Abschlussbericht

zum Vorhaben:

„Innovative Anlage zur Trockenreinigung gebrauchter Papiermaschinenbespannungen und hochwertigen Verwertung in der Automobil- und Elektroindustrie“

20226

Fördernehmer/-in:

Voith Paper Fabrics Düren GmbH

Umweltbereich

(Klimaschutz, Energie)

Laufzeit des Vorhabens

02.11.2011 – 30.09.2013

Autoren

Dr. Jens Kallenberg, Dr. Tim Dreessen

Marcus Lodde

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,

Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung

Oktober 2014

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA III 1 - 30441/2(11/01) 938	**Vorhaben-Nr.** 20226

Titel des Vorhabens / Report Title

„Innovative Anlage zur Trockenreinigung gebrauchter Papiermaschinenbespannungen und hochwertigen Verwertung in der Automobil- und Elektroindustrie“

“Innovative system for the dry cleaning of used paper machine clothing and high-quality recycling in the automobile and electrical industry."

Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Jens Kallenberg, Dr. Tim Dreessen, Voith AG, Heidenheim Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW, Duisburg	**Vorhabensbeginn** 02.11.2013
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 30.09.2013
Fördernehmer / -in (Name, Anschrift) Voith Paper Fabrics Düren GmbH Veldener Str. 71-75 52349 Düren, Düren	**Veröffentlichungsdatum** 31.10.2014
	Seitenzahl 50 + Anhang

Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums

Kurzfassung / Summary

Voith hat als weltweit erstes Unternehmen ein Verfahren entwickelt, welches den Rohstoffkreislauf für Papiermaschinenbespannungen schließt.

Der in Düren realisierte Trockenreinigungsprozess mit einem Massendurchsatz von 250 kg pro Stunde ist mit einem Energieverbrauch von nur 0,34 kWh/kg Polyphenylensulfid (PPS) sogar noch genügsamer als mit geplanten ca. 0,8 kWh/kg PPS.

Die Herstellung von PPS durch Zerkleinern, Reinigen und anschließendem Granulieren von gebrauchtem PPS ist der konventionellen Herstellung aus fossilen Quellen wie Erdöl und dessen Verbrennung am Lebensende in vielerlei Hinsicht überlegen. Der Gesamtenergiebedarf geht von ca. 50 kWh/kg PPS auf unter 12 kWh/kg PPS um 77% zurück. Die Emission von Treibhausgasen ist mit nur 2,0 kg CO_{2e} / kg PPS um ca. 80% geringer. Bei der angestrebten Anlagenauslastung werden so jährlich etwa 3 800 MWh Energie bzw. 880 t CO_{2e} eingespart. Darüber hinaus sind die Emissionen gesundheitsbedenklicher polyaromatischer Kohlenwasserstoffe (PAH) um über 90% (ca. 0,5 kg/a[1]) sowie die Emissionen an Schwermetallen z.B. Quecksilber um ca. 80% (ca. 8,3 g/a[1]) geringer. Trotz einer aufwändigen Sammellogistik für die gebrauchten Papiermaschinenbespannungen in Nordamerika und Europa fallen selbst Schwefel- und Stickoxidbelastungen noch 21% (ca. 240 kg/a[1]) bzw. 17% (ca. 180 kg/a[1]) geringer aus.

[1] Emissionsverringerung bei angestrebter Anlagenauslastung

Dank der wasser- und chemikalienfreien Reinigung fallen auch die Gewässerbelastungen durch Recycling-PPS deutlich geringer aus:

- -78% (ca. 180 kg/a[1]) chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)
- -91% (ca. 10 kg/a[1]) biologischer Sauerstoffbedarf (BSB)
- -92% (ca. 0,2 kg/a[1]) adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX)

Voith is the first company in the world to develop a process to close the raw material cycle for paper machine clothing.

The dry cleaning process realized in Düren with a mass flow rate of 250 kg/h and energy consumption of just 0.34 kWh/kg *polyphenylene sulfide* (PPS) is actually even more economical than the projected value of approximately 0.8 kWh/kg PPS.

The production of PPS by means of the comminution, cleaning and then granulation of used PPS is superior in many respects to conventional manufacturing using fossil fuels like crude oil and then combusting it at the end of its service life. The total energy requirement is reduced by 77% from around 50 kWh/kg PPS to less than 12 kWh/kg PPS. Greenhouse gas emissions are around 80% lower at just 2.0 kg CO_{2e}/kg PPS. At the projected system utilization this will achieve annual energy savings of around 3,800 MWh or 880 t CO_{2e}. Moreover, emissions of health-endangering polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) are reduced by more than 90% (approx. 0.5 kg/a[2]) while heavy metal emissions such as mercury are around 80% lower (approx. 8.3 g/a[2]). Despite an elaborate collection system for the used paper machine clothing in North America and Europe, even sulfur and nitrous oxide emissions are still 21% (approx. 240 kg/a[1]) respectively 17% (approx. 180 kg/a[2]) lower.

Thanks to the water and chemical-free cleaning process the water pollution resulting from recycling PPS is also much lower:

- -78% (approx. 180 kg/a[2]) chemical oxygen demand (COD)
- -91% (approx. 10 kg/a[2]) biological oxygen demand (BOD)
- -92% (approx. 0.2 kg/a[2]) adsorbable organic halogens (AOX)

Schlagwörter / Keywords

Kunststoffrecycling, PPS, Trockenreinigung, Textilrecycling, Kunststoffgewebe Recycling

Plastic recycling, PPS, dry cleaning, textile recycling, synthetic wovens recycling

Anzahl der gelieferten Berichte	**Sonstige Medien**
Papierform: 5 **Elektronischer Datenträger: 1**	Newsletter, EFA-Loseblattsammlung und Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.voith.com

[2] Emission reduction at targeted system utilization

Kurzfassung

Ausgangsituation

Die Voith GmbH ist einer der größte Komplettanbieter von Papiermaschinen weltweit. In den letzten Jahrzehnten ist es gelungen die Energie- und Materialeffizienz in der Papierherstellung stetig zu verbessern und Stoffkreisläufe zu schließen. Zu den wenigen Verschleißmaterialien im Papierherstellungsprozess, für die bislang noch keine Kreislaufführungskonzepte existieren, gehören die Papiermaschinenbespannungen, auf denen das neue Papier geformt wird. Zur Produktion dieser Bespannungen werden jährlich circa 30.000 t Thermoplaste[3] (Polyamide, Polyethylenterephthalate, Polyphenylensulfid (PPS)etc.) eingesetzt[4].

Bis heute werden die gebrauchten Papiermaschinenbespannungen nach ihrem Einsatz in der Papiermaschine entweder thermisch verwertet (z. B. als Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie in Europa) oder deponiert (z. B. in den USA).

Die hochwertigen technischen Thermoplaste sind damit dem Rohstoffkreislauf endgültig entzogen. Die Wirkungen auf den CO_2-Footprint sind gewaltig, da Primärrohstoff wieder aus Erdöl hergestellt werden muss, um die Materialnachfrage zu befriedigen. Bei einem durchschnittlichen spezifischen CO_2-Äquivalent von 9.400 g CO_{2e} / kg Thermoplast[5] bis zur Garnproduktion werden so schätzungsweise circa 282.000 t CO_{2e} pro Jahr emittiert. und tragen so zur Klimaerwärmung bei.

In der papierherstellenden Industrie ist es zwar üblich, dass die Nutzungsdauer der Papiermaschinenbespannungen dadurch verlängert wird, dass die innerhalb der Papiermaschine verwendeten Papiermaschinenbespannungen teilweise gespült, hochdruckgereinigt, abgeschabt oder - vereinzelt bei Maschinenstillständen - mittels Trockeneis gereinigt werden. Auch die Zugabe chemischer Reinigungsmittel ist gängige Praxis. Dennoch kann das Gewebe der Bespannung nicht derart tiefenrein gesäubert werden, dass die für den Prozess gewünschte Qualität dauerhaft erreicht werden kann.

Ziel des Vorhabens

Voith hat als weltweit erstes Unternehmen ein Verfahren entwickelt, welches den Rohstoffkreislauf für Papiermaschinenbespannungen schließt. Die Leistungsfähigkeit des entwickelten Trockenreinigungsverfahrens konnte in mehreren Technikumsversuchsreihen in 2010 bei diversen Anlagenkomponentenherstellern belegt werden. An die Stelle von Deponierung und Verbrennung tritt hierbei die stoffliche Verwertung.

Das neue Reinigungsverfahren hat gegenüber allen anderen zuvor beschriebenen Verfahren den Vorteil, dass es mit zerkleinerten Partikeln arbeitet und so universell - das heißt unabhängig von Art und Größe der Papiermaschinenbespannung - einsetzbar ist.

Nun soll dieses Trockenreinigungsverfahren weltweit erstmalig als Demonstrationsanlage bei Voith Paper Fabrics Düren GmbH realisiert werden. Der Anlagendurchsatz wurde mit 250 kg pro Stunde geplant.

Die Innovation des Vorhabens zeichnet sich durch folgende Charakteristika aus:

---

[3] Thermoplaste sind Kunststoffe, die sich in einem bestimmten Temperaturbereich (thermo-plastisch) verformen lassen.

[4] Berechnung auf Basis PCA Markdaten 2008, Flächengewichte/Materialien/Abfallquote der jeweiligen Produkttypen

[5] GEMIS Datenbank 4.2, PA6 9.400 g CO_{2e}/kg; Pressfilze bestehen zu ca. 100% aus PA, Formiersiebe bestehen bis zu 50% aus PA. Beide genannten Arten von Papiermaschinenbespannungen dominieren deren Markt aufgrund kürzerer Standzeiten, daher kann zur Charakterisierung der Treibhausgasemissionen stellvertretend der Emissionsfaktor von PA6 herangezogen werden.

- Der Carbon Footprint des aus gebrauchten Papiermaschinenbespannungen erzeugten Regranulats ist für das Pilotmaterial PPS circa 80% geringer als beim Einsatz von Primärgranulat aus Erdöl.
- Da weder Chemikalien noch Wasser eingesetzt werden, wird die Verunreinigung nicht zwischen Umweltmedien verschoben, sondern es werden aktiv Ressourcen geschont.
- Zudem kann die erstmalige Realisierung im industriellen Maßstab ein breites Anwendungsspektrum für andere Kunststoffabfälle, wie z. B. Thermoplastabfälle aus der Automobilindustrie, erschließen.
- Die Implementierung der beschriebenen Demonstrationsanlage hätte aufgrund des großen Voith-Marktanteils von durchschnittlich über 20% des weltweiten Papiermaschinenbespannungsmarktes Signalwirkung und Multiplikatoreneffekt für die gesamte Branche.
- Die Trockenreinigung stellt der gängigen Praxis einer thermischen Verwertung bzw. Deponierung (z.B. in den USA) ein zukunftsweisendes „waste-to-value“-Konzept entgegen: Abfall wird zur Ressource!
- Die in der Trockenreinigung entfernten Verunreinigungen der gebrauchten Bespannungen sind hochkalorisch und gut brikettierbar. Sie können beispielsweise einer Papierfabrik als Brennstoff wieder zugeführt werden, wodurch sich ein weiterer Stoffkreislauf in der Papierherstellung schließen lässt

Technische Lösung

Zur Erreichung der beschriebenen Ziele ist ein Anlagenkonzept erarbeitet worden, das in dieser Form bisher industriell noch nicht zur Anwendung gekommen ist, wie nachfolgende Abbildung 1 verdeutlichen soll:

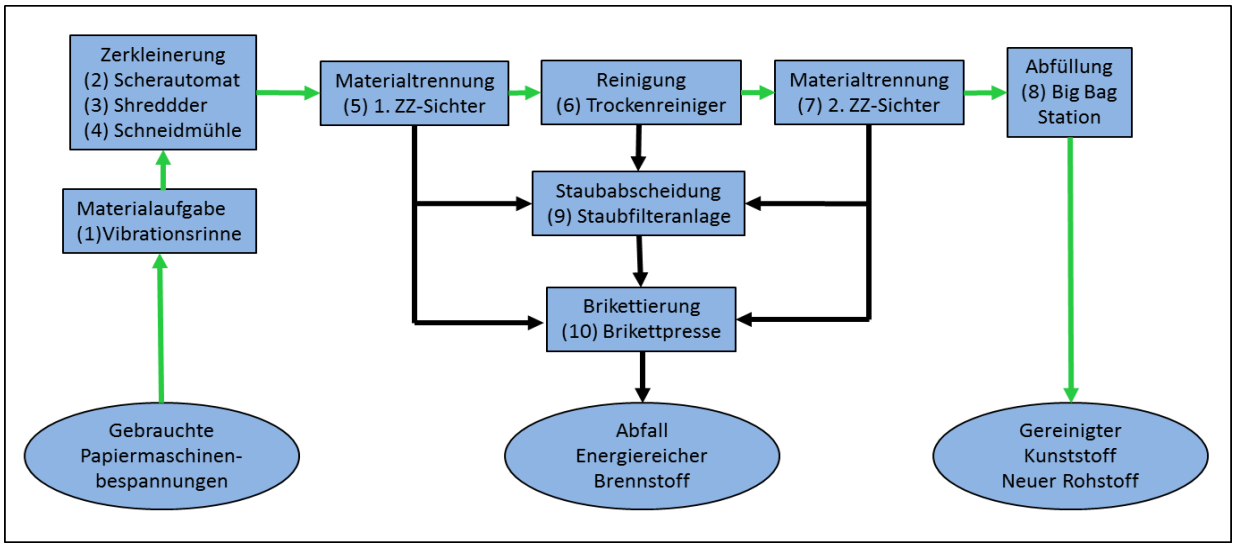

Abbildung 1: Neues Anlagenkonzept

Das Gewebe wird bei der Zerkleinerung vollständig aufgelöst. Dadurch löst sich ein großer Teil der anhaftenden Verunreinigungen. Im weiteren Reinigungsprozess wird die Oberfläche der entstandenen Fadensegmente (Fasern) abgerieben. Der größte Teil dieses Abriebes wird an den Stellen 5 bis 7 abgesaugt, verdichtet und brikettiert. Im Fertigprodukt verbleibt lediglich ein Rest des Abriebes (Restverschmutzung < 1%), der in einer späteren Granulierung entfernt wird. So kann technisch neuwertiges Thermoplast zurückgewonnen werden.

Ergebnisse aus technischer und wirtschaftlicher Sicht und hinsichtlich Umweltentlastung

Der in Düren realisierte Reinigungsprozess erreicht den geplanten Massendurchsatz wie geplant, ist jedoch mit einem Energieverbrauch von nur 0,34 kWh/kg PPS sogar noch genügsamer als mit geplanten ca. 0,8 kWh/kg PPS.

Die Herstellung von PPS durch Zerkleinern, Reinigen und anschließendem Granulieren von gebrauchtem PPS ist der konventionellen Herstellung aus fossilen Quellen wie Erdöl und dessen Verbrennung am Lebensende in vielerlei Hinsicht überlegen. Der Gesamtenergiebedarf geht von ca. 50 kWh/kg PPS auf unter 12 kWh/kg PPS um 77% zurück. Die Emission von Treibhausgasen ist mit nur 2,0 kg CO_{2e} / kg PPS um ca. 80% geringer. Bei der angestrebten Anlagenauslastung werden so jährlich etwa 3 800 MWh Energie bzw. 880 t CO_{2e} eingespart. Darüber hinaus sind die Emissionen gesundheitsbedenklicher polyaromatischer Kohlenwasserstoffe (PAH) um über 90% (ca. 0,5 kg/a[6]) sowie die Emissionen an Schwermetallen z.B. Quecksilber um ca. 80% (ca. 8,3 g/a[6]) geringer. Trotz einer aufwändigen Sammellogistik für die gebrauchten Papiermaschinenbespannungen in Nordamerika und Europa fallen selbst Schwefel- und Stickoxidbelastungen noch 21% (ca. 240 kg/a[6]) bzw. 17% (ca. 180 kg/a[6]) geringer aus.

