

**INVESTITIONEN ZUR VERMINDERUNG VON UMWELTBELASTUNGEN
PROGRAMM DES BUNDESMINISTERS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ
UND REAKTORSICHERHEIT**

Luftreinhaltung

Abschlussbericht Nr. 20139

Großtechnische Demonstration einer Kombimaschine
für Dekorpapiere und Digitalbilderpapiere
unter Einsatz energiesparender Herstellverfahren

KfW-Aktenzeichen Mbe1-001594

Laufzeit: 08.07.2008 - 30.06.2011

Ansprechpartner: Herr Dipl.-Ing. Friedrich-Wilhelm Schönheit

Schoeller Technocell GmbH & Co. KG
GmbH & Co. KG
Burg Gretesch
49086 Osnabrück

14. Dezember 2012

Berichts-Kennblatt

Berichtsnummer 1. UBA 0 441- / 20139	2. Abfallwirtschaft	3. Abschlussbericht
4. Titel des Berichts Großtechnische Demonstration einer Kombimaschine für Dekorpapiere und Digitalbilderpapiere unter Einsatz energiesparender Herstellverfahren		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Schönheit, Friedrich-Wilhelm	8. Abschlussdatum 30.06.2011	
	9. Veröffentlichungsdatum 14.12.2012	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Schoeller Technocell GmbH & Co. KG Burg Gretesch 49086 Burg Gretesch	10. Vorh.-Nr. UBA 0 441- / 20139	
	11. Seitenzahl 88	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	12. Literaturangaben 4	
	13. Tabellen und Diagramme 12	
	14. Abbildungen 9	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Das durchgeführte Demonstrationsvorhaben veranschaulicht die energieeffiziente und ressourcenschonende Produktion von sowohl Dekor- als auch Digitalbilderpapieren auf einer Kombimaschine. Hierzu wurden verschiedene innovative Technologien erstmals in einer großtechnischen Anlage integriert. Gleichzeitig erfolgten umfangreiche Prozessanpassungen, um die geplante Sortenflexibilität erfolgreich umsetzen zu können. Im Projekt ist es gelungen, eine signifikante Reduzierung des thermischen und elektrischen Energieverbrauchs gegenüber dem Stand der Technik zu erreichen und gleichzeitig durch eine Anpassung der Papierrezepturen besonders umweltfreundliche Papiersorten bereitzustellen.		
17. Schlagwörter Digitalbilderpapier, Dekorpapier, Sortenflexibilität, Energieeffizienz, Materialsubstitution, Emissionsminderung		
18.	19.	20.

Report-Coversheet

1. UBA 0 441- / 20139	2. Abfallwirtschaft	3. Abschlussbericht
4. Report Title Großtechnische Demonstration einer Kombimaschine für Dekorpapiere und Digitalbilderpapiere unter Einsatz energiesparender Herstellverfahren		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Schönheit, Friedrich-Wilhelm		8. Report Date 30.06.2011
		9. Publication Date 14.12.2012
6. Performing Organisation (Name, Address) Schoeller Technocell GmbH & Co. KG Burg Gretesch 49086 Burg Gretesch		10. Report-No. UBA 0 441- / 20139
		11. No. of Pages 88
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Germany		12. No. of References 4
		13. No. of Tables, Diagr. 12
		14. No. of Figures 9
15. Supplementary Notes		
16. Abstract The accomplished demonstration project of the company Schoeller Technocell shows the energy efficient and resource conserving production of both decor and digital imaging paper on a combination machine. Therefore different innovative technologies have been integrated in one large-scale machine for the first time. Concurrently extensive process modifications have been made in order to realize the scheduled sort flexibility successfully. We succeeded in the project on achieving a significant reduction of the thermally and electrical energy consumption compared to the state of the art and concurrently on providing very eco- friendly paper sorts by an adaption of the paper composition.		
17. Keywords Digital imaging paper, decor paper, sort flexibility, energy efficiency, materials substitution, emission reduction		
18.	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

I.	Erläuterungen der Abkürzungen, Maßeinheiten, Symbole.....	1
I.1.	Abkürzungen.....	1
I.2.	Maßeinheiten	1
I.3.	Symbole	1
II.	Ausgangslage.....	2
II.1.	Darstellung des Antragstellers	2
II.2.	Motivation zur Projektdurchführung	3
III.	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	4
III.1.	Aufgabenstellung und unternehmerisches Ziel.....	4
III.2.	Projektabsnitte.....	5
III.3.	Förderung durch das BMU	11
IV.	Technogische Beschreibung	13
IV.1.	Stand der Technik	13
IV.1.1.	Aufbau einer Papiermaschine	13
IV.1.2.	Stand der Technik bei der Herstellung von Harz sparendem Dekorpapier.....	13
IV.1.3.	Stand der Technik bei der Herstellung von PE-beschichtetem DI-Papier	16
IV.2.	Innovation: Aufbau und Umbau der Papiermaschine 1	17
IV.3.	Angestrebter und tatsächlicher Lösungsweg	18
IV.3.1.	Einführung einer Kleinstlostechnologie	18
IV.3.2.	Umsetzung eines Null-Abriss-Konzepts.....	20
IV.3.3.	Neuartiges Pressendesign in der Entwässerung.....	24
IV.3.4.	Einsatz einer Filmpresse mit Nipco-Technik.....	26
IV.3.5.	Optimierung des Trocknungsregimes in der Nachtrockenpartie	28
IV.3.6.	Design der Glättungstechnik	29
IV.3.7.	Design der Umrolltechnik	30
IV.3.8.	Hochpigmentierung der DI-Papiere.....	31
IV.3.9.	Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelteffekte	32

V.	Umweltschutzwirkung des Vorhabens	35
V.1.	Angestrebte und erreichte Umweltschutzwirkung.....	35
V.1.1.	Einführung einer Kleinstlostechnologie	35
V.1.2.	Null-Abriss-Konzept	36
V.1.3.	Neuartiges Pressendesign in der Entwässerung.....	37
V.1.4.	Einsatz einer Filmpresse mit Nipco-Technik	37
V.1.5.	Optimierung des Trocknungsregimes in der Nachtrockenpartie	39
V.1.6.	Design der Glättungstechnik	39
V.1.7.	Design der Umrolltechnik	39
V.1.8.	Hochpigmentierung der DI-Papiere	40
V.1.9.	Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelteffekte	41
V.2.	Energiebilanz	42
V.3.	CO ₂ -Bilanz.....	46
V.4.	Absolute jährliche Einsparmengen	50
VI.	Diskussion der Ergebnisse und Empfehlung	53
VI.1.	Darstellung der Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens	53
VI.1.1.	Möglichkeiten des Verfahrens	53
VI.1.2.	Grenzen des Verfahrens	54
VI.1.3.	Empfehlungen	56
VI.1.4.	Modellcharakter von Kombimaschinen.....	56
VI.1.5.	Erfolgskontrollbericht	57
VI.1.6.	Beitrag zu den förderpolitischen Zielen	57
VI.1.7.	Wissenschaftlicher und technischer Erfolg des Vorhabens	57
VI.1.8.	Gesammelte Erfahrungen	58
VI.1.9.	Einhaltung des Finanz- und Zeitplans	59
VI.1.10.	Verwertbarkeit der Ergebnisse	59
VII.	Zusammenfassung.....	60
VII.1.	Deutsche Zusammenfassung	60
VII.2.	Englische Zusammenfassung	63
VIII.	Literatur.....	65

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau einer Papiermaschine.....	13
Abbildung 2: Wertschöpfungskette für Dekorpapiere	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arbeitsschritte und deren Laufzeit	5
Tabelle 2: Beantragte und tatsächliche Ausgaben.....	12
Tabelle 3: Systemvolumina der umgebauten PM 1 im Vergleich zum Stand der Technik	18
Tabelle 4: Produkteigenschaften der produzierten Dekorpapiere / RSP-Papiere.....	27
Tabelle 5: Energiebilanz der umgesetzten Maßnahmen.....	43
Tabelle 6: Papiersortenbezogene Energiebilanz	45
Tabelle 7: CO ₂ -Bilanz der umgesetzten Maßnahmen	47
Tabelle 8: Absolute jährliche Energieeinsparungen der umgesetzten Maßnahmen.....	51
Tabelle 9: Absolute jährliche Materialeinsparungen der umgesetzten Maßnahmen.....	52

I. Erläuterungen der Abkürzungen, Maßeinheiten, Symbole**I.1. Abkürzungen**

DI	Digital Imaging
elektr.	elektrisch
FSB	Fremdstrombezug
NTP	Nachtrockenpartie
PM	Papiermaschine
RSP	Resin Saving Paper
spez.	spezifisch
Subst.	Substitut
therm.	thermisch
VTP	Vortrockenpartie

I.2. Maßeinheiten

a	Jahr
g/m ²	Gramm pro Quadratmeter
h	Stunde
kWh	Kilowattstunden
m ³ /(t/d)	Kubikmeter pro Tagestonnen
min	Minute
MW	Megawatt

I.3. Symbole

ΔE	Energiedifferenz
Δm	Mengendifferenz
ΔP	Leistungsdifferenz

II. Ausgangslage

II.1. Darstellung des Antragstellers

Ursprünglicher Antragsteller und Eigentümer der Papiermaschine 1 war Felix Schoeller jr Foto- und Spezialpapiere GmbH & Co. KG, ein Unternehmen des Felix Schoeller Konzerns. Während der Projektlaufzeit wurde die konzerninterne Übertragung der Papiermaschine auf Technocell Dekor GmbH & Co. KG veranlasst. Grund dafür war die saubere Zuordnung der Anlage zu den Produktportfolios der beiden Schwesterunternehmen. Im Zuge des Eigentümerwechsels gingen auch die aus der Projektförderung resultierenden Rechte und Pflichten auf Technocell Dekor über. Anschließend erfolgte dann die Zusammenführung der Unternehmen Felix Schoeller jr GmbH & Co. KG und der Felix Schoeller Service GmbH & Co. KG mit der Technocell Dekor GmbH & Co. KG und aus den drei Gesellschaften wurde eine Einheitsgesellschaft mit dem Namen Schoeller Technocell GmbH & Co. KG gebildet. Diese ist somit Rechtsnachfolgerin für die aus der Projektförderung resultierenden Rechte und Pflichten.

Das Unternehmen Schoeller Technocell ist ein Spezialist für die Herstellung hochwertiger Spezialpapiere und hat seinen Stammsitz in Osnabrück sowie weitere Betriebsstätten in Günzach, Neustadt und Penig. In den Tochterunternehmen Felix Schoeller Technical Papers Inc. in Pulaski/USA und Technocell Inc. in Drummondville/Kanada werden ebenfalls hochwertige Spezialpapiere produziert.

Die Produktpalette der Dekorpapiere bei Schoeller Technocell umfasst:

- Druckbasispapiere
- Niederdrucklaminat-Papiere (LPL-Papiere)
- Continuous Pressed Laminate Papier (CPL-Papier)
- Hochdrucklaminat-Papiere (HPL-Papiere)
- Kantenpapiere
- Folienpapiere
- Vorimprägnatpapiere
- Regeneratpapiere

Zu den Kunden von Schoeller Technocell in der Dekorpapiersparte zählen u. a. die leistungsfähigsten Dekordruckereien Europas sowie Nord- und Südamerikas. Die wichtigsten

Kunden sind die Unternehmen Schattdecor, Interprint, Coveright, Kaindl (Österreich), Egger (Österreich) und Pfeleiderer. Für sie produziert Technocell Dekor sowohl weiße als auch farbige Dekorpapiere, die zu Dekoroberflächen weiterverarbeitet werden.

II.2. Motivation zur Projektdurchführung

Aufgrund des Vormarschs der digitalen Fotografie hat sich die Unternehmensgruppe Schoeller schon seit vielen Jahren auf die Marktverschiebungen von Fotobasispapier zu Digital Imaging Papier vorbereitet. Insbesondere die Wachstumsmärkte Inkjet-Papiere (als Teil des Digital Imaging Markts) und Dekorpapiere liegen seit längerer Zeit im Fokus der strategischen Unternehmensorientierung. Bereits heute ist Schoeller in beiden Märkten hervorragend positioniert. Um die optimalen Voraussetzungen für ein weiterhin kontinuierliches Wachstum in diesen Sparten zu schaffen, wurde im Jahr 2007 die Entscheidung getroffen, die bisher ausschließlich für die Produktion von Fotobasispapieren genutzte Papiermaschine 1 für eine flexible Produktion von Dekor- und Digitalbilderpapieren nutzbar zu machen und in diesem Zusammenhang verschiedene innovative Technologien erstmalig großtechnisch zu kombinieren, um signifikante Umweltvorteile gegenüber dem Stand der Technik zu realisieren. Durch diese Maßnahme wird die hervorragende Positionierung von Schoeller, insbesondere gegenüber asiatischen Anbietern, langfristig gesichert, da mit der Kombimaschine zusätzliche Wettbewerbsvorteile im Hinblick auf eine besonders wirtschaftliche Produktion bei gleichzeitiger Erfüllung sehr hoher Qualitätsansprüche realisiert werden.

III. Aufgabenstellung und Zielsetzung

III.1. Aufgabenstellung und unternehmerisches Ziel

Wesentliche Anforderung des Markts ist eine flexible und wirtschaftliche Bearbeitung von Aufträgen unterschiedlichster Papiersorten und Losgrößen. Vor diesem Hintergrund wurde im hier beschriebenen Projekt die erstmalige großtechnische Demonstration einer Kombi-Maschine für Dekor- und Digitalbilderpapiere durchgeführt. Durch die Errichtung einer sehr flexiblen, leistungsfähigen und wirtschaftlichen Multifunktions-Papiermaschine wurde das Ziel verfolgt, weltweit neue Maßstäbe im Hinblick auf eine wirtschaftliche, umweltgerechte und hochflexible Produktion von hochwertigen Spezialpapieren zu setzen. Auf der Kombi-Maschine ist nun eine besonders umweltfreundliche Produktion von gleichermaßen Digital Imaging- und Dekorpapieren möglich, um den Bedarf in diesen Märkten zu decken und den wechselnden Marktanforderungen durch eine flexible und kostengünstige Produktion gerecht zu werden. Hierdurch ergab sich die Chance gleichzeitig enorme Umwelteffekte zu realisieren und die Schoeller Gruppe auf einen weiterhin nachhaltigen Wachstumskurs zu führen.

Hierbei waren die folgenden Aufgaben zu lösen:

- Erstmalige Umsetzung von umweltgerechten, bisher nur in kleinem Maßstab erprobten Technologien in einer großtechnischen Papiermaschine,
- Sicherstellung der Eignung dieser Technologien sowohl für die Herstellung von Digitalbilder- als auch Dekorpapieren,
- Geeignete Verknüpfung und Abstimmung der Technologien zu einem Gesamtsystem,
- Flexibilisierung der Anlage für eine Vielzahl unterschiedlicher Dekor- und Digitalbilderpapiersorten, insbesondere für kleine Losgrößen,
- Umsetzung eines auf die Papiermaschine abgestimmten innovativen Rohstoffprofils bei Nutzung besonders umweltfreundlicher Einsatzstoffe.

III.2. Projektabschnitte

Im Dezember 2008 wurde die Vorbereitung des Umbaus gestoppt und erst im Juni 2009 wieder aufgenommen. Die Teilung des Projekts zog eine Reihe von kostenerhöhenden Maßnahmen mit sich, eröffnete allerdings auch die Möglichkeit, durch Nutzung der hierdurch freigewordenen zeitlichen Ressourcen eine weitere Detailplanung von ausgewählten Anlagenteilen vorzunehmen, welche zur Nutzung zusätzlicher Energieeinsparpotenziale führte. Tabelle 1 fasst die Arbeitsschritte und den im Projekt realisierten Zeitplan zusammen:

Tabelle 1: Arbeitsschritte und deren Laufzeit

Arbeitsschritt	Zeitraum											
	2008		2009				2010				2011	
	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2
Engineering und Detailplanung												
Vorbereitung des Umbaus Step 1												
Errichtung der Kombimaschine Step 1												
Erstinbetriebnahme Step 1												
Vorbereitung des Umbaus Step 2												
Errichtung der Kombimaschine Step 2												
Erstinbetriebnahme Step 2												
Demonstration												

Die Strukturierung des Projekts in einzelne Arbeitsschritte stellt sich wie folgt dar:

Engineering

Die zur Projektrealisierung erforderliche Forschung und Entwicklung für alle in der Kombi-maschine zusammenzuführenden Einzeltechnologien wurde bereits im Vorfeld dieses Demonstrationsvorhabens erfolgreich abgeschlossen. Die Machbarkeit wurde in Praxistests ebenfalls vorab unter Beweis gestellt.

Der Arbeitsschritt „Engineering“ umfasste daher die detaillierte Projektplanung, insbesondere die Auslegung der ganzheitlichen Integration der einzelnen Technologien und das detaillierte Engineering der Prozessanpassungen zur Ausschöpfung des damit verbundenen Umweltpotenzials.

Vorbereitung des Umbaus

Zur Vorbereitung des Umbaus musste die Papiermaschine 1 aus der laufenden Produktion und den damit verbundenen Prozessen gelöst werden. Anschließend folgte eine umfassende Reinigung und Wartung der Maschine, um sie in einen neuwertigen Zustand zu versetzen. Da die Papiermaschine 1 stets dem Stand der Technik angepasst und laufend gewartet wurde, wurde zum Zeitpunkt der Projektplanung nicht erwartet, dass ein verschleißbedingter Austausch von Maschinenteilen erforderlich sein würde. Im Verlauf genauer Untersuchungen hat sich jedoch herausgestellt, dass die Fundamentschienen im ehemaligen Bereich der Leimpresse in schlechtem Zustand waren. Durch Abfräsen der Oberfläche konnten diese wieder instandgesetzt werden, so dass ein Austausch nicht erforderlich war. Schwerwiegender waren jedoch Probleme im Bereich der elektrischen Verkabelung. Durch die umfassende Inspektion der Papiermaschine hat sich herausgestellt, dass in größerem Umfang Isolationen der Kabel verhärtet waren. Durch die eng belegten Kabeltrüchsen wurde im Rahmen des Umbaus ein Bewegen dieser Kabel erforderlich. Zur Vermeidung von Isolationsbruch musste kurzfristig im laufenden Umbau der Austausch von Kabeln in besonders betroffenen Bereichen entschieden und durchgeführt werden.

Errichtung der Kombimaschine

Zur Errichtung der Kombimaschine erfolgten (ausgehend von der vorbereiteten PM1):

- Montage von Einzelaggregaten
- Prozessanpassungen
- Technologische Zusammenführung und Integration der Technologien in eine Gesamtanlage

Die Montage der Aggregate erfolgte einschließlich der erforderlichen Infrastruktur, wie z. B. Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik, Stoff- und Energieführung.

