

GRUNDLAGEN "EXTRUSION"



INHALTSVERZEICHNIS

Grundlagen Extrusion.....1

Bedingung 3

Folge 3

Betrachten wir etwas näher die Teigeigenschaften 3

Einfluss der Extrusionsbedingungen auf die Teig- und
Extrudateigenschaften 5

Wirkung der Extrusionsfeuchte..... 6

Einfluss des Düsendruckes 7

Einfluss der Schneckendrehzahl..... 7

Schlussfolgerungen 9

Grundlagen Extrusion

Extrusion soll definiert werden, als Kochextrusionsprozess mit dem Ziel ein voluminöses, expandiertes, knuspriges, gebäckartiges Produkt zu erhalten.

Es gibt keine prinzipielle Beschränkung der zur Extrusion einsetzbaren Rohstoffe. Es soll im Folgenden versucht werden, teils vereinfachend, die wichtigsten Eigenschaften der Bausteine von Lebensmittelrohstoffen mit ihren Wirkungen auf den Extrusionsprozess und das Extrusionsergebnis zu betrachten.

Ebenso soll aufgezeigt werden, in welchem Umfang die Extrusionsbedingungen die Extrusionsprodukte beeinflussen.

Wie in Abbildung (1) ersichtlich, bestehen die für die Extrusion bedeutsamen pflanzlichen Rohstoffe vereinfacht aus den Bausteinen:

Stärke
Protein
Fett
Zucker
Faserstoffe (Zellulose)

Getreide, Leguminosen, Knollen- und Samenprodukte sind, in verschiedener Weise aus diesen Bausteinen zusammengesetzt.

Der Extrusionsprozess mit dem Ziel, expandierte, texturierte Endprodukte zu erhalten baut auf, im Prinzip, einfachen physikalischen Effekten auf, welche sich im Wesentlichen stützen auf:

Teigeigenschaften
Vorhandensein von Wasser
Temperatur größer 100 Grad C
Druck

Ein Teig, der bestimmte **Eigenschaften** aufweisen muss, welche wiederum zusammenhängen mit dem Vorhandensein von Wasser, wird auf eine **Temperatur** über 100 Grad C gebracht, der sich aufbauende **Druck** verhindert die **Verdampfung von Wasser** in der Maschine.

Der Teig, durch eine Düse gepresst, in den druckfreien Raum entlassen, bläht sich durch nunmehr mehr oder weniger heftig verdampfendes Wasser auf, expandiert in Abhängigkeit seiner **Elastizität**, kühlt dabei durch die ihm entzogene **Verdampfungswärme** ab, verfestigt sich sowohl durch die **Abkühlung** als auch durch den Verlust von Feuchtigkeit und behält, in Abhängigkeit vom Grad der **Verfestigung**, sein soeben durch die Expansion gewonnenes erhöhtes Volumen bei.

Aus den beschriebenen Prinzipien lassen sich wiederum einfach nachvollziehbare Zusammenhänge herleiten, die für das Ergebnis der Extrusion und die praktische Arbeit mit dem Extruder von nicht überschätzbarer Bedeutung sind.

Zerlegen wir den Prozess der Expansion und der unmittelbar darauf folgenden Geschehnisse in einzelne Abschnitte und betrachten wir den Teig kurz vor der Expansion bezüglich seines Zustandes und seiner Eigenschaften. :

