

Wolfgang Renner
Gimbacher Weg 34
D-65779 Kelkheim
Homepage: www.institut-wolfgang-renner.de

Privatlehrer für
Naturwissenschaften

Kelkheim den 8. März 2006

Telefon:
06195 4161

E-Mail: institut-w.renner@t-online.de

An: **Gabler GmbH** **Nobelstraße 16 A** **D-76275 Ettlingen**
 Linden GmbH **Hauptstraße 123** **D-51709 Marienheide**
 Coperion AG **Höhenrainstraße 10** **CH-4133 Pratteln**

Betrifft: **Konzeptstudie für eine Bubble Gum Produktionsanlage**

Zusammenfassung

Mit dem Ziel eine wachstumsorientierte Süßwarenfirma als Kooperationspartner zur Realisierung eines premium Bubble Gums finden zu können, betreibe ich seid geraumer Zeit eine technisch orientierte Konzeptstudie. Im Rahmen einer aktuellen Bewerbungsoffensive möchte ich eine Produktionsanlage komplett durchkalkulieren können. Viele technische und auch preisliche Fragen sind noch ungeklärt. Insbesondere interessiert mich gegenwärtig, ob man mit einer Chargenknet-Anlage die Gumbase-Produktion als Vorstufe problemlos integrieren kann. Des weiteren möchte ich eine durchkalkulierte Gegenüberstellung vom Chargenknet Prozeß zum kontinuierlichen Buss Extruder Prozeß ausarbeiten. Dieser Extruder Prozeß wirkt sehr modern und interessant. Daher möchte ich insbesondere auch die Firma Coperion Buss um weitreichende technische und preisliche Informationen bitten.

Sehr geehrte Firma Gabler, Linden und Coperion Buss,

Sie haben mir in den vergangenen Jahren mit Informationen zur Seite gestanden. Gerade habe ich wieder Kontakt zu Süßwarenfirmen aufgenommen, um meinen unerfüllten Bubble Gum Traum nicht in der Schublade verstauben zu lassen. Dabei habe ich mich vertiefend mit dem Thema beschäftigt und es sind viele ungeklärte Fragen aufgetaucht. Vielleicht können Sie mir weitergehende und detailliertere Informationen zukommen lassen. Um Kosten und Aufwand zu sparen, wäre die Zusendung per E-Mail von PDF-Dateien ausreichend. Es besteht keine Eile und es kann in einem formlosen Stil geschehen. Wichtig ist der Informationsgehalt. Der gibt mir die Kompetenz für weitere Gespräche mit Süßwarenfirmen, die ich gewinnen möchte. Eine eigenständige Unternehmertätigkeit kann ich mir gegenwärtig nicht vorstellen.

1 Zu den Gabler Unterlagen

Die Firma Gabler ist ein Spezialist für Kaugummiproduktionsanlagen. Vor einigen Tagen bekam ich umfangreichere Unterlagen per E-Mail. Vielen Dank ! Ich habe diese Informationen auch rechnerisch durchgearbeitet und dabei vertieftes Verständnis erreicht. Es sind dabei jedoch auch viele neue Fragen entstanden, die ich nun diskutieren werde. Dabei möchte ich zunehmende Klarheit gewinnen, wie der Produktionsablauf eines premium Bubble Gum wäre, so wie ich ihn mir wünschen würde. Mit dem sich immer weiter schließenden Konzept könnte ich weiter einen Kooperationspartner suchen.

1.1 Wärmeschrank V500

Der Wärmeschrank V500 dient zur Vorwärmung von Gumbase in Plattenform, die in dieser Form von Gumbase-Produzenten als Vorprodukt geliefert wird. Ich möchte das Gumbase-Mischen, aufgrund von Qualitäts- und Kostengründen, selber realisieren können. Ein solcher Plattenwärmeschrank macht dabei keinen Sinn. Jedoch wäre an eine begehbare Wärmekammer für Rollwagen mit Gumbase zu denken.

Wärmeschrank V500,	Preis:	18.170 Euro
30 Alubleche mit 460 * 900 mm,	Füllkapazität:	500 Kg
Typische Aufwärmzeit: 4 Stunden,	Leergewicht:	480 Kg
Heizleistung: 9,0 KW,	Arbeitstemperatur:	30 - 110 Grad
Ventilatorleistung: 1,1 KW,		
Leistungsaufnahme: 10,7 KW,	Gehäusemaß:	1670 * 2300 * 1200 mm

Als maximale Aufwärmkapazität werden folgende Daten angegeben: Temperaturdifferenz $\Delta T = 40^\circ\text{C}$, Zeitdauer $\Delta t = 2\text{ h}$ und Lademasse $m = 500\text{ Kg}$. Daraus ergibt sich die spezifische Wärmekapazität von Gumbase zu:

$$C = \frac{\Delta E}{m \cdot \Delta T} = \frac{P \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta T} = \frac{10\text{ KW} \cdot 2\text{ h}}{500\text{ Kg} \cdot 40\text{ K}} = 1 \frac{\text{Wh}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} = 3600 \frac{\text{Ws}}{\text{Kg K}} = 3.6 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}} = 3.6 \frac{\text{J}}{\text{g K}}$$

Das ist ein erstaunlich großer Wert. Wasser hat $C = 4.2 \frac{\text{J}}{\text{g K}}$ und in technischen Tabellen findet man $C = 3.4 \frac{\text{J}}{\text{g K}}$ für Wachs bzw. Paraffin. Als maximale Aufwärmgeschwindigkeit erhalten wir:

$$\dot{T} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{40\text{ K}}{120\text{ min}} = \frac{1}{3} \frac{\text{K}}{\text{min}} = 0.333 \frac{\text{K}}{\text{min}}$$

