}$ beschrieben werden und die Schlitzdüsen-Spaltverengung derart vorgenommen wird, dass für das Verhältnis N_1/τ unter der im verengten

Schlitzdüsenspalt herrschenden scheinbaren Wandschergeschwindigkeit γ_{sw} die Beziehung $2 \leq (N_1/\tau) < 5$ gilt.

20. Verfahren nach Anspruch 11 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die in-line Messung des statischen Druckverlaufs vor oder nach der VSDA vereinfacht nur die Amplitude der oszillatorischen Schwankungen des statischen Druckes als Massgabe für die Einstellung der Schlitzspaltverengung, des damit in der Apertur-Nachlaufströmung erzeugten Sekundärströmungs-Mischeffektes und der damit verbundenen Öffnung innerer geschlossener Schaumporen zur Schlitzdüsenwand und somit zur Extrudatoberfläche hin sowie der Erzeugung neuer zur Produktoberfläche hin offener Porenkanäle oder Spalte, berücksichtigt.
21. Verfahren nach Anspruch 11 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Öffnung geschlossener Poren zur Produktoberfläche hin mittels (e) Gefrierstrukturierung erfolgt, wobei eine schnelle Kühlung des Produktes nach dem Extrusionsdüsenaustritt erfolgt und eine Kühlungsnachbehandlung im Temperaturbereich zwischen -1 und -20°C , bevorzugt unter periodischer Temperaturführung, in diesen Grenzen vorgenommen wird.

22. Verfahren nach Anspruch 11 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Produkt nach erfolgter teilweiser Porenöffnung schonend auf einen Restwassergehalt getrocknet wird, der die mehrmonatige feuchtekontrollierte Produktlagerung bei Raumtemperaturbedingungen erlaubt ohne mikrobiologische oder enzymatische Verderbserscheinungen auftreten zu lassen.
23. Verfahren nach Anspruch 11 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Produkt nach erfolgter teilweiser Porenöffnung und schonender Trocknung auf einen Restwassergehalt, der die mehrmonatige feuchtekontrollierte Produktlagerung bei Raumtemperaturbedingungen erlaubt, durch Wasser- oder Fluidaufnahme rekonstituiert wird.
24. Verfahren nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Porenöffnungsgrad für Werte ≥ 0.1 mit einer Genauigkeit von ± 0.05 eingestellt wird.
25. Verfahren nach Anspruch 1 oder einem darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gasvolumenanteil (= Porosität) zwischen 0.1 und 0.8 mit einer Genauigkeit von ± 0.05 ebenfalls eingestellt wird.

26. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 11 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Extrusionsdüse eine Abschneidevorrichtung (33) und ein abschnittsweise mittig teilperforiertes Förderband (26) der Kühldüse eines HMEC-Aufschäumextruders nachgeschaltet sind sowie das Förderband (26) mit dem aufliegenden, abgeschnittenen Teil des Produktes zwischen zwei Vakuumier-Halbschalen (27a, 27b) geführt ist, welche von oben und unten gegeneinander anpressend das Förderband (26) nebst Produkt dichtend einschließen, und wobei diese Vakuumier-Halbschalen zur schlagartigen Aufbringung eines Teilvakuums auf das geschäumte, extrudierte Produkt über eine mit einem Ventil zur schnellen Öffnung versehene Vakuumleitung mit einem Vakuumspeicherbehälter (31) und dieser mit einer Vakuumpumpe verbunden sind.
27. Vorrichtung nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Extruderdüsenaustritt, zur Gewährleistung der Produktstrangführung in den Schlitzdüsenkanal eingelassen, Schneidemesser mit geringer Klingenbreite von ≤ 2 mm oder dünne Schneidedrähte oder Wasserstrahl oder Laser-Schneidevorrichtungen derart angeordnet sind, dass entweder (i) ein Abschneiden oder Abschälen der Oberflächenschichten mit einer Schichtdicke von ≤ 1 mm erfolgt oder (ii) der Produktstrang in Schlitzhöhenrichtung mittig geteilt wird.

28. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Düsenaustritt zwei rotierbar aufgehängte Nadelwalzen (22a, 22b) bestückt mit Vollnadeln mit Widerhaken – Filznadeln – oder Hohladeln mit Nadeldurchmessern zwischen 0.3 - 5 mm angeordnet sind, zwischen welchen das bandförmig als Extrudatstrang (21) ausgebildete extrudierte Produkt geführt wird und die Nadelpenetrationstiefe produktformabhängig zwischen 1-20 mm sowie die Einstich-Anzahldichte zwischen 1- 49 / cm² eingestellt ist.
29. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine in der Spaltweite zwischen 10-100% der Schlitzkanalhöhe der Extrusionsdüse verstellbare Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) im Falle (A) rein viskoser Fließeigenschaften des nicht- bzw. teilerstarrten Fluidsystems zwischen 10-50% der Düsenlänge vor dem Düsenende der gekühlten Extruderschlitzdüse und im Falle (B) viskoelastischer Fließeigenschaften des nicht- bzw. teilerstarrten Fluidsystems zwischen 5-95% der Düsenlänge vor dem Düsenende der gekühlten Extruderschlitzdüse oder direkt am Düsenende, angeordnet ist.
30. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die in der Spaltweite zwischen 10-100% der Schlitzkanalhöhe der Extrusionsdüse verstellbare Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) in deren zu 100% geöffnetem Zustand exakt den Maßen des freien Extruder-Schlitzdüsen-Querschnitts entspricht und für den Fall eines vorliegenden flachen, recht-