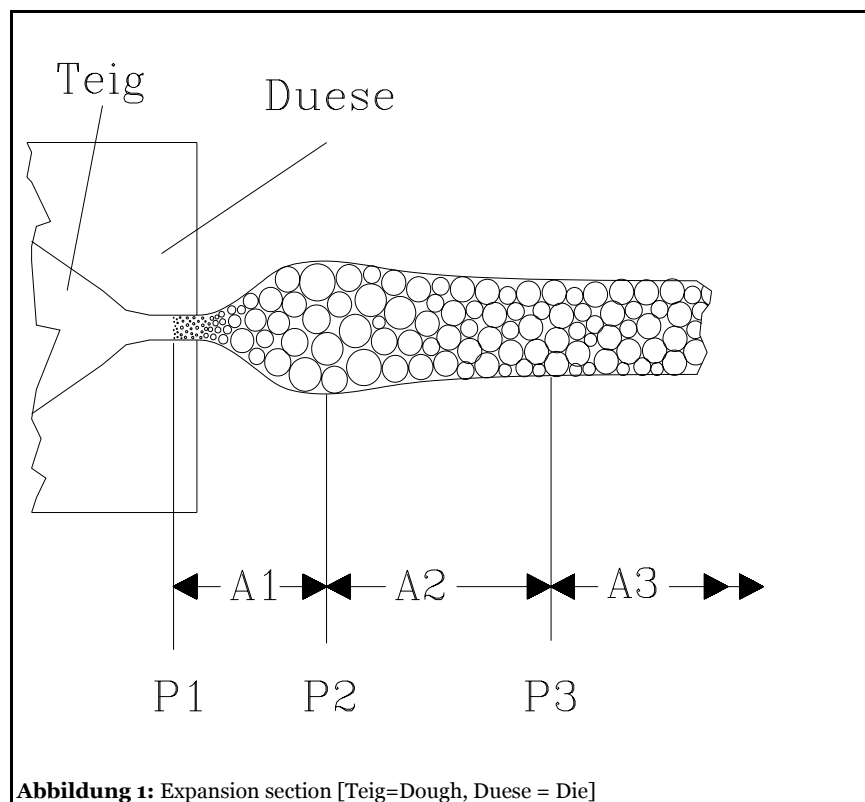


Abbildung 1: Expansion section [Teig=Dough, Duese = Die]

Die Expansion kann als zeitlicher begrenzter Vorgang betrachtet werden, beginnend mit dem Moment, in dem der noch herrschende Druck gerade soweit abgesunken ist, dass Wasser, welches überhitzt im Teig vorhanden ist, beginnt zu verdampfen. Nennen wir diesen Zeitpunkt P1.

Der nächste Abschnitt A1 ist gekennzeichnet durch ein Anwachsen des Dampf-Volumens bis zu einem Maximum P2, gleichzeitig den Vorgang der Expansion abschließend.

Exakt zu diesem Zeitpunkt befindet sich der Dampfdruck im Inneren des aufgeblähten Teiges (bis auf die Elastizitätskräfte des Teiges) im Gleichgewicht mit dem außen herrschenden Luftdruck.

Im nun folgenden Abschnitt A2 sinkt der Dampfdruck im Inneren durch fortschreitende Abkühlung immer mehr ab, resultierend in einer mehr oder weniger ausgeprägten Schrumpfung des Teiges, einem Rückgang seines Volumens, bis zu einem Zeitpunkt P3, der diesen Vorgang beendet, hervorgerufen durch die mehr oder weniger sich ausprägende Verfestigung des Teiges.

Während Abschnitt A3 kühlt der Teig weiter ab, verliert Feuchtigkeit, und verfestigt sich bis zum Zeitpunkt P4, wenn Raumtemperatur erreicht ist.

Bedingung:

hohe Temperatur des Teiges

- früh einsetzende Expansion
- heftige Expansion
- steiler Volumenanstieg
- großes Dampfvolument
- hoher Feuchtigkeitsverlust
- starke Verfestigung
- niedriges Schüttgewicht Extrudat
- weiches, weiches Produkt

hohe Teigfeuchtigkeit

- hohe Elastizität des Teiges
- grobe, große Poren im Produkt
- geringere Viskosität des Teiges
- geringere Verfestigung des Teiges
- starke Schrumpfung A2
- knusprigere Textur des Extrudats
- hohe Endfeuchtigkeit bei P4

Betrachten wir etwas näher die Teigeigenschaften

Sehr leicht ist nachzuvollziehen, dass bei der unter Umständen sehr heftigen Verdampfung von Wasser der Teig eine wichtige Eigenschaft, nämlich **Elastizität**, besitzen muss, um das Dampfvolument in Volumenzunahme umsetzen zu können.

