



TURBO
Extrusion®

DER TURBO

ein neues Kochextrusions-Prinzip

Schaaf Technologie GmbH

SCHAAF Kurzschnellen HTUST-Extruder werden seit vielen Jahrzehnten zur Herstellung von Snacks, Cerealien und Instant-Produkten erfolgreich eingesetzt. Der am häufigsten eingesetzte Schneckendurchmesser ist 92,5 mm bei einer aktiven Verfahrenslänge von 210 mm einschließlich Einzugszone.

Bei sehr verschiedenen Rohstoffen und Einsatzbedingungen werden die Maschinen mit Leistungen zwischen 150 und 300 kg/h betrieben. Die wesentlichsten Einfluss-Größen für die Produktionsleistung sind dabei:

- ∄ die Eigenschaften der eingesetzten Rohstoffe/Rezepturen
- ∄ die Anforderungen an die Textur des Extrudats
- ∄ die Formgebung des Extrudats
- ∄ der technische Zustand der Werkzeuge (Schnecke, Stator, Düsen)
- ∄ die Qualität der Konfiguration und Bedienung

wobei die aufgeführten Faktoren bei den Anwendern sehr unterschiedliche Bedeutung/Priorität besitzen.

SCHAAF Extruder nehmen heute in vielen Bereichen eine Sonderstellung in der Nahrungsmittel-Extrusionstechnik ein.

Unsere intensiven Bemühungen, die verfahrenstechnischen Möglichkeiten der HTUST-Extrusion ständig zu erweitern, die Maschinen noch einfacher und zuverlässiger in Handhabung und Bedienung zu machen unter der unerschütterlichen Zielsetzung, geringstmögliche Betriebskosten zu erreichen, sind Gründe dafür, dass SCHAAF HTUST-Extruder sich nicht einordnen lassen in gängige technische oder technologische Vergleiche zwischen Ein- und Doppelschnellen-Extrusionssystemen.

SCHAAF Forschung und Entwicklung ist konsequent ausgerichtet auf **niedrigstmögliche Verweilzeiten** im Extruder:

HTST ist ein gängiger Begriff der Gelehrten auf dem Gebiet der Kochextrusion und steht für "high temperature short time" oder "Hochtemperatur-Kurzzeit". Bei konventionellen Ein- und Doppelschnellen-Extrudern bedeutet das üblicherweise eine Verweilzeit von unter 60 Sek. jedoch nicht weniger als 20 Sek. Dieser Kurzzeit-Prozeß wird unbestritten als Vorteil gegenüber konventionellen Kochprozessen angesehen.

Schaaf Technologie GmbH

HTUST ist ein Begriff, den SCHAAF in Zusammenhang mit der Kochextrusion einführen musste, um deutliche Abgrenzung zum HTST-Prozess zu erreichen, wobei HTUST konsequenterweise "high temperature ultra short time" bedeutet oder "Hochtemperatur Ultra-Kurzzeit" und Verweilzeiten von 2 bis etwa 8 Sek. definiert.

Für Verweilzeiten unter 1 Sek., für welche die Gesetze der Thermodynamik, insbesondere der faszinierende Stoff Wasser noch etliche Überraschungen bereithält und an deren Realisierung intensiv gearbeitet wird, wäre dann ein weiterer Begriff im ohnehin inflationären Schlagwort-Dschungel zu erfinden.

Während es sich auf anderen Gebieten der Nahrungsmitteltechnologie (z.B. in der Milchtechnologie) längst herausgestellt hat, dass extreme Kurzzeit-Prozesse erhebliche Vorteile bringen und dort Systeme, die mit Höchstdrücken und Überschall-Geschwindigkeit arbeiten, zu den fortschrittlichsten zählen, gibt es immer noch viele Ideologen unter den Gelehrten, die nicht wahrhaben wollen, dass Prozesse, die heute noch im Bereich mehrerer Minuten ablaufen, mit erheblichen Vorteilen auch in wenigen Sekunden oder gar in Bruchteilen einer Sekunde verwirklicht werden können.

Ein weiterer, nicht weniger wirkungsvoller Umstand verhindert, dass der Kurzzeit-Technologie nicht die ihr zukommende Bedeutung bei der Kochextrusion beigemessen wird: Kurzzeit-Systeme bedingen zwangsläufig extrem kleine Verfahrensteil-Volumina, d.h. die Schnecken, Zylinder und Düsensysteme von Kochextrudern müssen im Verhältnis zum Produktausstoß sehr klein sein. Dabei ist es nicht möglich, die komplizierten Teilprozesse bei der Kochextrusion sauber in verschiedene Zonen und Verfahrensteile zu trennen, wie dies bei Lang- und Doppelschnecken-Extrudern üblich ist, sondern man muss den Prozess ganzheitlich betrachten und analysieren, was natürlich erheblich schwieriger und komplizierter ist als bei Teilprozessen. Selbstverständlich ist es auch nicht möglich an den extrem kleinen Verfahrens-, Knet- und Düsentteilen umfangreiche Druck-, Temperatur- und Strömungsmessungen durchzuführen, weil einerseits solche Messungen kaum Aussagekraft über die Vorgänge besitzen und andererseits geeignete Sensoren nicht zur Verfügung stehen. Der Umstand aber, dass Heizzonen, Kühlzonen, Dampfventile und jede Menge Temperatur- und Drucksensoren an einem Kurzzeit-System aus einleuchtenden Gründen fehlen, missfällt solchen Gelehrten sehr, die wissenschaftliches Arbeiten ausschließlich gleichsetzen mit der Gegenüberstellung von (meist mangelhaften) Messergebnissen mit aufwendigen Analysen der Endprodukte. Die sprachlich aufgeblasenen, jedoch formell korrekten Publikationen entbehren dann meistens noch der Frage "Warum?" und besitzen leider einen entsprechend mageren Informationsgehalt.

Schaaf Technologie GmbH

Dass eine so ergebnisträchtige Technologie wie die der Kurzzeit-Systeme bei der Kochextrusion aus den beschriebenen Gründen nahezu ignoriert wird, ist eine bedauerliche Tatsache.

Dennoch verdanken Doppelschnecken-Extruder ihre außerordentliche Beachtung und Verbreitung, besonders bei den Forschungsinstitutionen, ihrem in dieser Hinsicht unbestrittenen Vorteil, mit vielen Knöpfen, Ventilen, Zonen, Elementen und Sensoren ausgerüstet zu sein.

Wenn wir heute eine, wie wir meinen, bahnbrechende Neuentwicklung in der Kochextrusion vorstellen, für die uns in Anlehnung ihrer wesentlichen Eigenschaften kein besserer Name als "TURBO" eingefallen ist, dann diene die obige Einleitung denen zur besseren Einschätzung, die eine komplizierte Apparatur mit blitzenden Instrumenten und komplizierter Elektronik erwarten.

Nein, der TURBO ist eine sehr einfache Vorrichtung, dem ein sehr einfaches Verfahren zugrunde liegt, welches jedoch alle Anzeichen besitzt, die Basis für ein neues Extrusions-Prinzip zu werden. Das klingt sehr anspruchsvoll und wir haben viele Monate intensiv gearbeitet und den Anspruch stark in Frage gestellt, wurden aber bisher ausschließlich bestärkt, von einem neuen Kochextrusionsprinzip zu sprechen.

Bisher war es üblich, Pumpen einzuteilen in sog. Reibungspumpen und in Verdrängungspumpen. Zunächst einige Beispiele:

Reibungspumpen	Kreiselpumpen Einschnecken Extruder Doppelschnecken- Extruder (Gleichläufer)
----------------	--

Verdrängungspumpen	Zahnradpumpen Schlauchpumpen Excenterschneckenpumpen Doppelschnecken-Extruder (Gegenläufer) Kolbenpumpen Drehkolbenpumpen
--------------------	--

Während Reibungspumpen die viskosen Eigenschaften, Haftung, Reibung ausnutzen, um eine Flüssigkeit gegen einen Druck zu fördern, bilden Verdrängungspumpen mehr oder weniger abgeschlossene Kammern, um das Medium zu transportieren.

