

Qmilch IP GmbH

***Weiterentwicklung der Eigenschaften von ökologisch hergestellten
Qmilch Caseinfasern unter Skalierung von der Laborumgebung in
einen technischen Maßstab***

**Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem AZ 31325 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

von

Anke Domaske
Hannover 12.05.2015

Qmilch IP GmbH

***Weiterentwicklung der Eigenschaften von ökologisch hergestellten
Qmilch Caseinfasern unter Skalierung von der Laborumgebung in
einen technischen Maßstab***

**Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem AZ 31325 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

von

Anke Domaske
Hannover 12.05.2015

1.0.

AZ 31325

DBU - Deutsche Bundesstiftung
Umwelt
Postfach 1705, 49007 Osnabrück

Caseinfaser

Weiterentwicklung der
Reißfestigkeiten der Qmilch
Caseinfaser

| Projekt-Beginn | Laufzeit | Fördermittel | Gesamtmittel | Förderquote |
|----------------|------------------|------------------|-----------------|-------------|
| 08/2013 | 24 Monate | 120.000 € | 346.440€ | 43 % |

Projektleitung/-koordination

Qmilch IP GmbH Frau
Anke Domaske Göttinger
Chaussee 12-14
30453 Hannover (Niedersachsen)
+49 511 37413059
info@qmilch.eu

| Fördermittel | Gesamtmittel | FQuote |
|--------------|--------------|---------|
| 120.000 € | 346.440€ | 43 %KMU |

Kurzbeschreibung

Basierend auf der neuentwickelten Textilfaser und Herstellungsverfahren auf Caseinbasis sollen die Reißfestigkeiten der Caseinfasern in Rahmen dieses Projektes optimiert und erhöht werden. Hierfür müssen im Labormaßstab neue Rezepte getestet und entwickelt werden. Anschließend müssen diese Rezepte in einem Extrusionsprozess und anschließend in einen Spinnprozess skaliert, ausprobiert und angepasst werden. Nachfolgend muss auch der Spinnprozess dahingehend entwickelt werden, dass die Faser verstreckt wird, damit die Moleküle sich ausrichten können. Die Fasereigenschaften müssen danach auf Ihre Reißfestigkeiten überprüft werden.

Hannover, den 16.07.2015

Unterschrift
(Domaske)

2.0 Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| Zusammenfassung | 6 |
| Einleitung | 7 |
| Zielsetzung | 9 |
| Hauptteil | 11 |
| Rezeptentwicklung | 11 |
| Skalierung | 11 |
| Düsenfertigung..... | 13 |
| Zeitlicher Ablauf..... | 15 |
| Anlagenaufbau | 15 |
| Test der Eigenschaften der Faser..... | 15 |
| Ökologische Bewertung..... | 24 |
| Ökonomische Bewertung | 26 |
| Technologische Bewertung | 27 |
| Maßnahmen | 27 |
| Fazit | 32 |
| Ausblick..... | 33 |
| Literatur | 34 |

3.0 Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Abbildung 1: Verlaserte Löcher der Spinnndüsen die zum Tropfen der Fasern führen können

Abbildung 2: Werkzeugbau der Düsen mir Drehmaschine und CNC Fräse

Tabelle 1: Zeitlicher Ablauf

Abbildung 3: Steuerungsabbildung mit hohen Druckschwankungen und Systemabschaltung Stand Juli 2014

Abbildung 4: Systemsteuerung mit stabilen Prozessen Stand Dezember 2014

Abbildung 5: Spinnanlage für die Qmilch Faser Endstand

Abbildung 6: Gecrimpte Faser zu wenig Crimp linke; gecrimpte Faser gestaucht

Abbildung 7: Faser aus der Laboranlage 2999 in Bremen und aktuelle Qmilch Faser 2245

Abbildung 8: Färbung der Faser, Strickmischung mit Wolle

Abbildung 9: Ökobilanz in der Herstellung der Faser

Tabelle 2: Faservergleich

Abb.10: Zug-Dehnungsdiagramm

Abb.11: Branchenverteilung Messebsucher

Abb.12: Neu & Altkontakte. 30% Altkontakte

Abb.13: Länderverteilung, ein Großteil kam aus Deutschland.

4.0 Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitione

5.0 Zusammenfassung

Im Rahmen einer des Produktionsaufbaus der Qmilch Faser, konnte erfolgreich eine Spinnanlage im Produktionsmaßstab für die Qmilch Faser in Betrieb genommen werden. Während der Skalierung gab es technische Hürden. Es folgten lange und große Umbauten am System in House durch das Qmilch Team. Mittlerweile kann aber ein stabiler Lauf von über 6 Stunden erreicht werden. Es werden aktuell Abzugsgeschwindigkeiten von bis zu 400m/min erreicht.

Die Rezeptur wurde im Labormaßstab weiterentwickelt, um die Molekülketten zu verlängern und die Faser stabiler zu bekommen.

Es folgten mehrere Skalierungsschritte des Prozesses im Extruder. Ein erster Test mit ausgewählten Rezepturen erfolgte mit 10kg/h. Danach wurde der Prozess auf 25 kg/h skaliert. Bis diese Erkenntnisse auf der Faserspinnanlage umgesetzt wurden. Hier herrschen noch einmal andere Drücke und Scherungen, die das Material zusätzlich beanspruchen.

Qmilch hat hier eine innovative Technologie entwickelt. Bisherige Spinnverfahren laufen durch Aufschmelzung von Granulat auf Einschneckenextruder. Bei Qmilch handelt es sich um eine reaktive Extrusion im Doppelschneckenextruder.

Der Prozess ist somit ökologisch sehr nachhaltig, da der Prozess nicht mehr als 2 Liter Wasser/kg Faser verbraucht, bei 80°C produziert und keine Abfälle entstehen. Der Prozess dauert max. 5 min.

Durch den angepassten Spinnprozess und Rezeptur konnten mittlerweile Reißfestigkeiten im Bereich von Wolle erreicht werden. Der dtex der Fasern ist aktuell aber noch sehr grob. In weiteren Schritten soll dieser auf 1,7 dtex reduziert werden. Es konnten erfolgreich erste Weiterverarbeitungsschritte getestet werden, wie das Färben und Ausrüsten der Faser.

Es wurden für die Spinnanlage In House Düsen entwickelt und gefertigt. Auch die geeignetste Reinigungsform der Düsen wurde optimiert.

Weitere Schritte sind es, die Faser auf Ihre weitere Verarbeitung zu testen. Es stehen hier die ersten Versuche mit Spinnereien und Strickereien an, damit der Markteintritt endgültig erfolgen kann.

6.0 Einleitung:

Ziel war es eine Textilfaser aus Non-Food Milch weiterzuentwickeln:

- Den Prozess von 6 kg/h auf 100 kg/h zu skalieren,
- die Rezeptur weiterzuentwickeln, damit diese marktfähig ist,
- als auch eine Anlage für die Herstellung dieser Textilfaser aufzubauen
- Die Faser im Titer marktfähig anzupassen

Die ersten Schritte waren Rezepturoptimierungen im Labormaßstab um mögliche Rezepturen auf eine Anlage zu geben.

- Skalierung des Prozesses und
- Düsenentwicklungen
- Anlagenaufbau & Inbetriebnahme
- Erhöhung der Reißfestigkeiten und Verringerung der Feinheit
- Ausrüstung

6.1. Ausgangssituation:

2013 hatte die Firma eine Textilfaser aus Non-Food Milch entwickelt und diese an der Uni Bremen zu einem industrienahen Prozess stabilisiert, der 6 kg/h betraf. Die Anlage wurde mit Knete und Bohrmaschine umgebaut und auf die Prozesse abgestimmt.

Aufgrund der aktuellen Marktnachfrage sollte eine Produktion aufgebaut werden und eine Anlage mit 100 kg/h Kapazität konstruiert werden. Die Faser sollte mit einem angepassten Prozess auch zu marktreifen Eigenschaften geführt werden.

Die Milchaser besteht aus 100% natürlichen Rohstoffen, wird in einem neuen Spinnprozess hergestellt, welcher nur max. 5 Minuten dauert, max. 2 Liter Wasser benötigt, keine Abfälle anfallen und die bei ca. 80°C hergestellt wird.

Die Faser ist antibakteriell, atmungsaktiv, fühlt sich an wie Seide, ist schwer entflammbar, hat eine geringe Dichte von $1,2 \text{ g/cm}^3$ und ist beständig gegen viele Chemikalien.

Die Faser wird in einem Herstellungsprozess gewonnen, bei der die Rohstoffe frisch in einem Extrusionsprozess angerührt werden. Am Ende der Maschine wird eine Lochplatte angeschlossen, man erhält eine Textilfaser die über Walzen gezogen und aufgewickelt wird. Die große Herausforderung ist dabei diesen Prozess zu kontrollieren, da die Reaktionen mitten in der Maschine stattfinden und somit in dem Prozess Drücke und Vernetzungsgrade entstehen, die zu kontrollieren sind.