Ist diese Elastizität nicht vorhanden, dann kommt es nicht zur Blasenbildung bzw. die sich bildenden Blasen platzen bereits während A1 auf, ohne, dass es zu einer nennenswerten Volumenzunahme kommt.

Damit der Teig diese Elastizität besitzt, muss er aus Rohstoffen zusammengesetzt sein, welche prinzipiell die Voraussetzung zur Ausbildung elastischer Teige besitzen.

Fett und Faserstoffe scheiden, wie jedermann weiß, aus, Zucker wird unter bestimmten Voraussetzungen zwar plastisch, jedoch niemals elastisch.

Übrig bleiben **Protein** und **Stärke**.

Beide Bausteine bilden unter bestimmten Voraussetzungen elastische Massen aus, bei Stärke ist insbesondere die Verkleisterung wichtige Voraussetzung zur Ausbildung elastischer Eigenschaften.

Stärke allein und Protein allein haben, je nach Herkunft und Eigenschaft hervorragende Elastizitätsausbildung. In Mischung zueinander sind die Teigeigenschaften in bezug auf die Elastizität in jedem Fall schlechter.

Protein und Stärke wirken gegenseitig hemmend auf die maximal erreichbare Elastizität des Teiges.

Maximale Elastizität wird erreicht, wenn der Teig möglichst homogen ist, dies gilt bei Mischungen von Stärke und Protein, insbesondere jedoch bei Vorhandensein der anderen, die Elastizität negativ beeinflussenden Komponenten wie Fett, Zucker und Faserstoffe.

Je feiner die "störenden" Komponenten Fett, Zucker, Faserstoffe im Teig verteilt sind, desto weniger "störend" wirken sie sich in bezug auf die Elastizität aus.

Maximale Expansion, einhergehend mit Verlust an Knusprigkeit, Feuchte-Empfindlichkeit und vor allen Dingen Geschmack des Extrudates ist jedoch keinesfalls das ausschließliche Ziel bei der Extrusion.

Die oben genannten Zusammenhänge zu kennen, zu verstehen und gezielt für gewünschte Produkt-Eigenschaften zu nutzen ist Ziel jeder Arbeit mit dem Extruder.

Die Zusammensetzung der Rohstoffe bestimmt entscheidend die Ausbildung wesentlicher Eigenschaften des Teiges und somit wesentlicher Produkt-Eigenschaften.

Die Feuchtigkeit des Rohstoffes besitzt neben direkten Wirkungen auf den Extrusionsprozess entscheidenden Einfluss auf die Teigeigenschaften und somit auf Expansion und Textur des Endproduktes.

Die Teigeigenschaften unmittelbar vor der Düsenpassage zusammen mit den Faktoren Temperatur und Druck bestimmen ausschließlich die Eigenschaften, d.h. die Qualität des Endproduktes.

Einfluss der Extrusionsbedingungen auf die Teig- und Extrudateigenschaften:

Es wurde bisher beschrieben, dass die Zusammensetzung der Rohstoffe wichtige Voraussetzungen zur Ausbildung bestimmter Teigeigenschaften erbringen muss.

Es wurde auch gezeigt, dass es einer bestimmten Behandlung der Rohstoffe bedarf, um die so wichtige Elastizität des Teiges zu erreichen.

Wichtige Ziele dieser Behandlung der Rohstoffe sind:

- Verkleisterung der Stärke
- Denaturierung der Proteine
- Erwärmung > 100 ° C
- Homogenisierung
- Druckaufbau

Man wird unschwer erkennen, dass, obgleich man alle bisherigen Forderungen an den Prozess auch durch andere Verfahren und Techniken realisieren kann, die Aufzählung der obigen Behandlungsschritte die charakteristischen Verfahrensmerkmale von Schneckenmaschinen sind, speziell, wenn es sich dabei um entsprechend optimierte Kochextruder handelt.