Beide Pump-Prinzipien haben entsprechend ihrer Vor- und Nachteile ihre spezifischen Einsatzgebiete. Es hat sich mittlerweile gezeigt, dass gegenläufige Doppelschnecken-Extruder für die Kochextrusion ungeeignet sind, weil neben dem reinen Fördern von Material auch umfangreiche andere Anforderungen an den Prozess gestellt werden müssen, wie Mischen, Kneten, Erwärmen, Homogenisieren. Der gegenläufige Doppelschnecken-Extruder konnte sich nicht bewähren, obwohl er, wie die Zahradpumpe den Vorteil hat, nahezu unabhängig vom Düsengegendruck zu arbeiten und theoretisch beliebig hohe Drücke ohne Abhängigkeit von der Viskosität des Mediums aufbauen kann.

Für die Kochextrusion hat sich die Einleitung von Energie durch Scherung, durch Kneten als erforderlich erwiesen, speziell verbunden mit der Forderung nach einer möglichst gleichmäßigen Beanspruchung der Masse. Diese Forderung nach einer gleichmäßigen Energieeinleitung konnten konventionelle, insbesondere lange Einschnecken-Extruder weniger gut erfüllen, als gleichsinnig drehende Doppelschnecken-Extruder, speziell, wenn diese mit besonders geformten Knet-Elementen ausgerüstet waren.

Reibungspumpen sind generell abhängig von den Haft- und Reibungsbedingungen des zu fördernden Materials zwischen rotierenden und feststehenden Verfahrensteilen und somit von der Viskosität des Mediums. Je besser die Reibung des Materials an den feststehenden Teilen der Pumpe bzw. je geringer die Reibung an den rotierenden Teilen, desto ausgeprägter ist die Förderwirkung. Je tiefer die Gänge einer Schnecke geschnitten sind, desto größer wird zwar ihr Förderstrom, jedoch wird der aufzubauende Druck geringer und es findet eine ungenügende Umwälzung des Materials im Schneckengang statt, wodurch sich eine unterschiedliche thermische Beanspruchung der Masse ergibt.

Auf verschiedene Weise hat man versucht bei Reibungspumpen die Reibungsverhältnisse zu optimieren. So werden in Einschnecken Extrudern die Zylinder aufgeraucht, oft profiliert, in Doppelschnecken-Extrudern wirken die ineinander mehr oder weniger kämmenden Schnecken als Reibungsverstärker. Auch hier müssen aber immer ungleichmäßige Materialbelastungen an engen Scherspalt in Kauf genommen werden, welche man versucht, mit Knetelementen oder Lochplatten wieder zu egalisieren. Kennzeichnendes Merkmal von Kurzzeit-Einschnecken Extrudern ist, dass diese meist mit einem schraubenförmigen Profil im Extruderzylinder versehen werden. Dies hat auf den ersten Blick ähnlich reibungsverstärkende Wirkung wie beispielsweise Längsnuten, zusätzlich sind diese Profile jedoch förderwirksam, d.h. für den Fall, dass das Material stark an der Schnecke haftet und am Zylinder eher gleitet, wird trotzdem Material gefördert. Auf diese Weise können Kurzsnecken-Extruder auf der Schnecke und im Zylinder bei sehr kurzen Verfahrensteilen sehr hohe Drücke aufbauen.

Schaaf Technologie GmbH

Grundprinzip der SCHAAF HTUST war immer, mit der Schnecke möglichst hohe Drücke aufbauen zu können, Extruder um dann dieses hohe Druckpotential in frei konfigurierbaren statischen Strömungselementen (Stau- und Lochplatten) zum Mischen, Kneten, Homogenisieren zu nutzen, um schließlich Teige zu erhalten, welche nach Ausformung in Düsen ein gleichmäßig texturiertes Endprodukt ergeben.

Es ist bezeichnend, dass besonders die veröffentlichten Versuchsergebnisse mit gleichdrehenden Doppelschnecken-Extrudern eindrucksvoll beweisen, dass für Endprodukte guter Qualität ein möglichst hoher Anteil an mechanischer Energieeinleitung (weil, gleichmäßiger und die Rheologie des Teiges positiv beeinflussend) von Vorteil ist, wobei die Temperierung über die Zylinder-Segmente lediglich steuernden und regulierenden Einfluss hat.

Hiermit sind endlich frühere Versprechungen widerlegt, dass man auf Doppelschnecken-Extrudern einfach durch Heizen oder Kühlen von Zylinder-Segmenten beliebige Temperatur-Profile während des Prozesses erzeugen könne.

Bei SCHAAF HTUST-Maschinen wird konsequent ausschließlich durch mechanische Energieeinleitung Nutzwärme aufgebracht. Die Menge dieser ins Produkt gebrachten Wärme ist ausgezeichnet über das Verhältnis von Schneckendrehzahl zum Massestrom steuerbar.

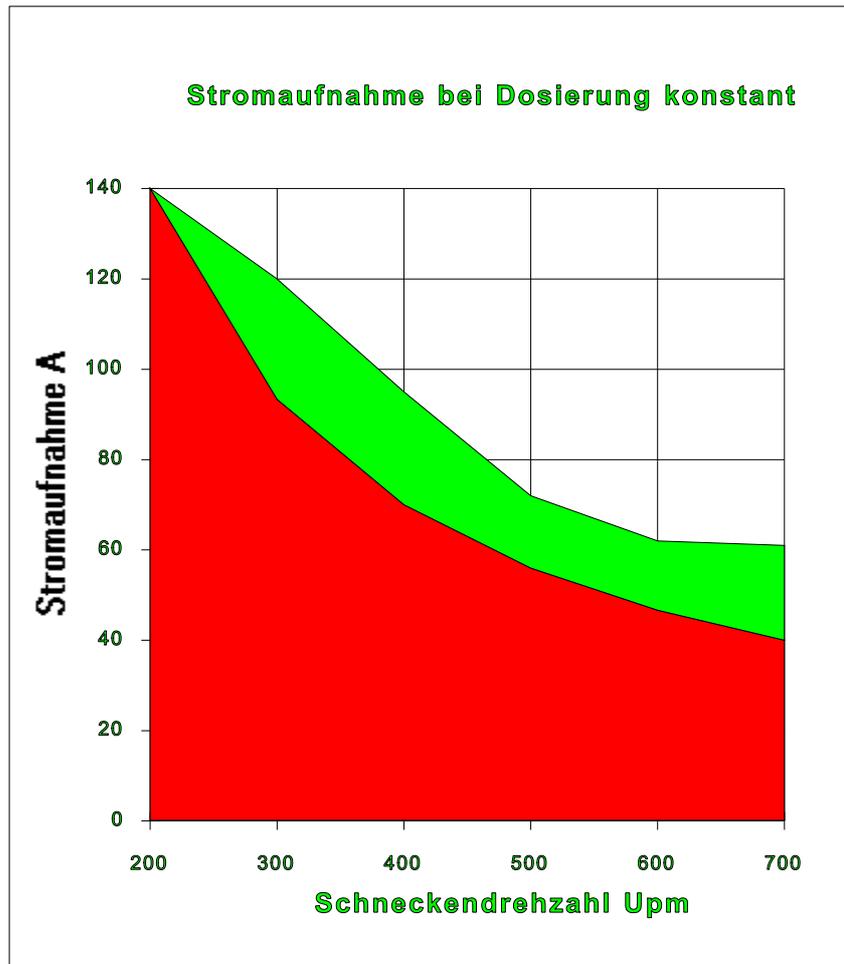


Abbildung 1 ohne TURBO

Abbildung 1 zeigt bei konstanter Dosiermenge von 200 kg/h den Zusammenhang zwischen der eingestellten Schnecken-Drehzahl und der Motor-Stromaufnahme, repräsentierend das Schnecken-Drehmoment.