Erstinbetriebnahme

Die Erstinbetriebnahme startete am 01.03.2010 und umfasste das erstmalige Anfahren der Kombimaschine, das mit begleitenden Engineeringtätigkeiten zur Abstimmung der einzelnen Technologien zum Gesamtprozess einherging. Als Anfahrsorte wurden zur Stabilisierung der Anlage zunächst Kopierpapiere produziert.

Im Verlauf der Erstinbetriebnahme traten eine Reihe nicht vorhersehbarer Probleme auf, die in Summe zu einer Verzögerung des Gesamtprojekts um ca. ein halbes Jahr führten und im Folgenden kurz beschrieben werden:

- **Schwingungen:** Es kam zu unerwarteten Flächenmasseschwankungen im Papier. Trotz Einhaltung aller Schwingungsvorgaben unseres Hauptlieferanten und sogar teilweise deutlicher Unterschreitung dieser Werte kam es am Stoffauflauf zu einer Schwingungserregung im Bereich 30-35 Hz, die zu Papierfehlern (Querschlägen) führte. Es stellte sich heraus, dass das Problem mit einfachen Mitteln nicht zu lösen war. Daher wurden unter Einschaltung Dritter weitere detaillierte Untersuchungen angestellt. Letztendlich brachte das Durchschneiden der Fundamentbalken im Bereich Stoffauflauf/Siebpartie mit nachfolgender Stabilisierung der neu entstandenen Teilfundamente den gewünschten Erfolg. Dieses Problem brachte eine Verzögerung bei der Inbetriebnahme, speziell für die Dekorpapiere von fast 4 Monaten.
- **Glättwerkssteuerung:** Durch die besonderen projektspezifischen Anforderungen an das Glättwerk bestand bei den Lieferanten die Notwendigkeit, die standardisierte Ausführung anzupassen und vorhabensspezifisch zu ergänzen. In der Folge traten drei ineinander verschachtelte Fehler mit gegenseitiger Beeinflussung auf. Die Hydraulikverrohrung für die Belastungshydraulik, die Berechnung der Walzen-Durchbiegungslinien und die Ölverteilung an der Walze zur Durchbiegungskompensation waren fehlerhaft. Nach ca. 4 Monaten konnte der Fehler endgültig behoben werden. Bis zu diesem Zeitpunkt konnte das Glättwerk nur im unteren Bereich der geplanten Belastungen gefahren werden. Das Produktionsprogramm war entsprechend eingeschränkt.
- **Rollenschneider:** Nach anfänglich guten Ergebnissen traten bereits in der 2. Jahreshälfte 2010 Markierungsprobleme an diversen Papieren auf. Hier zeigte sich unerwartet, dass die Beständigkeit der Walzenoberfläche für die Kombination der Papiersorten Dekor/RSP und DI-Papiere nicht ausreichend war. Im Juni 2011 erfolgte daher eine Umrüstung auf neue

Tragwalzen mit einer veränderten Oberflächengeometrie und einem widerstandsfähigeren Material.

- **Training/Tuning:** Das Produktionsteam war aufgrund der hohen Anlagenkomplexität trotz intensiver Schulung mit der Bedienung der Maschine nicht vertraut. Das reale Verhalten der Maschine war nicht bekannt, so dass die Bedienung auf Basis von Vorausberechnungen erfolgen musste. Zudem traten langwellige Schwankungen des Papiergewichts auf. Als Ursache konnte die Materialdosierung identifiziert werden. Durch die erstmalig angewendete Kleinlostechologie auf einer Hochleistungsmaschine führte das extrem klein gehaltene Systemvolumen in der Stoffaufbereitung in Kombination mit dem Regelverhalten der Materialdosierung zu diesen Störungen. Die schrittweise Verbesserung mit endgültiger Beseitigung erfolgte bis zum Ende des Jahres 2010. Mittlerweile läuft das System über die gesamten geplanten Sorten sehr gut.

Demonstration

Im Rahmen dieses abschließenden Arbeitsschritts erfolgte zunächst eine Erprobung der grundsätzlichen Verfahrensabläufe der Kombimaschine. Anschließend wurde die Anlage hinsichtlich zahlreicher Aspekte optimiert. Diese Optimierungsarbeiten umfassten beispielsweise die Abstellung von Qualitätsmängeln sowie die Minimierung des entstehenden Ausschusses und des Energieverbrauchs. Hierzu wurden Tests mit verschiedenen Auslastungsgraden bei unterschiedlichen Sorten und Produktionsgeschwindigkeiten gefahren. Dies erfolgte jeweils getrennt für Dekor- und DI-Papiere.

Anschließend wurden die einzelnen Produktionsschritte hinsichtlich des Einflusses auf Energieverbrauch, Arbeitssicherheit, Produktqualität etc. detailliert analysiert und ausgewertet. Dies beinhaltete auch die Identifikation von Abhängigkeiten zwischen den einzelnen neuen Technologien, die nur anhand der vorgenommenen Praxistests erkennbar waren. Hierauf aufbauend wurde eine Gesamtoptimierung der Anlage, insbesondere auch unter Umweltgesichtspunkten, vorgenommen.

Durch die erstmalige Realisierung der Kombination aller Einzeltechnologien konnten in der Demonstrationsphase umfangreiche Erfahrungen mit dem Betrieb der Kombimaschine gesammelt werden. Die folgenden verfahrenstechnischen Störungen wurden im Projektverlauf identifiziert und nachhaltig beseitigt:

- **Cleaneranlage und Konstantteil:** Der extrem kleine Konstantteil führte bei Produktionen mit extremen Betriebseinstellungen zu Schwankungen der Flächenmasse. Eine Umstellung der Massenströme im System und die Optimierung der Stoffdosierung brachten eine signifikante Verbesserung. Die PM 1 ist heute in der Lage, Papiere von 60 g/m² bis 220 g/m² in marktgerechter Qualität zu produzieren.
- **Siebpartie mit Egoutteur:** Die aufgrund der angestrebten Sortenflexibilität große Bandbreite der Flächenmasse führte zu extremen Einstellungen der Entwässerungskurve, um die gewünschten Qualitätsparameter zu erreichen. Hierbei kam es speziell im Bereich der Vakufoils zu einer Überlastung. Da die Ablaufquerschnitte für die große anfallende Wassermenge nicht ausgelegt waren, konnte das Wasser nicht ausreichend abgeführt werden, was zu einem Zusammenbruch des Vakuums im Flachsauger und zur Weiterleitung einer ebenfalls zu großen Wassermenge in die nächste Entwässerungsstufe führte („Absaufen“). Zur Lösung des Problems wurden die Ablaufquerschnitte vergrößert und die Konfiguration der Entwässerungselemente mit Vakuumregelung insgesamt angepasst. Seitdem lassen sich auch die Produkte bei extremen Betriebseinstellungen mit der gewünschten Blattformation herstellen.
- **Nasspressenpartie:** In der Nasspressenpartie gab es sortenabhängig erhebliche Probleme mit Abrissen. Erst die genaue Abstimmung von Walzenbezügen in Kombination mit dem Einsatz von Releasemitteln zur besseren Ablösung der Papierbahn von der Walzenoberfläche brachte hier den Durchbruch. Zusätzlich musste eine neue Spritzwasserauffangwanne an der 4. Presse installiert werden. Die Originalwanne wies trotz Beheizung kühlere Stellen („Cold Spots“) auf, die Kondensation und Wassertropfen auf der Papierbahn verursachten. Die neue Wanne wurde Anfang Dezember eingebaut und verhält sich deutlich besser. Zudem wurde die Heizung an dieser Stelle angepasst, so dass inzwischen keine Tropfenkondensation mehr auftritt.
- **Trockenpartie:** Hier bestanden Probleme mit Abrissen speziell bei den neu hinzugekommenen niedergewichtigen Sorten mit hohem Aschegehalt. Die Justierung der „Saugblaskästen“, einer speziellen Entwicklung der Fa. Felix Schoeller, brachte zwar eine deutliche Verbesserung. Durch diese Maßnahme wurde eine Glättung der Feuchtequerprofile im Verlauf der Trocknung erreicht und es kommt nicht mehr zu überhöhten Trocknungsspannungen speziell im Randbereich. Bei Sorten mit geringer Flächenmasse und

hohem Trockengehalt aus der Nasspresse traten am Ende der Vortrockenpartie jedoch Probleme durch statische Aufladung auf. Papierschnipsel, die beim Aufführen der Papierbahn entstanden, wurden mit den Trockensieben mitgenommen und verursachten sporadisch Bahnrisse. Zur Problembehebung wurde ein System zur Abführung der statischen Aufladung installiert. Zudem wurde die Trocknungssteuerung überarbeitet, so dass die Papiere nicht mehr so stark übertrocknet werden.

- **Filmpresse:** Die Filmpresse wurde erfolgreich bei allen Sortengruppen mit Leimauftrag bzw. mit Imprägnierung eingesetzt. Die in den Zwischenberichten erwähnten Kontaminationen, die entweder unmittelbar zu Papierfehlern führten oder durch Verunreinigung des Leims Störungen im Auftragsbild verursacht haben, sind durch den Einbau von Trockensiebreinigern beseitigt worden. Bei der Produktion von RSP traten im ersten Betriebsjahr noch Verschleißprobleme auf, die zu einer verkürzten Rakellebensdauer führten. Durch die hohe Abrasivität von TiO_2 im Dekorpapier nutzten sich die Rakelstäbe sehr schnell ab. Dieser Zustand war für einen robusten Produktionsprozess noch unzureichend. Daher wurden verschiedene Kombinationen aus Material der Rakeloberfläche (u. a. diverse Keramiktypen), einer geeigneten Rakeloberflächengeometrie und einer möglichst schonenden Einstellung der Rakelanpressung getestet. Dazu wurde die Expertise von externen Spezialisten mit großer Erfahrung auf dem Sektor Beschichtung von Spezialpapieren mittels Filmpresse herangezogen. Mittlerweile sind die neuen Rakel und die hierzu notwendige Fahrweise etabliert und funktionieren störungsfrei.
- **Nachtrockenpartie:** Bei der Nachtrockenpartie ist im Verlauf der Demonstrationsphase ein Engpass in der Trockenkapazität erkennbar geworden. Hier machte sich der Verzicht auf die sonst übliche Infrarottrocknung bemerkbar. Zur nachhaltigen Beseitigung des Engpasses wurde das Potenzial für eine Leistungssteigerung des Konvektionstrockners untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchung weisen darauf hin, dass die Leistung des Trockners um rund 20 % gesteigert werden kann. Die hierzu notwendigen Maßnahmen werden im Kapitel VI.1 diskutiert.

III.3. Förderung durch das BMU

Grundlage der Projektförderung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) waren die umweltbezogenen Investitionsmehrkosten, die im Rahmen der Anlagenerrichtung durch die Umsetzung besonders umweltfreundlicher Technologien angefallen sind. Diese wurden im Verlauf des Antragsprozesses sauber von den weiteren innovativen – jedoch nicht direkt umweltrelevanten – Investitionen separiert. Zudem haben sich während der Projektlaufzeit zusätzliche Potenziale zur Verbesserung der Umwelteffekte ergeben, die über den ursprünglichen Antrag hinausgingen. Diese zusätzlichen Maßnahmen wurden ergänzend in die Förderung einbezogen und sind daher ebenfalls Gegenstand dieses Berichts.

Die Förderung durch das BMU umfasste die folgenden Teilvorhaben:

- Anlagenumbau
- Bereitstellung der Hilfsstoffe
- Realisierung Mehrmotorantrieb
- Nachrüstung Egoutteuranlage
- Dampf- und Düsenbefeuchter
- Randstreifenabsaugung
- Elektrische Schalt- und Steueranlage
- Umbau und Erweiterung der Rollentransportanlage
- Mittelspannungsanlage
- Ersatzteile für das Qualitätsleitsystem MS Open
- Oberflächeninspektion
- Farb-Pumpstation
- Weitere Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs
- Flexibilisierung zur Bereitstellung der Hilfsstoffe

Das geplante Gesamtinvestitionsvolumen des Vorhabens betrug 57.064.020 €. Diese Summe umfasst sämtliche Maßnahmen des Ursprungsantrags vom 16.06.2008 und des Nachfinanzierungsantrags vom 04.03.2010. Mit dem Bewilligungsbescheid vom 10.12.2008 wurde zunächst eine Fördersumme von 4.497,09 € (15,2 % der förderfähigen Ausgaben des Ursprungsantrags von 29.586.119 €) bewilligt. Die oben angesprochenen zusätzlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelteffekte führten zu einer nachträglichen Erhöhung der förderfähigen Kosten, so dass mit dem Änderungsbescheid vom 02.06.2010 die Fördersumme auf 4.690.327 €

(15,2% der förderfähigen Ausgaben von 30.857.419 €) aufgestockt wurde. Eine Gegenüberstellung der beantragten und der tatsächlichen Kosten wird in der folgenden Tabelle vorgenommen:

Tabelle 2: Beantragte und tatsächliche Ausgaben

Geplante Ausgaben im Projekt	Bewilligungsbescheid 10.12.2008 [EUR]	Änderungsbescheid 02.06.2010 [EUR]	Tatsächliche Ausgaben [EUR]
Förderfähige Ausgaben	29.586.119	30.857.419	36.729.591
Nicht förderfähige Ausgaben	26.206.601	26.206.601	23.587.117
Gesamtausgaben	55.792.620	57.064.020	60.316.708
Fördersumme (15,2 % der förderfähigen Ausgaben)	4.497.090	4.690.327	

IV. Technologische Beschreibung

IV.1. Stand der Technik

IV.1.1. Aufbau einer Papiermaschine

Der grundsätzliche Aufbau einer Papiermaschine unterscheidet sich für die Herstellung der unterschiedlichen Papiersorten nicht wesentlich. Die folgende Abbildung 1 gibt die grundsätzlichen Verfahrensschritte einer Papiermaschine wieder:

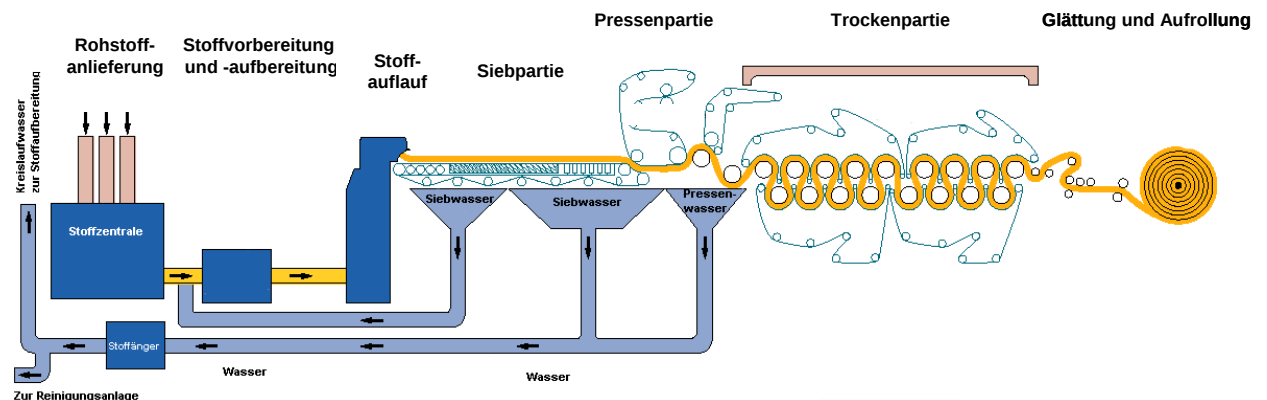


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau einer Papiermaschine

Zur Herstellung der so genannten gestrichenen Papiere wird die in Abbildung 1 gezeigte Papiermaschine nach der Trockenpartie um ein Streichwerk erweitert, in dem auf die Papierbahn eine Schicht zur Qualitätsverbesserung der Oberfläche aufgetragen wird. Die eingesetzte Strichmasse variiert in Zusammensetzung und Flächengewicht in Abhängigkeit von der Papiersorte. Dem Streichwerk schließt sich eine Nachtrockenpartie an, in der die Trocknung des Strichs erfolgt.

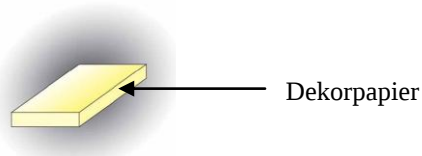
Da auf der Kombimaschine u. a. auch eine energiesparende Produktion Harz sparender Dekorpapiere (Resin Saving Paper – RSP) sowie PE-beschichteter Digital Imaging Papiere erstmalig demonstriert wurde, wird im Folgenden der Stand der Technik bei der Herstellung der genannten Papiersorten beschrieben.

IV.1.2. Stand der Technik bei der Herstellung von Harz sparendem Dekorpapier

Bei Dekorpapieren handelt es sich um Produkte, die nach der Herstellung in der Papierfabrik weitere Verarbeitungsstufen durchlaufen, bevor sie den Endverbraucher erreichen. Bei den durch die Felix Schoeller Gruppe belieferten Dekorpapierkunden findet eine Weiterverarbeitung

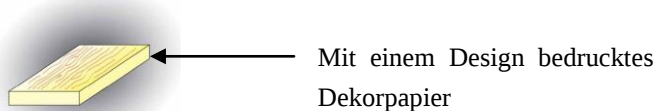
in Form einer Kunstharzimprägnierung statt. Die meist bedruckten oder gefärbten Dekorpapiere werden mit Melaminharz getränkt und unter Druck und erhöhter Temperatur mit dem Trägermaterial verbunden. Die dabei entstehenden Oberflächen erhalten dadurch eine gute Haltbarkeit und können so beispielsweise zur Produktion von Laminatfußböden und Küchendekoren verwendet werden. Zur besseren Erläuterung der folgenden Ausführungen wird in der folgenden Abbildung die Wertschöpfungskette für Dekorpapiere kurz dargestellt.