Zum Homogenisieren, Mischen von Stoffen ist mechanische Arbeit zu leisten, gleiches gilt für den Druckaufbau.

Diese Arbeit ist einhergehend mit einer Erwärmung des Materials.

Erwärmung ist erwünscht und zwingend notwendig zur Verkleisterung von Stärke und zur Denaturierung von Protein.

Homogenisierung, Verkleisterung, Denaturierung und Erwärmung stehen in einer zwangsweisen und teils komplexen Wechselbeziehung zueinander, zusätzlich stark beeinflusst vom Feuchtegehalt des Materials.

Verkleisterung von Stärke, Denaturierung von Protein ist ohne Vorhandensein von Wasser, zumindest nach den üblichen Definitionen nicht möglich, ebenso wenig die Ausbildung von Teig, oder gar von elastischem Teig.

Der Feuchtegehalt des Materials bestimmt die Viskosität des sich bildenden Teiges.

Ist die Feuchte sehr hoch, ergibt sich eine niedrige Viskosität, ist sie niedrig, resultiert hohe Viskosität.

Schaaf Kurzschnecken Extruder arbeiten fast ausschließlich "**autotherm**", d.h. die Prozesswärme wird ausschließlich durch die Umwandlung mechanischer Energie, d.h. der Drehbewegung der Schnecke in Verbindung mit dem Drehmoment der Schnecke erzeugt.

Die Steuerung der Prozessbedingungen erfolgt im wesentlichen in drei Ebenen:

- Feuchtigkeit des Extrusionsrohstoffes
- Druckaufbau vor der Düse
- Schneckendrehzahl bzw. deren Verhältnis zur Massedosierung

Der Druckaufbau mittels Düse und verschiedenen Stau-elementen ist während des Betriebes des Extruders nicht veränderbar, während sowohl die Feuchtigkeit des Rohstoffes als auch die Schneckendrehzahl variabel sind.

Wirkung der Extrusionsfeuchte

Hohe Feuchtigkeit bewirkt niedrige Teigviskosität.

Die Teigviskosität wirkt sich aus auf das Drehmoment der sich drehenden Schnecke, somit auf die Leistungsaufnahme, d.h. auch auf die Knet- Homogenisier- und Erwärmungsarbeit im Extruder.

Niedrige Teigviskosität resultiert in niedrigerem Druck an den Stau- und Düsen-elementen. Bei niedrigen Viskositäten wird man niedrigere Teigtemperaturen, somit niedrigere Expansionsraten beobachten.

Hohe Feuchtigkeit fördert andererseits die wichtigen Prozesse der Verkleisterung und Denaturierung, und somit die Ausbildung elastischer Teigeigenschaften.

Hohe Extrusionsfeuchte begünstigt die Homogenisierung von Fett, Zucker und dem Stärke-Protein-Komplex, ist jedoch von negativer Wirkung auf die, auf intensive mechanische Zerkleinerung beruhende, Homogenisierung von Faserstoffen.

Es wurde bereits festgestellt, dass die Feuchtigkeit des Rohstoffes direkten Einfluss auf die Teigeigenschaften besitzt, in Form minimaler Feuchte-Anforderungen um Verkleisterung und Denaturierung in Verbindung mit der Homogenisierung zu erreichen, dem Feuchte-Zusatz sind auf der anderen Seite maximale Grenzen gesetzt durch die nach der eigentlichen Expansion notwendigen Verfestigung zum Erhalt der erreichten Expansion.

Zusätzlich berücksichtigend den direkten Einfluss der Feuchte auf die Porung und die Textur des Extrudats bleibt nur ein bestimmter Spielraum übrig, über die Feuchte die den Extrusionsprozess zu steuern ohne direkten, bzw. nicht wünschenswerten Einfluss auf die Extrudat-Qualität.