Nach dem Zusammenhang:

$$\text{Leistung} = \text{Drehmoment} \times \text{Drehzahl}$$

müsste sich, wenn die ins Material eingebrachte Leistung konstant bliebe, bei doppelter Schneckendrehzahl exakt halbes Drehmoment einstellen (entsprechend der dunklen Kurve). Gemessen werden jedoch Werte entsprechend der helleren Kurve.

Aus den gemessenen Werten kann man sehr leicht die im Extruder dissipierte spezifische Energie pro Kilogramm Teig errechnen.

Nach Bereinigung der etwas höheren Verluste bei höheren Drehzahlen errechnen sich bei einer angenommenen spezifischen Wärmekapazität des Teiges von ca. 3,6 kJ/kg und einer Ausgangstemperatur von 20° C die auf der folgenden Grafik dargestellten resultierenden Teigtemperaturen.

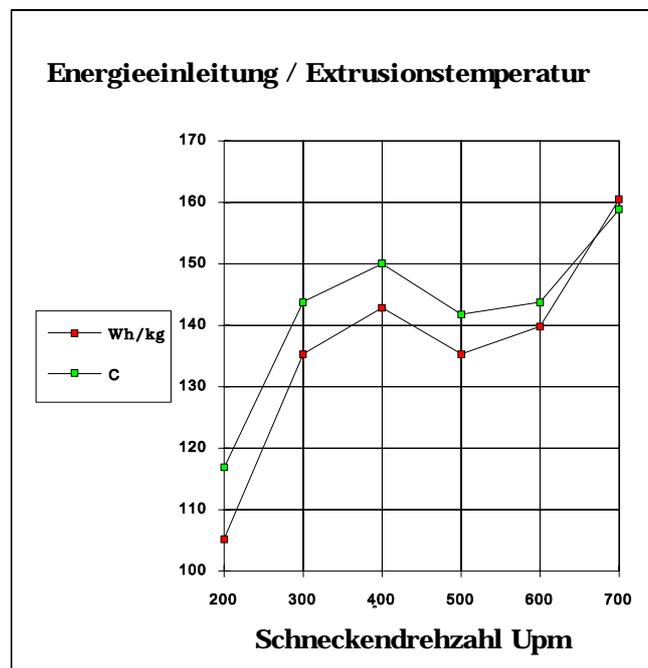


Abbildung 2 ohne TURBO

Es wird deutlich, dass ausschließlich durch Veränderung der Schneckendrehzahl bei konstanter Dosierung und ohne Veränderung der Produktfeuchte die Extrusionstemperatur im Bereich zwischen ca. 120° C und ca. 160° C eingestellt werden kann, und das bei einer extrem kurzen Reaktionszeit von nur ca. 4 Sek. Auffallend ist die eigenartige Form der beiden Kurven in Abbildung 2.

In der Tat bereitet dieser Effekt in der Praxis häufig Probleme und Überraschungen. Wenn zum Beispiel ein spezifiziertes Produkt von 140° C entweder bei niedriger Drehzahl von 280 Upm und hohem Drehmoment (Motorstrom 125 A) oder aber bei hoher Drehzahl (500 Upm) und niedrigem Drehmoment (Motorstrom 72 A) hergestellt werden kann, bei Einstellungen dazwischen jedoch nicht das erwünschte Produkt erhalten werden kann. Hier findet, das haben viele Versuche ergeben, eine Interaktion zwischen überwiegendem Schnecken-Transport zu überwiegendem Transport über den profilierten Zylinder statt. Dieser Effekt ist schwer vorherzubestimmen und macht reproduzierbare Leistungs-Optimierung häufig sehr schwierig. Korrigiert bzw. abgeschwächt werden kann dieser Effekt häufig nur durch eine andere Stau-Konfiguration. Häufig setzen sich diese Mischformen von Schnecken- und Statortransport bis zur Düse hin fort und unterschiedliche Temperaturen und Fließgeschwindigkeiten können zu ungleichmäßiger Formgebung führen.

Generell jedoch ist die Extrusionstemperatur in einem SCHAAF HTUST-Extruder auch ohne Veränderung des Durchsatzes und ohne Veränderung der Extrusionsfeuchte in einem weiten Bereich steuerbar.

Es wurde oben ausführlich geschildert, dass Reibungspumpen von den Haft- oder Reibungseigenschaften der verarbeiteten Rohstoffe abhängig sind. Dies gilt für alle Reibungspumpen, äußert sich jedoch in verstärktem Maße bei Maschinen mit sehr kurzen Verfahrensteilen.

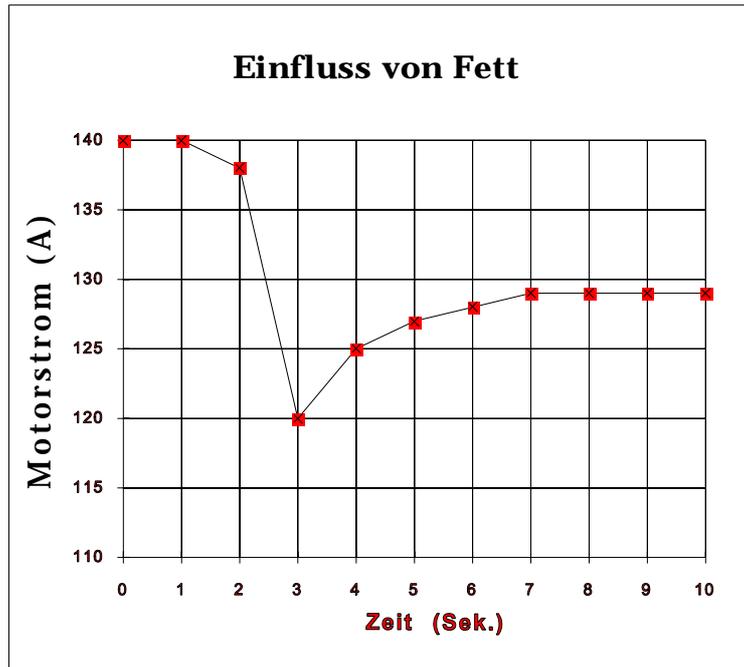


Abbildung 3 ohne TURBO

Abbildung 3 zeigt das Drehmoment-Verhalten bei Zugabe von ca. 3 % Fett zu einer Getreidemischung zum Zeitpunkt (1). Wie zu erwarten, bildet das Fett Schlieren, welche die Reibung im System stark beeinflussen und reduziert die Viskosität des Teiges. Bei konstanter Drehzahl der Schnecke und konstanter Einspeisemenge bedeutet das ein erhebliches Defizit an Energieeinleitung, wodurch sich auch ein der Kurve in Abbildung 3 ähnliches Temperatur-Profil einstellt. Durch Anheben der Schneckendrehzahl kann dieses Energiedefizit u.U. zwar ausgeglichen werden, oft müssen jedoch die Stauverhältnisse verändert werden. Bei Fettgehalten höher als 5 % sind längere Verfahrenslängen unumgänglich.