Schritt 1: Herstellung Dekorpapier



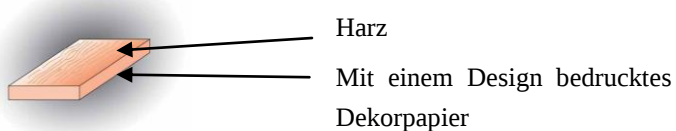
Felix Schoeller Gruppe

Schritt 2: Bedrucken von Dekorpapier



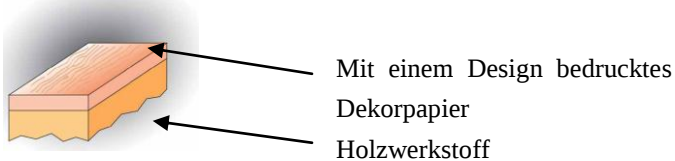
Großdruckereien,
z. B. Schattdecor, Interprint

Schritt 3: Imprägnierung von Dekorpapier



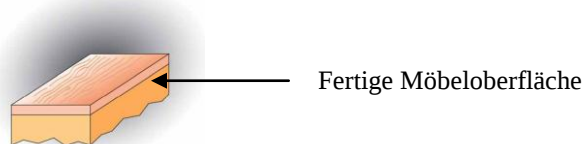
Holzwerkstoffindustrie/
Imprägnierer,
z. B. Egger, Coveright, Kaindl,
Pfleiderer

Schritt 4: Verpressung Dekorpapier



Holzwerkstoffindustrie,
z. B. Egger, Pfleiderer, Kaindl

Schritt 5: Fertigung



Möbelhersteller,
z. B. IKEA, Hülsta, Alno

Abbildung 2: Wertschöpfungskette für Dekorpapiere

Die nachstehenden Besonderheiten sind bezüglich der Herstellung von Dekorpapier zu nennen:

- **Eingesetztes Pigment:** Als Weißpigment wird der Farbstoff Titandioxid (TiO_2) eingesetzt. Während bei der Herstellung der meisten Papiersorten üblicherweise Kalziumkarbonat (CaCO_3) eingesetzt wird, ist dies in der Dekorpapierproduktion aufgrund des niedrigen Brechungsindex von CaCO_3 nicht möglich, da sich dieser im gleichen Größenbereich befindet wie der Brechungsindex der bei Dekorpapieren in der Endverarbeitung aufgetragenen Harzimprägnierschicht. Je größer der Abstand des Brechungsindex eines Pigments zum Brechungsindex des umgebenden Stoffs ist, desto besser ist sein Deckvermögen. Hierauf beruht die überragende Bedeutung von Titandioxid als am besten deckendes Weißpigment.
- **Flächengewicht:** Das Flächengewicht typischer Dekorharpapiersorten (vor der Imprägnierung), so wie es von Schoeller produziert und durch den Kunden zum Endprodukt weiterverarbeitet wird, beträgt 60-95 g/m².
- **Auftrag einer Harzimprägnierung beim Kunden:** Das Dekorpapier erhält beim Kunden nach seiner Bedruckung eine Harzimprägnierung. Dieser Harzauftrag weist für Standardpapiere typischerweise ein Flächengewicht von ca. 90 g/m² auf.

Durch die Felix Schoeller Gruppe wurde ein Verfahren entwickelt, das zu einer deutlichen Reduzierung der für die Imprägnierung einzusetzenden Harzmenge führt. Das in diesem Verfahren hergestellte Dekorpapier wird während des Herstellungsprozesses mit einem sehr gleichmäßigen imprägnierenden Stärkestrich versehen, der einen Stärkeanteil von bis zu 10 % aufweist. Dieser bewirkt eine bessere Verknüpfung der Papierfasern untereinander und verhindert ein Aufquellen des Zellstoffs in der Weiterverarbeitung. Hierdurch wird die Zunahme des freien Volumens des Papiers minimiert und die Harzaufnahme vermindert, was zu deutlichen Materialeinsparungen sowie zu einer höheren Qualität des Endprodukts führt. Dieses Harz sparende Dekorpapier wurde 2008 von der damaligen Felix Schoeller Tochter Technocell unter dem Namen Resin Saving Paper (RSP) in den Markt eingeführt.

Eine typische gemäß dem Stand der Technik arbeitende Papiermaschine zur Herstellung von Dekorpapier und insbesondere von RSP ist die von Technocell betriebene PM 18. Diese weist die folgenden technischen Daten auf:

Arbeitsbreite:	3,1 Meter
Geschwindigkeit:	500 Meter pro Minute

Jahreskapazität:	ca. 32.000 Tonnen
Spez. Energieverbrauch:	ca. 530 kWh elektrisch pro Tonne Papier
	ca. 1.690 kWh thermisch pro Tonne Papier

IV.1.3. Stand der Technik bei der Herstellung von PE-beschichtetem DI-Papier

Die Herstellung von Digital Imaging-Papier weist die folgenden Besonderheiten auf:

- **Flächengewicht:** Das Flächengewicht typischer DI-Rohpapiersorten (vor der Beschichtung) beträgt 150-170 g/m².
- **Eingesetztes Pigment:** Zum Zeitpunkt der Antragstellung waren weitgehend pigment- bzw. füllstofffreie DI-Papiere Stand der Technik. Inzwischen werden von Schoeller bereits DI-Papiere mit einem geringen Pigmentanteil vertrieben. Hierbei wird typischerweise Kalziumkarbonat (CaCO₃) verwendet. Das Kalziumcarbonat wird in diesen Fällen lediglich als Pigmentstrich aufgetragen.

Eine Besonderheit der bei der Felix Schoeller Gruppe hergestellten DI-Papiere ist die Kunststoffbeschichtung der Oberfläche. Das auf der Papiermaschine produzierte DI-Rohpapier erhält in einem anschließenden Schritt unter Einsatz eines Extruders eine dünne Schicht aus Polyethylen (PE). Diese PE-Schicht sperrt das Eindringen der Farbe in das Papier und verleiht dem Druckbild einen besonderen Glanz. Darüber hinaus weisen die PE-beschichteten Papiere eine optimale Planlage auf, während bei unbeschichteten Papieren mit Planlageproblemen (z. B. auftretende Wölbungen) durch die Aufnahme der Feuchtigkeit von Druckfarben zu rechnen ist.

Eine entsprechende Papiermaschine ist die PM 4 des Unternehmens Schoeller am Standort Weißenborn. Die PM 4 weist die folgenden technischen Daten auf:

Arbeitsbreite:	3,4 Meter
Geschwindigkeit:	450 Meter pro Minute
Jahreskapazität:	ca. 67.000 Tonnen DI-Papier
Spez. Energieverbrauch:	ca. 580 kWh elektrisch pro Tonne Papier
	ca. 1.640 kWh thermisch pro Tonne Papier

IV.2. Innovation: Aufbau und Umbau der Papiermaschine 1

Die am Standort Osnabrück betriebene Papiermaschine 1 (PM 1), die bisher ausschließlich für Fotobasispapier eingesetzt wurde, wurde in diesem Demonstrationsvorhaben zur weltweit ersten Kombimaschine für Digitalbilderpapiere (DI-Papiere) und Dekorpapiere umgebaut. Prinzipiell könnte mit der PM 1 auch weiterhin Fotobasispapier hergestellt werden, jedoch soll die geplante Produktionsmenge in diesem Bereich über die übrigen Papiermaschinen gedeckt werden, so dass eine energieeffiziente und kostenoptimale Auslastung an diesen Maschinen erreicht wird. Im Folgenden wird daher ausschließlich auf die Produktion von DI- und Dekorpapieren eingegangen.

Die Errichtung der geplanten Kombimaschine erfolgte auf Grundlage der bestehenden und technologisch ausgereiften PM 1. Bei der PM 1 handelt es sich um eine Anlage, die mehrfach durch neueste Technologien ergänzt und im Produktionsprozess für Fotobasispapiere laufend optimiert wurde.

Im Rahmen dieses Projekts wurden die abschließend entwickelten und bereits im kleinen Maßstab getesteten Technologien zur Herstellung Harz sparender Dekorpapiere und oberflächenoptimierter PE-beschichteter DI-Papiere auf der neuen Kombimaschine erstmalig großtechnisch demonstriert. Dies ist, gegenüber dem derzeitigen Technikstand, insbesondere bei optimaler Integration der voneinander unabhängigen Technologien zu einem Gesamtkonzept, mit einem wesentlich verbesserten Rohstoffeinsatzprofil verbunden. Hierzu waren umfassende maschinelle Änderungen und produktionstechnische Umstellungen erforderlich. Die folgenden Maßnahmen wurden im Rahmen des Demonstrationsvorhabens realisiert:

- Einführung einer Kleinstlostechnologie
- Umsetzung eines Null-Abriss-Konzepts
- Neuartiges Pressendesign in der Entwässerung
- Einsatz einer Filmpresse mit Nipco-Technik als kombiniertes Imprägnier- /Streichaggregat
- Optimierung des Trocknungsregimes in der Nachtrockenpartie
- Design der Glättungstechnik
- Design der Umrolltechnik
- Hochpigmentierung der DI-Papiere

Eine Fotodokumentation der wesentlichen Anlagenteile ist Anhang IV zu entnehmen.

Im folgenden Kapitel werden der geplante und der tatsächlich umgesetzte Lösungsweg zur Realisierung der oben genannten Maßnahmen näher erläutert. Hierbei wird Bezug auf die im Ursprungsantrag beschriebenen Fakten und die im Nachfinanzierungsantrag enthaltenen technischen Ergänzungen genommen.

IV.3. Angestrebter und tatsächlicher Lösungsweg

IV.3.1. Einführung einer Kleinstlostechnologie

Die „Kleinstlostechnologie“ ist ein von der Felix Schoeller Gruppe eingeführter Begriff für eine innovative Anlagentechnik zur Fertigung von sehr kleinen Aufträgen. Die Größe eines einzelnen Auftragspostens kann für die Dekorpapierproduktion im Minimalfall nur eine Tonne Fertigprodukt betragen, das so genannte „Kleinstlos“. Um bei derart kleinen Aufträgen die Produktion im Hinblick auf effiziente Rohstoffnutzung, Energieeinsatz und Produktionszeit wirtschaftlich durchführen zu können, bestehen spezielle Anforderungen an die installierte Anlagentechnik: Hauptmerkmal ist ein sehr kleines Bauvolumen für Bütten, Behälter und Rohrleitungen. Dies wird sowohl durch Volumenreduzierung als auch durch den Wegfall einzelner Bütten und Behälter in der Stoffaufbereitung und im konstanten Teil erreicht.

IV.3.1.1. Angestrebter Lösungsweg

Durch die geplanten Umbauten wurden eine deutliche Reduzierung des Volumens im konstanten Teil sowie eine effektive Materialrückgewinnung bei gleichzeitig hoher Prozessstabilität angestrebt. Zielgröße war die Reduzierung des spezifischen Volumens des konstanten Teils auf etwa $0,3 \text{ m}^3/(\text{t/d})$ und in der Stoffaufbereitung auf $0,5 \text{ m}^3/(\text{t/d})$. Vergleichsanlagen nach dem Stand der Technik (hier: PM 18 von Technocell Dekor als Benchmark) sind erheblich größer, wie die folgende Tabelle zeigt:

Tabelle 3: Systemvolumina der umgebauten PM 1 im Vergleich zum Stand der Technik

Spezifisches Systemvolumen		Benchmark	PM 1	Differenz	
				absolut	relativ
Stoffaufbereitung	$\text{m}^3/(\text{t/d})$	2,3	0,5	1,8	78 %
Konstanter Teil	$\text{m}^3/(\text{t/d})$	1,0	0,3	0,7	70 %
Gesamt	$\text{m}^3/(\text{t/d})$	3,3	0,8	2,5	76 %

Die angestrebte kapazitätsbezogene Gesamtreduzierung des Systemvolumens beträgt damit $2,5 \text{ m}^3/(\text{t/d})$, was einer Verkleinerung von 76 % im Vergleich zum Stand der Technik entspricht. Um die geforderte Volumenreduzierung und die gewünschte Rohstoffausbeute zu erreichen, wurde für den Umbau der PM 1 im Einzelnen vorgesehen:

- Verkleinerung des Pulpers
- Vollkontinuierliche Aufbereitung der Farbstoffe und Pigmente
- Umbau des konstanten Teils zur Realisierung eines Betriebs mit erhöhten Stoffdichten
- Pumpendosierung für Dickstoff im Zulauf zur Mischpumpe (Wegfall Niveaubehälter)
- Sortierer 1. Stufe mit feinen Schlitzen (0,15 - 0,2 mm) mit nachgeschaltetem Wuchtschüttler

IV.3.1.2. Realisierter Lösungsweg

Die angestrebte Gesamtreduzierung des Systemvolumens wurde im vollen Umfang erreicht. Die Betriebsvolumina der Papiermaschine 1 betragen nach dem Umbau 83 m^3 in der Stoffaufbereitung, 105 m^3 in der Ausschussaufbereitung und maximal 100 m^3 für die Rohrleitungen und Behälter im Dünnstoffbereich. Das Gesamtvolumen beträgt somit ca. 288 m^3 bzw. $0,68 \text{ m}^3/(\text{t/d})$ bei einer Jahreskapazität der Anlage von 154.000 Tonnen Papier. Das angestrebte Ziel von $0,8 \text{ m}^3/(\text{t/d})$ konnte damit sogar noch übertroffen werden. Folgende Maßnahmen wurden umgesetzt:

Umbau des Pulpers zu einem Intensa-Pulpersystem

Der vorhandene Zellstoffauflöser (Pulper) wurde zu einem so genannten Intensa-Pulpersystem umgebaut. Dabei handelt es sich um ein innovatives Konzept der Firma Voith, das eine Reihe von Umbaumaßnahmen beinhaltet, die in Summe eine intensivere Durchmischung des aufzulösenden Zellstoffs in einer kürzeren Zeit und unter Einsatz von weniger Energie ergeben. Im Vorhaben erfolgte die Umstellung auf das neue Voith Intensa Prinzip mit asymmetrisch angeordnetem Rotor. Somit wurde der Umbau eines über 20 Jahre alten Pulpers zu einem innovativen Pulpersystem erfolgreich realisiert. Durch den Umbau wurde unter Beibehaltung der Aufschlagleistung der Pulpertrog asymmetrisch von ca. 45 m^3 auf ein Arbeitsvolumen von ca. 30 m^3 verkleinert, das Rotorsystem erneuert und die Antriebsleistung auf ca. 200 kW halbiert. Gleichzeitig konnten die Zellstoffentstipper wegen der guten Zerfaserung im Pulper endgültig außer Betrieb genommen werden. Erstmals erfolgte der Einsatz der kontinuierlichen Pulperfahrweise bei Dekorpapieren.

Färbesystem

Die Aufbereitung der Farbstoffe und Pigmente für Dekorpapier erfolgte bisher im Batchbetrieb bzw. halbkontinuierlich. Im Demonstrationsvorhaben konnte die Dosierung aller Pigmente, Farbstoffe und Hilfsmittel nun in vollkontinuierlicher Fahrweise – erstmals weltweit bei Dekorpapieren – umgesetzt werden. Nur die PM 15 von Technocell wendet ein ähnliches Verfahren an, bei dem allerdings die Hauptmengen immer noch im Pulper vorgelegt werden und nur die Nuancierung der Farben über die kontinuierliche Dosierung erfolgt. Alle Dosiermengen werden über ein Rechenprogramm auf die Rezepturzielwerte gesteuert. Dosier-Abweichungen durch Prozess-Störungen werden sicher durch einen Abgleich der Durchflussmengen mit den Förderleistungen der Dosierpumpen erkannt und korrigiert. Die Alarmgrenzen sind abhängig von der Systemsensitivität eingestellt. Dadurch werden Fehldosierungen vermieden. Die Einstellungen zur Farbkorrektur bei laufender Produktion oder Sortenwechsel werden über eine Online-Farbmessung in der PM 1 realisiert. Dabei findet der bei Dekorpapier auftretende Farboffset durch Imprägnierung und Verpressung auf Basis von Erfahrungswerten Berücksichtigung.

Konstanter Teil

Der konstante Teil erhielt eine Hochkonsistenz-Cleaneranlage zur Verkleinerung des Systemvolumens mit nachfolgender Verdünnung auf Stoffauflaufstoffdichte. Nebeneffekt der Maßnahme ist eine deutliche Verringerung des Energieverbrauchs in der Cleaneranlage durch die Halbierung der Volumenströme. Die Sauberkeit der Produkte konnte unverändert erreicht werden, da in der nachfolgenden Sortierung Siebkörbe mit der engsten marktverfügbaren Schlitzweite eingesetzt wurden.

IV.3.2. Umsetzung eines Null-Abriss-Konzepts

IV.3.2.1. Angestrebter Lösungsweg

Aufgrund der hohen Geschwindigkeiten und Maschinenbreiten sowie einer nicht immer optimal eingestellten Nassfestigkeit kommt es bei großtechnischen Anlagen vermehrt zu Abrissen der Papierbahnen. Der hierbei entstehende Papierausschuss wird durch Zerkleinerungs- und Mischprozesse aufbereitet und kann erneut als Rohstoff für die Produktion eingesetzt werden. Diese Abrissgefahr besteht für Dekor- und Digital Imaging Papier gleichermaßen. Das Auftreten von Abrissen ist soweit wie möglich zu vermindern, da hiermit eine Störung des Produktionsablaufs sowie eine erhöhte Ausschussmenge verbunden sind.

Im Projekt war vorgesehen, die Abrisshäufigkeit durch die Einführung eines neuartigen Konzepts („Null-Abriss-Konzept“) zu vermindern. Schlüsselprinzip ist dabei die Vermeidung von mechanischen Belastungen der Papierbahn im Transportprozess. Dies sollte u. a. durch die Reduzierung von Bahnführungselementen, Maßnahmen zur sicheren Bahnführung und Bahnabnahme, Sicherstellung hoher Trockengehalte an kritischen Stellen sowie durch die Implementierung eines automatischen Anfahrprogramms erreicht werden.

Eine besondere Herausforderung war hierbei die gleichzeitige Realisierung der bei Schoeller üblichen variablen Arbeitsbreite, durch die die Anlage eine erhöhte Komplexität gegenüber standardmäßigen Papiermaschinen aufweist. Die Umsetzung des variablen Arbeitsbreitenkonzepts beinhaltet die Einstellung einer Veränderung der Papierbreite in einem Bereich von 3,8-4,7 m während des laufenden Betriebs, da sich ein Kundenauftrag aus mehreren Breiten zusammensetzen kann. Vorteil dieser Technologie ist eine besonders energie- und ressourceneffiziente Produktion – die Papierbahn wird nur in der benötigten Breite hergestellt, so dass lediglich die dafür erforderliche Trocknungsenergie aufgewendet werden muss. Auch die Papierhilfsmittel, die durch Trockenausschussaufbereitung zerstört würden, müssen nur für die verkaufbare Papiermenge eingesetzt werden. Allerdings stellt dieses Vorgehen erhebliche Anforderungen an die Steuerung der Maschine und führt zu einer weiteren Erhöhung des Abrissrisikos im Vergleich zu Standardpapiermaschinen.

Ziel des Null-Abriss-Konzepts war die Verminderung des Ausschusses um mindestens 2 % des Produktionsvolumens bei gleichzeitiger Realisierung der oben beschriebenen variablen Arbeitsbreite.

IV.3.2.2. Realisierter Lösungsweg

Zur Realisierung des Null-Abriss-Konzepts wurden insbesondere in der Siebpartie und in der Pressenpartie besondere Maßnahmen zur Vermeidung von Belastungen der Papierbahn im Transportprozess umgesetzt, die im Folgenden beschrieben werden.