1.2 Chargen-Sigmakneter IPI 500 AP/T

Chargenkneter sind für alle denkbaren Mischaufgaben vom Labormaßstab bis zu großen Produktionsanlagen weit verbreitet, und werden von vielen Herstellern angeboten. Hermann Linden ist ein Spezialist für solche Knetmaschinen. Auch in der Kaugummi-Industrie ist der Chargenkneter das traditionelle Mischsystem für Gumbase und Endprodukt. Coperion Buss hat ein interessantes Extrudersystem für die kontinuierliche Kaugummibereitung entwickelt. Auch Werner & Pfeiderer bemüht sich um den Einsatz von Doppelschneckenextrudern in der Kaugummi-Industrie. Die Firma Gabler bietet quasi eine komplette Kaugummiproduktionsanlage an. Nur die Verpackungstechnik scheint zu fehlen. Als Mischer wurde mir ein Kneter mit folgenden Daten angeboten:

Sigmakneter IPI	500 AP/T,	Preis:	136.950 Euro
Gesamtvolumen:	500 Liter,	AISI 304 Edelstahl	
Nutzvolumen:	360 Liter,	Motorleistung:	30 KW
Schaufeldrehzahl:	22 16 U/min,	Mit Regeleinheit:	15-45 11-33 U/min
Deckelöffnung pneumatisch unterstützt,		Kippen mit Hydrauliksystem	
Luft Stickstoff Vakuum Einlaß,		Guckloch DN 150 plus Beleuchtung	
Einlaßöffnungen DN 50 & DN 100 im Deckel nach Auftrag			
Meßsonde für Produkttemperatur und Leistungsaufnahme (Amperemeter)			
Einseitiger Kühl- bzw. Heizmantel für drucklose Flüssigkeit bis 90 Grad			
Kühl- bzw. Heizeinheit gegen Aufpreis lieferbar.			

Mit diesen Daten kann man nun wieder ein paar kleine aber aufschlußreiche Berechnungen durchführen: Aus den Werten von käuflichem Bubble Gum (zum Beispiel Malabar), kann man eine spezifische Dichte von $\rho = 1.25 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1.25 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3}$ ermitteln. Weiterhin nehme ich an, dass eine Knetcharge 15 Minuten in Anspruch nimmt. Man könnte also theoretisch 4 Mischerinhalte pro Stunde durchsetzen. Ein Mischerinhalt sind: $m = \rho \cdot V = 1.25 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3} \cdot 360\text{ l} = 450\text{ Kg}$. In einer Stunde könnten also maximal 1800 Kilogramm Kaugummi zubereitet werden. Dazu werden 30 KWh Energie benötigt. Man bekommt demnach einen spezifischen Energieverbrauch von $\epsilon = 0.0167 \frac{\text{KWh}}{\text{Kg}}$. Außerdem berechnet sich die Erwärmung des Mischgutes folgendermaßen:

$$\Delta T = \frac{\Delta E}{m \cdot C} = \frac{30\text{ KW} \cdot 0.25\text{ h}}{450\text{ Kg} \cdot 3.4 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}}} = \frac{7.5\text{ KWh}}{450\text{ Kg} \cdot 3.4 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}}} = \frac{27\,000\text{ KJ}}{450\text{ Kg} \cdot 3.4 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}}} = 17.6\text{ K}$$

Als maximale Aufwärmgeschwindigkeit erhalten wir:

$$\dot{T} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{17.6\text{ K}}{15\text{ min}} = 1.17 \frac{\text{K}}{\text{min}}$$

Mir ist nicht bekannt, ob man einen Chargenkneter für die Kaugummi-Industrie kühlen oder heizen muss. Diese 17 Kelvin (Grad) sind sicher kein ernstes Problem. Ich würde mich sehr freuen, wenn mir die Firma Gabler und auch Linden etwas mehr Informationen zu den Mischzeiten und Energie- sowie Wärmedaten beim Kneten von Gumbase und Endmischung auf unterschiedlich großen Maschinen geben könnte. Um die Gumbase als Vorstufe zu kneten, müsste es möglich sein den Inhalt in vier oder fünf gleiche Portionen zu teilen. Davon werden drei oder vier Portionen in einer Wärmekammer zwischen gelagert und dann in vier oder fünf Knetzyklen zur fertigen Kaugummimasse verknetet. Ist das problemlos möglich? Kann dieser Chargenkneter für Rezepturwechsel leicht gereinigt werden. Wie groß ist der Arbeitszeitaufwand dafür? Könnte es notwendig sein, einen zweiten Gumbase-Kneter zu installieren?

1.3 Zuckermühlen

Bubble Gum besteht knapp zur Hälfte aus Zucker, der in Form von Puderzucker im zweiten Mischzyklus eingeknetet wird. Das Angebot der Firma Gabler bezieht sich auf eine Produktionslinie mit knapp 1000 Kg Stundenleistung. Pro Woche kann man damit gut 50 Tonnen Kaugummi produzieren. Das heißt es werden etwa 25 Tonnen Zucker verarbeitet. Dafür wäre die mittlere oder die große Zuckermühle angemessen:

Modell:	UZU 13	UCOM 3	UCOM 13	UCOM 23
Mahlleistung:	600-800 Kg/h	300	600	1200 Kg/h
Motorleistung:	15 KW	7,5	11,0	22,0 KW
Durchmesser:	310 mm	220	310	450 mm
Drehzahl:	3000 U/min	3000	3000	3000 U/min
Gehäusematerial:	Aluminium	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl
Explosionsschutz:	nein	ja	ja	ja
Kühlung:	Passiv Luft	Aktiv mit	Kompressor	Kühlsystem
Kühlleistung:	-	5,7	5,7	12,0 KW
Energiebedarf:	-	2,7	2,7	4,4 KW
Abwärme:	wertlos	8,4	8,4	16,4 KW
Preis:	40.250,00 Euro	?	113.300 Euro	?

Mein erträumter Bubble Max soll ein „High End“ Bubble Gum für den mitteleuropäischen Markt werden. Er soll dort produziert werden, wo auch seine Käufer sind. Der Wertschöpfungsort und die Produktidentifikation sollen in Harmonie mit den Konsumenten liegen. Deswegen soll es ein „Made in Germany“ oder „Swiss Made“ Produkt sein. Will man in einem solchen Hochkostenland produzieren, dann muss die Produktionsstätte bis zum Äußersten auf Effizienz getrimmt werden. Für die Zuckermühle UZU 13 gibt es Holzwägelchen, für den Puderzuckertransport. Ich kann mir kaum vorstellen, dass an einem deutschen Produktionsstandort viele Arbeiter viele Wägelchen den ganzen Tag in der Firma rumschieben.