Einfluß des Düsendruckes

Unter Düsendruck soll hier der Gesamt-Fließwiderstand durch Stau- und Düsenelemente verstanden werden.

Eine Extruderschnecke ist unter dem Gesichtspunkt der reinen Förderung oder Pumpwirkung ein Gerät mit äußerst geringem Wirkungsgrad.

Die theoretische Pumpleistung, welche notwendig ist, einen bestimmten Massestrom gegen einen bestimmten Druck zu fördern ist überraschend gering.

Bedenkt man die tatsächliche Leistungsaufnahme einer Extruderschnecke und setzt sie in Bezug zur reinen Pumpleistung, so erkennt man dass der Förderwirkungsgrad extrem gering ist.

Andererseits ist es aber gerade die Verlust-Leistung, welche in Form von Knetung, Homogenisierung und schließlich Erwärmung unverzichtbare Dienste leistet und die Schneckenmaschine erst zu einem Kochextruder macht.

Jede Veränderung des Düsendruckes bewirkt zwar einen nur geringfügigen Anstieg der erforderlichen Pumpleistung, über den geringen Wirkungsgrad jedoch einen erheblichen Anstieg der oft sehr erwünschten Knet- und Homogenisierungs-Leistung bzw. einen Anstieg der Teigtemperatur.

Über die Konstruktion, Art und Form von Düsen- und Stau-Werkzeugen ist eine vielfältige Beeinflussung der Extrusionsbedingungen und somit der Extrusionsergebnisse möglich.

Selbst wenn die Düsenwerkzeuge selbst durch die herzustellende Form unveränderlich festgelegt sind, so ist der gezielte Einsatz von einer oder mehreren Stauplatten, bzw. sonstiger Strömungs-Elemente für eine erfolgreiche Extrusion zwingend erforderlich.

Einfluß der Schneckendrehzahl

(bzw. Verhältnis Drehzahl: Masse-dosierung)

Sowohl über die Änderung der Dosierung von Rohstoff in die Extruderschnecke als auch durch Änderung der Schneckendrehzahl bei konstanter Zudosierung verändern sich die Transportverhältnisse im Extruder zum Teil ganz erheblich.

Vollständig gefüllte Schnecken resultieren in höchstmöglichem Transportwirkungsgrad

Wird bei einer nur teilweise gefüllt betriebenen Schnecke die Zudosierung von Rohstoff erhöht, so bewirkt dies eine Erhöhung des Drehmomentes an der Schnecke, es wird mehr Leistung verbraucht.

Ist dieser Umstand noch leicht nachvollziehbar, so ist doch eine zusätzliche Wirkung von größter Wichtigkeit und erfordert grundlegendes Verständnis:

Durch die höhere Schneckenfüllung steigt auch der Transportwirkungsgrad, d.h. die Verlustleistung in Form von Knetarbeit und Temperatur-Einleitung nimmt gegenüber der Transport-Leistung ab. Hieraus folgt, dass die spezifische Energieeinleitung in das Material abnimmt, somit die Temperatur des Teiges sinkt.

Umgekehrt bedeutet das, dass eine Verringerung der Material-Dosierung bei unveränderter Schneckendrehzahl einhergeht mit einer geringer werdenden Füllung der Schnecke, d.h. die förderwirksame Länge der Schnecke ist reduziert, somit sinkt deren Förderwirkungsgrad mit der Folge höherer Knet- und Homogenisierarbeit und höheren Teigtemperaturen.

Aus den geschilderten Zusammenhängen erwächst eines der wichtigsten Werkzeuge zur effizienten, vor allem schnell reagierenden Steuerung des Extrusions-Prozesses während des Betriebs.