winkligen Extruderdüsen-Schlitzkanals in die obere und untere den Durchströmungsschlitz der Aperturvorrichtung begrenzenden Wand über die gesamte Schlitzbreite, rechtwinklig zur Strömungsrichtung, jeweils ein angeschnittener, drehbar gleitgelagerter Metallzylinder dichtend eingelassen ist, wobei die Anschnittflächen dieser Zylinder bei vollständiger Aperturöffnung bündig mit der Strömungskanalwand sind, sowie bei von außen von Hand oder mittels Stellmotor vorzunehmender definierter Drehung der Zylinder eine einstellbare, einseitige oder zur Düsenlängsachse symmetrische Verengung der Apertur erfolgt, welche bei einem Verdrehwinkel von 90° dem maximalen Verschlussgrad des Schlitzkanals entspricht.

31. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die eingesetzte in der Spaltweite zwischen 10-100% der Schlitzkanalhöhe der Extrusionsdüse verstellbare Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA) in deren zu 100% geöffnetem Zustand exakt den Maßen des freien Extruder-Schlitzdüsen-Querschnitts entspricht und für den Fall einer für höhere Durchsatzleistungen vorliegenden Extruderdüse mit Ringspalt, zur Ringschlitzspaltverengung, ein kolbenartiger Stempel mit konischem Aufsatz derart angeordnet ist, dass dessen bevorzugt mittels Stellmotor erfolgendes definiertes axiales Einschieben in den zur Adaption der Extruder-Ringschlitzdüse konisch ausgeführten Extruder-Auslaufstutzen eine definierte Ringschlitzspaltverengung festlegt.

32. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Extruderkühldüse und der Extruderdüseneinlauf erfindungsgemäß mit 4-5 Sensoren (P1-P4, P5) zur statischen Druckmessung bestückt sind, wobei bevorzugt einer der Sensoren (P1) vor dem Extruderdüseneinlauf wandbündig und drei der Sensoren (P2-P4) in der Extruderschlitzdüse, davon zwei (P2, P3) wandbündig vor der mittels VSAD eingestellten Schlitzkanalverengung sowie einer (P4) ebenfalls wandbündig direkt in der Auslaufströmung dieser Schlitzkanalverengung angeordnet sind, sowie im Falle viskoelastischer Fluideigenschaften ein zusätzlicher fünfter Sensor zur statischen Druckmessung (P5) direkt gegenüber dem Sensor P2 auf der Schlitzkanalgegenseite, jedoch nicht wandbündig, sondern in einer in den Boden der Schlitzkanaldüse eingesetzten Kavität (43) platziert ist, und wobei diese Kavität eine quaderförmige Ausbuchtung der Schlitzdüse bildet mit rechteckigen Querschnitt, bevorzugt in den Abmessungsbereichen (1-1.5) x (4-6) cm sowie eine Tiefe von 3-6 cm besitzt.
33. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoren zur statischen Druckmessung P1 bis P3 für die in-line Detektion scheinbarer Dehn- und Scherviskositäten in der Düsen-einlaufströmung wandbündig in den Flachsitz-Strömungskanal integriert sind sowie die Sensoren zur statischen Druckmessung P2 und P5 zur Ermittlung einer elastischen Normalspannungsdifferenz proportionalen Druckdifferenz in Strömungskanalhöhenrichtung orthogonal zur Strömungsrichtung und einander direkt gegenüberliegend, P2 wandbündig im Strömungskanal, P5 nicht wandbündig, son-

dem am Boden einer Kavität mit rechteckigem Querschnitt eingebaut sind und der Sensor P4 zur Messung der durch die Sekundär-Strömung verursachten oszillatorischen Druckschwankungen, wandbündig und in Strömungsrichtung nach der verstellbaren Schlitz-Düsen-Apertur (VSDA), in den Strömungskanal integriert ist.

34. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Extruderdüsenaustritt mit einem Kühltauchbad verbunden ist zur Kühlung des Extrudatstranges auf unter -20°C , bevorzugt auf unter -50°C , sowie erfindungsgemäß zwei Gefrierkammern nachgeschaltet sind zur periodischen – 1-2 h Periodendauer – Produktumlagerung, wobei diese Gefrierkammern auf konstant -1°C sowie -20°C eingestellt sind.
35. Verwendung des Produktes nach Anspruch 26 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das resultierende geschäumte Produkt mit eingestelltem Porenöffnungsgrad als strukturiertes Basiselement für Fleischanalogue verwendet wird, wobei die eingesetzten Proteine lediglich pflanzlichen Ursprungs sind und solche Fleischanalogue-Basiselemente in Menüs verwendet werden, welche durch komplementierte, fluide Saucen- oder Saft- oder Dressing- oder Marinaden- oder Topping-Komponenten eine graduelle bis vollständige Füllung der offenen Poren der strukturierten Basiselementes bewirken.

36. Verwendung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass das Produkt als Komponente in Käse, Süßwaren, Backwaren, Waffeln und Schokoladen-Confectionery verwendet wird.