Denkbar wäre, dass für eine Produktionsstätte ein Eisenbahnanschluß mit geschlossener Kesselwagen-garage sinnvoll wäre. Pro Woche werden etwa 25 Tonnen Zucker verarbeitet. Das ist gerade ein Kesselwagen voll. Nun könnte dieser geparkte Kesselwagen direkt mit einer Förderschnecke an die Zuckermühle angeschlossen werden. Die Zuckermühle entlädt sich in ein Puderzuckersilo. Und von dort geht es mit einer exakt dosierenden zweiten Förderschnecke direkt in den Chargenknetter oder Buss-Extruder. Ich weiß nicht ob ein stillstehender Kesselwagen hohe Kosten erzeugt, und deswegen ein Rohzuckersilo nötig wäre. Vielleicht gibt es dazu irgendwelche Informationen.

Die Zuckermühlen der Firma Gabler werden über Keilriemen angetrieben. Warum eigentlich ? 3000 U/min sind eine standard Drehzahl von Drehstrommotoren. Wäre die Mühlenscheibe direkt an die Motorachse angeschraubt, könnte eventuell eine billigere Mühle mit höherer Betriebssicherheit verwirklicht werden, oder auch nicht ?

1.4 Formextruder KVE-120

Die fertig geknetete Kaugummimasse wird kontinuierlich in einen Formextruder geladen. Dieser drückt die Masse durch Spritzdüsen, deren Form die Querschnittsfläche des Endproduktes bestimmt. Die heißen und weichen Stränge werden dann einem Kühlntunnel zugeführt, in dem die Masse vermutlich von etwa 40 °C auf 15 °C abgekühlt wird. Dabei wird sie steifer und verliert ihre Klebrigkeit, so dass sie dann von Verpackungsmaschinen zu Plätzchen geschnitten und eingewickelt werden kann.

Formextruder KVE-120		Preis:	86.220,00 Euro
Kapazität:	bis 1000 Kg/h	Drehzahl	geregelt
Antriebsmotor:	9,2 KW	L = 1023	mm
Extruderschnecke:	D = 120 mm	L = ?	
Füllrollen:	D = 119 mm		
Düsenplatte für bis zu drei Stränge		Gewicht	1640 Kg
Düsenkopfheizung:	1,0 KW	Maße:	1800 * 940 * 1875 mm
Extrudermantelheizung:	2,5 KW	Anschluß:	400 V, 50 Hz 23 KVA
Einfülltrichterheizung:	0,4 KW		
Wasseranschluß:	R 1/2", 2,5 Bar, 15 Grad	Wofür ?!	(Kühlung oder was) ?

Der Formextruder, Kühltunnel und die Verpackungsmaschinen laufen den ganzen Tag kontinuierlich. Ein Chargenknetter liefert aber beispielsweise alle halbe Stunde eine 500 Kg Portion. Wie wird der Materialstrom gepuffert ? Dazu müsste es irgendwelche Zwischenspeicher geben, zu denen ich keine Unterlagen habe. Außerst elegant erscheint dagegen das Buss-Knetextruder Verfahren. Dieses liefert synchron den benötigten Materialstrom und arbeitet vollautomatisch, ohne das auch nur eine Arbeitskraft nötig wäre.

Mit dem Gabler Formextruder lassen sich auch mehrfarbig gestaltete Profile spritzen. Dazu bekam ich eine Graphik die als PDF-Datei gepackt war und über 6.5 MB groß ist. Das E-Mail Laden war recht umständlich deswegen. Den gleichen Informationsgehalt hätte man auch in eine 50 KB JPG-Datei packen können. Auf der anderen Seite wurde das Bild der Gesamtproduktionsanlage in eine 25 KB JPG-Datei gepackt, und hatte eine sehr unbefriedigende Detailauflösung. Der E-Mail Versand sollte in Zukunft besser strukturiert werden. — Die mehrfarbigen Spritzprofile haben ihren Reiz, wären jedoch für meinen Bubble Max weniger geeignet. Zwar hätte ich gerne bunten Kaugummi, doch der soll permanent bunt sein, so dass dauerhaft schön knallbunte Blasen entstehen. Wie weit das technisch möglich ist, weiß ich nicht. Dennoch habe ich immer mal wieder solchermaßen knallbunt gefärbte Kaugummis gefunden. Demnach muss es technisch möglich sein, obwohl es in der Praxis nur selten umgesetzt wird. Würde man nun rote und grüne Kaugummimasse in einem mehrfarbigen Profil vereinigen, dann würde beim Kauen ein schmutzig brauner Kaugummi entstehen. Jedoch könnte man nichtkomplementäre Farben vereinigen: Rot und Blau gäbe Lila, das durchaus einen knalligen Reintoneffekt hätte. Rot und Gelb gibt Orange. Grün und Blau gibt Türkis. Dennoch denke ich mir, dass man besser dem Konsumenten ein freies Farbenspiel überlässt. Man steckt sich ehe immer zwei bis vier Bubble Gums auf einmal in den Mund. Und mit fünf verschiedenen Geschmäckern und Farben stehen einem dann schon bis zu 70 verschiedene Varianten offen. Deswegen dürfte jeweils ein reiner Geschmack mit reiner Farbe die bessere und auch produktionstechnisch preiswertere Lösung sein.