Dank der wasser- und chemikalienfreien Reinigung fallen auch die Gewässerbelastungen durch Recycling-PPS deutlich geringer aus:

- -78% (ca. 180 kg/a[6]) chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)
- -91% (ca. 10 kg/a[6]) biologischer Sauerstoffbedarf (BSB)
- -92% (ca. 0,2 kg/a[6]) adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX)

Das strategische Investment in diese Demonstrationsanlage betrug ca. 1,37 Mio. Euro. Neben dem Recycling von PPS dient die Anlage auch der Entwicklung weiterer Recyclingverfahren für andere technische und Hochleistungspolymere.

Übertragbarkeit / Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse

Die Implementierung der beschriebenen Demonstrationsanlage hätte aufgrund des großen Voith-Marktanteils von durchschnittlich über 20% des weltweiten Papiermaschinenbespannungsmarktes Signalwirkung und Multiplikatoreneffekt für die gesamte Branche. In Deutschland gibt es insgesamt 7 Marktbegleiter (z.B. Heimbach GmbH & Co. KG, Hyck-Wangner, Geschmay), die ebenfalls eine solche Dienstleistung anbieten könnten.

Die Einfachheit des Verfahrens und der geringe Energieverbrauch machen den Reinigungsprozess über die Reinigung gebrauchter Papiermaschinenbespannungen hinaus aber auch für andere Branchen interessant.

Die Anwendung ist nicht auf PPS begrenzt. In der bestehenden Form ist das Anlagenkonzept grundsätzlich auch für andere sortenreine Polymere nutzbar.

Die branchenspezifische Kommunikation der Ergebnisse des geplanten Vorhabens wird in 2015 erfolgen. Wir beabsichtigen, hier eine Ansprache unserer Kunden, welche die Demonstrationsanlage vor Ort besuchen dürfen, aber auch des Verbands der deutschen Maschinenbau VDMA, des Bundesverbandes Sekundärrohstoffe und Entsorgung. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse ist darüber hinaus im Wochenblatt für Papierfabrikation und in der Loseblattsammlung der Effizienz-Agentur NRW geplant.

Gerade die Kommunikation einer umweltfreundlichen Technologie ist geeignet, die Standards innerhalb der Branche und über Branchengrenzen hinaus zugunsten ressourceneffizienter Verfahren zu verbessern.

---

[6] Emissionsverringerung bei angestrebter Anlagenauslastung

Summary

Initial situation

Voith GmbH is one of the biggest single-source suppliers of paper machines worldwide. In the last decades the company has managed to continuously improve energy and material efficiency in the paper production process and close material cycles. Among the few wear materials in the paper manufacturing process for which there have been no recycling concepts as yet are the paper machine fabrics (clothing) on which the new paper is formed. Every year around 30,000 t of thermoplastics[7] (polyamide, polyethylene terephthalate, poly phenylene sulfide PPS etc.) are used to produce this clothing.[8].
To date, the used clothing is either being thermally recycled after use in the paper machine (e.g. as a substitute fuel in the cement industry in Europe) or is dumped (e.g. in the USA).

These high-quality technical thermoplastics are therefore being removed completely from the raw material cycle, with massive consequences for the CO_2 footprint, as primary raw material has to be made again from crude oil to satisfy the demand for material. At an average specific CO_2 equivalent of 9,400 g CO_{2e}/kg thermoplastic[9] up to the production of the yarn, this means that an estimated 282,000 t CO_{2e} are being emitted per year and are thus contributing to global warming.

It is usual in the papermaking industry for the service life of some of the paper machine clothing used in the machine to be extended by washing, high-pressure cleaning, scraping or in some cases during machine shutdowns by cleaning with dry ice. Adding chemical cleaning agents is also common practice. However, the clothing fabric cannot be deep cleaned to such an extent that the quality necessary for the process can be permanently achieved

Project aim

Voith is the first company in the world to develop a process to close the raw material cycle for paper machine clothing. The capability of the dry cleaning process that has been developed could be demonstrated in several pilot plant test series in 2010 at various plant component manufacturers. Instead of dumping and burning it, the material is now going to be recycled.

Compared with all other processes previously described, the new cleaning process offers the advantage of being able to work with crushed particles so that it is suitable for universal use, i.e. regardless of the type and size of the paper machine clothing.

This dry cleaning process is now set to be realized for the first time in the world as a demonstration facility at Voith Paper Fabrics Düren GmbH. The plant throughput has been designed for 250 kg per hour.

The innovative features of the project are as follows:

- For the pilot material PPS, the carbon footprint of the re-granulate from the used paper machine clothing is about 80% lower than using primary granulate from crude oil.
- As neither chemicals nor water are used, the pollution is not being passed around between various environmental media but resources are being actively conserved instead.

[7] Thermoplastics are plastics that can be deformed in a specific (thermoplastic) temperature range.

[8] Calculation based on PCA market data 2008, grammage/materials/waste ratio of the respective product types

[9] GEMIS database 4.2, PA6 9.400 g CO_{2e}/kg; Press felts consist of up to around 100% PA, forming fabrics consist of up to 50% PA. Both specified types of paper machine clothing dominate their market due to shorter runtimes, therefore the emission factor of PA6 can be used by way of representation to calculate the greenhouse gas emissions.

- In addition, this initial realization on an industrial scale can open up a wide range of applications for other types of plastic waste, e.g. thermoplastic waste from the automobile industry.
- The implementation of the demonstration facility described would have a knock-on and multiplier effect for the entire sector due to fact that Voith's market share of the global paper machine clothing market is more than 20% on average.
- The dry cleaning method offers an innovative "waste-to-value" concept to counter the common practice of recycling or dumping (e.g. in the USA): the waste product becomes a resource!
- The contaminants from the used clothing removed in the dry cleaning process are highly calorific and can be readily turned into briquettes. For example they can be returned to a paper mill as fuel, enabling another material cycle in the paper production process to be closed.

Technical solution

To achieve the goals described a plant concept was elaborated that has not yet been built in this form on an industrial scale, as Fig. 2 illustrates:

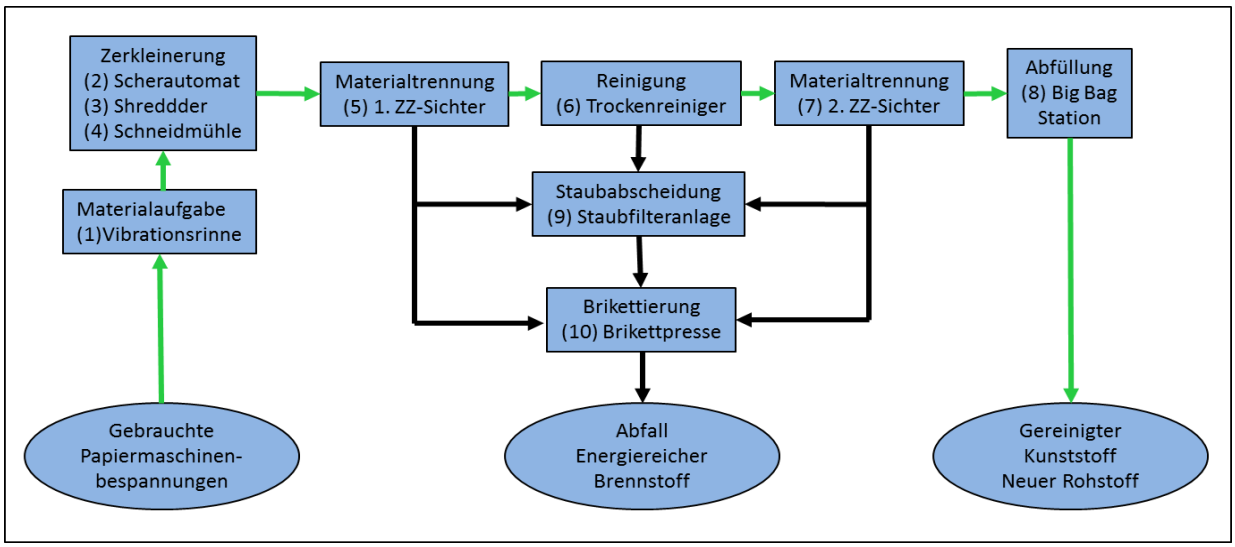

Figure 2: New system concept

The fabric is completely disintegrated in the comminution process. As a result, most of the contaminants adhering to it are detached. In a further stage of the cleaning process the surface of the resulting thread segments (fibers) is abraded. Most of this abraded material is suctioned off, compacted and turned into briquettes, shown in stages (5) to (7) of the diagram. In the finished product all that remains is the abrasion residue (residual contamination < 1%), which is removed in a subsequent granulation stage. This process allows recovery of a thermoplastic material that is as good as new.

Results from a technical and economic perspective and environmental benefit

The cleaning process realized in Düren achieves the rated throughput as planned, but with an energy consumption of just 0.34 kWh/kg PPS it is actually even more economical than the planned value of around 0.8 kWh/kg PPS.

The production of PPS by means of the comminution, cleaning and then granulation of used PPS is superior in many respects to conventional manufacturing using fossil fuels like crude oil and then combusting it at the end of its service life. The total energy requirement is reduced by 77%

from around 50 kWh/kg PPS to less than 12.kWh/kg PPS. Greenhouse gas emissions are around 80% lower at just 2.0 kg CO_{2e}/kg PPS. At the projected system utilization this will achieve annual energy savings of around 3,800 MWh or 880 t CO_{2e}. Moreover, emissions of health-endangering polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) are reduced by more than 90% (approx. 0.5 kg/a[10]) while heavy metal emissions such as mercury are around 80% lower (approx. 8.3 g/a[1]). Despite an elaborate collection system for the used paper machine clothing in North America and Europe, even sulfur and nitrous oxide emissions are still 21% (approx. 240 kg/a[1]) respectively 17% (approx. 180 kg/a[1]) lower.

Thanks to the water and chemical-free cleaning process the water pollution resulting from recycling PPS is also much lower:

- -78% (approx. 180 kg/a[1]) chemical oxygen demand (COD)
- -91% (approx. 10 kg/a[1]) biological oxygen demand (BOD)
- -92% (approx. 0.2 kg/a[1]) adsorbable organic halogens (AOX)

The strategic investment in this demonstration plant was around **EUR 1.37 million**. As well as recycling PPS the facility will also serve the development of additional recycling processes for other technical and high-performance polymers.

Transferability/Measures to disseminate the project results

The implementation of the demonstration facility described would have a knock-on and multiplier effect for the entire sector due to the fact that Voith's market share of the global paper machine clothing market is more than 20% on average. In Germany there are a total of seven market competitors (e.g. Heimbach GmbH & Co. KG, Hyck-Wangner, Geschmay), that could also offer this kind of service.

The simplicity of the process and the low energy consumption make this an attractive cleaning method for other sectors quite apart from the cleaning of used paper machine clothing.

The application is not restricted to PPS. In its existing form the plant concept is in principle usable for other unmixed (single-grade) polymers.

The industry-specific communication of results of the planned project will take place in 2015. Our intention is to address our customers, who will be allowed to visit the demonstration plant on site, but also the German Engineering Federation VDMA and the German Association for Secondary Raw Materials and Waste Management BVSE. It is also planned to publish the results in the weekly newsletter for paper fabrication and in the reference archives of the NRW Efficiency Agency.

Spreading the news about an environmentally friendly technology is an especially suitable way of improving the standards within the industry and beyond in support of resource-efficient processes.

[10] Emission reduction at the targeted system utilization

Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt 2
Kurzfassung 4
Summary 7
Abbildungsverzeichnis 11
Tabellenverzeichnis 12
1. Einleitung 13
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens 13
1.2 Ausgangssituation 13
2. Vorhabensumsetzung 14
2.1 Ziel des Vorhabens 14
2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) 16
2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens 19
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen) 35
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten 35
3. Ergebnisse 36
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung 36
3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms 37
3.3 Umweltbilanz 39
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse 45
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren 46
4. Empfehlungen 47
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung 47
4.2 Modellcharakter 47
4.3 Zusammenfassung 48
Anhang 49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Neues Anlagenkonzept 5
Figure 2: New system concept 8
Abbildung 3: Produktion der Papiermaschinenbespannungen 13
Abbildung 4: Einsatzbereich der Papiermaschinenbespannungen 13
Abbildung 5: Schematische Darstellung des Anlagenaufbaus 17
Abbildung 6: Bearbeitungsschritte beim Recycling 18
Abbildung 7: Abfall und Staub 18
Abbildung 8: Abfallbriketts 18
Abbildung 9: Helmut Kluth (Geschäftsführer) rechts und Dr. Jens Kallenberg (Projektleiter) links beim Spatenstich 23
Abbildung 10: Bodenplatte der neuen Halle 24
Abbildung 11: Außenansicht der Halle 24
Abbildung 12: Demontage der alten Leitungen im Tunnel und fachrechte Entsorgung 25
Abbildung 13: Innenansicht der Halle 25
Abbildung 14: Anlegen der Retentionsmulde 26
Abbildung 15: Retentionsmulde zur Versickerung des Regenwassers vom Hallendach 27
Abbildung 16: Scherautomat beim Probeschneiden des aufgerollten PPS – Trockensiebes (rote Rolle) 27
Abbildung 17: 3D-Modell Recyclingprojekt 28
Abbildung 18: Recycling Bag für Papierbahnbespannung 29
Abbildung 19: Kran - Montage 30
Abbildung 20: Vibrationsrinne, Scherautomat und Übergabeband 30
Abbildung 21: Shredder, Steigband und Schneidmühle 31
Abbildung 22: Brikettierpresse 31
Abbildung 23: Aufstellung des Staubfilters neben der Halle (Rechts: Trafostation) 32
Abbildung 24: Material-Absaugventilator 32
Abbildung 25: Podeste im Aufgabebereich 33
Abbildung 26: Zick-Zack-Sichter (rechts und links), Prallreiniger (mitte) 34
Abbildung 27: Komplette Recycling Anlage 34
Abbildung 28: Vibrationsrinne, beladen mit einem PPS Trockensieb 37
Abbildung 29: Gereinigtes PPS Material (Fertigprodukt in Düren) 38

Abbildung 30: Ökobilanzielle Vergleich zwischen der Herstellung von PPS-Granulat aus Primärrohstoff und der Aufbereitung von PPS-Regranulat aus gebrauchten Papiermaschinenbespannungen 40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektfahrplan 19

Tabelle 2: Teilvorhaben 20

Tabelle 3: Erfasste Betriebsdaten 38

Tabelle 4: Umweltwirkungen aus Herstellung von PPS aus fossilen Quellen, Transport zur Verbrennungs-anlage und abschließender Verbrennung (cradle-to-grave, roter Pfad) 41

Tabelle 5: Vergleich des herkömmlich cradle-to-grave mit neuartigem cradle-to-cradle PPS-Granulat 43

Tabelle 6: Umweltwirkungen aus Herstellung von PPS aus gebrauchten Papiermaschinenbespannung (cradle-to-cradle, blauer Pfad wie realisiert) 44

Tabelle 7: Amortisationsrechnung nach Aufbau und Inbetriebnahme 45

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Voith Paper Fabrics Düren GmbH ist Produktionsstätte von High-Tech-Papiermaschinenbespannungen für die Pressenpartie von Papiermaschinen. Die Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt aus dem Herstellungsprozess.

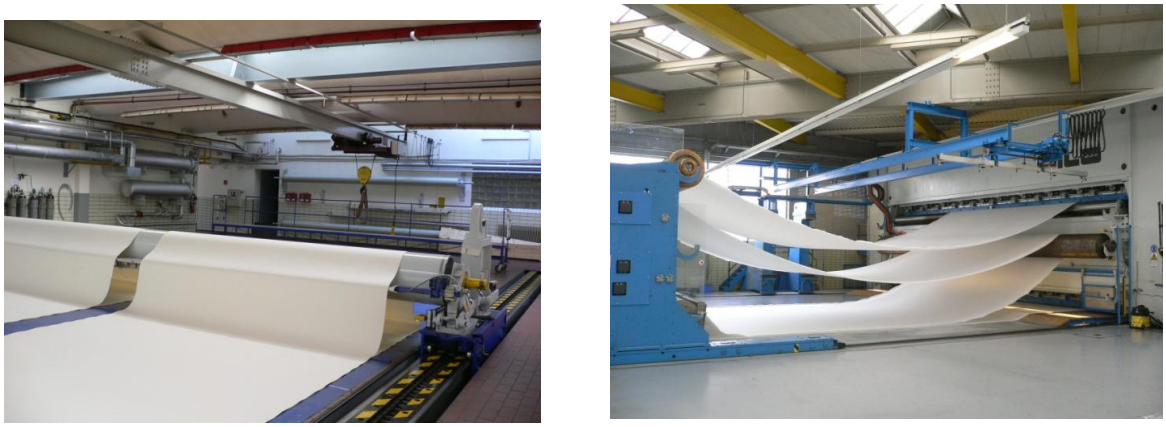

Abbildung 3: Produktion der Papiermaschinenbespannungen

Die Produktionsstätte besitzt eine lange Tradition. Bereits im Jahr 1852 wurden hier Nass- und Trockenfilze für die Papierindustrie hergestellt. Seit 1985 gehört die Produktionsstätte zum deutschen Familienunternehmen Voith, welches in Heidenheim in Baden-Württemberg seinen Hauptsitz hat und neben Papiermaschinenbespannungen unter anderem Hersteller modernster Papiermaschinen für die Papierindustrie weltweit ist.