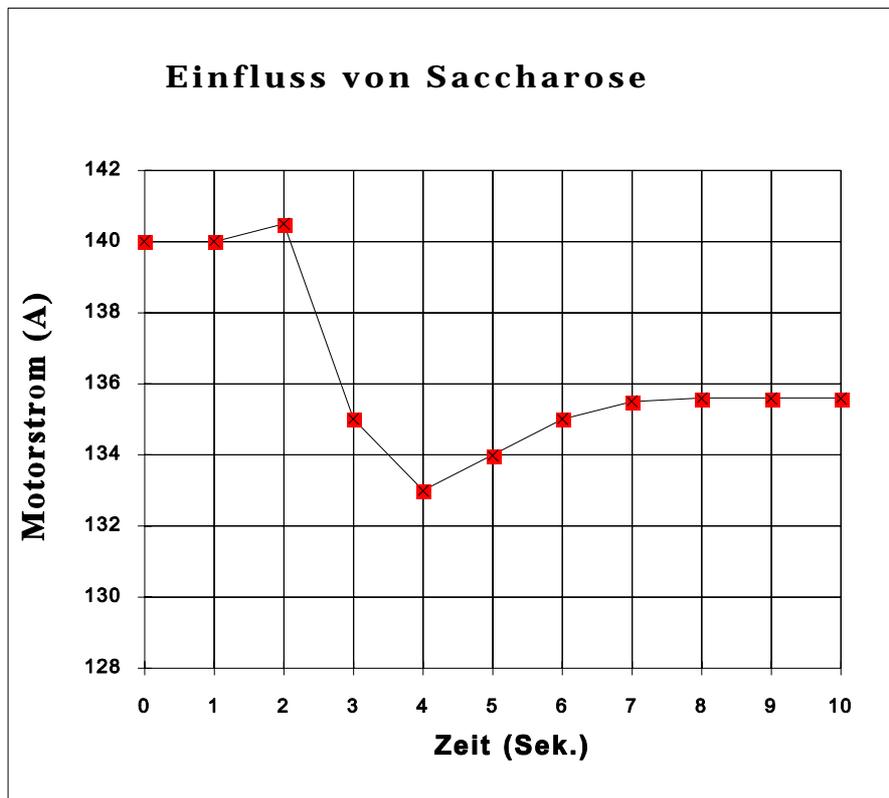


Abbildung 4 ohne TURBO

Ähnlich, wenn auch abgeschwächt, ist das Verhalten bei Zugabe von Zucker. Um Missverständnissen vorzubeugen: Ein SCHAAF HTUST-Extruder kann mit reinem Kristallzucker betrieben werden, resultierend in einer teilverflüssigten Zuckermasse, die aus der Maschine austritt, jedoch ist das kein expandiertes, knuspriges Snacks- oder Cerealien-Produkt.

Bei Abbildung 4 wurde zum Zeitpunkt (1) 10 % Zucker einer Cerealienmischung hinzugegeben. Der Temperatur-Abfall ist hier zwar nicht so ausgeprägt wie bei der Zugabe von Fett, aber dennoch markant.

Was nun ist der TURBO und was bewirkt er?

Der TURBO ist eine spezielle Reibungspumpe, welche entweder in Kombination mit einer Schneckenmaschine oder aber als eigenständiger Kochextruder ausgeführt wird.

Das Prinzip des TURBOS ist, wie so vieles, uralte und jeder Hausfrau bekannt. Die gute alte Apfelmuspresse zeigt die Wirkung dieser speziellen Reibungspumpe am anschaulichsten:

Über ein Sieb oder ein perforiertes Blech wird ein zur Sieb- oder Lochblechoberfläche in einem Winkel von kleiner 90° stehendes Blech geführt. Durch die Keilwirkung des sich entgegen der Bewegungsrichtung verengenden Raumes wird in Verbindung mit der Reibung des Produkts am Sieb oder Lochblech ein Druck erzeugt, der das Material durch die Bohrungen bzw. das Sieb drückt. Nach dem gleichen Prinzip funktioniert auch eine andere Ausführung, bei welcher ein rotierender Körper, welcher in seiner Form der Sieb- bzw. Lochblechoberfläche angepasst ist, rotierend über die Bohrungen geführt wird. Dabei wird, wie bei einer Dampfwalze, Druck erzeugt und das Material durch die Bohrungen bzw. durch das Sieb gepresst.

Eine weitere bekannte Anwendung dieses Prinzips sind Futtermittel-Pellets-Pressen, bei denen meist Rollen verwendet werden. Von diesen Pressen ist bekannt, dass sie in der Lage sind, sehr hohe Drücke aufzubauen. Im Folgenden wollen wir Vorrichtungen, die dieses Pump-Prinzip nutzen, Spachtelpumpen nennen, welche mindestens aus einer Lochplatte und einem dicht darüberstreichenden oder rollenden Element bestehen, das in der Lage ist, sich verengende Räume zur Lochplatte zu bilden und auf diese Weise das Material durch die Lochplatte zu fördern.

Es ist seit langem bekannt, dass spachtelförmig ausgestaltete Schneckenenden positive Wirkung auf den Extrusionsprozess haben. Waren so gestaltete Schneckenenden schon immer bei Schaaf Extrudern üblich, so sind sie in den letzten Jahren immer häufiger auch bei Wettbewerbern zu finden.

Wenn solche spachtelförmig gestalteten Schneckenenden über Lochplatten streichen, sind sie in der Lage sehr hohe Drücke aufzubauen, jedoch bei einem sehr geringen Förderstrom.

Die Gestaltung solcher Spachtelpumpen am Ende einer Schnecke ist geometrisch an den Schneckendurchmesser gebunden, d.h. die Spachtelfläche konnte nicht größer sein als maximal der Schneckenquerschnitt. Wenn in Ausnahmefällen der Spachtelkopf größer als der Schneckendurchmesser gefertigt wurde, dann wurde die Spachtelfläche durch den Kerndurchmesser der Schnecke verringert. Aus diesen konstruktionsbedingten Umständen

waren die bisher verwendeten Spachtelstufen, welche zudem an die Schneckendrehzahl gekoppelt waren, nur in der Lage relativ zur Schneckenförderung kleine Volumina zu fördern und somit in Kombination mit der Schnecke bei normalen Betriebsbedingungen nahezu bedeutungslos. Sie wurden vom Material, das die Schnecke förderte, "überfahren".

Die Fähigkeiten dieses Pump-Prinzips blieben also auf solche Extremsituationen beschränkt, in denen die Extruderschnecke nicht mehr in der Lage war, eine ausreichende Förderung zu gewährleisten. Dies geschah beispielsweise durch eine Verstopfung des Düsensystems und damit verbundenem hohen Druckanstieg oder aber, wenn nach einem Stromausfall sich in der Düse oder den Staulementen befindliches Material stark verfestigte und sehr hohen Druck beim Wiederaufahren verursachte.

Betrachten wir nun die Funktionen einer Pellets-Pressen, die ja auch das Prinzip der Spachtelpumpe enthält. Die Aufgabe ist hierbei, die verschiedenartigsten Feststoffe zu zusammenhängenden Granulaten zu verdichten, um auf diese Weise deren Handhabung, Schüttvolumen, Rieselfähigkeit etc. zu verbessern. Die Fachleute auf diesem Gebiet haben umfangreiches Know-how, den Prozess dabei so zu gestalten, dass Produkte mit den gewünschten Eigenschaften entstehen. Die beim Pressen der häufig sehr faserhaltigen Rohstoffe entstehenden Kräfte sind sehr hoch. Drehzahlen und Einspeisemengen müssen so gewählt werden, dass keine Überlastungen und Beschädigungen auftreten. Die beim Pressen erzeugte Wärme muss kontrolliert werden, weil die Temperatur u.a. starken Einfluss auf die Dichte der hergestellten Pellets hat. Die Rohstoffe besitzen vor, während und nach dem Pressen im Wesentlichen Feststoff-Charakter. Unter keinen Umständen darf es bei dieser Anwendung passieren, dass der freie Ablauf der Presslinge gestört wird, etwa durch Verstopfen des Produkt-Auslaufs. Wenn das passiert, werden unzulässig hohe Drücke erzeugt und die Anlage muss abgeschaltet werden. Auch bei Verfahren, bei welchen der Pressvorgang mehrfach durchgeführt wird, also in mehreren Stufen gepresst wird, muss unbedingt sichergestellt werden, dass die zweite Pressvorrichtung einen größeren Durchsatz hat als die erste, um eine Überfüllung, d.h. Verstopfung der Pressen zu verhindern.