Kaum ein Kaugummiproduzent wird sich fünf parallele Produktionslinien aufstellen, nur um fünf verschiedene Geschmackstypen zu produzieren. Eine Linie ist leistungsfähig und teuer genug. Das heißt, dass die verschiedenen Geschmäcker in abwechselnden Intervallen durch die Maschinenkette läuft. Da mein Bubble Max für alle Geschmacksvarianten mit der gleichen hochwertigen Gumbase produziert werden soll, erscheint mir gegenwärtig ein Buss-Vollknetter als die beste Lösung. Der Gumbase-Knetter Abschnitt bekommt durchlaufend den gleichen Rezepturzufuss. Nur die Aroma- und Farbeinspritzung wird in Intervallen umgeschaltet. Dabei entsteht ein kurzer Übergangabschnitt, der beispielsweise weder Erdbeer noch Mint ist, sondern eine Mischung beider Typen. Es wäre schade diesen Abschnitt als Müll zu betrachten. Man könnte ihn einfach als „Mix Max“ Kaugummi gepackt in die Eimer dazu geben. In der Praxis wartet man, bis bei einer Verpackungslinie die Packfolienrollen zu Ende gehen. Kurz davor werden die beiden anderen Stränge am Formextruder abgestellt und der gesamte Mix Max Teil läuft alleine durch den Kühltunnel zur umgerüsteten Wickelmaschine. Wenn Mix Max durch ist, werden alle Packmaschinen auf den neuen Geschmack umgerüstet und nun wird wieder mit drei Strängen weiter produziert. Je größer die Auffangsilos sind, um seltener müsste umgerüstet werden. Ich würde mich freuen, wenn mir die Firma Gabler zu diesem Thema eine kleine Stellungnahme mit weiterführenden Informationen geben könnte.

1.5 Kühltunnel 8-13-KT-25

Wie schon erklärt läuft der Kaugummi in mehreren parallelen Strängen durch einen Kühltunnel.

Kühltunnel:	8-13-KT-25	Preis:	197.760,00 Euro
Aufbau:	13 Förderbänder 250 mm breit	je	8 m lang
Kühlstrecke:	13 * 8 m = 104 m,	für drei parallele Stränge	
Größe:	10857 * 2100 * 2540 mm,	Gewicht:	3800 Kg
Antriebsmotor:	3,0 KW drehzahl geregelt	Heizeinheit:	4,5 KW
Umluft:	16 Ventilatoren mit 8560	Kubikmeter	Gesamtumsatz
Kühleinheit:	7,6 KW (wassergekühlt)	Kühlmittel:	Frigen 404 A
Durchsatz:	950 Kg/h (bei 20 Grad Temperatur Differenz),	Anschluß:	24 400 V , KVA
Kühlkapazität:	15.000 Kcal/h = 63.000 KJ/h =		17,5 KW
Abwärme:	21.514 Kcal/h = 90.360 KJ/h =		25,1 KW (geschätzt)
Kühlwasser:	2220 Liter/Stunde , 22 Grad,	Temperaturerhöhung:	9,7 K

Zum Kühltunnel gibt es etliche Fragen: Ist es richtig, dass die Untertemperatur der Wärmepumpeinheit etwa 1°C beträgt ? Wäre der Verdampfer kälter, dann würde er vereisen und die Abtropfpfanne bliebe trocken. Denkbar wäre jedoch, dass die ominöse Heizeinheit den Verdampfer in Intervallen abtaut,

das heißt, die Untertemperatur liegt unter 0°C . Ist es richtig, dass die Obertemperatur der Wärmepumpeneinheit etwa 26°C beträgt? Dass wäre die mittlere Temperatur zwischen 22°C und 32°C vom Kühlwasser. Woher soll man im Hochsommer Kühlwasser mit 22°C nehmen? Bedeutet das Flußkühlung oder einen Naßkühlturm? Wie funktioniert das Lufttrocknen mit dieser unverstandenen Heizeinheit? — Warum werden bei fast allen Geräten KVA Anschlusswerte angegeben, die meist weit über dem Summenverbrauch aller Komponenten liegen? Soll damit lediglich ausgedrückt werden, dass der Kühltunnel usw. beispielsweise an einen Drehstromanschluss mit 3 mal 35 Ampere angeschlossen werden sollte?

Bei Wärmepumpeneinheiten zur Gebäudeheizung liegt auch eine Untertemperatur von etwa 1°C vor. Die als Heizwärme genutzte Obertemperatur kann ohne weiteres 60°C erreichen. Mit einer Heizleistung von 25 KW kann man ein ganzes Einfamilienhaus im Winter bullig warm heizen! Die Abwärmeleistung vom Kühltunnel und der Zuckermühle kann bis zu 40 KW erreichen. Diese Energiemengen mit einem Niedertemperatur (Naß)Kühlsystem in die Umwelt abzugeben wirkt äußerst ineffizient. Wenn man die Gumbase selber knetet, dann könnte sie in einer Wärmekammer in Rollwägelchen zwischen gelagert werden, damit sie nicht zu kalt und hart für den zweiten Knetzyklus wird. Auch das Aufwärmen von fertiger Plattengumbase könnte auf passiven Tablett-Rollwagen in einer Wärmekammer erfolgen. Das würde zwar länger dauern, als in dem mit Umluft arbeitenden Wärmeschrank, wäre jedoch energieeffizienter, wenn man diese Wärmekammer mit verfügbarer Prozeßabwärme heizen könnte. Ich könnte mir einen Raum mit 50 m^2 Fläche und (dicken?) Steinwänden vorstellen, der mit 10 cm Steinwolle isoliert ist. Diese Kammer wird mit der Kühlpumpen Abwärme auf 50°C geheizt und kann für alle (Gumbase usw.) Aufwärmeschritte genutzt werden. Im Sommer muss die überschüssige Abwärme über eine Trockenkühleinheit an die Umgebung abgegeben werden. Eine Obertemperatur von 60°C läßt sich leichter „entsorgen“ als diese ominösen 22°C . Könnten Sie mir zu diesem Thema eine Stellungnahme geben?