Im Voith-Geschäftsjahr 2012/2013 (01.10.2012 - 30.09.2013) beschäftigte die Voith Paper Fabrics Düren GmbH ca. 137 Mitarbeiter.

1.2 Ausgangssituation

Papiermaschinenbespannungen erfüllen bei der Papierproduktion in der Papiermaschine drei wesentliche Funktionen. Zum einen tragen sie zur Entwässerung des aufgebrachten Zellulose-Wasser-Gemischs (dem sogenannten Stoff) bei der Blattbildung in der Papiermaschine bei. Gleichzeitig geben sie dem Papier seine charakteristischen Eigenschaften, z. B. Oberflächenbeschaffenheit und –struktur sowie Reißfestigkeit. Zum anderen befördern sie die Papierbahn durch alle Schritte des Papierherstellungsprozesses in der Papiermaschine.

Nachfolgendes Schaubild Abbildung 4 (Quelle: Voith Paper) verdeutlicht den Einsatzbereich der Papiermaschinenbespannungen.

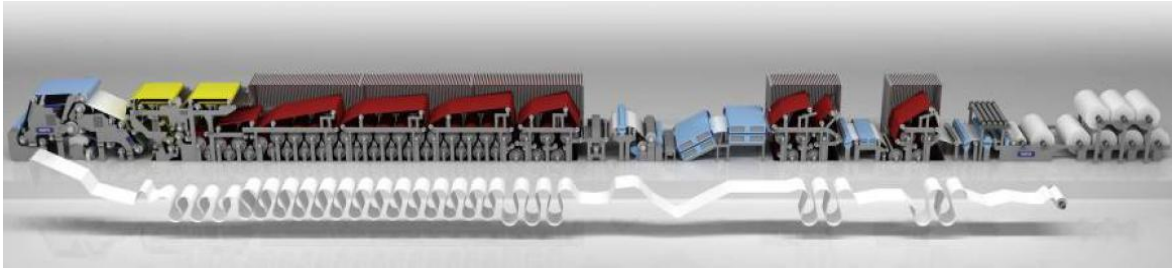

Abbildung 4: Einsatzbereich der Papiermaschinenbespannungen

Dabei sind die Bespannungen über ihre Lebensdauer von einigen Wochen bis Monaten höchsten Belastungen ausgesetzt. So produziert beispielweise eine moderne

Papiermaschine für Zeitungspapier circa 2.000 m Papier pro Minute auf einer Breite von bis zu 11 Metern.

Um diesen Anforderungen standhalten zu können, bestehen Papiermaschinenbespannungen aus hochwertigen technischen Thermoplasten[11], z. B. Polyamide, Polyethylenterephthalate, Polyphenylensulfid PPS mit hohen Schmelzviskositäten. Diese Eigenschaften gehen mit einem sehr hohen CO_2-Footprint für die Polymerproduktion und hohen Materialbeschaffungspreisen einher.

Die Thermoplaste werden - unter anderem in einem Voith-Werk - zu Filamentgarnen, sogenannten Monofilamenten, verarbeitet. Diese Monofilamente werden zum Beispiel bei Voith Paper Fabrics Düren mittels riesiger Webstühle zu Geweben verarbeitet und mittels thermischer Behandlung fixiert. Bei der Produktion von Pressfilzen werden zusätzlich Filzauflagen erzeugt, auf das Gewebe appliziert und damit vernadelt.

Weltweit werden jährlich circa 30.000 t Thermoplaste zur Produktion von Papiermaschinenbespannungen eingesetzt[12]. Heute werden die gebrauchten Papiermaschinenbespannungen nach ihrem Einsatz in der Papiermaschine entweder thermisch verwertet (z. B. als Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie in Europe) oder deponiert (z. B. in den USA).

Die hochwertigen technischen Thermoplaste sind damit dem Rohstoffkreislauf endgültig entzogen. Die Wirkungen auf den CO_2-Footprint sind gewaltig, da Primärrohstoff wieder aus Erdöl hergestellt werden muss, um die Materialnachfrage zu befriedigen. Bei einem durchschnittlichen spezifischen CO_2-Äquivalent von 9.400 g CO_{2e} / kg Thermoplast[13] bis zur Garnproduktion werden so schätzungsweise circa 282.000 t CO_{2e} pro Jahr weltweit für die Produktion von Papiermaschinenbespannungen aus Primärrohstoffen emittiert und tragen so zur Klimaerwärmung bei.

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Voith Paper Fabrics hat als weltweit erstes Unternehmen ein Verfahren entwickelt, welches den Rohstoffkreislauf der Thermoplaste von Papiermaschinenbespannungen schließen soll. Das entwickelte Trockenreinigungsverfahren konnte in mehreren Technikumsversuchsreihen in 2010 bei diversen Anlagenkomponentenherstellern belegt werden. An die Stelle von Deponierung und Verbrennung tritt hierbei die stoffliche Verwertung.

Nun soll das Verfahren weltweit erstmalig als Demonstrationsanlage bei Voith Paper Fabrics Düren GmbH realisiert werden. Der Durchsatz der Anlage soll bei 250 kg pro Stunde liegen (d.h. Auslegungsdurchsatz nach Optimierung der Anlage ca. 175 t/a im Einschichtbetrieb).

Im ersten Schritt soll sich zunächst auf das Thermoplast Polyphenylensulfid (PPS) fokussiert werden, welches in Papiermaschinenbespannungen in der Trockenpartie der Papiermaschine Anwendung findet und neben einem hohen CO_2-Äquivalent ebenfalls einen hohen Schwefelanteil aufweist, der zu SO_x-Emissionen in der Verbrennung

[11] Thermoplaste sind Kunststoffe, die sich in einem bestimmten Temperaturbereich (thermo-plastisch) verformen lassen.

[12] Berechnung auf Basis PCA Markdaten 2008, Flächengewichte/Materialien/Abfallquote der jeweiligen Produkttypen

[13] GEMIS Datenbank 4.2, PA6 9.400 g CO_{2e}/kg; Pressfilze bestehen zu ca. 100% aus PA, Formiersiebe bestehen bis zu 50% aus PA. Beide genannten Arten von Papiermaschinenbespannungen dominieren deren Markt aufgrund kürzerer Standzeiten, daher kann zur Charakterisierung der Treibhausgasemissionen stellvertretend der Emissionsfaktor von PA6 herangezogen werden.

beitragen kann und durch aufwändige Filterung und Wäschen aus dem Abgas entfernt werden muss. Eine detaillierte Darstellung der Umweltauswirkungen findet sich in Kapitel 3.3. . Darauf aufbauend soll die Reinigung stufenweise auf andere Thermoplaste ausgebaut werden. Derzeit laufen hierzu bereits mehrere FuE-Projekte. Eine Herausforderung ist beispielsweise die Separierung von Thermoplasten aus gemischten Papiermaschinenbespannungen.

Das geschätzte Startvolumen der Demonstrationsanlage liegt bei ca. 100 t/a, da der Auslegungsdurchsatz von 175 t/a voraussichtlich erst nach Optimierung der Anlage und flächendeckender Etablierung des Rücknahmeprozesses gebrauchter Papiermaschinenbespannungen stufenweise erreicht werden kann.

Zunächst werden die gebrauchten Papiermaschinenbespannungen, die mit Reststoffen aus der Papierherstellung, z. B. Zellulosefasern und Füllstoffe, verunreinigt sind, über ein Rücknahmesystem an einem Voith-Produktionsstandort zusammengefasst. Die gesammelten Bespannungen werden dann zur Demonstrationsanlage nach Düren gebracht. Mittels eines innovativen Trockenreinigungsverfahrens, bestehend aus gestuften Zerkleinerungs- und Reinigungsprozessen, werden diese schonend von anhaftenden Verunreinigungen aus dem Papierherstellungsprozess gereinigt und zu einem Regranulat verarbeitet. Durch die rein mechanische Zerkleinerung und Reinigung des Materials ist kein Einsatz von Chemikalien oder Wäschen erforderlich. Es arbeitet zu 100% trocken - ohne Wasser und ohne Chemie.

Das Regranulat kann in der Automobil- und Elektroindustrie eingesetzt werden. PPS-Materialien werden aufgrund ihrer Hochtemperaturbeständigkeit beispielsweise im Motorraum von Autos oder zur Isolation von Transformatoren in der Elektronikindustrie eingesetzt. 2013 wurde mit einem weltweiten Verbrauch von mindestens 90.000 t und einem weiter steigenden Bedarf gerechnet. Die Möglichkeiten zu einem Wiedereinsatz in der Voith-eigenen Wertschöpfungskette werden derzeit geprüft. Aufgrund der extrem hohen Materialanforderungen muss hierbei sehr vorsichtig umgegangen werden, um die Produktqualität nicht zu gefährden. Nach derzeitigem Entwicklungsstand können jährlich circa 20 t des gereinigten PPS-Materials in die Herstellung neuer Papiermaschinenbespannungen zurückgeführt werden. An einer weiteren Steigerung der Wiedereinsatzmenge wird gearbeitet.

Beim stofflichen Recycling von Thermoplasten kommt es mit jedem Recyclingzyklus zu einer Verkürzung der Polymerketten - vergleichbar dem Altpapierrecycling, wo mit jedem Recyclingzyklus die Länge der aufbereiteten Fasern abnimmt. In Analogie zum Altpapierrecycling wird auch beim PPS-Recycling ein Downcycling verhindert, indem gezielt „Frisch"-PPS („Frischfaser" bei der Papierproduktion) zugeführt wird und dadurch eine Verdünnung des wiedereingesetzten PPS-Materials erreicht wird, wodurch die Produkteigenschaften im Rahmen der Spezifikation verbleiben.

Im Vergleich zu bereits in der Literatur theoretisch beschriebenen Verfahren, wie z.B. dem PPS-Recyclingprozess nach dem Löseverfahren[14], setzt das Voith-Verfahren auf eine rein mechanische Ablösung der Verunreinigungen von der Thermoplast-Oberfläche. Der Abrasionseffekt wird dabei durch Reibung, Scherung und Prall der zu reinigenden PPS-Monofilament-Partikel an Oberflächen (z.B. von Prallblechen, Gehäusen, Bürsten etc.) sowie die Reibung der PPS-Monofilament-Partikel gegeneinander erreicht. Da es ohne Wasser oder Zugabe von Chemikalien arbeitet, werden keine Verunreinigungen in andere Medien übertragen (z.B. Wasser, Lösemittel) und die Umwelt somit besonders geschont. Zusätzlich wird ein energieintensiver Trocknungsschritt vermieden, da weder nasse PPS-Monofilament-Partikel noch nasse Verunreinigungen anfallen.

Der PPS-Recyclingprozess nach dem Löseverfahren baut hingegen auf dem Lösen des PPS mittels eines speziellen Lösungsmittels bei einer Temperatur von mehr als 250 °C auf. Das gelöste PPS wird filtriert, wodurch die Verunreinigungsfraktion abgeschieden

[14] M. Brück: Recycling von Polyphenylensulfid, Kunststoffe 88 (1998), Seite 76-78

wird. Das filtrierte PPS wird anschließend ausgefällt und getrocknet. Im Gegensatz zum Voith-Verfahren werden Lösungsmittel eingesetzt und spielen eine zentrale Rolle für den Prozessverlauf. Durch das Ausfällen und Trocknen des gereinigten PPS ist ein Lösungsmittelverlust im System nicht zu vermeiden. Hierdurch entstehen Lösemittel-Emissionen im Umkreis der Anlage, welche wiederum Absaugeinrichtungen etc. zum Schutz von Mensch und Umwelt erforderlich machen. Der Einsatz von Lösungsmitteln führt bereits zuvor zu einer Umweltbelastung, da diese produziert und über mehrere Stufen aufbereitet werden müssen. Der Trocknungsprozess des gereinigten PPS, die hohe Prozesstemperatur sowie die zur Aufbereitung des Lösungsmittels haben außerdem einen hohen Energiebedarf zur Folge. Eine Temperierung oder Trocknung ist im Voith-Verfahren nicht erforderlich.

Das Löseverfahren verursacht zudem lösemittelhaltige Abfälle in Form der zur Reinigung eingesetzten Filter. Auch die in Form von Filterkuchen abgetrennten Verunreinigungen fallen in feuchter Form an, da auch diese Lösungsmittel enthalten.

Da das Voith-Verfahren lediglich mittels mechanischer Reinigungswirkung arbeitet, fallen keine Abwässer oder Chemikalienabfälle an. Gleichzeitig wird das Abfallvolumen im Vergleich zum Status Quo minimiert, die Abfallqualität nimmt aufgrund der trockenen Konsistenz zu. Die Fraktion wird thermisch verwertet. Da das Abfallvolumen sinkt und die Abfallqualität steigt, verringern sich die Transportkosten zur thermischen Verwertungsanlage sowie die zu entrichtenden Ersatzbrennstoffkosten. Gleichzeitig wird der CO_2-Ausstoß für die Verbrennung reduziert.

Die Einfachheit des Verfahrens und der geringe Energieverbrauch machen den Reinigungsprozess über die Reinigung gebrauchter Papiermaschinenbespannungen hinaus aber auch für andere Branchen interessant.

Die Innovation des Vorhabens zeichnet sich durch folgende Charakteristika aus:

- Der Carbon Footprint des aus gebrauchten Papiermaschinenbespannungen erzeugten Regranulats ist für PPS circa 80% geringer als beim Einsatz von Primärgranulat aus Erdöl (vgl. Kap. 3.3).
- Da weder Chemikalien noch Wasser eingesetzt werden, wird die Verunreinigung nicht zwischen Medien verschoben, sondern es werden aktiv Ressourcen geschont.
- Zudem kann die erstmalige Realisierung im industriellen Maßstab ein breites Anwendungsspektrum für andere Kunststoffabfälle, wie z. B. Thermoplastabfälle aus der Automobilindustrie, erschließen.
- Die Implementierung der beschriebenen Demonstrationsanlage hätte aufgrund des großen Voith-Marktanteils von durchschnittlich über 20% des weltweiten Papiermaschinenbespannungsmarktes Signalwirkung und Multiplikatoreneffekt für die gesamte Branche.
- Die Trockenreinigung stellt der gängigen Praxis einer thermischen Verwertung bzw. Deponierung (z.B. in den USA) ein zukunftsweisendes „waste-to-value“-Konzept entgegen: Abfall wird zur Ressource!
- Die in der Trockenreinigung entfernten Verunreinigungen der gebrauchten Bespannungen sind hochkalorisch und gut brikettierbar. Sie können beispielsweise einer Papierfabrik als Brennstoff wiederzugeführt werden, wodurch sich ein weiterer Stoffkreislauf in der Papierherstellung schließen lässt

2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Der Reinigungsprozess setzt sich aus diversen hintereinander geschalteten Zerkleinerungs- und Trockenreinigungsschritten zusammen. Das innovative Konzept ist schematisch in Abbildung 5 dargestellt.