Die obigen Betrachtungen machen die Unterschiede zur Verwendung des Spachtelpumpen-Prinzips bei der Kochextrusion deutlich:

- ⊄ Ziel der Kochextrusion ist immer ein plastifiziertes, im wesentlichen fluides Material (auch wenn es u.U. erwünscht ist, Feststoffe wie Nussstücke oder Samen in der Masse zu erhalten)
- ⊄ An der Ausgangsseite der Spachtelpumpe muss immer ein Druck aufrechterhalten werden. Dies kann direkt die Düse sein, jedoch auch eine weitere Spachtelpumpe, um den Nutzdruk weiter zu erhöhen.

Welchen Nutzen hat nun die Anwendung des Spachtelpumpen-Prinzips bei der Kochextrusion?

Setzt man eine geeignet gestaltete und dimensionierte Spachtelpumpe, die wir in diesem Falle TURBO nennen, bei einem Lebensmittel-Extruder zwischen Schnecke und Düse (im folgenden soll konkret der SCHAAF HTUST-Extruder mit 92,5 mm Schneckendurchmesser und 210 mm wirksamer Schneckenlänge betrachtet werden) ein und treibt sie im einfachsten Falle durch die Schneckenwelle an, dann kann man eine Fülle von sehr unterschiedlichen, sogar separat betrachtet aber sehr wirksamen und wichtigen Effekten beobachten.

Betrachten wir gleich zu Beginn den wichtigsten Effekt: die **Leistung**.

Beispiel 1 Erdnuss-Flips aus Mais

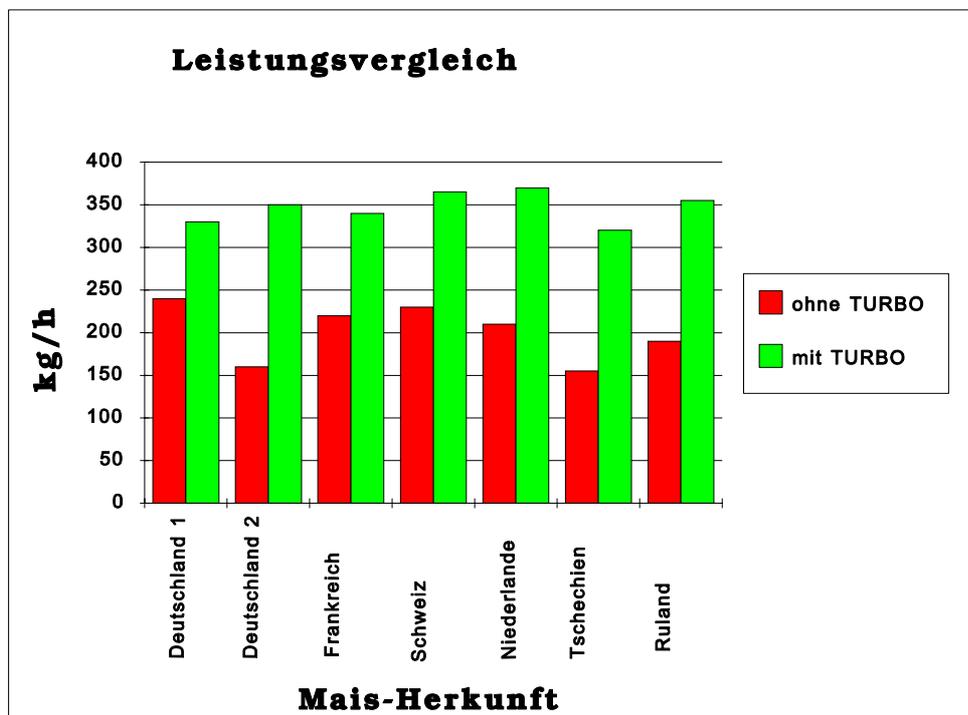


Abbildung 5

unter Verwendung von verschiedenen Mais-Sorten aus Deutschland, Frankreich, Niederlande, Schweiz, Tschechien und Russland.

Es wurde versucht, mit den verschiedenen Rohstoffen maximale Leistung bei guter Produkt-Qualität zu erreichen. Dabei wurden "gut eingefahrene" Werkzeuge verwendet (Schnecke 91,7 mm, Stator 93,3 mm). Bei den Versuchen ohne TURBO wurde die Leistungsgrenze entweder durch ungleichmäßige Form (kurze und lange Flips) oder aber durch ungleichmäßige Textur (innen/außen) erreicht. Die Leistungsgrenzen wurden bei den Versuchen mit TURBO entweder durch Änderungen der Flips-Durchmesser oder durch Überschreitung der Leistung der Dosierung bzw. des Extrudermotors erreicht. Die Produkte mit TURBO waren auch bei Maximal-Leistung noch gleichmäßig in der Länge und von gleichmäßiger Textur.

Einige weitere Beispiele von Leistungssteigerungen bei verschiedenen Produkten:

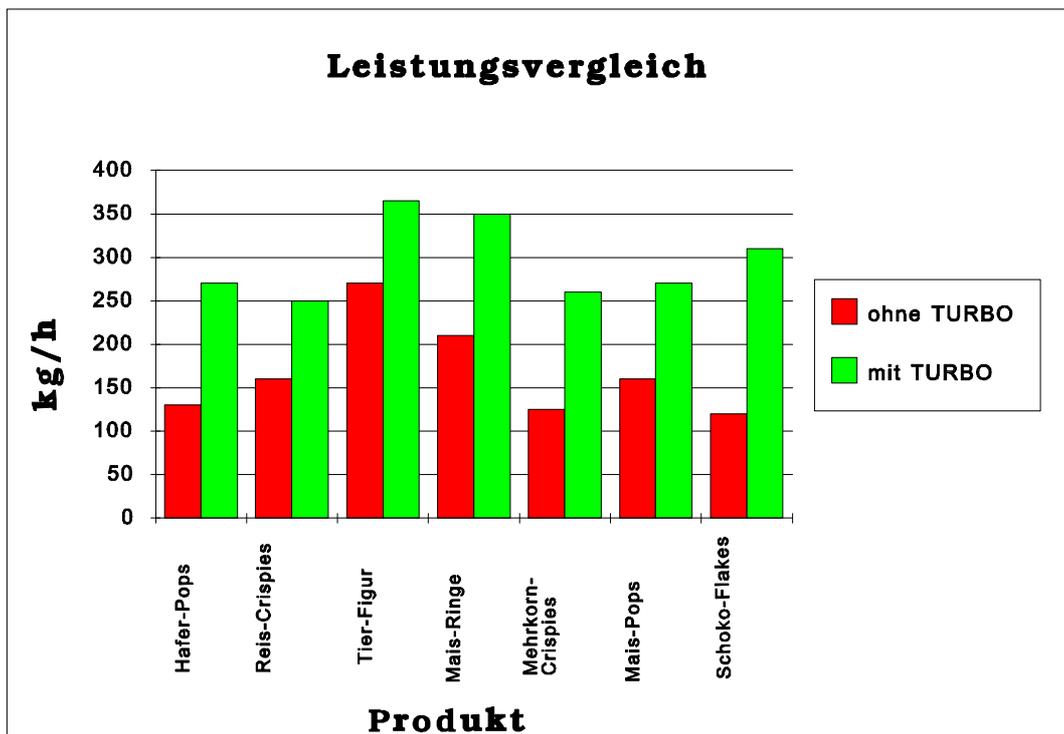


Abbildung 6

Bevor wir versuchen Ursachen zu ergründen für das überraschend positive Verhalten des TURBOS, hier einige Angaben zur Gestaltung des bei den meisten obigen Leistungsversuchens verwendeten Vorrichtung:

Eine Viergang-Schnecke bekannter Bauart mit üblichem Schneckenprofil wurde an der Stirnfläche um einen Adapter erweitert, welcher durch die erste Stauplatte, die sich wie üblich vor der spachtelförmigen Schneckenstirnfläche befindet, hindurchgeführt wird und das Spachtelement aufnimmt. Dieses überstreicht eine zweite Stauplatte und bildet damit die zweite Spachtelstufe. Die üblichen Düsenplatten schließen das System ab. Die beiden Stauplatten bilden eine Spachtelkammer, in welcher das Spachtelement rotiert. Das Spachtelement mit kreisförmigem Querschnitt ist nur geringfügig dünner, als der durch die zwei Stauplatten gebildete Spachtelraum. Durch die Dicke der Lochplatten, die Anzahl und die Größe der Bohrungen können die Druckverhältnisse gezielt beeinflusst werden. Die Art der konischen Erweiterung der Bohrungen zum Spachtelement hin beeinflusst die Haftung/Reibung der Masse an der Lochplatten-Oberfläche und somit deren Förder-Charakteristik.

Führt man Versuche durch, indem man beispielsweise ein wie oben gestaltetes Spachtelement in einem von zwei Lochplatten gebildeten Raum rotieren lässt, der erheblich breiter ist als das Spachtelement, oder indem man einen beliebig gestalteten Rührer in einem Zwischenraum zwischen Schnecke oder rückseitiger Lochplatte und Düse rotieren lässt, stellt man zwar eine Verbesserung der Homogenisierung fest, aber bei weitem keine vergleichbare Leistungssteigerung oder etwa eine so bemerkenswerte Linearisierung und Reproduzierbarkeit des Prozessverhaltens:

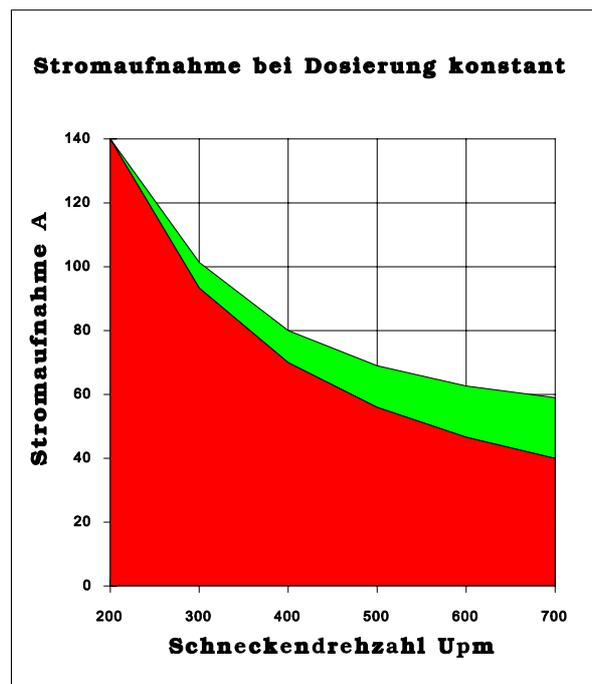


Abbildung 7: mit TURBO

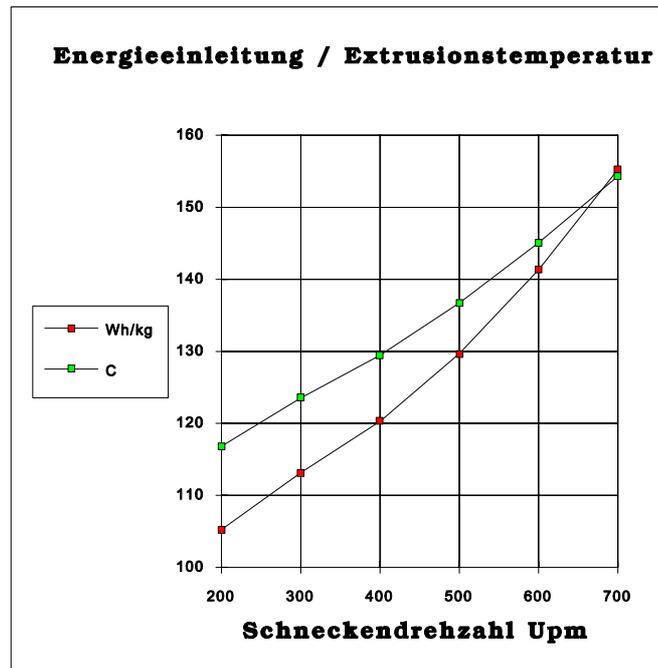


Abbildung 8 mit TURBO

Vergleicht man speziell Abbildung 8 mit Abbildung 2 so wird deutlich, wie essentiell der TURBO das Prozessverhalten linearisiert, somit berechenbar macht und die Steuerbarkeit der Maschine erheblich verbessert. Dies hat direkten Einfluss auf die Produktqualität und deren zuverlässigen Reproduktion im Alltag.

Betrachten wir nun den Einfluss von Fett und Zucker bei Verwendung des TURBOS, so erkennen wir einen weiteren Grund für die erhebliche Leistungssteigerung auch bei in ihrer Zusammensetzung stark schwankenden Rohstoffen.

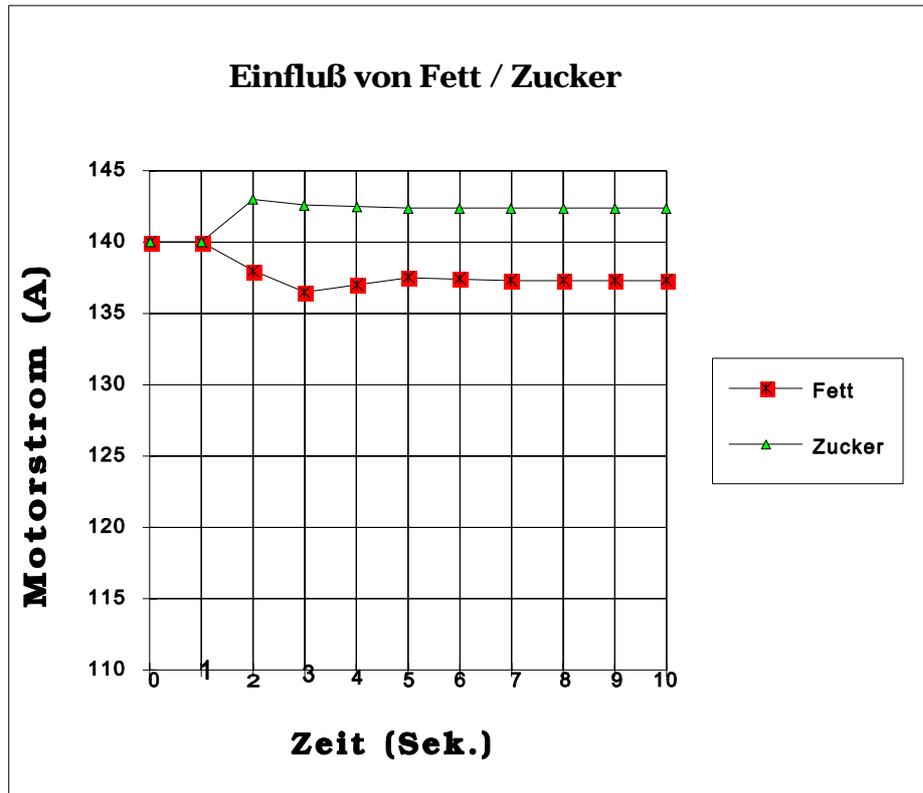


Abbildung 9

Die Versuchsbedingungen sind identisch mit den Versuchen ohne TURBO entsprechend Abbildung 3 und Abbildung 4. Die Zugabe von 3 % Fett zeigt nur einen sehr geringen Einfluss auf die Energieeinleitung und damit auf die Extrusionstemperatur. Die Zugabe von 10 % Zucker ergibt überraschenderweise sogar eine höhere Energie-Einleitung.