Als maximale Kühlkapazität werden folgende Daten angegeben: Temperaturdifferenz in Grad bzw. Kelvin: $\Delta T = 20^\circ\text{C} = 20\text{ K}$, Zeitdauer $\Delta t = 1\text{ h}$ und Durchsatzmasse $m = 950\text{ Kg}$. Daraus ergibt sich die spezifische Wärmekapazität von Kaugummi zu:

$$C = \frac{\Delta E}{m \cdot \Delta T} = \frac{63\,000\text{ KJ}}{950\text{ Kg} \cdot 20\text{ K}} = 3.3 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}} = 3.3 \frac{\text{J}}{\text{g K}}$$

Das kommt dem obigen Wert von $C = 3.6 \frac{\text{J}}{\text{g K}}$ für Gumbase nahe. Für alle weiterführenden Rechnungen benutze ich daher den Mittelwert von $C = 3.4 \frac{\text{J}}{\text{g K}}$ für Gumbase und auch Fertigmischung. Im folgenden soll der Strangdurchsatz beleuchtet werden: Wir gehen von einem Massendurchsatz von 900 Kg pro Stunde aus. Bei drei Strängen sind das 300 Kg pro Stunde und Strang. Pro Stunde entstehen drei Stränge mit jeweils folgender Stranglänge s :

$$s = \frac{m}{\rho \cdot a \cdot b} = \frac{300\,000\text{ g}}{1.25 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 2.5\text{ cm} \cdot 0.5\text{ cm}} = 192\,000\text{ cm} = 1920\text{ m} = 1.920\text{ Km}$$

Als Stranggeschwindigkeit v erhalten wir:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{1.92\text{ Km}}{1\text{ h}} = 1.92 \frac{\text{Km}}{\text{h}} = 32 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0.533 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

Als Stückzahl pro Wickelmaschine ergibt sich:

$$n = \frac{s}{c} = \frac{192\,000\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 38\,400 \frac{\text{Stück}}{\text{Stunde}} = 640 \frac{\text{Stück}}{\text{Minute}} = 10.6 \frac{\text{Stück}}{\text{Sekunde}}$$

Dabei wurde eine Plätzchengröße von $a \cdot b \cdot c = 0.5\text{ cm} \cdot 2.5\text{ cm} \cdot 5.0\text{ cm} = 6.25\text{ cm}^3$ angesetzt. Das ist mein reich bemessener Bubble Max mit 8 g Plätzchengewicht. Billig-Bazookas usw. werden heute meist mit dem halben Plätzchengewicht von 4 g angeboten. Dafür muss die Wickelmaschine gut 20 Plätzchen pro Sekunde packen können. Der klassische Bazooka-Type Bubble Gum wird mit einer Comic-Beilage in Wachspapier gepackt. Das ist keine luftdichte Verpackung. Deswegen kann es in feuchtem Klima zu sich nass schwitzendem Kaugummi kommen. Außerdem geht vielleicht Aroma verloren und es werden mehr Konservierungsmittel benötigt. Ein technisch optimierter Bubble Gum sollte deswegen eine luftdichte Verpackung bekommen. Etliche Süßwaren usw. werden als Streifen in eine dichte Plastikfolienpackung geschweißt. Eine solche Verpackung würde ich auch für meinen Bubble Max bevorzugen. Jedoch soll ein etwa 85 mal 85 mm großes Comic dazu gepackt werden. Das heißt, vor dem Versiegeln muss ein einfach gefaltetes Comic Papier eineinhalb mal um den Kaugummiquader gewickelt werden. Ich weiß nicht wer soche Verpackungsmaschinen baut. Eine Gumbase-Charge führt zu vier End-Chargen mit knapp 2000 Kg Masse. Wenn man davon die Hälfte als Mischung in Eimer packen will, dann müssten bei 5 Geschmackstypen 5000 Kg in einer Mischtrommel gesammelt werden. Wer kann dazu mehr sagen?

2 Zu den Hermann Linden Unterlagen

Die Firma Hermann Linden ist ein Spezialist für Chargenknetter vom Labormaßstab bis zu großen Produktionsknetern. Linden Knetter werden auch in der Kaugummi-Industrie eingesetzt. Ich möchte eine detaillierte Gegenüberstellung vom Chargenknetter zum Knetextruder erstellen können, um eine Entscheidung möglich machen zu können. In diesem Abschnitt werde ich die Produktion auf einem Chargenknetter diskutieren. Ich wäre froh, wenn mir die Firma Linden sowie auch die Firma Gabler als Kaugummispezialist detailliert auf alle Fragen antworten könnte.

Bubble Max soll ein High End Bubble Gum mit mehreren Geschmäckern und permanent gefärbter Gumbase werden. Die Gumbase Zubereitung soll in den Produktionszyklus integriert werden. In der Praxis stelle ich mir vor, dass am Anfang eines Produktionszykluses der vollständig gereinigte Knetter mit den Polymeren und dem in geringerer Menge zugesetztem Calciumcarbonatpulver gefüllt wird, und zu einer definitiven Viskosität verknetet wird. — Lebensmittelfarben werden in wasserlöslich oder fettlöslich eingeteilt. Die Wasserlöslichen werden in wässriger Lösung eingebracht und waschen sich beim Kauen schnell aus. Die Fettlöslichen werden auch als Lackfarben bezeichnet. Sie werden als Pulver eingebracht. Diese Farbpulver müssen sorgfältig gehandhabt werden, da sie leicht flüchtig sind und Staubexplosionen bewirken können. Um eine hohe Auswaschfestigkeit zu erreichen, müssen sie möglichst früh in die Gumbase eingeknetet werden, damit die Zuckeranteile usw. nicht als Trennmittel wirken. In der Praxis könnte ich mir vorstellen, dass man nach dem Polymerkneten, das bei höheren Temperaturen stattfindet, diese Farben mit einer Pulverpipette mittig auf die ruhende Masse in den Knetter setzt, und dann den Knetter mit langsamer Drehzahl nach innen schaufelnd startet, damit der Farbstaub nicht herumwirbelt, sondern möglichst zügig in die Rohgumbase eingearbeitet wird. Danach erst werden die Harze und restlichen Gumbase Bestandteile dazu geknetet. Schließlich muss der Knetterinhalt in vier gleich große Portionen geteilt werden. Bei 400 Kg Gumbaseinhalt, müssten 300 Kg, in gleiche 100 Kg Portionen geteilt, ausgetragen und in einer Wärmekammer zwischen gelagert werden. 100 Kg Gumbase verbleiben im Knetter und werden nun mit den Zuckern und Aromen zur Fertigrezeptur ergänzt und verknetet. Die fertige Kaugummimasse wird dann dem Formextruder zugeführt. Wenn nun der Knetter geleert ist, wird die nächste 100 Kg Gumbase Portion geholt und wieder zu fertiger Kaugummimasse verknetet. Das wird solange wiederholt, bis der Gumbasevorrat mit der zum Aroma passenden Farbe aufgebraucht ist. Danach müsste der Knetter so gereinigt werden, dass ein neuer Gumbase-Knetzyklus begonnen werden kann. Wie reinigt man einen Chargenknetter von Kaugummimasse ? Ist das schwierig, oder löst sich die Masse beim Entladen vollständig von der Knetterwand und den Knetschaufeln ab ?