Siebpartie

Die ausgewählten Entwässerungselemente sind in ihrer Einstellbarkeit geeignet, selbst über den angepeilten Gewichtsbereich der Papiere hinaus die Entwässerung bei guter Formation und Profilausbildung der Papierbahn darzustellen und gleichzeitig die notwendigen Trockengehalte zur sicheren Bahnabnahme für alle Sorten sicher zu erreichen. Die Positionierung des

Egoutteurs ist durch die hohe Variabilität in der Vorentwässerungsstrecke für alle Sorten optimal und führt zur geringstmöglichen mechanischen Belastung der Papierbahn. Unterstützt wird der Vorgang durch den extrem großen Durchmesser des Egoutteurs, der die Belastungen des Papiers weiter minimiert.

Der Einsatz von „Trimguards¹“ ermöglicht zudem eine mm-genaue, sichere Einstellung der Bahnabnahmebreite vom Sieb, ohne den Papierrand mit abzuziehen.

Nasspresse

Kernpunkt der Ausführung der Nasspressenpartie hinsichtlich der Verminderung von Abrissen ist die Erreichung hoher Trockengehalte an der Stelle der ersten freien Bahnüberführung (hier: vor dem letzten Pressnip). Aufgrund der erhöhten mechanischen Belastungen liegt hier eine kritische Stelle mit erhöhtem Abrissrisiko vor. Mit der eingesetzten Nasspresse werden nun bereits an dieser Stelle Trockengehalte von > 41 % für Digital Imaging Papiere und > 48 % für Dekorpapiere sicher erreicht (siehe Kapitel IV.3.3 „Neuartiges Pressendesign in der Entwässerung“). Eine weitere Maßnahme zur Verminderung der Abrisshäufigkeit war die Auswahl geeigneter Walzenbezüge in Kombination mit dem Einsatz exakt darauf abgestimmter Releasemittel zur besseren Ablösung der Papierbahn von der Walzenoberfläche. Zudem wurden die Bahnführungselemente in der Nasspressenpartie im Vergleich zum Stand der Technik um ca. 30 % reduziert.

Gleichzeitig konnte die geforderte Variabilität der Nasspresse hinsichtlich des Breitenwechsels bei laufender Papierbahn wie geplant für einen Arbeitsbereich von 3,8-4,7 m realisiert werden. Um schnell und abrissarm bei laufender Produktion Breitenwechsel vornehmen zu können, wurde der im Folgenden beschriebene verfahrenstechnische Ablauf umgesetzt:

- Bereits auf der Siebpartie wird die Papierbahn mittels eines speziellen „Gautschknechts“ auf die fertige Kundenbreite plus Rollmaschinenrandbeschnitt plus Trockenschrumpf mittels Hochdruckwasserstrahl abgespritzt.

¹ Unter „Trimguards“ versteht man einen mm-genau einstellbaren Saugkasten, der unterhalb des Siebs installiert ist. Er hat die Aufgabe, den Papierbahnrand, der nicht in die Pressenpartie überführt werden soll, durch Vakuum sicher am Sieb festzuhalten und damit ein Mitreißen durch das Vakuum der Abnahmewalze zu verhindern.

- Die Papierbahn wird dann mit der maximalen Arbeitsbreite auf die Nasspressenpartie aufgeführt, so dass die Position für den Aufführstreifen exakt vorgegeben und unveränderlich ist und die Überführung auf einer konstanten Breite erfolgt.
- Zur Vereinfachung des Verfahrens wird die maximal mögliche Papierbahnbreite bis vor die letzte Presse der Nasspressenpartie gefahren. Dies hat den Vorteil, dass der Papierrand immer exakt an der gleichen Stelle positioniert ist, so dass die Walzenbespannung in der Pressenpartie über die gesamte Arbeitsbreite einen konstanten Verschleiß aufweist.
- Die variable Besäumung² erfolgt dann automatisiert vor dem letzten Pressnip. Dort wird der nicht benötigte Teil der noch feuchten Papierbahn in den Pressenpulper geleitet und nur die jeweilige Nutzbreite in die vierte Presse und durch den Trockenteil der PM geführt. Zur Einstellung der variablen Arbeitsbreite hat der Bediener die Möglichkeit, die gewünschte Breitenänderung sowie die Positionierung der Papierbahn (mittig/außermittig) über das Prozessleitsystem vorzugeben.

Trockenpartie

Die Verwendung einer verbesserten Laufgruppe zur Führung der Papierbahn in der Trockenpartie trägt zu einer weiteren Verringerung der Abrisse bei. Der Einsatz einer sogenannten UnoRun-Laufgruppe bewirkt einen optimalen Kontakt zwischen Papierbahn und Trockenzylinder und vermeidet Flattern oder andere Stresssituationen für das Papier, da dieses besser geführt wird.

Die beschriebenen Maßnahmen hatten unterschiedliche Auswirkungen auf die Abrisshäufigkeit in Abhängigkeit von der produzierten Papiersorte. Bei der Produktion von Dekorpapieren konnte gegenüber dem Stand der Technik (PM 18) bisher noch keine absolute Verringerung der Abrisshäufigkeit erreicht werden. Die genannten Maßnahmen zeigen jedoch insofern Wirkung, dass sich die Abrisshäufigkeit der PM 1 trotz des aufwändigeren Maschinendesigns und der erhöhten Geschwindigkeit gegenüber der PM 18 nicht erhöht hat – somit wurde die Abrisshäufigkeit bezogen auf die erzeugte Papiermenge vermindert. Für DI-Papier dagegen konnte das gesetzte Ziel sogar noch übertroffen werden. Über eine Abrissstatistik wurde für die PM 4 (Referenzmaschine nach dem Stand der Technik) im Zeitraum 2008 bis 2011 eine durch-

² Hierbei handelt es sich um den Zuschnitt auf die erforderliche Papierbreite.

schnittliche Abrissshäufigkeit von 4,25 Abrissen pro Tag ermittelt. Die PM 1 weist eine Abrissshäufigkeit von weniger als 2 Abrissen pro Tag auf, so dass von einer durchschnittlichen Reduzierung von täglich 2,25 Abrissen ausgegangen werden kann. Da nach jedem Abriss für einen Zeitraum von ca. 20 Minuten Ausschuss produziert wird, bewirkt diese geringere Abrissshäufigkeit eine Reduzierung der Ausschusszeit um 45 Minuten. Bei einer täglichen Laufzeit der Anlage von 20,4 Stunden (dies entspricht einer Produktivität von 85 %) resultiert hieraus eine auf die Produktionsmenge bezogene Verringerung des Ausschusses um 3,8 % gegenüber der PM 4.

IV.3.3. Neuartiges Pressendesign in der Entwässerung

IV.3.3.1. Angestrebter Lösungsweg

Um die Kombination verschiedener Dekor- und DI-Papiersorten zu ermöglichen, war die Einführung eines neuartigen Pressendesigns in der Entwässerungspartie geplant. Dies beinhaltet den Einsatz einer Kompaktpresse als qualitäts- und energieoptimierte Alternative zur Schuhpressentechnik. Eine besondere Herausforderung bestand darin, eine für beide Papiersorten gleichermaßen geeignete Technologie einzusetzen, da aufgrund der jeweils zu erreichenden Qualitätseigenschaften ein erhebliches Konfliktpotenzial besteht. Die nach dem Stand der Technik eingesetzten Pressen für Dekorpapiere ermöglichen hohe Trockengehalte, bringen aber die Gefahr von Lochschattenmarkierungen mit sich, die für DI-Papiere nicht akzeptabel sind. Weiterhin führen sie zu Oberflächenstrukturen, die ebenfalls den Erfordernissen von DI-Papieren nicht entsprechen. Mit den nach dem Stand der Technik eingesetzten Pressen für DI-Papiere ist das hohe Maß an Entwässerung und die geforderte niedrige Nassverdichtung für Dekorpapiere nicht erreichbar.

Um die Anforderungen beider Papiersorten erfüllen zu können, beinhaltete das neue Pressenkonzept den Einsatz einer Kompaktpressenpartie mit vier Nips. Diese Kompaktpresse verläuft bis zum dritten Nip zugfrei, d. h. filzgeführt. Hierbei wird die Papierbahn nach Durchlauf des 1. Pressnips durch eine Saugpress-Walze in den nächsten Pressnip transportiert. Durch den Einsatz dieser Technologie wird die Rückbefeuchtung des Papiers vermieden, da die Papierbahn nach dem Durchlauf des Pressnips sofort von den Filzen getrennt wird. Für DI-Papiere ist den Pressnips nachgeschaltet eine Offset-Presse vorgesehen, die zur Verbesserung der Oberflächenstruktur beiträgt und gleichzeitig verdichtet.

Vorgesehen war die Trocknung des Digital Imaging Papiers bis auf einen Trockengehalt von 43 %. Für Dekorpapiere wurde auf der Kompaktpresse ein Trockengehalt von 50 % angestrebt. Durch die geplante Erhöhung des Trockengehalts in der neuen Pressenpartie verringert sich der Energieverbrauch in der nachfolgenden Trockenpartie. Zudem wird hierdurch, wie bereits in Kapitel IV.3.2 beschrieben, eine Verringerung der Abrisshäufigkeit erreicht und die Verwendung einer verbesserten Laufgruppe (UnoRun-Gruppe) zur Führung der Papierbahn in der anschließenden Trockenpartie möglich.

IV.3.3.2. Realisierter Lösungsweg

Die Pressenpartie wurde wie geplant umgesetzt. Eine Besonderheit beim Aufbau der Pressenpartie ist die genaue Abstimmung von Pressimpulsen, die Begrenzung der Druckspitze beim Nipdurchlauf durch Abstimmung der Walzendurchmesser mit Walzenbezug und Befilzung sowie die Verminderung von Rückbefeuchtung, die durch Minimierung der Nachgautschung und exakt eingestellte Wasserfangschaber an den Saugwalzen erreicht werden konnte.

Wie vorgesehen können für Digital Imaging Papiere Trockengehalte von 43 % sicher eingehalten werden – bei einigen Sorten waren sogar Werte von bis zu 48 % realisierbar. Auch bei Dekorpapieren wurden die angestrebten Zielwerte von 50 % erzielt. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten ist zum Nachweis des Trockengehalts die folgende Besonderheit bezüglich der Papierprobenahme zu beachten:

Messungen können wegen der extrem engen Platzverhältnisse nicht mit fest installierten Infrarot- oder vergleichbaren Systemen erfolgen, sondern erfordern eine manuelle Probenahme. Eine Probenahme nach dem vierten Pressnip – d. h. am Ende der Pressenpartie – würde zwangsläufig einen Abriss mit den entsprechenden Folgen (Betriebsunterbrechung und Ausschuss) nach sich ziehen. Aus diesem Grund werden die Proben gezielt vor dem vierten Nip gezogen. An dieser Stelle wird die Papierbahn von Maschinenbreite auf Kundenbreite besäumt. Bei geringer Arbeitsbreite oder kurzzeitiger Formatverstellung kann hier aus dem entstehenden Rand ohne Abriss eine Probe gezogen werden. An dieser Stelle ist noch nicht der Endtrockengehalt erreicht, da durch den vierten Pressnip eine weitere Entwässerung erfolgt. Durch Messungen konnten hier jedoch bereits die folgenden Werte nachgewiesen werden:

- Digital Imaging Papier: > 41 % Trockengehalt
- Dekorpapier: > 48 % Trockengehalt

Aus Kenntnissen von früheren Messungen an anderen Maschinen kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass über die vierte Presse eine weitere Entwässerung von mindestens 2 % erreicht wird, so dass die angestrebten Zielwerte sicher realisiert werden.

IV.3.4. Einsatz einer Filmpresse mit Nipco-Technik

Im Streichwerk der Papiermaschine wird eine sehr gleichmäßige Strichlage aus Pigmenten, Bindemitteln und Hilfsstoffen auf die Papierbahn aufgebracht. Beim Streichen von Harz sparendem Dekorpapier (RSP, siehe Abschnitt IV.1.2) führt hierbei ein gleichmäßiger, imprägnierender Stärkestrich zu deutlichen Harzeinsparungen bei den Weiterverarbeitern – diese Harzeinsparungen können bis zu 20 g/m² bei den derzeit von Schoeller vertriebenen RSP-Papieren betragen. Daher spricht man in diesem Zusammenhang auch von Vorimprägnierung. Dieses Verfahren führt bei den Kunden neben der genannten Materialeinsparung auch zu erheblichen Energieeinsparungen in der Imprägniertrocknung. Gleichzeitig stellt sich das Verfahren zur Herstellung von Rohpapier noch verhältnismäßig energieintensiv dar. Hier besteht gegenüber dem aktuellen Stand der Technik noch deutliches Optimierungspotenzial, das mit dem vorliegenden Projekt aufgegriffen wurde.

Für die DI-Papiere wird keine Imprägnierung vorgesehen, wohl aber ein egalisierender Pigmentstrich zur Erfüllung der hohen Anforderungen an die Oberflächenqualität.

IV.3.4.1. Angestrebter Lösungsweg

Um im Streichwerk ein gemeinsames Aggregat sowohl für den Auftrag eines imprägnierenden Stärkestrichs für Dekorpapiere als auch für einen egalisierenden Pigmentstrich für DI-Papiere bereitzustellen, war die Ausrüstung der Papiermaschine 1 mit einer Filmpresse in Nipco-Technik geplant. Eine besondere Herausforderung ergab sich hierbei aus der Tatsache, dass diese Presse in ihrer ursprünglichen Form weder ein ideales Imprägnieraggregat darstellt noch uneingeschränkt für die Nutzung egalisierender Pigmentstriche eingesetzt werden kann. Der Einsatz einer Filmpresse ergibt sich im Wesentlichen aus den Anforderungen bei der Fertigung von DI-Papieren. Gleichzeitig muss dafür gesorgt werden, dass sie auch als Imprägnieraggregat eingesetzt werden kann. Dies erfordert die Vermeidung einer ungleichmäßigen Verteilung der Imprägnierbestandteile in z-Richtung, die üblicherweise bei der Verwendung von Filmpressen für diesen Anwendungsfall auftritt. Eine Lösung auch für Dekorpapiere ist der erstmalige Einsatz von Filmpresswalzen in Nipco-Technik. Diese weisen im Vergleich zu Standard-

Filmpressen die Besonderheit auf, dass hiermit eine exakte Steuerung des Nipdrucks und der Nipbreite durch Walzenverformung möglich wird. Hieraus ergeben sich die folgenden Vorteile:

- **Dekorpapiere:** Steuerung der Imprägnierung hinsichtlich Tiefe und Gradientenfreiheit über den Nipdruck und somit Sicherstellung der nach dem Stand der Technik erreichbaren Imprägnierung sowie Erhöhung des Feststoffgehalts im Stärkestrich der Imprägnierung im Vergleich zum Stand der Technik von 10 % auf 20 %. Aus der geringeren zu verdampfenden Wassermenge ergibt sich eine reduzierte Trocknungsleistung in der anschließenden Strichtrocknung (Nachtrockenpartie). Die Verkürzung der dort angewendeten kontaktlosen Trocknung und Verlagerung auf die Zylindertrocknung ist eine zusätzliche umweltwirksame Maßnahme aus dem Konzept.
- **DI-Papiere:** Möglichkeit des Auftrags eines egalisierenden Pigmentstrichs gemäß dem Stand der Technik

IV.3.4.2. Realisierter Lösungsweg

Wie geplant wurde eine Filmpresse in Nipco-Technik installiert. Bezüglich der Eignung des Aggregats für die oben beschriebenen Anwendungsbereiche konnten bisher die folgenden Erfolge erzielt werden:

Produktion von Dekorpapieren / RSP-Papieren

Hinsichtlich der **Imprägnierung von RSP-Papieren** mit einem gleichmäßigen Stärkestrich konnten die gewünschten Produkteigenschaften wie geplant erreicht werden. Bereits die ersten Testimprägnierungen brachten eine zufriedenstellende Qualität, wie in der folgenden Übersicht gezeigt wird:

Tabelle 4: Produkteigenschaften der produzierten Dekorpapiere / RSP-Papiere

Papiersorte	Gewicht Rohpapier	Gewicht Rohpapier inklusive Harzauftrag	Harzeinsparung
Vergleichswerte (Stand der Technik)			
Standard-Dekorpapier	95 g/m ²	210 g/m ²	---
RSP-Papier	95 g/m ²	190-192 g/m ²	18-20 g/m ²
Produzierte Dekorpapiere / RSP-Papiere auf der PM 1			
Dekorpapier	95 g/m ²	190-195 g/m ²	15-20 g/m ²
RSP-Papier	95 g/m ²	180-190 g/m ²	20-30 g/m ²

Bemerkenswert sind die extrem niedrigen Harzverbrauchswerte der auf der PM 1 produzierten Dekorpapiersorten sowohl bei RSP- als auch bei Standard-Dekorpapieren. Die im Antrag beschriebene Harzeinsparung für RSP von 20 g/m² konnte übertroffen werden (im Mittel um 5 g/m²). Aber auch die Standard-Dekorpapiere, die während der Produktion nicht mit einem imprägnierenden Stärkestrich versehen werden, weisen unerwartet eine leichte Harzeinsparung gegenüber den auf anderen Papiermaschinen produzierten Standard-Dekorpapieren auf. Dies führt dazu, dass auf der PM 1 auch ohne Imprägnierstrich harzsparende Produkteigenschaften erreicht werden. Dies ist vermutlich auf das verbesserte Pressendesign in der Entwässerung (siehe Kapitel IV.3.3.2) zurückzuführen.

Hinsichtlich des Feststoffgehalts im imprägnierenden Stärkestrich wurde eine Erhöhung auf 15 % durch die Nutzung der Filmpresse in Nipco-Technik umgesetzt.

Hinsichtlich der beschriebenen Produktion von Dekorpapieren besteht derzeit noch ein Problem mit der Rakellebensdauer durch die hohe Abrasivität des in Dekorpapieren eingesetzten Titandioxids. Eine ausführliche Behandlung dieser maschinentechnischen Fragestellung ist Kapitel VI.1 „Darstellung der Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens“ zu entnehmen.

Produktion von DI-Papieren

Wie geplant wird die Filmpresse auch zur Produktion von DI-Papieren genutzt. Hier führt der Filmpressbetrieb jedoch derzeit noch zu einigen Qualitätsproblemen. Bei der Produktion von DI-Papieren ist das Fehlerniveau noch nicht im angestrebten Bereich. Nachrüstungen zur Vermeidung von „Schmutzeintrag“ aus der Trockenpartie und Aufrüstung der Zuführsysteme haben bereits erste Erfolge gebracht. Die derzeit in Bearbeitung befindliche Anpassung der Auftragssysteme wird voraussichtlich die verbliebene erforderliche Verbesserung bringen. In Kapitel VI.1 „Darstellung der Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens“ werden die maschinentechnischen Problembereiche ausführlicher behandelt.