Bisherige Untersuchungen an der Reißfestigkeit der Faser zeigten, dass die Qmilch Faser eine sehr hohe natürliche Elastizität von mehr als 100% aufweist. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund dessen, dass die Faser an einer Versuchsanlage hergestellt wird, deren Prozess nicht optimal auf die Faser und das Biopolymer ausgelegt wird, nicht alle Potentiale der Textilfaser genutzt werden können, sondern nur ein provisorischer Prozess der das Proof of Principle darstellt, realisiert werden können. Die hohe Elastizität lässt darauf schließen, dass die Moleküle noch nicht ausgerichtet sind, und somit stärker verstreckt werden müssen. Die Caseinfasern aus dem Stand der Technik wiesen damals deutlich höhere Reißfestigkeiten auf, weil das Material stärker und länger vernetzt wurde. Die Erhöhung der Reißfestigkeiten müsste daher auch für unsere Qmilch Faser möglich sein, da es ja auch mit anderen Textilfasern auf Casein und Proteinbasis erreicht wurde. Die damaligen Caseinfasern wurden nur bei 17 m/min abgezogen, also wurde ein viel langsamerer Prozess realisiert. Die Qmilch Faser lässt sich aufgrund der hohen Elastizität sogar 1:3 verstrecken und sich bei 900 m/min abziehen, aber selbst dann bleibt eine hohe Restelastizität.

In einer Diplomarbeit unter der Leitung des Bremer Faserinstitutes und in weiteren Untersuchungen ist bisher die Grundmischung der Faser auf ihre Reißfestigkeiten untersucht worden.

Auffällig ist dabei in erster Linie die hohe Elastizität der Faser. Zudem muss ebenfalls erwähnt werden, dass an der Versuchsanlage in Bremen aufgrund der Anlage nur eine auf die Versuchsanlage angepasste Rezeptur gefahren werden konnte. Dies bedeutet in erster Linie, dass die Molekülketten der Textilfaser nur eine bestimmte

Länge aufweisen, die womöglich zu kurz waren. Ziel im Rahmen dieser Arbeit war es, die Molekülketten des Biopolymeres zu verlängern, ohne dass das Material seine Spinnbarkeit verliert. Hierfür musste die optimale Auslegung an Viskosität, Quer- und Längsvernetzung, sowie Kettenlänge gefunden werden.

Durch das Aufwickeln nach dem Austritt aus der Düse wird die Faser verstreckt, wobei die Polymerketten teilweise in Faserrichtung orientiert werden. Beim Erstarren des Polymers beim Abkühlen bilden sich in der Faser amorphe und kristalline Teilbereiche. Das Verhältnis von amorphen und kristallinen Bereichen und die gebildeten Kristallstrukturen hängen stark vom Polymer und der Abzugsgeschwindigkeit ab. Mit steigender Abzugsgeschwindigkeit (typischerweise im Bereich von 1000-6000 m/min) verbessert sich die Orientierung der Polymerketten.

Wir gehen deshalb davon aus, dass die weitere Entwicklung der Reißfestigkeit maßgeblich von der Abzugsgeschwindigkeit beeinflusst wird.

Der zum Erspinnen erforderliche viskose Fließzustand des Ausgangsstoffes wird in Abhängigkeit der Polymereigenschaften in der Regel durch Schmelzen oder Lösen erzielt. Die hochpolymere Spinnsubstanz wird mit Hilfe von Spinnpumpen durch Rohrleitungen zu formgebenden Elementen, den Düsenbohrungen, gefördert. Durch diese wird sie gedrückt und nach dem Austritt im noch flüssigen Zustand durch den Abzug verjüngt. Die Ausbildung wesentlicher Faserparameter (z.B.) Faserfeinheit sowie der übermolekularen Struktur erfolgt während der Verfestigung des ersponnenen Filamentes entweder durch Abkühlen oder durch Entfernen des Lösemittels infolge chemischer Reaktionen oder Koagulation.²

6.2 Zielsetzung:

Ziel war es deshalb die Grundrezeptur anzupassen, diese schrittweise auf 100kg/h zu stabilisieren und eine Produktionsanlage für die Milchfaser aufzubauen. Eine entkernte Halle war zu dieser Zeit vorhanden, hier sollte eine Infrastruktur zur Faserherstellung als auch die Anlagen selbst aufgebaut werden.

Im Rahmen dieses Projektes sollte die Qmilch Faser in seiner Reißfestigkeit verbessert werden, um Ihre Marktchancen und auch deren Einsatzpotentiale zu vergrößern. Erst an der eigenen Pilotanlage ergeben sich Reißfestigkeiten der Faser,

da ein optimaler Extrusions- und Spinnprozess ermöglicht wird, der auf das Material ausgelegt ist.

6.3. Aufgabenstellung:

Im Labormaßstab sollen Rezepturen entwickelt werden, die zum Ziel haben eine optimale Kettenlänge mit geeigneter Quer- und Längsvernetzung, sowie Viskosität zu entwickeln.

Geeignete Rezepturen wurden in einem Extrusionsprozess an unserem Laborextruder erprobt und optimiert. Ein angeschlossener Flansch mit einem Spinnpaket ermöglicht erste Fasertests des Materials. Es sollen ebenfalls unterschiedliche Feinheiten der Faser ausgesponnen werden.

Vielversprechende Rezepturen sollten nun an der Versuchsanlage am Bremer Faserinstitut getestet werden, da hier ein kompletter Spinnprozess realisiert werden kann. Auch wenn dieser nicht optimal für unser Material ausgelegt war.

Rezepturen die in Bremen gut umgesetzt wurden, aber auch die die vielversprechend auf dem Laborextruder liefen und nicht auf den Extrusionsprozess an der Versuchsanlage realisiert werden konnten, sollten auf unserer Pilotanlage getestet werden, die schon basierend auf unserem Material entwickelt worden ist.

Die Prozessparameter der Textilfaser müssen entwickelt werden, darunter fallen die optimale Verstreckung, sowie Temperprozesse, als auch Abzugsgeschwindigkeiten und Wickelgeschwindigkeiten, die neben der Rezeptur eine wichtige Rolle in der Faserherstellung haben.

10 Hauptteil:

10.1 Rezeptentwicklung

Es wurde mehrere hundert Rezepturen im Labor erstellt. Die Textilfaser wies an der Laboranlage noch keine hohen Reißfestigkeiten auf. Dies lag einmal an den mit einfachen Mitteln ausgelegten System.

Der Extruder war zu kurz und es konnten nicht ausreichend Vernetzter hinzugegeben werden. Somit waren die Molekülketten nicht lang genug. Deshalb wurden verschiedenste Rezepturen im Labormaßstab getestet um die Molekülketten zu verlängern. Dies erhöht die Reißfestigkeiten. Dennoch ist es ein Zusammenspiel zwischen Quervernetzungen, Fließfähigkeit und Folienbildung. Die Moleküllänge bestimmt die Stabilität der Faser der Reißfestigkeit und Waschbarkeit.

10.2. Skalierung

Ausgewählte Rezepturen die eine hohe Wasserbeständigkeit und Waschbarkeit gezeigt haben wurden zur Skalierung verwendet. Zuerst wurden diese Rezepturen auf einen Extrusionsprozess gebracht. An diesen Extruder wurde eine Düse angeschlossen, damit erste Fasern evaluiert werden könnten.

Zuerst wurden die Prozess auf einen Extruder skaliert, der 10 kg/h die Stunde herstellen konnte.

Nach dieser Erfolgreichen Skalierung wurde der Prozess auf 25 kg/h Stunde skaliert. Ebenfalls mit angeschlossen Düsen. Somit konnte auch getestet werden, ob die Düsenauslegung und Schmelzefluss in die richtige Richtung gehen. Durch eine Nachverstreckung (Anlegen einer Zugspannung) kann die Orientierung der Molekülketten deutlich erhöht werden. Fasern werden z. B. auf ein Vielfaches ihrer ursprünglichen Länge gezogen. Dabei werden die Ketten gereckt und orientiert angeordnet. Dieser Zustand entspricht einer Teilkristallisation, wobei die kristallinen Bereiche zusätzlich noch gleichgerichtet sind.“⁵ Die Festigkeit der Faser in Längsrichtung wird stark erhöht. Normalerweise erfolgt eine anschließende Temperaturbehandlung unter Spannung (Thermofixieren), um eine höhere Ordnung zu erreichen und Spannungen abzubauen, die zu einer nachträglichen Relaxation

(Schrumpf) führen könnten.“⁵ Die Faser bleibt dadurch formstabiler. Die starke Anisotropie der Faser wird auch in ihren optischen Eigenschaften (Doppelbrechung) messbar.

„Eine Festigkeitssteigerung durch nachträgliche Verstreckung wird auch beim Prozess des Streck-Blasformens erzeugt. Hier wird der temperierte PET-Rohling (engl. Preform) in einem Umformprozess mit Druckluft bis zur durch die Form vorgegebenen Größe aufgeblasen. Anwendungen sind z. B. Benzintanks oder PET-Flaschen.⁵ Gleichzeitig kann die Gasdurchlässigkeit durch die biaxiale (in zwei Richtungen weisende) Verstreckung deutlich verringert werden.“⁵

„Durch eine nachträgliche Verstreckung können auch an sich amorphe Polymere zu teilkristallinen Materialien umgeformt werden.⁵ Es bilden sich lamellare Kristallstrukturen aus, die infolge der starken Verstreckung keine sphärolitischen Überstrukturen bilden und damit optisch vollständig transparent bleiben.“⁵

Nach der erfolgreichen Stabilisierung dieser Prozesse, konnten die herausragenden Faserrezepturen, die in der Waschbarkeit und Reißfestigkeit überzeugten, auf die große Spinnanlage gebracht werden. Hier herrschen noch einmal andere Prozessparameter, da die Drücke und Scherungen letztlich noch einmal ganz andere Wirkung zeigen, da es ein vollständiges System ist.

Denn die Spinnanlage verfügt über einen Schacht, Galetten und Wickler und hat somit eine längere aber vollständige Prozesstrecke, was letztlich mit einem einfachen Extrudersystem nur annähernd simuliert werden kann.

Die Rezepturen verhalten sich dementsprechend auch anders. Manche fließen mehr, manche sind steifer. Aus anderen lassen sich unter den Umständen keine Textilfasern herstellen, weil diese dann ihr Eigengewicht nicht tragen oder die Drücke zu hoch sind.

Somit wurden viele Rezepturen an der Spinnanlage getestet um die optimalen Einflüsse zu finden. Mit den Rezepturvarianten ändert sich aber auch das Verhalten in der Düse oder im Schacht.

Es ist ein stark zusammenhängendes System bei dem es auf jedes Detail letztlich ankommt. Die Faserherstellung ist sehr empfindlich und der komplizierteste Prozess in der Polymerverarbeitung.

10.4. Düsenfertigung

An der Laboranlage in Bremen konnten nur wenig Düsenvarianten getestet werden. Deshalb hatte die Faser keinen Marktstandard in Bereich der Faserfeinheit.

Trotzt der geringen Dichte lag diese über dem Marktstandard. Somit musste hier gezielt Entwicklung betrieben werden.

Da die Fertigung einer Spinnöse nach mit einem neuen Material sich als Herausforderung erwies, entschloss sich die Firma in einen eigenen Werkzeugbau zu investieren. Mehrere Düsenkonstruktionen wurden getestet, da dies in der Faserherstellung ein sehr kritischer Punkt ist. Die Düsen müssen einwandfrei laufen. Sie dürfen nicht tropfen, sonst kann die Faser nicht aufgelegt werden. Zudem haben wir einen reaktiven Werkstoff, d.h. er härtet in der Düse aus. Auf Toträume muss deshalb verzichtet werden. Masseströme müssen hierbei berücksichtigt werden. Die Düse bestimmt vorrangig die Qualität der Faser. Wie fein diese ausgesponnen wird, und wie der Nachfolgeprozess optimiert werden kann. Die Düsen wurden den einzelnen Rezepturen und Fließfähigkeiten angepasst.

Vernetzende Stellen führen dazu, dass der Prozess über längere Zeit nicht gefahren werden kann, was einem stabilen Prozess hinderlich wäre. Auch die Düsentemperaturen mussten weitestgehend optimiert werden. So hat der Prozess einen Einfluss darauf ob die Düse kalt oder warm gefahren wird.

Hinzu kamen ebenfalls Probleme beim Lasern. Das Lasern ist der einzige Schritt der nicht im Hause geleistet werden konnte. Die Löcher waren leider nicht sauber gelasert worden, was wieder zu Problemen im Spinnprozess führte. Erst das wechseln mehrerer Anbieter führte zum Erfolg.

Auch die Reinigung des neuen Biopolymers stellte sich als große Herausforderung dar, was auch noch weiterhin optimiert werden muss. Die Löcher sind feiner als 150 μm und können nur schwer gereinigt werden. Eine saubere Düse ist aber essentiell für den Verlauf des Prozesses und ob dieser stabil bleibt. Eine nicht saubere Düse, führt zum Tropfen und reißt damit die Fasern runter.

Bekannte Prozesse wie das Ausbrennen oder bekannte Reinigungsmittel der Düse waren nicht erfolgreich und konnten nicht genutzt werden.

Mittlerweile konnte das Unternehmen ein System etablieren, was die Reinigung der Düse gewährleistet.

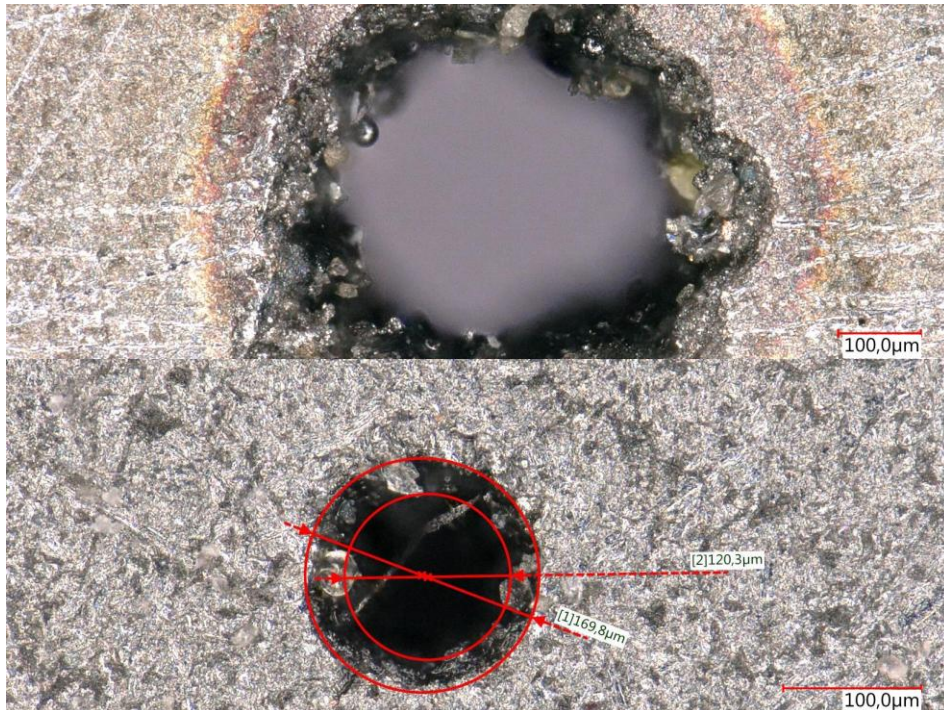


Abbildung 1: Verlaserte Löcher der Spinndüsen die zum Tropfen der Fasern führen können



Abbildung 2: Werkzeugbau der Düsen mir Drehmaschine und CNC Fräse

10.5. Anlagenaufbau

Zurzeit des Anlagenaufbaus gab es nur eine entkernte Halle. Es wurde eine komplette Infrastruktur mit Lager, Mischplätzen, Verwertung, Düsenreinigung, Spinnanlage, Werkzeugbau, Arbeitssicherheit, Arbeitsabläufe usw. geschaffen. Der Betrieb agiert mittlerweile im 2-Schicht-System.

Im Dezember 2013 kamen die ersten Maschinen. Der Aufbau der Anlagen dauerte bis April 2014. Danach folgte eine lange Inbetriebnahmephase. Leider kündigte der Projektverantwortliche unsere Generalunternehmer, weshalb wesentliche Baufehler an der Anlage durchgeführt wurden. Dies führte zu einer langen Optimierungsphase die nun im Mai 2015 zu Ende gegangen ist.

Alle Umbauten wurden vom Betrieb übernommen. Durch die Mitarbeiter konnten der Umbau vorgenommen werden.

So war die Herausforderung die Rezepturen an einen stark schwankenden Dosierprozess anzupassen. Die Rohrleitungen wurden nicht ausreichend beheizt und waren zudem zu lang ausgelegt worden, was zu schnellen Druckabschaltungen führte. Die Anlage musste um 1 m verkürzt werden. Was bedeutete dass die ganze Elektrik neu verdrahtet, aber auch die Anlagenteile neu aufgelegt werden mussten. Hinzukam dass die Qmilch Mitarbeiter, ein eigenes Rohrleitungssystem fertigten mussten.

Viele Anlagen Teile Spinnpumpe, Schmelzpumpe, wurden falsch ausgelegt, was entweder neu bearbeitet oder neu angefertigt werden musste.

10.6. Zeitlicher Ablauf :

- Ab 2011 testen der technische Machbarkeit und Anlagenspezifikation im Faserinstitut
- 2012-2013 erfolgreicher Aufbau der Finanzierung und Abschluss
- Juni 2013 Bestellung der Anlage: Hierfür wurden Gespräche und Verhandlungen mit über 10 Generalunternehmern geführt. Die Firma Brüggesch erhielt den Zuschlag, weil Sie einen sehr kompetenten Projektverantwortlichen Ingenieur mit Erfahrungen im Anlagenbau hatte, sowie die Vertraglichen Bedingungen der Haftung akzeptierten. Basis war ein über 100 seitiges Lastenheft in dem detailliert

die Bedingungen der Anlagenplanung dargelegt sind und Bestandteil des Vertrages wurden.

- September 2013 Bestellung der Maschinen und Engineering
- Dezember 2013 Bereits Kommunikationsschwierigkeiten mit Brüggesch; ständiger aktiver Versuch von Qmilch dagegen zu wirken
- März 2014 Kündigung des Projektverantwortlichen der Firma Brüggesch
- April 2014 bis dahin planmäßiger Aufbau der Anlage und Infrastruktur, sowie erste Inbetriebnahme Tests
- Mai 2014 wegen Nichterreichen des Meilensteins der Inbetriebnahme wurde für Brüggesch eine Pönale fällig; Brüggesch bittet aus dem Vertrag entlassen zu werden. Qmilch weigert sich.
- Juni 2014 - Immer mehr Baufehler werden offensichtlich und von Qmilch bemängelt.
- Juli 2014 Rückzug Brüggeschs von der Baustelle und somit erfolgte Kündigung durch Qmilch da keine Inbetriebnahme erfolgt ist. Damit wurde die dritte Teilzahlung nicht fällig.
- August 2014 Qmilch war aufgrund der Kündigung handlungsfähig und konnte die Anlage endlich anfangen selbst weiterzubauen und aufgrund der gemachten Fehler umzubauen.
- Herausforderung war- sämtliche Garantien und Handlungsvollmacht liegen bei Brüggesch. Somit konnten wir einige Hersteller nicht in die Verpflichtung nehmen.
- Dann erfolgt die detaillierte Aufnahme des Ist- Zustandes mit der Feststellung :
-die gebaute Anlage weicht in einigen Punkten gravierend von dem Lastenheft und der Referenz aus Bremen ab.
- Sept.2014 – Feb.2015 Die gesamte Anlage wurde Punkt für Punkt geprüft und überarbeitet. Dabei wurden mehrere große Fehler in Mechanik, Elektrik und Steuerungstechnik festgestellt.
- März 2015 Brüggesch meldet Insolvenz an.

Qmilch nahm erhebliche und umfassende Umbauten mit dem eigenen Team vor. So konnten somit die Anlage den Bedingungen angepasst werden.

Fehlerhaft waren:

- **Stahlbau der Firma Buthmann:** von der Statik nicht erschütterungsfrei ausgelegt

- wenn sich ein Mitarbeiter auf der Anlage bewegt, gibt es starke Erschütterungen, die die Dosierungen falsch arbeiten lassen

Folge : Prozessschwankungen und keine stabile Produktion möglich

- **Dosiersystem der Firma Brabender** : erhebliche Probleme und Unregelmäßigkeiten, damit

Schwankungen im System wegen falscher Rührwerke zu niedrig ausgelegt

Motorleistung und Komplettausfall der Dosierpumpen

Folge:

Keine konstante Dosierung - somit Prozessschwankungen und instabiles

Problem und Ausfall und Maschinenblockade

- **Mix-Station der Firma Brüggensch:** Ausfall durch defekte Pumpen, damit

kompletter Anlagenstillstand

Folge:

Es konnte die Flüssigkeit nicht nach oben gepumpt werden, es mussten

erst neuen Pumpen besorgt und installiert werden.

- **Fallschacht Brüggensch:** Umbau des kompletten Fallschachtes, da keine laminare Strömung entstand

Folge:

Die Fasern klebten am Schacht und konnten nicht aufgelegt werden

- **Anfahrventil Maag:** Kolbenfresser des neuen Anfahrventils. Anlagenstillstand

Folge: Die Hülse des Anfahrventils musste umgebaut werden –

Schmelzepumpe Maag: Ausfall der Schmelzepumpe – wegen zu großer Auslegung der Durchflusskanäle - bestätigt von GF Maag – Neubau würde dauert 6 Monate dauern – durch gebrauchte Ersatzpumpe ersetzt.

Folge: neue Investitionskosten, Umbau der Flansche an die neue

Schmelzepumpe, neuer Getriebemotor

- **Rohrleitungen Brüggesch:** zu lang gebaut - sie mussten verkürzt werden.

Somit musste die ganze Anlage um einen Meter nach hinten versetzt werden. Neukonstruktion und Fertigung einer neuen Schmelzeleitung von der Schmelzepumpe zu den Düsen

Folge: es entstanden zu hohe Drücke und die Anlage schaltete sich immer wieder ab. Dieser Umbau war so groß, dass er über 3 Monate gedauert hat. Es wurde ein eigenes System entwickelt und in House gebaut.

- **Einhausung der Anlage:** um konstant produzieren zu können, wurde die Anlage eingehaust, damit sich ein gleichmäßiges Klima ergibt.

Folge:

Klimaumstellung führen zum Abschalten der Galetten- schwankt die Temperatur nur um 2 Grad gibt der Fühler ein Signal - es kann nicht gewickelt werden

- **Spinnpumpen Oerlikon:** falsche Auslegung, Umbau durch Maschinenhersteller

Folge: Die Masse wird zu stark beansprucht, so dass diese nicht mehr durch die Spinndüse gedrückt werden kann. Zudem führen die hohen Drücke zum Abschalten der Anlage

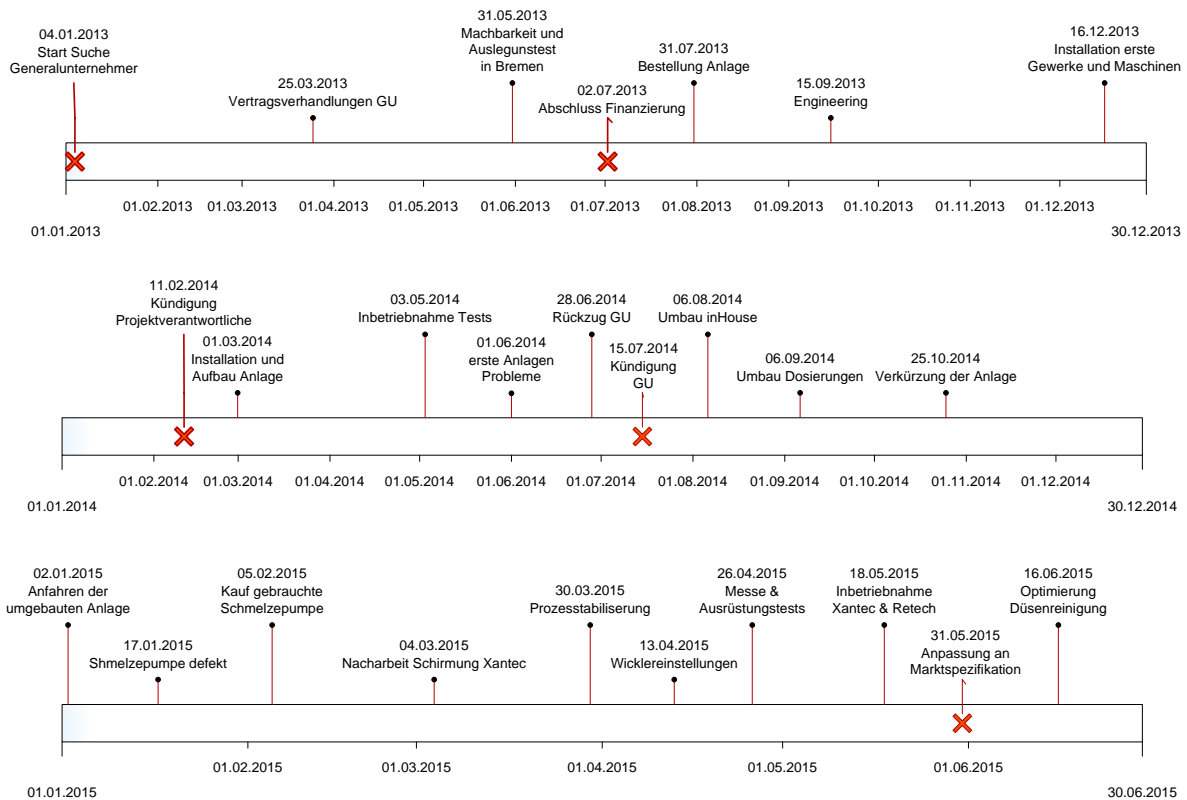
- **Steuerung:** nicht angebrachte Schirmung der Signalleitungen, obwohl in den Plänen es so angegeben war - Fehler wurde durch die eigenen Mitarbeiter festgestellt

Folge: Alle Prozessparameter wurden falsch angezeigt, es musste alles neu ermittelt werden

Düsenpakete:

Mehrmalige Anpassung der Düsenpakete - da sich durch die Fehler in der Anlage die Schmelze geändert hatte

Tabelle 1: Zeitlicher Ablauf



Folge: Jedesmal, wenn ein Fehler behoben war, änderten sich die Bedingungen und somit die Viskosität der Schmelze- somit musste die gesamte Düsengeometrie neu angepasst werden. Es konnten keine Fasern stabil produziert werden.

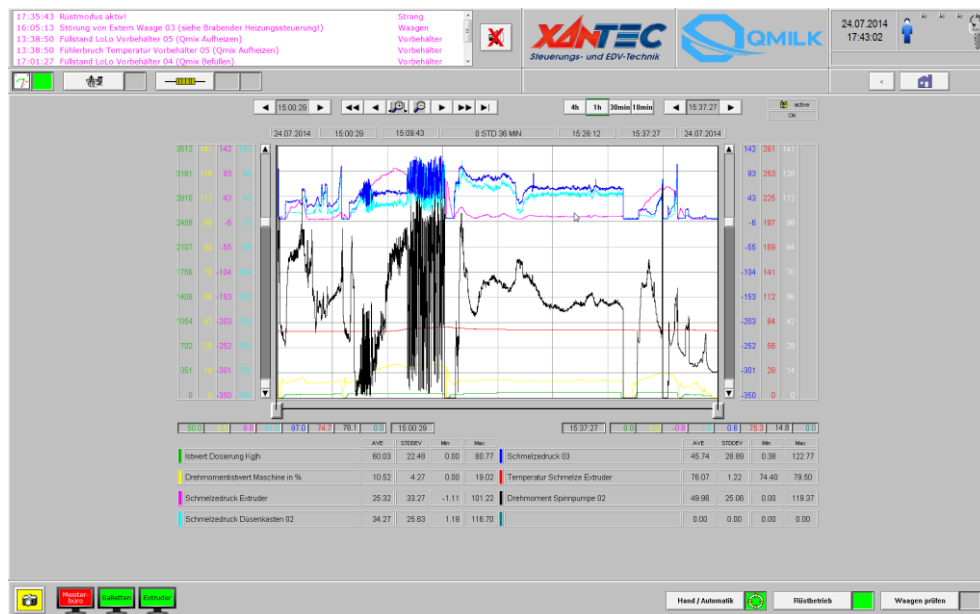


Abbildung 3: Steuerungsabbildung mit hohen Druckschwankungen und Systemabschaltung Stand Juli 2014

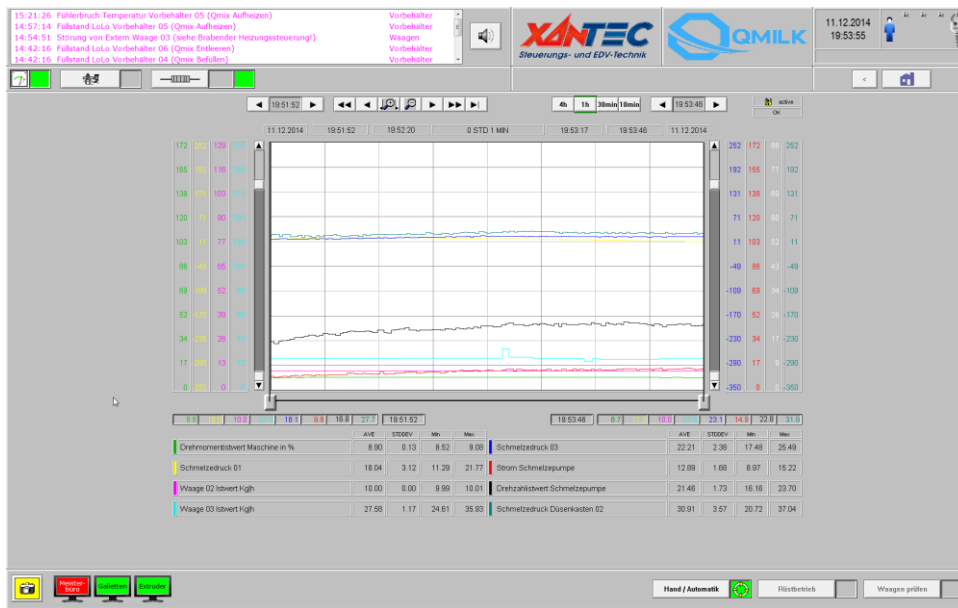


Abbildung 4: Systemsteuerung mit stabilen Prozessen Stand Dezember 2014

Fazit:

Qmilch konnte diese Mängel dennoch erfolgreich beseitigen. Die Anlage fährt stabile Läufe von bis zu 6 Stunden. Dennoch müssen diese Umstände nun reproduzierbar hergestellt werden. Zudem kommt die konkrete Marktspezifikation der Fasermesse TECHTEXTIL hinzu. Danach müssen wir die Feinheit von 1,7 dtex, einen starkem Crimp und lange Schnittlängen für die Stapelfaser erreichen. Maschinentechnisch lassen sich diese Anforderungen umsetzen, allerdings sind hier Anpassungen der Prozessparameter, der Düsen, des Crimpers und des Cutters notwendig.



Abbildung 5: Spinnanlage für die Qmilch Faser Endstand



Abbildung 6: Gecrimpte Faser zu wenig Crimp linke; gecrimpte Faser gestaucht

10.7. Test der Eigenschaften der Faser

Es wurde ein Labor aufgebaut, indem Prüfsysteme wie Zugfestigkeiten, Dehnung, Faserstärke gemessen werden können. Jede Rezeptur wird an mehreren Stellen im Prozess abgenommen und in Ihren Eigenschaften überprüft.

Große Herausforderung stellte die korrekte Einstellung der Faserparameter dar, um auf die tatsächlichen Eigenschaften zu kommen. Teilweise musste hier auf die händischen Methoden der dtex Messung zurückgegriffen werden, da das Laborgerät individuell einstellbar war.

Hier zeigte sich auch ob die Düsenentwicklung in die Richtige Richtung ging.

Die Faser muss noch verstreckt werden um auf die 1,7 dtex zukommen. Marktspezifisch hat das Unternehmen 1,7 dtex, 3,3 dtex und 6,1 dtex vorgegeben.

1,7 dtex ist die bevorzugteste Variante. Bisher konnten 3,3 dtex erreicht werden.

Die Reißfestigkeiten der Faser gehen aktuell in die Vergleichswerte wie Wolle. Somit wäre die Faser marktfähig und das Ziel konnte erreicht werden.

Durch die idealen Prozessbedingungen, die Fallschachthöhe und entsprechende Verstreckungen konnten sich die Moleküle entsprechend ausrichten.



Abbildung 7: Faser aus der Laboranlage 2999 in Bremen und aktuelle Qmilch Faser 2245

Die Abstimmung der Messung auch den Aufbau des QM-Systems erfolgte ebenfalls im Hause Qmilch. Es wurde ein gut ausgestattetes Labor aufgebaut, was über Faserfeinheiten, Faserstärke und Nassfestigkeit alles messen kann.

Ein großer Fokus lag ebenfalls auf der weiteren Ausrüstung der Faser. Dementsprechend wurden unterschiedliche Nachbehandlungen getestet:

- Ausrüstung
- Schrumpf
- Thermoschrumpf
- Waschbarkeit
- Färbung
- Verspinnen
- Verstricken
- Stapelfaser schneiden
- Chemische Beständigkeit

- Schimmeltests
- Pilling durch Martindale



Abbildung 8: Färbung der Faser, Strickmischung mit Wolle

Da die Faser eine Proteinfaser ist, mussten auch hier einige Tests erfolgen um die entsprechenden Weiterverarbeitungen zu gewährleisten. Grundsätzlich gehen die Verarbeitungsformen in Richtung Wolle und Seide, die ebenfalls zu den Proteinfasern gehören.

Die Faser steht nun vor dem Markteintritt und vor den weiteren Prozessschritten in der Wertschöpfungskette:

- Spinnerei
- Strickerei/Weberei
- Färberei/Ausrüster
- Konfektionäre

10.8. Ökologische Bewertung

60 Prozent aller Baumwollfelder werden künstlich bewässert, die Herstellung von einem Kilogramm Polyacryl beispielsweise erfordert gerade einmal 210 Liter Wasser.

Das ökologische Manko der Chemiefasern ist jedoch der Energieverbrauch, der je nach Typ erheblich ausfallen kann.

Grundsätzlich lassen sich zwei Arten von Kunstfasern unterscheiden: Zellulosefasern gewinnt man zwar aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz, da sie jedoch in einem industriellen Prozess unter ausgiebigem Einsatz von Schwefelverbindungen und Natronlauge heraus gekocht werden, gelten sie dennoch als Chemiefasern. Die bekanntesten von ihnen sind Viskose, Modal und Acetat; Synthetikfasern bestehen aus dem nicht erneuerbaren Rohstoff Erdöl. In ihre Ökobilanz fließen daher nicht nur die Umweltschäden der Rohölproduktion ein – etwa die Verseuchung von Regenwald und arktischer Tundra oder Tankerhavarien wie die der Exxon Valdez. Auch der Energiegehalt der Ausgangsstoffe muss berücksichtigt werden. So ergibt sich für Polyester ein doppelt so hoher Energieverbrauch wie bei der Baumwollerzeugung, für Polyacryl sogar ein mehr als dreimal so großer. Der Hohe Energieverbrauch lässt sich auch durch die hohen Prozesstemperaturen von mind. 350°C erklären, die zum Aufschmelzen des Granulates benötigt werden. Diese Zahlen beziehen sich ausschließlich auf die Herstellung der Fasern – ihre Weiterverarbeitung zu Stoffen, also das Spinnen, Weben, Färben und Veredeln, erfordert bei Baumwolle und Synthetikware annähernd gleich viel Ressourcen.

Die Qmilch Faser besticht somit durch den Einsatz von 100% nachwachsenden und natürlichen Ressourcen und dem Herstellungsprinzip, dass das Biopolymer gleich in der Maschine angerührt wird und zur Faser ausgesponnen wird. Es erfolgt somit nicht vorab eine Granulatherstellung wie bei den Synthetikfasern üblich. Der Prozess findet bei Temperaturen unter 100C° statt und ist somit sehr energieeffizient.

Es müssen auch keine anfallenden Abfälle entsorgt werden, so dass es auch keine Abfallentsorgung oder Abwasserregularien anfallen. Es müssen keine wesentlichen Prozessregularien oder Arbeitsschutzbestimmungen eingehalten werden, weil keine giftigen Substanzen zum Einsatz kommen

Mittlerweile erhielt das Start Up sogar den Greentec Award für Produktion.

Fasereigenschaften werden nicht durch chemische Zusätze, sondern mit neuen Technologien verbessert. Durch CO₂-neutrale thermische Verwertung, durch Kompostierung oder durch klassisches Recycling kann die Qmilch Faser umweltverträglich dem Stoffkreislauf wieder zurückgeführt werden.

Qmilch verwendet Milch, die nicht der Milchverordnung entspricht, und normalerweise weggekippt oder in Biogasanlagen verbrannt wird, da sie nicht für Lebensmittel verwendet werden darf. Ein Beispiel ist Milch, die nicht nach dem Gesetz wärmebehandelt ist oder das Zentrifugat aus der Käseherstellung, usw.. Diese Milch kann aber auch für technische Zwecke verwendet werden. Jährlich müssen 1,9 Mio. Tonnen dieser Milch in Deutschland entsorgt werden.

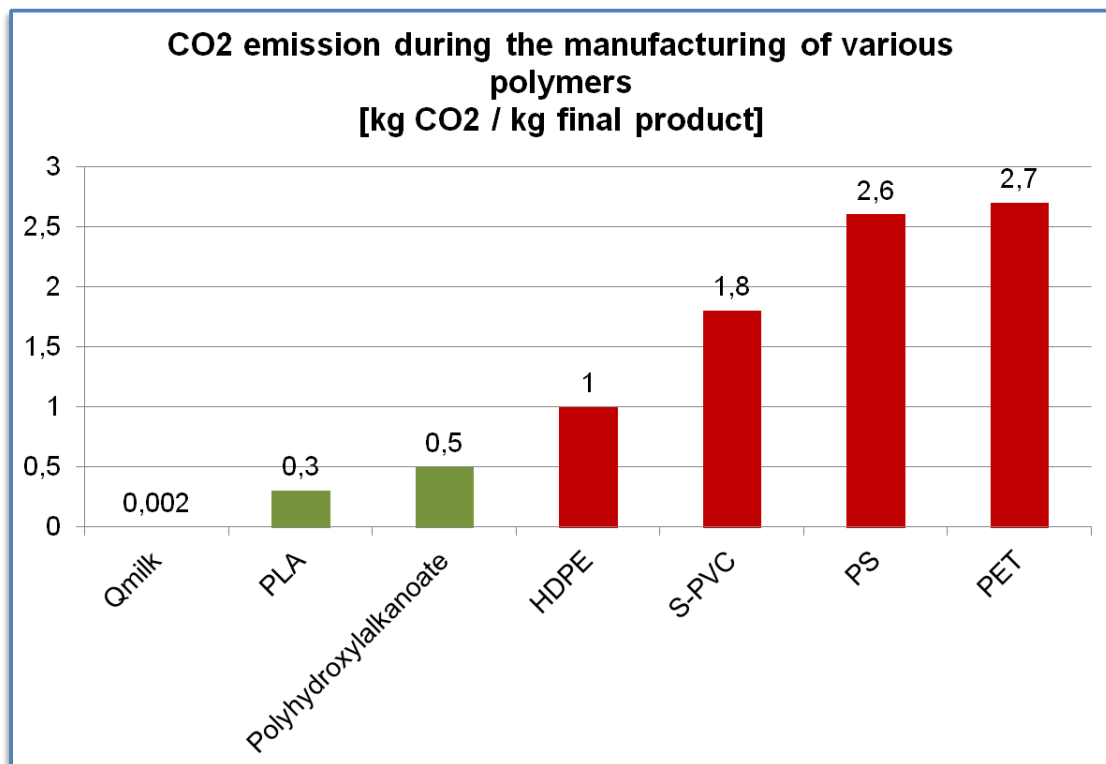


Abbildung 9: Ökobilanz in der Herstellung der Faser

10.9. Ökonomische Bewertung

Qmilch ist weltweit der erste Hersteller, der es geschafft hat in einer Reaktiven Extrusion aus einer proteinogenen Quelle und mit 100% natürlichen Rohstoffen eine Textilfaser herzustellen und diesen Prozess auf eine Industrieanlage zu bringen. Damit ist Qmilch einer der nachhaltigsten Faserhersteller Weltweit mit einem ganzheitlichen ökologischen Aspekt. Dieses Konzept ist auf sehr großen Zuspruch gestoßen. Mittlerweile gibt es über 1000 Anfragen für die Textilfaser. Das Marktinteresse ist deshalb dementsprechend groß.

Qmilch hat in den letzten Jahren ein großes Wachstum zurückgelegt. Der Betrieb arbeitet in 2 Schichten und hat 20 Mitarbeiter.

Weltweit fehlen über 6 Mio. tonnen Textilfasern auf den Fasermarkt – Tendenz steigend. Qmilch bietet eine Ergänzung zu diesem Defizit. Neben der ökologischen Herstellung hat die Faser auch technische Eigenschaften, weshalb die Kunden ebenfalls bereit sind einen aktuellen Marktpreis von 25 Euro/kg zu zahlen.

Mit einer Produktionskapazität von 100 kg/h können über 10 Mio. Euro Umsatz pro Jahr erwirtschaftet werden.

11. Technologische Bewertung

"Das Polymerisationsspinnen ist ein Verfahren zum Erspinnen von Fasern und Fäden, bei dem eine Mischung aus Monomeren, Prepolymeren, Initiatoren, Füllstoffen, Pigmenten, Flammschutzmitteln usw. während der Polymerisationsreaktion mit Geschwindigkeiten von mehreren hundert Metern pro Minute versponnen werden. (3). Um Caseinfasern im klassischen Nassspinnverfahren herzustellen, ist es erforderlich, das Casein vielen chemischen Behandlungsschritten, z.B. einem Koagulationsbad, wie einem formaldehydhaltigen oder aluminiumsulfathaltigen Härtingsbad auszusetzen. Dadurch sind die Schadstoffbelastungen sehr hoch, das Verfahren sehr zeitaufwendig und ressourcenintensiv. Die Prozessdauer beträgt ca. 60 Stunden. Zudem wird das Casein mit Acryl polymerisiert, so dass eine Acryl (75%)-Casein (25%)-Faser entsteht. Im Vergleich zu herkömmlichen Prozessen von mind. 60 Stunden, wird die Prozessdauer der Qmilch-Faser auf 5 Minuten reduziert. Zudem werden max. 2 Liter Wasser benötigt. Es fallen ebenfalls keine Abfälle oder Schadstoffe während des Prozesses an. Das neue biotechnologische Verfahren ermöglicht die Herstellung der Faser aus 100% natürlichen und nachwachsende Rohstoffen. Die Faser wird bei niedrigen Temperaturen unter 100°C hergestellt und ermöglicht somit einen energieeffizienten Prozess im Vergleich zur herkömmlichen Faserherstellung.

Die große technologische Herausforderung liegt darin einen Reaktiven Spinnprozess zu kontrollieren. Anders als bei den gängigen Polymerspinnverfahren wird kein

Granulat aufgeschmolzen und ausgesponnen, sondern die Reaktionen finden in innerhalb von 2 Minuten statt. Das Reaktionsspinnen ist ein Verfahren zum verspinnen von Fasern bei dem eine Mischung aus Monomeren, Prepolymeren, Initiatoren, Füllstoffe, Pigmenten, während der Polymerisations-Reaktion mit Geschwindigkeiten von bis zu 400m/min versponnen werden. Da dieses Verfahren somit ohne zwischenseitige Isolierung der Polymeren direkt vom Monomeren oder Prepolymeren zum Faden führt, ist es sehr wirtschaftlich, eignet sich allerdings nur für schnell polymerisierende Monomere. Es wird z.B. bei der Produktion von Spandex Fasern aus Polyurethan verwendet.¹

„Schmelzspinnen mit einem Doppelschnecken Extruder ist bisher in der Chemiefaserindustrie kaum untersucht und praktiziert worden. Normalerweise werden in der Textilverarbeitung Granulate aufgeschmolzen, deshalb werden hauptsächlich Einschneckensysteme genutzt. Das neue Spinnverfahren von Qmilch ist ein reaktiver Prozess, der kontrolliert werden muss. Bei Spinnversuchen mit Spezialpolymeren, modifizierten Spinnpolymeren sowie auch von Polymermischungen sind sowohl Homogenität als auch geringstmöglicher Polymerabbau bei der Extruderpassage unabdingbare Voraussetzungen für die Erhaltung der Spinnfähigkeit der entsprechenden Polymerschmelzen. Sowohl die notwendige Mischwirkung als auch eine ausreichende Homogenität sind mit einem Einschneckenextruder aber nicht erreichbar.“⁵

Die Moleküle der Spinnmasse vernetzen sich. Hierbei spielen Drücke, Temperatur und Verweilzeit erhebliche Rollen um den Prozess unter Kontrolle zu bringen.

Dies bereitete auch unserer Firma bei der Skalierung erhebliche Probleme. Vor allem wegen zu lang gewählter Rohrleitungen entstanden Drücke bei denen der Prozess nicht über längere Zeit gefahren werden konnte.

Das Spinnen aus der Schmelze wird bei Polymeren angewendet, die sich in hochviskose Flüssigkeiten meist im Extruder aufschmelzen lassen und deren Eigenschaften eine homogene Schmelze für eine ausreichend lange Zeit gewährleisten. Das Schmelzspinnen hat gegenüber dem Lösemittelspinnen den Vorteil, dass kein Lösemittel hergestellt, eingesetzt und zurück gewonnen werden

muss. Darüber hinaus entfallen reinigende Teilprozesse, wie Filtrieren und Entflüften.²

Man konnte durch die Skalierung die Einwirkung jeder einzelnen Komponente deutlich erkennen. Die Dosierungen müssen stabil laufen, die Pumpe darf nicht pulsieren und die Düsen müssen gereinigt sein.

Tabelle 2: Faservergleich

| Faser | Faserdichte (g/cm ³) | Feinheit | Länge (mm) | Zugefestigkeiten (cN/dtex) | Bruchdehnung (%) |
|--------------------------------------|-------------------------------------|----------|---------------|-------------------------------|---------------------|
| Wolle | 1.34-1.38 | 6-9 | 58-100 | 2.6-3.5 | 14-25 |
| Seide | 1.46-1.52 | 1.0-2.8 | - | 14-25 | 11-16 |
| Casein Faser | 1.22 | 1.52 | 38 | 2.8 | 25-35 |
| Qmilch Faser Stand 07.07.15 | 1.27 | 69 | 6-60 | 2-6 | 310 |

F

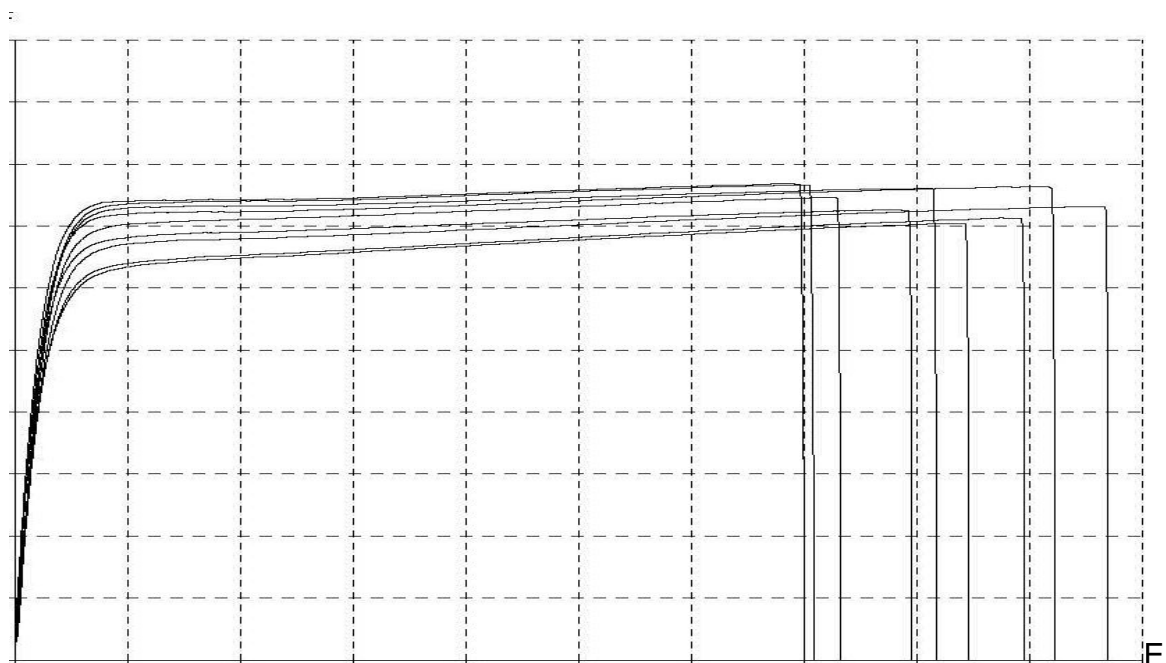


Abb.10: Zug-Dehnungsdiagramm

12. Maßnahmen:

Qmilch nahm an der Techtextil 2015 mit großem Erfolg teil. Wir hatten über 300 Besucher von zahlreichen Firmen weltweit, vorrangig aber aus Deutschland. 30% davon waren Altkontakte. Aus vielen Unterschiedlichen Bereichen kam das Interesse. Der größte Anteil der Besucher kam aus Deutschland.

Das Messefeedback war enorm, viele warten auf den Markteintritt der Faser.

Dieser wird nun konkret vorbereitet. Im August finden die ersten Spinnereitests statt. Im Rahmen der Entwicklung wurden bereits entsprechende Ausrüstungen getestet um den Markteintritt zu erleichtern.

Weiterhin wird Qmilch auf der ITMA 2015 mit einem Messestand vertreten sei, um das Produkt einem noch größeren Publikum vorzustellen. Die ITMA ist die weltgrößte Branchenmesse, die nur alle 5 Jahre stattfindet.

Qmilch wird zudem seit der Anfangsphase intensiv von den Medien begleitet.

Das Start Up war bereits in vielen Fernsehsendern und Print Medien vertreten. Das Start Up konnte durch seine hohe Medienaufmerksamkeit bereits viele Kundenkontakte knüpfen und konnte somit bereits eine erste Markthürde überwinden.

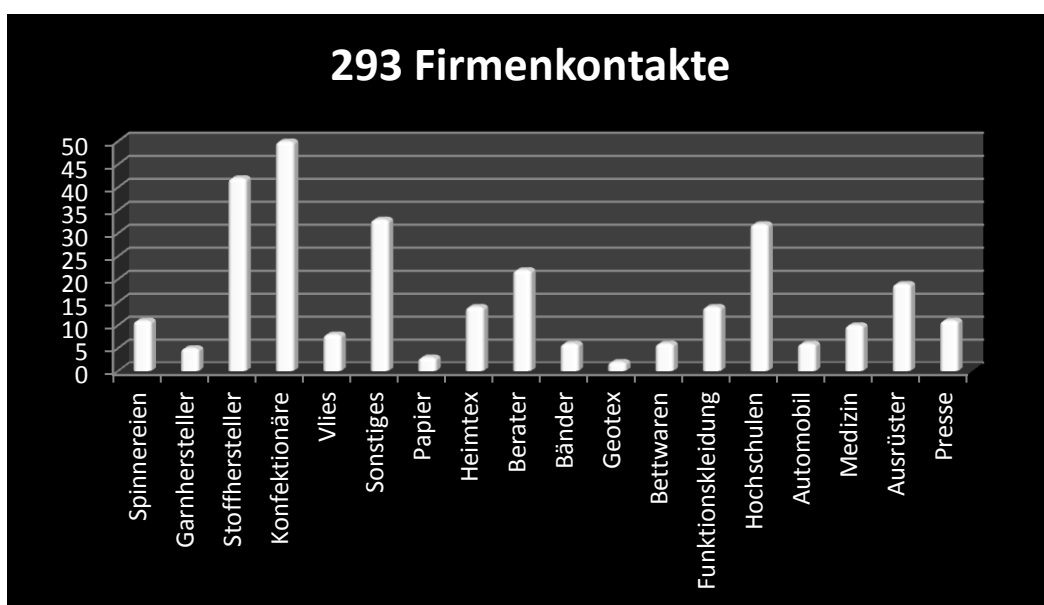


Abb.11: Branchenverteilung Messebesucher

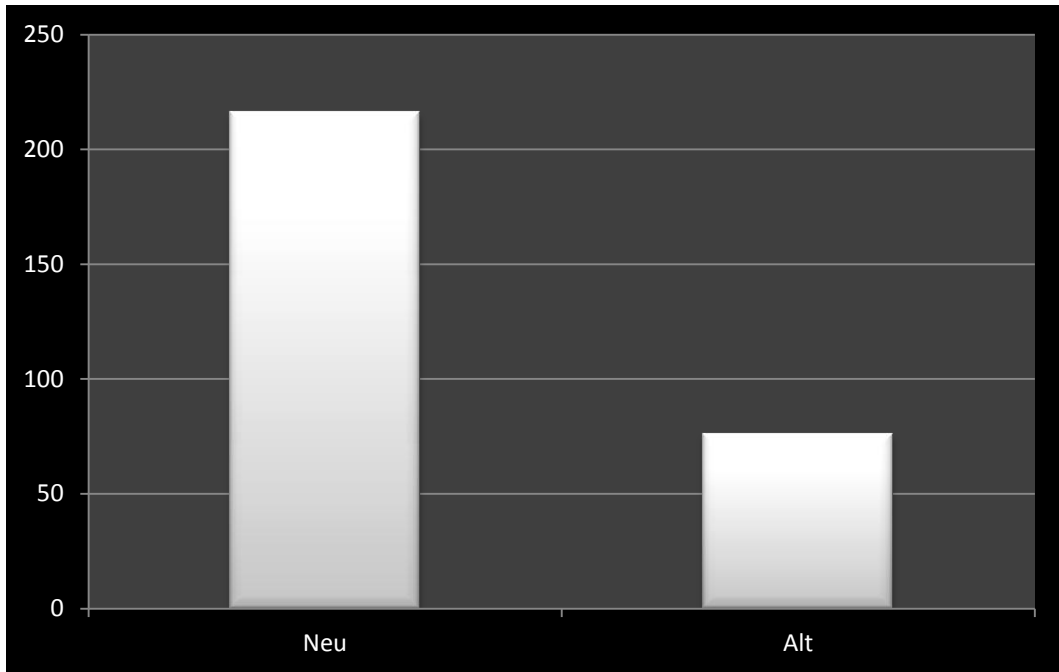


Abb.12: Neu & Altkontakte. 30% Altkontakte

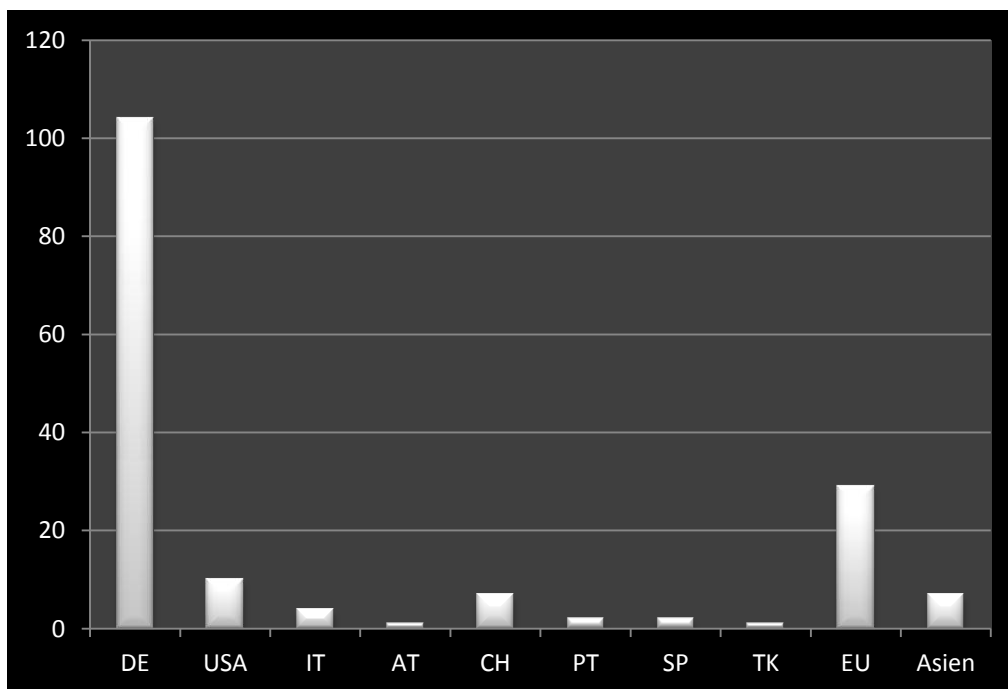


Abb.13: Länderverteilung, ein Großteil kam aus Deutschland

Der Weltfasermarkt ist auf 3,4% auf 96 Millionen Tonnen angestiegen. Dies beinhaltet eine Steigerung des Manmade Fiber Segment auf 4,9% und ein Wachstum von 0,7% bei den Naturfasern.

Man made Fasern machen 67,5% Anteil auf dem Weltfasermarkt aus, gegenüber 54,0% im Jahr 2000.

Stapelfasern hatten 2014 einen Marktanteil von 49 Millionen Tonnen. Filamente hatten einen Zuwachs von 29% in 2005 auf 43% in 2014.

3.10 Fazit

Zusammenfassung:

1. Der Prozess zur Textilfaserherstellung aus Milch konnte erfolgreich skaliert werden. Es gab in der Prozessoptimierung trotz guter Vorbereitung einige technische Hindernisse, die aber durch viele Umbauten letztlich gelöst werden konnten. Deshalb hat sich die Markteintrittsphase um 6 Monate verschoben. Dennoch konnte die Anlage und die Prozesse so skaliert werden, dass diese bis zu 100 kg/h produzieren können.

Nun gilt es die Prozesse noch weiter zu stabilisieren und in ein immer größer werdendes Prozessfenster hochzufahren.

2. Die Faser kann mittlerweile Marktfestigkeiten von Wolle aufweisen. Die weiteren Ausrüstungen wurden ebenfalls in House getestet und weisen ebenfalls eine Verarbeitbarkeit von wie bei Wolle und bei Seide auf. Was auch von der chemischen Struktur letztlich auch verständlich ist, denn diese Fasern sind ebenfalls Proteinbasierend.

3. Die Mitarbeiter konnten alle angelernt werden, die Maschinen zu bedienen und die Prozesse konstant zu fahren.

4. Die Düsen wurden in House gefertigt, was sich letztlich als richtiger Schritt erwies, denn in die Auslegung der geeigneten Düsen steckt letztlich viel Know-How und eine lange Entwicklung. Das gilt auch für die Reinigung dieser. Die hohen Anforderungen an die ökologischen Standards der Herstellung konnten weiterhin beibehalten werden.

5. Das Marktfeedback ist weiterhin enorm. Die Kunden halten die Faser für sehr interessant und wollen unbedingt testen. Die Spinnanlage kann letztlich auch die Menge produzieren für die Sie ausgelegt wurden.

Die Verarbeitung zur Stapelfaser verläuft ebenfalls problemlos und kann mittlerweile auch in House erfolgen.

4.0 Ausblick:

1.

Als weitere Schritte müssen die Anlagenprozesse so stabilisiert werden das ein 24 h Stundenlauf ermöglicht wird. Das wir ein langer Prozess sein die Arbeitsstrukturen, aber auch die Prozesstechnik dahingehend zu optimieren. Damit einhergehend müssen die Mitarbeiter geschult, aber auch noch einmal Investive Maßnahmen erfolgen. U.a. muss in eine neue Schmelzepumpe investiert werden. Verbunden damit sind auch die Prozesstabilisierung der düse. Diese darf nicht tropfen und den Faden runter reißen.

2.

Zudem muss die Textilfaser auf die 1,7 dtex reduziert werden. Dies soll mit weiteren Verstreckungsprozessen erfolgen.

Im Worst Case müssten neue Düsen gefertigt werden, damit die Faser keine Strangaufweitung hat, und das gleich möglichst dünne Fasern ausgesponnen werden können

3.

Die Faser muss nun die weiteren Marktschritte überstehen und die weitere Verarbeitung. Dies wird ebenfalls als langer und aufwändiger Prozess werden, da die Faser über mehrere Stufen stark mechanisch beansprucht wird. Frühere Tests sahen hier zwar vielversprechend aus, dennoch ist ein langer Entwicklungsprozess zu erwarten.

5.0 Literatur:

1. RÖMPP Lexikon Chemie, 10. Auflage, 1996-1999: Band 5: PI - S
von Jürgen Falbe, Manfred Regit
2. Textile Werkstoffe für den Leichtbau: Techniken - Verfahren - Materialien ...
herausgegeben von Chokri Cherif
3. Thieme © 2015 Georg Thieme Verlag KG
4. Wikipedia, Kristallisation
5. Schmelzspinnen mit Doppelschneckenextruder Teil I: Technologische
Voraussetzungen und Ziele R. Beyreuther, R. Vogel, B. Taßler und M. Hoffmann,
Dresden Herr Prof. Dr.-Ing.
6. The Fiber Year 2015; World Survey on Textiles and Nonwovens; The Fiber Year
GmbH 2015; Issue 15; April 2015