Beiliegend sind einige Seiten, die aus technischen Unterlagen zu Exxon Polymere für Kaugummi kopiert sind. Gumbase scheint hauptsächlich aus Polyisobuten, Polyvinylacetat und Polyvinylalkohol als Polymergrundlage zu bestehen. Exxon liefert das weichfließende Vistanex LM und das festere Vistanex MM für die Kaugummi und Bubble Gum Zubereitung. LM ist zu weich, um alleine eine Kaumasse bilden zu können. Unter anderem liefert Wacker Chemie "Vinnapas" Polyvinylacetat für Kaugummi. Dieses wird als Granulat ausgeliefert und ist viel zu hart, als dass es in der Reinform gekaut werden könnte. Die Kunst beim Gumbase machen ist, diese unterschiedlichen Viskositäten so zu verkneten, dass eine Gumbase mit passendem Biß, guter Blasenfähigkeit und moderater Klebrigkeit entsteht. Bei meinen Recherchen erfuhr ich auch, dass beispielsweise BASF Polyisobuten produziert. Mir wurde telefonisch gesagt, dass davon ein kleiner Teil auch an Kaugummiproduzenten geht. Man wisse jedoch nicht, wie es dort weiter verarbeitet wird. Im Gegensatz dazu liefert Exxon detailliertere Unterlagen und ein breiter sortiertes Produktangebot für die Kaugummi-Industrie.

Als Gumbase produzierender Kaugummi Hersteller kann man nun diese Polymere von unterschiedlichen Herstellern beziehen. Die exakte Viskosität dürfte bei allen Quellen um einen bestimmten Sollwert streuen. Man könnte nun jede Lieferung im Labor auf einem Viskosimeter vermessen und daraus ein Mengenverhältnis errechnen. Mit diesen Daten werden dann die Bestandteile abgewogen und in den Knetter gegeben. Das Resultat sollte dann richtig sein, sofern die Messungen und Rechenmodelle korrekt sind. Dieser Arbeitsansatz ist jedoch ineffektiv. Viel einfacher wäre es, aus dem Drehmomentsignal, vom Knetter ausgehend, die Viskosität einzustellen. Das ist genauso wie in der Küche, wo so lange Mehl in den Brotteig gegeben wird, bis die korrekte Konsistenz, das heißt Viskosität erreicht wurde. Eine Teigbereitung nur mit den Zutatenangaben alleine scheitert auch in der Küche. Es ist immer das Abschmecken, Kneten und Rühren, das die Komposition in ihre endgültige Form leitet.

In der gleichen Weise stelle ich mir das Kaugummimachen vor. Gemäß einer Basisrezeptur wird der Knetter beladen und man startet den Mischvorgang. Dabei muss die Temperatur und Viskosität in Form vom Drehmomentsignal beobachtet werden. Durch die Energiezufuhr erwärmt sich die Masse und Kunststoffe ändern dabei die Viskosität in starkem Maße. Nach eingehenden Labor- und Praxistests am Produktionsknetter könnte eine Tabelle entstehen, in der links der Knetterinhalt in Kg aufgetragen ist, oben

eine Sequenz von Mischgut Temperaturen und im zweidimensionalen Datenfeld die Drehmoment- bzw. Stromwerte, die zu der korrekten Viskosität gehören. Hat man beispielsweise 200 Kg Zutaten geladen, zeigt das Thermometer 60 °C und die Drehmomentanzeige 58 Ampere, dann liegt dieser Wert über dem erforderlichen Sollwert von 52 A. Zur Korrektur werden nun beispielsweise 50 Kg Vistanex LM zugefügt. Nun ist der Knetter mit 250 Kg Inhalt beladen und man muss nun eine Zeile tiefer den Stromwert bei der nun gegebenen Temperatur mit dem Tabellenwert vergleichen. Haben wir nun 70 °C und 53 A, dann ist die Masse zu weich. Demnach müsste nun das höhermolekulare Vistanex MM zugeführt werden. Das ist ein iterativer Prozess, der den Sollwert erreichen muss, bevor der Knetter überladen wäre.

Kg	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	A	KW
0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0.5
50	21	17	15	13	11	10	9.5	8.8	8.3	7.8	7.4	7	20	4.6
100	40	32	27	23	21	19	17	15.6	14.5	13.5	12.7	12	40	9.2
150	58	47	40	34	30	27	25	22	21	19.3	18	17	60	13.8
200	77	62	52	45	40	35	32	29	27	25	23	22	80	18.4
250	96	77	65	56	49	44	40	36	33	31	29	27	100	23.0
300	115	92	77	66	58	52	47	43	40	37	34	32	120	27.6
350	133	107	90	77	68	60	55	50	46	42	39	37	140	32.2

Die Tabellenwerte sind natürlich „frei erfunden“. Ich habe sie einfach mit folgender Formel errechnet:

$$I = 15 \frac{\text{A}^\circ\text{C}}{\text{Kg}} \cdot \frac{m}{\vartheta} + 2 \text{ A} = 15 \frac{\text{A}^\circ\text{C}}{\text{Kg}} \cdot \frac{350 \text{ Kg}}{40^\circ\text{C}} + 2 \text{ A} = 133 \text{ A}$$

In der Praxis wäre mit dem Erstellen einer solchen Tabelle einiger Aufwand verbunden. Denn das Viskositätsverhalten von Polymerlegierungen über die Temperatur muss mit dem konkreten Verhalten des Chargenkneters verknüpft werden. Dabei kann man entweder Unmengen an teuren Zutaten verderben, oder man muss immer ein Endresultat erreichen, das dem Konsumenten verkauft werden kann, ohne das traurige Augen entstehen, weil der Kaugummi zu hart, weich oder blasenungeeignet ist. Die Fachkraft, die den Knetprozess führt, trägt außerordentlich viel Verantwortung und muss entsprechend qualifiziert sein. Es ist eine höher zu entlohnende Facharbeiter Tätigkeit. Eine solche Drehmomententabelle gilt auch nur für eine Drehzahl. Viele Stoffe zeigen eine verformungsgeschwindigkeitsabhängige Viskosität. Da ist viel Laborarbeit mit theoretischem Hintergrundwissen angesagt.