IV.3.5. Optimierung des Trocknungsregimes in der Nachtrockenpartie

Die im Streichwerk aufgetragenen Wassermengen mit einem definierten Feststoffgehalt müssen anschließend in der Nachtrockenpartie wieder entfernt werden. Dies bezieht sich sowohl auf imprägnierende Stärkestriche in der RSP-Papierproduktion als auch auf egalisierende Pigmentstriche in der DI-Papierproduktion. Hierfür ist für beide Papiersorten eine Kombination von kontaktloser vorgeschalteter Trocknung und anschließender Kontakttrocknung notwendig.

Projektziel war eine Verbesserung der Energiebilanz im Vergleich zum Stand der Technik durch die Optimierung des Trocknungsablaufs.

IV.3.5.1. Angestrebter Lösungsweg

Im vorliegenden Projekt war vorgesehen, den Arbeitsbereich der kontaktlosen Trocknung zu verschieben und die Aufheizkurve der anschließenden Zylindertrocknung anzuheben. Durch diese Anpassung sollte ein großer Teil der ursprünglichen Infrarottrocknung auf die sich anschließende Zylindertrocknung verlagert werden. Die noch notwendige, verkürzte kontaktlose Trocknung sollte mit einer dampfbetriebenen Heißlufttrocknung (Schwebetrocknung) realisiert werden, so dass mit dieser Lösung komplett auf die energieintensive Infrarottrocknung verzichtet wird.

IV.3.5.2. Realisierter Lösungsweg

Die Optimierung der Nachtrockenpartie wurde wie geplant durchgeführt. Alle geplanten Sorten können ohne Infrarottrocknung gefahren werden und laufen in der kontaktlosen Trocknung über einen Schwebetrockner. Der eingesetzte Schwebetrockner erreicht im derzeitigen Geschwindigkeitsbereich die für die Trocknung erforderliche Leistung. Bei weiterer Steigerung auf die angestrebte Endgeschwindigkeit der Papiermaschine entsteht hier jedoch ein Engpass, da die Nachtrockenpartie bislang noch nicht die berechnete Verdampfungsleistung aufweist. Mögliche Ursachen und geplante Maßnahmen zur Behebung des Engpasses werden in Kapitel VI.1 „Darstellung der Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens“ erläutert.

IV.3.6. Design der Glättungstechnik

Die Weiterverarbeitung von Dekorpapieren in Großdruckereien erfordert Papier, das eine Kombination aus hoher Oberflächenglätte und guter Kompressibilität aufweist. Diese Eigenschaften erfordern eine Oberflächenegalisierung bei gleichzeitig minimaler Verdichtung und können nach dem Stand der Technik am besten durch den Einsatz eines Softglättwerks mit hoch beheizten Walzen auf der späteren Papiervorderseite und elastischen Walzen auf der Papierrückseite erreicht werden. DI-Papiere dagegen benötigen aufgrund der späteren Verarbeitung in Inkjet-Druckern und Farb-Thermotransferverfahren eine absolut gleichmäßige Dicke bei gleichzeitig sehr glatter Oberfläche. Nach dem Stand der Technik werden diese Eigenschaften durch ein hartes, nicht beheiztes Glättwerk mit beidseitig angeordneten Hartgusswalzen erreicht. Herausforderung bei der Konzeption einer Kombimaschine war es

nun, im Glättwerk eine Lösung bereitzustellen, die die Verarbeitung sowohl von Dekorpapieren als auch von DI-Papieren erlaubt.

IV.3.6.1. Angestrebter Lösungsweg

Um die Anforderungsprofile zur Glättung beider Papiersorten zu erfüllen, war vorgesehen, für DI-Papiere und Dekorpapiere jeweils ein separates Glättverfahren gemäß dem Stand der Technik zu installieren. Für die Glättung der Dekorpapiere war ein Softglättwerk mit hoch beheizten Walzen auf der späteren Papiervorderseite und elastischen Walzen auf der Papierrückseite geplant. Die Glättung von DI-Papieren sollte ein Glättwerk mit beidseitig angeordneten Hartgusswalzen übernehmen.

IV.3.6.2. Realisierter Lösungsweg

Im Rahmen der Demonstrationsphase wurde lediglich das geplante Softglättwerk, ausgeführt als Tandem Nipcosoft Glättwerk, in Betrieb genommen. Durch Marktverschiebungen im Vergleich zur Planung werden bestimmte DI-Papiersorten, die das Hartglättwerk erfordert hätten, aktuell nicht auf der PM 1 gefahren, sondern sind auf eine andere Papiermaschine verlagert worden. Für die auf der PM 1 verbleibenden DI-Papiersorten hat sich gezeigt, dass die erforderlichen Eigenschaften auch auf dem Softglättwerk erreicht werden – dies ergibt sich im Wesentlichen aus der guten Formation der Papiere im gesamten Flächenmassebereich sowie aus der gleichmäßigen Nassverdichtung des neuartigen Pressendesigns in der Entwässerung.

IV.3.7. Design der Umrolltechnik

Dekorpapiere müssen aufgrund des sehr rauen Handlings bei den Weiterverarbeitern (Transport mit Klammerstaplern, teilweise Rollung auf dem Fußboden) sehr hart gewickelt werden. DI-Papiere erfordern dagegen eine weiche Wicklung, um das Entstehen von Wülsten an der Papieroberfläche durch eine hohe Wickelspannung zu vermeiden.

IV.3.7.1. Angestrebter Lösungsweg

Das geplante Konzept sah den Einsatz eines Stützwalzenrollers vor. Stützwalzenroller ermöglichen eine gezielte Einstellung der Wickelhärte und weisen somit die für eine Kombimaschine erforderliche Flexibilität auf. Um den unterschiedlichen Anforderungen beider Produktgruppen Rechnung zu tragen, war die Erweiterung eines konventionellen Stützenrollers zu einer auf den neuen Anwendungsbereich optimierten Maschine geplant. Die Besonderheit

war dabei die Ausrüstung mit speziellen Walzenoberflächen, die einerseits eine hohe Verschleißfestigkeit gegenüber den abrasiven Elementen im Dekorpapier aufweisen, andererseits aber auch einen äußerst schonenden Bahntransport gewährleisten.

IV.3.7.2. Realisierter Lösungsweg

Der Stützwalzenroller wurde wie geplant errichtet. Der prinzipielle Aufbau des Rollenschneiders ist für alle auf der PM 1 herzustellenden Produkte geeignet. Es stellte sich jedoch heraus, dass die in der Planung vorgesehenen Walzenoberflächen insbesondere bei der Umrollung von Dekorpapieren unerwünschte Oberflächenmarkierungen verursachen (eine ausführliche Darstellung der Problematik ist Kapitel VI.1 „Darstellung der Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens“ zu entnehmen). Daher wurden diese ausgetauscht und durch eine verschleißfeste Oberfläche aus Wolframkarbid ersetzt. Hiermit lassen sich nun auch sehr empfindliche Markierungen ohne Qualitätsverluste umrollen. Ein derzeit noch nicht gelöstes Problem ist das Auftreten von Vibrationen bei Einstellung der Maximalgeschwindigkeit. Hierzu wird aktuell eine Reihe von Versuchen zur Optimierung des Walzenoberflächendesigns durchgeführt. Hierbei befindet man sich im Spannungsfeld zwischen harten Walzen (Auftreten von Vibrationen, aber Vermeidung von Oberflächenmarkierungen im Papier) und weicher Walzenoberfläche (Neigung zu Oberflächenmarkierungen im Papier bei vibrationsarmem Lauf).

IV.3.8. Hochpigmentierung der DI-Papiere

Eine Besonderheit der bei Schoeller hergestellten DI-Papiere ist die PE-Beschichtung der Oberfläche. Das auf der Papiermaschine produzierte Inkjet-Rohpapier erhält unter Einsatz eines Extruders eine dünne Schicht aus Polyethylen (PE). Diese PE-Schicht verhindert das Eindringen der Farbe in das Papier und verleiht dem Druckbild einen besonderen Glanz. Die Anforderung im vorliegenden Projekt bestand nun darin, ein für die nachfolgende PE-Beschichtung möglichst günstiges PE-Papier bereitzustellen.

IV.3.8.1. Angestrebter Lösungsweg

Für eine bessere Haftung der PE-Beschichtung war vorgesehen, das Inkjet-Rohpapier auf der Papiermaschine mit einem kalziumkarbonathaltigen Vorstrich zu versehen. Zudem sollte auch in der Papiermasse ein Anteil Zellstoff durch CaCO_3 ersetzt werden. Insgesamt war ein CaCO_3 -Gehalt des hergestellten Papiers von 30 % geplant – 14 % sollten als Füllstoff in der Masse realisiert werden, der restliche Anteil durch Auftrag des genannten Vorstrichs. Es wurde

erwartet, dass aufgrund des Strichauftrags eine Reduzierung der später aufzutragenden PE-Schicht von 20 g/m² auf 15 g/m² vorgenommen werden kann.

IV.3.8.2. Realisierter Lösungsweg

Derzeit werden für den Markt lediglich ungestrichene DI-Papiere auf der Papiermaschine 1 hergestellt, in denen bis zu 20 % des Zellstoffs durch CaCO₃ als Füllstoff in der Masse ersetzt werden.

Der vorgesehene Vorstrich der Papiere zur Verringerung des PE-Auftrags ist bisher nur in Versuchen erfolgt. Auf Basis einer gestrichenen DI-Papiersorte mit 147 g/m² Flächenmasse konnten hierbei 24 g/m² Zellstoff durch CaCO₃ als Füllstoff in der Masse ersetzt werden. Zudem wurden weitere 24,6 g/m² CaCO₃ als Pigmentstrich aufgebracht. Insgesamt wurden somit je Quadratmeter Papier 48,6 g Zellstoff durch Kalziumcarbonat ersetzt – dies entspricht einem Anteil im Papier von 33 %. Die erwartete Reduzierung der PE-Schichtdicke durch den Strichauftrag konnte bisher jedoch noch nicht zufriedenstellend umgesetzt werden. Eine ausführliche Darstellung der bislang erreichten Ergebnisse ist Kapitel VI.1 „Darstellung der Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens“ zu entnehmen.

IV.3.9. Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelteffekte

Während der Umsetzung des Demonstrationsprojekts wurden über ein zusätzliches Detail-Engineering weitere Einsparpotenziale zur Verbesserung der produktionsbedingten Umwelteffekte identifiziert (siehe Nachfinanzierungsantrag vom 04.03.2010). Hierbei handelt es sich um Maßnahmen zur Reduzierung des Stromverbrauchs sowie um eine verbesserte Bereitstellung der Hilfsstoffe.

IV.3.9.1. Angestrebter Lösungsweg

Die folgenden Maßnahmen zur Reduzierung des Stromverbrauchs waren geplant:

1. Umbau des Pulpers zu einem Intensa-Pulpersystem: Der vorhandene Zellstoffauflöser (Pulper) sollte zu einem so genannten Intensa-Pulpersystem umgebaut werden. Dieses innovative Konzept beinhaltet eine Reihe von Umbaumaßnahmen, die in Summe eine intensivere Durchmischung des aufzulösenden Zellstoffs in einer kürzeren Zeit unter Einsatz von weniger Energie ergeben.

2. Umbau des Konstantteils: Im Konstantteil sollte ein Betrieb mit erhöhten Stoffdichten und einer Vor- und Nachverdünnung umgesetzt werden. Hierzu waren diverse Anpassungen an den eingesetzten Reinigungselementen geplant. Zudem sollte der konstante Teil mit einem Hochdruckreinigungsnetz ausgerüstet werden. Das ermöglicht eine intensive Reinigung der Maschinenteile während der Sortenwechsel und reduziert damit Maschinenverlustzeiten, die durch Verschmutzungen ausgelöst werden können.
3. Einbau eines Lufterhitzers für die Luftanlage 5: Die Luftanlage 5 stellt die benötigte Heißluft zur Unterstützung der Trocknung zur Verfügung. Hierzu wird die heiße Abluft der Papiermaschine über eine nachgeschaltete Wärmerückgewinnung geleitet, um den notwendigen Luftstrom zur Trocknungsunterstützung vorzuwärmen. Im Demonstrationsprojekt war der Austausch des vorhandenen Wärmetauschers durch ein perfekt dimensioniertes Lufterhitzersystem vorgesehen.
4. Schabernacharbeiten: Eine Verschmutzung der Trockenzyylinder muss durch regelmäßige Reinigung mit Schabern vermindert werden, andernfalls führen die Verschmutzungen zu Abdrücken im Papier und somit zur massiven Entstehung von Ausschuss. Im Projekt war eine Nachrüstung der Trockenpartie mit Reinigungselementen vorgesehen, um den Zeitaufwand der manuellen Reinigung zu reduzieren und die Reinigungsqualität zu verbessern.
5. Drehzahlanpassung am Entstipper: Zur Aufbereitung von nassfesten Papieranteilen im Ausschuss wird an der Papiermaschine ein so genannter Entstipper³ eingesetzt. Im Demonstrationsvorhaben war vorgesehen, bei der Aufarbeitung von schwer auflösbarem Ausschuss, bei dem i. d. R. mehrere Durchläufe durch den Entstipper benötigt werden, die Drehzahl zu erhöhen. Diese intensivere Aufbereitung sollte dazu führen, dass der Ausschuss bereits nach dem Durchlauf durch den Entstipper die geforderte Aufbereitungsqualität aufweist.
6. Veränderung der Vakuumeinstellungen an der Siebsaugwalze und an den Flachsaugern: Als Entwässerungselement der Siebpartie wird eine Siebsaugwalze eingesetzt. Vor der Siebsaugwalze sind zur Entwässerung Flachsauger angeordnet, die wie die Siebsaugwalze

³ Unter Entstippen versteht man die Auflösung von Faserbündeln, die zu Betriebsstörungen führen können

mit Vakuum betrieben werden. Im Projekt war die Reduzierung des Vakuums an diesen Anlagenteilen und somit die Verminderung der notwendigen elektrischen Leistung an den Maschinen vorgesehen.

7. Handling in der Farbküche: Aufgrund von Marktverschiebungen bei Dekorpapier ergab sich die Notwendigkeit, die Papiere intensiver als vorgesehen einzufärben. Für die anwachsenden Farbmengen wurde aus ergonomischer und sicherheitstechnischer Sicht ein verbessertes Handling bei der Be- und Umfüllung sowie bei der Herstellung von Farbmischungen erforderlich. Hierzu war die Anschaffung von speziellen Handhabungsgeräten erforderlich.
8. Anpassung der Aufbereitung und des Zuführsystems zur Filmpresse: Die Anpassung des Farbsystems erfordert maschinelle Anpassungen der Aufbereitungseinrichtungen und des Zuführsystems zur Filmpresse, die im Rahmen des Demonstrationsvorhabens umgesetzt werden sollten.

IV.3.9.2. Realisierter Lösungsweg

Alle in Kapitel IV.3.9.1 beschriebenen Maßnahmen wurden wie oben beschrieben umgesetzt. Die maschinellen Anpassungen führten zu der vorgesehenen Reduzierung des elektrischen Energieverbrauchs – diese wird in Kapitel V.1.9 separat für die einzelnen Einsparmaßnahmen aufgeführt.

V. Umweltschutzwirkung des Vorhabens

V.1. Angestrebte und erreichte Umweltschutzwirkung

V.1.1. Einführung einer Kleinstlostechnologie

Aufgrund der in Abschnitt IV.3.1 dargestellten Prozess- und Volumen Anpassungen im Konstantteil ist es möglich, Materialverluste bei der Sortenumstellung und im laufenden Prozess signifikant zu verringern. Dabei wurde eine Reduzierung der Materialverluste von 2,5 % auf 1 % (d. h. einer Verringerung um 1,5 %) angestrebt. Aufgrund der tatsächlich erreichten Verkleinerung des spezifischen Volumens im konstanten Teil, das sogar noch über die geplante Verkleinerung hinausgeht, konnte dieses Ziel in vollem Maß erreicht werden. Hieraus ergeben sich die folgenden Umweltschutzwirkungen:

Umweltschutzwirkung A = Ursprungsantrag, N = Nachfinanzierungsantrag		Angestrebte und erreichte Werte	
		angestrebt	erreicht
Rohstoffeinsatz			
Reduzierung der Materialverluste	A	1,5 %	1,5 %
Reduzierung TiO ₂ -Bedarf	A	4,5 kg/Tonne Dekorpapier	4,5 kg/Tonne Dekorpapier
Reduzierung CaCO ₃ -Bedarf	A	4,5 kg/Tonne DI-Papier	4,5 kg/Tonne DI-Papier
Reduzierung Zellstoffbedarf	A	10,5 kg/Tonne Papier	10,5 kg/Tonne Papier
Energieeinsatz			
Reduzierung Strombedarf für die Zellstoffmahlung (spezifische Mahlungenergie 120 kWh/t Zellstoff)	A	1,3 kWh/Tonne Papier	1,3 kWh/Tonne Papier
Reduzierung der installierten elektrischen Leistung im Pulper	N	130 kW	155 kW
Reduzierung Strombedarf im Pulper (Betriebsstundenzahl 7.000 h/a, Kapazität 154.000 Tonnen Papier/a)	N	5,9 kWh/Tonne Papier	7,0 kWh/Tonne Papier
Reduzierung Strombedarf im Konstantteil (Reduzierung der el. Leistung um 200 kW, Betriebsstundenzahl 7.000 h/a, Kapazität 154.000 Tonnen Papier/a)	N	9,1 kWh/Tonne Papier	9,1 kWh/Tonne Papier

Umweltschutzwirkung A = Ursprungsantrag, N = Nachfinanzierungsantrag		Angestrebte und erreichte Werte	
		angestrebt	erreicht
Abwasserqualität			
Reduzierung der löslichen Bestandteile (Auswirkungen auf CSB und AOX)	A	3,3 kWh/Tonne Papier	3,3 kWh/Tonne Papier
Reduzierung der Feststofffracht bezogen auf Dekorpapier (Summe Reduzierung TiO ₂ , CaCO ₃ , Zellstoff)	A	15 kWh/Tonne Dekorpapier	15 kWh/Tonne Dekorpapier
Reduzierung der Feststofffracht bezogen auf DI-Papier (Summe Reduzierung CaCO ₃ , Zellstoff)	A	15 kWh/Tonne DI-Papier	15 kWh/Tonne DI-Papier

In den vergangenen Monaten kam es aufgrund eines erhöhten Salzgehalts im Zellstoff (bedingt durch die veränderte Qualität der Rohstofflieferung) zu einem erhöhten Anteil löslicher Bestandteile im Abwasser. Dies ist jedoch nicht durch die Technologie der Papiermaschine, sondern durch technologieunabhängige Qualitätsschwankungen des Rohstoffs bedingt und hat auf die oben angegebene Reduzierung der Abwasserfracht, die aus dem Umbau der Papiermaschine resultiert, keinen Einfluss. Derzeit wird geprüft, ob ein Wechsel des Rohstofflieferanten möglich und sinnvoll ist.

V.1.2. Null-Abriss-Konzept

Eine Verminderung des Ausschusses um 3,8 % bezogen auf das Produktionsvolumen kann für die Herstellung von DI-Papier im Vergleich zum Stand der Technik erreicht werden. Hiermit sind die folgenden Umweltschutzwirkungen verbunden:

Umweltschutzwirkung A = Ursprungsantrag, N = Nachfinanzierungsantrag		Angestrebte und erreichte Werte	
		angestrebt	erreicht
Verminderung des Ausschusses bei der Dekorpapierherstellung	A	2 %	0 %
Verminderung des Ausschusses bei der DI-Papierherstellung	A	2 %	3,8 %
Einsparung thermischer Energie zur Ausschussaufarbeitung	A	30 kWh/Tonne Dekorpapier	0 kWh/Tonne Dekorpapier
(spezifische thermische Energie zur Ausschussaufarbeitung 1,5 MWh/t Ausschuss)	A	30 kWh/Tonne DI-Papier	57 kWh/Tonne DI-Papier

Umweltschutzwirkung		Angestrebte und erreichte Werte	
A = Ursprungsantrag, N = Nachfinanzierungsantrag		angestrebt	erreicht
Einsparung elektrischer Energie zur Ausschussaufarbeitung	A	20 kWh/Tonne Dekorpapier	0 kWh/Tonne Dekorpapier
(spezifische elektrische Energie zur Ausschussaufarbeitung 1 MWh/t Ausschuss)	A	20 kWh/Tonne DI-Papier	38 kWh/Tonne DI-Papier

V.1.3. Neuartiges Pressendesign in der Entwässerung

Der im Folgenden dargestellte Umweltnutzen des neuartigen Pressendesigns bezieht sich auf die Herstellung von DI-Papier, da die eingesetzte Kompaktpresse bei der Dekorpapierherstellung den Stand der Technik erfüllt, jedoch nicht übertrifft.

Durch die realisierte Erhöhung des Trockengehalts der DI-Papiere um mindestens 2 % in der Entwässerung nimmt die zu verdampfende Wassermenge in der anschließenden Trockenpartie ab. Dies bewirkt eine Reduzierung der notwendigen Trocknungsleistung und damit eine Verringerung der in der Trockenpartie notwendigen Dampfmenge. Die hieraus resultierenden Umweltschutzwirkungen sind im Folgenden zusammengefasst:

Umweltschutzwirkung		Angestrebte und erreichte Werte	
A = Ursprungsantrag, N = Nachfinanzierungsantrag		angestrebt	erreicht
Verbesserung des Trockengehalts gegenüber dem Stand der Technik (Stand der Technik für DI-Papier: 41 %)	A	2 %	> 2 %
Verminderung der notwendigen Trocknungsleistung in der Trockenpartie (Berechnung siehe Anhang 1.1)	A	3,8 MW	> 2,8 MW
Verminderung des thermischen Energiebedarfs in der Trockenpartie (Berechnung siehe Anhang 1.1)	A	160 kWh/Tonne DI-Papier	> 143 kWh/Tonne DI-Papier

V.1.4. Einsatz einer Filmpresse mit Nipco-Technik

Der Umweltnutzen des Einsatzes einer Filmpresse mit Nipco-Technik ergibt sich bei der Produktion von Dekorpapieren. Hier ermöglicht die angewendete Technologie für RSP-Papiere einen imprägnierenden Strichauftrag mit höherem Feststoffgehalt als mit dem Stand der Technik möglich wäre. Hieraus resultiert eine geringere zu verdampfende Wassermenge in der anschließenden Strichtrocknung (Nachtrockenpartie). Die hierdurch mögliche Verkürzung der

kontaktlosen Trocknung und Verlagerung auf die Zylindertrocknung ist eine zusätzliche umweltwirksame Konsequenz aus dem Konzept. Da ein kombinierter positiver Umwelteffekt aus der Erhöhung des Feststoffgehalts und dem optimierten Trocknungsregime in der Nachtrockenpartie resultiert, wird dieser Umweltnutzen in Kapitel IV.3.5 miterfasst. Aufgrund der unerwartet hohen Harzeinsparung gegenüber den geplanten Werten ist in diesem Fall zwischen der Produktion der folgenden beiden Papiersorten zu unterscheiden:

a) Produkteigenschaften der RSP-Papiere

Bezüglich der Harzeinsparungen konnten die im Antrag angegebenen Zielwerte (Produktion von mit dem Stand der Technik vergleichbarem RSP auf der Filmpresse) noch übertroffen werden – es wurde gegenüber dem Stand der Technik eine zusätzliche Einsparung von 5 g/m² durch den Imprägnierstrich erreicht. Hieraus resultieren die folgenden positiven Umwelteffekte:

Umweltschutzwirkung A = Ursprungsantrag, N = Nachfinanzierungsantrag		Angestrebte und erreichte Werte	
		angestrebt	erreicht
Melamineinsparung beim Kunden (Berechnung siehe Anhang 1.2)	A	0 Es war keine Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik angestrebt	53 kg/Tonne RSP-Papier
Verminderung des Energiebedarfs in der Harztrocknung beim Kunden (Berechnung siehe Anhang 1.2)	A	0 Es war keine Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik angestrebt	50 kWh/Tonne RSP-Papier

Die energetischen Umwelteffekte dieser Papiersorte werden in Kapitel IV.3.5 miterfasst.

b) Produkteigenschaften der Standard-Dekorpapiere

Bei der Produktion von Standard-Dekorpapieren stellte sich heraus, dass die auf der PM 1 hergestellten Standardsorten leicht harzsparende Eigenschaften aufwiesen, jedoch nicht über den energieaufwendigen RSP-Produktionsprozess hergestellt werden mussten und somit eine verbesserte Energiebilanz aufwiesen.

V.1.5. Optimierung des Trocknungsregimes in der Nachtrockenpartie

Der Umweltnutzen des optimierten Trocknungsregimes im Vergleich zum Stand der Technik ergibt sich insbesondere bei der Produktion von Dekorpapieren. Durch den vorangegangenen Einsatz der Filmpresse besteht ein höherer Eingangstrockengehalt, der zu einer deutlichen Reduktion des Energieverbrauchs führt (siehe vorheriges Kapitel). Wesentliche Umweltvorteile werden zudem durch die Verkürzung der kontaktlosen Trocknung und Verlagerung auf die anschließende Zylindertrocknung generiert. Die im Folgenden aufgeführten Umweltvorteile beruhen auf einem kombinierten positiven Effekt, der aus der Erhöhung des Feststoffgehalts und der Verkürzung der kontaktlosen Trocknung resultiert.

Umweltschutzwirkung A = Ursprungsantrag, N = Nachfinanzierungsantrag		Angestrebte und erreichte Werte	
		angestrebt	erreicht
Wegfall Infrarottrocknung (Berechnung siehe Anhang 1.3)	A	4,7 MW/m	3,1 MW/m
hieraus resultierende Einsparung des Gasbedarfs für die Infrarottrocknung (Berechnung siehe Anhang 1.3)	A	1.185 kWh/Tonne RSP-Papier	1.216 kWh/Tonne RSP-Papier
Zusätzlicher Dampfbedarf in der Heißlufttrocknung und in der anschließenden Zylindertrocknung (Berechnung siehe Anhang 1.3)	A	396 kWh/Tonne RSP-Papier	308 kWh/Tonne RSP-Papier

V.1.6. Design der Glättungstechnik

Im neuen Nutzungskonzept waren für die Produktion von Digital Imaging und Dekorpapieren jeweils separate Glättwerke nach dem Stand der Technik geplant. Somit waren Umwelteffekte gegenüber dem Stand der Technik nicht berechenbar, so dass das Glättwerk nicht Bestandteil der UBA-Förderung war.

V.1.7. Design der Umrolltechnik

Der Einsatz der speziellen Walzentechnik für eine kombinierte Nutzung hinsichtlich der beiden Papiersorten Digital Imaging und Dekorpapier stellt eine Innovation dar. Wie im Antrag bereits dargestellt, ist dies jedoch ohne direkte Umweltrelevanz für die einzelne Verfahrensstufe und somit nicht Bestandteil der UBA-Förderung.

V.1.8. Hochpigmentierung der DI-Papiere

Die positiven Umwelteffekte ergeben sich bei der Hochpigmentierung der DI-Papiere zum einen durch den Ersatz des Zellstoffs (bei allen DI-Papieren) und zum anderen durch den Pigmentstrich hervorgerufene Reduzierung der PE-Schichtdicke (bei gestrichenen Papieren). Wie bereits in Kapitel erwähnt, werden für den Markt zurzeit nur ungestrichene DI-Papiere hergestellt, der Auftrag eines Pigmentstrichs erfolgte bisher nur im Rahmen von Versuchen. Im Folgenden wird die Umweltschutzwirkung dieser beiden Papiersorten separat ermittelt:

Umweltschutzwirkung A = Ursprungsantrag, N = Nachfinanzierungsantrag		Angestrebte und erreichte Werte		
		angestrebt	erreicht	
			ungestrichen	gestrichen
Rohstoffeinsatz				
Einsparung Zellstoff	A	30 %	20 %	33 %
		300 kg/Tonne DI-Papier	200 kg/Tonne DI-Papier	333 kg/Tonne DI-Papier
Zusatzeinsatz Kalziumkarbonat	A	300 kg/Tonne DI-Papier	200 kg/Tonne DI-Papier	333 kg/Tonne DI-Papier
Einsparung Polyethylen		28,6 kg/Tonne DI-Papier	0 kg/Tonne DI-Papier	0 kg/Tonne DI-Papier
Energieeinsatz				
Reduzierung Strombedarf für die Zellstoffmahlung (spezifische Mahlungenergie 120 kWh/t Zellstoff)	A	36 kWh/Tonne DI-Papier	24 kWh/Tonne DI-Papier	39,6 kWh/Tonne DI-Papier

V.1.9. Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelteffekte

Die diversen zusätzlichen Maßnahmen zur Verminderung des Stromverbrauchs führten zu den in der folgenden Tabelle aufgeführten Einsparungen von elektrischer Energie. Die aus dem Umbau des Pulpers und des Konstantteils resultierenden Verbesserungen wurden bereits in Kapitel V.1.1 erfasst, da diese Maßnahmen in direktem Zusammenhang mit der Einführung der Kleinstlosttechnologie stehen und hinsichtlich der Energiebilanz nicht getrennt betrachtet werden können.

Umweltschutzwirkung A = Ursprungsantrag, N = Nachfinanzierungsantrag		Angestrebte und erreichte Werte	
		angestrebt	erreicht
Umbau des Pulpers zu einem Intensa-Pulpersystem			
Reduzierung der elektrischen Leistung bzw. des Strombedarfs im Pulper	N	Wurde bereits in Kapitel V.1.1 berücksichtigt	
Umbau des Konstantteils			
Reduzierung des Strombedarfs im Konstantteil	N	Wurde bereits in Kapitel V.1.1 berücksichtigt	
Einbau eines Lufterhitzers für LA 5			
Reduzierung des Dampfbedarfs für die Trockenhauben (Betriebsstundenzahl 7.000 h/a, Kapazität 154.000 Tonnen Papier/a)	N	2,3 kWh/Tonne Papier	2,3 kWh/Tonne Papier
Erhöhung des Fremdstrombedarfs durch Reduzierung des Dampfbedarfs (Berechnung siehe Anhang 1.4)	N	1,2 kWh/Tonne Papier	1,2 kWh/Tonne Papier
Drehzahlanpassung am Entstipper			
Einsparung elektrischer Energie am Entstipper (Berechnung siehe Anhang 1.4)	N	0,4 kWh/Tonne Papier	0,4 kWh/Tonne Papier
Veränderung der Vakuumeinstellungen			
Einsparung elektrischer Energie an der Siebsaugwalze und an den Flachsagern (Berechnung siehe Anhang 1.4)	N	5,5 kWh/Tonne Papier	5,5 kWh/Tonne Papier

V.2. Energiebilanz

Zusammenfassend ergibt sich die in Tabelle 5 geplante und realisierte Energieeinsparung. Die dort aufgeführte Energiebilanz berücksichtigt das am Standort betriebene Gas- und Dampfturbinenkraftwerk und die damit verbundene Eigenstromerzeugung wie folgt:

- Die abgegebene Gesamtleistung des Kraftwerks wird nach dem thermischen Energiebedarf der Papierfabrik eingestellt.
- Sinkt der thermische Energiebedarf in der Papierfabrik, so verringert sich hierdurch der notwendige Kohleeinsatz zur Feuerung des Dampfkessels.
- Durch die Verringerung der Dampfkesselfeuerung sinkt neben der thermischen auch die elektrische Leistung der Dampfturbine. Diese muss durch einen erhöhten Fremdstrombezug ausgeglichen werden. Bei einem Verstromungsgrad der Dampfturbine von 35 % errechnet sich die Erhöhung des Fremdstrombezugs in Abhängigkeit von der Verringerung des thermischen Energiebedarfs wie folgt:

$$\Delta E_{Fremdstrom} = \frac{\Delta E_{thermisch}}{(1 - 0,35)} \cdot 0,35$$

Die Erhöhung des Fremdstrombedarfs durch die Reduzierung des thermischen Energiebedarfs wird in der folgenden Tabelle 5 durch einen negativen Wert in der Spalte „Elektrische Energieeinsparung“ und den Zusatz „FSB“ (= **F**remdstrom**b**edarf) berücksichtigt.

Tabelle 5 fasst die Reduzierungen des thermischen und des elektrischen Energiebedarfs getrennt für die beiden Papiersorten Dekorpapier und DI-Papier zusammen. Das erfolgt zum einen unter Berücksichtigung der Eigenstromerzeugung im Kraftwerk, zum anderen unter ausschließlicher Betrachtung der Energiebilanz der Papiermaschine 1 – im zweiten Fall wird somit die Verschiebung des Bedarfsprofils im Kraftwerk nicht einbezogen.

Tabelle 5: Energiebilanz der umgesetzten Maßnahmen

Maßnahme	Bezug	Angestrebte und erreichte Werte			
		thermische Energieeinsparung in kWh/Tonne Papier		elektrische Energieeinsparung in kWh/Tonne Papier	
		angestrebt	erreicht	angestrebt	erreicht
1. Einführung einer Kleinstlostechnologie					
Elektrische Energieeinsparung Zellstoffmahlung	alle Papiersorten	---	---	1,3	1,3
Elektrische Energieeinsparung Pulper	alle Papiersorten	---	---	5,9	7,0
Elektrische Energieeinsparung Konstantteil	alle Papiersorten	---	---	9,1	9,1
2. Null-Abriss-Konzept					
Therm. Energieeinsparung Ausschussaufbereitung	DI-Papier	30,0	57,0	-16,2 (FSB)	-30,7 (FSB)
Elektr. Energieeinsparung Ausschussaufbereitung	DI-Papier	---	---	20,0	38,0
Therm. Energieeinsparung Ausschussaufbereitung	Dekorpapier	30,0	0	-16,2 (FSB)	0
Elektr. Energieeinsparung Ausschussaufbereitung	Dekorpapier	---	---	20,0	0
3. Neuartiges Pressendesign in der Entwässerung					
Verminderung des thermischen Energiebedarfs in der Trockenpartie	DI-Papier	160	> 143	-86,2 (FSB)	-77,0 (FSB)

Maßnahme	Bezug	Angestrebte und erreichte Werte			
		thermische Energieeinsparung in kWh/Tonne Papier		elektrische Energieeinsparung in kWh/Tonne Papier	
		angestrebt	erreicht	angestrebt	erreicht
4. Optimierung des Trocknungsregimes in Kombination mit dem Einsatz einer Filmpresse in Nipco-Technik					
Einsparung Gasbedarf durch Wegfall der Infrarottrocknung	Dekorpapier, insb. RSP-Papier	1.185	1.216	---	---
Zusätzlicher Dampfbedarf in der Heißlufttrocknung und in der anschließenden Zylindertrocknung sowie Eigenstromerzeugung aus diesem zusätzlichen Dampfbedarf	Dekorpapier, insb. RSP-Papier	-396	-308	213	166
5. Hochpigmentierung der DI-Papiere					
Elektr. Energieeinsparung für die Zellstoffmahlung	DI-Papier, ungestrichen ⁴	---	---	36	24
6. Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelteffekte					
Einbau des Luftherhitzers für die LA 5	alle Papiersorten	2,3	2,3	-1,2 (FSB)	-1,2 (FSB)
Drehzahlanpassung am Entstipper	alle Papiersorten	---	---	0,4	0,4
Veränderung der Vakuumeinstellungen	alle Papiersorten	---	---	5,5	5,5

⁴ Für die tatsächlich erreichte Energieeinsparung aus der Hochpigmentierung der DI-Papiere wurden lediglich die Werte der ungestrichenen Papiere herangezogen, da die Herstellung von gestrichenen DI-Papieren bisher nur im Versuch und noch nicht für den Markt erfolgte. Die gestrichenen DI-Papiere weisen eine tendenziell bessere Energiebilanz auf.

Tabelle 6: Papiersortenbezogene Energiebilanz

Papiersorte	Ohne Berücksichtigung der Eigenstromerzeugung				Mit Berücksichtigung der Eigenstromerzeugung			
	Therm. Energieeinsparung in kWh/Tonne Papier		Elektr. Energieeinsparung in kWh/Tonne Papier		Therm. Energieeinsparung in kWh/Tonne Papier		Elektr. Energieeinsparung in kWh/Tonne Papier	
	angestrebt	erreicht	angestrebt	erreicht	angestrebt	erreicht	angestrebt	erreicht
DI-Papier	192	202	78,2	85,7	192	202	78,2	85,7
							<i>Netto- Erhöhung des Fremd- strombedarfs um 25,4</i>	<i>Netto- Erhöhung des Fremd- strombedarfs um 23,6</i>
Dekorpapier	821	910	42,2	23,3	821	910	238	188

V.3. CO₂-Bilanz

Die Ermittlung der durch das Projekt erreichten Reduzierung des CO₂-Ausstoßes erfordert zum einen eine Betrachtung des mit dem thermischen und elektrischen Energieverbrauch verbundenen Einsatzes der Energieträger Kohle, Gas und Fremdstrom. Zum anderen ist auch der mit der Produktion verbundene Materialeinsatz zu berücksichtigen, da die Kombimaschine ein zum Stand der Technik verändertes Rohstoffprofil aufweist. Die zur Erstellung der CO₂-Bilanz herangezogenen Kennwerte und CO₂-Äquivalente sind Anhang 2 zu entnehmen.

Die Ergebnisse der CO₂-Bilanzierung für die umgesetzten Maßnahmen sind Tabelle 7 auf der nächsten Seite zu entnehmen. Die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes bezogen auf eine Tonne Dekor- bzw. Digitalbilderpapier wird daraus abgeleitet, indem jeweils die Summe aus den papierspezifischen Einsparungen und den für alle Papiersorten gültigen Einsparungen gebildet wird (siehe Zuordnung in der Spalte „Bezug“). Es ergibt sich die folgende papiersortenbezogene Reduktion des CO₂-Ausstoßes:

Papiersorte	Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes in kg CO ₂ / Tonne Papier	
	angestrebt	erreicht
Dekorpapier	205	220
DI-Papier	239	161

Bezüglich der Produktion von Dekorpapieren wurde somit das Gesamtziel der spezifischen CO₂-Reduktion erreicht, auch wenn einzelne Maßnahmen derzeit noch nicht in vollem Maße umgesetzt werden konnten. Die bisher erreichte spezifische CO₂-Reduktion bezogen auf die Herstellung von Digitalbilderpapieren liegt bislang noch unter dem angestrebten Wert. Hier macht sich vor allem bemerkbar, dass gestrichene DI-Papiere auf der Kombimaschine bisher nur im Versuch und noch nicht für den Markt hergestellt wurden. Bisher ist es noch nicht gelungen, auf der Papiermaschine 1 die durch den Strich bedingte Reduzierung der Polyethylenschichtdicke umzusetzen. Aus diesem Grund wurden in der CO₂-Bilanzierung lediglich die ungestrichenen DI-Papiere mit konventioneller PE-Schicht berücksichtigt – dies führt hinsichtlich der Maßnahme „Hochpigmentierung der DI-Papiere“ zu einer deutlich geringeren Reduktion des CO₂-Ausstoßes im Vergleich zu den angestrebten Werten.

Tabelle 7: CO₂-Bilanz der umgesetzten Maßnahmen

Maßnahme	Bezug	Energie- bzw. Materialeinsparung			CO ₂ -Reduzierung in kg CO ₂ / Tonne Papier	
		Einheit	angestrebt	erreicht	angestrebt	erreicht
1. Einführung einer Kleinstlostechnologie						
Zellstoffeinsparung	alle Papiersorten	kg Zellstoff/ Tonne Papier	10,5	10,5	0	0
Transportaufwendungen für Zellstoff	alle Papiersorten				2,0	2,0
Elektrische Energieeinsparung Zellstoffmahlung, Pulper und Konstantteil → Verringerung Fremdstrombezug	alle Papiersorten	kWh/Tonne Papier	16,3	17,4	10,5	11,3
2. Null-Abriss-Konzept						
Therm. Energieeinsparung Ausschussaufbereitung → Verringerung Kohlebedarf → Erhöhung Fremdstrombezug	DI-Papier	kWh/Tonne Papier	30,0 46,2 -16,2	57,0 87,7 -30,7	20,3 -10,5	38,5 -19,9
Elektr. Energieeinsparung Ausschussaufbereitung → Verringerung Fremdstrombezug	DI-Papier	kWh/Tonne Papier	20,0	38,0	12,9	24,6
Therm. Energieeinsparung Ausschussaufbereitung → Verringerung Kohlebedarf → Erhöhung Fremdstrombezug	Dekorpapier	kWh/Tonne Papier	30,0 46,2 -16,2	0 0 0	20,3 -10,5	0 0
Elektr. Energieeinsparung Ausschussaufbereitung → Verringerung Fremdstrombezug	Dekorpapier	kWh/Tonne Papier	20,0	0	12,9	0

Maßnahme	Bezug	Energie- bzw. Materialeinsparung			CO ₂ -Reduzierung in kg CO ₂ / Tonne Papier	
		Einheit	angestrebt	erreicht	angestrebt	erreicht
3. Neuartiges Pressendesign in der Entwässerung						
Verminderung des thermischen Energiebedarfs in der Trockenpartie	DI-Papier	kWh/Tonne Papier	160	143		
→ Verringerung Kohlebedarf			246	220	108	96,6
→ Erhöhung Fremdstrombezug			-86,2	-77,0	-54,7	-49,8
4. Optimierung des Trocknungsregimes in Kombination mit dem Einsatz einer Filmpresse in Nipco-Technik						
Einsparung Gasbedarf in der Infrarottrocknung	Dekorpapier	kWh/Tonne Papier	1.185	1.216	295	303
Zusätzlicher Dampfbedarf in der Heißlufttrocknung und in der anschließenden Zylindertrocknung	Dekorpapier	kWh/Tonne Papier	-396	-308		
→ Erhöhung Kohlebedarf			-609	-474	-267	-208
→ Verringerung Fremdstrombezug			213	166	138	107
5. Hochpigmentierung der DI-Papiere						
Zellstoffeinsparung	DI-Papier	kg Zellstoff/ Tonne Papier	300	200	0	0
Transportaufwendungen für Zellstoff	DI-Papier				56,7	37,8
Elektr. Energieeinsparung Mahlung, Pulper, Konstantt. → Verringerung Fremdstrombezug	DI-Papier	kWh/Tonne Papier	16,3	17,4	23,3	15,5
Einsparung Polyethylen	DI-Papier	kg PE/ Tonne Papier	28,6	0	66,9	0

Maßnahme	Bezug	Energie- bzw. Materialeinsparung			CO ₂ -Reduzierung in kg CO ₂ / Tonne Papier	
		Einheit	angestrebt	erreicht	angestrebt	erreicht
6. Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelteffekte						
Einbau eines Lufterhitzers für die LA 5: Reduzierung des Dampfbedarfs für die Trockenhauben → Verringerung Kohlebedarf → Erhöhung Fremdstrombezug	alle Papiersorten	kWh/Tonne Papier	2,3	2,3		
			3,5	3,5	1,6	1,6
			-1,2	-1,2	-0,8	-0,8
Drehzahlanpassung am Entstipper: Einsparung elektrischer Energie am Entstipper	alle Papiersorten	kWh/Tonne Papier	0,4	0,4	0,3	0,3
Veränderung der Vakuumeinstellungen: Einsparung elektrischer Energie an den Siebsaugwalzen und an den Flachsaußern	alle Papiersorten	kWh/Tonne Papier	5,5	5,5	3,6	3,6

V.4. Absolute jährliche Einsparungen

Zur Bestimmung der durch die neue Technologie hervorgerufenen jährlichen Reduzierung der Energiemengen und des CO₂-Ausstoßes sind die in Kapitel V.2 und V.3 angegebenen tonnagebezogenen Werte auf die tatsächliche Jahresproduktionsmenge der jeweiligen Papiersorte zu beziehen. Hierzu erfolgte die Abschätzung der für 2013 zu erwartenden Jahresmengen auf Grundlage der realisierbaren Produktionsgeschwindigkeiten und der Nachfrage nach den einzelnen Sorten – die Einschätzung ergab eine Gesamtproduktionsmenge von ca. 92.000 Jahrestonnen. Diese teilen sich voraussichtlich in ca. 76.000 Jahrestonnen Dekorpapier und 16.000 Jahrestonnen DI-Papier auf. Die Abweichung zu den im Ursprungsantrag angenommenen 154.000 Jahrestonnen ergibt sich aus den folgenden Randbedingungen:

- Marktbedingte Verschiebung der Nachfrage zugunsten der Dekorpapiere
- Verringerung der nachgefragten Losgrößen von 200 t auf 120 t Durchschnittsgröße
- Vergrößerung des nachgefragten Farbprogramms mit den damit verbundenen häufigen Sortenwechseln; im Projekt wurde zwar die „Kleinstlostechnologie“ erfolgreich eingeführt, so dass nun ein sehr effizienter Sortenwechsel durchgeführt werden kann – aufgrund der marktbedingten Belegungsänderungen ist die absolute Zahl der Sortenwechsel und insbesondere der Anteil der zeitintensiven „großen Sortenwechsel“ und der „Blockwechsel“ (Umstellung von DI-Papier auf Dekorpapier und umgekehrt) jedoch stark gestiegen. Dies bedingt eine marktbedingte deutliche Erhöhung der Anlagenstillstandszeit.
- Sortenbedingte Engpässe in unterschiedlichen antragsgegenständlichen und nicht antragsgegenständlichen Verfahrensabschnitten (siehe Kapitel IV.3)

In Tabelle 8 und Tabelle 9 erfolgt die Darstellung der absoluten Reduzierung des Energie- und Materialverbrauchs bezogen auf die umgesetzten Maßnahmen bei einer jährlichen Gesamtproduktionsmenge von 76.000 Tonnen Dekorpapier und 16.000 Tonnen DI-Papier. Aus den in den Tabellen angegebenen Werten resultieren absolute Gesamteinsparungen für die PM 1, die im Folgenden aufgeführt werden:

Papiersorte	Energie-einsparungen [MWh/a]		Reduzierung CO ₂ -Ausstoß (Energie) [Tonnen/a]	Zellstoff-einsparungen [Tonnen/a]	Reduzierung CO ₂ -Ausstoß (Material) [Tonnen/a]
	thermisch	elektrisch			
Dekorpapier	69.183	1.771	16.560	798	151
DI-Papier	3.237	1.365	1.941	3.368	605

Tabelle 8: Absolute jährliche Energieeinsparungen der umgesetzten Maßnahmen

Dekorpapier - Energieeinsparung	Energieeinsparung [MWh/a]	Reduzierung CO ₂ -Ausstoß [Tonnen CO ₂ /a]
Einführung einer Kleinstlostechnologie		
Thermische Energieeinsparung	---	856
Elektrische Energieeinsparung	1.322	
Optimierung Trocknungsregime / Einsatz Filmpresse		
Thermische Energieeinsparung	69.008	15.357
Elektrische Energieeinsparung	---	
Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelteffekte		
Thermische Energieeinsparung	175	347
Elektrische Energieeinsparung	448	
	70.954	16.560

Digital Imaging Papier - Energieeinsparung	Energieeinsparung [MWh/a]	Reduzierung CO ₂ -Ausstoß [Tonnen CO ₂ /a]
Einführung einer Kleinstlostechnologie		
Thermische Energieeinsparung	---	180
Elektrische Energieeinsparung	278	
Null-Abriss-Konzept		
Thermische Energieeinsparung	912	692
Elektrische Energieeinsparung	608	
Neuartiges Pressendesign in der Entwässerung		
Thermische Energieeinsparung	2.288	748
Elektrische Energieeinsparung	---	
Hochpigmentierung der DI-Papiere		
Thermische Energieeinsparung	---	248
Elektrische Energieeinsparung	384	
Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelteffekte		
Thermische Energieeinsparung	37	73
Elektrische Energieeinsparung	94	
	4.602	1.941

Tabelle 9: Absolute jährliche Materialeinsparungen der umgesetzten Maßnahmen

Dekorpapier - Materialeinsparung	Materialeinsparung [Tonnen/a]	Reduzierung CO₂-Ausstoß [Tonnen CO₂/a]
Einführung einer Kleinstlostechnologie		
Zellstoffeinsparung / Reduzierung Transportaufwendungen	798	151
	798	151

Digital Imaging Papier - Materialeinsparung	Materialeinsparung [Tonnen/a]	Reduzierung CO₂-Ausstoß [Tonnen CO₂/a]
Einführung einer Kleinstlostechnologie		
Zellstoffeinsparung / Reduzierung Transportaufwendungen	168	---
Hochpigmentierung der DI-Papiere		
Zellstoffeinsparung / Reduzierung Transportaufwendungen	3.200	605
Einsparung Polyethylen	0	0
	3.368	605

VI. Diskussion der Ergebnisse und Empfehlung

VI.1. Darstellung der Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens

VI.1.1. Möglichkeiten des Verfahrens

Durch die errichtete Kombimaschine besteht bereits heute die Möglichkeit, eine Vielzahl unterschiedlicher Dekor- und Digitalbilderpapiere auf einer Maschine herzustellen und dabei gleichzeitig den CO₂-Ausstoß der Produktion gegenüber dem Stand der Technik erheblich zu reduzieren.

Ein besonderer Erfolg innerhalb des Projekts ist die Produktion aller geplanten Sorten – insbesondere RSP – ohne Infrarottrocknung in der Nachtrockenpartie. Das gilt sowohl für die ursprünglichen niedergewichtigen Sorten als auch für die neu hinzugekommenen Sorten mit hohen Flächengewichten. Der nun eingesetzte dampfbetriebene Schwebetrockner ist in der Lage, im derzeitigen Geschwindigkeitsbereich die kontaktlose Trocknung vollständig zu übernehmen und das Papier für die anschließende Kontakt Trocknung in geeigneter Art vorzubehandeln. Eine weitere Leistungssteigerung zur Realisierung der vorgesehenen Endgeschwindigkeit der Maschine ist in Vorbereitung.

Bemerkenswert sind zudem die extrem niedrigen Harzverbrauchswerte der auf der Papiermaschine 1 produzierten Dekorpapiersorten bei RSP-Papieren sowie eine leichte Harzersparnis auch bei Standard-Dekorpapieren. Die Kombimaschine ist nun in der Lage, RSP-Papiere zu produzieren, die gegenüber dem Stand der Technik eine weitere Harzersparung beim Kunden ermöglichen. Die damit verbundene Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks des Endprodukts wurde in der CO₂-Bilanzierung der Papiermaschine 1 nicht berücksichtigt, da die Einsparung außerhalb der Bilanzgrenzen des Systems – nämlich in der Imprägnierung des Kunden – stattfindet. Trotzdem handelt es sich dabei um einen zusätzlichen umweltrelevanten Vorteil, der durch die neue Kombimaschine erlangt werden konnte. Durch die zusätzliche Verminderung des Harzbedarfs ergibt sich eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßes beim Kunden von ca. 78 kg CO₂ pro Tonne RSP-Papier mit einem beispielhaften Flächengewicht von 96 g/m².

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass auch die auf der Papiermaschine 1 hergestellten Standard-Dekorpapiere leicht harzsparende Eigenschaften aufweisen. Das resultiert vermutlich aus der

gegenüber den konventionellen Dekormaschinen veränderten Pressung und der damit verbundenen Nassverdichtung in z-Richtung. Dies führt zu einer geringeren Rückquellung und zum anderen zu einer weiteren Verbesserung der Imprägnierfähigkeit.

VI.1.2. Grenzen des Verfahrens

Aufgrund der hohen Komplexität der aufgebauten Kombimaschine traten im Verlauf der Demonstrationsphase eine Reihe maschinen- und verfahrenstechnischer Probleme auf, die bisher noch nicht nachhaltig gelöst werden konnten. Diese werden im Folgenden erläutert.

Herstellung von gestrichenen DI-Papieren

Bei der Herstellung von gestrichenen Digitalbilderpapieren besteht noch erheblicher Entwicklungsaufwand, um die mit dem Vorstrich verbundene Reduzierung der PE-Schichtdicke zu erreichen. Eine großtechnische Produktion ist hierbei derzeit noch nicht umgesetzt worden. Es wurden jedoch bereits Versuchsmengen hergestellt, bei denen bei einem Flächengewicht von 147 g/m² in der Masse 24 g/m² Zellstoff durch CaCO₃ ersetzt werden konnte. Weitere 24,6 g wurden durch den CaCO₃-haltigen Vorstrich aufgebracht, so dass im Versuchspapier insgesamt 33 % Zellstoff eingespart werden konnten und das gesteckte Ziel für die Hochpigmentierung sogar noch übertroffen wurde. Die in diesem Zusammenhang ebenfalls angestrebte Reduzierung der PE-Aufträge konnte jedoch bisher noch nicht umgesetzt werden. Bei geringen PE-Schichtdicken weisen die Versuchspapiere bisher noch ungenügende Oberflächenqualitäten auf. Als Ursache hierfür wird eine ungeeignete Feuchteverteilung in z-Richtung während des Herstellprozesses vermutet. Somit besteht weiterer Entwicklungsbedarf, um das Optimum aus Strichaufbau, Oberfläche und Verdichtung zu erreichen.

Betrieb der Filmpresse

Der Filmpressbetrieb führt bei der Produktion von DI-Papier derzeit noch zu einigen Qualitätsproblemen. Das führt dazu, dass das Fehlerniveau für diese Papiersorten noch nicht im angestrebten Bereich ist. So genannte „Flitzer“, d. h. Stoffpartikel, die als Schmutzeintrag aus der Trockenpartie eingetragen und nicht komplett in die Papierbahn eingebunden werden, setzen sich vor dem Rakel der Presse ab und sperren den notwendigen Leimdurchgang. Zudem vermuten die Experten von Schoeller derzeit einen Fehler in der Fahrweise der Maschine aufgrund der in der Papierbahn ablaufenden physikalischen Prozesse während des Pressbetriebs. Zur Ursachenklärung ist die Durchführung einer Versuchsreihe geplant.

Die oben beschriebene Fehleranfälligkeit tritt bei der Herstellung von Dekorpapieren nicht auf. Hier besteht jedoch noch lange ein Problem mit der Rakellebensdauer. Durch die hohe Abrasivität des eingesetzten Titandioxids verschleßen die Rakelstäbe sehr schnell. Dieser Zustand war für einen robusten Produktionsprozess noch unzureichend, da ein nicht rechtzeitig gewechselter Rakelstab Abrisse verursachen kann, andererseits aber jeder Wechsel ebenfalls ein erhöhtes Abrissrisiko durch Abheben und Anlegen der Rakel beinhaltet und zudem immer einige Minuten Ausschussproduktion verursacht. Daher wurden im September 2011 verschiedene Kombinationen aus Rakeloberflächenmaterial (u. a. diverse Keramiktypen), Rakeloberflächegeometrie und einer möglichst schonenden Einstellung der Rakelanpressung getestet. Das erfolgte in Zusammenarbeit mit externen Experten, die sich auf die Beschichtung von Spezialpapieren mittels Filmpresse spezialisiert haben. Die neue Rakellösung und die damit verbundene Fahrweise sind inzwischen etabliert, das Problem ist somit nachhaltig gelöst.

Ein weiterhin verbliebendes Problem des Filmpressenbetriebs ist die nicht stufenlose Einstellbarkeit der Linienkraft an den verwendeten Nipcowalzen. Durch die Eigenheiten der Nipcowalzen (schwimmender Walzenmantel auf feststehendem Joch) entsteht durch die bei steigender Linienkraft auftretende Abplattung des Bezugs eine zu große Spalt-Variation auf der Einlaufseite der Antragskammer. Die Ausführung der Spaltdichtung als Schleppschaber wäre von Vorteil, ist aber an der vorhandenen Anlage konstruktionsbedingt nicht möglich. Daher muss auch in Zukunft die Spaltweite in Abhängigkeit von der Papiersorte auf geeignete Linienkraftbereiche präzise eingestellt werden. Dies verursacht zwar einen gewissen Zeitaufwand – die Einstellung kann jedoch während des ohnehin erforderlichen Sortenwechselstillstands vorgenommen werden, so dass damit keine Produktivitätseinbußen verbunden sind.

Betrieb der Nachtrockenpartie

Bei einer weiteren Steigerung der Geschwindigkeit bis zur vorgesehenen Endgeschwindigkeit (insbesondere für Dekorpapiere) ist ein erheblicher Engpass in der Verdampfungsleistung des verwendeten Schwebetrockners zu erwarten. Daher wurden Untersuchungen zur Leistungssteigerung des Konvektionstrockners durchgeführt. Diese weisen darauf hin, dass die Leistung des Trockners um rund 20 % gesteigert werden kann. Hierzu sind jedoch weitere anlagentechnische Maßnahmen wie der Austausch der bisherigen Düsen und die Erhöhung der Luftgeschwindigkeit erforderlich.

VI.1.3. Empfehlungen

Aus den gewonnenen Erfahrungen der erstmaligen großtechnischen Demonstration der energieeffizienten Kombimaschine können die folgenden Erkenntnisse festgehalten werden:

- Bei der Entscheidung für die Errichtung umfangreicher Produktionskapazitäten insbesondere im Bereich hochwertiger Spezialpapiere ist die Möglichkeit zukünftiger Marktverschiebungen und geänderter Kundenanforderungen zu berücksichtigen. Das ist im Projekt durch die Flexibilisierung der Anlage (z. B. Eignung für unterschiedliche Papiersorten, Kleinstlosttechnologie und Verminderung von Sortenwechselverlusten) hervorragend gelungen.
- Die Inbetriebnahmephase einer derartig komplexen Anlage muss umfassende Trainingsmaßnahmen für die Mitarbeiter vorsehen. Das reale Prozessverhalten, insbesondere im Zusammenspiel verschiedener innovativer Technologien, kann nicht im Vorfeld abgeschätzt werden, so dass der Zeitaufwand bis zur vollständigen Beherrschung der Anlage hoch ist.
- Die entstehenden Kosten für den Umbau einer bestehenden Anlage sind schwer abzuschätzen. Im Vergleich zur Errichtung einer Neuanlage wirken eine Reihe von Faktoren wie beispielsweise Beschränkung des Platzbedarfs, Demontage von Altteilen, Abstimmung der Maschinen- und Verfahrenstechnik auf die verbleibenden Anlagenteile und verschiedene logistische Fragestellungen erschwerend hinzu.

VI.1.4. Modellcharakter von Kombimaschinen

Im Vorhaben konnte gezeigt werden, wie eine energieeffiziente Kombimaschine zur Herstellung sehr unterschiedlicher Papiersorten erstmalig großtechnisch umgesetzt werden konnte. Durch die Kombination verschiedener Verfahren konnte eine verbesserte Energieeffizienz gegenüber der Produktion der Papiersorten auf sortenspezifischen Maschinen gemäß dem Stand der Technik erreicht werden. Die prinzipielle Vorgehensweise, nämlich die Nutzung innovativer, auf beide Produktsorten zugeschnittener Technologien bei gleichzeitiger Minimierung der Verluste bei der Sortenumstellung lässt sich auf eine Vielzahl anderer Anwendungsbereiche übertragen. Ein hohes Anwendungspotenzial für die Umsetzung von Kombimaschinen besteht in der gesamten Papierindustrie, insbesondere in der Herstellung weiterer Spezialpapiere, da gerade die Spezialpapierherstellung mit hohen Energieverbräuchen und häufigen Sortenwechseln verbunden ist. Die prinzipielle Vorgehensweise ist zudem auch auf eine Vielzahl anderer Industriebereiche mit geforderter hoher Sortenflexibilität übertragbar.

VI.1.5. Erfolgskontrollbericht

VI.1.6. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen

Das neue Nutzungskonzept der Papiermaschine 1 beruht auf einer Kombination innovativer Technologien, die in ihrer Gesamtheit erstmalig in einer großtechnischen Anlage demonstriert werden. Diese erstmalige Demonstration liefert einen Beitrag zu den folgenden förderpolitischen Zielen:

- es werden fortschrittliche Verfahren und Verfahrenskombinationen zur Vermeidung und Verminderung von Umweltbelastungen erstmalig verwirklicht,
- der CO₂-Fußabdruck der DI- und Dekorpapierproduktion wird deutlich vermindert – die erreichte Reduzierung des CO₂-Ausstoßes beträgt 220 kg CO₂ pro Tonne Dekorpapier bzw. 161 kg CO₂ pro Tonne DI-Papier,
- eine verbesserte Rohstoffrezeptur führt zum Einsatz umweltschonender Substitutionsstoffe.

VI.1.7. Wissenschaftlicher und technischer Erfolg des Vorhabens

Im Projekt ist es gelungen, eine signifikante Reduzierung des thermischen und elektrischen Energieverbrauchs gegenüber dem Stand der Technik zu erreichen und gleichzeitig durch eine Anpassung der Papierrezepturen besonders umweltfreundliche Papiersorten bereitzustellen. Gegenüber den branchenüblichen Papiermaschinen besitzt die neue Kombimaschine ein deutliches Umweltentlastungspotenzial. Dieses resultiert im Einzelnen aus der

- Reduzierung des thermischen Energieverbrauchs durch die Einführung innovativer Technologien, wie beispielsweise dem vollständigen Verzicht auf eine Infrarottrocknung in der Nachtrockenpartie
- Reduzierung des Stromverbrauchs insbesondere durch die Vermeidung von Ausschuss und durch die optimale Auslegung der notwendigen Energieverbraucher auf den Anlagenbetrieb
- Substitution von Zellstoff durch Kalziumcarbonat

Verbesserungspotenzial besteht allerdings noch im Bereich der Vermeidung von Polyethylen in der Produktion – bisher ist es noch nicht gelungen, die angestrebte Reduzierung der Polyethylenschicht von Digitalbilderpapieren gegenüber dem Stand der Technik umzusetzen. Zudem ist derzeit noch eine Reihe von Fragestellungen zur Erreichung der angestrebten Endgeschwindigkeit sowie zur Auswahl der optimalen Anlagenausrüstung zu beantworten.

Das primäre Ziel der Bereitstellung einer umwelt- und kosteneffizienten Kombimaschine für eine Vielzahl von Papiersorten ist somit erreicht worden. Die Weiterführung der energetischen und verfahrenstechnischen Optimierungsmaßnahmen außerhalb des Projekts wird die noch angestrebten Verbesserungen bringen.

VI.1.8. Gesammelte Erfahrungen

Aus den gewonnenen Erfahrungen der erstmaligen großtechnischen Demonstration der energieeffizienten Kombimaschine können die folgenden Erkenntnisse festgehalten werden:

- Bei der Entscheidung für die Errichtung umfangreicher Produktionskapazitäten insbesondere im Bereich hochwertiger Spezialpapiere ist die Möglichkeit zukünftiger Marktverschiebungen und geänderter Kundenanforderungen zu berücksichtigen. Dies ist im Projekt durch die umgesetzte Flexibilisierung der Anlage (z. B. Eignung für unterschiedliche Papiersorten, Kleinstlostechnologie und Verminderung von Sortenwechselverlusten) hervorragend gelungen.
- Die Inbetriebnahmephase einer derartig komplexen Anlage muss umfassende Trainingsmaßnahmen für die Mitarbeiter vorsehen. Das reale Prozessverhalten insbesondere im Zusammenspiel verschiedener innovativer Technologien kann nicht im Vorfeld abgeschätzt werden, so dass der Zeitaufwand bis zur vollständigen Beherrschung der Anlage hoch ist.
- Die entstehenden Kosten für den Umbau einer bestehenden Anlage sind schwer abzuschätzen. Im Vergleich zur Errichtung einer Neuanlage wirken eine Reihe von Faktoren wie beispielsweise Beschränkung des Platzbedarfs, Demontage von Altteilen, Abstimmung der Maschinen- und Verfahrenstechnik auf die verbleibenden Anlagenteile und verschiedene logistische Fragestellungen erschwerend hinzu.

VI.1.9. Einhaltung des Finanz- und Zeitplans

Wie bereits in den Zwischenberichten erläutert, haben die Wirtschaftskrise und weitere vorher nicht absehbare Faktoren zu einer Teilung des Projekts in zwei Abschnitte geführt. Daraus hat sich eine Reihe von Anpassungen im Projektverlauf ergeben, die zu zeitlichen Verzögerungen und zu weiterem personellen Aufwand geführt haben. Insgesamt musste das Vorhaben gegenüber dem ursprünglichen Zeitplan um ein halbes Jahr verlängert werden.

Die Aufteilung des Umbaus in zwei Schritte und die erhöhte Anlaufbetreuung aufgrund von Maschinen- und Qualitätsproblemen haben die Gesamtkosten um ca. 6,5 Mio. Euro gegenüber dem ursprünglichen Finanzplan erhöht.

VI.1.10. Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das durchgeführte Projekt setzt in der gesamten Herstellung von Spezialpapieren Maßstäbe, sowohl hinsichtlich der Umweltfreundlichkeit als auch in Bezug auf eine kostengünstige und hochqualitative Produktion. Insbesondere die Umsetzung der Sortenflexibilität wird entscheidenden Einfluss auf die Konzeptionierung zukünftiger Anlagen der Felix Schoeller Gruppe haben. Ein weiteres entscheidendes Projektergebnis ist die gute Qualität der auf der Papiermaschine 1 produzierten Dekorpapiere – die harzsparenden Eigenschaften der RSP-Papiere sind gegenüber den bislang auf der PM 18 hergestellten RSP-Papieren noch einmal signifikant verbessert worden und auch die Standard-Dekorpapiere weisen eine Harzersparnis auf, die mit dem Wert konventioneller RSP-Papiere vergleichbar ist. Diese Produkte haben sich derzeit zwar noch nicht am Markt durchgesetzt, auf lange Sicht wird hier jedoch ein deutlicher Anstieg der Nachfrage erwartet.

Um das vollständige Potenzial der Anlage auszunutzen, sind jedoch noch weitere Entwicklungsarbeiten erforderlich. Hierzu soll im Anschluss an das abgeschlossene Demonstrationsprojekt eine weitere Optimierung der Papiermaschine unter Einbindung externer Spezialisten erfolgen.

VII. Zusammenfassung

VII.1. Deutsche Zusammenfassung

Das von dem Unternehmen Schoeller Technocell durchgeführte Demonstrationsvorhaben veranschaulicht die energieeffiziente und Ressourcen schonende Produktion von sowohl Dekor- als auch Digitalbilderpapieren auf einer Kombimaschine. Diese Kombimaschine wurde errichtet auf Grundlage der bestehenden Papiermaschine 1, die bisher ausschließlich Fotobasispapiere produzierte. Hierzu wurden verschiedene innovative Technologien erstmals in eine großtechnische Anlage integriert. Gleichzeitig erfolgten umfangreiche Prozessanpassungen, um die geplante Sortenflexibilität erfolgreich umsetzen zu können.

Im Projekt ist es gelungen, eine signifikante Reduzierung des thermischen und elektrischen Energieverbrauchs gegenüber dem Stand der Technik zu erreichen und gleichzeitig durch eine Anpassung der Papierrezepturen besonders umweltfreundliche Papiersorten bereitzustellen. Gegenüber den branchenüblichen Papiermaschinen besitzt die neue Kombimaschine ein deutliches Umweltentlastungspotenzial. Dieses resultiert im Einzelnen aus der

- Reduzierung des thermischen Energieverbrauchs durch die Einführung innovativer Technologien, wie beispielsweise dem vollständigen Verzicht auf eine Infrarottrocknung in der Nachtrockenpartie
- Reduzierung des Stromverbrauchs insbesondere durch die Vermeidung von Ausschuss und durch die optimale Auslegung der notwendigen Energieverbraucher auf den Anlagenbetrieb
- Substitution von Zellstoff durch Kalziumcarbonat

Die oben angegebene Umweltentlastung wurde durch die Umsetzung der folgenden technischen Maßnahmen erreicht:

- Einführung einer Kleinstlostechnologie
- Null-Abriss-Konzept
- Neuartiges Pressendesign in der Entwässerung
- Einsatz einer Filmpresse mit Nipco-Technik
- Optimierung des Trocknungsregimes in der Nachtrockenpartie
- Design der Glättungstechnik
- Design der Umrolltechnik
- Hochpigmentierung der Digital Imaging Papiere

- Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelteffekte

Aus der Umsetzung der neuen Technologie ergibt sich die folgende papiersortenbezogene Reduktion des CO₂-Ausstoßes:

Papiersorte	Energieeinsparungen in kWh/Tonne Papier	Zellstoffeinsparungen in kg/Tonne Papier	Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes in kg CO ₂ /Tonne Papier	
	erreicht	erreicht	angestrebt	erreicht
Dekorpapier	934	10,5	205	220
DI-Papier	288	211	239	161

Bei einer jährlichen Gesamtproduktionsmenge von 76.000 Tonnen Dekorpapier und 16.000 Tonnen Digital Imaging Papier an der PM 1 resultieren daraus die folgenden absoluten Gesamteinsparungen:

Papiersorte	Energieeinsparungen in MWh/a	Reduzierung CO ₂ -Ausstoß (aus Energie) in Tonnen/a	Zellstoff- einsparungen in Tonnen/a	Reduzierung CO ₂ -Ausstoß (aus Material) in Tonnen/a
Dekorpapier	70.954	16.560	798	151
DI-Papier	4.608	1.941	3.368	605

Das durchgeführte Projekt setzt in der gesamten Herstellung von Spezialpapieren Maßstäbe, sowohl hinsichtlich der Umweltfreundlichkeit als auch in Bezug auf eine kostengünstige und hochqualitative Produktion. Insbesondere die Umsetzung der Sortenflexibilität wird entscheidenden Einfluss auf die Konzeptionierung zukünftiger Anlagen der Schoeller Technocell Gruppe haben. Ein weiteres entscheidendes Projektergebnis ist die gute Qualität der auf der Papiermaschine 1 produzierten Dekorpapiere – die harzsparenden Eigenschaften der RSP-Papiere sind gegenüber den bislang auf der PM 18 hergestellten RSP-Papieren noch einmal signifikant verbessert worden und auch die Standard-Dekorpapiere weisen eine leichte Harzersparnis auf.

Verbesserungspotenzial besteht allerdings noch im Bereich der Vermeidung von Polyethylen in der Produktion – bisher ist es noch nicht gelungen, die angestrebte Reduzierung der Polyethylenschicht von Digitalbilderpapieren gegenüber dem Stand der Technik umzusetzen.

Zudem ist derzeit noch eine Reihe von Fragen zur Erreichung der angestrebten Endgeschwindigkeit sowie zur Auswahl der optimalen Anlagenausrüstung zu beantworten.

Das primäre Ziel der Bereitstellung einer umwelt- und kosteneffizienten Kombimaschine für eine Vielzahl von Papiersorten ist somit erreicht worden. Die Weiterführung der energetischen und verfahrenstechnischen Optimierungsmaßnahmen außerhalb des Projekts wird die noch angestrebten Verbesserungen bringen.

VII.2. Englische Zusammenfassung

The accomplished demonstration project of the company Schoeller Technocell shows the energy efficient and resource conserving production of both decor and digital imaging paper on a combination machine. This combination machine has been constructed on basis of the existing paper machine 1 which so far exclusively produced standard halide imaging paper. Therefore different innovative technologies have been integrated in one large-scale machine for the first time. Concurrently extensive process modifications have been made in order to realize the scheduled sort flexibility successfully.

We succeeded in the project on achieving a significant reduction of the thermally and electrical energy consumption compared to the state of the art and concurrently on providing very eco-friendly paper sorts by an adaption of the paper composition. The new combination machine disposes of a considerable environmental relief potential compared to paper machines in line with the industry standard. This result of

- Reduction of the thermally energy consumption by using innovative technologies, e. g. complete abandonment of infrared drying in the post drying process
- Reduction of the power consumption, especially by avoiding waste and by an optimal coordination of the necessary energy users on the line operation
- Substitution of pulp by calcium carbonate

Nevertheless there is potential for improvement by avoiding polyethylene in the production – so far we have not succeeded in realizing the aimed reduction, compared to the state of the art, of the polyethylene layer on digital imaging paper. Besides there is a series of questions to be answered referring the achievement of the aimed end speed and the selection of the optimal machine equipment.

The primary target of placing an environmental and cost efficient combination machine for a variety of paper sorts at disposal is thus achieved. The continuation of the energetic and procedural optimization measures besides the project will bring the aimed improvements.

The above mentioned reduction of environmental impact has been realized by implementation of the following technical measures:

- Implementation of a micro batch technology

- Null-tear-concept
- Novel press design in the dewatering
- Application of a film press with Nipco-technique
- Optimization of the drying regime in the after-dryer-section
- Design of the grading technique
- Design of the winding technique
- High pigmentation of the digital imaging papers
- Further measures for an improvement of the environmental effects

By use of the new technology results the following paper grade related reduction of CO₂-emission:

Paper grade	Reduction of energy in kWh/tons paper	Reduction of pulp in kg/tons paper	Reduction of CO ₂ -emission in kg CO ₂ /tons paper	
	achieved	achieved	aspired	achieved
Decor paper	934	10,5	205	220
DI-paper	288	211	239	161

At an annual total production quantity of 76.000 tons decor paper and 16.000 tons digital imaging paper at the PM1, the following absolute total economies result:

Paper grade	Reduction of energy in MWh/a	Reduction CO ₂ - emission (from energy) in tons/a	Reduction of pulp in tons/a	Reduction CO ₂ - emission (from material) in tons/a
Decor paper	70.954	16.560	798	151
DI-paper	4.608	1.941	3.368	605

The realized project sets standards in the whole production of specialty paper, regarding both the eco friendliness and a cost-efficient and first-class quality production. Especially the realization of the grade flexibility will have essential influence on the conception of prospective machines at the Schoeller Technocell group. A further essential result of the project is the good quality of the produced decor papers on paper machine 1 – the resin saving characteristics of the RSP-papers have once more significantly been improved compared to the so far produced RSP-papers on PM 18.

VIII. Literatur

- Papiertechnische Stiftung: „Beurteilung geplanter PM1-Umbaumaßnahmen bezüglich Funktionalität und Wirtschaftlichkeit sowie Abgleich mit dem Stand der Technik in der Dekorpapier- und Foto-Inkjet-Branche“, Studie zum neuen Nutzungskonzept der PM1, Papiertechnische Stiftung, Februar 2008
- Schönheit, Friedrich-Wilhelm: Großtechnische Demonstration einer Kombimaschine für Dekorpapiere und Digitalbilderpapiere unter Einsatz energiesparender Herstellverfahren, fachtechnische Beschreibung im Rahmen der Beantragung einer Förderung im BMU-Programm „Demonstrationsvorhaben zur Verminderung von Umweltbelastungen“, April 2008
- Umweltbundesamt: Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU) - Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken in der Zellstoff- und Papierindustrie, Umweltbundesamt, 2001
- Umweltbundesamt: Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (ProBas); Datenbank des Umweltbundesamts und des Öko-Instituts e. V.