Die Versuche haben gezeigt, dass Fettgehalte bis 10 % ohne Verfahrensteilverlängerung zufriedenstellende Expansionsergebnisse brachten, während Zuckeranteile bis 40 % in Getreidemischungen noch knusprige Cerealien ergaben.

Bei mehrstufigen TURBO-Ausführungen sind die Grenzen der Zucker- bzw. Fettgehalte nicht mehr Grenzen der Transportfähigkeiten bzw. der Reibung, sondern es ist vielmehr die Teigelastizität, welche die Expansion begrenzt.

Trotz umfangreichen Erfahrungen und Know-how in der Düsenherstellung im Hause SCHAAF ist es bisher nur unvollkommen gelungen, mehrere komplexe Düsenöffnungen auf einer Düsenplatte unterzubringen ohne gravierende Nachteile bei der Formgebung zu erhalten. Die laminaren Strömungsverhältnisse von der Schnecke zur Düse und bereits sehr geringe Temperaturunterschiede bewirken unterschiedlichen Fluss in den Außen- oder Innenbereichen der Düsenöffnung und somit ungleichmäßige Formgebung. Sehr häufig wird von Anwendern der Wunsch geäußert, mehrere verschiedenartige Figuren auf einem Düsensystem unterzubringen, um mit nur einem Extruder eine Mischung von Formen herstellen zu können.

Die komplizierten, geschichteten Strömungsverhältnisse konnten dabei auch durch ausgeklügelte Stau- und Strömungselemente nicht aufgelöst werden, weshalb es bisher nicht gelungen ist, multiple Formen gleichzeitig in guter Ausformungsqualität herzustellen. Selbst, wenn es gelang, unter ganz bestimmten Betriebsbedingungen und einer definierten Produktionsleistung befriedigende Ergebnisse zu erhalten, so genügten bereits geringfügige Schwankungen im Durchsatz oder im Rohstoffverhalten, um die Symmetrie der Figuren zu zerstören.

Es wurden Tests gefahren mit einer Vierfach-Ringdüse. Selbst bei wechselnden Durchsätzen wurden bei Schnittlängen bis zu 30 mm noch gleichmäßig dicke Ringe erhalten. Diese Ergebnisse zeigen, wie gleichmäßig und homogen einerseits die Energieverteilung im Teig erfolgt und welchen Einfluss der TURBO auf stabile Strömungsverhältnisse in der Düse hat.

Bei allen mit dem TURBO hergestellten Produkten ist eine sehr homogene Textur und gleichmäßige Porung zu bemerken, die bisher besonders bei höheren Leistungen nur schwer zu erhalten war.

Wie sind solche phantastischen Ergebnisse zu erklären, auf welchen physikalischen Grundsätzen beruht die Wirksamkeit des TURBOS bereits in einer sehr elementaren, einfachen Form?

Es wurden in den vergangenen Monaten sehr viele Vergleichsversuche durchgeführt, immer und immer wieder das neue Verfahrensprinzip dem bisher üblichen gegenüberstellend. War es noch recht einfach erklärbar, dass extrem schräg, also förderwirksam angestellte Spachtelflächen auch entsprechenden Einfluss auf den Durchsatz haben, so mussten doch Erklärungen dafür gefunden werden, weshalb die einfache runde Form in solcher Weise den Prozess beeinflusste.

Betrieibt man eine konventionelle Viergangschnecke mit einem Düsensystem, welches hohen Druck erfordert, dann erreicht man auch bei engen Werkzeugtoleranzen (Schnecke 92,3 mm, Stator 92,9 mm) recht schnell die Leistungsgrenze, d.h. die maximale Förderleistung der Schnecke, beim Referenzversuch bereits bei einem Schneckendrehmoment gemessen als 90 A Motorstrom und einer Durchsatzleistung von ca. 150 kg/h bei einer Schneckendrehzahl von 450 Upm.

Führt man den gleichen Versuch mit dem oben beschriebenen TURBO durch, mit gleicher Düse, Rohstoff und Drehzahl, so erreicht man die Stromgrenze des Hauptantriebes bei 145 A und einer Leistung von 232 kg/h. Der höhere Durchsatz von 232 kg/h muss einen höheren Druck erzeugen als beim Durchsatz von 150 kg/h, dennoch kann dieser höhere Druck offenbar überwunden werden ohne an die Fördergrenzen des Systems zu stoßen und das bei einem Durchmesser der "Turboschnecke" von 91,5 mm und einem Stator-Maß von 93,3 mm.

Noch eindrucksvoller sind Testreihen mit einer Schnecke, welche nach ca. 2000 Produktionsstunden ein Maß von 91,2 mm hatte und nicht mehr für Produktionszwecke einsetzbar war. Diese Schnecke wurde auf exakt 90,0 mm weiter "künstlich" verschlissen, mit einem TURBO ausgerüstet und zusammen mit einem Stator von 93,3 mm eingesetzt. Dabei herrschte ein Spalt zwischen Schnecke und Stator von rundum 1,6 mm!!!

Ein Zustand also, bei dem ohne TURBO keinesfalls mehr wirtschaftlich produziert werden kann. Mit dieser Konfiguration wurden mit einer Flipsdüse mit 24 Bohrungen à 2,8 mm Durchmesser noch 300 kg/h Leistung bei sehr guter Produktqualität erreicht. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Toleranzen zwischen Schnecke und Stator, welche in der Vergangenheit eine große Bedeutung für Qualität und Ausstoß der Produkte hatten durch den TURBO zu einer vernachlässigbaren Größe werden könnten, bedenkt man das Potential weiterer Optimierung, z.B. durch tiefer geschnittene Schneckengänge.

Der Schlüssel in der Fördercharakteristik des TURBOS in der einfachen, runden Form des Spachtelements, von dem selbst ein Fachmann nur schwer irgendeine Pumpwirkung erwarten würde, liegt offensichtlich im Wasser. Viele Irrwege wären in der Vergangenheit den Verfahrens-Ingenieuren und Gelehrten, die von der Kunststoff-Extrusion zum Gebiet der Biopolymere vorstießen, erspart geblieben, hätten sie konsequenter bedacht, dass Wasser ein recht interessanter Stoff ist, und nicht nur deshalb, weil er im Kunststoff-Bereich keine Rolle spielt. Wasser siedet bekanntlich bei ca. 100°C und seine Siedetemperatur ist abhängig vom Druck.

Kochextrusion ist ohne Wasser unvorstellbar, selbst wenn es nur in geringen Mengen vorhanden ist, dominiert es die gesamte Thermodynamik des Kochextrusionsprozesses. Wasser ist verantwortlich für den größten Teil der gesamten Energiebilanz, beeinflusst es doch erheblich die spezifische Wärmekapazität der Rohstoffe und damit die Energiemenge, die schon netto zur Erwärmung des Teiges benötigt wird. Wasser ist Träger der wichtigsten Energieübertragungs- und -verteilprozesse im Extruder und schließlich ist es das Wasser, welches durch heftiges Verdampfen an der Düse unsere Produkte expandiert und damit genießbar macht.

Wasser ist in der Lage, spontan dem Teig verschiedene Temperaturen "aufzuzwingen", indem es entweder verdampft oder kondensiert, je nachdem welcher Druck gerade herrscht.