Bei Messebesuchen wurde mir erklärt, dass man bei Kunststoffen, die auf Folienblasmaschinen verarbeitet werden sollen, einen Trick anwendet: Der mittelmolekularen Grundmasse wird ein kleiner Anteil einer hochmolekularen „Stützmasse“ zugefügt. Diese hält die sich bildende Folie wie Moniereisen zusammen, damit der Folienschlauch beim Blasen nicht reißt. Genaue Details wusste man jedoch nicht. Denkbar wäre nun, dass beispielsweise ein hochmolekulares geradkettiges Polyethylen als Blasenstabilisator benutzt wird. Alleine ist das ein harter Festkörper mit hohem Schmelzpunkt. Wird es jedoch in eine mittelmolekulare Grundmasse einlegiert, dann bleibt der vergleichsweise niedrigere Schmelzpunkt der Grundmasse erhalten, jedoch zeigt sie nun eine enorme Blasenziehfähigkeit. Mein Bubble Max soll die physikalischen Möglichkeiten bis zum Anschlag ausreizen. Deswegen bin ich überaus interessiert mehr über diese Blasfolientechnik zu erfahren. Vielleicht muss man einen Vorteig aus Vistanex LM und speziellen Blasfolienstabilisierungspolymeren bei höheren Temperaturen bereiten. Es mag sein das man dazu einen besonderen Knetter für Temperaturen über 150 °C braucht. Über alle Hinweise zu diesem Thema mit Literaturempfehlungen würde ich mich sehr freuen.

Produktionsknetter haben ein Thermometer und auch Amperemeter. Mißt dieses Amperemeter den Wirkstrom oder Scheinstrom ? Ein leer laufender Drehstrommotor verhält sich fast wie eine Drossel mit reinem Blindstrom. Der Wirkstrom kleiner Drehmomente wäre kaum erkennbar. Um ein Drehmomentproportionales Signal zu bekommen muss der Wirkstrom isoliert gemessen werden. Sicher ist das berücksichtigt. Kann man bei kleinen Laborknetern auch die Temperatur und das Drehmoment darstellen ? Dann könnte man viele Experimente zum Produktionsknetter im Labor mit kleinem Zutateneinsatz simulieren.

Ich würde mich sehr freuen, wenn mir die Firma Linden und auch Gabler möglichst viel an detailliertem technischen Informationsmaterial zu allen für die Kaugummiproduktion geeigneten Knetern in allen verfügbaren Größen zukommen lassen würde. Dieses einschließlich aller Preise. Wie gesagt wären PDF-Dateien per E-Mail der einfachste und billigste Weg.

3 Zu den Coperion Buss Unterlagen

Ich hatte in den Neunzigern und 2001 Kontakt zur Firma Buss. Meine Anfragen wurden prompt und freundlich beantwortet, jedoch habe ich nur sehr wenige technische und preisliche Daten zu deren Knetextrudern. Nur von der größten Maschine habe ich einen Durchsatzwert und kann damit etwas rechnen:

Buss Ko-Kneter	Preis:	?
Schneckendurchmesser: 400 mm,	Längenverhältnis:	15 L/D
Schneckenlänge: 6000 mm,	Gesamtlänge:	12700 mm
Durchsatz: 4000 Kg/h,	Gewicht:	14000 Kg
Antriebsleistung: 280 KW,	Drehzahl:	120 U/min

Gemäß dem beiliegenden Datenblatt gibt es auch Maschinen mit 100, 200 und 300 mm Schneckendurchmesser. Deren Durchsatz ist jedoch nicht spezifiziert. Für die 400 mm Maschine kann man annehmen, dass der Wellendurchmesser 200 mm beträgt und folgendes Knetvolumen verbleibt:

$$V = \frac{\pi}{4} [D^2 - d^2] \cdot L = \frac{\pi}{4} [(4 \text{ dm})^2 - (2 \text{ dm})^2] \cdot 60 \text{ dm} = 565 \text{ dm}^3$$

Als Füllmasse bekommen wir: $m = \rho \cdot V = 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 565 \text{ dm}^3 = 707 \text{ Kg}$. Das ist ein Maximalwert, der die Volumennahme der Knetzapfen vernachlässigt. Tatsächlich ist der Knetraum, wie bei einer Flugzeugturbine mit stehenden und bewegten Schaufeln gefüllt. Daher dürfte eine Füllmasse von 400 Kg der maximale Wert sein. Damit kann man die Verweilzeit berechnen:

$$\Delta t = \frac{m}{\dot{m}} = \frac{400 \text{ Kg}}{4000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 0.1 \text{ h} = 6 \text{ min}$$

Die Erwärmung des Mischgutes ergibt sich zu:

$$\Delta T = \frac{\Delta E}{m \cdot C} = \frac{280 \text{ KWh}}{4000 \text{ Kg} \cdot 3.4 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}}} = \frac{1\,008\,000 \text{ KJ}}{4000 \text{ Kg} \cdot 3.4 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}}} = 74.1 \text{ K}$$

Als maximale Aufwärmgeschwindigkeit erhalten wir:

$$\dot{T} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{74.1 \text{ K}}{6 \text{ min}} = 12.35 \frac{\text{K}}{\text{min}}$$

Für den spezifischen Energieverbrauch bekommen wir:

$$\varepsilon = \frac{\Delta E}{m} = \frac{280 \text{ KWh}}{4000 \text{ Kg}} = 0.07 \frac{\text{KWh}}{\text{Kg}}$$

Dieser Wert ist 4.2 mal höher, als der Wert vom Chargenknetter mit $\varepsilon = 0.0167 \frac{\text{KWh}}{\text{Kg}}$. Demnach würde der Buss Extruder eine sehr schlechte Energieeffizienz haben. Nun glaube ich nicht, dass dieses Verhältnis korrekt ist. Vermutlich habe ich falsche Zahlen zugrunde gelegt, oder ein Rechenfehler hat sich eingeschlichen. Die hohe Erwärmung macht eine Zwangskühlung erforderlich. Und wenn da tatsächlich 280 KW Wärmeleistung abgeführt werden muss, ergibt sich auch ein beträchtlicher kühltechnischer Aufwand. Um den Chargenknetter und Buss Knetextruder korrekt vergleichen zu können, wären detaillierte technische Daten zu allen Extrudern erforderlich. Könnte man mir die mit einer Preisliste zukommen lassen ?