Auch die folgenden Zusammenhänge ergeben sich zwangsweise aus dem oben Dargelegten:

Bedingung:

Folge:

Erhöhung der Schneckendrehzahl
bei gleicher Dosierung

Reduzierung des Transportwirkungs-
grades
Erhöhung der Knet und Homogenisier-
leistung
Erhöhung der Energieeinleitung
Erhöhung der Temperatur
Erhöhung der Expansion
Reduzierung des Drehmomentes
Reduzierung der Stromaufnahme

(Die Reduktion des Drehmomentes bzw. der Stromaufnahme ist insofern kein Widerspruch zu oben Beschriebenem, als diese Reduktion nicht proportional zur Drehzahlerhöhung erfolgt und nur die Differenz zum Produkt aus Drehzahl und Drehmoment die beschriebenen Effekte auslöst.)

Erhöhung der Masse-Dosierung
bei gleicher Schneckendrehzahl

Erhöhung des Transportwirkungsgrades
Senkung der Knet- und Homogenisier-
leistung
Senkung der Energieeinleitung
Senkung der Teigtemperatur
Verminderung der Expansion
Anstieg des Drehmoments
Anstieg der Stromaufnahme

Selbstverständlich ist der Transportkapazität der Schnecke dann die Grenze gesetzt, wenn die Schnecke bereits vollständig gefüllt ist, sich äußernd in einem sich füllenden Trichter.

Transportkapazität wie Transportwirkungsgrad vermindern sich mit zunehmendem Schneckenverschleiß.

Durch zunehmenden Verschleiß verringert sich der Durchmesser der Schnecke, resultierend in größerer Rückströmung von Material über die Schneckenstege, hieraus folgt eine Verminderung des Transportwirkungsgrades mit all den beschriebenen Konsequenzen: Erhöhung der Knetarbeit, Temperatur, Förderleistung und somit der Ausstoßleistung der Maschine.

Dieser Einfluss des Verschleiß-Zustandes auf die Extrusionsbedingungen ist nicht ausschließlich negativ, es kommt häufig vor, dass bestimmte Endprodukt-Eigenschaften nur durch erhöhte Knet-Leistung, d.h. durch Werkzeuge ab einem bestimmten Verschleißzustand erzielt werden können.

Daraus folgt: **Niemals Schnecken und Statoren verschrotten, sondern aufbewahren, um ggfls durch Einsatz bei entsprechenden Produkten deren Gesamtnutzung zu verbessern!**

Schlussfolgerungen:

Die Werkzeug-Konfiguration, d.h. die Gestaltung der Stau- und Strömungswerkzeuge ist die erste und wichtigste Maßnahme zur gezielten Beeinflussung des Extrusionsprozesses.

Durch geeignete Konfiguration wird der Rahmen der Extrusionsbedingungen vorgegeben, auf welchem alle folgenden Steuerungsmöglichkeiten aufbauen.

Die Variation der Extrusionsfeuchte ist das nächste Instrument zur Steuerung der Extrusionsbedingungen.

Begrenzt nach unten durch Feuchtebedarf für Verkleisterung, Denaturierung und ggfls. Homogenisierung, begrenzt nach oben durch unerwünschte Texturveränderung des Endproduktes oder nicht ausreichender Expansion durch Energie-Defizit oder nicht genügender Verfestigung des Teiges nach der Expansion (Schrumpfung). Die Feuchtigkeit wird so gewählt, dass genügend Steuermöglichkeiten durch Verändern der Extruderparameter verbleiben. (z.B. Veränderung der Schneckendrehzahl nach oben und unten)

Durch die Schneckendrehzahl bzw. das Verhältnis Schneckendrehzahl : Masse-Dosierung ist die letzte und während des Betriebes eleganteste Steuerungsmöglichkeit für Temperatur und Expansion gegeben.

Die gezielte und überlegte Einstellung und Verwendung dieser drei Steuerungs-Methoden sind Voraussetzung für erfolgreiche Extrusion mit dem Ergebnis konstanter Produkt-Qualität.