Wenn unser Spachtelement sich nun in der Spachtelkammer dreht und diese entsprechend gestaltet ist, dann bedarf es keiner besonderen Phantasie, sich vorzustellen, dass sich in Drehrichtung vor dem Spachtelement eine Zone hohen Druckes und hinter dem Spachtel eine niedrigen Druckes befindet. Wenn nun unser Teig bei einer Temperatur von beispielsweise 140° C sich in der Zone niedrigen Druckes befindet, und der Druck dort unter ca. 3,5 bar ist, verdampft das Wasser, der Teig vergrößert sein Volumen. In diesem Zustand (eine Mischung von Dampfblasen und Flüssigkeit) hat der Teig eine erheblich höhere Viskosität als in rein flüssiger Form, setzt also dem herannahenden Spachtel einen hohen Widerstand entgegen, wodurch Druck aufgebaut wird, das Wasser kondensiert, die Kondensationswärme heizt den Teig erneut auf usw.

Der Teig auf der Hochdruckseite des Spachtelements besitzt niedrigere Viskosität, als auf der Niederdruckseite.

Der Teig auf der Hochdruckseite wird durch die Lochplatte gedrückt, von wo er natürlich das Bestreben hat, wiederum auf die Niederdruckseite des Spachtelementes zu strömen. Er hat auf dem Weg durch die Lochplatte eine gehörige Portion Wärme mitbekommen, ist heißer geworden und beabsichtigt natürlich umgehend wieder durch die Lochplatte zur Zone niedrigen Druckes hinter das Spachtelement zu strömen, wenn sich dort nicht kälteres Material mit höherer Viskosität befände, zum einen weil es kälter ist, zum anderen weil es auch noch expandiert ist. Es bleibt also kein anderer Ausweg als in Richtung Düse. Der durch das Spachtelement hervorgerufene ständige Wechsel von sehr hohen Drücken und niedrigen Drücken unterhalb des Siedepunktes bewirkt enorme Homogenisierereffekte im Teig, bewerkstelligt extrem effektiven Energieaustausch, verhindert so Partial-Überhitzungen und bildet vermutlich die wesentliche Basis für das überraschend gute Pumpverhalten der Spachtelstufe.

Durch die ständig abfolgende Expansion und Kompression wird der Wärmetransport innerhalb des Systems erheblich verbessert und schließlich werden die Fließeigenschaften des Biopolymer-Teiges positiv beeinflusst. Durch Veränderung der Schneckendrehzahl bei gleichem Durchsatz wird die Anzahl der energiedissipierenden Expansions- und Kompressionsvorgänge pro Teigeinheit vergrößert und dadurch nahezu linear in höhere Teigtemperatur umgesetzt.

Das positive Wirken des Wassers in der oben beschriebenen Weise kann sehr einfach nachgewiesen werden, indem man einen so hohen Düsendruck erzeugt, dass der durch das Spachtelement erzeugte Differenzdruck auf der Niederdruckseite ein Verdampfen von Wasser nicht mehr zulässt, wodurch ein wesentlicher Teil der positiven Effekte verschwindet.

Am Beispiel der recht einfachen, zweistufigen Ausführungsform des TURBOS konnten bereits viele überraschende Vorteile nachgewiesen werden.

Die Forschung und Entwicklung in der Biopolymer Kochextrusion sind mit ziemlicher Sicherheit um einen Meilenstein bereichert worden. Die Weiterentwicklung der Technologie lässt noch auf viele überraschende Erkenntnisse und Verfahren gespannt sein. Wir stehen erst am Anfang von faszinierend erscheinenden Möglichkeiten, von denen viele sich bereits in der kurzen Zeit der bisherigen Arbeiten in der Praxis bewährt haben. Hier noch einmal eine Zusammenfassung der heute bereits nachgewiesenen Vorteile der TURBO-Technik:

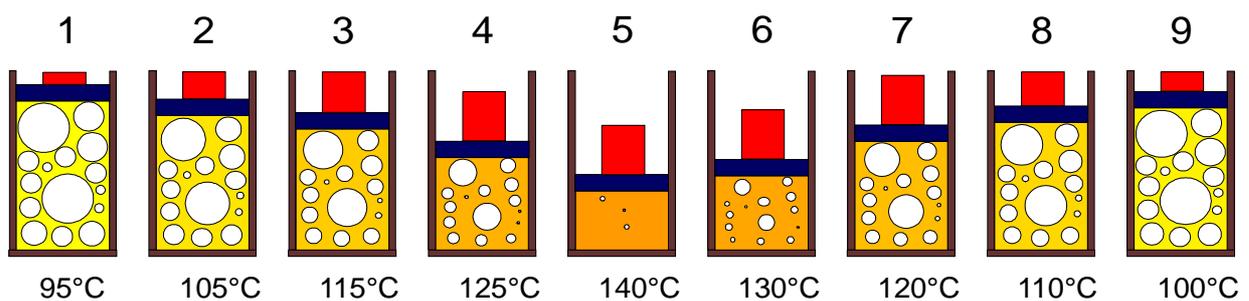
- € um bis zu 100 % höhere Leistung
- € bessere Produktqualität durch gleichmäßigere Strömung und gleichmäßigere Textur
- € hervorragende Prozess-Steuerungsmöglichkeiten
- € sehr einfache Handhabung der Teile
- € preiswerte Werkzeuge
- € erhebliche Reduktion der Verschleißteil-Kosten
- € Unempfindlichkeit gegen Rohstoffschwankungen
- € erheblich größere Freiheit in der Rezeptur-Gestaltung
- € Energie-Einsparungen bei Gleichstromantrieben
- € besseres Einzugsverhalten mehlformiger Rohstoffe.

Alle bisherigen Ausführungen bezogen sich auf die HTUST-Extrusion, d.h. die Herstellung direktexpandierter Produkte. Für Kochextruder und Former zur Herstellung von Pellets liegen noch keine ausführlichen Versuchsergebnisse vor. Die bisherigen Ergebnisse zeigen jedoch, dass es mit Hilfe der TURBO-Technik möglich ist, auch hier völlig neuartige Wege zu gehen und wesentlich gezielter die Ausbildung bestimmter Teigeigenschaften zu steuern.

Die Schergeschwindigkeitsverteilung ist bei der Extrusion von Pellets-Produkten sehr wichtig; hier sind erhebliche Verbesserungen gegenüber konventionellen Extrudern zu erwarten. Auch ist abzusehen, dass hohe Drücke beispielsweise in Formern bei niedrigerer Energie-Einleitung durch Spachtelextruder zu erreichen sind und schließlich deutet alles darauf hin, dass der Spachtelextruder die ideale Maschine für kaltgepresste Produkte zu werden scheint.

Folgende (stark vereinfachte) Illustration soll die Zusammenhänge zwischen Temperatur und Druck des Teiges bei der Kompression und der Dekompression vor und hinter dem Spachtel-Flügel verdeutlichen.

Man stelle sich einen Zylinder vor, in welchem durch einen Kolben wechselnde Drücke erzeugt werden:



Im Extruder bestimmt die Schneckendrehzahl die Anzahl der Kompressions- und Dekompressionszyklen, denen der Teig während der Passage durch den Extruder unterworfen wird, und somit dessen Temperatur.

Bei jedem Kompressionsvorgang wird Energie in den Teig eingebracht.

Je öfter der Teig komprimiert und wieder dekompriert wird, desto höher steigt seine Temperatur.

Da jedem Teigteilchen, unabhängig wie heiß es ist, beim nächstfolgenden Dekompressionsvorgang eine dem Druck entsprechende Temperatur aufgezwungen wird (durch Entzug der Verdampfungsenergie), ist es nahezu ausgeschlossen, dass Überhitzungen auftreten, deren Dauer die eines einzigen Zyklus überschreitet.