Ein weiteres ungeklärtes Thema ist die Beschickung des Buss Extruders. Alle Zutaten müssen exakt synchronisiert mit genauen Zuflüßraten zugeführt werden. Ein nachträgliches „Abschmecken“ bzw. geschmeidig Kneten auf einen Sollwert hin, wie beim Chargenknetter oder in der Küche, ist nicht möglich. Sollen Polymere unterschiedlicher Herkunft mit streuender Viskosität auf die gewünschte Normviskosität von Bubble Gum hin gemischt werden, dann muss beim Extruderverfahren die Eingangsviskosität ständig gemessen werden, auf einem Computer verrechnet und an die Dosiereinrichtungen zurückgegeben werden. Ohne eine solche Meß- und Dosierautomatik kann das Extruderverfahren nicht funktionieren. Vielleicht kann man den Antriebsstrom der Polymerpumpen zwanglos als Viskositätssignal nutzen und über den Computer verrechnet als Durchsatzsignal zurück geben.

Man kann beim Buss Verfahren getrennte Extruder für Gumbase und Fertigmischung nutzen, oder einen Vollknetter einsetzen, der den gesamten Mischprozess in einer Schnecke bewältigt. Der Vollknetter hat den Vorteil, dass die Gumbase nicht zwischen gelagert werden muss. Man könnte sich eine äußerst elegante Kaugummifabrik mit einem solchen Vollknetter vorstellen. In einer mit Prozeßabwärme geheizten Kesselwagengarage stehen Kesselwagen mit Vistanex LM usw., welches durch die Erwärmung flüssig

genug wird, dass es direkt aus dem Kesselwagen in den Buss-Vollknetter gepumpt werden kann. Auch alle anderen Zutaten werden in dieser Weise vollautomatisch zugeführt. Aus dem Extruder kommt nun die fertige Kaugummimasse, die synchron in den Formextruder geführt wird. Damit ließe sich eine vollautomatische und quasi menschenleere Produktionsstätte verwirklichen. Nur an den Verpackungsmaschinen müssen dann und wann die Packfolienrollen erneuert werden und die Anlage muss ständig von einer Aufsichtsperson kontrolliert werden. Das ist so ein wenig wie in Huxley's „Schöne neue Welt“. Aber ob diese Technik für eine Markenneugründung sinnvoll ist, erscheint mir im zunehmenden Maße fraglich. Der Chargenknetter mit einem „Chefkoch“ als kontrollierenden Prozeßführer, erscheint mir flexibler und effektiver. Zwar entstehen laufende Lohnkosten, aber ein Arbeitsplatz ist ja auch was wert.

Nichts desto trotz, möchte ich die Firma Buss hiermit bitten mir detailliertere technische Datenblätter und Preise zu allen Extrudern mit dem gesamten Beschickungssystem zukommen zu lassen. Auch Details zur Prozesssteuerung sind wichtig. Wäre es denn überhaupt möglich, in einen Vollextruder frühzeitig pulverförmige Lackfarben einzubringen, oder bekommt man dann hunderte Kg von Mix Max Kaugummi, der beim Chargenknetter völlig vermieden werden kann ?

Wäre es denkbar eine Fabrikationsstätte nur mit einem Buss Vollknetter und einem Laborknetter auszustatten ? Das heißt, auf dem Laborknetter werden Geschmacksrezepturen usw. zusammengestellt, die dann einfach in den Steuercomputer vom Extruder eingetippt werden ? Mit einem Laborknetter und einem Produktions-Chargenknetter müsste eine Kaugummifabrik arbeiten können. Ginge eine solche schlanke Ausstattung auch mit einem Vollknetter als Produktionsknetter ?

4 Epilog

Meine vorliegende Anfrage zielt darauf ab, eine Bubble Gum Produktionsanlage durchgerechnet planen zu können. Dabei sollen auch unterschiedliche Produktionskapazitäten in das Modell eingebracht werden. Deswegen würde ich mir von allen verfügbaren Geräten technische Daten und Preise in allen Leistungsklassen wünschen. Die Preise müssen nicht Cent-genau sein. Ein 10 Prozent genauer Zirka-Wert reicht aus. Genauere technische Daten sind da schon interessanter.

Wenn man einen 3-strängigen Formextruder mit Kühltunnel installiert, könnte irgendwann die Kapazitätsgrenze erreicht sein. Eine zweite Linie parallel zu installieren ist teuer. Man könnte auch gleich ein 6-strängiges System installieren und erst einmal nur einen oder zwei Stränge nutzen. Dann müsste auch nur eine oder zwei Wickelmaschinen gekauft werden. Ich vermute, dass diese Wickelmaschinen sehr teuer sind, da sie eine diffizile Fähigkeit beherrschen müssen. Erst wenn die Nachfrage wächst, müssten weitere Wickelmaschinen dazugekauft werden. Mit einer solchen Strategie sinkt der Startkapitalbedarf. Trotzdem kann bei Erfolg die Produktion zwanglos ausgebaut werden. Die Gretchenfrage ist, ob man eine mehrsträngige Anlage beliebig auf wenige Stränge drosseln kann, und trotzdem eine vernünftige Energieeffizienz usw. bekommt ? Kann man einzelne Stränge einfach abschalten ? Im Fall eine Wickelmaschine ausfällt, müsste der dazu gehörige Strang abgestellt werden. Der Reststrang im Kühltunnel könnte in einem Eimer aufgefangen werden und dann in den Fülltrichter des Formextruders zurück gegeben werden. Dann kann der gesamte Materialstrom auf den verbleibenden Wickelmaschinen gepackt werden. Der Durchsatz müsste dem entsprechend reduziert werden.

Mit freundlichen Grüßen: