



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

„Herstellung von Extrudaten als Grundlage für
Snackprodukte und gemahlene Zwieback“

Verfasser: Katharina Jämlich

Betreuer: Y. Böhm (Betriebswirt, Finanzökonom)
W. Fischer (Diplom Volkswirt)
Prof. Dr. P. Meurer

Datum: 01.02.2010

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2009-0386-2

Abstract

This scientific work describes the production of milled zwieback (rusk) and snacks with extrusion technology.

The company Wikana likes to improve the current production of milled zwieback, because to bake it in ovens is not efficient enough. If an extruder for this appliance is bought, different snack products should be produced, too.

Experiments with the Brabender extruder should show, if the recipes can be realized with an extruder. So different mixtures of raw materials are extruded and evaluated. With a roast- process the taste of a baked product should be achieved.

Gliederung

		Seite
1	Einleitung	4
2	Theoretische Grundlagen	5
2.1	Definition	5
2.2	Allgemeine Funktion von Extrudern	5
2.3	Rohstoffe	6
2.4	Vorkonditionierung	6
2.5	Extruderbauarten	7
2.5.1	Aufbau von Einwellenextrudern	7
2.5.2	Schnecke	8
2.5.3	Extruderzylinder	12
2.5.4	Düse und Schneidevorrichtung	13
2.5.5	Vorratsbehälter und Speisungsvorrichtung	14
2.5.6	Besonderheiten der Doppelwellenextruder	15
2.5.6.1	Gleichläufige Doppelwellenextruder	17
2.5.6.2	Gegenläufige Doppelwellenextruder	18
2.5.6.3	Vorteile der Doppelwellenextruder	19
2.5.7	Sonderbauarten	20
2.5.7.1	Stiftextruder	20
2.5.7.2	Walzenextruder	21
2.5.7.3	Ko- Knetter	21
2.5.7.4	Mehrwellenextruder	22
2.5.7.5	Coextrusionswerkzeuge	23
2.6	Extrusionsmöglichkeiten	23
2.6.1	Kaltextrusion	23
2.6.2	Gelatinierung	24
2.6.3	Heißextrusion	24
2.7	Generelle Prozessparameter und Parameter des Extrudates	24
2.8	Rohstoffe und deren ernährungsphysiologische Veränderungen durch Extrusion	25
2.8.1	Wasser	26
2.8.2	Kohlenhydrate (Stärke)	27
2.8.3	Proteine	29

2.8.3.1	Maillard- Reaktion durch Extrusion	30
2.8.3.2	Enzyme	31
2.8.4	Lipide	31
2.8.5	Vitamine und Mineralstoffe	32
2.8.6	Aroma und Farbe	33
2.9	Vorteile, Anwendungsbeispiele und Probleme der Extrusion	35
2.10	Überlegungen zur Anschaffung eines Extruders	38
2.11	Deklarationsfrage Zwiebackmehl	41
3	Material und Methoden	43
3.1	Rohstoffe und Geräte	43
3.2	Aufbau des Brabender Laborextruders	44
4	Versuche und Ergebnisse	47
4.1	Versuchsziel 1: gemahlener Zwieback	47
4.2	Versuchsziel 2: Snackprodukt	48
4.3	Vorversuch 1: Extrusion von Weizenmehl	48
4.4	Vorversuch 2: Extrusion von Mais- und Weizengrieß	49
4.5	Hauptversuch 1: Extrusion der Proben 1 bis 14 – gemahlener Zwieback	53
4.6	Hauptversuch 2: Extrusion der Proben 17.1 bis 17.7 - gemahlener Zwieback	59
4.7	Hauptversuch 3: Extrusion der Proben 25.1 bis 25.6 - gemahlener Zwieback	61
4.8	Hauptversuch 4: Extrusion der Proben 30, 31, 32,35 - gemahlener Zwieback	63
4.9	Hauptversuch 5: Extrusion der Proben 18, 19, 23, 24 – Snackprodukt	65
4.10	Hauptversuch 6: Extrusion der Proben 50 bis 55 – Snackprodukt	66
5	Diskussion	68
6	Zusammenfassung	70
7	Literaturnachweis	71
8	Abbildungsverzeichnis	73
9	Tabellenverzeichnis	76
	Anhang	77

1 Einleitung

Diese wissenschaftliche Arbeit befasst sich mit der Themenstellung „Herstellung von Extrudaten als Grundlage für gemahlene Zwieback und Snackprodukte“. Die Idee entstand durch einen Zeitungsartikel, welcher sich mit der Herstellung von Paniermehl per Extrusion befasst. Die Überlegungen der Fa. Wikana beziehen sich auf die Herstellung von gemahlendem Zwieback, da die konventionelle Produktion über Ofenlinien zeitaufwändig und uneffektiv ist. Sollte ein Extruder angeschafft werden, sind ebenso Produktinnovationen im Snackbereich erwünscht. Versuche am Brabender Laborextruder der Hochschule Neubrandenburg sollen aufzeigen, ob die gewünschten Rezepturen realisierbar sind. Dazu werden unterschiedliche Rohstoffmischungen vorbereitet, bei verschiedenen Parametern extrudiert und gegebenenfalls geröstet und vermahlen. Nach sensorischen Gesichtspunkten wird entschieden, in wie weit die hergestellten Extrudate bzw. die Vermahlungsprodukte der Extrudate den Erwartungen an gemahlene Zwieback und an Snackprodukte entsprechen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Definition

Der Begriff Extrusion stammt vom lateinischen Wort „extrudere“ ab, welches mit „hinausstößen/ hinausdrücken“ übersetzt wird. (Greif et al., 2004)

Extrusion ist bekannt seit dem späten 18. Jhd. Der maschinelle Ursprung der Extrusion liegt in der Kunststoffverarbeitung. Vorerst wurden Druckkolbenmaschinen, später Schneckenextruder verwendet. Die erste industrielle Anwendung in der Lebensmittelindustrie erfolgte 1935 in der Teigwarenproduktion zur Herstellung von Nudeln und Spaghettiprodukten. Entscheidende Beiträge zur Entwicklung der Extrudertechnologie nach 1945 wurden durch italienische Hersteller und die Bühler- Gruppe geleistet. (Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

Lebensmittelextrusion ist ein technologisches Verfahren zur Verarbeitung von vorrangig stärkehaltigen Rohstoffen unter komplexer Einwirkung von Feuchte, Temperatur, Druck und Scherkräften zu unterschiedlich aufgeschlossenen Halb- und Endprodukten. Durch das Pressen durch eine Düse wird das Produkt geformt und/ oder durch Puffen getrocknet. (Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

Extrusion ist eine vielseitige Grundoperation der Verfahrenstechnik, welche auf eine Vielzahl von Prozessen in der Lebensmitteltechnik angewandt werden kann. Extruder werden beispielsweise genutzt zum Kochen, Formen, Mischen, Texturieren und zum Formen von Lebensmitteln. (Riaz, 2000)

2.2 Allgemeine Funktion von Extrudern

Der Extruder erfüllt verschiedene Funktionen und erlaubt die Anwendung in einem breiten Spektrum in der Lebensmittel- und Futtermittelbranche, wie auch in industriellen Anwendungen. Einige wichtige verfahrenstechnische Schritte und Anwendungen sind die folgenden:

Ein Extruder kann genutzt werden zur Homogenisation verschieden großer Partikel sowie zum Mischen verschiedener Rezepturkomponenten. Dabei treten auch Scherkräfte auf. Durch Agglomeration können Partikel kompaktiert und zu Pellets geformt werden. Außerdem findet eine Entgasung der Rohstoffe statt, indem Gaseinschlüsse

in Lebensmitteln entfernt werden. Durch den Flüssigkeitsverlust aufgrund hoher Temperaturen und Drücke findet eine Trocknung statt. Je nach Bauart kann ein Kochvorgang erzielt werden, beim Austritt des Materials aus der Düse erfolgt eine Expansion, wodurch Form und Dichte des Endprodukts maßgeblich beeinflusst werden. Das Extrudat weist demnach eine bestimmte Textur auf. Mittels Extrusion kann Stärke gelatiniert oder vollständig verkleistert, Proteine können denaturiert werden. Durch die Kombination von Druck und Temperatur tritt eine Pasteurisation bzw. Sterilisation der Rohstoffe ein. (Riaz, 2000)

2.3 Rohstoffe

Der Hauptanteil der Rohstoffe für die Extrusion ist trocken und rieselfähig. Meist werden Mehle, Grieße, Schrote und native Stärken als Grundbestandteil einer Rezeptur verwendet. Die Auswahl der Rohstoffe hat einen entscheidenden Einfluss auf Extrudierbarkeit, Textur, Formbarkeit, Nährwert und die Möglichkeit des Coatings des Endprodukts.

Die Auswahl der Rohstoffe erfolgt in erster Linie nach ihren ernährungsphysiologischen Eigenschaften und nach erwünschten Eigenschaften des Endprodukts, auch ökonomische Faktoren und die Verfügbarkeit spielen dabei eine Rolle. Da Naturprodukte verarbeitet werden, muss mit Schwankungen der Qualität gerechnet werden, welche begründet liegen in Einflüssen während der Wachstumsphase. Die Lagerung und die Vorbehandlung der Rohmaterialien beeinflusst ebenso das Verhalten bei Druck, Scherung und Temperatureinwirkung. Frisch geerntetes und vermahlenes Getreide weist andere Eigenschaften während der Extrusion auf als Getreide, welches vorerst länger abgelagert wurde. Aus diesem Grund ist es wichtig, Daten über die Qualität von Rohstoffen zu erheben. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

2.4 Vorkonditionierung

Eine Vorkonditionierung kann nötig sein, um die Rohstoffmischung mittels Wasser- oder Dampfinkjektion auf einen bestimmten Feuchtegehalt einzustellen. Außerdem ist es notwendig, dass die Rohstoffmischung homogen vorkonditioniert wird, dass also jeder Partikel dieselbe Feuchte und Temperatur aufweist. Im Vorkonditionierungs-

prozess kann außerdem Mischen, weiteres Befeuchten, Vorkochen und die pH-Wert- Einstellung der Mischung erfolgen sowie die Zugabe von Farbstoffen, Aromastoffen, Fetten und weiteren Rezepturbestandteilen. Da die Verweilzeit der Materialien im Extruder oft sehr kurz ist, kann das Vorkonditionieren angewendet werden, um Reaktionszeit zu schaffen. Vorkonditionierung ist oft ein entscheidender Prozessschritt, um beispielsweise eine Aromaentwicklung zu erzielen. Man unterscheidet Vorkonditionierung unter Druck oder unter atmosphärischen Bedingungen. Die Maschinen für diesen Prozessschritt sind zahlreich und unterschiedlich. Eine Vorkonditionierung ist nötig bei flockierten unexpandierten Frühstückscerealien, texturierten Pflanzenproteinen, Pastaprodukten und bread crumbs (Paniermehl), allerdings ist sie nicht zuträglich für jeden Extrusionsprozess. (Riaz, 2000)

2.5 Extruderbauarten

Ein Extruder stellt das Kernstück einer Extrusionsanlage dar. Man unterscheidet zwischen verschiedenen Bauarten wie Ein-, Zwei-, Mehrwellenextrudern und weiteren Sonderbauformen. Auch eine Einteilung nach Druckaufbau, Scherintensität oder nach thermodynamischen Gesichtspunkten ist denkbar. (Greif et al., 2004; Riaz, 2000)

Allen Extrudern gemeinsam sind bestimmte Komponenten:

Die äußere Hülle wird als Extruderzylinder bezeichnet, dieser steht fest und ist meist temperierbar. Im Zylinder dreht sich die Extruderschnecke, bewegt durch eine Antriebseinheit. Über den Einfülltrichter erfolgt die radiale Speisung mit Rohstoffen, welche vermischt, verdichtet, erhitzt und schließlich an der Austragsöffnung geformt werden. (Greif et al., 2004)

2.5.1 Aufbau von Einwellenextrudern

Konstruktionstechnisch sind Einwellenextruder die einfachsten Extrusionssysteme. Anhand dieser Extruderbauweise sollen Terminologie und Funktionsweise der Bauteile erläutert werden. (Greif et al., 2004)

Vorgänge im Einwellenextruder sind: Speisen, Befördern, Komprimieren, Verdichten, Reagieren, Mischen, Homogenisieren, Schmelzen, Plastifizieren, Kochen, Texturieren, Formgebung, Beheizung und Kühlung. Die Produkte können komplett gekoch-

te Getreidesnackprodukte mit geringer Dichte oder auch teilweise gekochte, geformte Pastaprodukte mit hoher Dichte sein. Ein genereller Aufbau eines Einwellenextruders wird in Abb. 1 gezeigt. (Beitz, Grote, 1997; Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

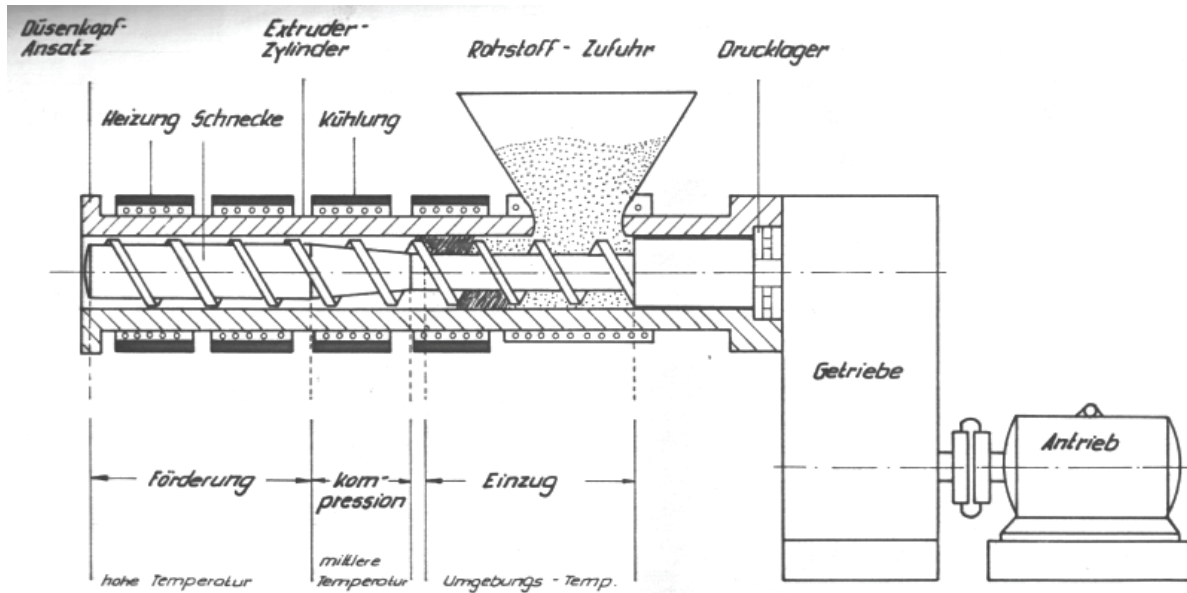


Abb. 1: Beispielhafter Aufbau eines Einwellenextruders (Zitzmann, 1982)

2.5.2 Schnecke

Die Schnecke, auch Welle genannt, wird beschrieben durch die Angabe des Kompressionsverhältnisses. In der Lebensmitteltechnologie sind Kompressionsverhältnisse von 1:1 (keine Kompression) bis zu 1:5 (starke Kompression) üblich. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000)

Die Schnecke ist das wichtigste Bauteil des Extruders und erfüllt unterschiedliche Aufgaben. Zu Beginn zieht sie das Rohstoffgemisch ein und fördert es in Richtung Düse. Im weiteren Verlauf werden Druck und Temperatur erzeugt, die Rohstoffe werden vermischt und geknetet. Entsprechend dieser Aufgaben verändert sich die Geometrie der Schnecke. (Greif et al., 2004)

Häufig werden Drei-Zonen-Schnecken verwendet, wie in Abb. 2 dargestellt.

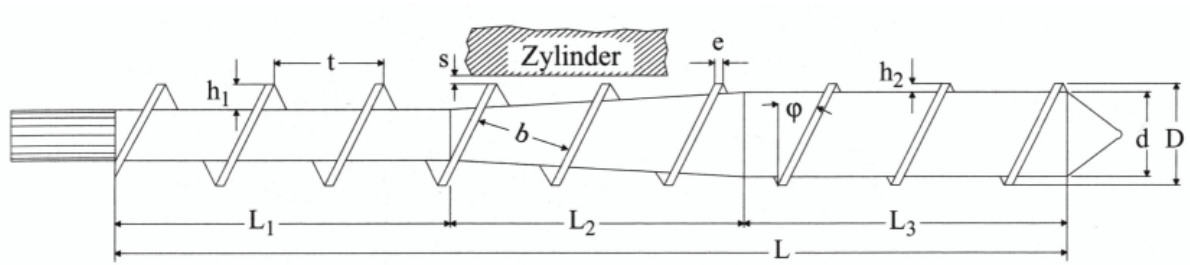


Abb. 2: Eingängige Drei- Zonen- Schnecke (Greif et al., 2004)

D: Schneckendurchmesser, d: Kerndurchmesser, h: Gangtiefe, e: Stegbreite
s: Schneckenspiel, t: Gangsteigung, φ : Gangsteigungswinkel, b: Gangbreite, L: Länge

Am Anfang liegt die Einzugszone L_1 , die rieselfähigen Rohstoffe werden hier der Extruderschnecke zugeführt und in Richtung der zweiten Zone transportiert. Diese Zone zeichnet sich meist durch tiefe Schneckengänge aus und wird gekühlt, um ein Klumpen der Rohstoffe zu vermeiden. Nachfolgend ist die Kompressionszone L_2 zu nennen, die Verdichtung wird hier weiter vorangetrieben durch die Schneckengeometrie; gleichzeitig erfolgen dadurch ein Druckaufbau, die Temperaturerhöhung und ein Eintrag von Scherung ins Produkt. In dieser Sektion kann Wasser und/ oder Dampf injiziert werden. In Kombination mit der Produktfeuchte werden die Rohstoffpartikel agglomeriert und plastifiziert. Es bildet sich eine teigige Masse und die Verkleisterung der Stärke beginnt.

In der Koch- und Austragszone L_3 , auch Meterringzone genannt, wird der homogene, verdichtete Produktstrom zur Auslassöffnung hin befördert. Es erfolgt die Texturierung, Verkleisterung der Stärke und Denaturierung der Proteine. Druck und Temperatur sowie der Misch- und Schereffekt sind in dieser Sektion bei den meisten Extrudertypen am größten. Wie sich die Rohstoffe in den verschiedenen Schnecken zonen verhalten, zeigt Abb.3. Zur besseren Veranschaulichung wurden die Kammern gleich groß gezeichnet, obwohl ihr Volumen aufgrund der Kernprogressivität in Richtung Düse hin abnimmt. (Beitz, Grote, 1997; Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

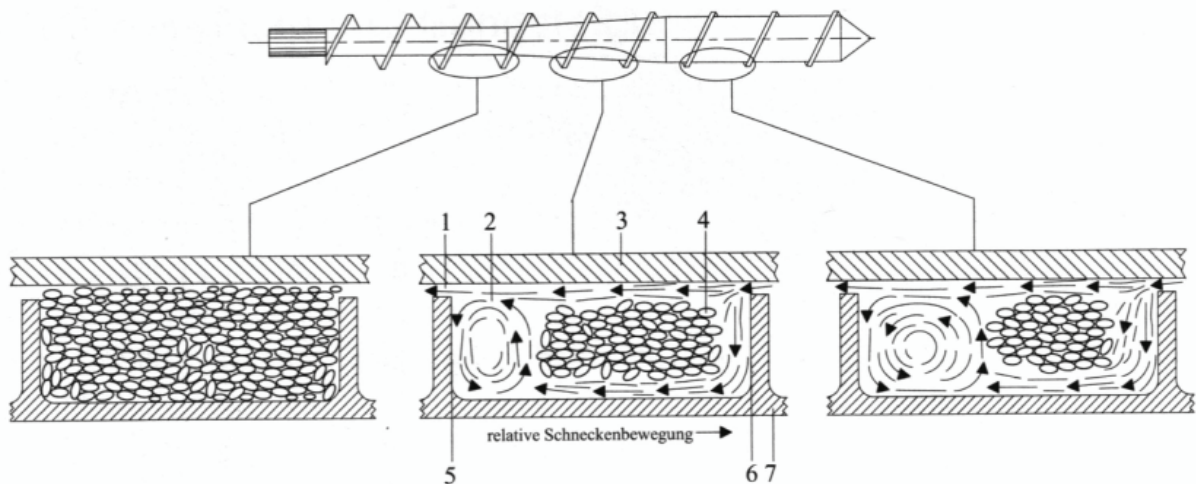


Abb. 3: Verhalten der Rohstoffmischung in den Schneckenzonen (Greif et al., 2004)

1: Leckstrom, 2: verflüssigter Rohstoff, 3: Zylinder, 4: Feststoff, 5: aktive Flanke, 6: passive Flanke, 7: Schnecke

Die konstruktiven Merkmale der Schnecke sind immer ähnlich.

Aus Abb. 2 werden die wichtigsten Merkmale ersichtlich, welche eine Schnecke charakterisieren. Sie wird gefertigt, indem eine wendelförmige Vertiefung aus einem Stahlrundstab herausgeschnitten wird. Die entstandene Vertiefung bildet den Schneckenkern, das erhobene Stück wird Schneckensteg genannt. Der Abstand zwischen den Stegen wird als Schneckengang, Kammer oder Kanal bezeichnet. Ein Gang wird somit gebildet aus der Oberfläche des Schneckenkerns und den Seitenflächen der Stege.

Der Abstand zwischen Kernoberfläche und Stegoberfläche wird Gangtiefe (h) genannt. Denkt man sich eine Parallele zur Schneckenachse und misst den Abstand zwischen zwei treibenden Flanken desselben Steges, so kann man die Gangsteigung (t) ermitteln. Bei der Gangbreite (b) handelt es sich um den Abstand zwischen zwei Stegen, gemessen parallel zum Steg. Der Gangsteigungswinkel (φ) ist der Winkel zwischen Steg und einer Senkrechten zur Schneckenachse.

Es ist möglich, dass mehrere Gänge den Schneckenkern umlaufen, die Schnecke wird dann als mehrgängig bezeichnet. Die Gangzahl gibt die Anzahl dieser Schneckengänge wieder, wie aus Abb. 4 deutlich wird. (Greif et al., 2004)

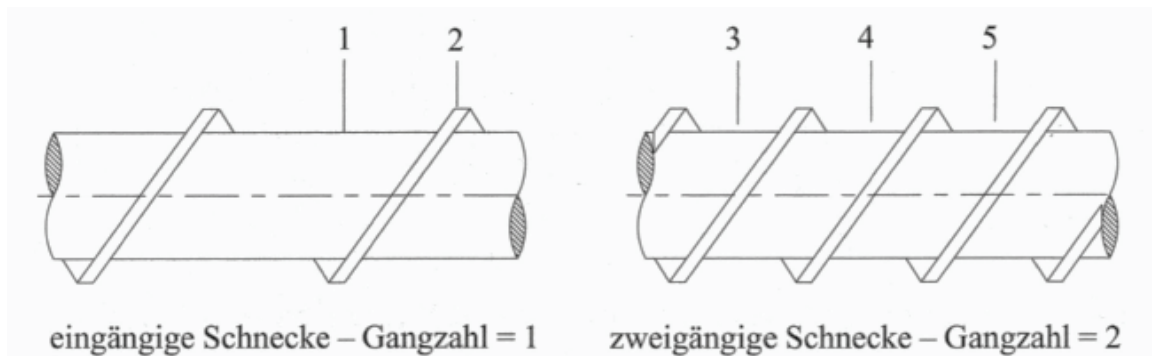


Abb. 4: Gangzahl (Greif et al., 2004)

1: Schneckenkern, 2: Steg, 3: erster Gang, 4: zweiter Gang, 5: erster Gang

Oft ist eine Schnecke nicht aus einem Teil gefertigt, sondern kann modular kombiniert werden. Dazu werden auf eine meist sechseckige Welle Sektionen bzw. Module aufgeschoben, welche durch Formschluss gegen Verdrehen gesichert sind. Die Schneckenspitze (-kuppe) verspannt die Module zu einer durchgängigen Schnecke. Diese modulare Bauweise ermöglicht ein Anpassen des Extruders an unterschiedliche Prozessziele. Die Sektionen nahe der Schneckenkuppe sind oft mit Abrasionsresistenten Legierungen beschichtet, um eine längere Lebensdauer zu gewährleisten. Auch eine konische Bauweise der Schnecke oder bestimmter Bauteile ist möglich. (Riaz, 2000)

Die Geometrie der Schnecke wird angepasst an den Verwendungszweck und beeinflusst den Materialtransport in Richtung der Düse, Misch- und Knetverhalten sowie die Entwicklung von Temperatur und Druck.

Die Schnecke kann beispielsweise variiert werden in der Steigung, in der Gangtiefe und im Ansteigen des Schneckendurchmessers bei gleichem Innendurchmesser des Zylinders (=Kernprogressivität). Auch kann Druck erzeugt werden, indem der Schneckendurchmesser gleich bleibt, jedoch der Durchmesser des Extruderzylinders abnimmt. Ein wichtiges Charakteristikum eines Extruders ist das L/D- Verhältnis. Dazu wird der Schneckendurchmesser (D) sowie die wirksame Schneckenlänge (L) als Vielfaches von D angegeben. (Greif et al., 2004; Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

Der Durchmesser der Schnecke ist stets etwas kleiner als der Innendurchmesser des Zylinders, um Reibung der Schnecke am Gehäuse zu vermeiden. Der Zwischenraum zwischen Steg und Zylinder wird als Schneckenspiel bezeichnet und ist während des Betriebs mit Produkt gefüllt. Die Seitenflächen des Stegs werden als Flanken bezeichnet. Dabei ist die aktive oder treibende Flanke die Seite, die das Produkt in Richtung Düse befördert, die entgegen liegende Seite wird passive Flanke genannt.

Diese Bezeichnungen werden aus oben stehender Abb. 3 deutlich. (Greif et al., 2004)

2.5.3 Extruderzylinder

Bei Einwellenextrudern läuft die Schnecke in einem Zylinder mit runder Bohrung (runder Querschnitt). (Greif et al., 2004)

Die Innenwand des Extruderzylinders kann speziell geformt sein, um das Produkt in bestimmter Weise zu bearbeiten. Eher unüblich in der Nahrungsmittelindustrie sind Gehäuse mit glatter Innenwand, da die Gefahr des Festklebens besteht oder dass sich das Produkt mit der Schnecke mitdreht. Häufig sind Gehäuse mit Längsrillen, auch Achsialnuten genannt, zu finden oder die Rillen verlaufen spiralförmig in Richtung Auslassöffnung. Die verschiedenen Rillen ermöglichen einen höheren Produktdurchsatz, Längsrillen unterstützen vor allem den Misch- und Kneteffekt, spiralförmige Rillen unterstützen den Produkttransport in Richtung Düse. Jedoch ist zu beachten, dass die Nuten und Rillen den Rückfluss von Produkt begünstigen, welcher durch den Druck entsteht, der durch das Fahren des Produkts gegen die Düse entsteht. Somit kann ein Leckstrom entstehen. Die Effizienz der Förderleistung wird somit leicht verringert. Abb. 5 zeigt die unterschiedlichen Zylinderbauweisen. (Riaz, 2000)

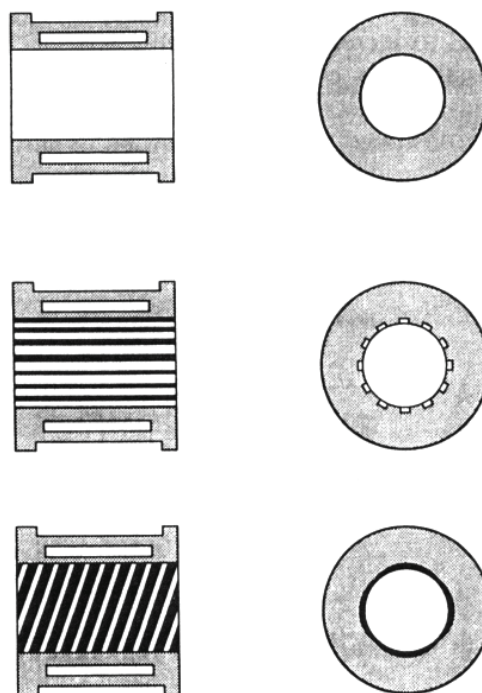


Abb. 5: Zylinderinnenwand: glatt, mit Längs- und spiralförmigen Rillen (Riaz, 2000)

Scherung entsteht dadurch, wenn das Produkt komprimiert und gegen die Außenwand des Zylinders gedrückt und vorwärts transportiert wird gegen den durch die Düse erzeugten Druck. Ebenso tragen Einbauten im Zylinder zur Erhöhung der Scherung bei, was unter Punkt 2.5.7 Sonderbauarten beschrieben wird.

Um den Schneckenzyylinder können Kühlelemente für die Kühlung mit Wasser, Luft oder anderen Kühlmedien angebracht sein, oder auch Heißmäntel zur Temperierung mit heißem Wasser, Dampf oder Öl angebracht werden; auch elektrische Heizungen sind üblich. Dazu ist der Zylinder oft als Doppelmantel gestaltet. Somit kann ein bestimmter Temperaturverlauf über die Länge des Extruders erzeugt werden. Oft wird eine Gliederung des Zylinders in unterschiedliche Temperaturzonen vorgenommen. Zylinder mit drei Temperaturzonen werden häufig angewandt, allerdings können auch mehr Temperaturzonen mit kleineren Temperaturzonen abgeteilt werden.

Des Weiteren sind in den Schneckenzyylinder Thermofühler eingebracht, die den Temperaturverlauf dokumentieren. Ebenso bedeutsam sind Messfühler zur Kontrolle der Druckverhältnisse im Extruder. (Bühler, 2006; Greif et al., 2004; Riaz, 2000)

2.5.4 Düse und Schneidevorrichtung

Die Formgebung des Produkts erfolgt am Ende des Schneckenganges mittels einer Auslassöffnung, auch als Düse oder Matrize bezeichnet. Mittels der Düse können der Füllstand des Extruders, sowie die Druck- und Temperaturentwicklung beeinflusst werden. Das Design der Düse in Kombination mit der Schnittgeschwindigkeit des Messers bestimmt die Form und Gestalt des Extrudates. Die Möglichkeiten der Ausformung sind zahlreich. Durch eine oder mehrere Öffnungen wird ein Endlosstrang erzeugt, welchen durch rotierende Messer in beliebig lange Stücke geschnitten wird. Je nach Expansionsverhältnis können mittels Extruder feste Pellets oder auch stark gepuffte Produkte hergestellt werden. Die Expansion erfolgt dadurch, dass der hohe Druck im Extruderinneren auf Umgebungsdruck abfällt, sobald das Produkt die Düse verlässt. Dabei verdampft ein großer Teil des Wassers. Düsen mit rundem Durchmesser erzeugen somit Rundstränge, Flachdüsen können verwendet werden für Flachbrote, Knäckebröte oder Filinchen- ähnliche Produkte. Des Weiteren ist durch die Anwendung spezieller Düsen die Herstellung aller erdenklichen Formen möglich. Die Abb. 6 bis 11 geben eine Auswahl möglicher Formen wider. (Bühler, 2006; Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)



Abb. 6: kreisringförmiger Extrudate (Bühler)



Abb. 7: kreisringförmige Extrudate mit unterschiedlicher Färbung (Bühler)



Abb. 8: Expandierte Reissnacks als Komponente für Müsli (Bühler)



Abb. 9: Kissenförmige Snacks, Füllung möglich (Bühler)



Abb. 10: Müsli-Komponente mit Schokogeschmack (Bühler)



Abb. 11: Extrudierte Cornflakes (Bühler)

Mittels verschiedener Werkzeuge mit Kreisringspalt können nahtlose kreisringförmige Endlosstränge hergestellt werden, die anschließend in beliebig große Stücke geschnitten werden. In der Lebensmittelindustrie ist dazu die Bauweise des Dornhalters kurz vor der Auslassöffnung am gebräuchlichsten. Ein Verdrängerkörper, auch Dorn genannt, wird mittels einer Haltevorrichtung, dem Dornhalter zentral im Materialstrom gehalten. Bei dieser Haltevorrichtung handelt es sich um Stege oder um eine Lochplatte, die den Materialstrom erst in Teilströme zerteilt, die sich dann zu einem Kreisring vereinigen und in dieser Form aus der Düse austreten. Weitere solche Werkzeuge sind Siebkorb-, Wendelverteiler- oder Pinolen- Werkzeuge.

Für die Co- Extrusion ist eine besondere Düsenbauweise erforderlich, wie unter Punkt 2.5.7.5 beschrieben wird. (Greif et al., 2004; Riaz, 2000)

2.5.5 Vorratsbehälter und Speisungsvorrichtung

Im Vorratsbehälter wird die Rohstoffmischung vorgehalten, um sie dem Extruder zuzuführen. Die Einspeisung der trockenen Rezepturbestandteile in den Vorratsbehälter erfolgt über unterschiedliche Dosiersysteme, die eine gleich bleibende Mischung sicherstellen müssen, um ein gleich bleibendes Extrudat zu erhalten. Ein adäquater Vorrat ist ratsam, um eine kontinuierliche und gleichmäßige Speisung zu ermöglichen und das Leerlaufen der Extruderschnecke zu verhindern. Es ist ebenso sinnvoll den Vorratsbehälter mit Förderelementen auszustatten, um Brückenbildung im Produkt zu verhindern, was den Produktfluss unterbrechen würde. Es muss jedoch gewährleistet werden, dass sich die Rohstoffmischung nicht entmischt aufgrund unterschiedlicher Partikelgrößen. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000)

Speisungseinrichtungen sind mit volumetrischen oder gravimetrischen Dosiereinrichtungen ausgestattet. Hinzu kommen Fördererlemente, Klopf- oder Vibrations-einrichtungen, die einen kontinuierlichen Produktstrom sichern. Der Durchsatz der Speisung muss so gestaltet werden, dass die passende Menge der Rohstoffe in den Extruder gelangt. Es können trockene oder pastöse Mischungen zugeführt werden.

Zudem besteht bei vielen Extrudern die Möglichkeit flüssige oder rieselfähige Zutaten wie Fett, Öl und Zucker über separate Speisungen direkt in den Extruderinnenraum zuzuführen. Dies ist über Seitenbeschickungen oder Nadelventile möglich, die in den Schneckenzyylinder eingebracht sind. Üblich ist auch die Dampf-injektion in das Produkt. Diese separate Beschickung bietet den Vorteil, dass diese flüssigen Rohstoffe die Rieselfähigkeit der Grundmischung nicht beeinträchtigen und das Verklumpen in der Speisungsvorrichtung wird verhindert.

Gravimetrische Dosiersysteme sind meist preisintensiver in der Anschaffung, haben jedoch den Vorteil, dass die Dichte der Rohstoffe oder der Füllstand des Vorratsbehälters die dosierte Rohstoffmenge nicht beeinflusst. (Greif et al., 2004; Riaz, 2000)

2.5.6 Besonderheiten der Doppelwellenextruder

Extruder, bei denen zwei achsparallele Schnecken in einem Zylinder laufen, werden Doppelwellen-, Zweiwellen oder Doppelschneckenextruder genannt. Der Querschnitt des Zylinders ist nicht wie beim Einwellenextruder rund, sondern er hat, wie in Abb. 12 und 13 zu sehen, die Form einer Acht. (Greif et al., 2004)

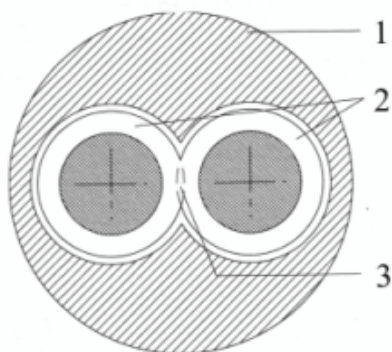


Abb. 12: Querschnitt des Zylinders eines Doppelwellenextruders (Greif et al., 2004)
1: Zylinder, 2: Schnecke, 3: Zwickel

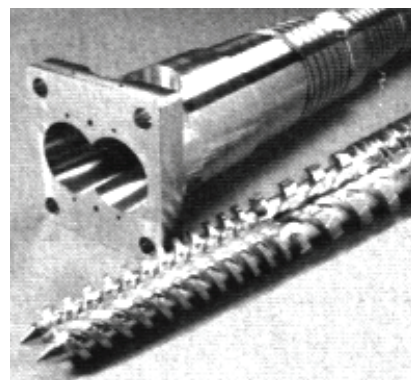


Abb. 13: Zylinder mit konischem Schneckenpaar (Greif et al., 2004)

Dabei sind verschiedene Ausführungen denkbar. Eine Übersicht über verschiedene Bauarten gibt Abb. 14, Abb. 15 veranschaulicht zusätzlich das Prinzip des Kämmens.




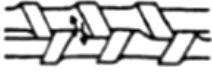


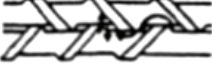



Eingriff		System	Gegendrallschnecke	Gleichdrallschnecke
ineinander- greifend	vollständig kämmend	längs und quer geschlossen		theoretisch nicht möglich
		längs offen und quer geschlossen	theoretisch nicht möglich	
		längs und quer offen	theoretisch möglich, praktisch nicht verwirklicht	
	teilweise kämmend	längs offen und quer geschlossen		theoretisch nicht möglich
		längs und quer offen		
				
nicht ineinander- greifend	nicht kämmend	längs und quer offen		

Abb. 14: Bauarten von Doppelwellenextrudern (Greif et al., 2004)

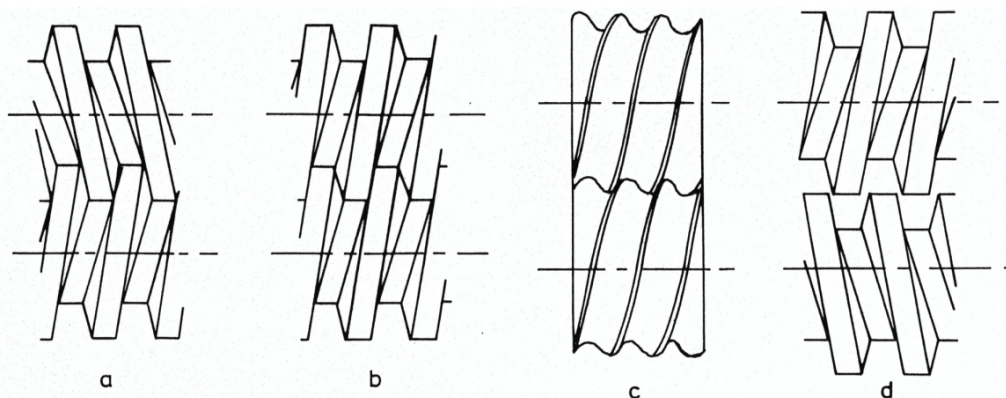


Abb. 15: Unterschiedliche Bauarten von Doppelwellenextrudern (Mercier et al., 1998)

- a: gegenläufiger, stark kämmender Doppelwellenextruder,
- b: gleichläufiger, stark kämmender Doppelwellenextruder,
- c: gleichläufiger Doppelwellenextruder mit guter Selbstreinigung,
- d: gegenläufiger Doppelwellenextruder, Schnecken greifen nicht ineinander

Zum einen unterscheidet man, ob die Schnecken gleichläufig oder gegenläufig arbeiten, was auch als Gegendrall und Gleichdrall beschrieben werden kann. Des Weiter-

ren ist der Abstand (a) der Schnecken zueinander bedeutsam. Als nicht kämmend werden sie bezeichnet, wenn sie nicht ineinander greifen, wenn sie also kein Zwickel besitzen. Als Zwickelbereich wird dabei die Zone bezeichnet, in der sich die Stegflanken überdecken, wenn man den Querschnitt des Extruders betrachtet. Wenn die Schnecken ineinander greifen, können sie als vollständig oder teilweise kämmend ausgeführt sein. Außerdem unterscheidet man geschlossene sowie längs/ quer offene Schneckenbauweisen. (Greif et al., 2004)

2.5.6.1 Gleichläufige Doppelwellenextruder

Die Anwendung dieser Extruderbauart erfolgt in breiten Spektren in der Lebensmittelindustrie. Die Vorteile von gleichläufigen Zweiwellenextrudern sind der gleichmäßige Produkttransport, eine gute Steuerung der Verweilzeit und die Selbstreinigung. (Riaz, 2000)

Die Geometrie der Schnecken ist nunmehr nicht frei wählbar, sondern muss auf das Zusammenspiel abgestimmt sein. Sie weisen eine identische Geometrie auf und drehen sich in gleicher Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit. Oft sind sie als kämmende Schnecken gestaltet, das bedeutet das Gewinde der einen Schnecke greift in den Schneckengang der zweiten Schnecke. Somit werden ein effizientes Mischen der Rohstoffe und der Selbstreinigungsmechanismus unterstützt. Dem Festbacken und Anbrennen von Material wird entgegengewirkt.

Gleichläufige Doppelwellenextruder können allerdings auch nicht- ineinander greifend gestaltet sein. Meist sind Schnecken und Gehäuse von Doppelwellenextrudern modular aufgebaut, was eine Kombination von Modulen ermöglicht, die an die Verfahrensaufgabe angepasst ist. Deutlich wird dieses Baukastenprinzip aus Abb. 16. (Greif et al., 2004; Riaz, 2000)

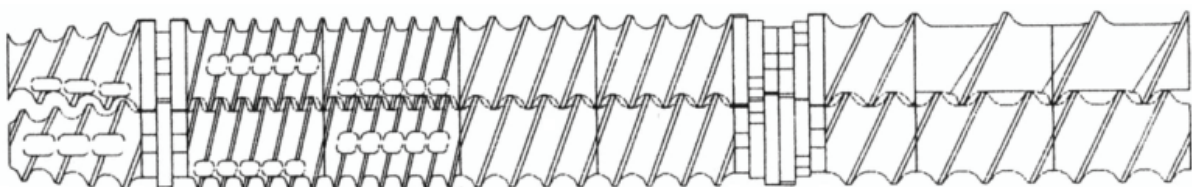


Abb. 16: Modulare Bauweise eines gleichläufigen Doppelwellenextruders (Riaz, 2000)

2.5.6.2 Gegenläufige Doppelwellenextruder

Es handelt sich um Extruder mit ausgezeichneten Fördereigenschaften, doch sie werden kaum in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. Sie sind geeignet, um wenig viskose Materialien mit niedrigem Durchsatz und langen Verweilzeiten zu verarbeiten, wie z.B. Kaugummi. (Riaz, 2000)

In Abb. 17 wird ersichtlich, dass gegenläufige Doppelwellenextruder unterschiedliche Gewinderichtungen haben. Ein Rechts- und ein Linksgewinde werden kombiniert, um eine einheitliche Produktförderung in Richtung Düse zu gewährleisten. Es können kämmende, teilweise kämmende und nicht kämmende Bauweisen – längs/ quer geschlossen oder offen- verwendet werden.



Abb. 17: Schneckenpaare von konisch gegenläufigen Doppelwellenextrudern (Greif et al., 2004)

Schnecken von gegenläufigen Doppelwellenextrudern sind meist nicht modular, sondern aus einem Stück gefertigt, was die Anwendung eines Extruders für verschiedene Verfahrensziele schwierig macht.

Gegenläufige, kämmende Doppelwellenextruder unterscheiden sich im Förderverhalten von Einwellenextrudern, gleichläufigen und nicht kämmenden gegenläufigen Doppelwellenextrudern, welche axial offene Systeme sind.

Der kämmende gegenläufige Doppelwellenextruder ist längs und quer geschlossen. Aus den Abb. 18 und 19 wird deutlich, dass die Gänge und Kammern der nebeneinander liegenden Schnecken eine C-förmige Kammer bilden, wenn sie ineinander greifen. Die Kammerbegrenzung erfolgt durch zwei Stege und die Kernoberfläche der einen Schnecke, durch die Zylinderwand sowie durch die kämmenden Stege der zweiten Schnecke. (Greif et al., 2004)

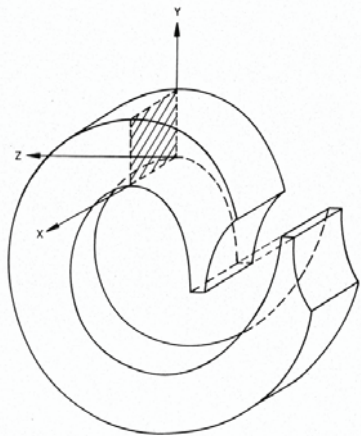


Abb. 18: C- förmige Kammer im dreidimensionalen Koordinatensystem (Mercier et al., 1998)

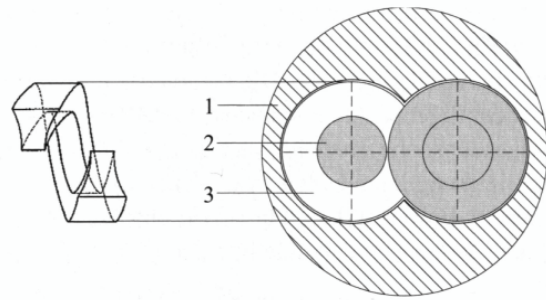


Abb. 19: C- förmige Kammer als Volumenmodell und im Schnitt (Greif et al., 2004)
1: Zylinder, 2: Schnecke, 3: C- förmige Kammer

Das Förderverhalten dieses Extruders gleicht dem einer Zahnrادpumpe und wird auch als Kammerförderung bezeichnet. Es findet kaum ein Materialaustausch zwischen den Kammern statt, während das Produkt in der C- förmigen Kammer axial zur Düse gefördert wird. Ein Vorteil der Kammerförderung ist, dass das Produkt kaum mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt wird, was die Verarbeitung temperaturempfindlicher Materialien ermöglicht.

Wie bei den Einwellenextrudern ist auch bei Doppelwellenextrudern eine konische Bauweise der Schnecken möglich.

Aufgrund der aufwändigen Bauweise sind Doppelwellenextruder preisintensiver in der Anschaffung als Einschneckenextruder, doch sie sind vorteilhaft für viele Anwendungen in der Lebensmittelindustrie. (Greif et al., 2004)

2.5.6.3 Vorteile der Doppelwellenextruder

In Zweiwellenextrudern können Rohstoffe verarbeitet werden, die in Einwellenextrudern nur schmieren würden, also viskose, ölige, fettige, klebrige oder sehr feuchte Materialien. Der Produktstrom im Schneckenzyylinder ist sehr kontinuierlich und ein Pulsieren an der Düse wird somit verhindert. Die Abnutzungseffekte halten sich sehr gering. Es ist möglich Rohstoffe mit sehr unterschiedlichen Partikelgrößen zu verarbeiten, von feinen Pulvern bis hin zu größeren Körnern, während Einwellenextruder an ein bestimmtes Spektrum von Partikelgrößen gebunden sind. Aufgrund dieser Charakteristika können durch Doppelwellenextruder eine Vielzahl von Produkten hergestellt werden. Ein weiterer Vorteil ist der Selbstreinigungseffekt, das Festbren-

nen der Rohstoffe wird weitestgehend verhindert und die Schneckengänge setzen sich kaum mit Produkt zu. Die Handhabung ist auch für unerfahrenes Personal schnell zu erlernen. (Riaz, 2000)

Doppelwellenextruder haben oft eine höhere Kapazität, je nach hergestelltem Produkt im Vergleich zu Einwellenextrudern und es können bessere Mischeffekte erzielt werden. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000)

2.5.7 Sonderbauarten

2.5.7.1 Stiftextruder

Aus der Kunststoffverarbeitung sind Stiftextruder bekannt, welche ebenso; auch in modularer Bauweise; Anwendung in der Lebensmittelindustrie finden. Aus der Zylinderinnenwand ragen Stifte, auch Scherbolzen oder Knetzähne genannt, radial in den Extruder hinein bis fast auf den Schneckenkern. Die Schneckenstege sind an diesen Stellen unterbrochen. Abb. 20 zeigt eine solche Bauweise.

Das Material wird an den Stiften geteilt, geschert, durchmischt und umgelenkt, somit kann eine gute Durchmischung erreicht werden. (Greif et al., 2004)

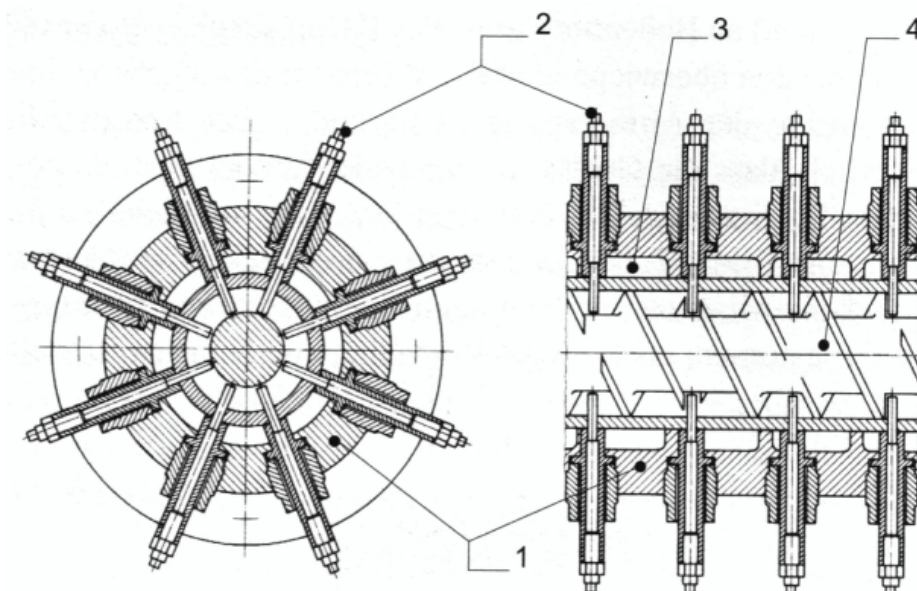


Abb. 20: Quer- und Längsschnitt eines Stiftextruders (Greif et al., 2004)

1: Zylinder, 2: Stifthalter mit Verstellung und Stift, 3: Temperierkanal im Zylinder, 4: Schnecke

2.5.7.2 Walzenextruder

Der Walzenextruder ist ein mehrwelliger Extruder und wird auch als Planetwalzenextruder bezeichnet. Die Einzugszone und das Förderverhalten entsprechen dem Einschneckenextruder. Anschließend folgen das Planetenwalzteil und die Austrags-einheit. Walzenextruder können auch als Zweistufen- oder Kaskadenextruder gebaut werden, wie Abb. 21 zeigt. (Greif et al., 2004)

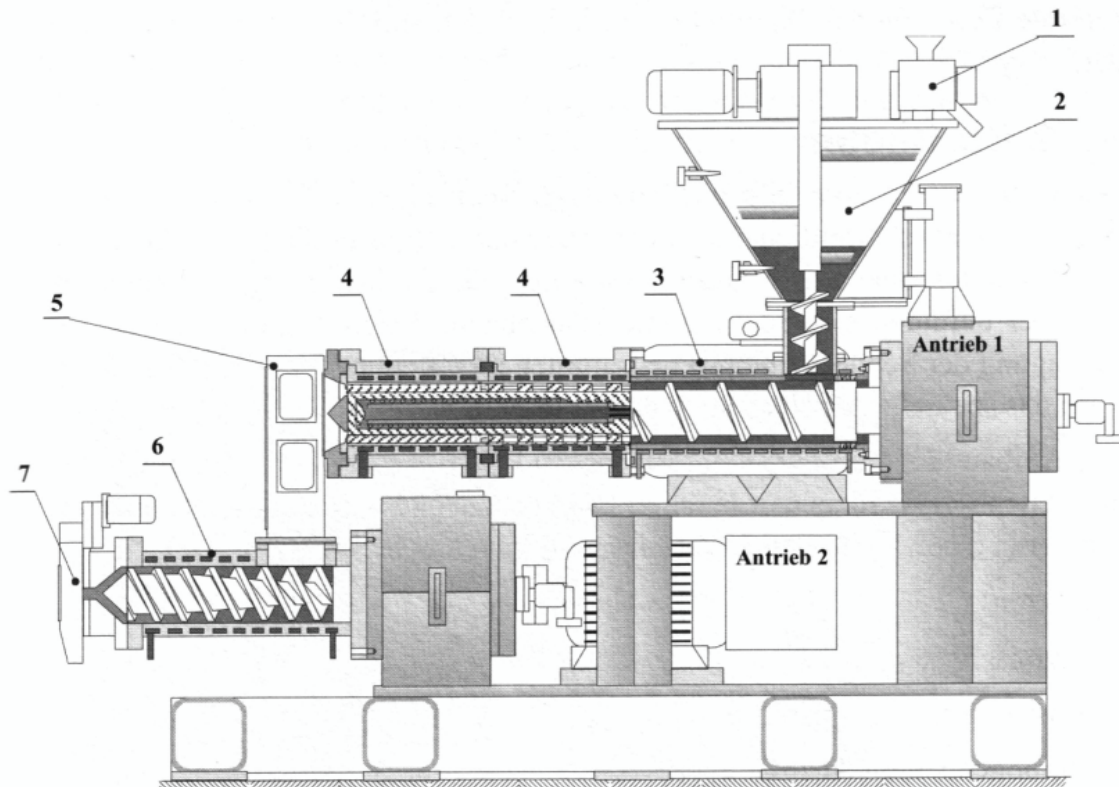


Abb. 21: Planetwalzenextruder als Kaskadenextruder der Kunststoffindustrie (Greif et al., 2004)

1: Metallabscheider, 2: Stopfwerk mit Trichter, 3: Füllteil, 4: Walzenteil, 5: Übergabeschacht, 6: Austragsschnecke, 7: Granulierung

2.5.7.3 Ko- Knetter

Ko- Knetter führen neben der Drehung der Schnecke auch eine axiale Oszillation aus. Der Zylinder ist ähnlich dem Stiftextruder mit feststehenden Knetzähnen versehen. Die Arbeitsweise eines Ko- Kneters wird aus Abb. 22 deutlich. (Greif et al., 2004)

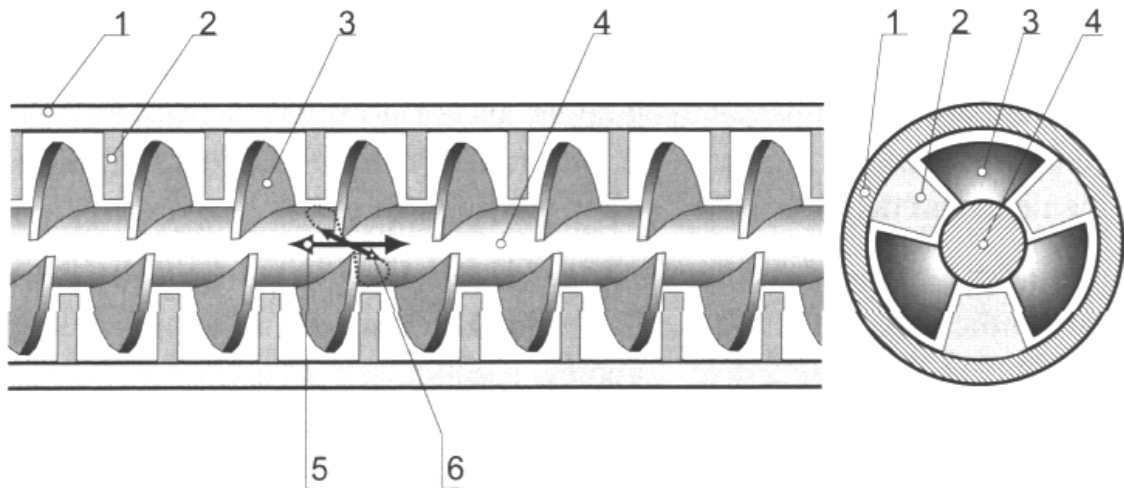


Abb. 22: Quer- und Längsschnitt eines Ko-Kneters (Greif et al., 2004)

1: Zylinder, 2: Knetzahn, 3: Schneckenflügel, 4: Schnecke, 5: Oszillation, 6: Schneckenbewegung

2.5.7.4 Mehrwellenextruder

Eine relativ neue Extruderbauart ist der Ringextruder, wie in Abb. 23 zu sehen.

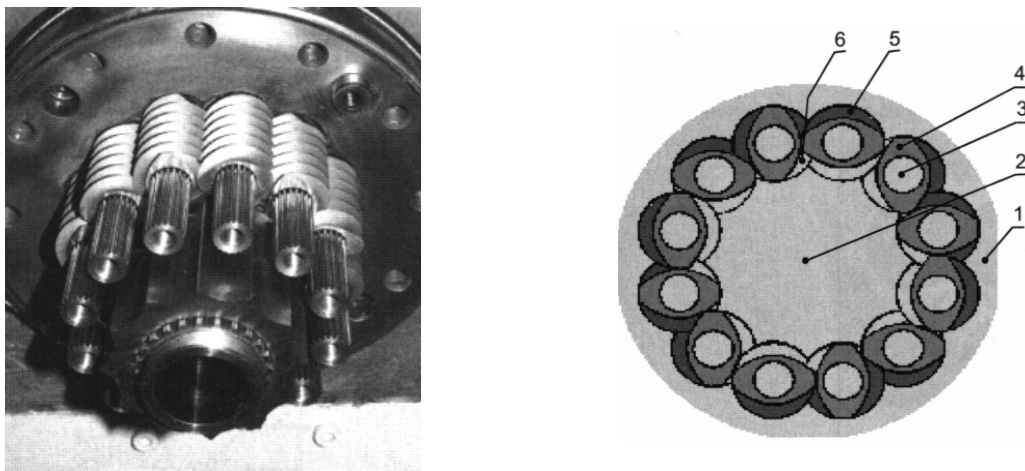


Abb. 23: geöffneter Ringextruder sowie schematischer Querschnitt der Schneckenanordnung (Greif et al., 2004)

1: Zylinder, 2: Gehäusekern, 3: Schneckenwelle, 4: Schneckenelement, 5: äußerer Prozessraum, 6: innerer Prozessraum

Mehrere achsparallele Schnecken drehen sich gleichläufig und greifen dicht ineinander. Extruder dieser Bauart realisieren lange Verweilzeiten, höhere Durchsätze, verbesserte Mischung aufgrund von zwei Zwickeln pro Schnecke und weisen einen guten Selbstreinigungseffekt auf, da eine Schnecke von zwei Nachbarschnecken gereinigt wird. Der Prozessraum ist deutlich größer als bei anderen Mehrschneckenextrudern. Eine modulare Bauweise von Schnecken und Zylinder ist ebenso möglich, was eine hohe Anpassungsfähigkeit an verschiedenste Aufgaben ermöglicht.

Weitere Mehrwellenmaschinen sind Gangschnecken- und Reihenschneckenextruder. (Greif et al., 2004)

2.5.7.5 Coextrusionswerkzeuge

Aus der Kunststoffindustrie ist die Coextrusion bekannt. Durch dieses Verfahren ist es möglich, verschiedene Lagen von Materialien gemeinsam zu extrudieren und dadurch eine Kombination ihrer Eigenschaften zu erlangen. Die unterschiedlichen Materialien werden in separaten Extrudern hergestellt und in entsprechenden Werkzeugen zusammengeführt, sodass sie an der Düse gemeinsam austreten.

Beispielsweise werden Verpackungsfolien für Lebensmittel wie Fleisch-, Wurstwaren und Käseprodukte auf diese Weise hergestellt, die eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen müssen. Aber auch Nahrungsmittel können mittels der Coextrusion hergestellt werden, wie gefüllte Frühstückscerealien oder Snackartikel mit knuspriger Hülle und süßen oder herzhaften Füllungen, so genannte „Soft-center Snacks“. (Greif et al., 2004; Mercier et al., 1998)

2.6 Extrusionsmöglichkeiten

Extrudate auf Getreidebasis können durch verschiedene Verfahren hergestellt werden. Die drei Hauptgruppen sind: Kaltextrusion, Gelatinierung und Heißextrusion.

2.6.1 Kaltextrusion

Bei diesem Verfahren werden Schnecken mit gleich bleibender Gangtiefe verwendet, um einen Druck von 60-90 bar zu erzeugen. Die Temperaturen liegen zwischen 40-75 °C. Es erfolgt meist keine Beheizung des Extruders, jedoch eine Kühlung, um Reibungswärme abzuführen. Die Extrudate expandieren nicht, sie werden nach Austritt aus der Düse zugeschnitten, getrocknet und verpackt. Auf diese Weise werden traditionell Teigwaren in allen erdenklichen Formen hergestellt, aber auch Süßigkeiten wie Kaugummi und Lakritze. (Zitzmann, 1982)

2.6.2 Gelatinierung

Die Gelatinierung findet bei Temperaturen bis 120 °C und Drücken zwischen 80-130 bar statt. Pulverförmige Rohstoffe mit einer Feuchte um 30 % werden dem Extruder zugeführt, welcher beheizt wird, um ein Temperaturprofil zu erzeugen. Die Extrudate können nachbehandelt werden z.B. durch Frittieren in heißem Fett, wobei es expandiert, oder durch Trocknen und Rösten. Durch dieses Verfahren können die unterschiedlichsten Zwischenprodukte hergestellt werden, die z.B. vermahlen und anderen industriellen Anwendungen zugeführt werden, wie z.B. modifizierte Stärken. (Zitzmann, 1982)

2.6.3 Heißextrusion

Bei der Heißextrusion findet ein Kochvorgang bei 120-250 bar oder auch bei höheren Drücken zwischen 130-180 °C statt. Die Einzugszone des Extruders wird meist gekühlt, die weiteren Zonen werden beheizt. Das Produkt expandiert an der Düse. Die Schnecken für dieses Verfahren sind meist so gestaltet, dass die Gangtiefe in Richtung Düse abnimmt, um hohe Drücke zu erzeugen. Es findet eine vollständige Gelatinierung statt. Durch die hohe Temperatur und die kurze Verweilzeit wird die Stärkeverkleisterung bei geringer Nährwertschädigung hervorgerufen. Körnige und pulverförmige Rohstoffe werden in einen plastischen Zustand überführt und bilden eine teigige Masse mit bestimmter Viskosität. Typische Produkte, die durch Heißextrusion hergestellt werden, sind Erdnussflips, Frühstückscerealien und Snackprodukte in verschiedenen Formen und Geschmacksrichtungen. (Zitzmann, 1982)

2.7 Generelle Prozessparameter und Parameter des Extrudates

Es bestehen zahlreiche Parameter, die für die Herstellung eines hochwertigen Produkts entscheidend sind. Dazu gehören unter anderem:

- Aufbau und Art des Extruders
- Schneckendrehzahl
- Eintrag von thermischer und mechanischer Energie
- Durchmesser und Art der Düse
- Rezeptur der rieselfähigen Materialien (Feuchte, Partikelgröße usw.)

- Zugabe von pumpfähigen Rezepturbestandteilen
- Vorkonditionierung (Feuchte, Temperatur, Verweilzeit im Vorkonditionierer)
- Speisungsrate
- Wasser- und Dampfinjektion
- Druckentwicklung im Extruder
- Feuchtegehalt der Mischung sowie des Extrudates
- Temperaturverlauf
- Verweilzeit im Extruder

(Riaz, 2000)

Generelle Parameter, nach denen ein Extrudat bewertet werden kann, sind:

- Expansionsrate
- Dichte
- Feuchte
- Form
- Textur/ Mundgefühl
- Geschmack
- Farbe

(Riaz, 2000)

Der Expansionsindex ist der Quotient aus Extrudatdurchmesser durch Düsendurchmesser. Die Beschaffenheit der Extrudatoberfläche hängt vom Expansionsindex ab. (Zitzmann, 1982)

2.8 Rohstoffe und deren ernährungsphysiologische Veränderungen durch Extrusion

Während des Extrusionsvorgangs laufen zahlreiche Reaktionen ab, in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Rohstoffe. Dabei spielen vor allem die Feuchte, sowie Stärke- und Proteingehalt des Produkts eine Rolle.

Des Weiteren sind Temperatur, Druck, Scherkräfte sowie Verweilzeit der Rohstoffe im Extruder entscheidend, ob und wie stark Veränderungen der Lebensmittel eintreten. Dabei unterscheidet man erwünschte und unerwünschte Effekte.

Die hauptsächlichlichen Veränderungen durch Extrusion sind:

- Beschädigung der Stärke bis hin zur Verkleisterung
- Denaturierung der Proteine → Texturbildung
- Inaktivierung von Enzymen
- Verringerung der Gesamtkeimzahl
- Wasserverlust
- bessere Verdaubarkeit
- Erlangung neuer Produkteigenschaften (z.B. Wasseraufnahme),
Formen und Größen

Zu den unerwünschten Effekten zählen:

- Vitaminverlust
- Verringerung der biologischen Wertigkeit
- Denaturierung der Proteine → Verringerung der Resorbierbarkeit
(Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

Allgemein treten Bindungen zwischen Molekülen, Spaltung von Molekülen, Verlust der natürlichen Konfirmation, Rekombination von Fragmenten sowie thermische Degradation auf. Die Veränderungen finden physikalisch oder chemisch statt. (Riaz, 2000)

2.8.1 Wasser

Ein gewisser Feuchtegehalt der Rohstoffe ist wichtig, da für die Gelatinierung und Verkleisterung von Stärke, für die Denaturierung von Proteinen und für Veränderungen der Kohlenhydrate Wasser nötig ist.

Je feuchter die Mischung ist, umso weniger mechanische Energie muss für den Extrusionsprozess aufgebracht werden. (Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

Bereits eine kleine Änderung der Feuchte in der Rohstoffmischung kann Form und Größe des Extrudates enorm beeinflussen. Daher ist die Sicherstellung einer gleich bleibenden Feuchte durch Vorkonditionierung und Einspeisung von Dampf und Wasser besonders wichtig. (Mercier et al., 1998)

2.8.2 Kohlenhydrate (Stärke)

Kohlenhydrate werden unterteilt in verdauliche (Stärke, Saccharose, Lactose, weitere Oligosaccharide, Glucose, Fruktose) und unverdauliche Mono- und Polysaccharide. Zu den Ballaststoffen zählen unverdauliche Polysaccharide wie Cellulose, Hemicellulosen, Pectine und Lignin.

Bei der Extrusion ist vor allem die Betrachtung der Stärke wichtig.

Stärke besteht aus Amylose, diese ist linear und besteht aus α - 1- 4 glycosidische verbundenen Glucoseeinheiten sowie aus Amylopektin, dies sind über α - 1- 6- Bindungen verknüpfte, verzweigte Glucosestränge. Sie kann durch Amylasen zersetzt werden.

Während der Extrusion sind zahlreiche und umfangreiche Veränderung der Stärke zu verzeichnen, wie Beispielsweise Einflüsse auf das ganze Stärkekorn, auf die kristalline wie auch auf die molekulare Struktur. Glykosidische Bindungen werden gelöst und Oligo- und Monosaccharidbausteine werden gebildet.

Extrudierte stärkehaltige Produkte rufen eine stärkere glykämische Antwort hervor als vergleichbare gebackene oder gekochte Produkte, was auf eine Zerstörung der Kornform und der cellularen Struktur hinweist. (Mercier et al., 1998)

Die Stärke verkleistert durch Extrusion mehr oder weniger stark. Dieser irreversible Vorgang findet in drei Schritten statt und mündet darin, dass die gequollenen Stärkekörner durch Erwärmen zum Platzen gebracht werden. Die Amylose wird frei und geht je nach verfügbarer Wassermenge in Lösung. Als amorpher Körper bleibt die Amylopektinhülle zurück. Bei der Verkleisterung findet ein starker Anstieg der Viskosität statt. (Zitzmann, 1982)

Die organisierte, kristalline Struktur wird somit durch die Extrusion ganz oder teilweise zerstört; abhängig vom Verfahren und von den Prozessparametern.

In unterschiedlichen Literaturquellen wird kontrovers diskutiert, ob die molekulare Veränderung der Stärke soweit voranschreitet, dass sie in ihre Monomere Glucose gespalten wird. Die Verweilzeit im Extruder wäre dazu theoretisch zu kurz.

Sicher ist, dass allgemein eine makromolekulare Degradation bzw. Depolymerisation auftritt. Stärkemoleküle mit hohem Molekulargewicht werden in kleinere Bestandteile mit niedrigerem Molekulargewicht gespalten. Diese makromolekulare Degradation

erfolgt durch das Zusammenspiel von Feuchte, Temperatur und Schneckengeschwindigkeit. Außerdem spielen Scherrate und Verweilzeit eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Ein Maß für die Degradation bei verschiedenen Extrusionsbedingungen ist die Viskosität (η). Die primäre chemische Struktur der Stärke wird nicht verändert, doch die Erniedrigung des Molekulargewichts korrespondiert mit der Verringerung der Viskosität. Durch die Degradation der Stärke wird die Expansion des Produkts vermindert. Die Expansionsrate ist somit von der Zusammensetzung des Produkts abhängig. Pure Stärken können bis zu 500 % expandieren, bezogen auf den Düsendurchmesser, Getreidemahlerzeugnisse bis zu 400 %. Das Vorhandensein von Stärke in der Rohstoffmischung trägt neben den Proteinen zur Texturbildung der Extrudate bei. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000)

Der Gehalt an Stärke, gemessen als Glucose nach dem Verdauungsprozess *in vitro* durch α -Amylasen und Glucoamylase verändert sich durch die Extrusion nicht. Ein weiterer Effekt ist der Einfluss auf die Wasserlöslichkeit. Während native Stärke bei Raumtemperatur nicht wasserlöslich ist, zeigen Stärkeextrudate eine gewisse Löslichkeit in Wasser. Dies deutet auf die Entstehung wasserlöslicher Fraktionen aus dem Stärkemolekül hin. (Mercier et al., 1998)

Für die Gelatinierung von Stärke unter atmosphärischen Bedingungen ist eine Feuchte von 30-40 % nötig. Allerdings ist die Gelatinierung unter Extrusionsbedingungen bei sehr niedrigen Feuchtegehalten von 12-22 % möglich, wenn die Temperatur 110-135 °C beträgt. Dabei geht die kristalline Struktur und die Kornform der Stärke verloren. Die Wasserlöslichkeit der Stärke steigt an und die makromolekulare Struktur wird degradiert zu Oligo- und Monosaccharidbausteinen. Durch die Gelatinierung wird die Verdaulichkeit der Stärke verbessert. Vor allem für die Herstellung von Säuglings- und Kleinkindnahrung ist eine gute Verdaulichkeit von Stärkeprodukten erforderlich.

Der Einfluss des Kochvorgangs und die daraus resultierende Gelatinierung kann festgestellt werden durch NIR- Spektroskopie (near infrared reflectance) für den Wassergehalt und dem Rapid Viscoanalyzer, das bedeutet die Feststellung der Fallzahl. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000)

Durch Extrusion kann Stärke, genauer die Amylose Komplexe bilden mit Lipiden. Diese kristallinen Strukturen der Amylose- Lipid- Komplexe führen vermutlich zu einer geringeren Verdaulichkeit der Stärke, tritt aber nur bei Mehlen mit hohem Fettgehalt auf, oder wenn der Rohstoffmischung eine hohe Menge Fett zugesetzt wird. (Mercier et al., 1998)

2.8.3 Proteine

Proteine sind Polypeptide, die aus einer bestimmten Sequenz von Aminosäuren aufgebaut sind. In räumlicher Anordnung zueinander bilden sie eine Quartärstruktur aus und weisen aufgrund dessen bestimmte Eigenschaften auf.

Während der Extrusion sind auch die Proteine zahlreichen Einwirkungen ausgesetzt, davon sind die Auswirkungen der Temperaturerhöhung bisher am meisten untersucht worden. Bei niedrigen Wassergehalten sind Proteine resistenter gegen die Einwirkung hoher Temperaturen. Strittig sind nach wie vor die Einflüsse von Druck und Scherung. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000)

Die thermische Behandlung zieht strukturelle Veränderungen nach sich, wie die Hydrolyse der Peptidbindungen, Modifikationen von Amino- Seitengruppen, Lösung und Neubildung von Disulfidbrücken und die Entstehung neuer Bindungen, indem Agglomerate mit hohem Molekulargewicht gebildet werden. Quartär- sowie Tertiärstruktur verändern sich und die Proteine werden in ihre Untereinheiten aufgespaltet, damit geht eine Verringerung der Wasserlöslichkeit einher. (Mercier et al., 1998; Zitzmann, 1982)

Bedeutsam ist vor allem die Denaturierung der Proteine, die bereits ab ca. 40 °C beginnt, wodurch eine bessere Verdaulichkeit des Endprodukts erzielt wird. Durch die Denaturierung und Agglomeratbildung der Proteine nimmt auch deren Löslichkeit ab und durch die strukturelle Veränderung der Proteine sinkt deren biologische Wertigkeit. (Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

Der Mechanismus der Texturbildung ist bisher noch nicht komplett erforscht und erschlossen. Doch Proteine sind in Extrudaten unverzichtbar für die Entstehung einer Textur, denn die Veränderungen der Proteinmoleküle tragen mit zur Texturbildung des Extrudates bei. Bei der Texturierung spielen Disulfidbindungen, wie auch kovalente Bindungen eine Rolle. Freie Aminosäuren werden ebenso mit in die Strukturbil-

derung des Extrudates einbezogen, was in einer Abnahme der freien Aminosäuren beobachtet werden kann. Dabei ist ernährungsphysiologisch vor allem die Abnahme der essentiellen Aminosäuren, vor allem des freien Lysins bedeutsam- Extrusion reduziert den Lysingehalt im Weizen auf ein Drittel des ursprünglichen Gehalts. Je höher die Temperatur ist, umso mehr wird der Gehalt der freien Aminosäuren reduziert. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

Über die Veränderungen des ernährungsphysiologischen Wertes von Proteinen kann keine einheitliche Aussage getroffen werden. Der ernährungsphysiologische Wert von Proteinen hängt von der Verdaubarkeit ab, aber auch von der Menge der enthaltenen essentiellen Aminosäuren. Durch milde Extrusionsbedingungen kann der ernährungsphysiologische Wert erhöht werden durch das Erlangen einer besseren Verdaulichkeit. Wahrscheinlich resultiert dies nicht vordergründig aus der Denaturierung der Proteine, sondern auch aus der Inaktivierung von Protease- Inhibitoren. Bei extremeren Extrusionsbedingungen kann die Verdaulichkeit der Proteine verringert und die Verfügbarkeit essentieller Aminosäuren herabgesetzt werden. Dafür ist unter anderem die Maillard- Reaktion verantwortlich; vor allem, weil die Verfügbarkeit von Lysin herabgesetzt wird. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000)

2.8.3.1 Maillard- Reaktion durch Extrusion

Während der Extrusion kann die Maillard- Reaktion, als nicht- enzymatische Bräunungsreaktion bei hohen Temperaturen und niedrigen Wassergehalten auftreten. Reduzierende Zucker reagieren mit freien Amino- Gruppen, was zusätzlich den Gehalt an essentiellen Aminosäuren verringert.

Durch die Hydrolyse der Stärke, Ballaststoffen oder weiterer Polysaccharide enthalten auch Getreidemahlerzeugnisse reduzierende Zucker und neigen zur Maillard- Reaktion, auch ohne Zusatz weiterer Zuckerarten. Sensorisch wirkt sich diese Reaktion aus, indem die Reaktionsprodukte den Geschmack des Extrudates beeinflussen und optisch kann eine leichte Braunfärbung wahrgenommen werden. Die Stärke der Maillard- Reaktion kann optisch anhand der Braunfärbung (Melanoidine) des Extrudates ermittelt werden. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000)

2.8.3.2 Enzyme

Durch die hohen Temperaturen verlieren die meisten Enzyme ihre Aktivität. Da Enzyme aus Polypeptidbausteinen aufgebaut sind, denaturieren diese durch die Einwirkung hoher Temperaturen. Bereits ab 40 °C wird die Funktion der Enzyme beeinträchtigt, zwischen 60 und 80 °C erfolgt eine irreversible Schädigung der meisten Enzyme. Von Bedeutung ist auch die Dauer der Temperatureinwirkung; Düsendurchmesser und Verweilzeit üben somit einen bedeutenden Einfluss auf die Inaktivierung der Enzyme aus. (Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

2.8.4 Lipide

Materialien mit sehr hohem Fettgehalt werden nur selten extrudiert, da gewisse Schwierigkeiten damit verbunden sind. Bereits ab 5-6 % Fettgehalt in der Rezeptur wird das Extrusionsverfahren beeinträchtigt, vor allem bei Einwellenextrudern. Zum einen schmieren fettige Materialien sehr, was keine optimale Durchmischung mehr erlaubt. Außerdem erfolgt kein Druckaufbau, der Kochvorgang wird gestört und die Extrudate sind meist nur schwach expandiert. Mit speziellen Doppelwellenextrudern ist es möglich, Rohstoffmischungen mit bis zu 25 % Fett zu extrudieren, wobei eine Dampf-injektion zur Unterstützung des Kochvorgangs unverzichtbar ist.

Da bei der Extrusion Amylose aus der Stärke austritt, kann diese mit freien Fettsäuren und Monoglyceriden Amylose- Lipid- Komplexe bilden, dies resultiert in einer verminderten Extrahierbarkeit der Lipide aus dem Extrudat. Lipid- Amylose- Komplexe sind weniger anfällig für die Fettoxidation als freie Fette und sorgen für eine längere Haltbarkeit und Lagerstabilität des Extrudates. Die Lipide sind nach der Extrusion somit fester an andere Inhaltsstoffe, beispielsweise auch an Proteine gebunden. (Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

Nach der Extrusion ist der Fettgehalt im Produkt etwas niedriger als in der Rohstoffmischung. Die Lipide verflüssigen sich im Extruder. Durch die hohen Temperaturen verdampft ein geringer Teil beim Austritt der Extrudate aus der Düse.

Problematisch ist das Auftreten von freien Fettsäuren durch Extrusion im Lebensmittel, da sie leichter oxidieren als Triglyceride und oft Fehlgerüche hervorrufen. Aller-

dings ist das Entstehen von freien Fettsäuren durch den Extrusionsprozess nicht signifikant aufgrund der kurzen Verweilzeit der Materialien im Extruder.

Da unter anderem auch hydrolytische Enzyme durch die hohen Temperaturen inaktiviert werden, ist die Entstehung freier Fettsäuren im Extrudat herabgesetzt. Trotzdem kann während der Lagerung die Fettoxidation voranschreiten. Vor allem stark expandierte Produkte mit großer Oberfläche sind diesem Prozess stark ausgesetzt. Eine nachteilige Veränderung der Lipide kann aus der Abnutzung der Schnecke oder anderer Extruderbauteile aufgrund der prooxidativen Wirkung von Metallen resultieren. (Riaz, 2000)

2.8.5 Vitamine und Mineralstoffe

Vitamine haben keine einheitliche chemische Struktur und somit ist auch der Einfluss der Extrusion auf diese unterschiedlich. Generell tritt ein geringerer Vitaminverlust auf, wenn man die Einwirkung von Temperatur und Scherung so gering wie möglich hält.

Die fettlöslichen Vitamine D und K sind verhältnismäßig stabil hinsichtlich der Extrusion. Weniger stabil gegen Temperatureinwirkungen, vor allem in Gegenwart von Sauerstoff, sind Vitamin A und E sowie Carotinoide und Tocopherole.

β - Carotin, ein Antioxidationsmittel und Lebensmittelfarbstoff geht ebenfalls durch die Einwirkung hoher Temperaturen verloren.

Thiamin als Vertreter der wasserlöslichen Vitamine ist am stabilsten gegen thermische Einflüsse. Ascorbinsäure ist nicht beständig bei hohen Temperaturen.

Es bestehen relativ wenig Erkenntnisse darüber, ob natürlich enthaltene Vitamine ebenso auf die Einwirkungen der Extrusionsfaktoren reagieren wie zugesetzte Nährstoffe. Generell werden Vitamine während des Extrusionsprozesses vor allem zerstört durch hohe Extrusions- und Produkttemperaturen, hohe Schneckengeschwindigkeiten, große Energieeinträge, niedrige Feuchtegehalte der Rohstoffe, geringen Düsendurchmesser und bei niedrigem Durchsatz. Bei Getreidemahlerzeugnissen kann der Vitamingehalt durch Extrusion um bis zu 30 % reduziert werden, womit eine Verringerung des ernährungsphysiologischen Werts einhergeht. (Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

Es liegen nur wenige Untersuchungsergebnisse zur Beständigkeit der Mineralstoffe während der Extrusion vor, da davon ausgegangen wird, dass sie ähnlich stabil wie in anderen thermischen Prozessen sind. (Riaz, 2000)

2.8.6 Aroma und Farbe

Oft sind Extrudate geschmacksarm, da die kurze Verweilzeit nicht ausreicht, dass sich Aromastoffe ausbilden können. Des Weiteren werden Aromen der Rohstoffe durch die thermische Behandlung reduziert oder vollständig zerstört. Flüchtige Aromen verdampfen beim Austritt aus der Düse.

Die meisten Rohstoffe bestehen aus komplexen (Stärke) und einfachen (Zucker) Kohlenhydraten, Proteinen, Lipiden und Wasser. Diese Bestandteile tragen zum Aroma bei oder dienen als Vorstufen für die Aromabildung.

Generell bilden die Rezepturbestandteile ein so genanntes „background flavor“, also eine Geschmacks- und Geruchsgrundlage des Endprodukts, welches durch zusätzliche Aromen ergänzt oder maskiert und überdeckt werden kann. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000)

Das Aroma eines Extrudates setzt sich aus zahlreichen Komponenten zusammen. Dabei spielen flüchtige und nicht- flüchtige Aromen eine Rolle. Zudem ist die Konzentration der Komponenten bedeutsam, ob sie einen sensorischen Reiz auslösen, oder nicht. Es steht außer Frage, dass die Temperatureinwirkung der größte Faktor zur Entstehung von Aromen in Extrudaten ist. (Mercier et al., 1998)

Wie bereits in Punkt 2.8.3.1 erwähnt, tritt vor allem bei hohen Temperaturen und niedrigen Feuchtegehalten die Maillard- Reaktion auf. Allerdings ist die Verweilzeit des Produkts so gering, dass sich kein typischer Backgeschmack ausbilden kann. Durch die Maillard- Reaktion entstehen als ein Endprodukt Melanoidine, die eine hohes Molekulargewicht, eine braune Farbe und einen bitteren Geschmack aufweisen. Bisher sind noch nicht alle Reaktionsprodukte der Maillard- Reaktion identifiziert, da einige instabil oder sehr reaktiv und damit schwer zu erfassen sind.

Temperatur und Scherung führen zur Degradation von Stärke und Proteinen, welche dann Reaktanden für die Bräunungsreaktion liefern. Auch Fette, vor allem ungesättigte, werden thermisch zersetzt und liefern Geschmackskomponenten.

Es besteht die Möglichkeit Aromen zuzufügen: dies ist sinnvoll kurz vor Austritt aus der Düse, um die Temperatureinwirkung so gering wie möglich zu halten.

Ebenso ist es üblich, den Extrudaten nach der Extrusion noch Aromen zuzufügen. Dabei werden Sprüh- und Berieselungsanlagen eingesetzt. (Riaz, 2000)

Der Zusatz von Aromen erfolgte zu Beginn der Lebensmittelextrusion meist nachträglich, was jedoch mit zusätzlichem Maschinenbedarf und hohen Kosten verbunden ist. Des Weiteren nachteilig ist unter anderem, dass eine hohe Dosierung der Aromen nötig ist und dass ein passendes Lösungsmittel gefunden werden muss. Es kann vorkommen, dass die Aromamischung nicht das gesamte Extrudat umhüllt oder dass diese während des Verpackungsvorganges und des Transports abfällt, die Gefahr der mikrobiologischen Kontamination wird erhöht und die Aromen an der Oberfläche des Extrudates sind oxidativen Prozessen ausgesetzt.

Vorteile dieser Methode sind allerdings, dass ein Grundkörper mit verschiedenen Geschmacksrichtungen versehen werden kann und es kann der Einsatz thermisch empfindlicher Aromen erfolgen. (Mercier et al., 1998)

Der Zusatz von Aromen zur Rohstoffmischung oder die Injektion dieser kann dazu führen, dass die Aromastoffe sich unter den Extrusionsbedingungen zersetzen oder dass sie beim Austritt aus der Düse verdampfen. (Mercier et al., 1998)

Trotz der kurzen Verweilzeit im Extruder ist es nötig, dass Farbzusätze eine hohe Stabilität aufweisen, um Temperatur, Druck und Scherung stand zu halten. Verfärbungen sind generell unerwünscht, eine Braunfärbung kann je nach Produkt erwünscht sein. (Mercier et al., 1998)

Die Akzeptanz eines Extrudates hängt stark von visuellen und organoleptischen Empfindungen des Verbrauchers ab. Daher ist es üblich, extrudierten Produkten eine gewisse Farbe zu verleihen. Dazu werden beispielsweise synthetische Farbzusätze verwendet. Natürlich dürfen nur Zusätze verwendet werden, die vom Gesetzgeber als Lebensmittelfarbstoff zugelassen sind. Extrudaten eine bestimmte Farbe zu verleihen, kann wie beim Aroma durch Umhüllung oder durch Zugabe in den Extruderzylinder erfolgen.

Über die Veränderung von Farben durch Extrusion liegen nur wenige Versuchsergebnisse vor. Die meisten natürlichen Farbstoffe erwiesen sich als nicht stabil bei

hohen Temperaturen. Jedoch sind auch nicht alle synthetischen Farbstoffe geeignet, als stabil erwiesen sich beispielsweise Tartrazin, Green S und Brown HT. (Mercier et al., 1998)

Auch können zweifarbige Extrudate mit mehreren Geschmackskomponenten hergestellt werden. Für die Herstellung mehrfarbiger Snacks wurden spezielle Extruderbauweisen entwickelt. Diese spezielle Verfahrensweise hat nicht nur den Vorteil, dass attraktive Produkte erschaffen werden, sondern auch, dass die Farben erst am Ende des Prozesses eingebracht werden und nur eine sehr kurze Zeit den Einwirkungen des Extruders ausgesetzt sind. Auch weniger stabile Farben können somit dazu genutzt werden, Extrudate komplett einzufärben. (Mercier et al., 1998)

2.9 Vorteile, Anwendungsbeispiele und Probleme der Extrusion

Ein Extruder bietet die Möglichkeit, mehrere Prozessschritte, wie das Mischen, Kneten, Kochen und die Formgebung von Produkten zu kombinieren. Der Extrusionsprozess läuft kontinuierlich ab. Generell wird nur wenig Ausschuss und Bruch produziert. Es handelt sich um eine kompakte, Platz sparende Installation, der Aufbau als Produktionslinie von der Rohstoffmischung bis zur Verpackung ist möglich.

Extruder arbeiten im Vergleich zu anderen thermischen Prozessen sehr energieeffizient und es fallen vergleichsweise geringe Prozesskosten an. Es ist genau steuerbar, wie viel thermische und mechanische Energie dem Produkt zugeführt wird.

Mittels eines einzigen Extruders sind zahlreiche Produktvariationen möglich hinsichtlich Form, Geschmack, Farbe und Textur. Der Extrusionsprozess ist sehr anpassungsfähig an unterschiedliche Produktionsziele, bereits durch geringe Veränderungen der Inhaltsstoffe oder der Verfahrensparameter können vielfältige Produkte hergestellt werden. Diese flexible Technologie bietet die Möglichkeit, außergewöhnliche Kundenwünsche zu erfüllen.

Die moderne Prozesskontrolle erfordert wenige Mitarbeiter zum Fahren der Anlage. Der kontinuierliche Prozess läuft mit hohem Durchsatz, und ist ggf. auch vollautomatisiert umsetzbar.

Es wird eine hohe Produktqualität erzielt, denn Extrusion ist ein high-temperature/short-time (HT/ ST) Prozess, die Degradation der Produkte wird minimiert und die Bekömmlichkeit der Produkte wird gesteigert. Der Kochvorgang zerstört unter ande-

rem Trypsin- Inhibitoren, unerwünschte Enzyme (z.B. Lipasen) und Mikroorganismen. Der Wasserverbrauch ist sehr gering, beispielsweise zur Kühlung des Zylinders. Es besteht die Verarbeitungsfähigkeit fast aller Getreidemahlerzeugnisse einzeln, in Mischungen oder in variierenden Kompositionen, auch unter Zugabe von Aromen, Gewürzen, Ballaststoffen und weiteren Zusätzen. Versuchsparameter im Technikumsmaßstab können problemlos auf größere industrielle Anlagen übertragen werden. (Riaz, 2000; Zitzmann, 1982)

Ein Artikel über die innovative Produktionsweise von Paniermehl per Extruder gab den gedanklichen Anstoß zu dieser Bachelorarbeit. Der Artikel zeigt auf, dass die Extrusion ein vorteilhafter und effizienter Prozess ist, um der steigenden Nachfrage von Paniermehl gerecht zu werden. Genutzt wird Paniermehl beispielsweise für Panaden von Schnitzel, Fischfilets, Shrimps, Chicken- Nuggets. Neben den Fleisch-, Fisch- und Meerestierprodukten werden auch die verschiedensten Gemüsearten, Kartoffeln oder gar Käse paniert. Die knusprige Teighülle ist geeignet für deftige oder süße Anwendungen, auch die Verwendung als Füllmasse oder Bindemittel ist gebräuchlich. Es werden verschiedene Arten von Paniermehl hergestellt: American Bread Crumb (= Home Style Bread Crumb), Cracker Meal und Japanese Bread Crumb (= Oriental Style Bread Crumb). Traditionell folgen bei der Herstellung von Paniermehl die Schritte Teigherstellung, Teigruhe, Teigformung, Backen, Schneiden, Trocknung, Vermahlung, Sichtung und Verpackung. Die Extrusionstechnologie stellt eine Alternative zur konventionellen Herstellung dar. Die Fa. Bühler AG Schweiz bietet eine innovative Lösung, mittels gleichläufiger Doppelwellenextruder Extrudate als Grundlage für Paniermehl herzustellen. Allerdings entfällt bei dieser Herstellungstechnik eine Gare bzw. Teigruhe. (Weinberger, 2008)

Mittels der Extrudertechnologie werden RTE- Cerealien (ready-to-eat) und Snacks verschiedenster Art hergestellt. RTE- Cerealien sind Extrudate aus Mehl, Stärke, versehen mit kleinen Mengen Fett, Zucker, Emulgatoren und Salz. Das gepuffte Extrudat wird auf ca. 4 % Feuchte getrocknet und bei ca. 250 °C geröstet, um einen typischen Geschmack und Textur zu erzeugen.

Snacks, die eine knusprige Textur aufweisen und trotzdem im Mund zergehen, werden üblicher Weise bei niedrigen Feuchten (unter 15 %) hergestellt, hoher Scherraten und hohe Extrusionstemperaturen kommen zur Anwendung. Neben der direkten

Expansion sind auf so genannte 3G- Snacks (Snacks der dritten Generation) auf dem Markt. Die Besonderheit besteht darin, dass die Extrudate nicht beim Austritt aus der Düse expandieren. Es werden vorerst Pellets hergestellt, diese werden auf 5-10 % Feuchte getrocknet und die Expansion erfolgt durch Frittieren, durch eine Mikrowellenbehandlung oder im Ofen.

Flache Brotsnacks (Flat Breads) können ebenso über Extruder hergestellt werden. Die Extruder ersetzen große Backlinien und eine neue Produktkategorie kalorienarmer Snacks wird eröffnet.

Die Extrusion unterscheidet sich allerdings vom traditionellen Backprozess.

Beim Backen dringt thermische Energie von außen in den Teig ein, die Stärke verkleistert, Proteine denaturieren und durch das Gashaltvermögen des Teiges entsteht eine feinporige und stabile Struktur. Beim Extrudieren erfolgt ein Kochprozess durch den Eintrag thermischer Energie, der Siedepunkt des Wassers wird überschritten, dadurch Verkleistert die Stärke und Proteine denaturieren im gesamten Teig zugleich. (Mercier et al., 1998)

Der Extrusionsprozess kann mit zahlreichen Hürden behaftet sein, vor allem hinsichtlich der Zusammenstellung der Rohstoffmischung. Diese muss ausgerichtet sein auf das gewünschte Produkt. Für dichte, voll gekochte Frühstückscerealien kann Mehl von Winterweizen oder Weizenkleie zugegeben werden. Wird eher ein leichtes, knuspriges Produkt gewünscht, sollten die Rohmaterialien einen schwachen Kleber besitzen, um die Expansion zu fördern sowie wenig Fett enthalten, wie in Mais oder Reis, um die Härte zu minimieren. Sehr feine Zutaten wie Dunst oder Mehl aus Weizen sind oft schlecht rieselfähig, vor allem in Kombination mit Feuchtigkeit. Hafermehl und -grieß neigt zur Brückenbildung durch den hohen Fettgehalt dieses Getreides. Die Dosierung trockener Rohstoffe kann eine Unterstützung durch Vibration oder eine Zwangsförderung nötig machen. Auch, wenn die Rohstoffmischung zu pastös ist, gestaltet sich die Dosierung schwierig. Auch im Extruderinneraum können unterschiedliche Probleme auftreten. Einwellenextruder dürfen nie leer laufen, der Extruder muss möglichst immer komplett gefüllt sein. Nur bei Doppelwellenextrudern ist eine Teilfüllung möglich. Sind die Fördereigenschaften im Extruder nicht optimal, neigen die Rohstoffe zum Festkleben und Verbrennen, vor allem Mahlerzeugnisse aus Reis kleben stark an der Schnecke. Auch bei zu hohen Zuckergehalten kann die Mischung Festbrennen.

Zu hohe Fettgehalte sind auch zu vermeiden, da die Rohstoffmischung dann zum Schmieren neigt und sich die Masse mit der Welle mitdreht, anstatt vermischt zu werden. Der Produktfluss durch die Düse muss konstant sein, damit das Extrudat eine konstante Form aufweist und in vorgesehene Verpackungseinheiten passt, so dass Gewichtstoleranzen eingehalten werden.

Die sensorischen Eigenschaften eines Extrudates weichen von traditionellen Gebäcken ab. Aroma- und Farbstoffzusätze sowie Nachbehandlungen in Form von Trocknen und Rösten sind oft unumgänglich.

Es findet keine Expansion statt, wenn die Temperatur an der Düse unter 100°C liegt. Die Expansion wird geringer und die Dichte der Extrudate größer, je höher die Feuchte der Rohstoffmischung ist. Der Rezepturzusammensetzung und den Prozessparametern muss stets große Aufmerksamkeit gegeben werden.

Die Extrudatverpackung sollte gut auf das Produkt abgestimmt sein, da es sich aufgrund der geringen Feuchte hygroskopisch verhalten kann. (Mercier et al., 1998)

2.10 Überlegungen zur Anschaffung eines Extruders

Die Gesichtspunkte, nach denen eine Kaufentscheidung für einen Extruder getroffen wird, sind zahlreich und komplex.

Für Unternehmen ist in erster Linie die Höhe der Investition bedeutsam. Doch auch der Kundenservice und Hilfestellungen bei Problemstellungen durch den Maschinenhersteller sind wichtige Aspekte. Zum Service gehört es auch, dass der Hersteller einen Extruder anbietet, der genau auf die Ziele des Unternehmens abgestimmt ist.

Zuerst muss feststehen, welches Produkt mit welchen Rohstoffen hergestellt werden soll und welche Ausgaben das Unternehmen bereit ist für die Anschaffung eines Extruders zu tätigen. Der Absatzmarkt für das Produkt muss vorhanden sein, um Größe und Durchsatz des Extruders darauf abzustimmen. Kosten für Hilfsstoffe wie Dampf oder Kühlmedien müssen abgeschätzt werden. Ein nicht zu vernachlässigender Faktor ist, dass Personal angelernt werden muss.

Weitere Überlegungen beziehen sich auf den Aufbau der Extrusionslinie, ob eventuell nachgeschaltete Prozesse wie Trocknung, Kühlung oder Coating nötig sind und wie das Extrudat verpackt werden soll. Des Weiteren sind zusätzliche Apparaturen wie Vorrichtungen zur Dosierung von flüssigen Medien und Vorratsbehälter nötig.

Verschiedene Prozessschritte müssen aufeinander abgestimmt werden, um ein Zwischenlagern oder diskontinuierliche Prozesse zu vermeiden, wenn Linien mit unterschiedlichem Durchsatz arbeiten.

Wichtig ist auch die Extruderbauart, die verwendet werden soll. Obwohl Doppelwellenextruder in der Anschaffung preisintensiver sind, bieten sie einige Vorteile. Die höheren Kosten ergeben sich vor allem aus der speziellen Bauart von Schnecken und Zylinder, sowie der speziellen Antriebseinheit. Ein Doppelwellenextruder ist beispielsweise ratsam, wenn man Rohstoffe mit hohem Fettgehalt verarbeiten möchte, oder wenn die Rohstoffmischung aus sehr feinen Partikeln besteht und leicht verklumpen und Festbrennen kann. Außerdem sind sie geeignet für die Extrusion sehr trockener Rohstoffmischungen und für die Verwendung hoher Zuckeranteile in der Rezeptur. Der Selbstreinigungseffekt ermöglicht die Verarbeitung zahlreicher Rohstoffe, die in Einwellenextrudern nicht zu verarbeiten wären. Doppelwellenextruder erzeugen sehr gleichmäßige Extrudate in Form und Größe. (Mercier et al., 1998; Riaz, 2000)

Für die Anwendung eines Extruders in der Fa. Wikana zur Herstellung von gemahltem Zwieback könnte das folgende Fließschema angewandt werden (Abb. 24).

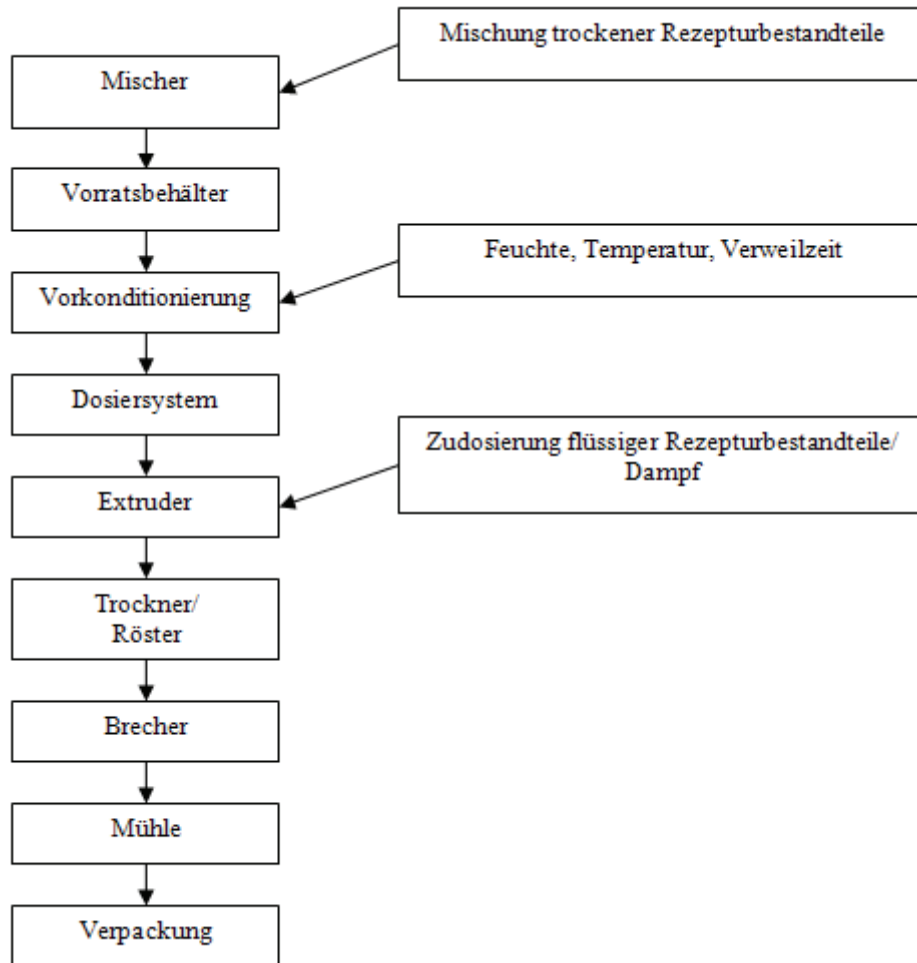


Abb. 24: Fließbild für die Herstellung von gemahlenem Zwieback

Für die Herstellung eines Snackproduktes könnte ein ähnliches Fließschema angewandt werden, in welchem die Extrudate nach dem Trocknungsprozess eventuell mit einem Coating versehen werden.

Derzeit in der Fa. Wikana hergestellte Produkte könnten über den Extruder hergestellt werden, wie z.B. auch das Keksmehl, welches ebenfalls ein Zwischenprodukt für die Herstellung von Kleinkindnahrung ist.

Des Weiteren könnten völlig neue Produktinnovationen umgesetzt werden, wie schokolierete Snackprodukte in Kugelform oder auch Knusperprodukte in unterschiedlichen Formen und Geschmacksausprägungen. Es wurden bereits einige schokolierete Snackprodukte durch bekannte Süßwarenhersteller am Markt eingeführt, welche meist aus einem relativ geschmacksneutralem Knusperkern bestehen, der Geschmack wird durch relativ dicke Schokoladenumhüllung erzielt in den Geschmacksrichtungen Vollmilch und Zartbitter, aber auch mit weißer Schokolade in Kombination mit Fruchtanteilen von Cranberry, Erdbeere oder anderen Beerensorten. Üblich ist es

auch die Schokoladenhülle zusätzlich mit einer pudierzuckerartigen Hülle zu überziehen, die Geschmacksrichtungen wie Vanille, Cappuccino oder Tiramisu vermittelt.

Es wäre möglich, ein Produkt in Anlehnung an bestehende Produkte herzustellen, eine Herausforderung wäre es jedoch auch Knuspererzeugnisse herzustellen, die sich bereits durch einen geschmackvollen Kern auszeichnen und eventuell ohne dicke Umhüllung geschmacklich zufrieden stellend sind. Auch Snackprodukte mit deftigem Geschmack wären denkbar.

Verpackungstechnisch wären für Snackprodukte Schlauchbeutel oder auch widerverschließbare Becher denkbar.

2.11 Deklarationsfrage Zwiebackmehl

Die Verkehrsauffassung von Zwieback wird in den Leitsätzen für Feine Backwaren definiert:

„Zwieback ist ein durch zweimaliges Erhitzen meist unter Verwendung von Hefe hergestelltes knuspriges Gebäck. Nährzwieback enthält auf 100 kg Getreidemehl 10 kg Butter und 10 kg Vollei oder die entsprechende Menge Eigelb und als Anteigflüssigkeit nur Vollmilch. Anstelle von Vollmilch können Milcherzeugnisse mit entsprechenden Mengen Milchtrockenmasse, die der Zusammensetzung der Vollmilchtrockenmasse entspricht, verwendet werden.“

Laut dieser Definition können Bedenken aufkommen, ob extrudiertes Weizenmehl mit Hefe und Zucker als Zwieback bezeichnet werden darf. Eine knusprige Struktur kann durch entsprechende Maschineneinstellung erreicht werden.

Doch vor allem der Aspekt des zweimaligen Erhitzens wird allein durch eine Extrusion nicht erfüllt. Jedoch wäre ein Extrudat, welches einen Zwiebackgeschmack aufweisen soll, nach der Extrusion noch zu Rösten. Es wäre denkbar, dass dieser Röstprozess als zweiter Erhitzungsschritt definiert werden könnte.

Jedoch findet kein wirklicher Backprozess statt, wie ihn der Verbraucher bei konventionellem Zwieback erwarten würde. Denn die Extrusion ist ein Kochprozess und kann nicht als Backvorgang eingeordnet werden. Daher wäre es möglich, dass sich Verbraucher getäuscht fühlen, wenn sie „extrudierten Zwieback“ kaufen würden.

Eine entsprechende Deklaration ist auf jeden Fall sinnvoll. Mit Großkunden wären Gespräche denkbar, in denen die neue Produktionsweise erläutert wird. Falls die

Kunden wirklich auf einen Backprozess bestehen, müsste „extrudiertes Zwiebackmehl“ mit anderen Namen deklariert werden, wie z.B. zwiebackähnliches Mehl.
(Leitsätze für Feine Backwaren, 2002)

3 Material und Methoden

Die Durchführung der Versuche läuft in zwei Richtungen.

Zum einen stellt sich die Frage, ob durch die Anschaffung eines Extruders in der Fa.

Wikana die Produktion des Zwiebackmehls effektiver gestaltet werden kann.

Weitere Überlegungen beziehen sich darauf, welche weiteren Snackprodukte auf diesem Extruder hergestellt werden könnten.

3.1 Rohstoffe und Geräte

Für die Versuche wurden die in Tab. 1 aufgeführten Materialien beschafft.

Tab. 1: Materialien

Produkt	Hersteller/ Lieferant	Feuchte %	Produktdaten
Weizenmehl Type 405	Fa. Rolle GmbH Mühle	14,25	MHD: 07.05.2010 Charge: 200947
Weizenmehl Type 550	Fa. Rolle GmbH Mühle	14,65	MHD: 30.04.2010 Charge: 200946
Weichweizen Griess	Real,- QUALITY	12,64	MHD: 18.12.10 Los 10:29/239
Grieß aus Weichweizen	K Classic	13,67	MHD: 04.2011 Los L29009K1031
Weichweizen Grieß	Diamant	11,79	MHD; 25.03.2011 Los 12:00
Weichweizen Griess fein	Wurzener	13,72	MHD: 02.10.10 Los L94051N
Maisgrieß fein (Polenta)	Seeberger	14,93	MHD: 07/2010 Los 275 11:46:00 29L
Maisgrieß grob	Seeberger	15,35	MHD: 03/2010 Los 149 07:49:00 20L
Grieß Dinkel	Aurora	12,95	MHD: 01/2010
Zucker	Diamant	-	MHD: 08/2012
Salz	Bad Reichenhaller	-	MHD: 07/ 2011
Trockenbackhefe	Dr. Oetker	-	MHD: 02.2011 Los L225
aktive Hefe	Wikana	-	-
inaktive Hefe	Wikana	-	-
Magermilchpulver	Wikana	-	-
Vanillezucker	Dr. Oetker	-	MHD: 03.2011 Los: L 245
Aroma Butter- Vanille	Dr. Oetker	-	MHD: 12.2010 Los: L 170
Aroma Zitrone	RUF	-	MHD: 11.11 Los: L 66651
Reismehl	Minderleinsmühle GmbH & Co KG	-	MHD: 100914 Los 000113212

Für die Durchführung der Versuche wurden folgende Geräte und Maschinen genutzt:

- Laborextruder Brabender Typ 20 DN; Ident Nr. 832 500 der Brabender OHG Duisburg
- Küchenmaschine Braun Multisystem
- Backofen
- Waage Sartorius
- Schüsseln, Löffel, Trichter, Stoppuhr

3.2 Aufbau des Brabender Laborextruders

Für den Extruder wurden folgende Bauteile verwendet:

Antriebs- und Datenverarbeitungseinheit	Mod. Nr.: 8 150 01.001
DO- CORDER DC 2200	
Schnecke 1 : 4	Mod. Nr.: 643 265
Rundstrangdüsenkopf	Mod. Nr.: 628 265
Runddüse Durchmesser 5 mm	Mod. Nr.: 404 269
Schneidevorrichtung	Mod. Nr.: 629 244
Regelthermoelemente	Mod. Nr.: 673 289
Druckaufnehmer 0 – 800 bar	Mod. Nr.: 241 303
Dosierschnecke	Mod. Nr.: 629 299
Kühlluftgebläse	Mod. Nr.: 673 420

Laut der Betriebsanleitung für den Brabender Laborextruder müssen alle mechanisch und thermisch beanspruchten Gewinde vorerst mit speziellem Graphitfett geschmiert werden.

Der Extruderzylinder wird an den DO- CORDER angebaut, dazu müssen die Kuppelungsscheibe und die Scherstifte eingebracht werden. Anschließend wird der Dosiertrichter aufgesetzt und verschraubt. Danach kann der Einsatz der Schneckenwelle in den Zylinder erfolgen.

Der Düsenkopf wird aufgesetzt und mit der Ringmutter verschraubt. Die Düse wird mit einem Maulschlüssel am Düsenkopf angebracht. Die Schneidevorrichtung wird so an der Auslassöffnung des Extruders angebracht, dass das Messer nicht an der Düse schleift, sich aber auch nicht in zu großem Abstand zur Düse befindet.

Als nächstes werden Druckaufnehmer und Regelthermoelemente in die dafür vorgesehenen Öffnungen installiert und mit der Steuereinheit verbunden.

Für die Luftkühlung muss das Gebläse mit dem Luftanschluss am Zylinder verbunden werden. Der Extruder kann temperiert werden, Temperaturzone T 1 befindet sich kurz nach der Dosiereinrichtung, T 2 in der Mitte und T 3 an der Düse des Extruders. Die Versuche dieser Bachelor- Arbeit wurden per PC gesteuert, dazu wurden entsprechende Verbindungskabel des DO- CORDER an den PC mit passendem Steuerungsprogramm angeschlossen. Der Extruder kann allerdings auch im Handbetrieb gefahren werden.

Angefahren wird der Extruder bei niedriger Drehzahl mit Maisgrieß, die Drehzahl der Schnecke und der Speisungsvorrichtung werden nach und nach bis zum Soll- Wert erhöht. Auch zum Ende der Versuche empfiehlt sich eine Reinigung durch Extrudieren mit Maisgrieß.

Vor Beginn der Versuche wurde mit Mais- und Weizengrieß getestet, welche Schnecke sich eignen würde. Die Schnecke mit dem Kompressionsverhältnis 1 : 3 erbrachte keine expandierten Produkte, daher wurde die Schnecke 1 : 4 als geeignet für die Versuche befunden.

Nach Beenden der Versuche werden Schneidevorrichtung und Düsenkopf abgenommen und der Extruderzylinder von der Antriebseinheit getrennt. Die Schnecke wird mit der Ausdrückstange aus dem Zylinder ausgetrieben und der Zylinder wird mittels Bürsten gereinigt. Die Fotos der Abb. 25 bis 28 zeigen den komplett zusammengebauten Brabender Laborextruder.



Abb. 25: komplett aufgebauter Extruder am DO- CORDER



Abb. 26: Extruderzylinder mit Dosiertrichter, Heizelementen und Schneidevorrichtung



**Abb. 27: Dosiertrichter mit Auslassöffnung;
Kühlluftanschluss und Luftregelventile am
Extruderzylinder**



**Abb. 28: Spitze der Schnecken 1:4 (oben) und
1:3 (unten) mit Abrasionserscheinungen**

4 Versuche und Ergebnisse

4.1 Versuchsziel 1: gemahlener Zwieback

Die Fa. Wikana stellt derzeit das Produkt Zwiebackmehl her. Dabei handelt es sich um eine Mischung aus Mehl, Zucker, Hefe und Wasser, welche zwei Mal gebacken wird. Das Backen erfolgt auf der Ofenlinie in Form von Strängen, welche anschließend gekühlt und zur Vermahlung weitergeleitet werden. Das Endprodukt ist ein feinkörniges, homogenes Pulver, welches in 25 kg- Säcken verpackt wird. Verwendung findet dieses Produkt beispielsweise in Babykost.

Der Hauptgrund dieses Produkt per Extruder herstellen zu wollen, ist hauptsächlich der sehr geringe Durchsatz bei der Herstellung über die Ofenlinie mit ca. 200 kg pro Produktionsschicht. Aufgrund steigender Nachfrage nach gemahlenem Zwieback stellt sich die Frage nach einer effektiveren Herstellungsmöglichkeit, im Falle dieser Bachelorarbeit per Extruder. Auch eine Herstellung von so genanntem Keksmehl per Extruder wäre wünschenswert, da der Ausstoß mit ca. 500 kg/ h zwar deutlich höher liegt als der von Zwiebackmehl, doch auch durch dieses Produkt wird die Ofenlinie lange beansprucht und andere Produkte mit hohem Durchsatz können in dieser Zeit nicht produziert werden.

Für eine erste Orientierung auf dem Gebiet der Extrusionstechnologie wurde ein Vor-Ort- Termin bei der Fa. Schaaf Technologie GmbH vereinbart. Eine Führung durch die Technikumsabteilung der Firma sowie eine Testproduktion erster Extrudate bot Einblick in die zahlreichen Möglichkeiten dieses Produktionszweiges.

Es wurden am Versuchstag drei Mischungen extrudiert, denen jeweils noch zusätzliche Rezepturbestandteile zugefügt wurden. Mehlmischung A bestand aus 25 kg Mehl mit 3 % Zucker, Mischung B aus 25 kg Mehl, 3 % Zucker und 12 % Hefe, für Mischung C wurden 25 kg Mehl mit 12 % Hefe vermischt, Zucker wurde hierbei nicht zugesetzt. Alle drei Mischungen wurden mit 750 g Wasser angefeuchtet. Die Tabelle mit entsprechenden Maschineneinstellungen und Rohstoffzudosierungen, sowie Abbildungen der Extrudate sind dem Anhang beigefügt. Am Versuchstag bot sich die Möglichkeit ausgewählte Proben zu rösten, diese sind neben den entsprechenden Mustern als Abbildung angeordnet.

Die Probennummern 27 und 30 der Versuchsreihe bei Fa. Schaaf entsprachen am ehesten dem gewünschten Endprodukt und ausgehend von der Rezeptur dieser

Proben wurde eine Versuchsplanung für die Versuche am Laborextruder der Hochschule erstellt.

Zu bedenken ist, dass bei der Extrusion keine Gärphase stattfinden kann, was die Ausbildung des Geschmacks eines Hefegebäcks verhindert. Des Weiteren wird durch den Extrusionsprozess kein typisches Backaroma erzeugt. Ein nachgeschalteter Röstprozess oder die Zugabe von Backaromen könnten diesbezüglich Abhilfe schaffen.

4.2 Versuchsziel 2: Snackprodukt

Sollte nach den Abwägungen in Bezug auf Zwiebackmehl ein Extruder angeschafft werden, könnte dieser dann auch für die Herstellung weiterer Produkte verwendet werden, wie im Punkt (2.10) erläutert wird.

Am Laborextruder sollen Snackprodukte hergestellt werden, die in einem späteren Arbeitsschritt eventuell mit entsprechenden Coatings überzogen werden könnten.

Die Versuche dazu wurden jeweils direkt nach den Versuchsreihen zum Zwiebackmehl gefahren.

4.3 Vorversuch 1: Extrusion von Weizenmehl

Die Idee zu Beginn der Versuche war, dass die Extrudate auf Basis von Weizenmehl hergestellt werden sollten. Laut Betriebsanleitung werden zum Extrudieren von Weizenmehlerzeugnissen Parameter als Orientierungswert vorgegeben.

Dazu wurden mit den Typen 405 und 550 Mischungen mit verschiedenen Anteilen von Zucker, Hefe und Salz hergestellt und für den Extrusionsversuch bereitgestellt.

Das Anfahren erfolgte mittels Maisgrieß, anschließend wurde Weizenmehl 550 zur Einstellung der Parameter in die Dosiervorrichtung eingefüllt. Die gewählten Parameter sind aus Tab. 2 ersichtlich. Die generelle Schreibweise für die Einstellung von Schneckendrehzahl und Speisung in dieser Arbeit ist für das Beispiel aus untenstehender Tabelle 100:24. Die Temperatur T 1 wird in der ersten Extruderzone gemessen, T 3 direkt an der Düse.

Tab. 2: Parameter für die Extrusion von Weizenmehl

Schnecke (min⁻¹)	Speisung (min⁻¹)	T 1 (° C)	T 2 (° C)	T 3 (° C)
100	24	100	150	180

Schnell stellte sich heraus, dass die Versuchsdurchführung mit Mehl problematisch ist. Anfangs konnten wenig expandierte Extrudate gewonnen werden, doch aufgrund der Wärmeentwicklung an der Speisung der Extruderschnecke und der daraus resultierenden Kondensation verklumpte das Material bereits in der Dosiervorrichtung. Diese Dosiervorrichtung ist zwar mit einer Schnecke zur Zwangsförderung der Rohstoffmischung ausgestattet, doch das verklumpte Material setzte die Schneckengänge zu, was den Transport von weiterem Material zur Extruderschnecke behinderte. Dadurch konnte wenig bis kein Rohstoff in den Extruder gelangen, was sich zeigte am abfallenden Drehmoment. Auch der Betrieb der Kühlvorrichtung schaffte keine Abhilfe. Durch Klopfen an der Dosiervorrichtung gelangte zwar temporär Mehl auf die Schnecke, doch es konnte kein kontinuierlicher Produktstrom erzeugt werden. Die vorbereiteten Rohstoffmischungen mussten verworfen werden.

Nach Rücksprache mit Herrn Rubin und Herrn Weinberger gibt es zwei Lösungsmöglichkeiten. Entweder es ist möglich die Dosiervorrichtung umzugestalten, indem eine Vibrations- oder Klopfvorrichtung angebracht wird. Oder man verwendet anstatt Mehl Grieß des entsprechenden Rohstoffes. Durch die gröbere Struktur ist Grieß besser rieselfähig. Geschmacklich stellt es keinen Unterschied zum Mehl dar, da beide Produkte aus dem Endosperm des Getreidekorns gewonnen werden.

(Christopher Rubin, Michael Weinberger, Fa. Bühler AG Schweiz)

4.4 Vorversuch 2: Extrusion von Mais- und Weizengrieß

Dem Ratschlag folgend wurden Grieße unterschiedlicher Hersteller beschafft, die Feuchten bestimmt und pur bei o.g. Parametern extrudiert, um festzustellen, welcher davon sich am besten eignet. In Tab. 3 sind die Grieße mit entsprechenden Feuchtegehalten und dem Expansionsindices dargestellt.

Der Expansionsindex ist der Quotient aus Extrudatdurchmesser durch Düsendurchmesser. Um den Extrudatdurchmesser zu bestimmen, werden jeweils 10 Extrudate vermessen, der arithmetische Mittelwert wird zur Berechnung herangezogen. Des Weiteren wurde Maisgrieß mit unterschiedlichen Feuchten extrudiert, um die An-

nahme nachzuvollziehen, dass bei größerer Feuchte eine geringere Expansion erfolgt. Die unterschiedlichen Feuchten wurden eingestellt durch Vorkonditionierung über Nacht mit Wasser.

Tab. 3: Vergleich unterschiedlicher Grieße und Feuchten

Probennummer	Produkt	Feuchte (%)	mittlerer Extrudatdurchmesser (mm)	Expansionsindex
F	Weichweizen Griess real,- QUALITY	12,64	11,1	2,2
G	Weichweizen Grieß Diamant	11,79	12,8	2,6
H	Weichweizen Griess fein Wurzener	13,72	11,3	2,3
I	Grieß aus Weichweizen K Classic	13,67	13,2	2,6

Wie aus oben stehender ersichtlich wird, unterscheiden sich die Grieße der unterschiedlichen Hersteller kaum im Hinblick auf den Expansionsindex, obwohl sie leicht unterschiedliche Feuchten aufweisen. Auch optisch konnte kein Unterschied festgestellt werden, somit kann das preisgünstigste Produkt von K Classic für weitere Versuche verwendet werden.

Durch die Extrusion von purem Weizengrieß konnte eine optimale Einstellung gefunden werden, bei der das Produkt expandiert, wie in Tab. 4 dargestellt.

Tab. 4: Extrusionsparameter für Weizengrieß pur

Schnecke (min ⁻¹)	Speisung (min ⁻¹)	T 1 (° C)	T 2 (° C)	T 3 (° C)
170	50	100	150	180

Jedoch trat auch bei der Extrusion von purem Weizengrieß das Problem auf, dass die Speisung des Extruders nicht gänzlich kontinuierlich ablief. Hinzu kommt die Vermutung, dass die Extruderschnecke den Rohstoff nicht kontinuierlich transportierte. Während des Versuchsdurchlaufs konnte eine deutliche Veränderung des Drehmoments festgestellt werden. Das Drehmoment fiel ab, wenn kein Produkt von der Speisung in den Extruder gelangte und es traten sehr kleine oder gar keine Extrudate aus der Düse aus. Wenn wieder ein Schwall Produkt nachrutschte, stieg das Drehmoment stark an auf bis zu 90 Nm, nach kurzer Zeit traten stark expandierte

Extrudate aus und danach pendelte sich das Drehmoment wieder auf 40 – 50 Nm ein und es traten Extrudate mit einem Expansionsindex von 2,0 bis 2,5 aus. Die Fotos der Abb. 29 zeigt die Extrudate, die auf ein Zusammenspiel von schwankender Speisung und diskontinuierlicher Produktförderung hinweisen.



Abb. 29: Unterschiedlich stark expandierte Extrudate aus purem Weizengrieß des selben Versuchsdurchlaufs

Durch die Extrusion des Maisgrieß mit verschiedenen Feuchten konnte die Vermutung bestätigt werden, dass eine höhere Feuchte eine geringere Expansion zur Folge hat. Abb. 31 belegt als Foto der Proben diese Feststellung und in Tab. 5 sind die Feuchtegehalte und Expansionsindices dargestellt. Der Maisgrieß, der für die Extrudate links im Bild verwendet wurde, wies eine Feuchte von 14,93 % auf, der der mittleren Extrudate 18,60 % und der Maisgrieß der Extrudate rechts im Bild hatte eine Feuchte von 19,25 %. Die Extrudate weisen demzufolge einen Expansionsindex von 14,0; 9,1 und 6,5 auf.

Zusätzlich ist in Abb. 30 der Zusammenhang zwischen Feuchtegehalt und Expansionsindex der drei Proben graphisch dargestellt. Das Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,9572 zeigt an, dass ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Feuchtegehalt und Expansionsindex besteht.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass sich für die Versuche am Brabender Laborextruder nur Maisgrieß fein eignet, da bei der Verwendung von Maisgrieß grob das Drehmoment so hoch ansteigt, dass die Sicherheitsscherbolzen zwischen Schnecke und Extruderantrieb brechen.

Tab. 5: Expansionsindices von Maisgrieß unterschiedlicher Feuchte

Proben- nummer	Produkt	Feuchte (%)	mittlerer Extrudat- durchmesser (mm)	Expansions- index
A	Maisgrieß fein (Polenta) Seeberger	14,93	14,0	2,8
B	Maisgrieß fein (Polenta) Seeberger	18,60	9,1	1,8
C	Maisgrieß fein (Polenta) Seeberger	19,25	6,5	1,3

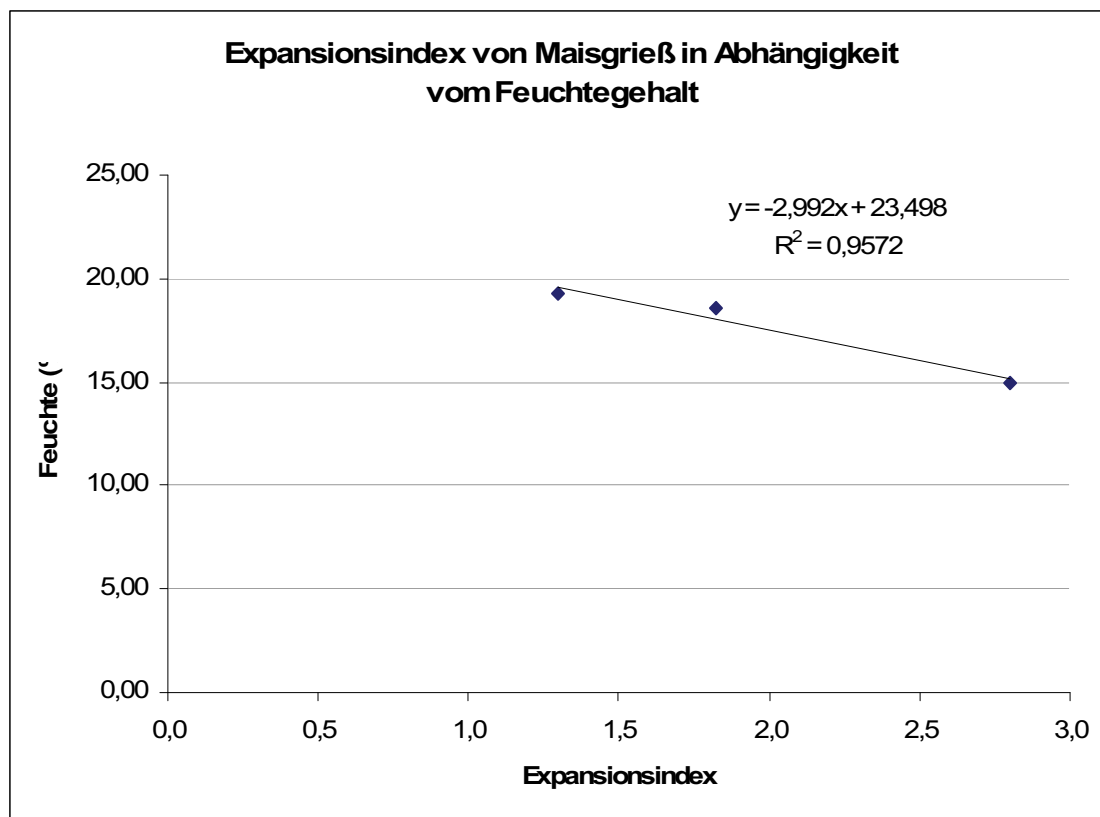


Abb. 30: Zusammenhang zwischen Feuchtegehalt und Expansionsindex von Maisgrieß



Abb. 31: Maisgrießextrudate mit ansteigender Feuchte

Die Parameter für eine optimale Expansion von Maisgrieß sind in Tab. 6 aufgeführt.

Tab. 6: Extrusionsparameter für Maisgrieß pur

Schnecke (min^{-1})	Speisung (min^{-1})	T 1 ($^{\circ}\text{C}$)	T 2 ($^{\circ}\text{C}$)	T 3 ($^{\circ}\text{C}$)
100	24	90	150	180

4.5 Hauptversuch 1: Extrusion der Proben 1 bis 14 - gemahlener Zwieback

Nach den Vorversuchen und dem Auffinden der optimalen Einstellung des Extruders wurden die Rohstoffmischungen für die Herstellung der Proben vorbereitet. Eine Rohstoffmischung besteht jeweils aus 500 g Hauptrohstoff plus der prozentualen Anteile weiterer Zutaten. Für die Hauptbestandteile wurde Weichweizengrieß fein mit der Feuchte 13,67 %, Maisgrieß mit der Feuchte 14,93 % und Dinkelgrieß mit der Feuchte 12,37 % verwendet.

Tab. 14 im Anhang bietet eine Übersicht über Probenzusammensetzung und die Stärke der Expansion aller Proben. Zudem erfolgt eine gesonderte Darstellung dieses Tabelleninhalts für die entsprechenden Vor- und Hauptversuche.

Die Daten der Proben 1 bis 14 sind in Tab. 7 dargestellt.

Tab. 7: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 1 bis 14

Proben- Nr.	Rohstoff/ Mischung (Feuchte (%))	Rezepturzusätze (%)			Extrudat- Ø (mm)	Expans.- index
		Zucker	Hefe	Salz/ weitere Zutaten		
1	Weizengrieß	3,0	-	-	17,9	3,6
2	Weizengrieß	6,0	-	-	11,8	2,4
3	Weizengrieß	9,0	-	-	10,3	2,1
4	Weizengrieß	3,0	1,6	-	11,0	2,2
5	Weizengrieß	3,0	3,2	-	10,9	2,2
6	Weizengrieß	6,0	1,6	-	10,3	2,1
7	Weizengrieß	6,0	3,2	-	10,0	2,0
8	Weizengrieß	6,0	1,6	1,0	12,7	2,5
9	Weizengrieß	6,0	1,6	2,0	11,9	2,4
10	Weizengrieß	6,0	1,6	3,0	11,1	2,2
11	Weizengrieß (300 g) + Maisgrieß (200 g)	9,0	-	2,0	11,8	2,4
12	Weizengrieß (300 g) + Maisgrieß (200 g)	1,6 VZ	-	1,0	12,1	2,4
13	Dinkelgrieß	6,0	1,6	1,0	12,9	2,6
14	Dinkelgrieß	1,6 VZ	1,6	1,0	12,2	2,4

Die Photographien der Abb. 32 bis 45 stellen die in Tab. 7 aufgeführten Proben 1 bis 14 in frisch extrudierter sowie in gerösteter Form dar. Der Röstvorgang wurde im Backofen bei 220 °C für 15 Minuten durchgeführt.

Während des Versuchsdurchlaufs wurde deutlich, dass die optimale Extrudereinstellung für puren Weizengrieß nicht gleichermaßen geeignet ist für Rohstoffmischungen mit weiteren Zutaten. Vor allem bei den Abb. 36, 37 und 38 der Proben 5, 6 und 7 wird deutlich, dass die Extrudate nicht vollständig expandiert sind. Diese Extrudate sind sehr hart und weisen Stellen auf, die dunkel gelb eingefärbt sind. An diesen Stellen kann die Stärke nicht komplett verkleistert sein.

Extrudate mit einem solchen Aussehen traten vor allem dann aus der Düse aus, wenn der Druck und das Drehmoment sehr niedrig waren. Durch den mangelhaften Druckaufbau konnte wahrscheinlich nicht die nötige Extrusionstemperatur erreicht werden und der Expansionsindex ist nicht zufrieden stellend.



Abb. 32: Probe 1
(Weizengrieß, 3,0 % Zucker)



Abb. 33: Probe 2
(Weizengrieß, 6,0 % Zucker)



Abb. 34: Probe 3
(Weizengrieß, 9,0 % Zucker)

Die Proben 1 bis 3 (Abb. 32 bis 34) enthalten 3,0; 6,0 und 9,0 % Zucker.

Während der Extrusion wurde deutlich, dass ein steigender Zuckeranteil die Expansion verringert, es kann jedoch anhand der geringen Anzahl an Proben nicht festgestellt, ob ein linearer Zusammenhang zwischen Zuckergehalt und Expansionsindex besteht. Der Expansionsindex belegt dies, da eine Verringerung von 3,6 über 2,4 auf 2,1 erfolgt. Ein Gehalt von bereits 12 % Zucker führt zum Festbrennen der Rohstoffmischung, Abb. 35 zeigt die Schnecke mit angebrannter Rohstoffmischung.

Wie bereits beschrieben, sind die Parameter für puren Weizengrieß nicht zugleich auch optimal für Rohstoffmischungen. Die geringe Menge Rohstoffmischung von 500 g reichte nicht aus, um die Parameter für jede Probe während des fortlaufenden Versuchs neu einzustellen.

Der ansteigende Zuckeranteil dieser Proben war im frischen wie auch im gerösteten Extrudat geschmacklich bemerkbar.



Abb. 35: Schnecke nach dem Festbrennen durch zu hohen Zuckergehalt in der Rohstoffmischung



Abb. 36: Probe 4
(Weizengrieß, 3,0 % Zucker, 1,6 % Hefe)



Abb. 37: Probe 5
(Weizengrieß, 3,0 % Zucker, 3,2 % Hefe)

Bei den Proben 4 und 5 (Abb. 36 und 37) wurde der Zuckeranteil von 3,0 % gewählt und die Hefemenge 8,0 g = 1,6 % und 16,0 g = 3,2 % zugesetzt. Der Expansionsindex dieser Proben ist mit 2,2 gleich, die Hefemenge wirkt sich somit noch nicht auf die Expansion aus. Während der Extrusion war ein deutlicher Hefegeruch wahrzunehmen. Allerdings tritt der Hefegeschmack im Rohextrudat kaum hervor. Erst der Röstprozess hebt ein leichtes Hefearoma hervor.



Abb. 38: Probe 6
(Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe)



Abb. 39: Probe 7
(Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 3,2 % Hefe)

Die Proben 6 und 7 (Abb. 38 und 39) enthalten die gleichen Hefemengen wie Probe 4 und 5, jedoch 6,0 % Zucker. Der höhere Zuckeranteil wirkt sich weder auf den Expansionsindex aus, noch erreicht man dadurch einen wahrnehmbaren geschmacklichen Unterschied.

Durch den immer länger dauernden Extrusionsprozess traten die o.g. Schwierigkeiten mit Speisung und Förderung auf, deshalb sind manche Proben wie aus den Abbildungen ersichtlich, wenig bis kaum expandiert. Allerdings stellt diese Tatsache kein Problem für die Herstellung von „extrudiertem Zeiwbackmehl“ dar, da die Extrudate noch vermahlen werden.



Abb. 40: Probe 8
(Weizengrieß, 6 % Zucker, 1,6 % Hefe, 1,0 % Salz)



Abb. 41: Probe 9
(Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 2,0 % Salz)



Abb. 42: Probe 10
(Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 3,0 % Salz)

Den Proben 8 bis 10 (Abb. 40 bis 42) wurden 6,0 % Zucker und 1,6 % Hefe zugesetzt, für die Menge an Salz wurden 1,0; 2,0 und 3,0 % gewählt. Der kleinste Salzanteil vom 1,0 % scheint die Expansion des Extrudates zu begünstigen, höhere Gehalte sind der Expansion nicht zuträglich. Bei der Verkostung der Proben stellte sich heraus, dass bereits 1,0 % Salz eine zu hohe Dosis ist. Für nachfolgende Versuche wird auf den Zusatz von Salz verzichtet, da dem konventionell hergestellten Zwiebackmehl derzeit auch kein Salz zugesetzt wird.



Abb. 43: Probe 11
(Weizen- & Maisgrieß, 9,0 % Zucker, 2,0 % Salz)



Abb. 44: Probe 12
(Weizen- und Maisgrieß, 1,6 % Vanillezucker, 1,0 % Salz)

Die Proben 11 und 12 (Abb. 43 und 44) sind Versuche für die Herstellung eines Snackprodukts. Die Mischung von Weizen- und Maisgrieß lässt das Extrudat in einem leichten Gelbton erscheinen. Die Menge von 9,0 % Zucker ist deutlich zu schmecken, doch 2,0 % Salz erzeugen einen starken Nachgeschmack. Der Zusatz von Vanillezucker und der verringerte Salzgehalt von 1,0 % erscheinen geschmacklich attraktiv, das Aroma der Vanille kann jedoch noch stärker ausgeprägt werden durch eine höhere Menge Vanillezucker.

Allgemein ist die Mischung dieser Grießsorten sinnvoll für die Herstellung von Snackprodukten, doch wie auch in den Abbildungen ersichtlich, ist die Expansion noch nicht zufrieden stellend. Der Expansionsindex von 2,4 bringt ein hartes und nur schwer kaubares Produkt hervor.



Abb. 45: Probe 13
(Dinkelgrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 1,0 % Salz)



Abb. 46: Probe 14
(Dinkelgrieß, 1,6 % Vanillezucker, 1,6 % Hefe, 1,0 % Salz)

Durch die Herstellung der Proben 13 und 14 (Abb. 45 und 46) sollte die Verwendbarkeit von Dinkelgrieß in Kombination mit Zucker, Vanillezucker, Hefe und Salz geprüft werden. Auch bei diesen Proben konnte mit 2,4 und 2,6 kein zufrieden stellender Expansionsindex erlangt werden. Außerdem ist das Aussehen der Proben durch die im Dinkelgrieß enthaltenen Stippen nicht wünschenswert für Snackprodukte ohne Coating. Weitere Versuche mit Dinkelgrieß wurden daher nicht geplant.

4.6 Hauptversuch 2: Extrusion der Proben 17.1 bis 17.7 - gemahlener Zwieback

Aufgrund der nicht zufrieden stellenden Expansionsraten der Versuche 1 bis 14 wurde mit purem Weizengrieß erneut eine Versuchsreihe durchgeführt, um zu prüfen, ob besser geeignete Extrudereinstellungen gefunden werden können, um Extrudate mit geringerer Dichte zu erhalten.

Dazu wurde Weizengrieß mit 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe und 0,2 % Salz versehen. Die Probenzusammensetzung und Expansionsindices sind aus Tab. 8 ersichtlich und die Abb. 47 bis 52 stellen die Ergebnisse dar als Fotos.

Tab. 8: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 17.1 bis 17.7

Proben- Nr.	Rohstoff/ Mischung (Feuchte (%))	Rezepturzusätze (%)			Extrudat- Ø (mm)	Expans.- index
		Zucker	Hefe	Salz/ weitere Zutaten		
17.1 (170:50)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	10,8	2,2
17.2 (180:58)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	10,1	2,0
17.3 (180:60)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	10,7	2,1
17.4 (170:60)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	9,9	2,0
17.6 (160:60)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	10,3	2,1
17.7 (150:50)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	9,8	2,0



Abb. 47: Probe 17.1 Einstellung 170:50
(Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz)



Abb. 48: Probe 17.2 Einstellung 180:58
(Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz)



Abb. 49: Probe 17.3 Einstellung 180:60
(Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz)



Abb. 50: Probe 17.4 Einstellung 170:60
(Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz)



Abb. 51: Probe 17.6 Einstellung 160:60
(Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz)



Abb. 52: Probe 17.7 Einstellung 150:50
(Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz)

Probe 17.5 wurde verworfen, da die geplante Einstellung von 170:70 nicht erreicht werden konnte.

Wie in Tab. 8 zu sehen, unterscheiden sich die Expansionsindices der Proben 17.1 bis 17.7 kaum. 170:50 war die Grundeinstellung, welche auch für die Proben 1 bis 14 genutzt wurde. Eine Erhöhung der Speisungsrate auf 58 bzw. 60 min⁻¹ bei einer Schneckendrehzahl von 180 min⁻¹ brachte keine Veränderung der Extrudate mit sich. Die Proben 17.1 bis 17.3 wurden geröstet und nach der Verkostung wurde deutlich, dass sich die reduzierte Salzmenge positiv auf den Geschmack auswirkt, jedoch tritt der Hefegeschmack bei diesen Proben noch zu wenig hervor. Auf ein Rösten der weiteren Proben 17.4 bis 17.7 wurde aufgrund der gleich bleibenden Rezeptur verzichtet.

Die Absicht der Einstellung 170:60 der Probe 17.4 war, einen Druckaufbau im Extruder durch eine höhere Speisungsrate zu erzeugen, um die Expansion zu unterstützen. Allerdings brachte diese Einstellung keine sichtbaren Erfolge.

Auch eine Verringerung der Schneckendrehzahl auf 160 bei Probe 17.6 erzeugte keinen Druckaufbau, wodurch sich die Extrudate kaum von den vorhergehenden unterscheiden. Auch die Einstellung 150:50 der Probe 17.7 brachte keine weiteren Erfolge. Niedrigere Schneckendrehzahlen sind nicht sinnvoll, da durch die längere Verweilzeit der Zucker verbrennt und dem Extrudat einen bitteren Geschmack verleiht. Zu hohe Speisungsraten sind auch nicht empfehlenswert, da durch einen zu hohen Druckaufbau das Drehmoment zu sehr ansteigt, was die Sicherheitsscherbolzen zum Brechen bringt.

Durch diese Versuchsreihe wurde deutlich, dass bei niedrigen Schneckendrehzahlen keine perfekte Einstellung für den Extruder gefunden werden kann, um aus einer Weizengrieß- Zucker- Salz- Mischung stark expandierte Produkte herzustellen. Versuche mit höheren Schneckendrehzahlen wurden aufgrund dieser Ergebnisse geplant und als Hauptversuch 3 durchgeführt.

4.7 Hauptversuch 3: Extrusion der Proben 25.1 bis 25.6 - gemahlener Zwieback

Um weiterführend zu überprüfen, ob veränderte Schnecken- und Speisungsdrehzahlen bei der Extrusion von purem Weizengrieß zu einer gesteigerten Expansion führen, wurden die Versuche 25.1 bis 25.6 durchgeführt. Laut Tab. 9 wurde purer Weizengrieß ohne weitere Zutaten extrudiert. Abb. 53 bis 58 zeigen die Resultate dieses Versuchsdurchlaufs.

Tab. 9: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 25.1 bis 25.6

Proben- Nr.	Rohstoff/ Mischung (Feuchte (%))	Rezepturzusätze (%)			Extrudat- Ø (mm)	Expans.- index
		Zucker	Hefe	Salz/ weitere Zutaten		
25.1 (170:50)	Weizengrieß	-	-	-	10,6	2,1
25.2 (170:50)	Weizengrieß	-	-	-	10,8	2,2
25.3 (190:57)	Weizengrieß	-	-	-	10,0	2,0
25.4 (200:60)	Weizengrieß	-	-	-	9,9	2,0
25.5 (210:65)	Weizengrieß	-	-	-	9,8	2,0
25.6 (200:70)	Weizengrieß	-	-	-	10,0	2,0

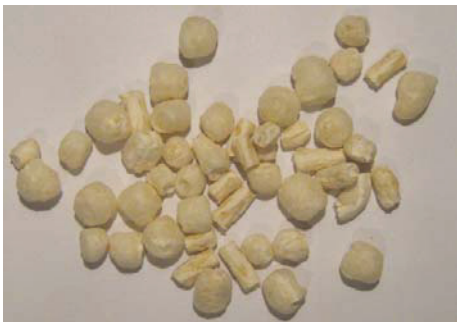


Abb. 53: Probe 25.1 Einstellung 170:50
(Weizengrieß pur)

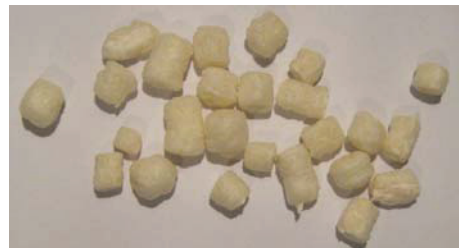


Abb. 54: Probe 25.2 Einstellung 170:50
(Weizengrieß pur)



Abb. 55: Probe 25.3 Einstellung 190:57
(Weizengrieß pur)



Abb. 56: Probe 25.4 Einstellung 200:60
(Weizengrieß pur)



Abb. 57: Probe 25.5 Einstellung 210:65
(Weizengrieß pur)



Abb. 58: Probe 25.6 Einstellung 200:70
(Weizengrieß pur)

Aus den Abbildungen dieser Versuchsreihe werden die Schwierigkeiten eines Versuchsdurchlaufs veranschaulicht. Zu Beginn der Versuche schwanken Druck und Drehmoment sehr stark, kurz hintereinander verlassen stärker expandierte und dichte, harte, Pellet- artige Extrudate den Extruder. Aus Abb. 53 wird dies besonders ersichtlich. Im Verlauf der Versuche wird der Extruder trotz intensiver Luftkühlung immer heißer und kann den gewählten Temperaturverlauf nicht mehr halten. Dadurch verklumpt zum einen die Speisung, zum anderen erfolgt kein korrekter Druckaufbau. Die Verschlechterung der Extrusionsbedingungen ist aus dem Verlauf der Abb. 53 bis 58 zu sehen. Auch die Einstellung höherer Schnecken- und Speisungsdrehzahlen führten nicht dazu, dass eine bessere Expansion erlangt werden konnte.

4.8 Hauptversuch 4: Extrusion der Proben 30, 31, 32, 35 - gemahlener Zwieback

Probe 5 des Hauptversuchs 1 entsprach nach der Vermahlung und sensorischen Bewertung am meisten den Vorstellungen über „extrudiertes Zwiebackmehl“. Auf der Basis dieser Probe wurde eine weitere Versuchsreihe geplant, in der belegt werden sollte, ob geschmacklich unterschiedliche Extrudate gewonnen werden können durch die Verwendung aktiver und inaktiver Hefen. Dazu wurden entsprechende Hefesorten beschafft. Die Planung sah laut Tab. 10 zwei Versuchsreihen vor. Zum einen sollte Weizengrieß mit 2, 4, 6, 8 und 10 % der jeweiligen Hefeart vermischt und extrudiert werden, zum anderen sollten den gleichen Mischungen noch 6 % Zucker zugegeben werden.

Die Extrusion lief bei der Einstellung 170:50 ab, für die Temperatureinstellung wurde T 1 = 100 °C, T 2 = 150 °C und T 3 = 180 °C gewählt.

Tab. 10: Versuchspalung Hauptversuch 4

Weizengrieß ohne Zucker		Weizengrieß mit 6 % Zucker	
aktive Hefe	inaktive Hefe	aktive Hefe	inaktive Hefe
2 %	2 %	2 %	2 %
4 %	4 %	4 %	4 %
6 %	6 %	6 %	6 %
8 %	8 %	8 %	8 %
10 %	10 %	10 %	10 %

Allerdings wurde direkt zum Start der Versuchsreihe klar, dass die Mischungen kaum rieselfähig waren. Wahrscheinlich liegt dies begründet in der sehr feinen und pulverförmigen Beschaffenheit der Hefen. Die Trockenbackhefe der Versuchs 1 bis 17 hingegen wies eine körnige Struktur auf und beeinträchtigte das Rieselverhalten nicht. Nur durch ständiges Klopfen an der Speisung und durch zusätzliches Rühren konnte die Rohstoffmischung in den Extruder gelangen. Die Abb. 59 bis 62 zeigen Fotos der vier Proben, die gewonnen werden konnten, Tab. 11 stellt die Ergebnisse dar.

Tab. 11: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 30, 31, 32 und 35

Proben- Nr.	Rohstoff/ Mischung (Feuchte (%))	Rezepturzusätze (%) Zucker	Hefe	Salz/ weitere Zutaten	Extrudat- Ø (mm)	Expans.- index
30	Weizengrieß	-	2 % aktive Hefe	-	9,1	1,8
31	Weizengrieß	-	4 % aktive Hefe	-	10,2	2,0
32	Weizengrieß	-	6 % aktive Hefe	-	9,9	2,0
35	Weizengrieß	-	2 % inaktive Hefe	-	11,8	2,4

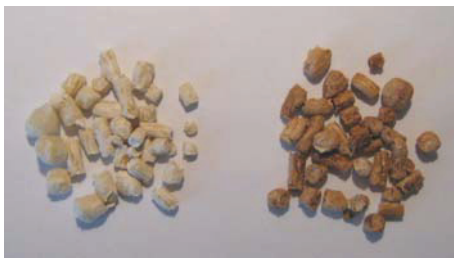


Abb. 59: Probe 30
(Weizengrieß, 2 % aktive Hefe)



Abb. 60: Probe 31
(Weizengrieß, 4 % aktive Hefe)



Abb. 61: Probe 32
(Weizengrieß, 6 % aktive Hefe)



Abb. 62: Probe 35
(Weizengrieß, 2 % inaktive Hefe)

Durch die Verkostung der Proben wurde klar, dass die Art der Hefe keinen wahrnehmbaren geschmacklichen Unterschied zwischen den Proben hervorruft.

4.9 Hauptversuch 5: Extrusion der Proben 18, 19, 23, 24 - Snackprodukt

Die Herstellung der Proben 18 und 19 sowie 23 und 24 zielten auf die Herstellung eines süßen Snackprodukts ab. In Tab. 12 ist die Probenzusammensetzung ersichtlich und Abb. 63 bis 66 zeigen die Photographien der hergestellten Extrudate.

Tab. 12: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 18, 19, 23 und 24

Proben- Nr.	Rohstoff/ Mischung (Feuchte (%))	Rezepturzusätze (%)			Extrudat- Ø (mm)	Expansions- index
		Zucker	Hefe	Salz/ weitere Zutaten		
18	Weizengrieß (200 g) + Maisgrieß (300 g)	3,0	-	0,2	13,7	2,7
19	Weizengrieß (200 g) + Maisgrieß (300 g)	3,0 + 1,6 VZ	-	0,2	13,5	2,7
23	Maisgrieß	3,0	-	1,0 AV	14,9	3,0
24	Maisgrieß	3,0	-	1,0 AZ	14,8	3,0



Abb. 63: Probe 18
(Weizen- & Maisgrieß, 3,0 % Zucker, 0,2 % Salz)



Abb. 64: Probe 19
(Weizen- & Maisgrieß, 3,0 % Zucker,
1,6 % Vanillezucker, 0,2 % Salz)

Für die Proben 18 und 19 wurde eine Mischung aus Weizengrieß, Maisgrieß, Zucker und Salz hergestellt. Probe 19 wurde zusätzlich mit Vanillezucker versetzt. Der Anteil an Maisgrieß zeigt sich im Extrudat deutlich durch die Gelbfärbung. Der Expansionsindex wurde durch den Anteil Maisgrieß auf 2,7 angehoben. Diese Expansion ist etwas größer als bei den restlichen Proben, entspricht jedoch noch nicht ganz einem knusprigen Snackprodukt.

Die Rohstoffmischungen 20, 21 und 22 wurden verworfen, da der geplante Anteil Zucker von 12 % für den Extruder nicht geeignet war.



Abb. 65: Probe 23
(Maisgrieß, 3,0 % Zucker, 1,0 % Vanillearoma)



Abb. 66: Probe 24
(Maisgrieß, 3,0 % Zucker, 1,0 % Zitronenaroma)

Für die Herstellung der Proben 23 und 24 wurde Maisgrieß mit einem Zusatz Zucker verwendet. Dies spiegelt sich in der kräftig gelben Farbe wider. Die Proben sind mit einem Expansionsindex von jeweils 3,0 so expandiert, dass ein leichtes, knuspriges Extrudat entsteht. Der Probe 23 wurde Vanille- Aroma zugesetzt, was sich geschmacklich positiv auswirkte. Jedoch wäre eine größere Menge Zucker nötig, um das Extrudat ohne Coating als Snackprodukt vermarkten zu können.

Der Probe 24 wurde Zitronen- Aroma zugegeben, was dem Extrudat zwar einen angenehmen Geruch verlieh, doch Zitronenaroma ist nicht dafür geeignet, um mit der Rohstoffmischung gemeinsam extrudiert zu werden. Wahrscheinlich hat sich das konzentrierte Aroma durch die hohe Temperatur zersetzt und verlieh den Extrudaten dadurch einen unangenehm beißenden Geschmack. Ein Zusatz von Zitronen- Aroma ist entweder ratsam, wenn eine Injektion in den Extruder kurz vor der Düse möglich wäre, oder den Extrudaten wird der Zitronengeschmack durch eine Umhüllung verliehen.

4.10 Hauptversuch 6: Extrusion der Proben 50 bis 55 - Snackprodukt

Weitere Versuche für Snackprodukte basieren auf Produktrecherchen einiger am Markt etablierter Knusper- Snacks. Diese Produkte enthalten zum Beispiel Kakaobutter, Magermilchpulver, Vollmilchpulver, Süßmolkenpulver, Reismehl, Weizenmehl, Aromen, verschiedene Stärkearten und Emulgatoren. Es war klar, dass eine solch umfangreiche Rezeptur am Laborextruder nicht umsetzbar wäre. Jedoch wurden anhand der Proben 50 bis 52 versucht, ein Snackprodukt mit Magermilchpulver herzustellen, die Proben 53 bis 55 sollten ein glutenfreies Produkt ergeben. Tab. 13 bietet einen Überblick über die geplante Probenzusammensetzung.

Tab. 13: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 50 bis 55

Proben- Nr.	Rohstoff/ Mischung (Feuchte (%))	Rezepturzusätze (%)			Extrudat- Ø (mm)	Expans.- index
		Zucker	Hefe	Salz/ weitere Zutaten		
50	Weizengrieß	6	-	4 MMP	-	-
51	Weizengrieß	6	-	6 MMP	-	-
52	Weizengrieß	6	-	8 MMP	-	-
53	200 g Maisgrieß + 300 g Reismehl	6	-	0,2	-	-
54	200 g Maisgrieß + 300 g Reismehl	6	-	0,2	-	-
55	200 g Maisgrieß + 300 g Reismehl	6	-	0,2	-	-

Leider konnte bei keinem der Versuche ein akzeptables Produkt gewonnen werden. Bei den Proben mit Reismehl trat wieder das Problem der geringen Rieselfähigkeit auf. Die Rohstoffmischung gelangte kaum in den Extruder und es traten an der Düse nur stoßweise angebrannte Extrudat- Partikel aus.

Die Rohstoffmischung der Proben 50 bis 52 gelangte zwar problemlos in den Extruder, doch durch das Magermilchpulver neigte die Rohstoffmischung zum Festbrennen und der Versuch musste abgebrochen werden, weil ansonsten die Sicherheitscherbolzen gebrochen wären.

Trotz dass die Extrusion dieser Proben nicht erfolgreich war, könnte die Extrusion von Snackprodukten mit einem industriellen Extruder besser umgesetzt werden, mit welchem Rohstoffmischungen verarbeitet werden können, die im Laborextruder nicht verarbeitet werden konnten.

5 Diskussion

Die Zielstellungen der Arbeit waren durch die Extrusion unterschiedlicher Rohstoffmischungen herauszustellen, ob sich die Anschaffung eines Extruders für die Produktion von gemahlenem Zwieback und Snackprodukte als sinnvoll erweist. Für entsprechende Versuche wurde der Brabender Laborextruder der Hochschule Neubrandenburg verwendet.

Durch Vorversuche stellte sich heraus, dass sich Weizenmehl aufgrund der ungenügenden Rieselfähigkeit nicht für die Verwendung am Laborextruder eignet. Des Weiteren konnte die Vermutung bestätigt werden, dass erhöhte Feuchtegehalte zu weniger stark expandierten Produkten führen. Dazu wurde Maisgrieß unterschiedlicher Feuchte extrudiert.

Zur Herstellung von Extrudaten für gemahlenen Zwieback wurden daher Rohstoffmischungen vorbereitet, die aus Weizengrieß und unterschiedlichen Mengen an Zucker, Hefe, Salz und Aromen bestanden. Die Extrudate für gemahlenen Zwieback wurden bei der Schneckendrehzahl 170 min^{-1} und der Speisungsdrehzahl 50 min^{-1} hergestellt, die Temperaturen wurden wie folgt gewählt: $T_1 = 100 \text{ °C}$, $T_2 = 150 \text{ °C}$ und $T_3 = 180 \text{ °C}$. Nach der Extrusion folgte ein Rösten der Extrudate, um einen Gebäckgeschmack zu erzeugen und es folgte eine Vermahlung für die Verkostung. Während der Versuchsdurchführung traten allerdings auch beim Weizengrieß Probleme bei Speisung und Förderung auf, weil sich bedingt durch die hohen Temperaturen Kondenswasser bildete, welches die Rohstoffmischung verklumpen ließ. Aufgrund dessen erlangten die Extrudate der Proben 1 bis 14 nur geringe Expansionsindices hauptsächlich zwischen 2,0 und 2,5, es entstanden Pellet-artige Abschnitte mit hoher Dichte. Auch eine Extrusion der Proben 17.1 bis 17.7 mit Weizengrieß und weiteren Zutaten oder nur mit purem Weizengrieß, wie bei den Proben 25.1 bis 25.6 mit unterschiedlichen Schnecken- und Speisungsdrehzahlen erbrachte keine zufriedenstellenderen Ergebnisse. Allerdings wirkt sich dies nicht negativ auf das Endprodukt aus, da nach dem Röstprozess eine Vermahlung stattfindet. Des Weiteren wird anhand der Proben 30, 31, 32 und 35 klar, dass die Verwendung von aktiver oder inaktiver Hefe keinen merklichen geschmacklichen Unterschied zwischen den gemahlenen Extrudaten hervorruft. Das Resultat der Versuche für gemahlenen Zwieback ist, dass die Extrusion eine effektive und zeitsparende Alternative zur Herstellung über Ofenlinien ist, allerdings in Kombination mit einem nachfolgenden Röstprozess.

Beispielsweise Probe 5 entsprach in gemahlener Form weitestgehend den Vorstellungen von Zwiebackmehl. Natürlich stellt die Anschaffung eines Extruders eine größere Investition dar, doch mit höherem Durchsatz und weniger personellem Aufwand wird sich diese Anschaffung amortisieren. Beim Kauf eines Extruders bei einem etablierten Maschinenhersteller wird eine kompetente Beratung erfolgen, welcher Extrudertyp zu wählen ist und sicherlich findet eine gemeinsame Produktentwicklung im Technikumsmaßstab und die Abstimmung des Extruders auf bestimmte Produktionsziele statt. Die Montage, Inbetriebsetzung und das Training der Maschinenführer gehören ebenso zu einem angemessenen Kundendienst.

Auch die Herstellung von Snackprodukten in Kugelform oder in anderen Formen per Extruder ist möglich. Die Versuche am Laborextruder waren nur bedingt erfolgreich, da der Einwellenextruder nicht geeignet ist, um Rohstoffmischungen mit zahlreichen Rezepturkomponenten zu extrudieren. In der Lebensmittelindustrie ist eher die Verwendung von Doppelwellenextrudern üblich, da diese bessere Fördereigenschaften aufweisen und Rohstoffmischungen mit hohen Zuckeranteilen weniger schnell Festbrennen. Es ist festzustellen, dass durch die geeignete Maschinenteknik Knusperkugeln oder Snacks in verschiedenen Formen, in gewünschter Textur, mit oder ohne Umhüllung hergestellt werden können. Die Verwendung unterschiedlicher Mehle und Grieße ist möglich, oft wird als Hauptkomponente ein Weizenmahlerzeugnis verwendet, aber auch Mais- oder Reissnacks sind umsetzbar. So könnten auch glutenfreie Snacks hergestellt werden. Ein Extruder bietet die Möglichkeit, Snacks in den unterschiedlichsten Geschmacks- und Erscheinungsformen herzustellen und so die Produktpalette zu erweitern und für den Kunden ansprechende Produkte am Markt zu etablieren.

6 Zusammenfassung

Diese wissenschaftliche Arbeit befasst sich mit der Themenstellung „Herstellung von Extrudaten als Grundlage für gemahlene Zwieback und Snackprodukte“.

Für die Umsetzung der beiden Zielstellungen wurden Versuche am Brabender Laborextruder mit unterschiedlichen Rohstoffmischungen durchgeführt.

Zum einen zeigte sich, dass die Extrudertechnologie eine passende Alternative darstellt, um die konventionelle Herstellung von Zwiebackmehl über Ofenlinien zu ersetzen. Die Versuche am Laborextruder verliefen nicht ganz komplikationsfrei aufgrund von Schwierigkeiten mit der Speisung und der Produktbeförderung im Extruder. Daher konnten meist nur Extrudate mit geringem Expansionsindex hergestellt werden. Doch die Versuche erbrachten Extrudate, die in gerösteter und vermahlener Form dem bisherigen Referenzprodukt gleichkamen.

Zum anderen wäre auch die Herstellung verschiedenster Snackprodukte möglich. Diese wären denkbar als Produkte auf der Grundlage von Weizen, aber auch Mais- und Reismahlerzeugnisse könnten zum Einsatz kommen. Eine Aromatisierung oder eine Umhüllung der Extrudate bietet eine große Produktvielfalt.

Trotz gewisser Schwierigkeiten bei der Versuchsdurchführung ist die Anschaffung eines Extruders als Schlussfolgerung dieser Arbeit zu empfehlen. Eine passende Beratung durch den Maschinenhersteller wird dazu führen, dass ein Extrudertyp angeschafft werden kann, der im Stande ist die gewünschten Produkte zu erzeugen.

7 Literaturverzeichnis

Beitz, W., Grote, K.-H.: Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau. 19. Aufl. Augsburg: Springer- Verlag, 1997

Greif, H; Limper, A., Fattmann, G., Seibel, S.: Technologie der Extrusion. 1. Aufl. München: Hanser, 2004

Riaz, M. N.: Extruders in Food Applikations. 1. Aufl. CRC Press, 2000

Mercier, C., Linko, P., Harper, J. M.: Extrusion Cooking. 1. Aufl. Minn: St. Paul, 1998

Zitzmann, K.: Die Extrusion als Möglichkeit der Verarbeitung von Nichtbackweizen und Backweizen zu Nahrungsmitteln. Diplomarbeit. Humboldt Universität zu Berlin, Berlin, 1982

Betriebsanleitung Laborextruder Typ 20 DN, Brabender OHG Duisburg, 1996

Betriebsanleitung Datenverarbeitungs- DO- CORDER DC- 2200, Brabender OHG Duisburg, 1996

Leitsätze:

Leitsätze für Feine Backwaren vom 17./18. September 1991 (Beilage Nr. 86 b zum BAnz. vom 8. Mai 1992, GMBI. Nr. 17 S. 325 vom 8. Mai 1992), zuletzt geändert am 27. November 2002 (Beilage Nr. 46 b zum BAnz. vom 7. März 2003, GMBI. Nr. 8-10 S. 220 vom 20. Februar 2003)

<http://edok.ahb.niedersachsen.de/07/389142247.pdf>, Abrufdatum: 11.01.2010, 8:35 Uhr

Zeitschrift: Lebensmitteltechnik 12/ 2008 S. 15 ff „Vielseitige Technologie- Alternativer Produktionsprozess: Paniermehlherstellung per Extrusion“, Autor: Weinberger, M., 2008

Bühler AG, Uzwil (Schweiz)

- Info- CD: Extrusion Systems. 2006

- E- Mail- Kontakt am 24. & 25. 08.2009, 24.11.2009 mit
Herrn Christopher Rubin, Produkt Marketing Manager Pasta & Extruded Products
Herrn Michael Weinberger, Process Engineer Extruded Products

Schaaf Technologie GmbH, Bad Camberg (Deutschland)

- Gespräche während des Vor- Ort- Termins am 24.08.2009 mit
Herrn Heinz- Joseph Schaaf, Geschäftsführer
Herrn Andreas Rupp, Engineer of Food Technology

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Beispielhafter Aufbau eines Einwellenextruders (Zitzmann, 1982)	8
Abb. 2: Eingängige Drei- Zonen- Schnecke (Greif et al., 2004)	9
Abb. 3: Verhalten der Rohstoffmischung in den Schneckenzonen (Greif et al., 2004)	10
Abb. 4: Gangzahl (Greif et al., 2004)	11
Abb. 5: Zylinderinnenwand: glatt, mit Längs- und spiralförmigen Rillen (Riaz, 2000)	12
Abb. 6: kreisringförmiger Extrudate (Bühler)	14
Abb. 7: kreisringförmige Extrudate mit unterschiedlicher Färbung (Bühler)	14
Abb. 8: Expandierte Reissnacks als Komponente für Müslies (Bühler)	14
Abb. 9: Kissenförmige Snacks, Füllung möglich (Bühler)	14
Abb. 10: Müsliekomponente mit Schokogeschmack (Bühler)	14
Abb. 11: Extrudierte Cornflakes (Bühler)	14
Abb. 12: Querschnitt des Zylinders eines Doppelwellenextruders (Greif et al., 2004)	15
Abb. 13: Zylinder mit konischem Schneckenpaar (Greif et al., 2004)	15
Abb. 14: Bauarten von Doppelwellenextrudern (Greif et al., 2004)	16
Abb. 15: Unterschiedliche Bauarten von Doppelwellenextrudern (Mercier et al., 1998)	16
Abb. 16: Modulare Bauweise eines gleichläufigen Doppelwellenextruders (Riaz, 2000)	17
Abb. 17: Schneckenpaare von konisch gegenläufigen Doppelwellenextrudern (Greif et al., 2004)	18
Abb. 18: C- förmige Kammer im dreidimensionalen Koordinatensystem (Mercier et al., 1998)	19
Abb. 19: C- förmige Kammer als Volumenmodell und im Schnitt (Greif et al., 2004)	19
Abb. 20: Quer- und Längsschnitt eines Stiftextruders (Greif et al., 2004)	20
Abb. 21: Planetwalzenextruder als Kaskadenextruder der Kunststoffindustrie (Greif et al., 2004)	21
Abb. 22: Quer- und Längsschnitt eines Ko- Kneters (Greif et al., 2004)	22
Abb. 23: geöffneter Ringextruder sowie schematischer Querschnitt der Schneckenanordnung (Greif et al., 2004)	23
Abb. 24: Fließbild für die Herstellung von gemahlenem Zwieback	40
Abb. 25: komplett aufgebauter Extruder am DO- CORDER (eigenes Foto)	45
Abb. 26: Extruderzylinder mit Dosiertrichter, Heizelementen und Schneidevorrichtung (eigenes Foto)	45
Abb. 27: Dosiertrichter mit Auslassöffnung; Kühlluftanschluss und Luftregelventile am Extruderzylinder (eigenes Foto)	46
Abb. 28: Spitze der Schnecken 1:4 (oben) und 1:3 (unten) mit Abrasionserscheinungen (eigenes Foto)	46
Abb. 29: Unterschiedlich stark expandierte Extrudate aus purem Weizengrieß des selben Versuchsdurchlaufs (eigene Fotos)	51
Abb. 30: Zusammenhang zwischen Feuchtegehalt und Expansionsindex von Maisgrieß	52
Abb. 31: Maisgrießextrudate mit ansteigender Feuchte (eigenes Foto)	53
Abb. 32: Probe 1 (Weizengrieß, 3,0 % Zucker) (eigenes Foto)	55
Abb. 33: Probe 2 (Weizengrieß, 6,0 % Zucker) (eigenes Foto)	55

Abb. 34: Probe 3 (Weizengrieß, 9,0 % Zucker) (eigenes Foto)	55
Abb. 35: Schnecke nach dem Festbrennen durch zu hohen Zuckergehalt in der Rohstoffmischung (eigenes Foto)	56
Abb. 36: Probe 4 (Weizengrieß, 3,0 % Zucker, 1,6 % Hefe) (eigenes Foto)	56
Abb. 37: Probe 5 (Weizengrieß, 3,0 % Zucker, 3,2 % Hefe) (eigenes Foto)	56
Abb. 38: Probe 6 (Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe) (eigenes Foto)	56
Abb. 39: Probe 7 (Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 3,2 % Hefe) (eigenes Foto)	56
Abb. 40: Probe 8 (Weizengrieß, 6 % Zucker, 1,6 % Hefe, 1,0 % Salz) (eigenes Foto)	57
Abb. 41: Probe 9 (Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 2,0 % Salz) (eigenes Foto)	57
Abb. 42: Probe 10 (Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 3,0 % Salz) (eigenes Foto)	57
Abb. 43: Probe 11 (Weizen- & Maisgrieß, 9,0 % Zucker, 2,0 % Salz) (eigenes Foto)	58
Abb. 44: Probe 12 (Weizen- und Maisgrieß, 1,6 % Vanillezucker, 1,0 % Salz) (eigenes Foto)	58
Abb. 45: Probe 13 (Dinkelgrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 1,0 % Salz) (eigenes Foto)	58
Abb. 46: Probe 14 (Dinkelgrieß, 1,6 % Vanillezucker, 1,6 % Hefe, 1,0 % Salz) (eigenes Foto)	58
Abb. 47: Probe 17.1 Einstellung 170:50 (Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz) (eigenes Foto)	60
Abb. 48: Probe 17.2 Einstellung 180:58 (Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz) (eigenes Foto)	60
Abb. 49: Probe 17.3 Einstellung 180:60 (Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz) (eigenes Foto)	60
Abb. 50: Probe 17.4 Einstellung 170:60 (Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz) (eigenes Foto)	60
Abb. 51: Probe 17.6 Einstellung 160:60 (Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz) (eigenes Foto)	60
Abb. 52: Probe 17.7 Einstellung 150:50 (Weizengrieß, 6,0 % Zucker, 1,6 % Hefe, 0,2 % Salz) (eigenes Foto)	60
Abb. 53: Probe 25.1 Einstellung 170:50 (Weizengrieß pur) (eigenes Foto)	62
Abb. 54: Probe 25.2 Einstellung 170:50 (Weizengrieß pur) (eigenes Foto)	62
Abb. 55: Probe 25.3 Einstellung 190:57 (Weizengrieß pur) (eigenes Foto)	62
Abb. 56: Probe 25.4 Einstellung 200:60 (Weizengrieß pur) (eigenes Foto)	62
Abb. 57: Probe 25.5 Einstellung 210:65 (Weizengrieß pur) (eigenes Foto)	62
Abb. 58: Probe 25.6 Einstellung 200:70 (Weizengrieß pur) (eigenes Foto)	62
Abb. 59: Probe 30 (Weizengrieß, 2 % aktive Hefe) (eigenes Foto)	64
Abb. 60: Probe 31 (Weizengrieß, 4 % aktive Hefe) (eigenes Foto)	64
Abb. 61: Probe 32 (Weizengrieß, 6 % aktive Hefe) (eigenes Foto)	64
Abb. 62: Probe 35 (Weizengrieß, 2 % inaktive Hefe) (eigenes Foto)	64
Abb. 63: Probe 18 (Weizen- & Maisgrieß, 3,0 % Zucker, 0,2 % Salz) (eigenes Foto)	65
Abb. 64: Probe 19 (Weizen- & Maisgrieß, 3,0 % Zucker, 1,6 % Vanillezucker, 0,2 % Salz) (eigenes Foto)	65
Abb. 65: Probe 23 (Maisgrieß, 3,0 % Zucker, 1,0 % Vanillearoma) (eigenes Foto)	66
Abb. 66: Probe 24 (Maisgrieß, 3,0 % Zucker, 1,0 % Zitronenaroma) (eigenes Foto)	66

Abb. 67: Muster 01 (eigenes Foto)	81
Abb. 68: Muster 02(eigenes Foto)	81
Abb. 69: Muster 03 (eigenes Foto)	81
Abb. 70: Muster 04 (eigenes Foto)	81
Abb. 71: Muster 05 (eigenes Foto)	81
Abb. 72: Muster 06 (eigenes Foto)	81
Abb. 73: Muster 07 (eigenes Foto)	81
Abb. 74: Muster 08 (eigenes Foto)	81
Abb. 75: Muster 09 (eigenes Foto)	81
Abb. 76: Muster 10 (eigenes Foto)	81
Abb. 77: Muster 11 (eigenes Foto)	82
Abb. 78: Muster 12 (eigenes Foto)	82
Abb. 79: Muster 13 (eigenes Foto)	82
Abb. 80: Muster 14 (eigenes Foto)	82
Abb. 81: Muster 15 (eigenes Foto)	82
Abb. 82: Muster 16 (eigenes Foto)	82
Abb. 83: Muster 17 (eigenes Foto)	82
Abb. 84: Muster 18 (eigenes Foto)	82
Abb. 85: Muster 19 (eigenes Foto)	82
Abb. 86: Muster 20 (eigenes Foto)	82
Abb. 87: Muster 21 (eigenes Foto)	83
Abb. 88: Muster 22 (eigenes Foto)	83
Abb. 89: Muster 23 (eigenes Foto)	83
Abb. 90: Muster 24 (eigenes Foto)	83
Abb. 91: Muster 25 (eigenes Foto)	83
Abb. 92: Muster 26 (eigenes Foto)	83
Abb. 93: Muster 27 (eigenes Foto)	83
Abb. 94: Probe 28 = Probe 29 (eigenes Foto)	83
Abb. 95: Muster 30 (eigenes Foto)	83
Abb. 96: Muster 31 (eigenes Foto)	83
Abb. 97: Muster 32 (eigenes Foto)	84
Abb. 98: Muster 33 (eigenes Foto)	84
Abb. 99: Muster 34 (eigenes Foto)	84
Abb. 100: Probe 01 (eigenes Foto)	84
Abb. 101: Probe 02 (eigenes Foto)	84
Abb. 102: Probe 06 (eigenes Foto)	84
Abb. 103: Probe 14 (eigenes Foto)	84
Abb. 104: Probe 16 (eigenes Foto)	84
Abb. 105: Probe 19 (eigenes Foto)	84
Abb. 106: Probe 24 (eigenes Foto)	85
Abb. 107: Probe 27 (eigenes Foto)	85
Abb. 108: Probe 30 (eigenes Foto)	85
Abb. 109: Probe 32 (eigenes Foto)	85
Abb. 110: Probe 35 (eigenes Foto)	85

9 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Materialien	43
Tab. 2: Parameter für die Extrusion von Weizenmehl	49
Tab. 3: Vergleich unterschiedlicher Grieße und Feuchten	50
Tab. 4: Extrusionsparameter für Weizengrieß pur	50
Tab. 5: Expansionsindices von Maisgrieß unterschiedlicher Feuchte	52
Tab. 6: Extrusionsparameter für Maisgrieß pur	53
Tab. 7: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 1 bis 14	54
Tab. 8: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 17.1 bis 17.7	59
Tab. 9: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 25.1 bis 25.6	62
Tab. 10: Versuchspalung Hauptversuch 4	63
Tab. 11: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 30, 31, 32 und 35	64
Tab. 12: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 18, 19, 23 und 24	65
Tab. 13: Probenzusammensetzung und Expansionsindices der Proben 50 bis 55	67
Tab. 14: Probenzusammensetzung und Expansionsindices	77
Tab. 15: Parameter und Dosiereinstellung des Versuchs bei Fa. Schaaf	79

Anhang

Die nachfolgende Tab. 14 gibt einen Überblick über alle Rohstoffmischungen und die entsprechenden Expansionsindices.

Tab. 14: Probenzusammensetzung und Expansionsindices

Proben- Nr.	Rohstoff/ Mischung (Feuchte (%))	Rezepturzusätze (%)			Extrudat- Ø (mm)	Expans.- index
		Zucker	Hefe	Salz/ weitere Zutaten		
A	Maisgrieß (14,93 %)	-	-	-	14,0	2,8
B	Maisgrieß (18,60 %)	-	-	-	9,1	1,8
C	Maisgrieß (19,25 %)	-	-	-	6,5	1,3
D	Maisgrieß Schnecke 1 : 3	-	-	-		
E	WM 550 (14,65 %)	-	-	-		
E1	WM 405 (14,89 %)	-	-	-		
F	Weizengrieß Real,- Quality (12,64 %)	-	-	-	11,1	2,2
G	Weizengrieß Diamant (11,79 %)	-	-	-	12,8	2,6
H	Weizengrieß Wurzener (13,72 %)	-	-	-	11,3	2,3
I	Weizengrieß K Classic (13,67 %)	-	-	-	13,2	2,6
1	Weizengrieß	3,0	-	-	17,9	3,6
2	Weizengrieß	6,0	-	-	11,8	2,4
3	Weizengrieß	9,0	-	-	10,3	2,1
4	Weizengrieß	3,0	1,6	-	11,0	2,2
5	Weizengrieß	3,0	3,2	-	10,9	2,2
6	Weizengrieß	6,0	1,6	-	10,3	2,1
7	Weizengrieß	6,0	3,2	-	10,0	2,0
8	Weizengrieß	6,0	1,6	1,0	12,7	2,5
9	Weizengrieß	6,0	1,6	2,0	11,9	2,4
10	Weizengrieß	6,0	1,6	3,0	11,1	2,2
11	Weizengrieß (300 g) + Maisgrieß (200 g)	9,0	-	2,0	11,8	2,4
12	Weizengrieß (300 g) + Maisgrieß (200 g)	1,6 VZ	-	1,0	12,1	2,4
13	Dinkelgrieß	6,0	1,6	1,0	12,9	2,6
14	Dinkelgrieß	1,6 VZ	1,6	1,0	12,2	2,4
17.1 (170:50)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	10,8	2,2
17.2 (180:58)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	10,1	2,0
17.3 (180:60)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	10,7	2,1
17.4 (170:60)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	9,9	2,0
17.6 (160:60)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	10,3	2,1
17.7 (150:50)	Weizengrieß	6,0	1,6	0,2	9,8	2,0
18	Weizengrieß (200 g) + Maisgrieß (300 g)	3,0	-	0,2	13,7	2,7
19	Weizengrieß (200 g) + Maisgrieß (300 g)	3,0 + 1,6 VZ	-	0,2	13,5	2,7
23	Maisgrieß	3,0	-	1,0 AV	14,9	3,0
24	Maisgrieß	3,0	-	1,0 AZ	14,8	3,0

25.1 (170:50)	Weizengrieß	-	-	-	10,6	2,1
25.2 (170:50)	Weizengrieß	-	-	-	10,8	2,2
25.3 (190:57)	Weizengrieß	-	-	-	10,0	2,0
25.4 (200:60)	Weizengrieß	-	-	-	9,9	2,0
25.5 (210:65)	Weizengrieß	-	-	-	9,8	2,0
25.6 (200:70)	Weizengrieß	-	-	-	10,0	2,0
30	Weizengrieß	-	2 % aktive Hefe	-	9,1	1,8
31	Weizengrieß	-	4 % aktive Hefe	-	10,2	2,0
32	Weizengrieß	-	6 % aktive Hefe	-	9,9	2,0
35	Weizengrieß	-	2 % inaktive Hefe	-	11,8	2,4
50	Weizengrieß	6	-	4 MMP	-	-
51	Weizengrieß	6	-	6 MMP	-	-
52	Weizengrieß	6	-	8 MMP	-	-
53	200 g Maisgrieß + 300 g Reismehl	6	-	0,2	-	-
54	200 g Maisgrieß + 300 g Reismehl	6	-	0,2	-	-
55	200 g Maisgrieß + 300 g Reismehl	6	-	0,2	-	-

Abkürzungen der Tabelle 14:

WM: Weizenmehl

VZ: Vanillezucker

AV: Aroma Vanille

AZ: Aroma Zitrone

MMP: Magermilchpulver

Tab. 15: Parameter und Dosiereinstellung des Versuchs bei Fa. Schaaf

Proben-Nr.	Muster-Nr.	Mischung	Hauptdos.	Nebendos. 1	Schnecken-drehzahl	Cutter		Wasserdosier-pumpe	Öldosierung	Bemerkungen des Ma-schinenführers	
			= Mehl-mischung	= Zucker-dosierung		Messer-drehzahl	Wasserfein-dosierung				
01	/	Maisgrieß	Anfahrphase								
02	/	Maisgrieß	Anfahrphase								Anfangsprodukt fast Ku-gel, aber sehr grobe Porung
03	/	Maisgrieß	Anfahrphase								
04	/	Maisgrieß	Anfahrphase								
05	01	A	18%	aus	85%	50%	aus	aus	aus	linsenförmig	
06	02	A	25%	aus	85%	50%	aus	aus	aus	Konsistenz akzeptabel, jedoch fehlt typischer Ge-bäckgeschmack	
07	03	A	20%	10%	85%	50%	aus	aus	aus		
08	04	A	20%	15%	85%	50%	aus	aus	aus		
09	05	A	20%	20%	85%	50%	aus	aus	aus		
10	06	A	20%	25%	85%	50%	aus	aus	aus		
11	07	A	20%	25%	85%	50%	aus	aus	aus	Ziel: größer, lockerer, fein-poriger	
12	08	A	20%	25%	70%	50%	aus	aus	aus	Schneckendrehzahl ver-ringert, krümelige Abschnitte	
13	09	A	20%	25%	70%	50%	aus	aus	08/08		
14	10	A	20%	25%	70%	50%	aus	aus	08/08		
15	11	A	20%	25%	100%	50%	aus	aus	1,2/1,2	weiße Schlieren, inhomogen	
16	12	A	20%	aus	100%	50%	aus	aus	1,2/1,2	Farbe durch fehlenden Zucker verändert, zu hart	
17	13	A	20%	10%	100%	50%	aus	aus	1,2/1,2	Ziel: durch Zucker (Kleb-rikkeit) nhomogenität aufheben	
18	14	A	20%	10%	100%	50%	aus	aus	aus		
19	15	A	20%	10%	60%	50%	aus	aus	aus	dickere Abschnitte, länge-res Rösten erzeugt mehr Knusprigkeit	
20	/	B	Mischphase								
21	/	B									
22	16	B	20%	20%	70%	50%	10%	30%	aus		
23	17	B	20%	10%	70%	50%	20%	30%	aus	linsenförmig	
24	18	B	20%	aus	70%	70%	35%	30%	aus	längere Abschnitte	
25	19	B	20%	aus	70%	50%	60%	30%	aus		
26	20	B	20%	aus	70%	50%	90%	30%	aus	ungleichmäßige Ausdeh-nung	
27	21	B	20%	aus	70%	50%	90%	50%	aus		
28	22	B	20%	aus	70%	60%	90%	40%	aus		
29	23	B	20%	aus	70%	100%	90%	40%	aus	Schnittvariation: viel Was-ser, Klebriger Teig → Schwänzchen am Pro-dukt	
30	24	C	20%	aus	70%	20%	90%	40%	aus	Längere Abschnitte er-scheinen härter, da höhere Beißkraft nötig	
31	25	C	20%	aus	70%	20%	90%	50%	aus	erscheint rauer wegen Bläschenbildung	
32	26	C	20%	aus	87%	42%	90%	50%	aus	schaumig wegen Kavitati-on, Optik nicht akzeptabel	
33	27	C	20%	aus	81%	42%	90%	50%	aus		
34	28 = 29	C	20%	aus	65%	100%	90%	50%	aus		
/	30	C	20%	aus	60%	100%	90%	50%	aus		
35	31	C	20%	10% (CaCO ₃)	65%	48%	90%	50%	aus	Calciumcarbonat als Ver-dampfungskeime	
36	32	WM	20%	aus	65%	48%	90%	50%	aus		
37	33	WM	20%	10% (CaCO ₃)	65%	48%	90%	50%	aus		
38	34	WM	20%	aus	65%	48%	90%	50%	0,6/0,6		

Erläuterungen zur Tab. 15:

- Mehlmischung A: 25 kg Mehl mit 3 % Zucker (750 g)
- Mehlmischung B: 25 kg Mehl mit 3 % Zucker, Hefe
- Mehlmischung C: 25 kg Mehl, Hefe, ohne Zucker
- alle Mehlmischungen mit jeweils 750 g Wasser befeuchtet
- alle 3 Versuche fortlaufend, jeweilige Mischphase wird verworfen, Probennahme dann, wenn sich Parameter eingestellt haben
- WM: Weizenmehl Type 550 Sackware
- Trocknung und Rösten in jeden Fall nötig
- Textur kann beeinflusst werden z.B. Backpulver, Calciumcarbonat, Cellulose, Kleie



Abb. 67: Muster 01



Abb. 68: Muster 02



Abb. 69: Muster 03



Abb. 70: Muster 04



Abb. 71: Muster 05



Abb. 72: Muster 06



Abb. 73: Muster 07



Abb. 74: Muster 08



Abb. 75: Muster 09



Abb. 76: Muster 10



Abb. 77: Muster 11



Abb. 78: Muster 12



Abb. 79: Muster 13



Abb. 80: Muster 14



Abb. 81: Muster 15



Abb. 82: Muster 16



Abb. 83: Muster 17



Abb. 84: Muster 18



Abb. 85: Muster 19



Abb. 86: Muster 20



Abb. 87: Muster 21



Abb. 88: Muster 22



Abb. 89: Muster 23



Abb. 90: Muster 24



Abb. 91: Muster 25



Abb. 92: Muster 26



Abb. 93: Muster 27



Abb. 94: Probe 28 = Probe 29



Abb. 95: Muster 30



Abb. 96: Muster 31

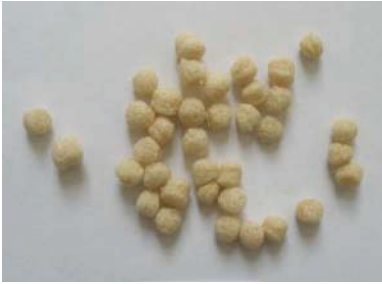


Abb. 97: Muster 32



Abb. 98: Muster 33



Abb. 99: Muster 34



Abb. 100: Probe 01



Abb. 101: Probe 02



Abb. 102: Probe 06



Abb. 103: Probe 14



Abb. 104: Probe 16



Abb. 105: Probe 19



Abb. 106: Probe 24



Abb. 107: Probe 27



Abb. 108: Probe 30



Abb. 109: Probe 32



Abb. 110: Probe 35

Dank:

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. P. Meurer und Frau Dipl. Ing. R. Schäpe für die Betreuung der Bachelorarbeit.

Des Weiteren gilt der Fa. Wikana, Frau Böhm und Herrn Fischer Dank für die Ermöglichung der Themenstellung, sowie den Mitarbeitern der Fa. Bühler und der Fa. Schaaf für Auskünfte und praktische Hinweise.

Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Gornau, den