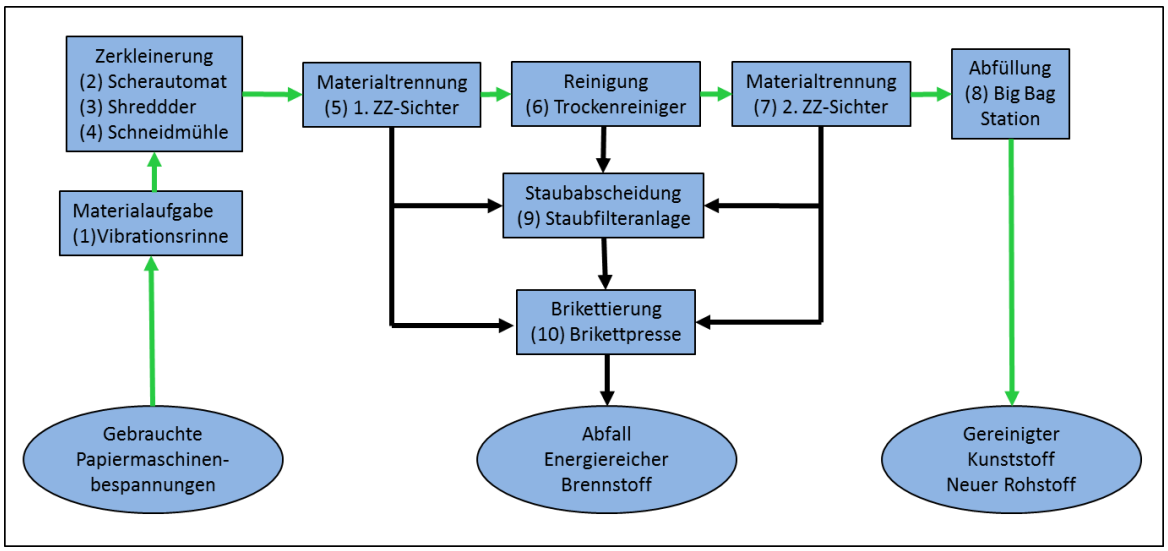

Abbildung 5: Schematische Darstellung des Anlagenaufbaus

Die Beschickung der Reinigungsanlage mit den gebrauchten PPS-Geweben erfolgt über eine Vibrationsrinne (1). Da die Größe der Aufgabestücke in der Praxis zwischen wenigen und einigen hundert Quadratmetern schwanken kann, werden die PPS-Gewebe zunächst mit einem Scherautomat (2) in schmale Streifen (10-20 cm breit) vorzerkleinert.

Diese Gewebestreifen werden über ein Förderband dem Aufgabetrichter eines Shredders –in konkreten Fall eines Einwellen-Zerkleinerers - (3) zugeführt. Um ein Überfüllen des Aufgabetrichters zu vermeiden und ein daraus resultierendes Festfahren der Rotorachse des Einwellen-Zerkleinerers zu verhindern, wird die Materialzufuhr durch das Förderbands automatisch gestoppt, falls der Rotorantrieb sein Leistungsmaximum erreicht. Ein Schieber im Aufgabetrichter des Shredders stellt sicher, dass die PPS-Gewebe-Streifen im Schneidraum gegen die Rotorachse mit den darauf befindlichen Messerblöcken gedrückt werden. Das zugeführte Material wird durch die Messer in circa 3 cm x 3 cm große Stücke zerschnitten und über einen Siebkorb auf ein sich anschließendes Förderband ausgetragen.

Die PPS-Gewebestücke werden über das Förderband direkt dem Aufgabetrichter einer Schneidmühle (4) zugeführt. Diese zerkleinert die PPS-Gewebestücke in kleinere 3 - 20 mm lange PPS-Monofilament-Partikel (Fasern) und löst die Gewebestruktur vollständig auf. Die erzeugten Partikel werden aus dem Schneidraum über einen Siebkorb abgesaugt und in einen ersten Zick-Zack-Sichter (5) gefördert .Durch das Zerkleinern des PPS-Gewebes sind bereits Verunreinigungen aus den Gewebezwischenräumen und von den Gewebeoberflächen gelöst worden, welche als staubförmige Fraktion in den abgesaugten PPS-Fasern enthalten ist. In dem nachfolgenden Sichter werden diese bereits gelösten Verunreinigungen von den PPS-Fasern getrennt. Diese Verunreinigungen werden über die Staubfilteranlage (9) abgeschieden.

Die entstaubten Fasern werden anschließend einem Trockenreiniger (6) zugeführt, welcher durch Reibung, Scherung und Prall der Partikel an den Wänden und Prallblechen dieser Anlagenkomponente sowie der Partikel untereinander eine finale Reinigung von Verschmutzungen an den Partikeloberflächen sicherstellt. Die abgeriebenen PPS-Fasern werden danach in einen zweiten Zick-Zack-Sichter (7) gefördert, um die gelösten Verunreinigungen von den PPS-Fasern zu trennen. Das so final gereinigte Material wird dann mittels einer Förderschnecke in eine Big Bag Station (8) gefördert und abgefüllt und steht damit für die weitere Verarbeitung zur Verfügung.

Die Abfälle und Stäube werden mittels einer zentralen Staubfilteranlage (9) aus den Anlagenkomponenten abgesaugt und in eine Brikettierpresse (10) gefördert. Damit sind

die Stäube gebunden und nicht mehr explosionsfähig. Die Abfallbriketts können aufgrund ihres hohen Energiegehaltes sehr gut thermisch verwertet werden.

Die gesamte Prozesssteuerung und -überwachung erfolgt durch eine zentrale Anlagensteuerung von Siemens (PC S7).

Die nachfolgenden Abbildung 6 veranschaulicht die Bearbeitungsschritte des Materials, die Abbildung 7 zeigt die Verunreinigungen (Abfall und Staub) die in der Briketttierpresse zu Briketts (Abbildung 8) verdichtet werden.

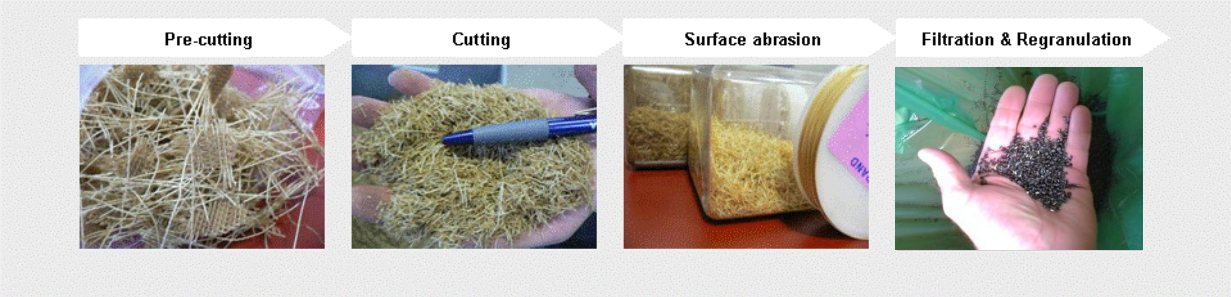

Abbildung 6: Bearbeitungsschritte beim Recycling

Abbildung 7: Abfall und Staub

Abbildung 8: Abfallbriketts

Bei linearem Hintereinanderschalten der Anlagenkomponenten besitzt die Demonstrationsanlage eine Länge von ca. 25 - 30 m bei einer Breite von ca. 2,00 - 2,50 m und einer maximalen Höhe von ca. 3,50 - 6,00 m.

Der gesamte Reinigungsprozess hat eine installierte elektrische Leistung von circa 195 kW (Energieverbrauch per anno für 100 t PPS: ca. 40.000 kWh, entsprechend 400 kWh//t = 0,4kWh/kg). Thermische Leistung für Heizung oder Kühlung ist nicht erforderlich.

Im Winter kann die erwärmte Prozessluft zur Beheizung der Werkhalle benutzt werden.

Der Kombination der Zerkleinerungs- und Reinigungskomponenten bietet die Möglichkeit, zukünftig auch andere gebrauchte Thermoplast-Gewebe zu reinigen und damit wieder nutzbar zu machen. Derzeit ist geplant, an eine erfolgreiche Implementierung der PPS-Gewebereinigung die Reinigung von gebrauchten PET- und PET-/PA-Geweben anzuschließen.

Versuchsergebnisse zeigen, dass z. B. für gebrauchte PET-Gewebe der für PPS-Gewebe beschriebene Reinigungsprozess erfolgreich angewendet werden kann. Das Projekt läuft aktuell noch. Aktuell werden die Finanzierbarkeit und die Patentfähigkeit des Verfahrens geprüft.

2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Die Tabelle 1 beschreibt den Projektfahrplan für die Umsetzung des Projektes.

Projektplan																							
	2012												2013										
Projektmonat	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Bezeichnung																								
Detailplanung																								
Bestellungen																								
Lieferzeit																								
Neubau Halle																								
Aufbau Anlagen																								
Inbetriebnahme																								
Probebetrieb																								
Dauerbetrieb																								
Erfolgskontrolle																								

Tabelle 1: Projektfahrplan

Die einzelnen Schritte im Projektablauf werden nachfolgend kurz beschrieben.

Bei den Planungsgesprächen Anfang 2012 haben sich umfangreiche Änderungen zur den ursprünglich geplanten Umsetzung ergeben. Diese Änderungen wurden den Fördermittelgeber im Mai und Juli 2012 angezeigt und werden nachfolgend erläutert.

Neben den Neubau einer Halle anstatt der Sanierung der bestehenden Hallen erfolgten noch Veränderungen bei den Anlagenkomponenten. Diese resultierten daraus, dass eine intensive Detailplanung zur Verbesserung der Verfahrenstechnik durchgeführt wurde, und die Komponenten und die Anlage insgesamt bzgl. Funktionalität und Kosten optimiert werden konnten. Bestimmte Komponenten entfallen, bzw. wurden bzgl. Durchsatzleistung optimiert.

Der geänderte Investitionsplan nebst der ausführlichen Begründung der Veränderung der Ausgaben der Teilevorhaben wird in der nachfolgenden Tabelle 2 dargestellt:

Investitionsplan nach Teilvorhaben:

Lfd. Nr.	Fremdlieferungen / -leistungen	Zuwendungs-fähige Kosten	Modifikationen	Tatsächliche Kosten	Abweichung
1	Wareneingangs-analyse	33.030 €	LED-Beleuchtung der Anlage	14.900 €	-55%
2	Vibrationsrinne, Guillotine, Shredder, Schneidmühle, Zuführbänder, Absaugzyklon, Brikettpresse u. Entstaubung incl. Montage	395.530 €	Zusätzlich Big Bag Füllstation und Elektroverteilung + Anschlüsse der Anlage (ca. 35.000 €)	404.000 €	2%
3	Taumelsieb u. Aufgabebehälter	53.500 €	Trafostation	60.100 €	12%
4	Zick-Zack-Sichter, Zyklone, Förderschnecken	136.360 €	ohne Steuerung	75.000 €	-45%
5	Prallreiniger, Absaugzyklon, Big Bag Füllstation	89.732 €	Big Bag Füll-station entfällt hier	85.000 €	-5%
6	Anlagensteuerung	107.310 €		113.000 €	5%
7	Anlagenkonstruktion	19.800 €		20.000 €	1%
8	Technische Dokumentation	8.320 €	Dekra-Abnahme	22.000 €	164%
9	Eurogitterboxen	145.500 €	Spezialcontainer +Transportwagen	106.000 €	-27%
10	Eurogitterboxwender u. Verladetraverse	1.358 €	Kippvorrichtung u. Krantraverse	25.000 €	1741%
11	Big Bags groß	2.998 €		3.000 €	0%
12	Baumaßnahmen	207.627 €	Hallenfundament	208.000 €	0%
	Eigenleistungen				
13	Projektleiter	58.000 €		109.000 €	88%
14	Mitarbeiter	45.000 €		59.000 €	31%
	Summe	**1.304.065 €**		**1.304.000 €**	0%

Über-/Unterschreitung des Förderbetrags > 20%
Über-/Unterschreitung des Förderbetrags < 20%

Tabelle 2: Teilvorhaben

Beschreibung einiger Anlagenkomponenten:

Zick-Zack-Sichter
Es erfolgt eine Materialtrennung nach Größe und Gewicht durch Sichtluft von unten nach oben. Schwergut sinkt nach unten. Das Leichtgut wird nach oben abgesaugt.

Zyklone
Fliehkraftabscheider

Prallreiniger
Der Reiniger hat die Aufgabe, anhaftende Verschmutzungen durch Prall und Reibung von Kunststoffgranulat zu reinigen.

Erklärung der Änderungen bei den Teilvorhaben:

1. Die Deklaration des Ausgangsmaterials muss aufgrund der Gesetzgebung für den Transport von Abfällen bei unseren Lieferanten (Papierfabriken) korrekt erfolgen. Deshalb können wir auf das Analysegerät verzichten. Stattdessen wurde eine sehr energieeffiziente LED-Beleuchtung für unsere Anlage installiert.

2. Die Verfahrenstechnik, die vorgesehenen Komponenten und die Anlage insgesamt wurden gemeinsam mit den Lieferanten weiter optimiert, in dem eine Staubfilteranlage in das Anlagenkonzept mit aufgenommen wurde. Bestimmte Komponenten entfielen, bzw. wurden bzgl. Durchsatzleistung angepasst. Erhöhte Kosten waren bei der Elektroinstallation bzw. beim Anschluss der Komponenten zu erwarten, die bei der Antragstellung in dem Umfang noch nicht bekannt waren. Die Füllstation für die Big Bag lieferte jetzt die gleiche Firma, von der wir auch die Entstaubung bezogen haben.

3. Die Entstaubung erfolgt effektiv mittels Zick–Zack-Sichter und Zyklon in Kombination mit dem Prallreiniger. Einige Gewebetypen, die wir aufarbeiten wollen, sind mit einem Taumelsieb nicht prozessierbar, da sie aufgrund der Faserformen die Siebfläche zusetzen würden. Deshalb wurde das Taumelsieb aus der Anlage herausgenommen.

   Die eingesparten Kosten wurden für die Finanzierung einer Trafostation verwendet. Aufgrund der hohen Anlaufströme der einzelnen Maschinen beim Hochfahren der Anlage ist eine eigene Trafostation für den sicheren Betrieb unbedingt erforderlich. Diese war im Antrag noch nicht geplant. Die erwarteten Kosten beliefen sich auf ca. 60.100 €.

4. Der Preis für die Zick-Zack-Sichtereinheiten konnte durch die kostenorientierte Optimierung der einzelnen Komponenten bei gleicher Funktionalität erheblich reduziert werden. Die Ansteuerung der Komponenten wurde von Voith Paper Automation übernommen.

5. Die Füllstation für die Big Bag wurde von dem Lieferanten der Entstaubungsanlage mitgeliefert und entfällt hier (vgl. Pos. (2)).

6. Die direkte Ansteuerung der Sichtereinheiten und des Prallreinigers durch Voith Paper Automation bedingte leicht erhöhte Kosten.

7. Die Kosten für die Anlagenkonstruktion und die mechanischen Schnittstellen der Komponenten wurden erwartet wie beantragt.

8. Die Analyse unserer Staubproben bei der Dekra hat gezeigt, dass die Stäube explosionsfähig sind. Das bedingte eine ATEX[15]-konforme Auslegung, Abnahme und Dokumentation der Recycling Anlage. Dieser hohe zusätzliche Aufwand bedingte wesentlich erhöhte Kosten.

9. Es hat sich gezeigt, dass die gebrauchten Bespannungen in den Papierfabriken nicht auf Eurogitterboxen-Format vorzerkleinert werden können. Deshalb wurde die Fertigung einer begrenzten Anzahl Spezialcontainer (ca. 5m x 1m x 1m) für den Rücktransport geplant, mit denen das Return System in der Realität getestet werden sollte. Diese Option hat sich als nicht praktikabel herausgestellt.

10. Zur Entleerung der Spezialcontainer bzw. zur Beschickung der Recycling Anlage sollte eine Kippvorrichtung benutzt werden, die preislich deutlich über einem Gitterboxenwender liegt. Außerdem wäre dazu eine Krantraverse benötigt worden, mit der die Container automatisch angeschlagen werden sollte. Auch dieses Teilprojekt wurde so nicht umgesetzt. Stattdessen wurde ein Spezialkran mit zwei separaten Laufkatzen installiert. Mit diesem Kran können sowohl in Recycling Bags verpackte als auch auf einen Stahlkern aufgewickelte Trockensiebe gehandhabt werden.

11. Die Kosten für die Big Bag sind in der gleichen Höhe wie beantragt. Für die Anlieferung wurden spezielle „Voith"-Recycling Bags entwickelt, die bereits bei Auslieferung neuer Siebe beigelegt werden können. Für das Fertigprodukt werden Standard Big Bag verwendet.

12. Die Nutzung der alten Halle, die saniert werden sollte, war aus folgenden Gründen nicht möglich:

    - Gespräche mit dem Bauamt führten zu dem Ergebnis, dass sich auf Grund der Nutzungsänderung der Halle für das Recycling Projekt, Auflagen für den Brandschutz ergeben hätten, die sich auf ca. **800.000 €** belaufen**.**
    - Dazu wären die Kosten für die Sanierung der Halle in Höhe von **207.627 €** gekommen, also ein Gesamtaufwand für die Rekonstruktion von **1.007.627 €**.
    - Weiterhin wären Kosten für die Genehmigung der Nutzungsänderung und für die dazu erforderlichen Gutachten (Schall- und Brandschutz) angefallen.

    Der beschriebene Gesamtaufwand für die Sanierung der alten Halle hätte das geplante Budget um ein Vielfaches überschritten. Eine Realisierung der Recyclinganlage wäre unter diesen Bedingungen ausgeschlossen gewesen. Wir haben uns für den Neubau einer Halle auf dem Voith Gelände entschieden, die unseren Ansprüchen am besten genügt. Die geförderten Ausgaben, die im Rahmen der Antragstellung bei der Sanierung der Halle entstanden wären, wurden jetzt auch getätigt.

    Die Energiebilanz für die neue Halle ist besser als in der EnEV gefordert. Somit kann die erforderliche Heizenergiemenge gegenüber der alten Halle zusätzlich deutlich verringert werden.

13. Zur verfahrenstechnischen Optimierung der Anlage wurden weitere Maschinen-lieferanten in die Anlagenplanung einbezogen. Die verfahrens- und sicherheitstechnische Planung und Abstimmung der Komponenten wurde vom Projektleiter durchgeführt. Dieser erhöhte Aufwand bedingt die erhöhten Kosten.

[15] (**AT**mosphère **Ex**plosibles) Die ATEX-Direktive umfasst zwei Richtlinien der EU auf dem Gebiet des Explosionsschutzes.

14. Der Zeitaufwand des Mitarbeiters und die damit verbundenen Kosten haben sich aufgrund der im Antrag noch nicht geplanten, jedoch notwendigen Recherchen bzgl. der sicherheitstechnischen Auslegung (Explosionsschutz) der Anlage erhöht.

Die Bestellungen für das Vorhaben wurden im Zeitraum vom November 2011 – August 2012 ausgelöst.

Das Vorhaben teilt sich wie folgt auf:

- in bauliche Aktivitäten und Genehmigungsverfahren / Gutachten
- Fertigung Anlagenkomponenten bei den Lieferanten und
- Installation / Zusammenführung aller Anlagenkomponenten in der neu errichtenden Halle
- Inbetriebnahme der Anlage
- Rücknahme der gebrauchten Papiermaschinenbespannungen (PPS Trockensiebe)
- Qualitätssicherung für das Fertigprodukt in Düren

Die Bauvorbereitung wurde im Mai 2012 begonnen und im August 2012 abgeschlossen. Anfang September 2012 wurde der „erste Spatenstich“ ausgeführt (Abbildung 9).

Abbildung 9: Helmut Kluth (Geschäftsführer) rechts und Dr. Jens Kallenberg (Projektleiter) links beim Spatenstich

Ende September 2012 wurde die Bodenplatte für die neue Halle erstellt (Abbildung 10) und bis Februar 2013 die Verlegung der Ver- und Entsorgungsleitungen Strom, Datenleitungen (Internet, Brandmelder etc.), Frischwasser, Abwasser und Regenwasser durchgeführt.

Abbildung 10: Bodenplatte der neuen Halle

Im November 2012 wurden die Außenanlagen (Zufahrt, Wege etc.) sowie das Fundament für den Außenfilter erstellt. Die Halle wurde als Rohbau aufgestellt (Abbildung 11).

Abbildung 11: Außenansicht der Halle

Im Dezember 2012 wurde die neue Trafostation errichtet und der Gasanschluss für Hallenheizung hergestellt. Die Herstellung des Stromanschlusses zur neuen Trafostation war wesentlich aufwendiger, als angenommen. Aus dem vorhandenen Tunnel vom Kesselhaus mussten die alten Dampfleitungen von Mitarbeitern unter sehr erschwerten Bedingungen zurückgebaut und umweltgerecht entsorgt werden. (Kostenintensiver Mehraufwand). Dieser Sachverhalt wird mit den nachfolgenden Bildern Abbildung 12 belegt.

Abbildung 12: Demontage der alten Leitungen im Tunnel und fachrechte Entsorgung

Im Januar 2013 wurde die LED – Hallenbeleuchtung und die Dunkelstrahler – Heizung installiert. Außerdem wurde der Fußboden gemäß corporate Design (Voith Standard) beschichtet. Die Abbildung 13 zeigt die fertig vorbereitete Halle.

Abbildung 13: Innenansicht der Halle

Im Bereich der Giebelwand mit dem Hallentor drang bei starkem Regen Wasser in die Halle ein. Das Problem konnte mit Verlegung einer wirksamen Drainage im Bereich der Giebelwand gelöst werden.

Gemäß einer Auflage des Bauamtes durfte das Regenwasser vom Hallendach und vom Hallenvorplatz nicht in den unmittelbar vorbeifließenden Mühlenteich eingeleitet werden. Es musste eine Retentionsmulde geplant und erstellt werden. Beim Anlegen der Retentionsmulde wurde das sickerfähige Material bei einer Probeschürfung in 2 m Tiefe gefunden. Tatsächlich musste die Retentionsmulde bis auf 3 m Tiefe ausgehoben und das dann fehlende Material durch Schotter ersetzt werden. Dadurch entstanden Mehrkosten in Höhe von € 8.728.62. Die Retentionsmulde wurde 1 Meter tiefer als geplant ausgehoben. Der Aushub wurde abtransportiert und die Mulde mit einem dickeren Schotterbett aufgefüllt. Damit konnte die Funktionsfähigkeit der Retentionsmulde gewährleistet werden. Das Regenwasser vom Hallendach kann jetzt in der Mulde versickern.

Den Bau der Retentionsmulde zeigt Abbildung 14.

Abbildung 14: Anlegen der Retentionsmulde

Die Abbildung 15 zeigt die fertiggestellte Retentionsmulde, in der das Regenwasser vom Hallendach versickern kann.

Abbildung 15: Retentionsmulde zur Versickerung des Regenwassers vom Hallendach

Die Produktion der Anlagenkomponenten bei unseren Lieferanten erfolgte im Zeitraum September 2012 bis Januar/Februar 2013. Von Dezember 2012 – Februar 2013 wurden die Vorabnahmen der Komponenten in den Werken unserer Lieferanten durchgeführt.

Zur Abnahme der Vorzerkleinerungsanlage wurden beim Lieferanten Schneideversuche ausgeführt. Dabei konnte man beobachten, dass sich das zerkleinerte Gewebe mitunter auf dem Gurtbandförderer aufwickelt. Die Abbildung 16 zeigt den Scherautomat (Guillotine). Die Schutzhaube wurde geöffnet, um den Schervorgang besser beobachten zu können. Beim Normalbetrieb ist die Schutzhaube geschlossen.

Abbildung 16: Scherautomat beim Probeschneiden des aufgerollten PPS – Trockensiebes (rote Rolle)

Die staubgeschützte Übergabe an der Schnittstelle zwischen Vor- und Nachzerkleinerung musste angepasst werden.

Die konstruktive Zusammenführung aller Komponenten unter Berücksichtigung der Hallensituation erstreckte sich über einen Zeitraum von August 2012 bis Ende Februar 2013. Das nachfolgende 3D-Modell, Abbildung 17, verdeutlicht die Zusammenführung der Komponenten.

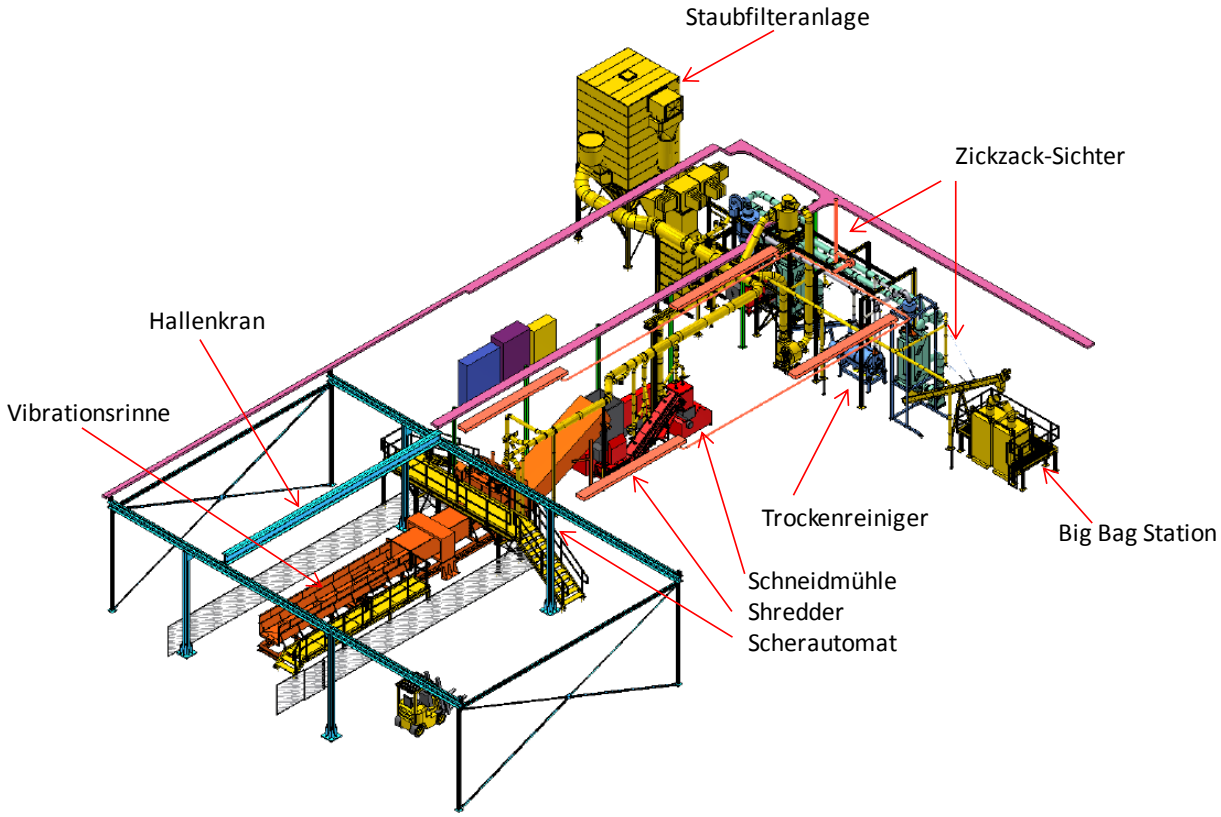

Abbildung 17: 3D-Modell Recyclingprojekt

Im Oktober 2012 ist die Rücknahme von gebrauchten PPS Trockensieben aus den Papierfabriken angelaufen. Bisher wurden ca. 20 % der verfügbaren Jahresmenge an Recycling Material in Düren angeliefert und zwischengelagert. Aktuell werden die Rücknahmebedingungen optimiert.

Bei der Rückführung der gebrauchten Bespannungen aus den Papierfabriken stellten sich nachfolgende Schwierigkeiten ein:

- Aufgrund der hohen laufenden Kosten beim Rücktransport der alten Bespannungen aus den Papierfabriken nach Düren, musste das Container-Konzept verworfen werden. Der Transport der leeren Container war nicht wirtschaftlich realisierbar. Die alten Bespannungen werden deshalb in unsere Recycling Bags gepackt (Abbildung 18). Daraus resultiert die oben genannte Kostenverschiebung - wir sparen die Kosten für die Containerfertigung (Teilevorhaben Nr. 9).
- Umsetzung / Erweiterung der Rücknahme der Trockensiebe in weiteren Papierfabriken: Es ist ein Mehraufwand für die Versandvorbereitung erforderlich, da die gebrauchte Bespannung (PPS - Trockensieb) in den Recycling Bag verpackt werden muss. Dieser Mehraufwand gegenüber den relativ geringen Kosten für die aktuell praktizierte Entsorgung ist den Papierfabrikbetreibern schwer zu vermitteln.

Abbildung 18: Recycling Bag für Papierbahnbespannung

Um die zuvor beschriebenen Schwierigkeiten beim Rücknahmekonzept zu beheben, wurden nachfolgende Maßnahmen eingeleitet:

- Vorstellung des Recycling Projektes auf Geschäftsführerebene in den Papierfabriken, um langfristig die Rücksendung der gebauchten Trockensiebe sicherzustellen
- Entwicklung eines alternativen Rücknahmesystems unter Verwendung von Recycling Bags, die unseren auszuliefernden neuen Bespannungen beigelegt werden können,
- Umsetzung / Erweiterung der Rücknahme der Trockensiebe in weiteren Papierfabriken: Mehraufwand für den Versand gegenüber relativ geringer Kostenersparnis bei der praktizierten Entsorgung. -> Überzeugungsarbeit in den Papierfabriken erforderlich
- Manche Papierfabriken rollen die alten Bespannungen beim Wechsel auf Stahlrohre auf. Diese werden dann gegebenenfalls so in Düren angeliefert und müssen dann entsprechend behandelt werden. Dazu ist eine besondere Ausrüstung erforderlich (2 Abrollböcke, sowie entsprechende Kranaufnahmen).
- Für die Sammlung der Bespannungen in Nordamerika wurde ein neuer Mitarbeiter bei Voith eingestellt

Nachdem im März 2013 die neue Werkhalle fertig gestellt wurde, konnte die komplette Recycling Anlage bis Ende April 2013 mechanisch installiert werden. Um die Montagebedingungen für die Lieferanten optimal zu gestalten, wurden die Komponenten zeitlich gestaffelt installiert, so dass maximal zwei Maschinenlieferanten zeitgleich montieren mussten. Zuerst wurde der Spezialkran (Kranbahn + Kranbrücke + 2 Laufkatzen) montiert (Abbildung 19).

Abbildung 19: Kran - Montage

Anschließend wurde die erste Zerkleinerungseinheit, bestehend aus Vibrationsrinne mit Metalldetektor, Scherautomat und Übergabeband aufgebaut (Abbildung 20).

Abbildung 20: Vibrationsrinne, Scherautomat und Übergabeband

Als nächstes erfolgte die Montage der zweiten und dritten Zerkleinerungsstufe, bestehend aus Shredder (Einwellen-Zerkleinerer), Steigband und Schneidmühle (Abbildung 21).

Abbildung 21: Shredder, Steigband und Schneidmühle

Außerdem wurde die Brikettierpresse (Abbildung 22) in der Halle platziert.

Abbildung 22: Brikettierpresse

Zeitgleich mit der Montage der Brikettierpresse wurde die Staubfilteranlage aufgestellt und installiert. Diese Anlage gewährleistet, dass an allen Komponenten freigesetzte Stäube sofort abgesaugt werden. Der Filterturm steht außerhalb der Halle (Abbildung 23). Auf diesem Bild ist rechts auch die neue Trafostation zu sehen.

Abbildung 23: Aufstellung des Staubfilters neben der Halle (Rechts: Trafostation)

Die Komponenten für die Materialabsaugung an der Schneidmühle wurden geliefert und installiert. Diese zeigt Abbildung 24.

Abbildung 24: Material-Absaugventilator

Die Abfüllstation für Big Bag (Abbildung 25) sowie zwei Podeste im Bereich der Materialaufgabe (Abbildung 26) wurden ebenfalls installiert bzw. aufgestellt.

Abbildung 25: Big Bag Abfüllstation

Abbildung 25: Podeste im Aufgabebereich

Die Staubtrennung vom Material erfolgt über zwei Zick-Zack-Sichtereinheiten. Diese Sichtereinheiten wurden vor und nach der Trockenreinigungsanlage installiert. Diese, bestehend aus Förderschnecke, Prallreiniger, Zyklon und Ventilator wurden montiert.

Die Abbildung 27 auf der folgenden Seite zeigt die beiden Sichtereinheiten und den Trockenreiniger.

Abbildung 26: Zick-Zack-Sichter (rechts und links), Prallreiniger (mitte)

Die mechanische Montage wurde im April 2013 weitgehend abgeschlossen (Abbildung 28). Die Installation der Steuerung erfolgte von Mai bis Juni 2013.

Abbildung 27: Komplette Recycling Anlage

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Zur Errichtung der Anlage waren folgende behördlichen Genehmigungen und Gutachten erforderlich:

- Baugenehmigung für Neubau einer Werkhalle und Installation bzw. Betrieb einer Recyclinganlage:
  - Amt für Stadtentwicklung Düren, genehmigt 27.07.2012
  - Geotechnischer Bericht erstellt 16.05.2012
  - Brandschutztechnische Prüfung 13.06.2013
  - Bericht des Kampfmittelräumdienst erstellt 26.06.2012
  - Nachweis gemäß EnEV 2009 erstellt 13.07.2012
  - Feuerwehr, Prüfung des Brandschutzkonzeptes 18.07.2012
  - Prüfung der Baustatik erfolgt 23.07.2012
  - Umweltamt Düren (Wasser Abwasser) genehmigt 26.07.2013
  - Amt für Arbeitsschutz, Bezirksregierung Köln, genehmigt 28.07.2012
  - Umweltamt Düren
    (Genehmigung zum Einbau von Recycling-Material) 23.12.2012
- Schallschutzgutachten 31.08.2013

Die Recyclinganlage fällt nicht unter das BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetz).

Die für den Betrieb der Anlage erforderliche Konformitätserklärung des Herstellers liegt vor. Sie befindet sich im Anhang zu diesem Bericht. Aufgrund der Explosionsfähigkeit der Stäube wurde die Anlage gemäß der ATEX – Richtlinie ausgeführt und abgenommen. Sicherheitstechnisch wurde die Anlage von der Berufsgenossenschaft und dem Amt für Arbeitsschutz abgenommen.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Erfassung der Betriebsdaten (Energieverbrauch, Emissionsdaten für Abluft und Abfall bezogen auf das kg Regranulat) wird durch die Mitarbeiter der Fa. Voith sicher gestellt.

Mit der kontinuierlichen Protokollierung von Materialstromdaten wird begonnen, wenn die Anlage von der Produktion in Düren übernommen und betrieben wird und der Prozess der dort standardmäßig erfolgenden Prozesskontrolle unterliegt. Das heißt, alle angelieferten Bespannungen werden erfasst und analysiert (Lieferant, Datum, Material, Masse), das Fertigprodukt wird gewogen und die Restverschmutzung im Labor geprüft. Aktuell können nur reine PPS-Trockensiebe aufbereitet werden. Die Durchlaufzeiten und der Energiebedarf werden manuell erfasst. Anhand der verarbeiteten Massen und der dabei entstehenden Abfälle lässt sich die durchschnittliche Verschmutzung der Bespannungen ermitteln. Somit ist die exakte Protokollierung des verarbeiteten Materials sichergestellt.

Eine umfassende Beschreibung der Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten (Messprogramm) ist in Kapitel 3.2 zu finden.

3. Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Aufgrund der konsequenten und ergebnisorientierten Arbeitsweise der am Gesamtprojekt beteiligten Unternehmen war es möglich, das Vorhaben im zeitlichen Rahmen zu realisieren. Hierbei kam der Koordination zwischen den Beteiligten entscheidende Bedeutung zu. Während der Vorhabensdurchführung kam es zu kleinen Verzögerungen, die den Projekterfolg aber nicht beeinflusst haben.

Die Inbetriebnahme der Anlage wurde Ende Juni 2013 zunächst ohne Material begonnen.

Bei der Inbetriebnahme der Recyclinganlage hatten sich einige konstruktive und steuerungstechnische Problem ergeben, die noch abgestellt werden mussten. Zu nennen sind:

- Lichtschranken als Füllstands-Sensoren verschmutzen und funktionieren dann nicht mehr
- Staub + Abfallprodukt setzen Trichter unter der Zellenradschleuse zu
- Sieb im Trockenreiniger ist zu grob, dadurch zu viel Materialverlust (bis zu 30 %)
- Scherautomat schneidet die Trockensiebe nicht vollständig durch

Die Probleme wurden wie folgt gelöst:

- Umbau der Steuerungen (Kontrolle der Motorenströme)
- Konstruktive Änderung der Trichter
- Ersatz des Siebes am Trockenreiniger durch ein Tränenblech, dadurch kein Stoffverlust, außerdem eine Erhöhung der Friktion und damit besserer Reinigung der Fasern
- Konstruktive Änderung im Schneidebereich

Rücknahme der Siebe:

Bis zum 31.03.2014 wurden ca. 20 t PPS-Trockensiebe aus Europa in Düren angeliefert.

In der Anlaufphase wurden die Lieferungen als Einzeltransporte mit unterschiedlichen Randbedingungen organisiert, um die Praktikabilität der verschiedenen Ansätze bewerten zu können. Das heißt, die Siebe wurden zum Teil aufgerollt, in Big Bag verpackt bzw. in einem offenen Container angeliefert. In Zukunft sind nur noch zwei Varianten der Gebinde für die Anlieferung vorgesehen: entweder zerschnitten und in von uns bereitgestellte Recycling Bags verpackt oder aufgerollt.

Aktuell laufen die Verhandlungen mit Papierfabriken in Europa und Amerika, um möglichst viel Material nach Düren für das Recycling sicherzustellen.

In Europa ist die Lieferung als Stückgut mit der Spedition geplant. In Amerika sind auf Grund der großen Entfernungen Sammeltransporte vorgesehen. Das Material wird in Übersee-Container gepackt, per Schiff nach Europa gebracht, auf Lkw umgeladen und nach Düren geliefert. Der Transport per Bahnfracht wurde versucht, jedoch sind die Stückgutpreise überproportional hoch im Vergleich zum LKW.

Die globale Rücknahme hat sich aus verschiedenen Gründen verzögert. Von Voith intern wurde jetzt ein Mitarbeiter benannt, der sich aktiv um die organisatorischen Belange bei der Rückholung der gebrauchten Bespannungen kümmert. Dazu ist u. a. die vertragliche Reglung der Rückführung mit den Papierherstellern erforderlich. Außerdem wird der Transport optimiert um den dazu erforderlichen Gesamtaufwand zur reduzieren. Von Amerika wurden bisher nur einzelne Bespannungen angeliefert. Für die Inbetriebnahme der Anlage und zur Optimierung der Anlagenparameter war dies sehr hilfreich und aus dieser Sicht die höheren Aufwendungen für die Anlieferung auch akzeptabel. Jetzt liegt der Schwerpunkt auf einer gezielten Sammlung der Bespannungen in Übersee-Containern, um dann Transport nach Düren kostengünstig und energieeffizient gestalten zu können.

3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Nach der Freigabe der Anlage durch die Firma APE (Gefahrenanalyse nach ATEX) und nach Fertigstellung unserer Gesamt-Risikobeurteilung wurde am 02.07.2013 das erste gebrauchte PPS Trockensieb mit der neuen Recycling-Anlage verarbeitet.

Abbildung 29 zeigt das aufgegebene PPS Trockensieb und in Abbildung 30 sind die gereinigten Fasern zu sehen.

Abbildung 28: Vibrationsrinne, beladen mit einem PPS Trockensieb

Abbildung 29: Gereinigtes PPS Material (Fertigprodukt in Düren)

Bis zum 31.08.2013 wurden ca. 400 kg PPS-Trockensiebe verarbeitet. Eine sinnvolle Auswertung der Betriebsdaten in Bezug auf Energiebedarf und Massendurchsatz war in dieser Zeit unmöglich.

Der offizielle Start für das Messprogramm erfolgte dann am 2. September 2013 durch Herrn Dr. Kallenberg und wurde am 20.09.2013 vorübergehend beendet, da das vorrätige Material weitgehend verarbeitet wurde. Im Rahmen der weiteren Anlagenoptimierung wurden folgende Mengen verarbeitet und die entsprechenden Betriebsdaten erfasst:

- Datum
- Verarbeitungszeit
- Masse des aufgegebenen Materials vor der Verarbeitung
- Masse Fertigprodukt
- Masse Abfall
- Energieverbrauch (Differenz der Strom-Zählerwerte vor und nach dem Recycling Prozess)

Datum	Pro-zess-zeit	Masse Aufge-geben	Masse Fertig	Masse Abfall	Ver-schmut-zung	Energie-verbrauch	Spezif. Energie-verbrauch	Material-verlust (*)
	Std.	kg	kg	kg	%	kWh	kWh/kg	kg
02.09.2013	2,50	450	398	46	10,2	153	0,38	6,0
03.09.2013	3,00	563	501	57	10,1	176	0,35	5,0
04.09.2013	1,00	231	205	26	11,3	77	0,38	0,0
05.09.2013	3,50	1.076	897	177	16,4	295	0,33	2,0
16.09.2013	2,25	493	411	81	16,4	152	0,37	1,0
17.09.2013	1,50	349	285	62	17,8	96	0,34	2,0
18.09.2013	3,50	823	791	33	5,0	244	0,31	-1,0
19.09.2013	1,25	259	231	28	10,8	87	0,38	0,0
20.09.2013	3,00	819	742	77	9,4	231	0,31	0,0
Summen	21,50	5.063	4.461	587	11,6	1.511	0,34	15,0

(*) Der Materialverlust ist sowohl auf Ablagerungen in der Anlage als auch auf Mengen, die aus der Anlage austreten, zurückzuführen.

Tabelle 3: Erfasste Betriebsdaten

Die Tabelle 5 zeigt, dass der spezifische Energieverbrauch bei durchschnittlich 0,34 kWh/kg liegt. Dieser Wert ist nur bedingt repräsentativ, da mit der Anlage pro Tag ca. 2.000 kg Material verarbeitet werden sollen. Bei den Testläufen wurden wesentlich geringere Massen verarbeitet. Das Hoch- und Runterfahren der Anlage dauert ca. 15 min und bedingt einen Energieverbrauch von ca. 10 kWh. Der Einfluss dieses Energieverbrauches auf die Gesamtbilanz ist umso größer, je kleiner die verarbeitete Masse pro Einschaltvorgang ist. Wenn man unterstellt, dass die Gesamtmenge in maximal 3 Tagen (=> 3-mal Anfahren der Anlage) verarbeitet wird, würde sich der spezifische Energieverbrauch auf ca. 0,32 kWh/kg reduzieren. Der Anteil der Verschmutzung des verarbeiteten Materials lag bei 11,6%. Aus heutiger Sicht sollte die Anlage einmal pro Jahr gereinigt und gewartet werden.

Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit und der Verfügbarkeit der Anlage wurde am 06.03.2014 ein 8-Stunden-Stresstest durchgeführt, dabei wurden vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin auch

Emissionsmessungen vorgenommen. Die Auswertung der Messungen befindet sich im Anhang zum Abschlussbericht.

Der Testlauf wurde 7.00 Uhr begonnen und 16:30 Uhr beendet. Es wurde in 8 Std. 1.750 kg Material verarbeitet. Die Restverschmutzung im Fertigprodukt lag bei < 1% (Massenanteil). Der separierte Abfall (Verunreinigungen aus der Papierindustrie) hatte eine Masse von 237 kg. Somit lag der Verschmutzungsanteil des Rohmaterials bei 13,5%

Bei dem Stresstest wurden noch folgende Mängel an der Anlage festgestellt:

- Übergabetrichter zwischen Zyklon und Zellradschleuse an der zweiten Sichtereinheit verstopft
  - ✓ Zur Problembeseitigung wurden die Leitbleche aus dem Trichter entfernt
- Pendelrollen-Lager am Reiniger war heiß gelaufen (>80°C), damit wurde die Anlage gemäß ATEX-Vorgabe automatisch heruntergefahren
  - ✓ Das Pendelrollen-Lager wurde getauscht und das Lagerspiel im zulässigen Bereich höher eingestellt
- Der Scherautomat erzeugte beim Schervorgang mehrfach Fehlermeldung bzgl. Laufzeitüberschreitungen
  - ✓ Der Endschalter, der die Messerposition überwacht, wurde nachjustiert
- An verschiedenen Komponenten wurden erhöhte Staub- bzw. Materialaustritte bemerkt
  - ✓ Zyklone und Sichter wurden zwischenzeitlich abgedichtet
  - ✓ Shredder, Schneidmühle, Übergabeband und Brikettierpresse wurden ebenfalls nachgearbeitet

3.3 Umweltbilanz

Für den ökobilanziellen Vergleich der konventionellen Herstellung von PPS-Granulat aus Primärrohstoff und der neuartigen Aufbereitung von PPS-Regranulat aus gebrauchten Papiermaschinenbespannungen wurden zunächst die Bilanzgrenzen definiert.

Abbildung 30 zeigt den konventionellen cradle-to-grave Weg (rot-weiß-rot) und den neuentwickelten cradle-to-cradle Weg (blau-weiß-blau)[16].

[16] Berechnungsbasis GaBi 4 database, PE International 2010

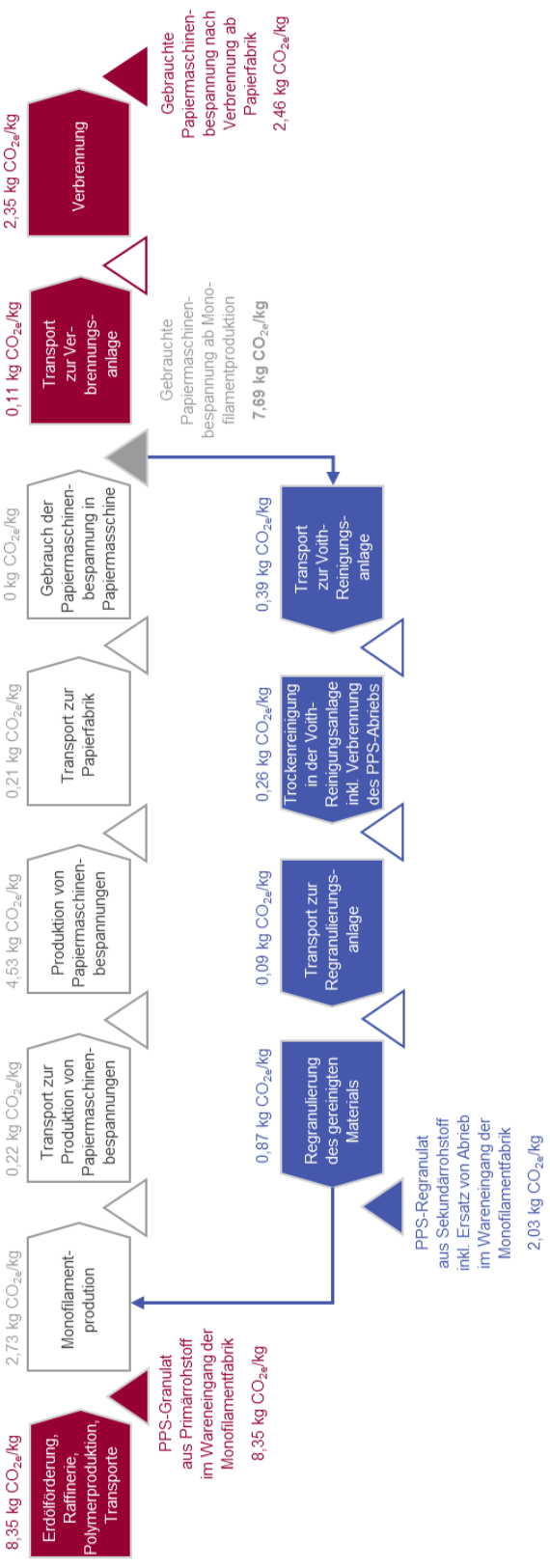

Abbildung 30: Ökobilanzielle Vergleich zwischen der Herstellung von PPS-Granulat aus Primärrohstoff und der Aufbereitung von PPS-Regranulat aus gebrauchten Papiermaschinenbespannungen

Bei beiden Wegen ist der Abschnitt von der Umwandlung von PPS-Granulat in Monofilament, über dessen Weiterverarbeitung zu einer Papiermaschinenbespannung und deren Einsatz in einer Papiermaschine identisch und unabhängig von der Produktionsart des PPS-Granulats. Um eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auch auf andere Branchen und Anwendungen zu ermöglichen, wurde der ökobilanzielle Vergleich auf die roten Abschnitte des konventionellen Wegs mit dem blauen Abschnitt des Neuentwickelten begrenzt. Die Bilanzierung wurde mit der Software GaBi 4, PE International, durchgeführt.

Konventionelle PPS-Herstellung aus fossilen Rohstoffen

Für den konventionellen Weg wurden die Herstellung von PPS, der Transport des Materials nach Einsatz beim Endanwender sowie die Verbrennung des Materials berücksichtigt. Verunreinigungen aus der Anwendung in der Papiermaschine sind außerhalb der Betrachtung. Der dominierende Schritt ist die Herstellung des PPS-Granulats. In fast allen betrachteten Umweltkategorien beträgt deren Beitrag mehr als 97% (siehe Tabelle 4). Der Transport zur Verbrennung trägt noch nennenswert zu den Emissionen von Stickoxiden NO_x (8 %) und Staub PM2.5 (11 %) sowie zum Eutrophierungspotential (6 %) bei. Die Verbrennung trägt lediglich signifikant zu den emittierten CO_2-Äquivalenten (22 %) bei.

	PPS-Granulat aus Primärrohstoffen [kg Umweltwirkung / kg PPS-Granulat]	**Transport zur Verbrennung** [kg Umweltwirkung / kg PPS-Granulat]	**Verbrennung gebrauchter PPS-Gewebe** [kg Umweltwirkung / kg PPS-Granulat]
Emissionen in Luft			
Treibhauspotential (GWP 100 Jahre) [kg CO2-Äqv.]	8.35E+00	1.13E-01	2.35E+00
Schwefeloxide SO_x	1.15E-02	5.35E-05	3.86E-05
Stickoxide NO_x	9.83E-03	8.38E-04	4.70E-05
Gruppe NMVOC in Luft	4.78E-03	6.07E-05	4.77E-05
davon PAH	4.46E-06	1.54E-08	3.30E-08
Methan	2.67E-02	1.32E-04	7.84E-05
Staub (PM2,5)	1.49E-04	1.90E-05	9.46E-07
Schwermetalle	7.90E-06	1.25E-07	2.55E-08
davon Blei	3.86E-07	5.68E-10	8.28E-10
davon Cadmium	1.14E-08	1.78E-11	2.91E-11
davon Quecksilber	9.85E-08	4.82E-11	8.22E-11
Emissionen in Gewässer			
Eutrophierungspotential (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	1.58E-03	1.10E-04	4.67E-05
Adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX)	2.37E-06	7.69E-09	1.74E-08
Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB)	1.07E-04	4.93E-07	1.04E-07
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	2.28E-03	6.92E-06	2.26E-06
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (TOC)	9.89E-05	4.78E-07	1.85E-07
Ammonium / Ammoniak	9.89E-05	6.05E-08	1.44E-07
Nitrat	1.17E-04	6.51E-08	2.83E-07
Stickstoff organisch gebunden	1.64E-05	1.74E-07	9.27E-08
Schwermetalle	1.41E-03	2.07E-06	1.38E-06
davon Blei	8.12E-07	8.33E-09	2.36E-09
davon Cadmium	3.62E-07	7.24E-09	2.77E-09
davon Quecksilber	1.40E-08	1.60E-10	6.49E-11

Tabelle 4: Umweltwirkungen aus Herstellung von PPS aus fossilen Quellen, Transport zur Verbrennungsanlage und abschließender Verbrennung (cradle-to-grave, roter Pfad)

Neuartige PPS-Herstellung aus der Reinigung und Regranulierung von Gebrauchtmaterial

Der cradle-to-cradle-Weg besteht aus dem Transport des Gebrauchtmaterials vom Endanwender in der Papiermaschine zur Reinigungsanlage, der Reinigung des Materials in der Anlage im Rahmen dieses Förderprojekts, dem Transport zur Regranulierung sowie deren Durchführung auf einem bereits vorhandenen Extruder. Der Transport des Gebrauchtmaterials vom Endanwender zur Reinigung wurde nach einem Logistikkonzept modelliert, welches im Rahmen einer Diplomarbeit[17] erarbeitet wurde. Da das Gebrauchtmaterial überwiegend aus Nordamerika stammt, wurde die konservative Annahme getroffen, dass innereuropäische Transporte ebenso aufwändig sind. Das Material wird per LKW von der Papiermaschine zu einer zentralen Sammelstelle transportiert. Für die Modellierung wurden die Distanzen zwischen Papiermaschinen und Sammelstelle gemittelt. Von dort findet ein LKW-Transport zum nächsten Containerhafen statt. Nach dem Überseetransport schließt sich ein letzter LKW-Transport zur Reinigungsanlage an.

Da zum Zeitpunkt der Antragstellung noch keine verlässlichen Informationen zum Gewichtsanteil der Verunreinigungen auf den gebrauchten Papiermaschinenbespannungen sowie zum verlorenen Abrieb von PPS im Zuge des Reinigungsprozesses vorlagen, wurden deren Effekte im ursprünglichen ökobilanziellen Vergleich vernachlässigt. Für diesen Abschlussbericht wurde das durch Verunreinigungen erhöhte Transportgewicht auf dem Weg zur Reinigungsanlage entsprechend den mittlerweile vorhandenen Erfahrungen berücksichtigt. Die thermische Verwertung der während der Reinigung abgetrennten Verunreinigungen sowie des ungewollten Abriebs von PPS wurde aufgrund der noch unbekannten Mengen zum Zeitpunkt der Antragstellung ebenfalls als vernachlässigbar angenommen und in der initialen Bilanz nicht berücksichtigt. Für die Bilanz im Rahmen dieses Abschlussberichts wird der Abrieb analog des konventionellen Wegs der Verbrennung zugeführt. Eine entsprechende Menge fossilen Neumaterials wird dem Kreislauf im Rahmen eines konservativen LCA-Modells nach der Granulierung wieder zugeführt, um eine ausgewogene Massenbilanz für PPS sicherzustellen.

Vergleich des konventionellen Verfahrens mit geplanter und realisierter Innovation

In allen betrachteten Umweltkategorien zeigt das Recycling-Granulat eine geringere Umweltbelastung (-17% bis -81%; siehe Tabelle 5). Die Treibhausgasemissionen konnten um 8,8 kg CO_{2e}/kg PPS gesenkt werden. Bei einer geplanten Menge von jährlich 100 t Recycling-PPS entspricht dies einer Gesamtreduktion von 880 t CO_{2e}/a. Dies ist bedingt durch den von ca. 50 kWh/kg PPS auf unter 12 kWh/kg PPS gesenkten Energiebedarf (-77%).

Signifikante Einsparungen konnten auch bei VOC erreicht werden. Methan und NMVOC konnten um 88% bzw. 87% reduziert werden. Die Gruppe der polyaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) konnten gar um 93% reduziert werden. Schwermetallemissionen in Luft konnten in Summe um 77% reduziert werden. Reduktionen bei anderen Luftemissionen wie Staub PM2.5 (-38%), Schwefeloxiden SO_x (-21%) und Stickoxiden NO_x (-17%) fallen geringer aus. Wie im Verlauf noch näher erläutert, ist dies auf den Einfluss der Sammellogistik im Vorfeld der Reinigung zurückzuführen. Bei diesen Umweltfaktoren ist die Reduktion teilweise auch signifikant geringer als zur Antragstellung erwartet, da für den hohen Gewichtsanteil an

[17] V. Rittinger „Auswirkungen logistischer Prozesse auf den Carbon Foodprint im Lifecycle von Industriegütern“, 2010

Verunreinigungen ebenfalls Emissionen im Kontext der Sammellogistik zu berücksichtigen sind.

Hinsichtlich der Belastung von Gewässern sind für Recycling-PPS Rückgänge von über 90 % bei adsorbierbaren organisch gebundenen Halogenen (AOX), dem biologischen und dem chemischen Sauerstoffbedarf (BSB bzw. CSB), dem gesamten organischen gebundenem Kohlenstoff (TOC) sowie dem Gesamtschwermetall zu verzeichnen. Die noch vorhandenen Emissionen in diesen Kategorien sind dem PPS aus fossilen Quellen zuzuschreiben, welches den Abrieb im Reinigungsschritt ausgleicht. Die Rückgänge bei den stickstoffhaltigen Gewässeremissionen liegen zwischen 65 % und 90 %. Der Rückgang bei Nitrat ist mit 65 % sogar höher als erwartet, da aufgrund des Abriebs der Anteil zu granulierenden Materials etwas geringer ausfällt. Der Granulierungsschritt dominiert diese Wirkungskategorie mit einem Beitrag von 75 %. Das gesamte Eutrophierungspotential geht lediglich um 31 % zurück. Dieser geringer als geplant Rückgang (36%) ist dem erhöhten Transportvolumen in der Sammellogistik geschuldet.

Bemerkenswert ist noch der Rückgang einiger spezifischer Schwermetallemissionen (z.B. Cadmium in Luft -44 % statt geplant -39 % oder Blei in Gewässer -31 % statt geplant -22 %). Diese spezifischen Schwermetallemissionen werden bestimmt durch den Strommix in der Granulierung des gereinigten Materials.

	PPS-Granulat cradle-to-grave (roter Pfad) [kg Umweltwirkung / kg PPS-Granulat]	**PPS-Granulat cradle-to-cradle (blauer Pfad, geplant)** [kg Umweltwirkung / kg PPS-Granulat]	**PPS-Granulat cradle-to-cradle (blauer Pfad, realisiert)** [kg Umweltwirkung / kg PPS-Granulat]	**Rückgang der Umweltwirkung (realisiert)** [kg Umweltwirkung / kg PPS-Granulat bzw. %]	
Emissionen in Luft					
Treibhauspotential (GWP 100 Jahre) [kg CO2-Äqv.]	1.08E+01	1.72E+00	2.03E+00	8.78E+00	81%
Schwefeloxide SO_x	1.16E-02	8.93E-03	9.23E-03	2.40E-03	21%
Stickoxide NO_x	1.07E-02	8.23E-03	8.91E-03	1.81E-03	17%
Gruppe NMVOC in Luft	4.89E-03	4.00E-04	6.43E-04	4.25E-03	87%
davon PAH	4.51E-06	1.04E-07	3.18E-07	4.19E-06	93%
Methan	2.69E-02	2.65E-03	3.27E-03	2.37E-02	88%
Staub (PM2,5)	1.69E-04	1.03E-04	1.05E-04	6.36E-05	38%
Schwermetalle	8.05E-06	1.62E-06	1.82E-06	6.23E-06	77%
davon Blei	3.88E-07	8.13E-08	7.67E-08	3.11E-07	80%
davon Cadmium	1.15E-08	6.99E-09	6.39E-09	5.07E-09	44%
davon Quecksilber	9.86E-08	1.50E-08	1.61E-08	8.26E-08	84%
Emissionen in Gewässer					
Eutrophierungspotential (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	1.74E-03	1.10E-03	1.20E-03	5.35E-04	31%
Adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX)	2.39E-06	1.61E-07	2.23E-07	2.17E-06	91%
Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB)	1.08E-04	2.81E-06	8.19E-06	9.95E-05	92%
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	2.29E-03	4.79E-04	5.05E-04	1.78E-03	78%
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (TOC)	9.95E-05	3.14E-06	7.98E-06	9.16E-05	92%
Ammonium / Ammoniak	9.91E-05	1.19E-05	1.46E-05	8.45E-05	85%
Nitrat	1.17E-04	4.26E-05	4.07E-05	7.68E-05	65%
Stickstoff organisch gebunden	1.67E-05	8.83E-07	1.72E-06	1.50E-05	90%
Schwermetalle	1.41E-03	4.89E-05	1.12E-04	1.30E-03	92%
davon Blei	8.23E-07	6.40E-07	5.64E-07	2.59E-07	31%
davon Cadmium	3.72E-07	9.16E-08	1.01E-07	2.71E-07	73%
davon Quecksilber	1.43E-08	3.13E-09	3.43E-09	1.08E-08	76%

Tabelle 5: Vergleich des herkömmlich cradle-to-grave mit neuartigem cradle-to-cradle PPS-Granulat

Betrachtung des innovativen Recyclingprozesses

Die Umwelteinwirkungen des Recycling-PPS sind zwar in allen betrachteten Wirkungskategorien geringer als bei PPS aus fossilen Quellen. Im Gegensatz zu diesem sind die noch vorhandenen geringen Umweltauswirkungen aber nicht ausschließlichen einem wesentlichen Prozessschritt zuzuordnen (siehe Tabelle 6). Die Sammlung und der Transport der gebrauchten Papiermaschinenbespannungen dominieren die NO_x-Emissionen und das Eutrophierungspotential mit mehr als 50 % sowie NMVOC (38 %) und Staub PM2.5 (42 %). Mehr als 19 % betragen die Anteile an Treibhausgasemissionen, SO_x, Schwermetallen in Luft und Cadmium in Gewässer, BSB, TOC und Nitrat. Für alle betrachteten Umweltkategorien lässt sich feststellen, dass die Prozessschritte Reinigung und Transport zur Granulierung nur unwesentliche Anteile unter 20 % haben. Die Granulierung des gereinigten Materials sowie der geringe Anteil PPS aus fossilen Quellen zum Ausgleichen des Abriebs dominieren die übrigen betrachteten Umweltkategorien.

	Transport zur Voith-Reinigungs-anlage [kg Umweltwirk-ung / kg PPS-Granulat]	**Trockenreinigung in der Voith-Reinigungsanlage inkl. Verbrennung des PPS-Abriebs** [kg Umweltwirk-ung / kg PPS-Granulat]	**Transport zur Regranu-lierungs-anlage** [kg Umweltwirk-ung / kg PPS-Granulat]	**Regranu-lierung des gereinigten Materials** [kg Umweltwirk-ung / kg PPS-Granulat]	**Fossiles PPS zum Ausgleich des Abriebs** [kg Umweltwirk-ung / kg PPS-Granulat]
Emissionen in Luft					
Treibhauspotential (GWP 100 Jahre) [kg CO2-Äqv.]	3.91E-01	2.55E-01	9.03E-02	8.74E-01	4.18E-01
Schwefeloxide SO_x	2.23E-03	1.32E-04	1.21E-03	5.08E-03	5.77E-04
Stickoxide NO_x	4.87E-03	1.32E-04	1.79E-03	1.63E-03	4.91E-04
Gruppe NMVOC in Luft	2.44E-04	1.51E-05	7.00E-05	7.47E-05	2.39E-04
davon PAH	5.68E-08	1.16E-08	1.43E-08	1.23E-08	2.23E-07
Methan	4.39E-04	4.53E-04	9.59E-05	9.47E-04	1.34E-03
Staub (PM2,5)	4.43E-05	4.96E-06	3.35E-06	4.49E-05	7.43E-06
Schwermetalle	4.63E-07	1.31E-07	1.17E-07	7.15E-07	3.95E-07
davon Blei	1.95E-09	1.39E-08	4.44E-10	4.12E-08	1.93E-08
davon Cadmium	6.13E-11	5.74E-10	1.41E-11	5.17E-09	5.71E-10
davon Quecksilber	1.70E-10	2.19E-09	4.06E-11	8.73E-09	4.93E-09
Emissionen in Gewässer					
Eutrophierungspotential (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	6.37E-04	2.29E-05	2.33E-04	2.30E-04	7.90E-05
Adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX)	2.55E-08	3.71E-08	5.50E-09	3.69E-08	1.18E-07
Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB)	1.65E-06	7.98E-08	3.63E-07	7.39E-07	5.35E-06
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	2.35E-05	4.66E-05	5.28E-06	3.16E-04	1.14E-04
Gesamter organisch gebundener	1.59E-06	1.56E-07	3.46E-07	9.42E-07	4.94E-06
Ammonium / Ammoniak	2.02E-07	1.17E-06	4.41E-08	8.23E-06	4.94E-06
Nitrat	2.26E-07	3.96E-06	5.24E-08	3.06E-05	5.85E-06
Stickstoff organisch gebunden	6.44E-07	3.67E-08	1.63E-07	5.59E-08	8.22E-07
Schwermetalle	7.17E-06	4.35E-06	1.65E-06	2.82E-05	7.04E-05
davon Blei	2.77E-08	6.13E-08	6.02E-09	4.28E-07	4.06E-08
davon Cadmium	2.45E-08	6.07E-09	5.44E-09	4.65E-08	1.81E-08
davon Quecksilber	5.32E-10	2.33E-10	1.16E-10	1.84E-09	7.02E-10

Tabelle 6: Umweltwirkungen aus Herstellung von PPS aus gebrauchten Papiermaschinenbespannung (cradle-to-cradle, blauer Pfad wie realisiert)

Eine angestrebte weitere Reduktion des Abriebs sowie weitere Optimierung der Logistikprozesse adressiert somit auch die verbliebenen Umweltauswirkungen von Recycling-PPS.

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse zu Projektbeginn wurden verschiedene Risiken diskutiert, welche die Wirtschaftlichkeit der Anlage gefährden könnten.

Für die Startphase wurde das Risiko weniger hoher Produktqualitäten genannt, welche eine zusätzliche Faserverstärkung (z.B. mit Glas- oder Aramidfasern) und zusätzliche Farbadditive (dunkelbraun oder schwarz) erforderlich gemacht hätten, um das PPS-Regranulat auf dem Markt absetzen zu können. Ferner stellen die Elektro- und Automobilindustrie teilweise Anforderungen in dieselbe Richtung, so dass gegebenenfalls in der Startphase gereinigtes PPS-Material zusätzlich hätte faserverstärkt und gefärbt werden müssen, um die Absetzbarkeit auf dem Markt zu ermöglichen. Erfreulicherweise sind die Restverunreinigungen derart gering, dass diese in der folgenden Extrusion über Schmelzefiltration hinreichend entfernt werden können.

Ein Risiko stellte zudem die Verfügbarkeit der gebrauchten PPS-Gewebe dar (Mengenrisiko). Trotz im Vorfeld durchgeführter Kundenbefragungen blieb das Risiko, dass sich nicht alle Kunden sofort an dem Angebot einer Rücknahme gebrauchter PPS-Gewebe durch Voith beteiligen. Trotz ergriffener Gegenmaßnahmen bleibt die Annahme des Rücknahmeangebots durch die Kunden noch hinter den Erwartungen zurück, was eine deutliche Verringerung der angestrebten Verkaufserlöse zur Folge hat. Der administrative Aufwand bei der internationalen Abfallverbringung hemmt zusätzlich die Akzeptanz des neuen Verfahrens bei den Kunden

Nach Durchführung des Projektes stellt sich die Erwartung an die Rentabilität des Projekts über die nächsten 5 Jahre wie folgt dar:

	Aktuelles Szenario
Anschaffungskosten [€]:	1.371.708
Zuschuss [€]:	204.470
Anschaffungskosten - Zuschuss [€]:	1.167.238
Restwert [€]:	0
Nutzungsdauer [a]:	10
Kalkulatorischer Zins [%]:	5
Kalkulatorische Abschreibung [€]:	116.724
Jährliche Betriebsstoffeinsparung [€]:	224.337
Saldo Instandhaltung [€]:	14.179
Saldo Personal [€]:	27.061
Saldo Material [€]:	24.289
Kapitalkosten [€]:	**145.905**
Saldo Sonstiges [€]:	10.000
Jährliche Kosteneinsparung:	2.903
Amortisationszeit [a]:	**9,8**

Tabelle 7: Amortisationsrechnung nach Aufbau und Inbetriebnahme

Gegenüber Rentabilitätsszenarien der ursprünglichen Planung haben sich zudem weitere Änderungen ergeben. Die Erhöhung der Anschaffungskosten wurde bereits in Kapitel 2 dargelegt. Die aktuellen Erlöserwartungen liegen trotz der positiven Preisentwicklung bei Primärgranulat in den vergangenen 2 Jahren unter den ursprünglichen Szenarien, da die

Erwartungen an die Menge deutlich reduziert werden mussten. Neben dem oben ausgeführten schleppenden Start der Rücknahme ist nun auch mit einem rückgängigen Marktvolumen für PPS zu rechnen, da sich mittlerweile gezeigt hat, dass Papiermaschinenbespannungen aus 100 % PPS zunehmend weniger nachgefragt werden. Für die Wirtschaftlichkeit der Förderung bedeutet dies ein Quote von ca. 10 kg CO_{2e}/€.

Bei den operativen Kosten ist eine positivere Entwicklung zu verzeichnen. Durch die Vereinfachungen in der Anlagentechnik gegenüber der Antragstellung kann nun von deutlich niedrigeren Instandhaltungskosten ausgegangen werden. Der Saldo Material entwickelt sich proportional zu den geringeren Erwartungen an die Auslastung, zudem erweist sich das realisierte Anlagendesign als deutlich energieeffizienter als in der Planung erwartet. Die laufenden Kosten für die neue Halle fallen ebenso geringer aus als für die ursprünglich vorgesehene Halle. Dagegen fällt der Personalaufwand gegenüber der ursprünglichen Planung höher aus, da sowohl der administrative als auch der operative Aufwand höher als erwartet sind, was auch auf die in Kapitel 2 beschriebenen Veränderungen in der Rückhollogistik zurückzuführen ist.

Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit werden in Folge zwei Strategien verfolgt. Zum einen wird die Entwicklung einer ökonomisch-ökologisch effizienten Trenntechnik für Monofilamentfragmentgemische verschiedener Polymere vorangetrieben, um die Anlage auch für Papiermaschinenbespannungen aus Mischgeweben einzusetzen. Darüber hinaus wird geprüft, inwieweit die bestehende Anlagentechnik auch für die Aufarbeitung (Reinigung) von PPS-Materialien aus anderen Industrien eingesetzt werden kann.

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Der Firma Voith war kein Rücknahme-, Reinigungs- und Recyclingverfahren für gebrauchte Papiermaschinenbespannungen bekannt. Nach Stand der Technik werden diese nach Ende ihres Einsatzes in der Papiermaschine thermisch verwertet bzw. in der jüngeren Vergangenheit in Nordamerika auch noch vielfach deponiert.

In der papierherstellenden Industrie ist es üblich, dass die Nutzungsdauer der Papiermaschinenbespannungen dadurch verlängert wird, dass die innerhalb der Papiermaschine verwendeten Papiermaschinenbespannungen teilweise gespült, hochdruckgereinigt, abgeschabt oder - vereinzelt bei Maschinenstillständen - mittels Trockeneis gereinigt werden. Auch die Zugabe chemischer Reinigungsmittel ist gängige Praxis.

Diese Reinigungsansätze können grundsätzlich zwar *auch außerhalb* der Papiermaschine angewendet werden, bringen jedoch deutliche ökologische und wirtschaftliche Nachteile mit sich. So sind für alle Reinigungsverfahren (mit Ausnahme der Wäsche) zusammenhängende Gewebeteile erforderlich, wodurch das Handling erschwert und die Betriebskosten deutlich erhöht werden. Weiterhin sorgen der Einsatz von Wasser (Wäsche, Hochdruckreinigung usw.) sowie Chemikalien zu großen Mengen verunreinigten und aufzubereitenden Abwassers. Der Einsatz von Trockeneis wiederum verschlechtert die CO_2-Bilanz, da dieses aus gefrorenen CO_2-Partikeln besteht. Zudem verbrauchen diese Verfahren sehr viel Energie (z. B. Hochdruckreinigung, Trocknung).

Das neue Reinigungsverfahren hat gegenüber allen anderen zuvor beschriebenen Verfahren den Vorteil, dass es mit zerkleinerten Partikeln arbeitet und so universell - das heißt unabhängig von Art und Größe der Papiermaschinenbespannung - einsetzbar ist.

Durch die rein mechanische Zerkleinerung und Reinigung des Materials ist kein Einsatz von Chemikalien oder Wäschen erforderlich. Es arbeitet zu 100% trocken - ohne Wasser und ohne Chemie. Dies schont die Umwelt dreifach: Es ist keine Energie zur Trocknung gereinigten Materials erforderlich, wie beispielweise bei einer Wäsche. Es fallen keine anderen Abfälle an als nicht schon vor dem Reinigungsprozess vorhanden: Die

Abfallmenge wird auf die Verunreinigungen aus dem Papierherstellungsprozess reduziert, die zuvor an den Thermoplastoberflächen saßen. Es werden keine Stoffe von A nach B verlagert, z. B. eingesetzte Reinigungsmittel und Verunreinigungen ins Abwasser.

4. Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die technische Realisierung des Recycling Vorhabens ist erfolgt.

Die Optimierung der Anlage muss als stetiger Prozess betrachtet werden. Je reiner das Endprodukt sein soll, desto mehr PPS-Fasern gehen verloren. Aktuell fehlt es noch an Erfahrungen, welche maximale Restverschmutzung bei der Weiterverarbeitung der gereinigten Fasern noch akzeptabel ist, damit die hohen Qualitätsanforderungen an das Granulat nicht kompromittiert werden. Der Verschmutzungsanteil lag zuletzt unter 1%. Derzeit werden die Vorgaben und Formblätter zur Qualitätssicherung ergänzt und Prüfvorschriften für das Labor überarbeitet.

Das Interesse der Betreiber von Papiermaschinen zur Teilnahme an dem Recycling Projekt wurde von uns überschätzt. Die Entsorgungskosten für die gebrauchten Papiermaschinenbespannungen sind sehr gering. Deshalb sind Überzeugungsarbeiten auf Konzernleitungsebene erforderlich.

Teilweise sind bereits vereinbarte Rücklieferungen gescheitert, weil die Papierfabriken mit anderen Abfallschlüsselnummern arbeiten als wir. Die Mitarbeiter der Behörde waren meist ebenfalls nicht in der Lage eine verbindliche Schlüssel-Nummer für die Abfälle zu benennen.

4.2 Modellcharakter

Die Implementierung der beschriebenen Demonstrationsanlage hat aufgrund des großen Voith-Marktanteils von mehr als 20% des weltweiten Papiermaschinenbespannungs-marktes Signalwirkung und Multiplikatoreneffekt für die gesamte Branche. In Deutschland gibt es insgesamt 7 Marktbegleiter (z.B. Heimbach GmbH & Co. KG, Hyck-Wangner, Geschmay), die ebenfalls eine solche Dienstleistung anbieten könnten.

Die Einfachheit des Verfahrens und der geringe Energieverbrauch machen den Reinigungsprozess über die Reinigung gebrauchter Papiermaschinenbespannungen hinaus aber auch für andere Branchen im Bereich technischer Textilen interessant.

Neben jeglicher Form von Filamentgarnen kann das Verfahren auch für andere verunreinigte Kunststoffgewebe eingesetzt werden.

Die Etablierung des Recycling-Verfahrens für gebrauchte Papiermaschinenbespannungen lässt keine signifikante Veränderung der Verkaufspreise für neue Bespannungen zu. Der Rohmaterialpreis für die Papiermaschinenbespannungen aus Neuware steigt ständig. Der angestrebte Anteil an Recycling-Material in den eigenen Produkten von Voith liegt entsprechend dem derzeitigen Entwicklungsstand bei max. 50%. Der Aufwand für den Transport der gebrauchten Bespannungen nach Düren, die Reinigung und die Regranulierung entsteht, gleicht den preislichen Vorteil von Recycling-Material gegenüber Rohmaterial weitgehend aus.

Das Voith-Verfahren ersetzt den bisherigen Weg der thermischen Verwertung bzw. Deponierung (z.B. in USA). Eine Anwendung der Technologie für das Recycling von anderen Industrietextilien ist geplant.

4.3 Zusammenfassung

Mit der Realisierung der Recycling Anlage in Düren konnte nachgewiesen werden, dass mit einem neu entwickelten Trockenreinigungsverfahren der Fa. Voith eine funktionsfähige Alternative zur bisherigen thermische Verwertung angeboten werden kann. Diese zeichnet sich durch folgende Charakteristika:

- Der Carbon Footprint des aus gebrauchten Papiermaschinenbespannungen erzeugten Regranulats ist für PPS beispielsweise circa 75% geringer als beim Einsatz von Primärgranulat aus Erdöl.
- Da weder Chemikalien noch Wasser eingesetzt werden, wird die Verunreinigung nicht zwischen Medien verschoben, sondern es werden aktiv Ressourcen geschont.

Folgende Werte konnten im Rahmen des Messprogramms ermittelt werden:

- Der spezifische Energiebedarf für die Reinigung liegt mit ca. 400 kWh je 1 t PPS deutlich unter dem erwarteten Wert von 750 kWh je 1 t PPS
- Die Restverschmutzung von < 1% wird mit dem Trockenreinigungsverfahren erreicht.
- Der kalkulierte Massendurchsatz von 250 kg/h wurde erreicht.
- Die Brikettierung der Abfälle (Verunreinigungen aus der Papierindustrie), die aus Gründen des Explosionsschutz notwendig ist (Staub ist explosionsfähig) funktioniert.

Der ursprünglich budgetierte Investitionsansatz in Höhe von 1.304.065,36 € für das Projekt wurde durch die tatsächlichen Kosten in Höhe von 1.371.708,30 € leicht überschritten. Diese Überschreitung resultiert aus den unter 2.3 beschriebenen Änderungen im Investitionsplan. Die im Bericht dargestellten über der Planung liegenden Einsparmöglichkeiten untermauern die Sinnhaftigkeit dieser Zukunftsinvestition für die Fördernehmerin. Die errechnete Amortisationszeit für die innovative Technik ist unter der Zugrundelegung des gewährten Zuschusses nun bei 9,8 Jahren.

Die Projektergebnisse zeigen, dass das Interesse der Betreiber von Papiermaschinen zur Teilnahme an dem Recycling Projekt von uns deutlich überschätzt wurde. Die Entsorgungskosten für die gebrauchten Papiermaschinenbespannungen sind aktuell noch sehr gering. Deshalb sind künftig erhöhte Anstrengungen zur Überzeugung der Betreiber auf Konzernleitungsebene erforderlich.

Das Anlagenkonzept ist auf das Recycling von Industrietextilien weltweit übertragbar. Entsprechende Untersuchungen bzw. Projekte werden von Voith aktuell weitergeführt.
Die neue Anlagentechnik kann, selbstverständlich nach vorheriger Terminvereinbarung, bei der Fördernehmerin in Düren besichtigt werden. Die Ansprechpartner sind Herr Henry Torkler (Anlagenverantwortlicher) und Herr Helmut Kluth (Geschäftsführer).

Anhang

VOITH

EG - Konformitätserklärung

Hiermit erklärt der Hersteller:

Voith Paper GmbH & Co. KG
St. Pöltener Straße 43
89522 Heidenheim
DEUTSCHLAND

dass die Lieferung von:

Bezeichnung:	Recycling-Anlage fur PPS-Trockensiebe	Baujahr:	2013
Maschinen Nr.:	001	Kd. Auftr. – Pos. Nr: Best. Nr.:	209207 4500947477

konform ist mit den Bestimmungen folgender Richtlinien:

- ☒ EG-Maschinen-Richtlinie (2006/42/EG)
- ☒ Niederspannungsrichtlinie (2006/95/EG)
- ☒ ATEX Richtlinie (1994/9/EG)

Bei der Konstruktion und Herstellung wurden grundsätzlich folgende (harmonisierte) Normen berücksichtigt:

EN ISO 12100	Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung

Nachfolgende Person ist Dokumentationsbevollmächtigter für die Zusammenstellung der technischen Unterlagen.
Satzger, Oswald - St. Pöltener Straße 43 - 89522 Heidenheim - Telefon: +49 7321 37 6738

Heidenheim, 2013-10-09

Unterschriften:

Angaben zu den Unterzeichnern:	Holl, Hans Geschaftsleitung	Satzger, Oswald CE-Beauftragter