

Abschlussbericht KFW-Aktenzeichen: NKa3 – 003459

Papiermaschine PM 5 neu - OptiDry Trocknungseinheit

Papierfabrik Palm GmbH & Co. KG

Palm Allee 1

73432 Aalen

Autor: Florian Schmid

Umweltbereiche: Ressourcen, Energie und Klimaschutz

Laufzeitbeginn: 20.09.2019

Laufzeitende: 31.10.2021

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: 3459		Projekt-Nr. NKa3 – 003459	
Titel des Vorhabens: Papiermaschine PM 5 neu – Trocknungseinheit OptiDry			
Autor/-en (Name, Vorname) Florian Schmid Lukas Steffel		Vorhabensbeginn: 20.09.2019	
		Vorhabensende (Abschlussdatum): 31.10.2021	
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift) Papierfabrik Palm GmbH & Co. KG Palm Allee 1 73432 Aalen		Veröffentlichungsdatum: 22.03.2024	
		Seitenzahl: 91	
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.			
Kurzfassung (max. 1500 Zeichen) Im Rahmen des Neubaus der Papiermaschine 5 im Werk Aalen wurde das Thema Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz sehr intensiv betrachtet. Um den zukünftigen ökologisch sinnvollen Schritt zur Reduzierung von Verpackungsmaterialien zu unterstützen soll die PM 5 sehr leichtgewichtige Papiersorten für die Herstellung von Wellpappenverpackungen produzieren. Dafür müssen die sehr sensiblen leichtgewichtigen Sorten sehr effizient (ohne Abrisse) und mit wenig Energie herzustellen sein. Um eine hohe Verfügbarkeit der Papiermaschine zu gewährleisten wurde die Trocknungseinheit OptiDry inkl. eines Transferbands der Firma Valmet installiert. Diese Prallström Trocknung (Impingement) wird mit der Installation in der PM 5 erstmalig für die Produktion von Wellpappenrohpaper eingesetzt. Dabei wird heiße Luft mit hoher Geschwindigkeit auf die Papieroberfläche geblasen, statt die Feuchtigkeit konventionell durch Kontakttrocknung auf heißen Zylinderoberflächen zu entfernen. Durch den Einsatz des OptiDry in der PM 5 sollen zukünftig leichtgewichtige Wellpappenrohpaper mit einem Flächengewicht von 60 g/m ² bis 100 g/m ² effizient und ressourcenschonend hergestellt werden und bei der Herstellung von Wellpappenverpackungen Rohpaper mit höherer Grammatursatz ersetzen, ohne an Qualität und Festigkeitseigenschaften zu verlieren. Der spezifische Energiebedarf pro Tonne erzeugtem Papier sinkt durch diese Technik um knapp 20 % von rund 0,48 t CO ₂ /t auf 0,38 t CO ₂ /t.			
Schlagwörter: Effizienz, Ressourcen, Verfügbarkeit, Energiereduzierung, CO ₂ , Impingement-Trocknung, Papiermaschine			
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 1 Elektronischer Datenträger: 1		Sonstige Medien: - Präsentation Internationales Münchner Papier Symposium (IMPS) 24/5/2022	

Report-Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: 3459	Project-No. NKa3 – 003459
Report Title: Papermachine PM 5 new – Drying device OptiDry	
Author/Authors (Family Name, First Name) Florian Schmid Lukas Steffel	Start of Project: 20.09.2019 End of Project: 31.10.2021
Performing Organisation (Name, Adress): Papierfabrik Palm GmbH & Co. KG Palm Allee 1 73432 Aalen	Publication Date: 22.03.2024 No. of Pages: 91
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and consumer protection.	
<p>Summary (max. 1.500 Characters):</p> <p>As part of the new construction of paper machine 5 at the Aalen mill, the topic of sustainability and resource efficiency was considered very intensively. In order to support the future ecologically sensible step towards reducing packaging materials, PM 5 is to produce very lightweight paper grades for the production of corrugated board packaging. For this purpose, the very sensitive lightweight grades have to be produced very efficiently (less breaks) and with little energy.</p> <p>To ensure high availability of the paper machine, the OptiDry drying unit incl. Transferbelt from Valmet was installed. With the installation in PM 5, this impingement drying system will be used for the first time for the production of corrugated base paper. This involves blowing hot air at high speed onto the paper surface instead of removing the moisture conventionally by contact drying on hot cylinder surfaces.</p> <p>By using the OptiDry in the PM 5, lightweight corrugating mediums will be produced efficiently and in a resource-saving manner in the future and will replace base papers with higher grammage in the production of corrugated board packaging without losing quality and strength properties. The specific energy requirement per tonne of paper produced is reduced by almost 20 % from around 0.48 t CO₂/t to 0,38 t CO₂/t by this technology.</p>	
<p>Keywords:</p> <p>efficiency, resources, reduction of energy consumption, CO₂, impingement drying, paper machine</p>	

Inhaltsverzeichnis

1.	Abkürzungs-/ Erklärungsverzeichnis	1
2.	Einleitung.....	2
2.1	Kurzbeschreibung des Vorhabens	2
2.2	Kurzbeschreibung des Unternehmens	3
2.3	Ausgangssituation	4
2.4	Grundlagen Papiermaschine	6
2.4.1	Aufbau einer Papiermaschine	6
2.4.2	Bespannungen Papiermaschine	12
2.4.3	Regelung der Bespannungen.....	13
2.4.4	Abrisserkennung der Papierbahn und Berechnung des „Zugs“	14
3.	Vorhabensumsetzung.....	15
3.1	Ziel des Vorhabens	15
3.2	Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten).....	16
3.2.1	Problem bei der Herstellung leichtgewichtigen Wellpappenroh-papiers.....	16
3.2.2	Lösung der Probleme durch OptiDry Twin-Trocknungseinheit mit Transferbelt.....	18
3.2.3	Transferband	23
3.2.4	OptiDry Twin Trocknungseinheit.....	24
3.2.5	Wärmerückgewinnung	28
3.3	Umsetzung des Vorhabens.....	30
3.4	Behördliche Anforderungen (Genehmigung).....	32
3.5	Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	32
3.6	Konzeption und Durchführung des Messprogramms	34
4	Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung	35
4.1	Bewertung der Vorhabensdurchführung	35
4.1.1	Herausforderungen und Hintergrundinformationen	35
4.1.2	OptiDry / Transferband	37
4.1.3	Installation OptiDry / Transferband	38
4.1.4	Inbetriebnahme (IBN) des OptiDry / Transferband.....	40
4.2	Stoff- und Energiebilanz	42
4.2.1	Laufzeitwirkungsgrad/ Abrisshäufigkeit der PM 5	43
4.2.2	Trockengehalt nach OptiDry Twin.....	46
4.2.3	Einsatz Transferband	47
4.2.4	Qualitätsparameter / Festigkeiten / Substitution / Nachhaltigkeit	48
4.2.5	Substitution durch leichtwichtigere Sorten	52

4.2.6	Erste Produktion Wellenstoff 60 g/m ²	55
4.2.7	Wasser- / Abwasserverbrauch	60
4.2.8	Energieverbräuche	63
4.3	Umweltbilanz.....	65
4.4	Wirtschaftlichkeitsanalyse	73
4.5	Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren.....	76
5	Übertragbarkeit.....	78
5.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	78
5.2	Modellcharakter/ Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens / der Anlage / des Produkts).....	81
6	Zusammenfassung / Summary.....	82
6.1	Zusammenfassung.....	82
6.2	Summary	85
7	Abbildungsverzeichnis.....	88
8	Tabellenverzeichnis	90
9	Literatur	91
10	Anhang	91

1. Abkürzungs-/ Erklärungsverzeichnis

BWS	Berstwiderstand = Bertfestigkeit
CEPI	Confederation of European Paper Industries
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CKD	Completely Knocked Down
Curl	Bezeichnung für aufrollende Ränder
DANN	Bezeichnung des Valmet Prozessleitsystem (Dynamic Network of Applications)
ECT	Edge Crush Test (Kantenstauchwiderstand)
ERP	Enterprise-Resource-Planning
IBN	Inbetriebnahme
I/O	Input/ Output (dt. Eingang/ Ausgang)
KPI	Key Performance Indicator (dt. Schlüsselkennzahlen)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
OD(T)	OptiDry (Twin) (Impingement Trocknung Fa. Valmet)
PM	Papiermaschine
PU/ PS Schaum	Polyurethan / Polystyrol Schaum
ROI	Return of Investment (Amortisationsberechnung)
SCT CD	Short Crush Test Cross Direction (Streifenstauchwiderstand in Querrichtung zur Laufrichtung Papiermaschine)
t	Tonnen
TG	Trockengruppe
TZ	Trockenzylinder
ULWCCM®	Ultra Light Weight Corrugated Case Material®
ULCCM®	Ultra Light Corrugated Case Material®
VDW	Verband der Wellpappen-Industrie e.V.
VTP	Vor-Trocken-Partie

2. Einleitung

2.1 Kurzbeschreibung des Vorhabens

Die Papierfabrik Palm GmbH & Co. KG investiert an ihrem Stammsitz in Aalen (Baden-Württemberg) in eine komplett neue Papierfabrik – Stoffaufbereitung, Papiermaschine, Rollenschneider inklusive vollständiger Peripherieanlagen (Rohstofflager, Rollenlager, Kläranlage mit integrierter Biogasanlage und Biogasaufbereitung), neuer Infrastruktur und einem hocheffizienten Kraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), zur Herstellung von Wellpappenrohpaper aus Altpapier nach modernstem Standard. Wellpappenrohpaper ist Ausgangsprodukt für Verpackungen.

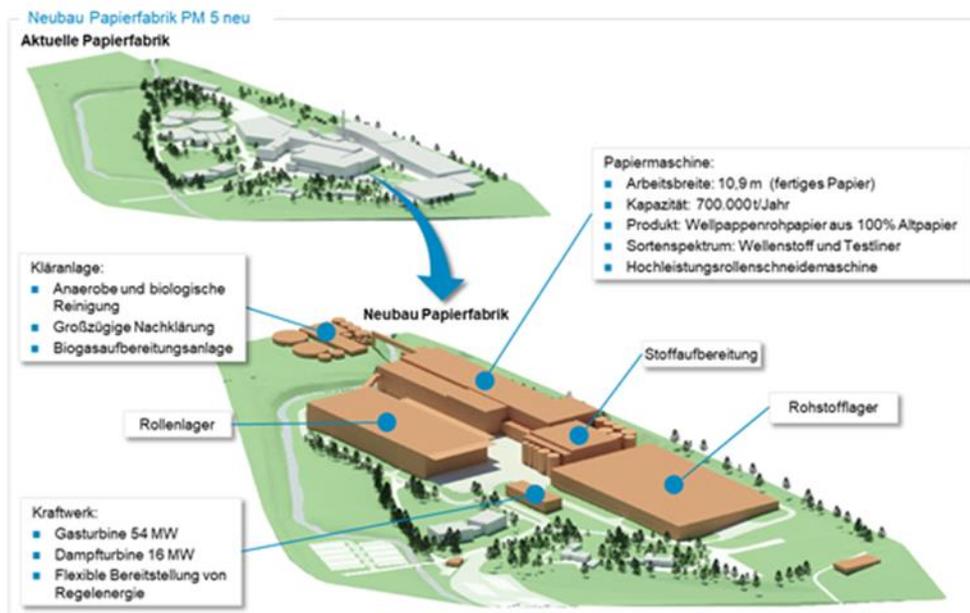


Abbildung 1: Projektdarstellung

Im Zusammenhang mit den Investitionen in die neue Papiermaschine (PM 5 neu) mit einer Produktionskapazität von 750.000 t/a beabsichtigt Palm, in eine über den gegenwärtigen Standard hinausgehende innovative Trocknungstechnologie zu investieren, welche die Herstellung von besonders leichtgewichtigem Wellpappenrohpaper (60 g/m^2) ermöglicht. Durch den Einsatz der innovativen Trocknungstechnologie kann das Flächengewicht des Wellpappenrohpapers und dadurch der Rohstoffeinsatz bei der Herstellung von Wellpappenrohpaper deutlich reduziert werden. Dabei verfügt das leichtgewichtige Wellpappenrohpaper über dieselbe Festigkeit wie schwerereres Wellpappenrohpaper (70 g/m^2). Dadurch können Verpackungen – bei

gleicher Festigkeit und Verwendungsfähigkeit – ressourcenschonender produziert und Verpackungsabfälle reduziert werden. Dies führt zu erheblichen CO₂-Einsparungen sowohl in der Papierproduktion selbst als auch in der weiteren Wirtschaft, insbesondere im Versandhandel und in der Logistik. Durch den geringeren Energiebedarf sinken die spezifischen Emissionen aus dem Stromverbrauch von rund 0,19 t CO₂/t auf rund 0,16 t CO₂/t, die Emissionen aus dem Dampfverbrauch sogar von rund 0,29 t CO₂/t auf rund 0,22 t CO₂/t. Insgesamt ergibt sich eine Reduktion um knapp 20 % von 0,48 t CO₂/t auf 0,38 t CO₂/t. Die Papiermaschine PM 5 neu kann auch ohne diese innovativen Investitionen vollumfänglich betrieben werden, dann jedoch ausschließlich zur Produktion von Wellpappenrohpapieren mit höherem Flächengewicht als 60 g/m².

2.2 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Papierfabrik Palm GmbH & Co. KG (im Folgenden: Papierfabrik Palm) ist Teil der Palm Gruppe. Die Palm Gruppe ist eines der großen Familienunternehmen in Deutschland im Bereich Papier- und Verpackungserzeugung und wird in der 5. Familiengeneration geführt. Die Geschäftsbereiche der Unternehmensgruppe umfassen im Wesentlichen die Produktion von Wellpappenrohpapier und Zeitungsdruckpapier sowie Verpackungen aus Wellpappe. Zur Palm-Gruppe gehören 5 Papierfabriken, 26 Wellpappenwerke und 2 Papier-Recyclingunternehmen mit insgesamt 4.000 Mitarbeitern und einem Gesamtumsatz von 1,7 Mrd. EUR (2021).

Die Papierfabriken verfügen nach dem Neubau des Standort Aalen mit der neuen PM 5 über eine Produktionskapazität von jährlich 900.000 t Zeitungsdruckpapier und 1.740.000 t Wellpappenrohpapier, die Wellpappenwerke produzieren jährlich rund 1.600 Mio. m² bzw. 700.000 t Wellpappenverpackungen. Die im Geschäftsbereich Wellpappenrohpapier hergestellten Produkte sind Ausgangsbasis für Wellpappenverpackungen und werden sowohl in der Gruppe selbst weiterverarbeitet als auch an Dritte vertrieben.

2.3 Ausgangssituation

Am Stammsitz der Papierfabrik Palm in Aalen wurden bis ins Jahr 2021 auf den drei Papiermaschinen PM 2 (Inbetriebnahme 1983), PM 4 (Inbetriebnahme 1968) und PM 5 (Inbetriebnahme 1974) jährlich rd. 350.000 t Wellpappenrohpapier aus Altpapier hergestellt. Diese Papiermaschinen kamen aufgrund ihres Alters und des Erhaltungszustandes an ihr technisches Ende. Sie wurden deshalb durch eine moderne Papiermaschine (PM 5 neu) mit einer Kapazität von jährlich bis zu 750.000 t Wellpappenrohpapier ersetzt, die im Juli 2021 in Betrieb ging.

Wellpappenverpackungen sind ein ideales Verpackungsgut mit vielen günstigen Eigenschaften: Das Produkt ist leicht, hat hohe dämpfende Eigenschaften, ist hervorragend stapelbar, gut bedruckbar, hygienisch einwandfrei, kann aus 100 % Recyclingmaterial hergestellt werden und ist selbst wieder zu 100 % recyclebar. Die Verbraucherwahrnehmung eines Produkts als ökologisch vorteilhaft hängt stark von der Art der Verpackung ab. Produkte, die in Wellpappenverpackungen angeboten werden, werden als umweltverträglich oder „öko“ wahrgenommen. Aus diesem Grund fokussieren sich Konsumgüterhersteller und der Einzelhandel unter ökologischen Aspekten verstärkt auf Wellpappenverpackungen und versuchen Kunststoffverpackungen zu ersetzen. Der Marktanteil von Wellpappenverpackungen nimmt seit Jahren stetig zu und wird weiterwachsen. Innovative Verpackungslösungen aus Wellpappe werden auch zunehmend in etablierten Industrien wie der Autoindustrie, z. B. für den Completely Knocked Down (CKD) Sektor, d. h. die Belieferung von neu anlaufenden Werken mit Teilen, verwendet und ersetzen dort Holz- und Metallverpackungen. Es wird außerdem erwartet, dass der zunehmende Internethandel und der globale Warenverkehr weiter zur Verbrauchssteigerung von Wellpappenverpackungen führen wird. Neue Anwendungsfelder für Wellpappenverpackungen, z. B. für den innerbetrieblichen Versand von Teilen zwischen Produktionswerken, der bisher unter Verwendung von Holzkisten und Metall-Boxen erfolgt, führen zu weiteren Wachstumsimpulsen für Wellpappenrohpa-piere. Die Nachfrage nach altpapierbasiertem Wellpappenrohpapier ist in den letzten fünf Jahren um rund 4,2 % p.a. gestiegen. Mittelfristig gehen Branchenverbände von einem Marktwachstum von rund 3,0 % p.a. aus.

Dabei geht der Trend bei den Wellpappenrohpapieren auch hin zu leichteren Sorten, was eine Reduktion des Gewichtes und des Volumens von Verpackungen ermöglicht. Für diese Produkte gibt es bisher nur ein beschränktes Angebot. Mit dem Aufbau geeigneter Produktionskapazitäten werden sich weitere Anwendungsfelder erschließen und das Wachstum weiter verstärken. Daher wurde die neue PM 5 so geplant, dass diese effizient und wirtschaftlich besonders leichtgewichtige Wellpappenrohpapersorten mit einem Flächengewicht von nur 60 g/m² herzustellen kann, welches über die gleichen Festigkeitseigenschaften verfügt wie Wellpappenrohpapier mit einem Flächengewicht von 70 g/m². Für dieses neuartige Wellpappenrohpapier („ultralightweight“ ulCCM®) existiert bereits heute ein breites Anwendungsspektrum. Neben den Vorteilen der reinen Gewichtsreduktion, die in erheblichem Umfang direkt Energie und Rohstoffe eingespart, lassen sich aus diesen Papieren zusätzlich filigranere Geometrien darstellen, die zu Materialeigenschaften führen, die es ermöglichen, deutlich energie- und rohstoffintensivere frischfaserhaltige Papiere, Vollpappen und sogar Kunststoffe zu ersetzen:

- Wellpappe mit kleineren Wellenarten kann Vollpappe ersetzen
- Zweiwellige Feinwellen können einwellige Grobwellen ersetzen – bei gleichen Stauchfestigkeiten und verbesserter Bedruckbarkeit
- Wellpappe mit größeren Wellenarten ergibt elastisches Polstermaterial, z. B. als Ersatz für Kunststoffpolster-Folien oder PU-/PS-Schaum

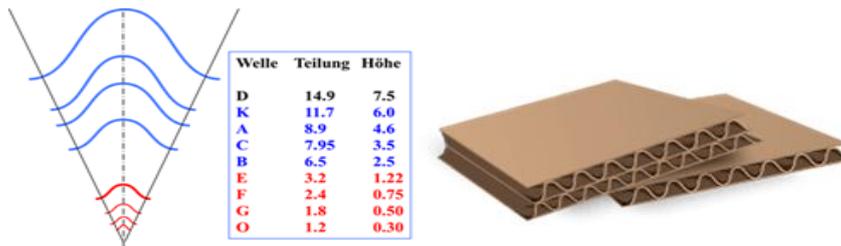


Abbildung 2: Wellarten für Wellpappen und deren Konstruktionsdaten

Die Herstellung von Wellpappenrohpapier mit einem Flächengewicht von nur 60 g/m² bei gleichzeitig hoher Festigkeit erfordert unter anderem Modifikationen am Trocknungsprozess der Papierbahn sowie an der Fördertechnik. Deshalb kommt erstmals bei der Wellpappenrohpapierherstellung eine innovative Trocknungstechnologie – die „OptiDry Twin“-Prallström-Trocknungseinheit der Firma Valmet (im Folgenden OptiDry) einschließlich eines besonderen Transferbelts zum Einsatz.

2.4 Grundlagen Papiermaschine

2.4.1 Aufbau einer Papiermaschine

Eine Papiermaschine lässt sich grundsätzlich in 5 Hauptsektionen aufteilen. Formerpartie (1), Pressenpartie (2) und Trockenpartie (3, Vor- und Nachtrocknenpartie), Stärkeauftragsaggregat (4, Sizer) und Aufrollung/ Finishing (5) (Abbildung 3).

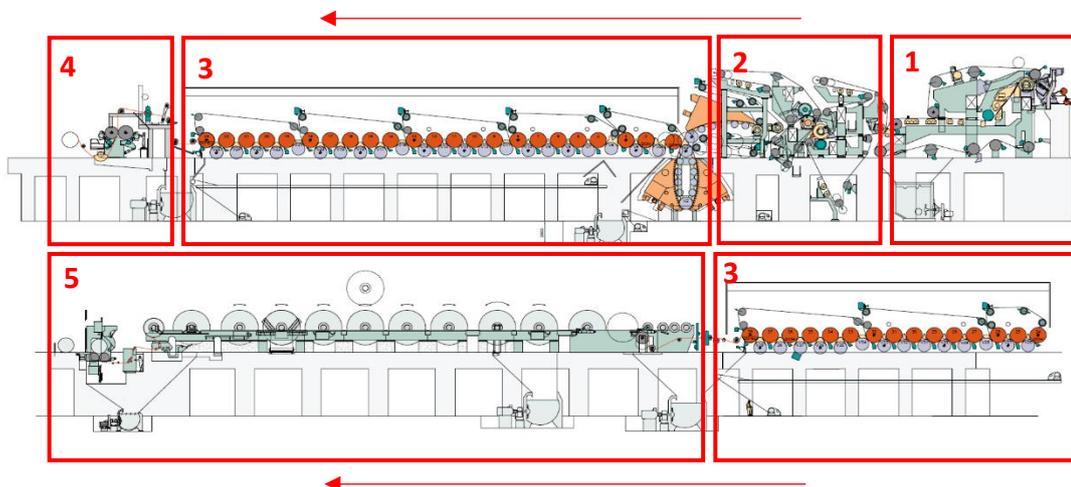


Abbildung 3: Papiermaschine 5 mit den 5 Sektionen (1 = Formerpartie / 2= Pressenpartie / 3 = Vor- und Nachtrocknenpartie / 4= Stärkeauftragsaggregat / 5 = Aufrollung / Finishing)

1. Sektion: Blattbildung in der Formerpartie

Jeder Papiermaschine geht eine Stoffaufbereitung voraus, in der am Ende eine von Fremdstoffen gereinigte Faser-Wasser-Suspension zur Blattbildung vorliegt. Diese Faser-Wasser-Suspension (1 % Faser zu 99 % Wasser) wird über einen sog. Stoffauflauf zwischen zwei gewebte Kunststoffsiebe gespritzt, durch die das Wasser anschließend mittels Vakuum entfernt wird. In diesem Bereich nach dem Stoffauflauf, wird das Faserfließ fixiert, sodass die Grundeigenschaften des Papiers unmittelbar nach dem Aufbringen der Faser-Wasser-Suspension auf das Sieb definiert sind. Am Ende der Formerpartie kann ein Trockengehalt des Papiers von bis zu 23% erreicht werden (Abbildung 4).

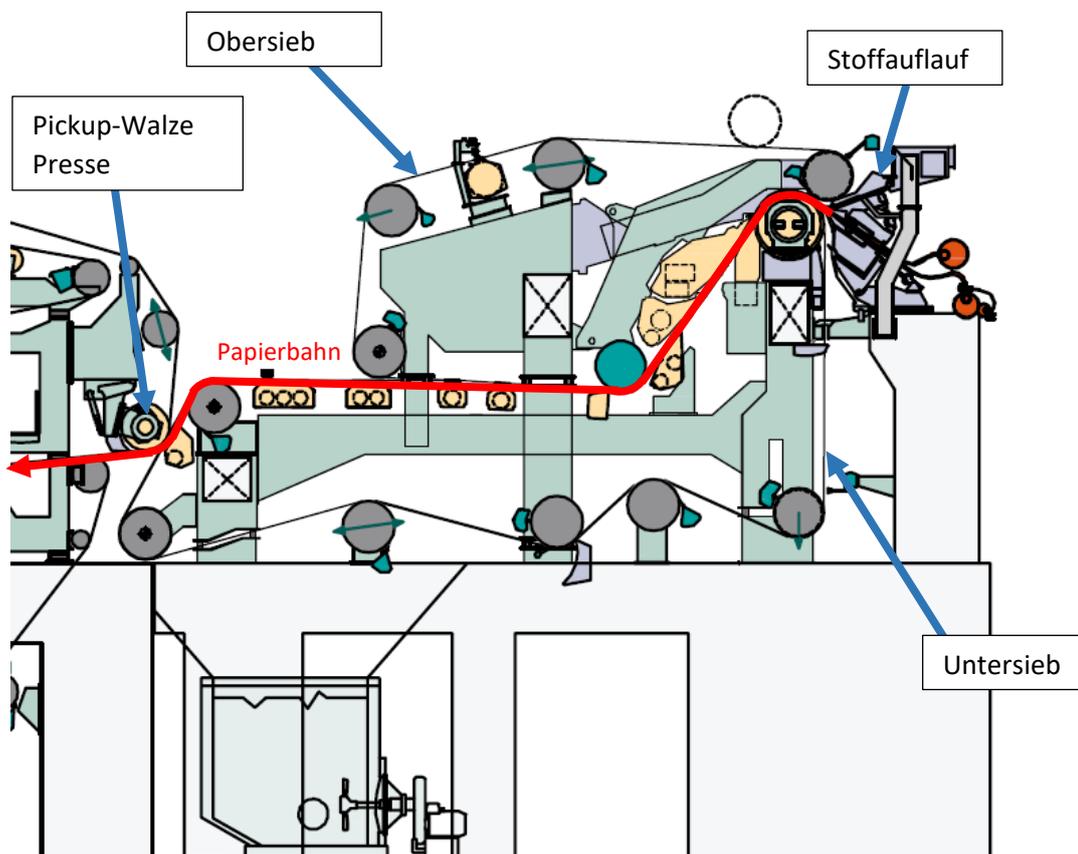


Abbildung 4: Formerpartie Papiermaschine (Blattbildung und Entwässerung durch Vakuum)

2. Sektion: Entwässerung in der Pressenpartie

Das Faserfließ aus der Formerpartie wird anschließend in die Pressenpartie überführt. Hier wird die Papierbahn zwischen endlosen Filzen durch mechanischen Druck im Nip zweier Walzen weiter entwässert. Dabei nehmen die Filze das Wasser auf und führen es aus der Presse. Mittels Vakuumsauger wird das Wasser aus den Filzen gesaugt, damit diese folgend wieder Wasser aufnehmen können. Der zu erreichende Trockengehalt nach einer Pressenpartie kann abhängig vom Pressenkonzept zwischen 52-56 % liegen (Abbildung 5).

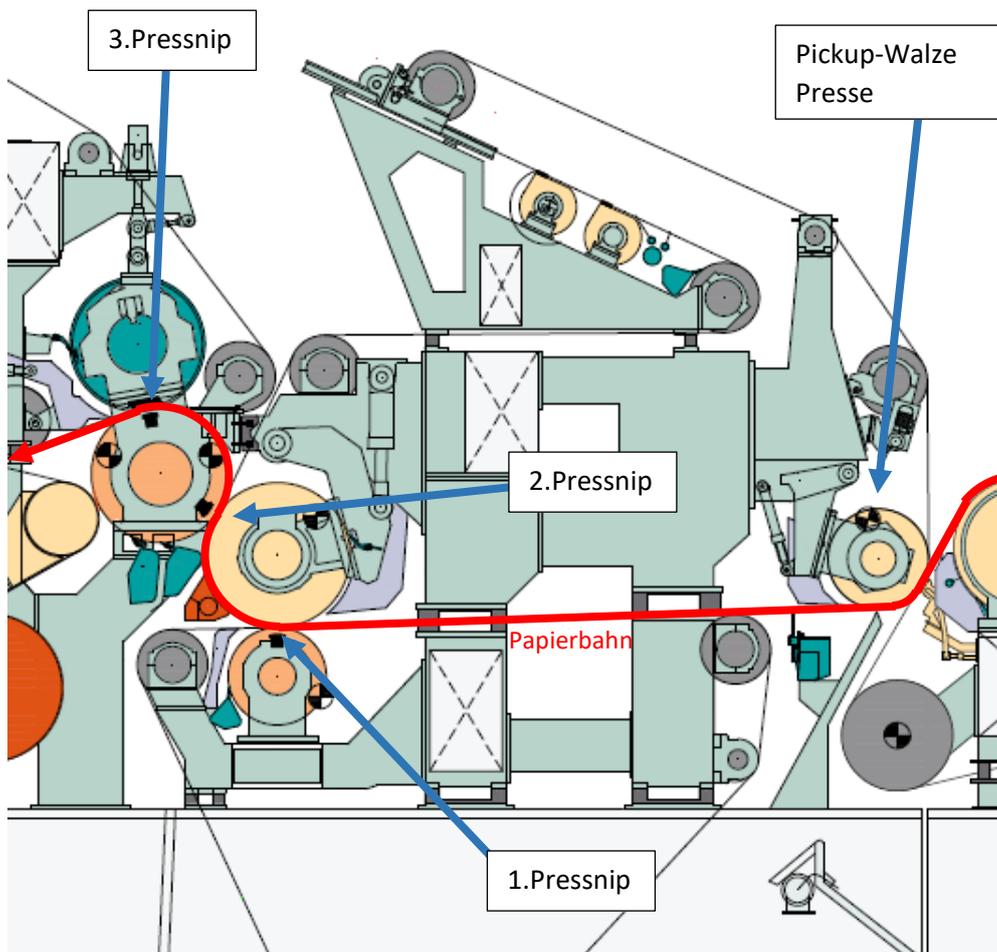


Abbildung 5: Pressenpartie (3-Nip Zentralwalzenpresse)

3. Sektion: Trocknung in der Trockenpartie

Die verbleibende Wassermenge im Papier kann nach der mechanischen Entwässerung nur noch thermisch entfernt werden. Das Fertigpapier soll am Ende der Papiermaschine einen Trockengehalt von ca. 92 % erreichen.

Dazu wird die Papierbahn in der Trockenpartie über dampfbeheizte Stahlzylinder geführt, deren heiße Oberfläche die Papierbahn trocknet (Abbildung 6).

Gewebte Kunststoffriesen führen zum einen die Papierbahn durch die Sektion von Zylinder zu Zylinder und pressen diese gleichzeitig auf die Zylinderoberfläche. Das verdampfte Wasser entweicht bei der Trocknung durch das gewebte Sieb. Damit die feuchte Luft nicht in die Papiermaschinenhalle gelangt, ist die Trockenpartie in einer Haube verschlossen, in der die feuchte Luft gesammelt und abführt wird. Die Restwärme der Abluft wird über Wärmetauscher wieder zurückgewonnen. Durch die Abführung der feuchten Luft aus der Haube muss gleichzeitig frische, trockene Luft zugeführt werden. Diese wird über die Wärmetauscher durch die warme Abluft aufgeheizt.

Auf Grund der aufgetragenen Stärke, die in der folgenden Sektion erläutert wird, muss die Papierbahn zwei Mal getrocknet werden. Das Stärkeauftragsaggregat (Sizzer) ist in der Trockenpartie platziert, weshalb sich die Trockenpartie in eine Vortrockenpartie (vor dem Stärkeauftrag) und eine Nachtrockenpartie (nach dem Stärkeauftrag) aufteilt

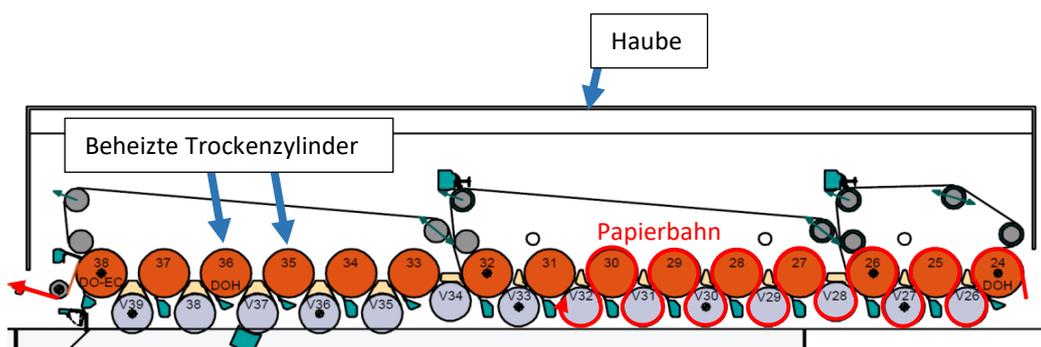


Abbildung 6: Lauf der Papierbahn in einer einreihigen Trockenpartie (oben: beheizte Trockenzylinder, unten: vakuumbeaufschlagte Walzen zur Führung der Papierbahn)

4. Sektion: Stärkeauftrag

Um Wellpappenrohmpapiere an die anspruchsvollen Belastungen für Wellpappenverpackungen anzupassen und die Widerstandsfähigkeit zu verbessern, wird auf das Rohpapier eine Suspension aus thermisch/enzymatisch modifizierter Stärke aufgetragen. An der PM 5 kommt dafür ausschließlich native Weizenstärke zum Einsatz. Die Stärke muss dazu zunächst aufgeköcht werden damit diese quellen und verkleistern kann. Erst hierdurch ist die Stärke in der Lage, in Lösung zu gehen, und die funktionalen Gruppen für die Interaktion mit den Zellulosefasern werden zugänglich. Durch die Zugabe eines Enzyms (α -Amylase) werden die Molekülketten gezielt gekürzt um die Viskosität der Lösung zu beeinflussen. Der Auftrag der Stärke geschieht über ein Oberflächenauftragsaggregat. Dabei wird die Papierbahn zwischen zwei Walzen hindurchgeführt. Die Walzenoberfläche wird auf beiden Seiten mit der modifizierten Stärkesuspension benetzt, welche beim Passieren des Walzennips von der porösen Papierstruktur aufgesaugt wird. Die Stärkemoleküle geben dem Papier als zusätzliche Verbindung zwischen den Fasern verbesserte technische Festigkeitseigenschaften (Abbildung 7).

Da die Stärke als Suspension aufgetragen wird, muss das Papier anschließend in der Nachtrockenpartie erneut getrocknet werden.

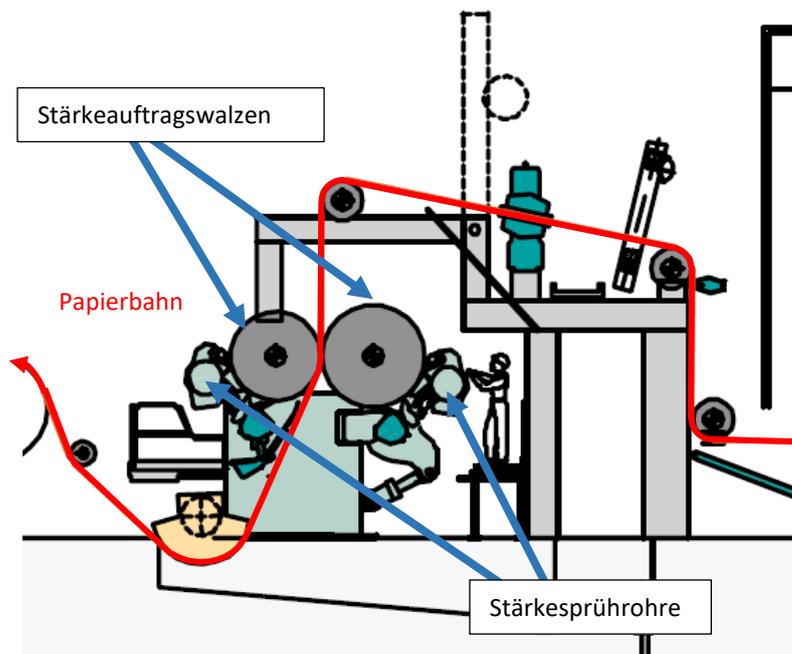


Abbildung 7: Stärkeauftragsaggregat mit Auftragswalzen und Stärkesprührohre

5. Sektion: Aufrollung/Finishing

Das fertige getrocknete Papier wird am Ende der Papiermaschine als endlose Bahn auf schweren Stahlwalzen aufgerollt. Um das Papier jedoch an die Kunden versenden zu können ist es notwendig Papierrollen in den kundenspezifischen Anforderungen (Durchmesser, Breite, Gewicht) zu produzieren.

Dafür wird die sogenannte Mutterrolle von der Stahlwalze abgewickelt und auf Papierhülsen aufgerollt. Längsausgerichtete Tellermesser trennen die Bahn beim Umrollen auf die kundenspezifische Breite (Abbildung 8).

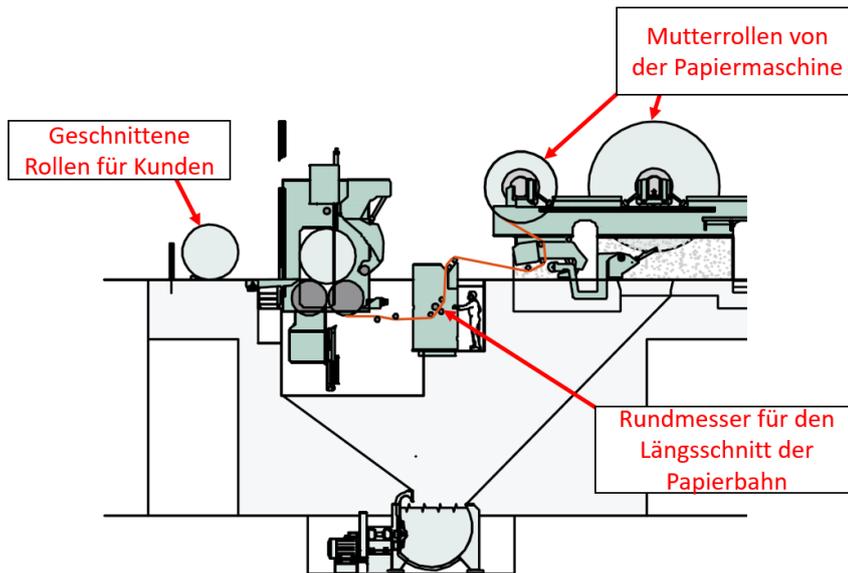


Abbildung 8: Finishing/Umrollung der Papierbahn von der großen Mutterrolle auf die kundenspezifischen Rollen auf Papierhülsen für den Versand.

2.4.2 Bespannungen Papiermaschine

Elementare Bestandteile einer Papiermaschine sind neben den verschiedenen Walzen die Bespannungen, auf denen das Papier gebildet, entwässert, transportiert und getrocknet wird. Dabei sind in allen Sektionen verschiedene Anforderungen an die Bespannungen gegeben, sodass jede Position ein eigenes Design hat.

Grundsätzlich sind die Bespannungen der PM flächige Gewebestrukturen, die durch Kunststoffäden auf Webstühlen gefertigt werden.

Eine Besonderheit in der Presse ist, dass die Bespannungen genadelte Filze sind. Diese transportieren die Papierbahn durch den mechanisch gepressten Walzennip und nehmen das Wasser direkt auf.

Das Transferband von der Presse zur OptiDry Twin Einheit ist dagegen ein flaches Elastomerband, das eine geschlossene Struktur hat. Dies ist nötig, da das Transferband um die Zentralwalze läuft und somit durch den zweiten und dritten Pressnip sehr hohen Pressdrücken ausgesetzt ist (2.4.2 Bespannungen Papiermaschine). Ein Filz oder Sieb sind hier ungeeignet. Das Transferband dient einzig dem Transport und der Unterstützung der Papierbahn von der Presse in den OptiDry Twin. Auf Grund der massiven Bauweise ist das Gewicht des Transferbands, im Gegensatz zu einem gewebten Sieb oder Filz, sehr hoch und bedarf erheblichen maschinenbaulichen und Instandhaltungstechnischen Aufwand (Entfernung des alten und Installation des neuen Transferbands).

2.4.3 Regelung der Bespannungen

Die Bespannungen der Papiermaschine laufen über Walzen und werden mit einer Spannvorrichtung auf Zug gebracht. Damit Siebe und Filze nicht gegen die Stuhlungen, sondern zentral laufen, werden diese mittels Messung und Regelung gesteuert.

Auf beiden Seiten der Papiermaschine hat jede Bespannung eine Messung, die den Rand der Bespannung erkennt. Läuft diese etwas aus der Mitte, wird das erkannt und eine Regulierwalze lenkt die Bespannung wieder zurück an Ihre optimale Position.

Die Laufreglung der Bespannungen besonders im Former- und Pressenbereich ist sehr wichtig für einen guten und störungsfreien Lauf der Papierbahn. Nicht zentral laufende Siebe und Filze können zu Störungen in der Blattstruktur führen und einen Abriss der Papierbahn erzeugen (Abbildung 9).

Im Falle einer Fehlmessung oder eines Ausfalls eines Sensors kann es vorkommen, dass das Verlaufen der Bespannung nicht erkannt wird und am Ende die Stuhlung streift. Wird dies nicht rechtzeitig erkannt, wird die Bespannung beschädigt und muss getauscht werden. Das hat im ungeplanten Falle Ausfallzeiten von 4-10 Stunden zur Folge.

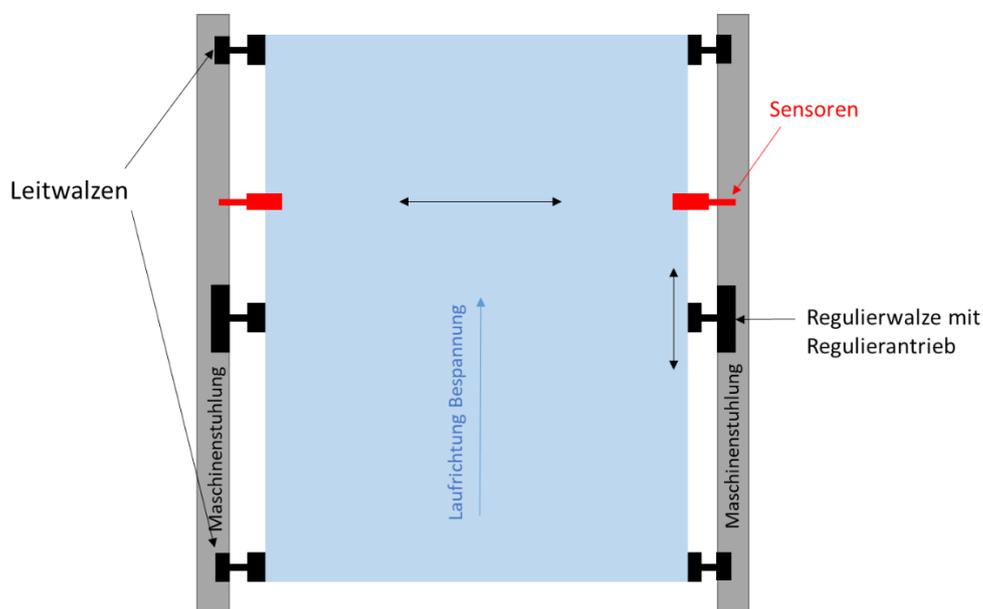


Abbildung 9: Skizze einer Bespannungsregulierung mit Sensoren zur Erkennung eines Verlaufens

2.4.4 Abrisserkennung der Papierbahn und Berechnung des „Zugs“

Die Papierbahn läuft im regulären Produktionsprozess über die gesamte Arbeitsbreite der Papiermaschine vom Stoffauflauf, über die Formerpartie, Pressenpartie bis hin zur Aufrollung. Bei Defekten oder sonstigen Geschehnissen, die die Papierbahn beeinflussen, kann es zu Abrissen der Papierbahn kommen, welche immer unter leichtem Zug steht.

Das heißt, dass es zwischen allen Sektionen bzw. Bespannungsgruppen leichte Geschwindigkeitsdifferenzen gibt, die die Papierbahn immer auf Spannung halten. Dies soll die Faltenbildung verhindern und einen geraden Lauf der Papierbahn garantieren. Diese Geschwindigkeitsdifferenzen werden auch „Zug“ oder „Züge“ genannt. Die Angabe ist immer die prozentuale Mehrgeschwindigkeit der folgenden Gruppe.

Bspw. hat eine Gruppe in der Trockenpartie eine Geschwindigkeit von 1750m/min und die darauffolgende Gruppe eine Geschwindigkeit von 1757m/min, dann ergibt die Geschwindigkeitsdifferenz von 7m/min einen Zug von 0,4% (Abbildung 10).

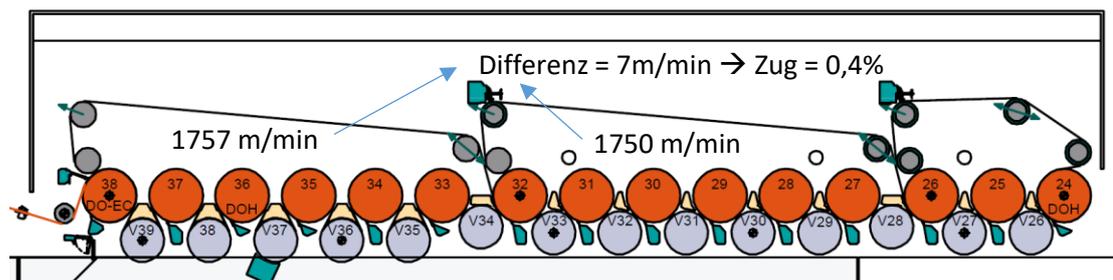


Abbildung 10: Beispielrechnung eines Zugs zwischen zwei Bespannungsgruppen in der Trockenpartie

Wird die Papierbahn zwischen zwei Bespannungsgruppen nicht von einer Bespannung gestützt, so spricht man von einem „freien Zug“. Freie Züge sind die kritischsten Stellen einer Papiermaschine, an der die Papierbahnabriss entstehen können.

Ein Papierbahnabriss kann grundsätzlich überall in der Papiermaschine auftreten, an dem die Papierbahn frei verläuft. Sollte es zu solch einem Abriss kommen, muss dieser in Millisekunden erkannt und Papierbahn abgeschlagen werden. Andernfalls wird die Papierbahn ungebremst in die folgende Bespannung gedrückt und führt zu Schäden an Bespannungen oder sonstigen Bauteilen. Dafür sind in der Papiermaschine an allen nötigen Stellen Abrissensoren installiert, die Papierbahnabriss detektieren.

Wird ein Abriss erkannt, dann sind an verschiedenen Stellen zwischen den Hauptsektionen der Papiermaschine, Pulper im Keller installiert, in die die Papierbahn geführt werden kann (Abbildung 3). Abriss-spritzrohre spritzen mit hohem Druck die Papierbahn in diese Pulper. Dies geschieht immer an der Stelle, die am nächsten vor dem Abriss-sensor und somit des Papierbahnabrisses liegt.

Die Papierbahn wird im Pulper wieder aufgelöst und in die Vorratstürme vor die Papiermaschine gepumpt, um wieder für die Papierproduktion verwendet werden zu können.

3. Vorhabensumsetzung

3.1 Ziel des Vorhabens

Aktueller Stand der Technik ist Wellpappenrohpapier mit einem Flächengewicht von 80 g/m². Dieses ist am Markt in großen Mengen verfügbar. Auch die Produktion von Wellpappenrohpapier mit einem Flächengewicht von 70 g/m² ist technisch möglich und wird von wenigen Papierfabriken bereits praktiziert. Zur Herstellung von Wellpappenrohpapier mit einem Flächengewicht von 60 g/m² (ULCCM[®]) gab es bisher lediglich Versuche auf bestehenden Papiermaschinen. Die Produktion ist dort zwar theoretisch möglich, aber mit einem hohen spezifischen Energie- und Chemikalieneinsatz verbunden. Außerdem läuft der Prozess instabil, was zu häufigen Abrissen der Papierbahn führt. Eine effiziente und wirtschaftliche Produktion ist somit nicht möglich.

Die neue PM 5 wurde von Beginn an speziell für leichtgewichtige Sorten konzipiert, mit dem Ziel, neue Maßstäbe in Bezug auf das minimale Flächengewicht zu setzen. So sollte erstmals die Produktion von Wellpappenrohpapier mit einem Flächengewicht von 60 g/m² ermöglicht werden. Um damit bei der Weiterverarbeitung höhergewichtige Sorten ersetzen zu können, wurde außerdem die Anforderung gestellt, dass die Festigkeit der eines Rohpapiers mit 70 g/m² Flächengewicht entspricht. Gleichzeitig muss aber auch eine hohe Prozessstabilität erreicht werden, um eine effiziente und wirtschaftliche Produktion zu ermöglichen.

3.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Die vorstehend genannten Ziele bzw. Effekte werden durch den Einsatz der OptiDry-Trocknungstechnologie und eines darauf abgestimmten Transferbandes (Transferbelt) erreicht, durch den die Herstellung von leichtgewichtigen Wellpappenrohreppapier mit einem Flächengewicht von 60 g/m^2 , das über dieselbe Festigkeit wie Wellpappenrohreppapier mit einem Flächengewicht von 70 g/m^2 verfügt, möglich wird.

3.2.1 Problem bei der Herstellung leichtgewichtigen Wellpappenrohreppapiers

Ein zentrales produktionstechnisches Schlüsselproblem der altpapierbasierten Papierproduktion ist die Überführung des flüssigen Faservlieses in eine gleichmäßige und abrissfreie Papierbahn für Wellpappensorten mit sehr niedrigen Flächengewichten. Der kritische Prozessschritt tritt ein, sobald das flüssige Faservlies die Pressenpartie mit einem Trockengehalt von $> 50\%$ verlässt und als Papierbahn abrissfrei in die Trockenpartie überführt werden muss.

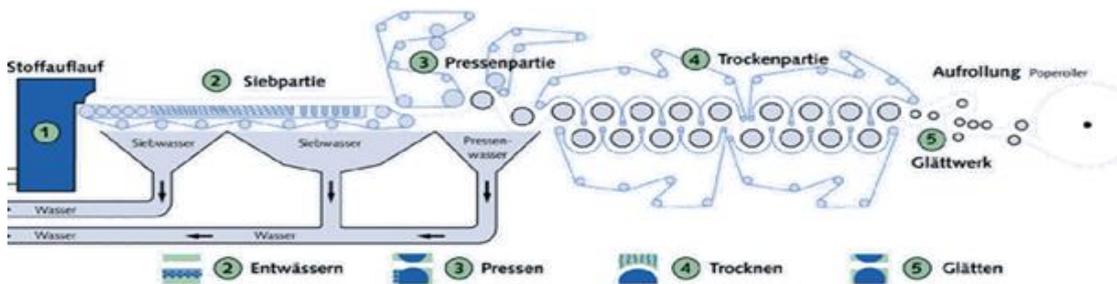


Abbildung 11: vSchema der Prozesse in der Papierherstellung (Quelle: VDP, 2010)

Erst mit weiter sinkendem Wasseranteil, welcher durch den Trocknungsprozess in der Trockenpartie erreicht wird, wird die Papierbahn zunehmend belastungsfähiger und reißfester.

Die maßgebliche Papiermaschinenektion zur Trockengehaltssteigerung ist die Pressenpartie. In dieser wird mittels mechanischen Drucks zwischen Presswalzen Wasser aus dem Faservlies entfernt und dieses anschließend mit Filzen abtransportiert.

Je niedriger das Flächengewicht der Papierbahn, umso schwieriger ist es, den Bahnlauf (Abbildung 12, rote Linie) problemlos durch diese zu gestalten. Vor allem der sogenannte „freie Zug“ (Abbildung 12, blauer Pfeil) von der Zentralwalze in die Trockenpartie ist äußerst problematisch und stellt Papiermacher immer wieder vor große Herausforderungen, da in diesem Abschnitt die Papierbahn ungestützt von der Zentralwalze abgezogen werden muss.

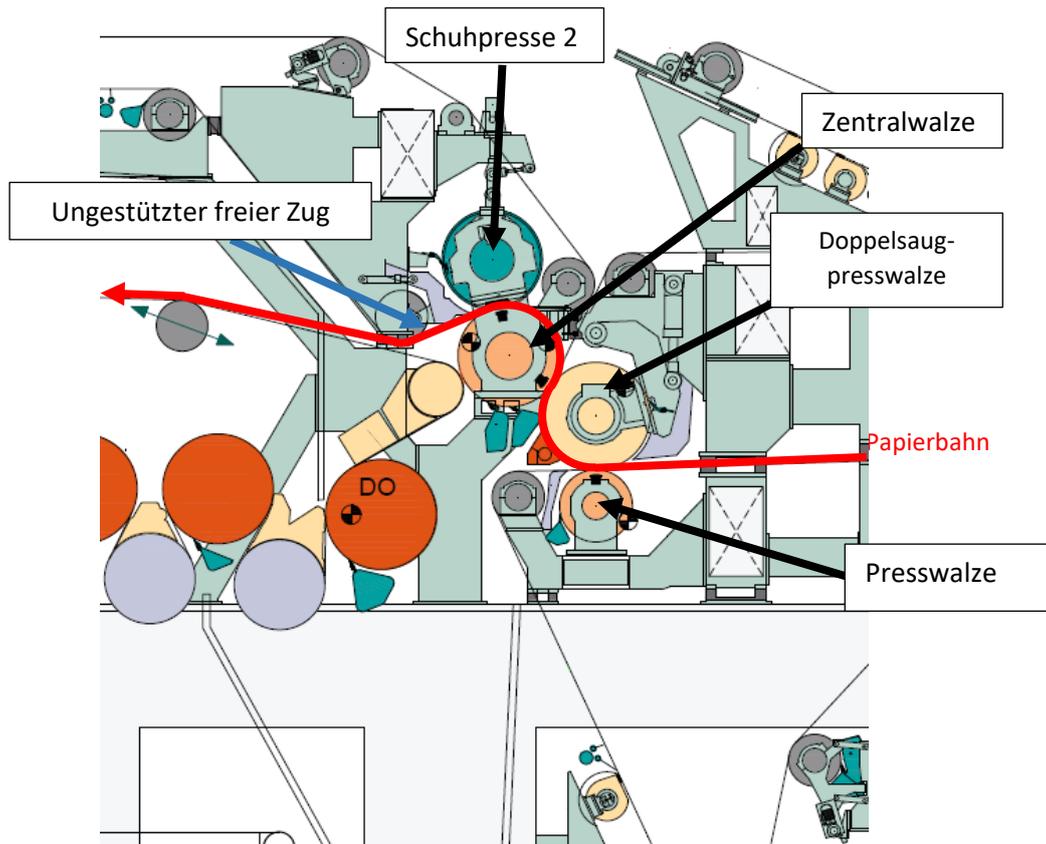


Abbildung 12: Konventionelle Drei-Nip-Press mit freiem Zug der Papierbahn zwischen Presse und Trockenpartie

Außerdem besitzt die Papierbahn an diesem Übergang von der Pressen- in die Trockenpartie noch wenig initiale Nassfestigkeit. Dies führt zu Problemen beim neuen Aufbringen der Papierbahn auf die Papiermaschine nach einem Abriss, welcher an einer modernen Papiermaschine für leichtgewichtige Papiere durchschnittlich 3-5 mal am Tag vorkommt. Grundsätzlich gilt: Je höher das Flächengewicht und je langsamer die Laufgeschwindigkeit der Papiermaschine, desto seltener kommt es zu Abrissen. Papiermaschinen mit hoher Laufgeschwindigkeit und niedrigem Flächengewicht wie die neue PM 5 sind somit besonders anfällig für Abrisse.

Folglich gilt es folgende technologische Aufgaben zu lösen:

- Eine gestützte Abnahme der Bahn nach der Zentralwalze und Vermeidung eines freien Zuges.
- Eine schnelle Steigerung der initialen Nassfestigkeit durch alternative Trocknungsmethoden zu der herkömmlichen Zylindertrocknung.
- Verhinderung von Ablagerungen und Anhaftungen der Papierbahn an den ersten Trockenzylinderoberflächen durch Beschichtungen aus Wolframcarbit und PTFE

3.2.2 Lösung der Probleme durch OptiDry Twin-Trocknungseinheit mit Transferbelt

Diese Probleme können durch die innovative und patentierte „OptiDry Twin“-Prallström-Trocknungseinheit und einen besonderen Transferbelt der Firma Valmet gelöst werden.

Dabei wird eine gestützte Abnahme der Bahn nach der Zentralwalze und damit die Vermeidung eines freien Zuges durch die Installation eines besonderen Transferbelts (Abbildung 13) erreicht. Dieses Band sorgt für einen ruhigen, faltenfreien Bahnlauf von der Pressenpartie in die Trockenpartie ohne freien Zug.

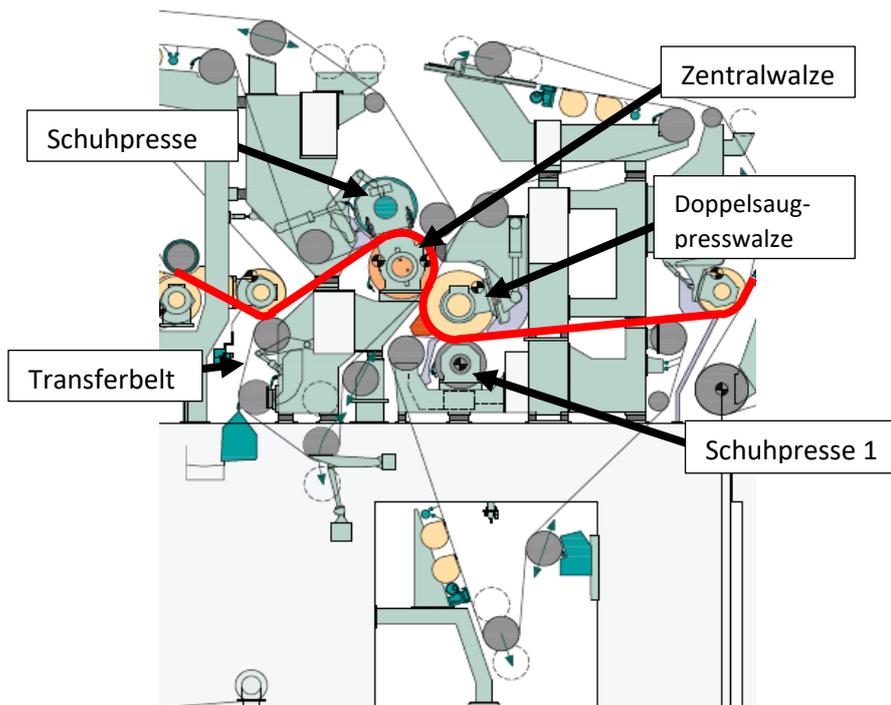


Abbildung 13: Papierbahnlauf (rot) mit Transferbelt

Die schnelle Steigerung der initialen Nassfestigkeit wird durch die innovative sog. Prallström-Trocknungstechnologie (eng. „*Impingement*“-Trocknung) mittels Heißlufttrocknung erreicht.

In herkömmlichen Papiermaschinen wird das Papier getrocknet, indem die Papierbahn slalomartig über mehrere mit Dampf beheizte Trocknungszyylinder läuft, wobei das im Papier enthaltene Wasser verdampft (vgl. Abbildung 6).

Bei der Heißlufttrocknung dagegen wird die Wärme per Konvektion übertragen. Luft wird mittels Gas erhitzt und mit hoher Geschwindigkeit auf die Papieroberfläche aufgeblasen (Abbildung 14; Abbildung 15). Der Hauptunterschied zur konventionellen Zylindertrocknung besteht darin, dass die Bahn nicht in Kontakt mit einer heißen Oberfläche steht, was insbesondere am Beginn der Trockenpartie ein großer prozesstechnischer Vorteil ist. Anstatt Ventilationsluft lediglich als Medium zum Feuchtetransport aus der Trockenpartie heraus und damit zur Unterstützung der Zylindertrocknung zu benutzen, dient sie bei der *Impingement*-Trocknung als eigentliches Trocknungsmedium. Bei Temperaturen von bis zu 350 °C und hohen Blasgeschwindigkeiten von ca. 90 m/s lässt sich eine sehr energieeffiziente Trocknung darstellen. Diese Methode der *Impingement*-Trocknung (Abbildung 14) erzielt eine deutliche höhere Verdunstungseffizienz mit bis zu 5-fach höheren Werten als die konventionelle Zylindertrocknung.

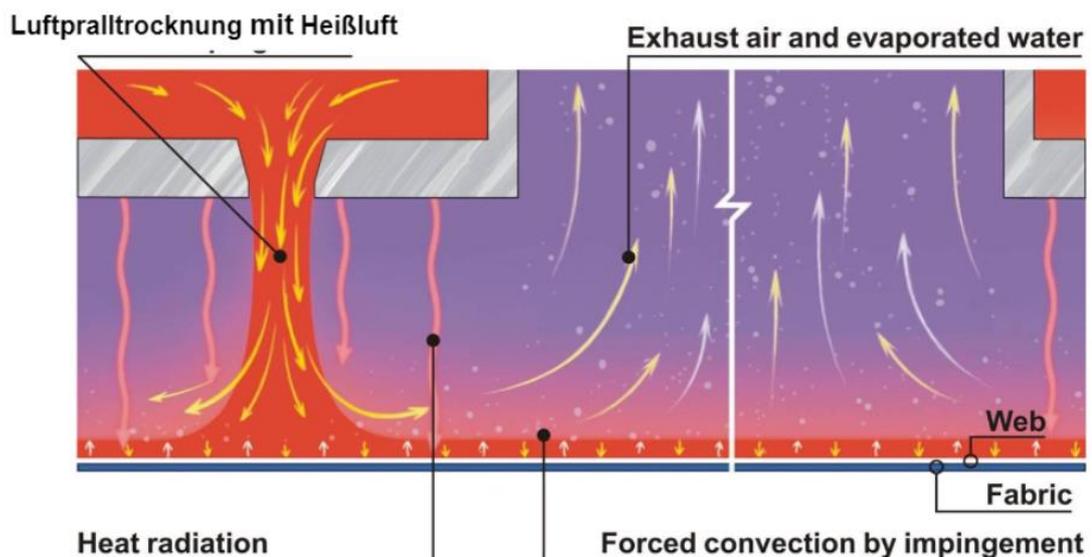


Abbildung 14: Darstellung der *Impingement*-Trocknung (Quelle: Juppi et al., „Das Papier“ – Beitrag: Moderne Trocknungsverfahren für Papier und Karton (2009))

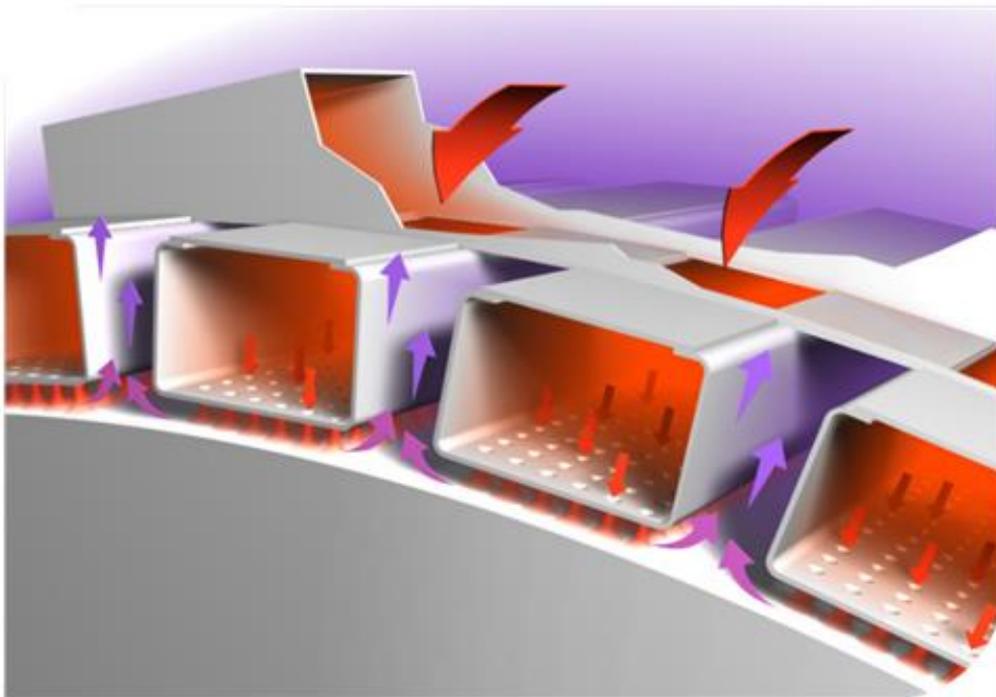


Abbildung 15: Prinzip der Impingement Trocknung des OptiDry Twin (Quelle: Valmet)

Das Abgas mit einer gewissen Restfeuchte wird nach erfolgter Wärmerückgewinnung einem Kamin über Dach zugeführt und abgeleitet. Die Abwärme wird durch eine dreistufige Wärmerückgewinnung zum Vorwärmen des Heiß- und Warmwasserkreislaufs, sowie des Siebwasser 1, verwendet. Die Papierbahn wird nach dem OptiDry in der einreihigen Trockenpartie über dampfbeheizte Trockenzylinder geführt (Abbildung 18). Trockensiebe drücken die Papierbahn an die Trockenzylinder und stützen sie in den einreihigen Trockengruppen um die untenliegenden Umlenkwalzen. Die Trockenpartie ist vollständig mit einer Trockenhaube eingehaust. Der Trocknungsvorgang ist eine Kombination von Kontakt- und Konvektionstrocknung. Durch den Kontakt von Papier und Zylinderoberfläche erfolgt die Verdampfung des in der Papierbahn enthaltenen Wassers. Die Heizung der Trockenzylinder wird durch die Kondensationswärme des zugeführten Dampfes erreicht. Durch Einbringung von heißer Zuluft in die durch die Trockenhaube eingehauste Trockenpartie, wird sowohl die Papierbahn durch Konvektion getrocknet, als auch der Wasserdampf mit der feuchten Abluft abgeführt.

Die Valmet OptiDry-Trocknungseinheit stellt eine eigenständige Anlagenkomponente dar, die in Papiermaschinen integriert wird, indem einige der Stahlzylinder der bestehenden Trockeneinheit der jeweiligen Papiermaschine entfernt und durch die OptiDry-Trockeneinheit ersetzt werden.

Dabei kann die Integration einer OptiDry-Trocknungseinheit in eine Papiermaschine auf verschiedene Arten erfolgen: vertikal, horizontal oder beidseitig (Abbildung 16)

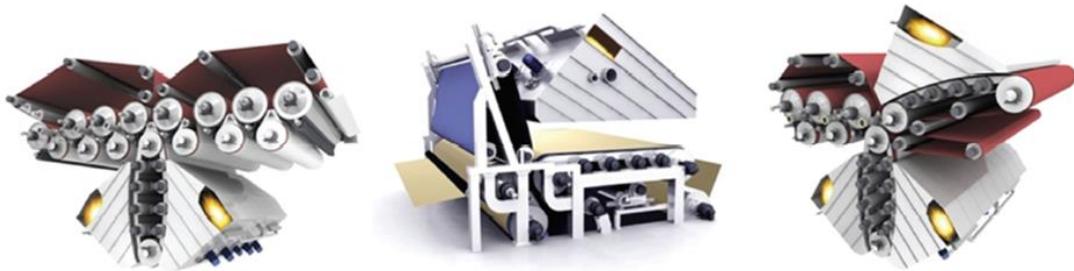


Abbildung 16: OptiDry-Arten (v.l.n.r.) - OptiDry Vertical, OptiDry Horizontal, OptiDry Twin

Die Integration einer OptiDry-Trocknungseinheit in die PM 5 neu lässt sich anhand der beiden folgenden (Abbildung 17; Abbildung 18) erkennen.

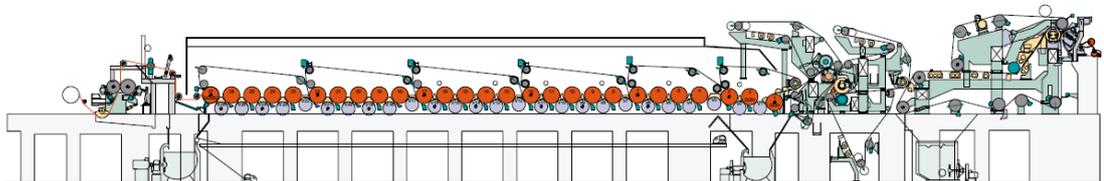


Abbildung 17: PM 5 neu ohne OptiDry

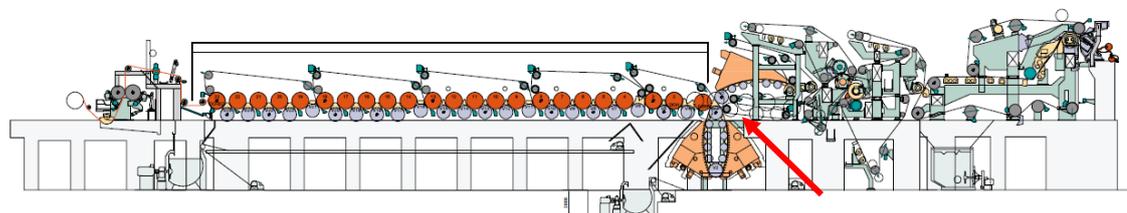


Abbildung 18: PM 5 neu mit OptiDry Twin (Pfeil)

Ohne Einsatz der *Impingement*-Trocknung besteht im Prozess der konventionellen Zylindertrocknung regelmäßig das Problem von anhaftendem Faserstoff an den ersten Trockenzylindern. Insbesondere bei sehr leichten Sorten sind häufig Papierbahnabrisse die unerwünschte Folge und verhindern die Produktion von gleichmäßigen, stabilen und somit für die Weiterverarbeitung geeigneten Wellpappenrohpa-pieren mit Flächengewichten unter 70 g/m².

Die *Impingement*-Trocknung hingegen erzielt eine deutlich höhere Verdunstungseffizienz und kann im vorderen Teil der Trockenpartie als teilweises Substitut der konventionellen Zylindertrocknung eingesetzt werden, welche dann erst zur Nach-trocknung eingesetzt wird. Am Ausgang der *Impingement*-Trocknung erreichen auch die Papierbahnen von sehr leichten Wellpappenrohpa-piersorten bereits Trockengehalte von bis zu 60 % und damit bereits eine ausreichend hohe Festigkeit für die auftretenden Zugkräfte beim Übergang auf die ersten konventionellen Trocknungs-zylinder.

Durch die intensive Trocknung am Anfang der Trockenpartie hat das Verfahren das Potenzial, eine Beschichtung der ersten konventionellen Trockenzylinder obsolet zu machen. Da die OptiDry-Trocknungseinheit an der PM 5 zum ersten Mal an einer Papiermaschine für 100 % Recyclingpapier zum Einsatz kommt und somit noch keine Erfahrungen aus der Praxis vorliegen, hat man sich jedoch dafür entschieden, die Zylinder für die Inbetriebnahme zu beschichten. Wenn sich in den ersten Betriebsjahren die theoretischen Effekte in der Praxis bestätigen, kann über den Verzicht auf eine neue Beschichtung nachgedacht werden, sobald die aktuelle abgenutzt ist.

3.2.3 Transferband

Das grundsätzliche Design einer 3-Nip-Zentralwalzenpresse besteht auf folgenden Teilen (Abbildung 19 [links]):

- | | |
|-------------------------|-------------------------------------------|
| 1. Pressnip | Feste Presswalze und Doppelsaugpresswalze |
| 2. Pressnip | Doppelsaugpresswalze und Zentralwalze |
| 3. Pressnip | Zentralwalze und Schuhpresse |
| Bahntransfer aus Presse | Zentralwalzenschaber mit freiem Zug |

Im Standardkonzept einer 3-Nip-Presse mit Zentralwalze wird die Papierbahn am Ende von der Zentralwalze abgezogen. Ein Schaber ist hier nötig. Um die Papierbahn sauber von der Presse ohne Falten in die nachfolgende Gruppe zu führen, muss eine relativ große Differenzgeschwindigkeit zwischen Presse und nachfolgender Gruppe erzeugt werden. Der sogenannte Zug (siehe 2.4.4 Abrisserkennung der Papierbahn und Berechnung des „Zugs“). Züge von +2...3 % sind keine Seltenheit.

Das realisierte 3-Nip-Zentralwalzenpressenkonzept der PM 5 setzt sich folgendermaßen zusammen (Abbildung 19 [rechts]):

- | | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| 1. Pressnip | Schuhpresse und Doppelsaugpresswalze |
| 2. Pressnip | Doppelsaugpresswalze und Zentralwalze |
| 3. Pressnip | Zentralwalze und Schuhpresse |
| Bahntransfer aus Presse | Transferband um Zentralwalze |

Der große Vorteil am Press-Konzept der PM 5 ist der fehlende freie Zug im Übergang von der Presse in den folgenden Maschinenabschnitt. Somit wird das Risiko für Abrisse in dem Übergabebereich stark reduziert. Dies wird, durch einen Transferbelt realisiert. Um Ablagerungen auf der Beltoberfläche zu vermeiden und das Ablösen der Papierbahn zu erleichtern, wird hier ein Releasemittel aufgetragen. Die Ablagerungen bestehen zum einen aus klebrigen Partikeln („Stickies“) aus dem Altpapier, zum anderen aus Kalkablagerungen bedingt durch die Wasserhärte und Füllstoff im Altpapier.

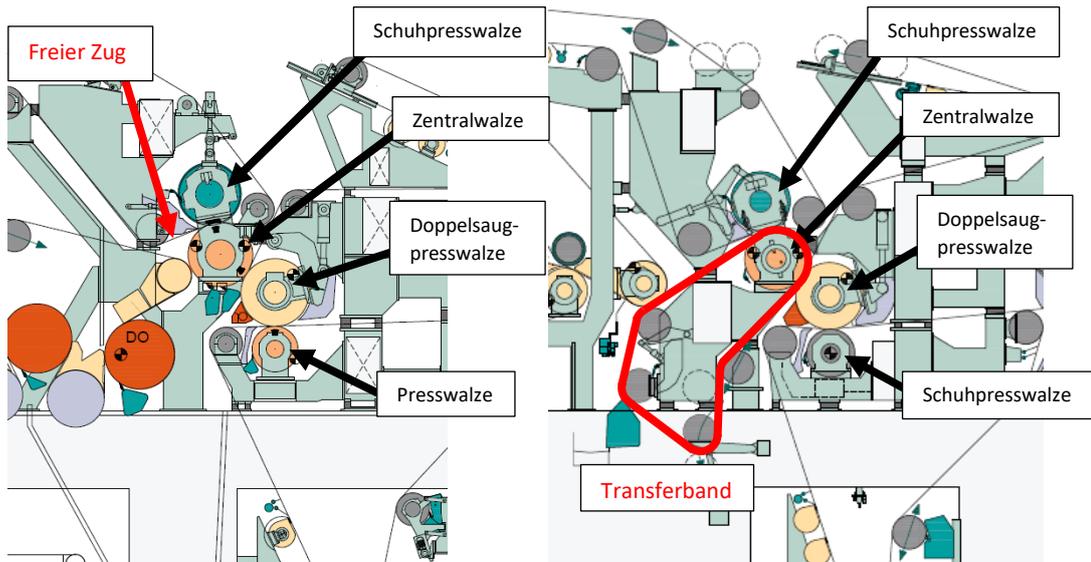


Abbildung 19: Zentralwalzenpresse konventionell mit freiem Zug (links) und mit Transferband ohne freien Zug (rechts)

3.2.4 OptiDry Twin Trocknungseinheit

Der OptiDry Twin, der schon im vorgehenden Teil beschrieben wurde und in der Abbildung 16 zu sehen ist, wurde als eigenständiges Bauteil im Bau der PM 5 realisiert. Das Grundprinzip des OptiDry ist, dass in einer Haube mittels Gasbrenner die Luft auf bis zu 350 °C erhitzt und mit ebenfalls in der Haube installierten Gebläsen auf die Papierbahn geblasen wird. Dabei wird die abgekühlte Luft in derselben Haube mit bis zu 250 °C abgesaugt. Auf der Trocknungsseite der OptiDry Haube sind hierfür Löcher und Schlitze eingearbeitet (Abbildung 20). Die Nutzung der Abwärme wird in Kapitel 3.2.5 Wärmerückgewinnung beschrieben.



Abbildung 20: Ansicht OptiDry Horizontal Haube auf der Papierseite mit den Öffnungen für Zuluft und Abluft

Die folgende Abbildung 21 zeigt den horizontalen und vertikalen Aufbau der Hauben mit Gasbrennern, den Ventilatoren, die zugehörige Luftführung für Zu- und Abluft, sowie die Wärmerückgewinnung zur Zulufterwärmung.

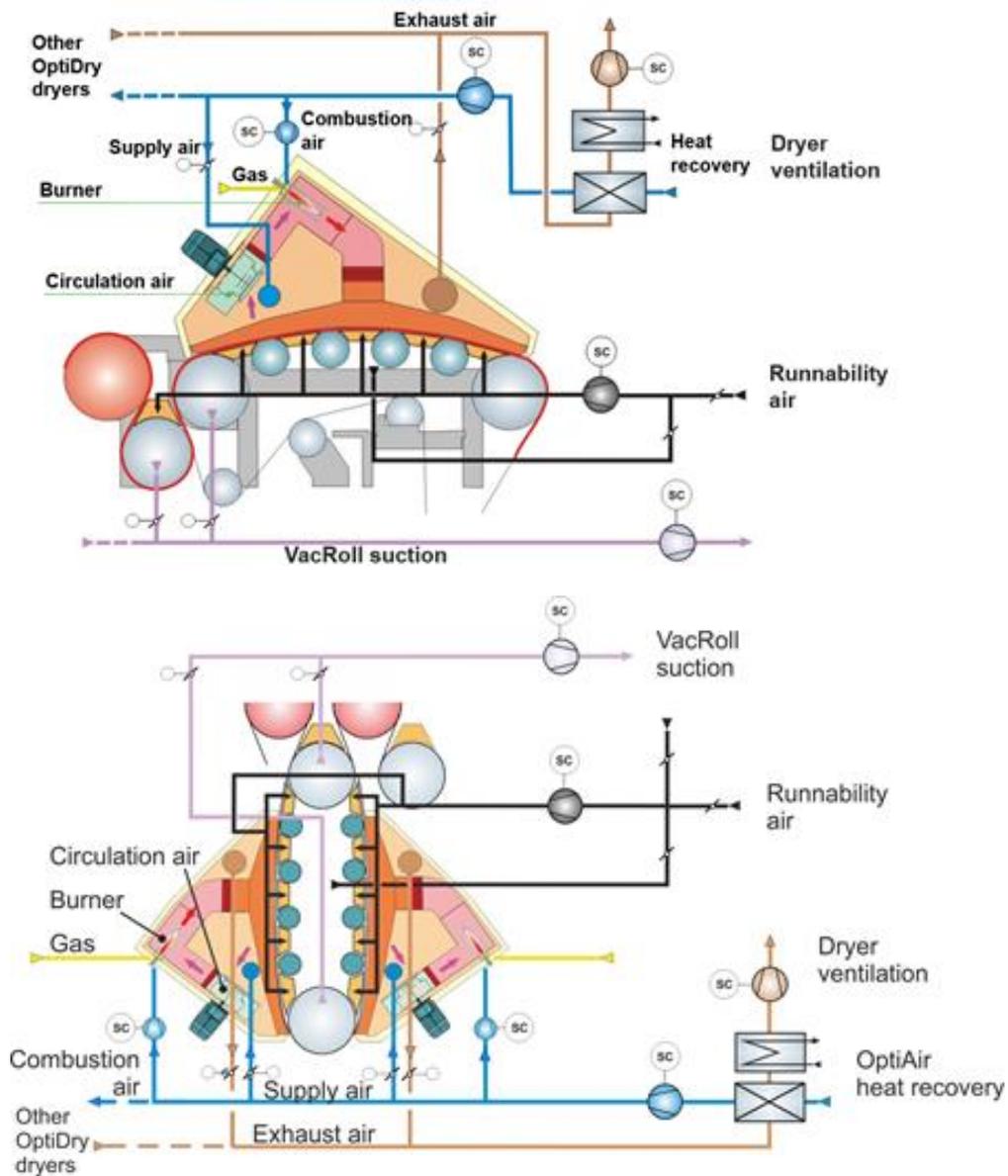


Abbildung 21: Prinzipdarstellungen OptiDry Horizontal (oben) und Vertikal (unten) (Quelle: Valmet)

Der OptiDry-Twin besteht aus dem OptiDry Horizontal (Abbildung 16), in dem die Papierbahn vom Transferband aus der Presse transferiert wird. In diesem Teil des OptiDry-Twin wird die heiße Luft auf die Unterseite des Papiers aufgeblasen.

Der darauf folgende OptiDry Vertikal mit zwei weiteren Hauben (Abbildung 16) wird von der Bedienebene der PM von 7,5 m auf die 0,0 m Ebene geführt. Das Prinzip ist im OptiDry Vertikal identisch zum OptiDry Horizontal. Jedoch wird hier die Oberseite der Papierbahn getrocknet, was eine gleichmäßige Trocknung bringt und die Reduzierung des Curl (aufrollende Ränder der Papierbahn) positiv beeinflusst.

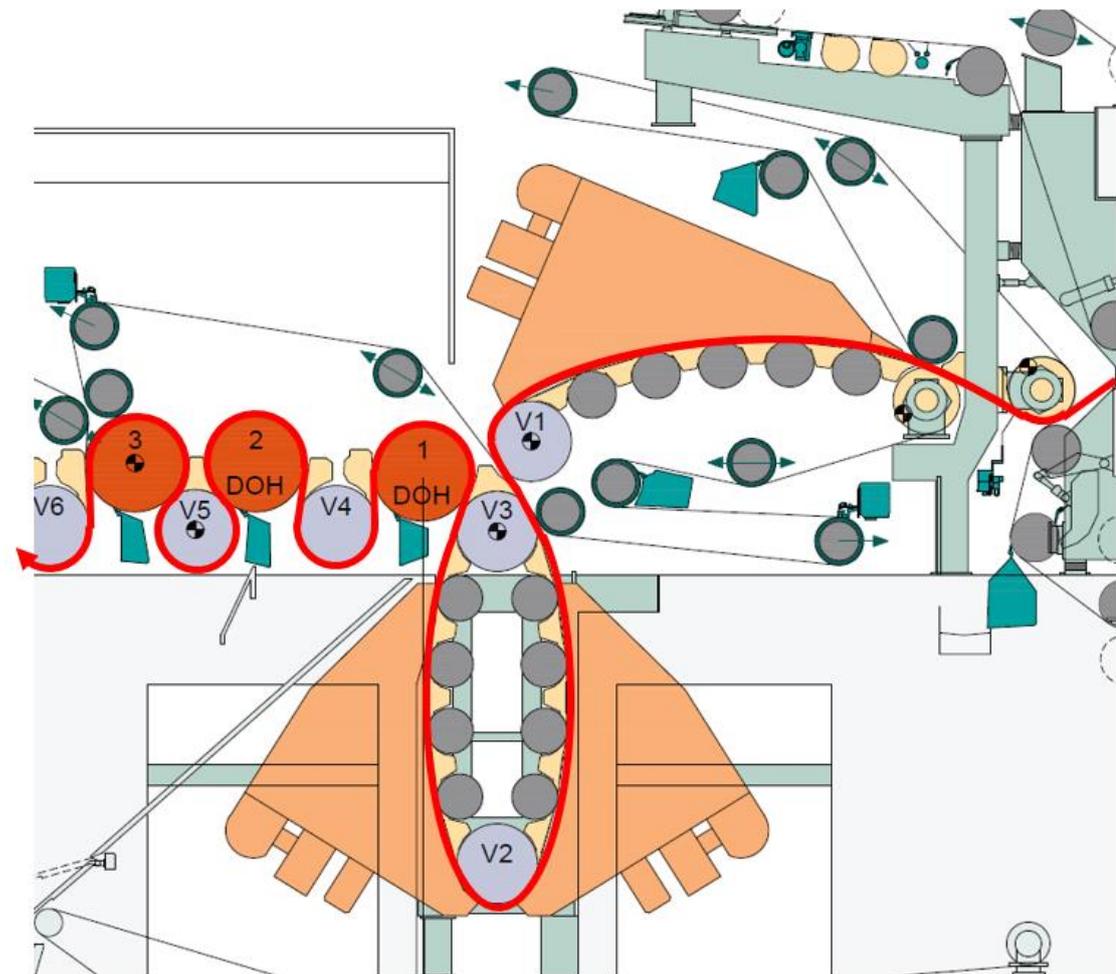


Abbildung 22: Lauf der Papierbahn (rote Linie) durch den OptiDry Twin der PM 5

Die folgende Darstellung des Lieferanten Valmet (Abbildung 23) zeigt den energetischen Vergleich einer konventionellen Dampftrocknung und der Impingement-Trocknung mittels OptiDry-Twin. Bei der konventionellen Dampftrocknung wird die Energie aus Dampf und Strom gewonnen, wobei die Dampfproduktion wiederum mit Erdgas stattfindet.

Die Trocknung durch das OptiDry-Twin-Impingement Verfahren besteht zu einem Großteil aus Erdgas, das direkt im Aggregat verbrannt wird. Die OptiDry-Trocknungseinheit wird bei Emissionsmessungen als separate Emissionsquelle betrachtet. Die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte nach der TA Luft wird jährlich überprüft. Dabei werden folgende Emissionen gemessen: Gesamtkohlenstoff, Gesamtstaub, Stickstoffoxide, Kohlenmonoxid, Schwefeloxide und Formaldehyd.

Die Summe der benötigten Energie bezogen auf eine spezifische Menge von einer Tonne Papier ist in beiden Fällen fast identisch.

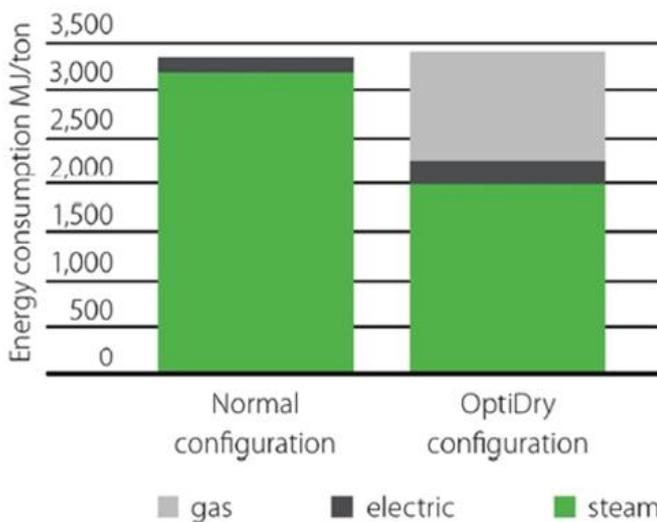


Abbildung 23: Vergleich des Energieverbrauchs bei konventioneller Dampftrocknung und Impingement-Trocknung (Quelle: Valmet)

3.2.5 Wärmerückgewinnung

Die Abluft der OptiDry Twin Hauben, die nach der Trocknung des Papiers direkt über Abluftgebläse aus der Trockenzone zwischen Hauben und Papierbahn abgesaugt wird, verliert während der Trocknung an Energie. Bei einer max. Zulufttemperatur von 350 °C, liegt die Ablufttemperatur abhängig von der produzierten Papiermenge (Geschwindigkeit/Grammatur) bei 200-280 °C. Diese Energie der Abluft, wird nicht unbenutzt in den Schornstein gegeben, sondern über ein Wärmerückgewinnungssystem für die Erwärmung verschiedenen Prozesswasser genutzt (Abbildung 24).

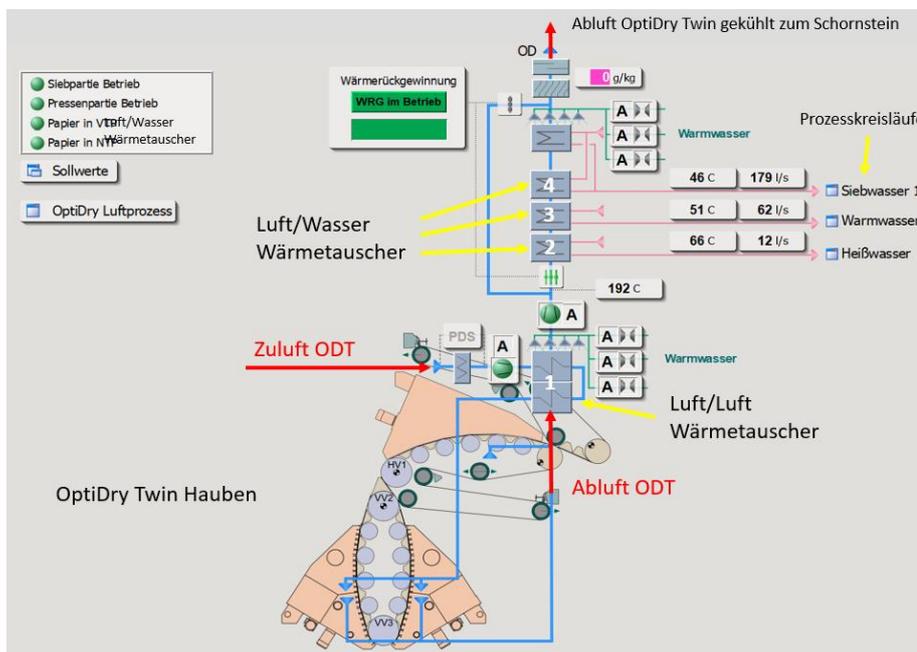


Abbildung 24: ODT Wärmerückgewinnung PM 5 (Screenshot im Betrieb aus dem Prozessleitsystem)

Im Vergleich zu einer konventionellen Trockenpartie mit Kontakt Trocknung über dampfbeheizte Stahlzylinder ist die Ablufttemperatur sehr hoch. Bei einer konventionellen Trockenpartie liegt die Ablufttemperatur bei 80-90 °C. Das heißt, dass der Wärmeübergang für die Erwärmung von Prozesswasser (40-80 °C; Tabelle 1) von 200-280 °C viel effizienter und schneller stattfindet als bei 80-90 °C Ablufttemperatur. Das Delta T (Temperaturdifferenz) der beiden Kreisläufe in einem Wärmetauscher bestimmt den Wärmeübergang. Je höher der Unterschied, desto schneller und effizienter der Wärmetransfer (Abbildung 25). Neben der oben genannten Nutzung der Abwärme wurde in der Planungsphase auch eine weitergehende Nutzung mittels Wärmepumpe sowie eine Verstromung geprüft. Beide Varianten wurden jedoch als nicht wirtschaftlich bewertet.

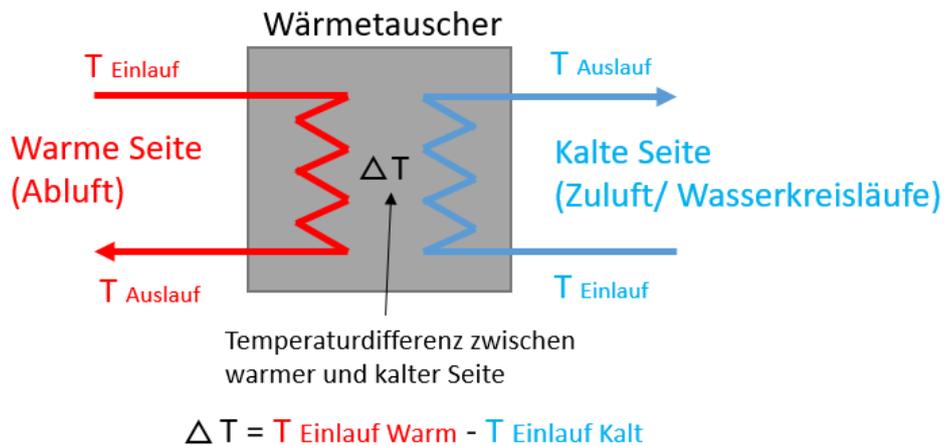


Abbildung 25: Funktion Wärmetauscher (Erwärmung der Zuluft/ Wasserkreisläufe durch die Kühlung der Abluft)

Das Wärmerückgewinnungssystem des OptiDry Twin besteht aus mehreren aufeinander folgenden Luft/Wasser Wärmetauschern, in denen die Energie aus der Luft an Wasserkreisläufe übergeben wird (Tabelle 1).

Der erste Rückgewinnungsschritt ist die Erwärmung der OptiDry Twin Zuluft. Hier wird im Gegensatz zu der folgenden Luft/Wasser Rückgewinnungen eine Luft/Luft Erwärmung genutzt. Die Zuluft ist eine trockene Umgebungsluft, die vor der Zuführung zum OptiDry-Twin erwärmt werden muss. Diese transportiert die verdampfte Feuchtigkeit aus dem Papier ab.

Die restliche Wärmeenergie der Abluft wird nach der Zulufterwärmung in Luft/Wasser-Wärmetauschern an die Prozesswasserkreisläufe übergeben (Tabelle 1).

Dabei werden die Kreisläufe nach deren Temperaturniveau gereiht, um einen bestmöglichen Wärmeübergang zu erzielen.

	Kreisläufe	Eingang Temperatur	Ziel Temperatur
1	Zuluft OptiDry Twin	25-30°C	90-130°C
2	Heißwasser	45-50°C	60-80°C
3	Warmwasser	40-45°C	50-60°C
4	Siebwasser	40-45 °C	40-50°C

Tabelle 1: Prozess Kreisläufe die durch die ODT Wärmerückgewinnung erwärmet werden

Das Ziel ist es die maximale Menge an Energie in Form von Temperatur aus der Abluft in andere Prozesse zurückzuführen, um die Erwärmung durch Dampf zu ersetzen bzw. zu reduzieren.

Alle oben aufgeführten Prozessschritte und Kreisläufe können im Bedarfsfall (bspw. Ausfall OptiDry-Twin oder defekter Wärmetauscher) mit Frischdampf erwärmt werden. Dieser wird wiederum im Kraftwerk über die KWK Anlage oder die Großwasser-raumkessel aus Erdgas gewonnen. Somit ist die Quelle der Wärmeenergie in beiden Fällen aus Erdgas erzeugt und die allgemeine energetische Bewertung beim Vergleich des OptiDry-Twin inkl. Wärmerückgewinnung mit einer konventionellen Trocknung mit dampfbeaufschlagten Zylindern und Kreislaufferwärmung mit Dampf nahezu identisch.

3.3 Umsetzung des Vorhabens

Der OptiDry-Twin wurde im Projekt PM 5 in Aalen umgesetzt und ging mit der PM 5 am 4. Juli 2021 in Betrieb.

Der Bau und die Installation der gesamten Papiermaschine und aller Nebengewerke erstreckte sich mit der teilweisen Demontage der Altanlagen über den Neubau der Kläranlage, der Papiermaschine und der Stoffaufbereitung bis hin zur Inbetriebnahme im Juli 2021 auf fast 2,5 Jahre.



Abbildung 26: Werk Palm Aalen alt mit PM2, PM4 und PM 5 alt



Abbildung 27: Werk Palm Aalen Neu mit PM 5 neu

Die Installation des OptiDry Twin wurde mit der mechanischen sowie elektrotechnischen Montage der PM 5 neu umgesetzt. In Abbildung 28 ist die Montage der OptiDry Horizontalhaube zu sehen.



Abbildung 28: Mechanische Montage OptiDry Horizontal Haube und Blick auf die Montage der PM 5neu

3.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigung)

Einzuhalten sind die Emissionsgrenzwerte des OptiDry lt. immissionsschutzrechtlicher Genehmigung nach §4 Abs.1 BImSchG für das Werk Aalen vom 11.12.2019:

- Gesamtkohlenstoff: 50 mg/m³
- Gesamtstaub: 5 mg/m³
- Stickstoffoxide: 110 mg/m³
- Kohlenmonoxid: 50 mg/m³
- Schwefeloxide: 10 mg/m³
- Formaldehyd: 15 mg/m³

3.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Zur Ermittlung der Erfolgskontrolle werden sämtliche Betriebsparameter des gesamten Werks im übergreifenden Prozessleitsystem Valmet DNA (Dynamic Network of Applications) digital und online gemessen. Die Speicherung/ Archivierung und Auswertung sämtlicher Daten findet im Gruppenweiten ERP System Tieto statt. Neben Prozessparameter werden auch Qualitätsdaten, Planungsdaten, KPI Auswertungen und Vor-Ort Messergebnisse langfristig und sicher geschützt und ausgewertet (Tabelle 2). Für detaillierte Auswertungen, Kontrollaufgaben und Problemlösungen wurde 2020 begonnen das Datenanalyse Tool Capstone DataParc in allen Werken zu installieren.

Daten / Parameter	Quelle der Erfassung Auswertung
Laufzeitwirkungsgrad PM 5 / Effizienz	Tieto / DataParc
Abrisshäufigkeit	Tieto / DataParc
Trockengehalt nach OD	Manuelle Vor-Ort Messungen/ Tieto
Züge (Geschwindigkeitsdifferenz)	Valmet DNA (Prozessleitsystem)
Qualitätsparameter	Labordaten / Tieto
Prozessparameter PM 5	DNA Prozessleitsystem / DataParc
Energiedaten	DNA Prozessleitsystem / DataParc
Verschmutzung VTP	Manuelle, Optische Beurteilung /Bilder, Videos

Tabelle 2: Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten PM 5

Die PM 5 Kläranlage ist mit diesem System 2020 in Betrieb gegangen und ist von Beginn an im gesamten Werk verfügbar. Ganz speziell wird das DataParc System für das Energiemanagement genutzt. Zur Kontrolle der gemessenen Daten aus dem Prozess sowie der Qualität durch regelmäßige Manuelle Messungen (Labor) und Kalibrierungen auf Plausibilität geprüft.

Energiedaten werden auf Grund der Anforderungen aus dem Energiemanagement über geeichte Zähler erfasst. Einzelabnehmer sind im Prozessleitsystem separat und zu jeder Zeit live abrufbar.

Sämtliche spezifische Verbräuche werden mit den Produktionszahlen aus dem ERP System kalkuliert.

Der Standort Aalen der Papierfabrik Palm ist nach folgenden Systemen zertifiziert:

- Energiemanagement-System DIN EN ISO 50001
- Qualitätsmanagement-System DIN EN ISO 9001
- Umweltmanagement-System DIN EN ISO 14001
- Hygienemanagement-System DIN EN ISO 22000
- Arbeitsschutzmanagement-System OHSAS 18001
- FSC®-Zertifikat FSC-STD-40-003/-004/-007
- PEFC Zertifikat PEFC D 2002:2020/2001:2020
- ISEGA - Unbedenklichkeitserklärung

Die Vorgaben und die Anforderungen dieser Systeme werden in einem Integrierten Management-System dokumentiert und fortgeschrieben.

3.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Auf Grund der Möglichkeit der digitalen Erfassung und Auswertung sämtlicher Parameter konnten die Daten im Zeitraum April 2022 bis September 2022 ausgewertet werden.

Die Messungen des Trockengehalts nach dem OptiDry werden in regelmäßigen Abständen (ca. 1x Woche) von externem Fachpersonal der Bespannungslieferanten im Labor ermittelt. Die Messungen dienen den Lieferanten und den Mitarbeitern von Palm als Basis für die weitere Entwicklung und Beurteilung der Performance jeder einzelnen Bespannung in der Papiermaschine. Im Rahmen der Erfolgskontrolle wurde der Zeitraum April 2022 bis September 2022 festgelegt.

Die Beurteilung der Verschmutzungsneigung in der VTP bzw. an den Schabern der Trockenzyylinder wird vom qualifizierten Führungspersonal der Papiermaschine im Rahmen der täglichen Routinearbeiten beurteilt und festgehalten. Die Auswertung der Daten erfolgte für den Zeitraum April 2022 bis September 2022 manuell.

4 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

4.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

4.1.1 Herausforderungen und Hintergrundinformationen

Der gesamte Bau der neuen modernen Papierfabrik inkl. Papiermaschine 5 mit Transferband und OptiDry-Twin wurden durch die weltweite Corona Pandemie negativ beeinflusst. Die Herausforderungen stellen sich folgendermaßen dar:

Lieferverzögerungen

Den großen Einfluss des heutigen Global Sourcing und der weitweiten Vernetzung von Industrien und Märkten hat die Pandemie aufgedeckt. Bspw. geschlossene Produktionsstätten in Süd-Ost-Asien, Transportprobleme auf Grund von zu hohen Bodentemperaturen die die Transsibirische Eisenbahn nicht fahren ließ oder Container, die in geschlossenen Häfen nicht ver- oder entladen werden könnten, führten zu Lieferverzögerungen, die direkte Auswirkungen auf die Montage der neuen PM hatten. Die damit verbundenen Verzögerungen zum geplante Montageablauf mussten durch einen sehr hohen Koordinationsaufwand, zusätzliche Personalressourcen und Mehrkosten aufgefangen werden.

Baustellenpersonal

Das Montagepersonal der Zulieferer und Arbeiter der Bauunternehmen kommen heutzutage größtenteils aus den osteuropäischen Staaten. Dadurch werden immer mehr Subunternehmen mit einzelnen Trupps im Wechsel auf die Baustellen geschickt. Durch die Corona Pandemie kam es zwischen den Staaten zu Einschränkungen mit anliegenden Ländern, sodass Arbeiter kurzfristig die Baustellen verlassen haben, aus Angst für längere Zeit nicht mehr ins Heimatland zurückreisen zu können. Ebenfalls sind ganze Trupps für mehrere Tage ausgefallen, nachdem ein Mitarbeiter mit einem positiven Covid Test identifiziert wurde.

Diese kurzfristigen Ausfälle von mehreren Arbeitern und Monteuren gleichzeitig haben neben den Lieferproblemen ebenfalls zu negativen Beeinträchtigungen im Ablauf der Montage geführt.

Qualitätsmängel

Global Sourcing ist das Stichwort, wenn es um die weltweite Beschaffungsstrategie bzw. das moderne Beschaffungsmanagement geht, um die Kostenstrukturen zu optimieren.

Auch im Projekt PM 5 kam das Global Sourcing zum Einsatz, was bei einem großen Projekt wie in Aalen, Produktionsstandorte um den gesamten Globus betrifft.

Entscheidend für ein funktionierendes Global Sourcing ist ein funktionierendes Qualitätsmanagement, dass für sämtliche Produktionsstandorte die gleichen Qualitätsstandards garantiert. Dies gestaltet sich bei verschiedensten Kulturen, Arbeitsweisen und regionalen Standards als sehr schwer.

Jedoch hat im Projekt PM 5 die Covid-19 Pandemie auch hier ihre Spuren hinterlassen. Es war ab April 2019 nicht mehr möglich für das Projektteam der Fa. Palm Qualitätsabnahmen/-kontrollen, wie bspw. in China vorzunehmen. Reiseverbote haben keine Kontrollen zugelassen. Das Gleiche galt jedoch auch für die Mitarbeiter der Lieferanten, die für das Qualitätsmanagement keine Kontrollen vor Ort an den Produktionsstandorten wie China, Russland, Brasilien, Indien usw. vornehmen konnten. Somit kamen die in Aalen angelieferten Teile ohne Vor-Ort-Kontrolle an.

Schon bei der Montage kamen Qualitätsmängel zum Vorschein: Anlagenteile aus unterschiedlichen Standorten passten nicht zusammen oder falsche, ungeeignete Materialien wurden verbaut. Diese Mängel mussten auf der Baustelle behoben werden, was zu einem enormen Zeit- und Mehraufwand führte.

4.1.2 OptiDry / Transferband

Obwohl die OptiDry-Twin-Impingement Trocknung ein Teil der Trocknungseinheit darstellt und die Anzahl der konventionellen Trockenzylinder in der VTP verringert, ist diese als eigener Anlagenteil zu sehen (Abbildung 29).

Durch die direkte Verbrennung von Gas in den OptiDry Hauben und die damit entstehenden hohen Temperaturen ist die Unfall- bzw. Brandgefahr sehr hoch. Aus diesem Grund ist die Steuerung und die Konstruktion sehr kompliziert und Bedarf sehr intensiven Optimierungsarbeiten vor Ort.

Das davor gelagerte Transferband ist Teil der Pressenpartie. Durch das enorme Gewicht des Bandes müssen Walzen, Stuhlungsteile und Einzugssystem korrekt und sehr genau ausgelegt werden.

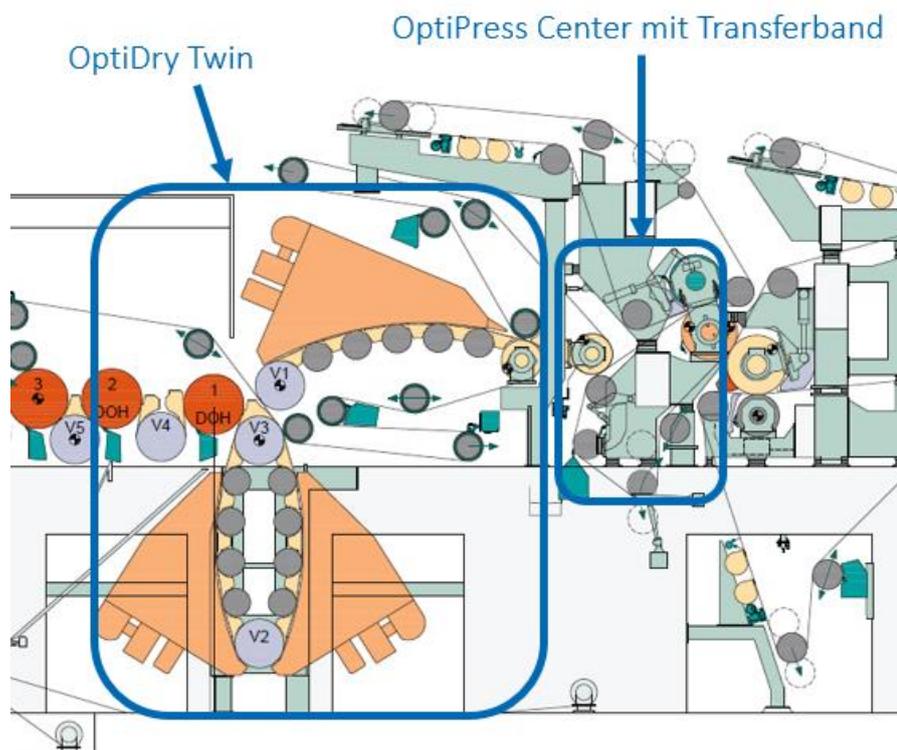


Abbildung 29: Presse mit Transferband und OptiDry PM 5

4.1.3 Installation OptiDry / Transferband

Die rein mechanische Installation des OptiDry ist durch die enorme Größe der Haube sehr komplex. Die Hauben wurden direkt vor der PM liegend auf 7,5 m Bedienebene geschweißt und final zusammengebaut (Abbildung 30).

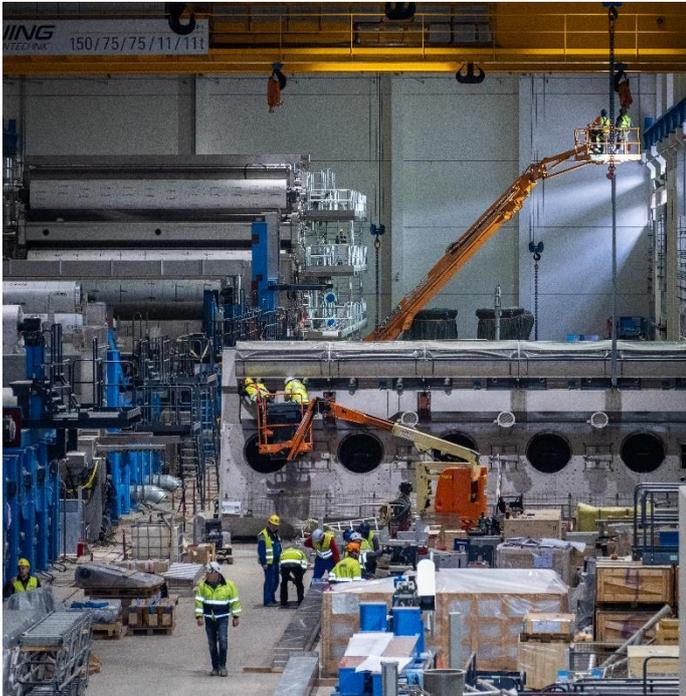


Abbildung 30: Erste OptiDry Haube zur Vormontage auf der 7,5m Ebene vor dem Maschinenfundament

Dadurch, dass die Liefersituation sämtlicher Bauteile auf Grund von Auswirkungen der Covid 19 Pandemie, über die gesamte Bauzeit sehr unzuverlässig verlief, haben lange Montagezeiten andere Bauteilmontagen der PM behindert. Hier waren sehr große Anstrengungen bzgl. Koordination, Planung und Montagepersonal nötig, um größere Verzögerungen zu vermeiden.

Für das millimetergenaue Einheben der Hauben (Abbildung 31) ist ein speziell am Kran geschultes Personal nötig, um Kollisionen und Beschädigungen zu vermeiden.

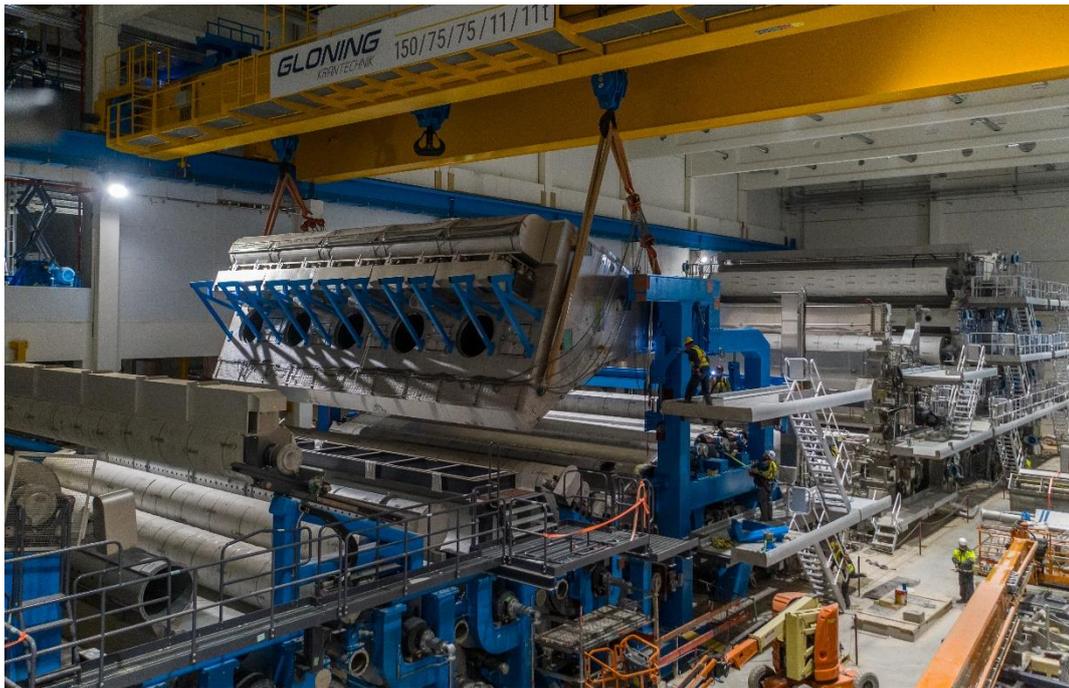


Abbildung 31: Einhub der OptiDry Horizontal Haube

Die Covid 19 Pandemie machte sich auch in der Verkabelung der OptiDry Einheit bemerkbar. Sehr spezielle hitzebeständige Kabel waren durch die Lieferengpässe nur schwer zu beschaffen und bescherten im Montage Zeitplan Verzögerungen.

Allgemein waren mechanische und elektrotechnische Montagen durch plötzliche Ausfälle ganzer Montagetrupps auf Grund positiver Covid 19 Test sehr hinderlich und verursachten Mehraufwand.

Das Transferband bedarf einer modifizierten Pressenpartie, die die enormen Kräfte durch Spannung und Regulierung des schweren und massiven Belts, standhält und Vibrationen vermeidet.

4.1.4 Inbetriebnahme (IBN) des OptiDry / Transferband

Für die IBN des OptiDry, sowie für das Transferband in der Presse, waren Spezialisten von Valmet vor Ort, die sich im Rahmen der Gesamtinbetriebnahme der PM 5, um den Start beider Installationen kümmerten.

Mangelnde Installation/ Materialien

Die Herausforderungen der IBN des OptiDry zeichnet sich schon vor dem wirklichen Start ab. Die ersten Input/Output (I/O) Signaltests und IBN der einzelnen Brenner und Ventilatoren waren von Problemen begleitet. Hier mussten die Unterlieferanten für Nachbesserungen und Optimierungen sorgen, um einen ersten Start zu gewährleisten. Weitere Probleme bis zur IBN waren die Auslegung und Installation des Sprinklersystems im gesamten OptiDry Twin sowie Verzögerungen bei der Verkabelung und somit auch bei den nötigen IO Tests.

Verzögerungen

Zum Zeitpunkt der IBN der PM 5 standen nicht alle drei OptiDry-Hauben (OD Horizontal, OD Vertikal 1 und OD Vertikal 2) zur Verfügung. Probleme mit Brennerausfällen waren die Hauptursache. Somit konnte die PM 5 nicht mit der vollen Trocknungsleistung des OptiDry Twin angefahren werden.

Mit dem Start der PM und der ersten Papierproduktionen kamen weitere offene Themen und Probleme hervor.

Abrisserkennung

Seit dem Start wurden schon mehrfach OptiDry Trockensiebe getauscht, da die Abrisserkennung des OptiDry nicht immer zuverlässig funktioniert (siehe 2.4.3 Regelung der Bespannungen; 2.4.4 Abrisserkennung der Papierbahn und Berechnung des „Zugs“). Abrisse im OptiDry werden teilweise nicht erkannt und somit läuft die Papierbahn unvermindert in den OptiDry und beginnt zu verstopfen. Dadurch beginnen die Siebe zu verlaufen bzw. werden so stark beschädigt, dass diese ungeplant getauscht werden müssen. Dieses Thema ist bis zum heutigen Tage noch nicht 100 % zufriedenstellend gelöst.

Brandgefahr

Ein weiterer Schwerpunkt der Probleme ist die Gefahr von Bränden. Durch die direkte Verbrennung von Gas in der Haube, die damit verbundene hohe Temperatur und sehr geringe Distanz zwischen OptiDry Oberfläche zur Papierbahn von 3-5 cm lässt immer wieder kleine Brände am OptiDry entstehen. Diese Brände können zu kurzen Stillständen der PM führen, in der die Mitarbeiter den Brand / Glut löschen und die PM reinigen und kontrollieren, aber auch zu langen ungeplanten Stillständen, in dem zerstörte Bepannungen, Kabel und Anlagenteile getauscht/ repariert werden müssen.

Das Thema Brandgefahr ist ein sehr wichtiges Thema, was eine Optimierung über Jahre hinweg vermuten lässt.

Der Bereich des OptiDry Twin der PM 5 wurde vor der IBN mit einer eigenen Sprinkleranlage ausgestattet, welche in dem Gesamtsprinklernetz des Werks integriert ist.

Nach der IBN der PM 5 und den ersten Bränden wurden weitere Optimierungen am Sprinklersystem und an den Branddetektoren vorgenommen, um Brände bzw. Glutnester frühzeitig zu erkennen und zu löschen. Um die grundsätzliche Gefahr von Bränden zu senken ist die weitere Optimierung und Verbesserung der Prozesse an der PM nötig. Dies ist seit dem Start der Papiermaschine Teil der Inbetriebnahme- und Optimierungsphase und wird bis zum Erreichen der vollen Produktionskapazität weiter verbessert.

Regulierung Transferband

Mit dem Start der PM wurde die Pressenpartie nach und nach mehr belastet, was einen enormen Einfluss auf den Lauf des Transferbands hatte. Das sehr massive und schwere Transferband ist mit steigender Belastung des 3. Pressnips in Falten gelaufen und konnte so nur begrenzt betrieben werden. Zur Fehlersuche wurde mehrfach die Presse vermessen. Dafür wurden Transferbelts und Filze teilweise vor Erreichen des Laufzeitendes herausgeschnitten und mussten durch neue ersetzt werden. Am Ende war die Laufregleinheit des Transferbelts die Ursache. Valmet hatte einen Konstruktionsfehler in der Regeleinheit, der behoben wurde.

Seit diesem Zeitpunkt kann die Presse mit ihrer vollen Kapazität belastet werden und die gewünschte Entwässerung erzielen, die für die Steigerung der Produktionskapazität nötig ist.

Fazit nach IBN

Nach IBN des OptiDry Twin der PM 5 und den bisherigen Schwierigkeiten und Problemen, gab es bisher starke Beeinträchtigungen, die zu unvorhersehbaren Produktionsverlusten und Mehrkosten führten.

Grundsätzlich zeigen die OptiDry Twin Trocknungseinheit und das Transferband in der Presse seit der IBN ihre positiven Eigenschaften auf den Lauf der PM sowie der Qualität des produzierten Papiers.

Jedoch hat der Lieferant die Anlage OptiDry Twin nicht für eine Anwendung im Wellpappenroh papierbereich aus Altpapier ausgelegt und geliefert. Viele Themen der extrem aufwendigen Automatisierung und Sicherheitsaspekte wurden vom Lieferanten ganz einfach unterschätzt oder wurden nicht betrachtet. Diese Mängel mussten alle auf der Baustelle und während des Betriebs angepasst, optimiert und ergänzt werden. Die Anforderungen an den OptiDry Twin in einer solch produktionsstarken Papiermaschine für altpapierbasierte Wellpappenroh papiere sind weitaus höher und herausfordernder als im bisher angewandten grafischen Bereich. Kommende Projekte mit einem OptiDry Twin werden von den Erfahrungen und Problemen in Aalen profitieren.

Die Restpunktliste, mit sämtlichen offenen und zu bearbeitenden Themen rund um den OptiDry Twin, die der Lieferant noch bearbeiten und optimieren muss, besteht aktuell aus 20 Positionen.

4.2 Stoff- und Energiebilanz

Am 14. Juli 2021 wurde die Papiermaschine 5 mit der Produktion des ersten verkaufsfertigen Papiers an der Aufrollung (Reel) in Betrieb genommen. Seit diesem Tag befindet sich die Anlage in der Inbetriebnahmephase und die PM wird sukzessive in der Geschwindigkeit und somit in der Tonnage gesteigert.

Die Erfolgskontrolle sämtlicher Anlagenteile, darunter auch der OptiDry und das Transferband, werden seitdem mit den unter 3.5 und 3.6 aufgeführten Kontroll- und Auswertewerkzeugen analysiert und bewertet.

4.2.1 Laufzeitwirkungsgrad/ Abrisshäufigkeit der PM 5

Ein Haupteffekt der Installationen OptiDry Twin und Transferband in der Presse der PM 5 ist die Reduzierung von Abrissen und Defekten, die zu Verlustzeiten führen.

Maßgeblich sind für die Beurteilung einer Papiermaschine bzgl. Produktionseffizienz die Parameter Laufzeitwirkungsgrad sowie die Abrisshäufigkeit der Papierbahn.

$$\text{Laufzeitwirkungsgrad} = \frac{\text{geplante verfügbare Laufzeit (h)}}{\text{geplante verfügbare Laufzeit (h)} - \text{Verlustzeiten (h)}} * 100$$

Der Laufzeitwirkungsgrad einer Papiermaschine lässt sich durch die Minimierung der Verlustzeiten, besonders der ungeplanten Verlustzeiten, erhöhen. Hierzu gehören folgende Arten von Verlustzeiten:

- Abrisse der Papierbahn
- Verluste durch mechanische Ausfälle
- Verluste durch elektrische Ausfälle
- Verluste durch Ausfall Energie-/ Dampfversorgung
- Ungeplante Stillstände für Reinigungen und Bspannungswechsel

Mit der Reduzierung der Flächengewichte steigt in der Regel auch die Abrisshäufigkeit, da die dünnere Papierbahn sensibler auf physikalische Beanspruchung reagiert. Dies geschieht bspw. durch den Zug /die Dehnung der Papierbahn (Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Anlagenteilen um Falten zu vermeiden) sowie Verunreinigungen und Störstoffe, die bspw. im Lauf der Papiermaschine kleben bleiben und Löcher in die Papierbahn reisen können.

Diese Einflüsse steigen mit der Maschinengeschwindigkeit, der Breite der Papierbahn und der Reduzierung der Flächengewichte.

Parameter	Ziel	IST
Abrisse (Stk./Tag)	3	5-6
Laufzeitwirkungsgrad (%)	> 90	ca. 75

Tabelle 3: Abrisse / Laufzeitwirkungsgrad PM 5 Stand Juni 2022

Die aktuellen Zahlen für die Laufzeitwirkungsgrade und Abrisszahlen (Tabelle 3) sind zwar vom Ziel noch etwas entfernt, jedoch muss der Zeitpunkt der Erfolgskontrolle betrachtet werden.

Die Papiermaschine ist im Juli 2022 in Betrieb gegangen und konnte bis zum Jahresende nur bis zu einer max. Geschwindigkeit von 1.250 m/min betrieben werden. Grund hierfür war der begrenzt verfügbare Stoff aus der alten Stoffaufbereitung des alten Werks.

Erst mit dem Abriss der letzten alten Papiermaschine und dem Bau der neuen Altpapierhalle nach der IBN der PM 5, war es möglich Altpapier mittels Förderbandtechnik in die neuen Pulper zu bringen.

Im Januar 2022 konnte der erste neue Pulper mit Altpapier versorgt und in Betrieb genommen werden. Seit diesem Zeitpunkt stand der PM 5 die erforderliche Menge Faserstoff zur Verfügung, um die PM in der Geschwindigkeit und Produktion zu steigern.

Somit ist die aktuelle Erfolgskontrolle noch innerhalb der Inbetriebnahme- und Hochfahrphase der PM 5, bei der mit jeder Geschwindigkeitssteigerung neue Probleme auftreten, die gelöst werden müssen.

Betrachtet man dagegen die Abrisststatistik der vergangenen drei Monate (April 22-Juni 22) so ist ersichtlich, dass der Einsatz des OptiDry und des Transferbands zur Reduzierung von Abrissen durch durchgängige Bahnunterstützung und Zugreduzierung funktioniert.

In Abbildung 32 sind alle Abrisse nach Ort des Abrisses dargestellt, die in Produktionen bei 70 g/m² im Zeitraum April 2022 bis Juni 2022 erfasst und ausgewertet wurden. Seit Juli 2022 wurden bereits erste Papiere mit einem Flächengewicht von 60 g/m² produziert. Die Produktionsmengen waren bisher aber noch gering. Deshalb sind Aussagen zu Abrisszahlen und Laufzeiteffizienz noch nicht möglich. Erste Ergebnisse und Erfahrungen mit 60 g/m² Papier werden folgend unter „4.2 4.2.6 Erste Produktion Wellenstoff 60 g/m²“ erläutert.

Der rot umrahmte Bereich von der 3. Presse bis zum 3. Trockenzylinder zeigen die Abrisshäufigkeit der Papierbahn im Bereich Transferband und OptiDry bzw. im Einlauf der Trockenpartie.

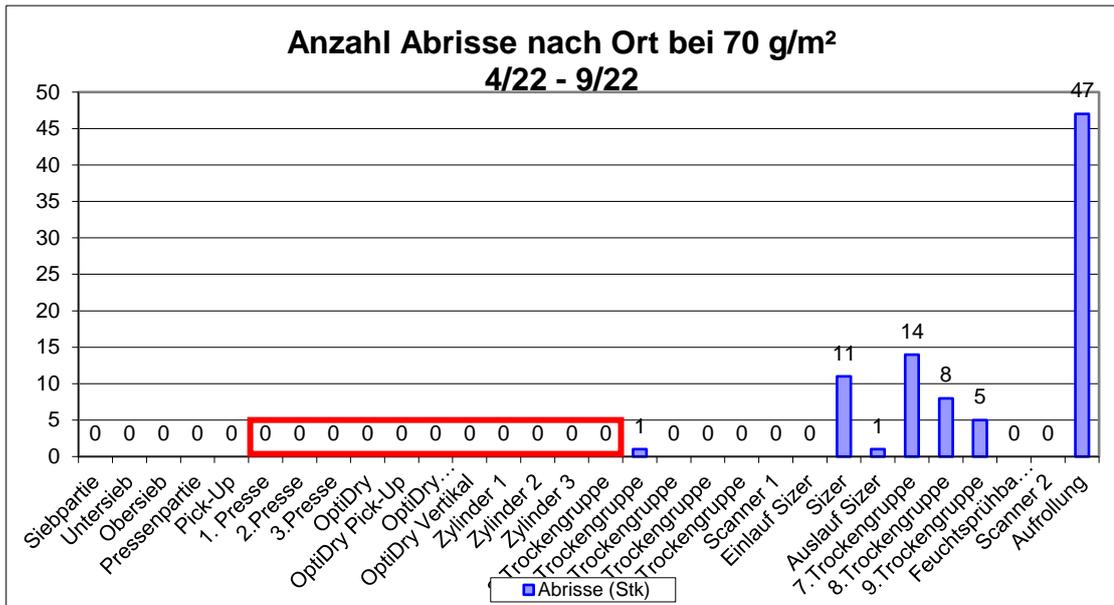


Abbildung 32: Anzahl Abrisse nach Ort bei 70 g/m² (4/22 - 9/22)

Die Statistik in Abbildung 32 zeigt, dass bei der Produktion von 70 g/m² das Risiko von Abrissen durch die Verwendung des Transferbands und des OptiDry auf ein Minimum reduziert wurde. Aus diesem Bereich erwarten wir keine Probleme bei niedrigen Flächengewichten. Auch nicht bei den zukünftigen 60 g/m². Die ersten kurzen Produktionen zeigen ein identisches Bild. Auch dort wurden bisher keine Abrisse im Bereich Presse – OptiDry Twin – 1.-3. Trockengruppe detektiert (Abbildung 33).

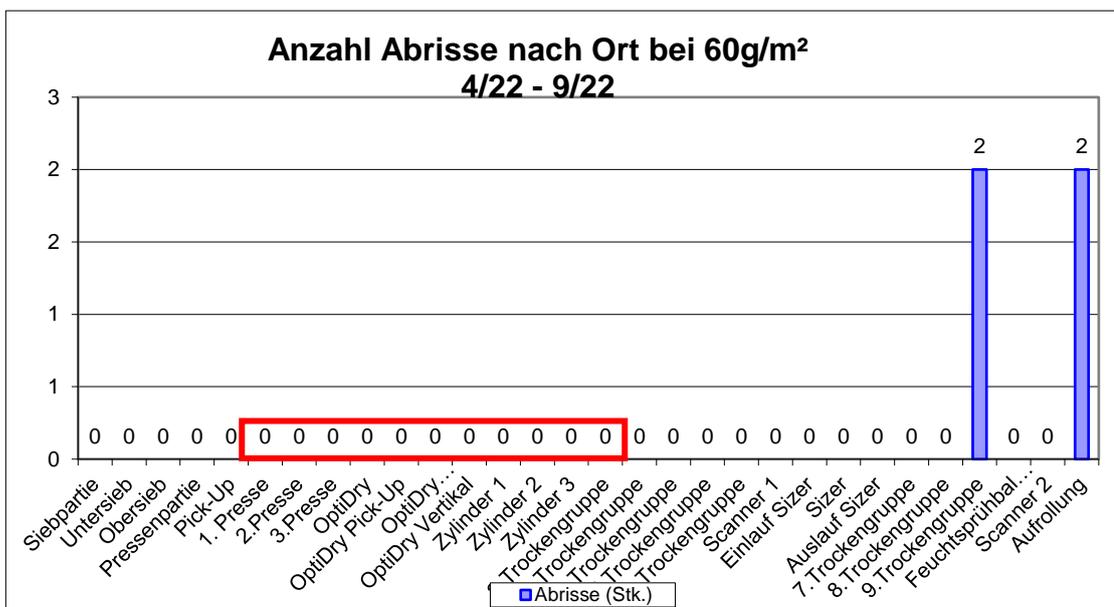


Abbildung 33: Anzahl Abrisse nach Ort bei 60 g/m² (4/22 - 9/22)

4.2.2 Trockengehalt nach OptiDry Twin

Den positiven Effekt der Trockengehaltssteigerung nach dem OptiDry Twin im Vergleich zur konventionellen Konfiguration mit Presse und nachfolgender Trockenpartie mit Trockenzylindern ist ein Teil der Verbesserungen bzgl. Abrissreduzierung. Eine kritische Stelle ist immer der Übergang von der Presse in die Vortrockenpartie. Trifft die noch feuchte Papierbahn auf die heiße Stahlzylinderoberfläche kommt es zu einer Art Klebenbleiben einzelner Fasern und klebriger Bestandteile, die nie 100% zu entfernen sind. Folgen daraus sind das Herausreißen von Fasern und klebender Bestandteile aus der Papierbahn und damit verbundene Abrisse. Die Steigerung des Trockengehalts vor dem Auftreffen der Papierbahn auf dem ersten Trockenzylinder verhindert diesen sogenannten „Stauben und Rupfen“ Effekt. Im Vergleich zu einer Standard Konfiguration sind die Ergebnisse mit OptiDry an der PM 5 wie erwartet gut (Tabelle 4).

Parameter	Einheit	Standard	Ziel	IST
Trockengehalt nach 3. Pressnip	%	54-55	55-56	54-55
Trockengehalt nach ODT	%	-	> 60	60
TG beim Auftreffen auf 1. Trockenzylinder	%	54-55	> 60	60
Temperatur Papierbahn	°C	40-45	70-80	65-75

Tabelle 4: Trockengehalte Presse / OptiDry

Der Trockengehalt von > 60 % nach dem OptiDry Twin und die erhöhte Temperatur der Papieroberfläche zeigen seit der IBN ihren positiven Effekt auf das Stauben und Rupfen am ersten Trockenzylinder. Es ist an der ersten Trockenzylindern mit voll betriebenen OptiDry Twin kein Stauben zu sehen und auch die Schaber sind in diesem Bereich auch nach mehreren Tagen sauber (Abbildung 34). Dieser Effekt des OptiDry Twin hat sich aus den Versuchen an den Pilotanlagen des Papiermaschinenlieferanten Valmet bestätigt.



Abbildung 34: Schaber Zylinder 1 VTP

4.2.3 Einsatz Transferband

In der Vergangenheit haben sich im Bereich der Wellpappenrohre zwei Pressenkonzepte etabliert. Zum einen das Konzept der 3 Nip Zentralwalzenpresse und zum anderen die Doppelschuhpresse (Tandem Schuhpresse). Beide Konzepte haben prozesstechnisch gewisse Vor- und Nachteile (Jürgen Blechschmidt, 2021).

Im Projekt PM 5 wurde sich für die 3 Nip Zentralwalzenpresse entschieden, welche den Nachteil des freien Zugs von der Zentralwalze im Auslauf der Presse besitzt. Hier muss die Papierbahn an einem Schaber auf Zug gehalten werden, damit die Papierbahn gleichmäßig die Oberfläche der Zentralwalze verlässt.

Dieser freie Zug stellt ein hohes Risiko für Abrisse dar, da hier die Papierbahn nicht unterstützt wird.

Aus diesem Grund wurde sich für eine optimierte Variante der 3 Nip Zentralwalzenpresse entschieden. Diese führt ein Transferband um die Zentralwalze, die die Papierbahn dauerhaft von der Presse in den OptiDry führt.

Versuche an den Pilotanlagen haben in diesem Bereich sehr niedrige Züge gezeigt, die das Risiko des Abreißen signifikant reduziert (Tabelle 5).

Zug (Geschwindigkeitsdifferenz)	Einheit	Wert
Auslauf Presse mit Zentralwalzenschaber (Standard)	%	1,5 - 2,5
Auslauf Presse mit Transferband Pilotanlage Valmet	%	bis 0,2
Auslauf Presse mit Transferband PM 5 (Stand Juli 2022)	%	0,55

Tabelle 5: Züge (Geschwindigkeitsdifferenz) Auslauf Presse

Die Praxis seit IBN der PM 5 hat gezeigt, dass sich das Niveau der benötigten Geschwindigkeitsdifferenz im Auslauf der Presse durch die Verwendung des Transferbandes reduziert und somit die Abrissmöglichkeit eliminiert werden kann.

Die Entwicklung des Zuges von 0,8 % auf aktuell 0,55 % seit der IBN lässt auf eine weitere Senkung des Zuges hoffen.

4.2.4 Qualitätsparameter / Festigkeiten / Substitution / Nachhaltigkeit

Für die Gewährleistung der Substitutionsfähigkeit bestehender Flächengewicht in der Wellpappenherstellung durch leichtgewichtigeren Sorten sind die Qualitäts- und Festigkeitsparameter entscheidend. Ziel ist es, leichtgewichtige Wellpappenrohapiere, wie Wellenstoff, in einem sehr niedrigen Flächengewichtsbereich herzustellen, die in Wellpappenverpackungen eingesetzt werden, um das Gesamtgewicht der Verpackung zu senken und ohne dabei Festigkeiten zu verlieren.

Entscheidende Qualitätsparameter

- **SCT (Short Crush Test) Messverfahren**

Die Bestimmung des Streifenstauchwiderstand (SCT-Short-Crush-Test) nach DIN 54 518 hat sich inzwischen als alternatives Prüfverfahren zum Ringstauchwiderstand etabliert.

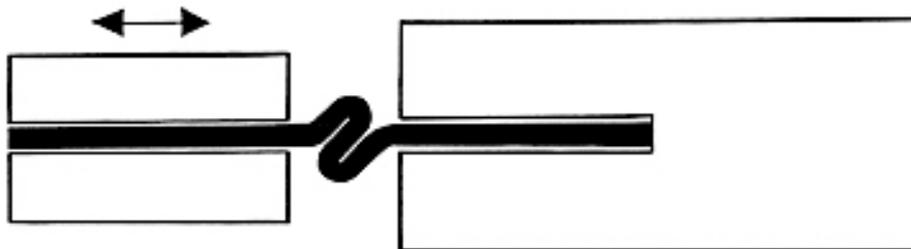


Abbildung 35: SCT (Short Crush Test) Messverfahren (Quelle: <https://www.wellpappe-wissen.de/wissen/qualitaetssicherung/papierpruefung/stauchwiderstand.html>)

Mit diesem Prüfverfahren wird der Stauchwiderstand eines flachen Papierstreifens (Abmessungen genormt) bestimmt, durchgeführt mit dem sog. Streifenstauchwiderstand-Prüfgerät.

Dieses Messverfahren ist für die Sorte Wellenstoff entscheidend, denn dieser Widerstand beschreibt die Steifigkeit und Widerstandsfähigkeit der Wellen im Wellpappenverbund bei Belastung der Verpackung.

- **Berstfestigkeit Messverfahren**

Die Berstfestigkeit (auch als Berstdruck bezeichnet) ist der Widerstand, den eine kreisförmig eingespannte Probe einem gleichmäßig ansteigenden Druck bis zum Bersten entgegensetzt. Der Berstfestigkeitswert (BWS) wird in kPa (Kilo Pascal) angegeben.

Der BWS ist ein Kriterium der Norm DIN 55468 und der RAL-Vorschriften



Abbildung 36: Messverfahren Berstfestigkeit (Quelle: <https://www.wellpappe-wissen.de/wissen/qualitaetssicherung/papierpruefung/berstfestigkeit.html>)

Der Messwert der Berstfestigkeit dient der Beurteilung der Widerstandsfähigkeit der Decklagen (Testliner Sorte) einer Wellpappverpackung durch äußere Belastungen.

- **Index Berechnung**

Da beide Messverfahren und deren Ergebnisse vom Flächengewicht des zu messenden Mediums abhängig sind, werden zur Vergleichbarkeit in der Produktion die Index Werte berechnet. Dafür werden die jeweiligen Messwerte durch die Flächengewichte geteilt. Somit ist eine flächengewichtsunabhängige Beurteilung der Festigkeiten möglich.

$$\text{SCT CD Index} = \frac{\text{SCT CD} \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) \cdot \frac{1000\text{N}}{\text{kN}}}{\text{Flächengewicht zu messendes Medium} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right)} = \frac{\text{Nm}}{\text{g}}$$

$$\text{Berstfestigkeit Index} = \frac{\text{Berstfestigkeit (kPa)}}{\text{Flächengewicht zu messendes Medium} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right)} = \frac{\text{kPam}^2}{\text{g}}$$

- **ECT Messverfahren** (Kantenstauchwiderstand)

Für die Belastbarkeit der Wellpappe in senkrechter Richtung zu den Wellen wird noch der Kantenstauchwiderstand nach DIN EN ISO 3037 bestimmt, international Edge-Crush-Test (ECT) genannt (Abbildung 37). Der Kantenstauchwiderstand ist der maximale Widerstand, den eine Probe mit stehenden Wellen einer in dieser Richtung wirkenden Kraft entgegensetzt. Die Prüfung wird in einer Druckprüfmaschine durchgeführt und in kN/m (Kilonewton pro Meter) gemessen. Dieser Wert lässt bereits gewisse Rückschlüsse auf die Stapelbelastbarkeit der fertigen Wellpappenverpackungen zu. Diese Prüfung ist inzwischen zur wichtigsten und aussagefähigsten in der Wellpappenindustrie avanciert. Bei dieser Prüfung verlangt die Probenvorbereitung allerhöchste Aufmerksamkeit. Die Probe muss absolut parallel und rechtwinklig mit einem äußerst scharfen Messer oder einer hoctourig laufenden Säge geschnitten werden.

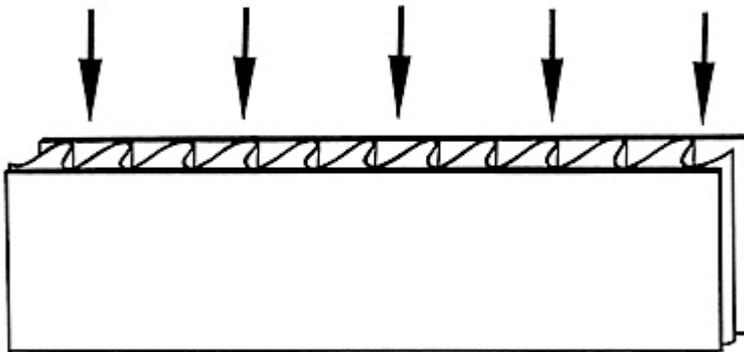


Abbildung 37: Messverfahren ECT Messung (Quelle: <https://www.wellpappe-wissen.de/wissen/qualitaetssicherung/wellpappe-und-verpackung/wellpappenpruefungen.html>)

- **BCT Messverfahren** (Stauchwiderstand)

Die Stauchprüfung (mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit) nach DIN 55 440-1 dient zur Ermittlung der maximalen Last, die eine ungefüllte Wellpappenverpackung aushält, bevor sie zusammenbricht. International wird dieses Verfahren auch als Box-Compression-Test (BCT) bezeichnet (Abbildung 38). Für gefüllte Wellkisten gibt es gesonderte Prüfverfahren. Zur Prüfung wird eine geschlossene, ungefüllte Verpackung zunächst klimatisiert und anschließend in einer Druckprüfmaschine (Stapelstauchdruckpresse) zwischen zwei Metallplatten gestellt. Dann wird sie durch Vorschub einer Druckplatte belastet, bis ein Versagen der Wellpappenverpackung eintritt.

Der höchste Wert vor dem Zusammenknicken wird gemessen und in N (Newton) angegeben. Auf dem Messprotokoll werden auch Zeit und Stauchweg bis zum Zusammenbruch der Verpackung festgehalten. Die Ermittlung des Stauchwiderstandes, der Zeit und des Weges dienen zur Beurteilung der Stapelfähigkeit von Verpackungen bei der Lagerung. Der Stauchwiderstand ist die Widerstandskraft einer geschlossenen Verpackung in ruhendem Zustand gegen eine senkrecht einwirkende Belastung. Der Stauchwiderstand ist im Wesentlichen eine Funktion der Verpackungsabmessung, der Verpackungsart, der Sorte der Wellpappe und der Herstellungsgüte. Schon eine geringe Minderung der Herstellungsgüte der Verpackung ist kritisch, da das Füllgut in diesem Fall größere Stapellast aufnehmen muss. Dabei ist es wichtig zu unterscheiden, ob der Inhalt ein tragendes oder nicht tragendes Füllgut ist. Bei der Bewertung der Stapellast einer Verpackung wird vorsichtshalber von nicht tragenden Füllgütern ausgegangen.

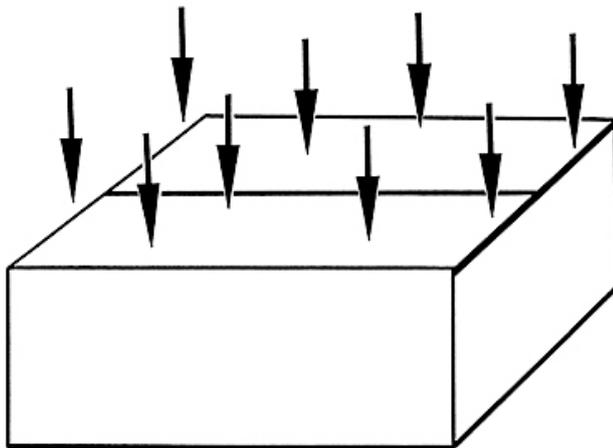


Abbildung 38: Messverfahren BCT Messung (Quelle: <https://www.wellpappe-wissen.de/wissen/qualitaetssicherung/wellpappe-und-verpackung/pruefung-der-fertigen-verpackung.html>)

Messung	Einheit
SCT CD	kN/m
SCT CD Index	Nm/g
Berstfestigkeit	kPa
Berstfestigkeitsindex	kPa·m ² /g
ECT	kN/m
BCT	N

Tabelle 6: Übersicht der Qualitätsmessverfahren für Wellpappenrohapiere und Wellpappverpackungen

4.2.5 Substitution durch leichtwichtigere Sorten

Das Ziel der PM 5 und deren erstmaliges Sortenspektrum für Wellpappenrohpa-pieren mit einem minimalen Flächengewicht von bis zu 60 g/m² ist es, Sorten mit einem höheren Gewicht zu substituieren, ohne der Verpackung an Stabilität und Widerstandsfähigkeit zu nehmen. Dafür muss es möglich sein bspw. 70 g/m² mit den geforderten Festigkeiten eines 80 g/m² Papier zu erreichen. Dasselbe gilt für das 60 g/m² Papiere, die 70 g/m² Sorten ersetzen sollen.

In der folgenden Tabelle 7 ist eine Übersicht zu sehen, die die SCT- und Berstfestigkeitswerte zeigen. Verglichen werden diese seitens Palm garantieren Spezifikationen (blaue Zeilen) und die bisher erreichten max. Festigkeiten (weiße Zeilen).

Die Festigkeitsangaben in den blauen Zeilen werden von der Papierfabrik Palm gegenüber den Kunden in den Datenblättern der Papiersorten garantiert. Nach diesen Spezifikationen werden alle Papiersorten in den Papierfabriken gefertigt und entsprechen den CEPI (Confederation of European Paper Industries) Container Board Normen (ContainerBoard, 2017).

Seit der IBN der PM 5 wurden über das Qualitätsmanagement alle produzierten Tamboure auf deren Festigkeit gemessen. Die Auswertung der bisher maximal erreichten Festigkeiten je Sorte/Grammatur wurden in den weißen Zeilen angegeben.

	Einheit	60 g/m ²	70 g/m ²	80 g/m ²	90 g/m ²	100 g/m ²
SCT cd (PM 5 max. Werte)	kN/m	1,01	1,33	1,48	1,72	1,81
SCT cd (Palm Spezifikation)	kN/m	0,9	1,1	1,3	1,5	1,6
SCT cd Index (PM 5 max. Werte)	Nm/g	14,5	19,0	18,5	19,1	18,1
SCT cd Index (Palm Spezifikation)	Nm/g	15,0	15,7	16,3	16,7	16,0

	Einheit	60 g/m ²	70 g/m ²	80 g/m ²	90 g/m ²	100 g/m ²
Berstfestigkeit (PM 5 max. Werte)	kPa	141	158	183	202	220
Berstfestigkeit (Palm Spezifikation)	kPa	120	140	160	180	200
Berstfestigkeit Index (PM 5 max. Werte)	kPam ² /g	2,35	2,26	2,29	2,24	2,20
Berstfestigkeit Index (Palm Spezifikation)	kPam ² /g	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Tabelle 7: SCT- und Berstfestigkeitswerte je Sorte

Vergleicht man nun die Festigkeitswerte je Messmethode zwischen interner Spezifikation und bisher maximal erreichten Festigkeiten unter den verschiedenen Grammaturen, so ist zu sehen, dass gleiche Festigkeiten mit Papiersorten niedrigerer Grammaturn erreicht werden können.

Beispiel: 1 SCT CD

80 g/m² interne Spezifikation → SCT CD = 1,30 kN/m

70 g/m² max. Festigkeit PM 5 → SCT CD = 1,33 kN/m

- ➔ Es ist möglich ein 80 g/m² Papier durch ein 70 g/m² Papier bei der Herstellung von Wellpappenverpackungen zu ersetzen, ohne auf Festigkeiten beim Streifenstauchwiderstand bei Wellenstoffsorten verzichten zu müssen.
- ➔ Eine Substitution bringt somit eine Gewichtsreduzierung der Wellpappverpackung von 12,5 %.

Beispiel: 2 Berstfestigkeit

100 g/m² interne Spezifikation → Berstfestigkeit = 200 kPa

90 g/m² max. Festigkeit → Berstfestigkeit = 202 kPa

- ➔ Es ist möglich ein 100 g/m² Papier durch ein 90 g/m² Papier bei der Herstellung von Wellpappenverpackungen zu ersetzen, ohne auf Festigkeiten bei der Berstfestigkeit von Deckenpapieren verzichten zu müssen.
- ➔ Eine Substitution bringt somit eine Gewichtsreduzierung der Wellpappverpackung von 10 %.

Beide vorangegangenen Beispiele zeigen, die Möglichkeiten der Substitution durch leichtere Papiersorten. Da Wellpappenverpackungen konstruktiv zumeist aus mehreren Lagen unterschiedlicher Sorten bestehen, können teilweise nur einzelne Lagen ausgetauscht werden. Somit sind die oben gerechneten Gewichtsreduzierungen nur theoretisch und müssen je nach Anwendung auf die gesamte Wellpappenverpackung neu kalkuliert werden.

Ein Marktvergleich mit den Mitbewerbern, die aktuell 70 g/m² Wellenstoffpapiere herstellen, sowie den SCT CD Werten des VDW werden im folgenden Diagramm (Abbildung 39 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.) dargestellt.

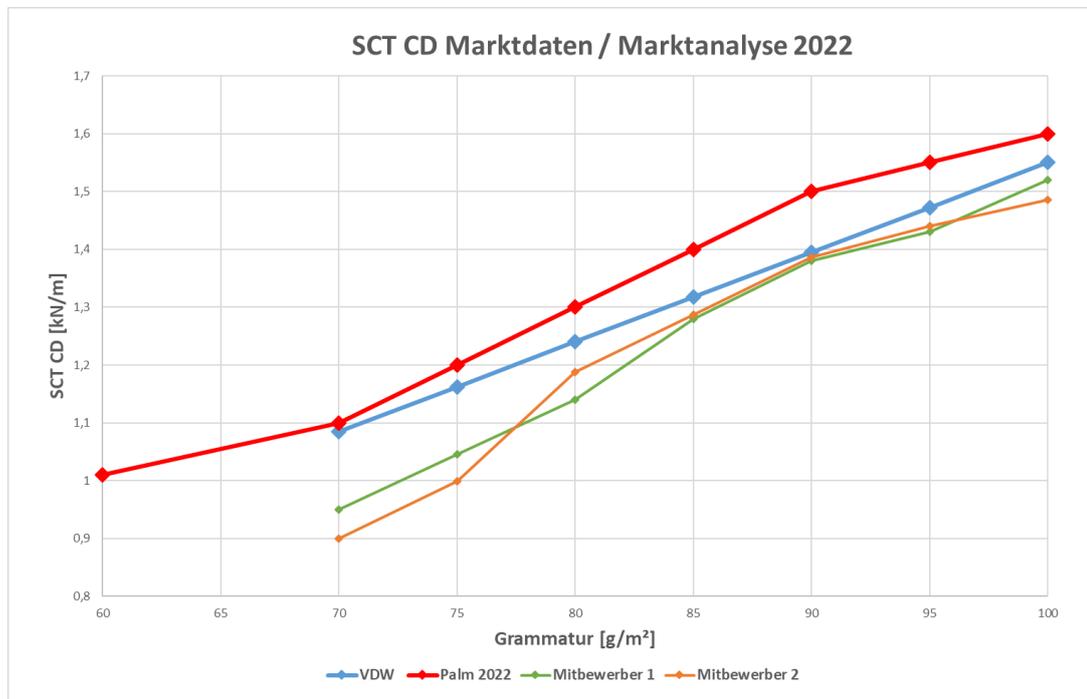


Abbildung 39: Marktanalyse SCT CD 2022

Der rote Graph im Diagramm (Abbildung 39) stellt die durchschnittlichen SCT CD Festigkeitswerte dar, die in unserem Labor gemessen werden. Hierfür werden alle produzierten Tamboure in der automatischen Prüfstraße gemessen. Im Vergleich dazu ist im blauen Graphen der zu sehen, welche Werte vom VDW für die angegebenen Wellenstoffsorten im Grammaturbereich 70 g/m² - 100 g/m² empfohlen werden. Die SCT CD Werte der PM 5 liegen über das gesamte Spektrum darüber. Eine Marktanalyse wichtiger Mitbewerber hat gezeigt, dass deren Festigkeitswerte (SCT CD) unterhalb der VDW Werte liegen. Dies ist das Resultat von Produktions- und Kostenoptimierungen. Papierfabriken entwickeln sich über Jahre hinweg an ein Minimum, um Additive zu reduzieren. Nach dem Motto „So viel wie nötig, so wenig wie möglich“! Die Trends und auch die vorangegangenen Tabellen (Tabelle 7) zeigen, dass die Festigkeitswerte (SCT CD) der PM 5 auf einem sehr guten Niveau liegen, die Marktbegleiter mit 5 – 10 g/m² höheren Grammaturn auf den Markt bringen, ohne zusätzliche Additivmengen, wie z.B. Stärke, zugeben zu müssen.

Eine Substitution höherer Grammaturen durch leichtgewichtigeren Sorten von der PM 5 sind somit in der Zukunft möglich. Jedoch darf im Sinne der Nachhaltigkeit nicht einfach schwereres Papier durch leichteres Papier ersetzt werden, denn es gilt auch die aktuellen Spezifikationen zu hinterfragen. Um ein gewisses Festigkeitsniveau zu erreichen, sind immer Additive, wie Stärke, und Energiemengen im Spiel, unabhängig der Grammatur. Diese Spezifikationen müssen zukünftig hinterfragt werden. Sind Verpackungen überdimensioniert? Wären Verpackungen auch mit etwas weniger Festigkeitspotential ausreichend?

Diese Fragestellungen werden im Zuge der Nachhaltigkeitsdiskussion und der Rohstoffkrise vermehrt diskutiert und untersucht, um ggf. leichtgewichtigeren Sorten mit geringerem Ressourceneinsatz nutzen zu können. Diese Entwicklung muss und wird in der Zukunft bei der Verpackungsgestaltung berücksichtigt werden.

4.2.6 Erste Produktion Wellenstoff 60 g/m²

Mit der PM 5 in Aalen ist die erste Papiermaschine entwickelt und gebaut worden, um qualitativ hochwertige und wirtschaftlich sinnvolle Wellenstoffprodukte mit hoher Laufzeiteffizienz bis 60 g/m² zu produzieren.

Dieser Grammaturbereich wurde bisher noch nicht im industriellen Maßstab hergestellt und war am Markt auch nicht verfügbar. In den ersten Wochen nach Inbetriebnahme wurden nur kleine Mengen an 60 g/m² Wellenstoff produziert, um erste Erfahrungen auf der Papiermaschine zu sammeln und auch Verarbeitungsversuche in Wellpappenwerken zu realisieren. Nachdem die PM 5 im Juli 2021 in Betrieb gegangen ist, wurden die Sorten von zu Beginn 90 g/m² und 100 g/m² nach und nach auf 70 g/m² und 80 g/m² entwickelt. Die PM 5 hatte nach nur wenigen Monaten die ersten großen regelmäßigen 70 g/m² Produktionen in deren Auftragsbüchern stehen und produzierte diese seitdem regulär auf sehr hohem Qualitätsniveau. Im Juli 2022 wurde das erste Mal ein 60 g/m² Wellenstoff hergestellt, der in den gruppeneigenen Wellpappenwerken verarbeitet wurde. Aufgrund der schlechten Konjunktur Ende 2022/Anfang 2023 wurden bisher nur 3.000 Tonnen 60 g/m² und 18.000 Tonnen 70 g/m² Wellenstoff produziert.

Die ersten Produktionsmengen des 60 g/m² Wellenstoffs haben gezeigt, dass das Papier am Markt mit den konkurrierenden höhergewichtigen Papieren mithalten kann. Tabelle 7 und Abbildung 39 zeigen, dass die SCT CD Werte von 1,01 kN/m auf dem Niveau des 70 g/m² Papiers des Mitbewerbers (0,9 kN/m und 0,95 kN/m) liegen. Die Palm interne Spezifikation/Qualitätsnorm liegt bei 0,9 kN/m.

Auch die Berstfestigkeiten des Papiers können die geforderten Spezifikationen erfüllen. Jedoch ist 60 g/m² primär für den Wellenstoff vorgesehen, bei dem die Berstfestigkeiten keine spezifizierten Ziele unterliegen.

Verarbeitung im Wellpappenwerk

Für die weitere Verarbeitung von leichten Wellpappenpapieren in Wellpappenverpackungen sind die Profile in längs und quer Richtung sehr wichtig. Nur geringe Schwankungen in der Qualität der Profile führen zu Bahnlaufproblemen in der WPA. Falten, Abrisse und reduzierte Produktionsgeschwindigkeiten wären die Folge. Die Verarbeitung der ersten 60 g/m² Rollen im Wellpappenwerk Alzenau der Palm Gruppe war durchweg positiv. Die sehr guten Profile des Papiers, die schon in der Papiermaschine deutlich sind, machten die Verarbeitung des Papiers zu Wellpappenverpackungen problemlos. Es wurden aus dem Wellenstoff 60 g/m² B-Welle und eine EE-Welle hergestellt. Die folgende Abbildung (Abbildung 40) zeigt die verschiedenen Wellenarten und Konstruktionen, die aus den Wellpappenrohpapieren hergestellt werden können.

Wellenarten



Einseitige Wellpappe



Einwellige Wellpappe



Zweiwellige (Doppelwellig)



Dreiwellige Wellpappe

Wellenart	Wellenhöhe (h) mm	Wellenteilung (t) mm
G	≤ 0,55	≤ 1,88
F	0,6 bis 0,9	1,9 bis 2,6
E	1,0 bis 1,8	3,0 bis 3,5
D	1,9 bis 2,1	3,8 bis 4,8
B	2,2 bis 3,0	5,5 bis 6,5
C	3,1 bis 3,9	6,8 bis 7,9
A	4,0 bis 4,9	8,0 bis 9,5
K	≥ 5,0	≥ 10,0

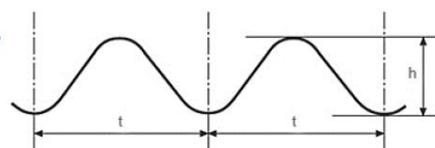


Abbildung 40: Wellenarten für Wellpappenverpackungen

Die B-Welle ist eine Standard Welle, die normal mit 80 g/m² Wellenstoff hergestellt wird. In der B-Welle soll das Basispapier nun durch 60 g/m² ersetzt werden.

Die EE-Welle ist eine 5-lagige Konstruktion, die Standardmäßig aus 80 g/m² und 70 g/m² Wellenstoff hergestellt wird. Im ersten Versuch sollen nun alle drei Lagen in 60 g/m² ausgeführt werden. Abbildung 41 zeigt den Aufbau der Versuchskonstruktion der EE Welle mit 60 g/m² Wellenstoff.

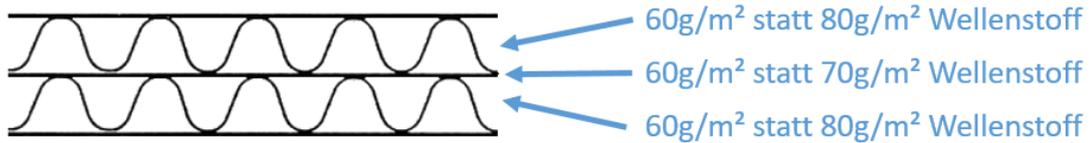


Abbildung 41: Aufbau Versuch EE Welle mit 60g/m²

In beiden Fällen wurden die 60 g/m² Papiere bereits in der WPA im Palm Verpackungswerk Alzenau verarbeitet (Abbildung 42).



Abbildung 42: Bilder Versuch 60 g/m² Wellenstoff

Erste Messungen des Kantenstauchwiderstands (4.2.4 Qualitätsparameter / Festigkeiten / Substitution / Nachhaltigkeit und Tabelle 8) der 60 g/m² Papiere wurden im Wellpappenwerk ermittelt und mit 80 g/m² Standardpapiere verglichen.

Die Ergebnisse in Tabelle 8 zeigen, dass trotz der Reduzierung des Flächengewichts von 25 %, der Kantenstauchwiderstand der EE Welle um nur 6 % und bei der einfachen Welle um ca. 13 % geringer ist.

ECT Prüfung

	Einheit	EE 60	EE 80	W 60	W 80
1	kN/m	6,02	7,18	3,04	4,13
2	kN/m	5,88	6,7	3,67	3,96
3	kN/m	6,61	6,05	3,3	4
4	kN/m	6,55	6,55	3,61	3,52
5	kN/m	6,59	6,62	3,2	3,25
6	kN/m	6,57	6,18	3,46	4,05
7	kN/m	6,66	6,37	3,1	3,58
8	kN/m	6,05	6,77	3,59	3,84
9	kN/m	5,86	7,07	3,47	4,14
10	kN/m	5,65	6,7	3,14	4,22
Mittelwert	kN/m	6,244	6,619	3,358	3,869
Differenz	%	-5,67		-13,21	

Tabelle 8: Vergleich ECT Messergebnisse Wellenstoff und EE Welle 60 g/m² und 80 g/m²

Auch im Wellpappenwerk Monheim wurden die ersten Verpackungen mit 60 g/m² produziert und bewertet.

Dabei wurde 80 g/m² Wellenstoff durch 60 g/m² ersetzt und daraus EB (ED) Wellen produziert. Die Verarbeitung war problemlos möglich.



Abbildung 43: Muster Verpackungen aus den Versuchen zur Substitution von 80 g/m² Wellenstoff durch 60 g/m² Wellenstoff

Anschließende Messungen haben gezeigt, dass 60 g/m² durchaus zukünftig 80 g/m² substituieren kann (Abbildung 43). Die Laboruntersuchungen bzgl. ECT und BCT haben keinen Unterschied zwischen den Verpackungskonstruktionen mit 80 g/m² und 60 g/m² gezeigt (Tabelle 9).

Sorte Wellenstoff	ECT (kN/m)	BCT (N)
80 g/m²	7,511	2,845
60 g/m²	7,500	2,885

Tabelle 9: Messergebnisse Vergleich 80 g/m² mit 60 g/m² in Wellpappenverpackungen

Die bisher sehr positiven Ergebnisse in den eigenen Wellpappenwerken haben auch schon erste Aufträge und Anwendungen am Markt gebracht.

Anwendungsbeispiele:

- Ein Kunde hat für 2023 bereits 3.000 Jahrestonnen in Auftrag gegeben.
- Ein namhafter Discounter hat die Kunststoffschalen seiner Cookies durch thermogeformtes 60 g/m² Papier ersetzt.
- Weitere Versuche in Wellpappenwerke und Kundenanfragen werden bereits getestet bzw. sind in der Planung.

Als allgemeines Fazit der bisherigen Produktionen an der PM und Versuche in den Wellpappenwerke kann resümiert werden, dass zum einen eine effiziente und ressourcenschonende Produktion von 60 g/m² Wellpappenrohpapier an der PM 5 möglich und das Konzept der PM 5 dafür optimal geeignet ist.

Zum anderen hat der qualitativ hochwertige Wellenstoff 60 g/m² der PM 5 ein sehr hohes Potential, zukünftig schwerere Sorten zu substituieren, und auch neue Einsatzfelder für Wellpappenverpackungen zu erobern.

4.2.7 Wasser- / Abwasserverbrauch

Eine moderne effiziente Papierfabrik wird heutzutage besonders an ihrem spezifischen Frischwasserverbrauch und der eingeleiteten Abwassermenge beurteilt. Aus Gründen der Schonung der Umwelt und im speziellen der ökologischen Belange der Oberflächenwässer und deren Bewohner, werden die Anforderungen an die Wasserentnahme und deren Rückführung seitens der Behörden immer strenger kontrolliert und Grenzwerte verschärft.

Produzenten von Wellpappenroh papier aus 100 % Altpapier benötigen für die Einhaltung der Grenzwerte und die Reduzierung des Wasserverbrauchs aufwendige prozess-technische Anlagen, um Kreisläufe zu schließen und das restliche Abwasser zu reinigen und zu kühlen. Um den Wasserverbrauch so gering wie möglich zu halten, wurde die gesamte Produktion mit einem übergeordneten Wassermanagement System der Fa. Voith ausgestattet. Diese Wassermanagement System regelt alle eingehenden und ausleitenden Wassermengen, um Wasser so optimal als möglich zu nutzen. Dazu kann das Wassermanagement System auch bis zu 50 % des gereinigten Wassers in die Produktion zurückfahren. Das Abwasser der Produktion wird über Anaerobreaktoren, eine aerobe Reinigungsstufe mit Tiefenbelüfter, Nachklärbecken, Biofilter und Sandfilter gereinigt.

Da die PM 5 nach wie vor in der Optimierungs- und Hochfahrphase befindet, wird auch das Wassermanagement System nach und nach an die Prozessparameter angepasst. Im folgenden Vergleich sind die spezifischen Abwasser- sowie Frischwassermengen aus dem Zeitbereich April bis September 2022 dargestellt. Es handelt sich um bereinigte Zahlen (ohne Stillstände und Reinigungen), die im Tagesmittel errechnet werden. Der Vergleich wird mit den Zahlen aus den BVT-Richtlinien (Europäische Kommission, 2015) für die Herstellung von Zellstoff, Papier und Karton (Tabelle 10) durchgeführt.

Produzierte Sorten:	Corrugated Medium / Testliner		
	BVT -Richtlinie	Palm PM 5 4/22 – 9/22	Palm PM 5 9/2022
Frischwasser (l/kg)	1,5 – 35	4,0	3,6
Abwasser (l/kg)	5,7 (0,4-15,5)	4,2	3,7

Tabelle 10: Vergleich spez. Frischwasser- und Abwassermengen PM 5 zu BVT-Richtlinien

Spezifischer Frischwasserverbrauch

Im Vergleich zu den BVT Richtlinien befindet sich die PM 5 bzgl. spez. Frischwassermengen für die Herstellung von Wellpappenrohpaper an der unteren Grenze. Ein Verbrauch von 1,5 m³/t wäre die rein verdampfter Wassermengen bei einem komplett geschlossenen Kreislauf. Geschlossene Kreisläufe in Papierfabriken mit 100 % Altpapiereinsatz verlangen enorme Behandlungsaufwendungen, was die Reinigung und die chemische Behandlung mit Biozid betrifft. Daher ist das Ziel an der PM 5 den Wasserhaushalt auf ein sehr niedriges spezifisches Niveau zu bringen, ohne die Wasserkreisläufe mit übermäßigen Bioziden und Härtestabilisatoren behandeln zu müssen.

In der Tabelle 10 ist zu sehen, dass schon während der Optimierungs- und Hochfahrphase zwischen April und September 2022 die Wasserverbräuche auf einem sehr guten Niveau sind. Abbildung 44 zeigt auch einen positiven Trend zu einer weiteren Reduzierung des spez. Wasserverbrauchs.

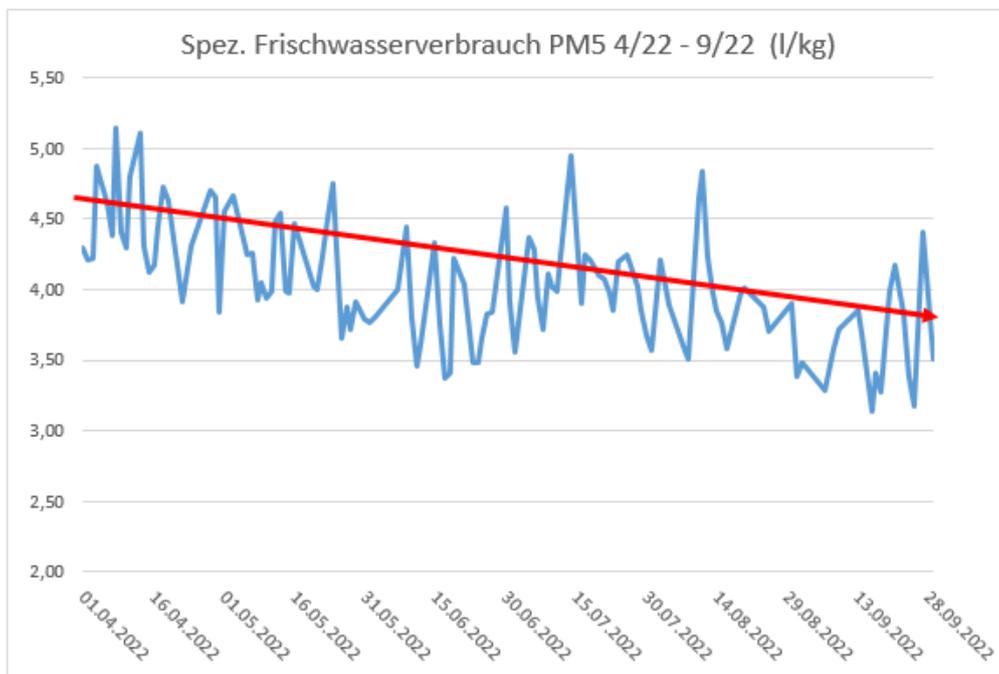


Abbildung 44: Spez. Frischwasserverbrauch PM 5 4/22 -9/22

Spez. Abwassermenge

Die in Tabelle 10 dargestellten Abwassermengen zeigen das sehr gute Niveau im Vergleich zu den BVT Richtlinien. Die in den Richtlinien dargestellten 0,4 l/kg stellen ebenfalls wie im Falle des Frischwassers einen Wert einer komplett geschlossenen Anlage dar. Wie auch beim spezifischen Frischwasserverbrauch ist das Ziel die spezifischen Abwassermengen zu senken. Abbildung 45 stellt die Abwassermengen von April bis September 2022 dar. Auch hier konnte seit Mitte Mai eine deutliche Reduzierung erreicht werden. Ein Grund für die positive Entwicklung ist die immer stabiler werdende Produktion der PM 5 mit weniger Stillständen und Abrissen.

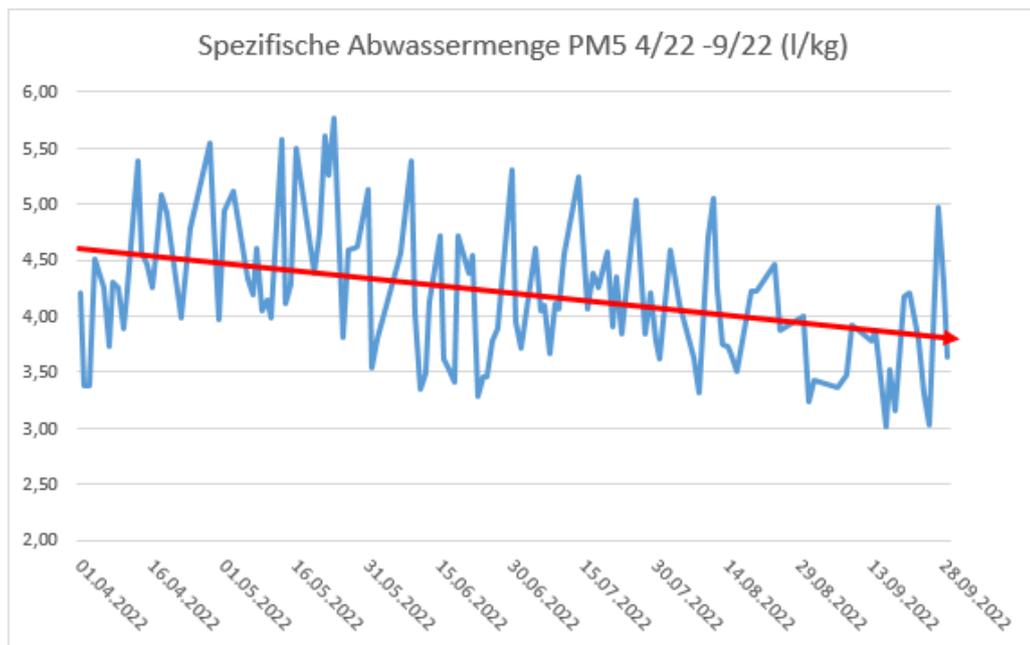


Abbildung 45: Spezifische Abwassermengen PM 5 4/22 - 9/22

4.2.8 Energieverbräuche

Die Erfassung der spezifischen Energieverbräuche wird über das Energiemanagement das fabrikweiten Valmet DNA Prozessleitsystems realisiert und mittels der Analysesoftware DataParc ausgewertet.

Der Energieverbrauch bzgl. Strom beinhaltet das komplette Werk inkl. Verwaltung, Kraftwerk (KWK), Rejektaufbereitung und -sortierung (Metall- und Plastikfraktion), Kläranlage, Frischwasseraufbereitung, Altpapierlager sowie dem vollautomatischen Fertigrollenlager mit sechs Kränen. Im Folgenden Vergleich sind die spezifischen Strom- und Wärmemengen (Dampf + Gas) aus dem Zeitbereich April bis September aus täglichen Mittelwerten kalkuliert dargestellt. Die Zahlen wurden bereinigt, sodass keine Stillstände (Wartung und Reparatur) und Reinigungen enthalten sind.

Der Vergleich wird mit den Zahlen aus den BVT –Richtlinien (Europäische Kommission, 2015) für die Herstellung von Zellstoff, Papier und Karton (Tabelle 11) durchgeführt.

In Tabelle 11 sind die spezifischen Verbrauchszahlen des Werks Aalen mit der PM 5 dargestellt. Im Vergleich mit den BVT Referenzwerten ist der spezifische Verbrauch von Strom und Wärmeenergie (Dampf und Gas) auf einem sehr niedrigen Niveau.

Produzierte Sorten:	Corrugated Medium / Testliner		
	BVT -Richtlinie	Palm PM 5 4/22-9/22	Palm PM 5 9/2022
Strom (kWh/t)	300-700	350	351
Wärme (kWh/t)	1100-1800	875	832

Tabelle 11: Vergleich spez. Energieverbräuche PM 5 zu BVT Richtlinien

Im gesamten Projekt lag ein großer Fokus auf der Reduzierung von Energiebedarf und Wärme. Dies ist auch in den Verbrauchstrends in den Abbildung 46 und Abbildung 47 zu sehen.

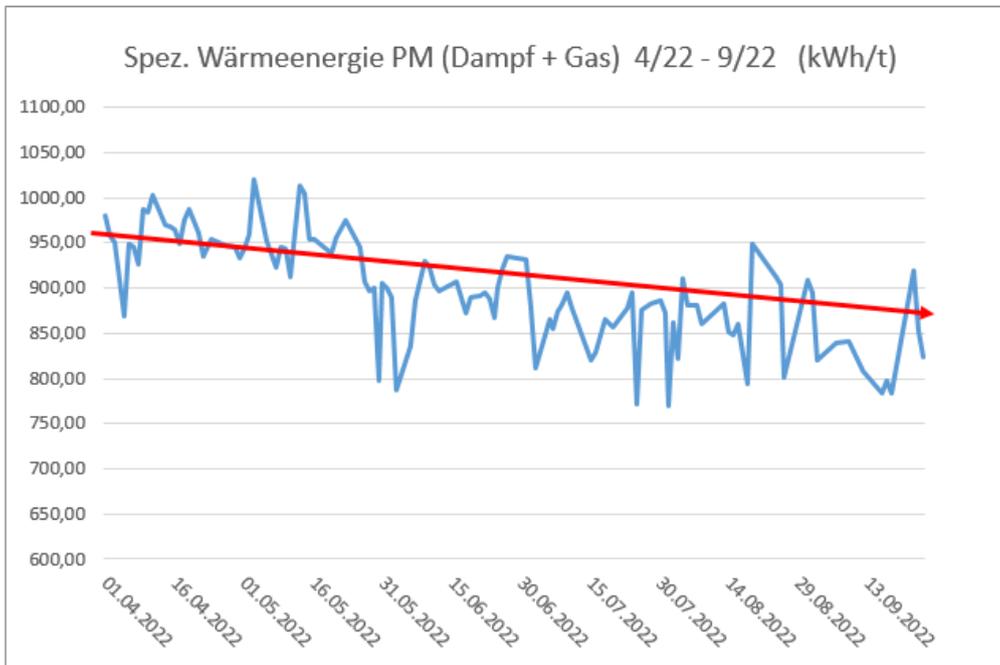


Abbildung 46: Spezifischer Wärmeenergiebedarf PM 5 4/22- 6/22

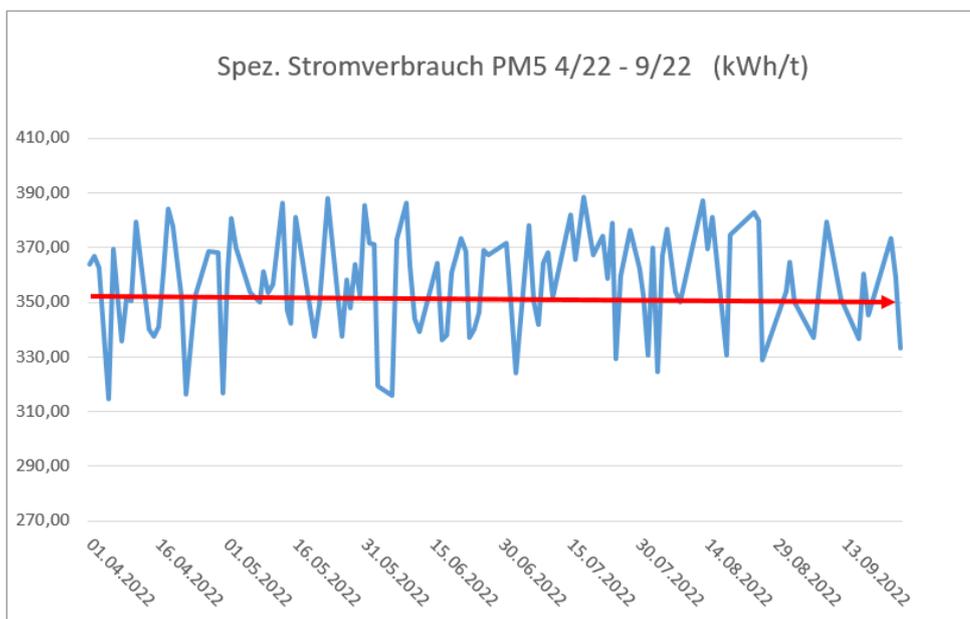


Abbildung 47: Spezifischer Strombedarf PM 5 4/22- 9/22

4.3 Umweltbilanz

Umwelteffekte - Mengenspezifische Berechnung $\left(\frac{t\ CO_2}{t\ Papier}\right)$ (Vergleich BVT Richtlinien)

Zur Bestimmung der Umweltbilanz wurden auf Basis der Strom- und Wärmekennzahlen aus Tabelle 11 (April – September 2022) mittels Emissionsfaktoren Emissionskennzahlen und somit die Umweltentlastung berechnet.

Emissionsfaktoren

Strom	0,474 tCO ₂ /MWh
Wärme	0,252 tCO ₂ /MWh

Quelle Emissionsfaktor Strom:

Der verwendete Emissionsfaktor für Strom (0,474 tCO₂/MWh_{el}) ist der vom UBA im Jahr 2019 für das Jahr 2018 veröffentlichte Wert. (Umweltbundesamt, 2022)

Quelle Emissionsfaktor Wärme:

Der Emissionsfaktor für Dampf (0,252 tCO₂/MWh_{Dampf}) basiert auf dem Emissionsfaktor für Erdgas nach der ZuV 2012, Anhang 1. Der verwendete Emissionsfaktor für Dampf ergibt sich aus der Umrechnung von GJ in MWh und einem Jahresnutzungsgrad der Dampfkessel von 80 % (Justiz, 2022).

Formel

$$Emission \left(\frac{t\ CO_2}{t\ Papier}\right) = Energie \left(\frac{kWh}{t\ Papier}\right) * Emissionsfaktor \left(\frac{t\ CO_2}{MWh}\right) / 1000 \left(\frac{kWh}{MWh}\right)$$

Als Grundlage für die Berechnung der Emissionsminderung wird die PM 5 mit der im Jahr 2002 gestarteten PM 6 der Palm Gruppe im Werk Würth verglichen. Die PM 6 ist ebenfalls für Wellpappenroh papier konzipiert und hat eine Jahreskapazität von 650.000-700.000 t Papier pro Jahr.

Bei der Auslegung der PM 6, ebenfalls von Valmet geliefert, wurden die damals als Stand der Technik verfügbaren Aggregate und Konzepte installiert. Nach 20 Jahren Betrieb und immer weiter optimierten Prozesse ist die PM 6 eine der produktivsten und effizientesten Papiermaschinen für Wellpappenroh papier. Der folgende Vergleich der Stromverbräuche der einzelnen Hauptsektionen der Papierproduktion zwischen PM 5 und PM 6, stellt das sehr gute Energieverbrauchs niveau nach etwas über einem Jahr Betrieb der PM 5 dar.

Die Gesamtverbrauchszahlen wurden für das komplette Werk inkl. geschlossenem Altpapierlager, Stoffaufbereitung, Papiermaschine mit Nebenaggregaten, Wasseraufbereitung, Prozesswasseraufbereitung, Biogasaufbereitung und -einspeisung, vollautomatisches Fertigrollenlager, Prozesswasserreinigungsanlage (mit Anaerobreaktoren, Aerobie, Nachklärung, Sandfilter, Kühlung) bestimmt. Der Umfang des Werks Aalen ist durch die modernen Anlagen und Aufbereitungsprozesse insgesamt sogar weitaus umfangreicher als herkömmliche Papierfabriken. Im Gegensatz zum Werk Wörth werden in Aalen sämtliche Rejekte in einer eigenen Aufbereitungsanlage mit Schredder aufgeschlossen und nach Fraktionen (Plastik als Ersatzbrennstoff, Metall und Nichtmetall) separiert. Der Standard ist in den meisten Papierfabriken die entgeltliche externe Entsorgung. Dazu besitzt die Kläranlage des Werks Aalen auf Grund der hohen Anforderungen an die Wasserqualität noch eine zusätzliche Tertiärstufe mit einem Biofilter. Für die Reinigung von Frischwasser und Kreislaufwasser sind, anders als in Wörth, neben den einfachen Rückspülfiltern auch zwei Ultrafiltrationsanlagen (Membranfilter) im Einsatz. Diese liefern die Wasserqualitäten, die eine moderne schnelle Papiermaschine benötigt.

Tabelle 12 zeigt den Vergleich des Strombedarfs der Hauptaggregate der Papiermaschine, der Stoffaufbereitung und den Gesamtstrombedarf des Werks.

		PM 5	PM 6	Differenz PM 5 zu PM 6
Formerpartie	kWh/t	49,8	44,3	12%
Pressenpartie	kWh/t	39,1	47,5	-18%
OptiDry Twin	kWh/t	4,0		100%
Vortrockenpartie	kWh/t	8,4	16,3	-48%
Sizer /Stärkeauftrag	kWh/t	3,2	2,8	13%
Nachtrockenpartie	kWh/t	5,4	6,7	-18%
Aufrollung	kWh/t	1,8	2,5	-28%
SUMME Papiermaschine	kWh/t	111,8	120,1	-7%
Stoffaufbereitung	kWh/t	84	110	-24%
Werk gesamt	kWh/t	350	410	-15%

Tabelle 12: Vergleich Strombedarf Stoffaufbereitung und Papiermaschine PM 5 zu PM 6

Mittels der jährlichen Produktionskapazität der PM 5 und der spezifischen Emissionsminderung (Tabelle 13) kann ein jährliches CO₂-Einsparpotential ermittelt werden (Tabelle 14). In der folgenden Tabelle 13 sind die durchschnittlichen Verbrauchsmengen für Strom und Wärme (Dampf und Gas) der beiden Werke PM 5 (4/22 - 9/22) und PM 6 (Jahresdurchschnitt) aufgeführt. Mit den oben aufgeführten Emissionsfaktoren lassen sich somit die spezifischen Emissionsmengen pro Tonne Papier berechnen. Stellt man daraus den Vergleich bzgl. Strom, Wärme und der Summe aus beidem an, so ist eine Reduzierung der spezifischen CO₂ Emissionen zwischen 15 % und 23 % möglich. Die Summe beider Emissionsquellen resultiert in einer Gesamtreduzierung um ca. 20 % (Tabelle 13).

	Palm PM 6	Emissionen PM 6	Palm PM 5 4/22-9/22	Emissionen PM 5	Differenz Emissionen
Strom	410 kWh/t	0,194 t CO2/ t	350 kWh/t	0,166 t CO2/ t	-14,6%
Wärme	1140 kWh/t	0,287 t CO2/ t	875 kWh/t	0,221 t CO2/ t	-23,2%
Summe	1550 kWh/t	0,482 t CO2/ t	1225 kWh/t	0,386 t CO2/ t	-19,8%

Tabelle 13: Berechnung der spez. Emissionsreduzierung

An Hand der Differenz der gesamten CO₂ Emissionen (Summe) zwischen PM 5 und PM 6 von 0,95 t CO₂/t Papier und der geplanten Jahrestonnage von 750.000 t lässt sich in der Tabelle 14 eine Emissionsreduzierung von 71.415 t CO₂/Jahr darstellen.

Produktionskapazität PM 5	Reduzierung spez. Emissionen	Reduzierung Emissionen PM 5
750.000 t Papier/Jahr	0,095 t CO ₂ /t Papier	71.415 t CO₂/Jahr

Tabelle 14: Berechnung der jährlichen Emissionseinsparungen

Umwelteffekte – Flächenspezifische Berechnung $\left(\frac{t\ CO_2}{m^2\ \text{Papier}}\right)$

Für die Betrachtung der flächenspezifischen Energie- und Emissionsreduzierungen durch die Verwendung von niedrigen Flächengewichten in Wellpappenverpackungen wurden im Vorfeld des Projekts theoretische Kalkulationen angestellt.

Der Unterschied zwischen einer mengenspezifischen und einer flächenspezifischen Betrachtung ist, dass eine Tonne produzierter 60 g/m² Wellenstoff einen gleichen spezifischen Verbrauch an Additiven, Wasser, Dampf usw. hat, wie ein 70 g/m² Wellenstoff. Auch der Transportaufwand ist gleich. Die spezifische Kalkulation erfolgt immer pro Tonne Papier (Abbildung 48).

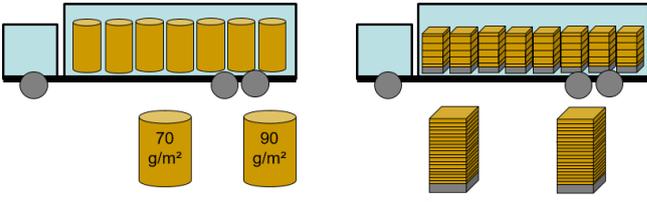
Betrachtet man jedoch die produzierte Fläche (m²), dann haben eine in Maßen und Gewicht identische 60 g/m² wie 70 g/m² Rolle unterschiedliche Flächen (m²). Somit sind die flächenspezifischen Verbräuche sowie der Transportaufwand bei 60 g/m² geringer als bei 70 g/m², da eine Rolle mit gleichem Gewicht mehr Fläche (m²) enthält (Abbildung 49).

Einflüsse einer Flächengewichtsreduzierung

	x/t	x/m^2
Spez. Energieverbrauch	=	<
Spez. Wasserverbrauch	=	<
Spez. Altpapiereinsatz	=	<
Spez. Laufmeter / Fläche (m^2)	>	=
Transportkosten	=	<

Abbildung 48: Einflüsse Verbrauch bei mengen- und flächenspezifischer Betrachtung

Auf dem Lkw:



	70 g/m ²	90 g/m ²
Laufmeter / m ² pro LKW	>	>
Gewicht Ware pro LKW	=	=
Anzahl WP-Verpackungseinheiten		>
CO ₂ / to	=	=
CO ₂ / m ²	<	<
CO ₂ / WP-Verpackungseinheit	<	<

Abbildung 49: Einflüsse auf Transportemissionen bei mengen- und flächenspezifischer Betrachtung

In der Papierfabrik wird immer mengenspezifisch, in den Wellpappenwerken jedoch flächenspezifisch kalkuliert. Somit hat die Reduzierung des Flächengewichts einen direkten energetischen und umweltentlastenden Effekt auch in der Weiterverarbeitung bzw. nach dem Verlassen des Fertigrollenlagers der Papierfabrik.

Im Antrag und der Präsentation beim UBA in Dessau wurden das Potential und die theoretischen CO₂-Einsparungen durch flächenspezifische Verbrauchsreduzierungen anhand von Annahmen berechnet. Diese Werte lassen sich jetzt mit den realen Betriebsdaten aus dem Zeitraum April bis Juni 2022 berechnen und vergleichen. In Tabelle 15 sind die Zahlen aus dem Antrag den realen Betriebsdaten aus dem Zeitraum April bis Juni 2022 (4.2 Stoff- und Energiebilanz) gegenübergestellt.

	Antragsskizze	Nach IBN April - Juni 2022
Max. Produktion PM 5neu	750.000 t/a	
	2.227 t/d	
Anteil 90 auf 70 g/m² Wellenstoff	30 % (225.000 t/a)	
Anteil 70 auf 60 g/m² Wellenstoff	30 % (225.000 t/a)	
Frischwasser (m³/t)	6	3,9
Dampf (kWh/t)	1.300	875
Strom (kWh/t)	350	350
Altpapier (t/t)	1,064	1,08
Hilfsstoffe (Summe) (kg/t)	62,2	46,2

Tabelle 15: Vergleich Berechnungsgrundlagen aus Antragsskizze und Betriebsdaten PM 5 April-Juni 2022

Im Antrag wurde aus den angenommenen Verbrauchszahlen der PM 5 auf Basis der Daten in Tabelle 16 (Antragsskizze) die Emissionsreduzierungen ermittelt, die durch die Substitution von 90 g/m² durch 70 g/m² sowie von 70 g/m² durch 60 g/m² erreicht werden können. Es wurde angenommen, dass beide Substitutionen zukünftig je ca. 30 % der Gesamtkapazität der PM 5 erreichen werden. Das wären jeweils 225.000 t/a. Tabelle 16 zeigt den Vergleich der Emissionsreduzierungen aus dem Antrag mit den tatsächlich erreichbaren Emissionsreduzierungen auf Basis der Verbrauchszahlen im Zeitraum April bis September 2022. Zur Berechnung der Emissionsreduzierungen wurden die folgenden Parameter herangezogen.

- Frischwasser: spezifischer Verbrauch aus dem Oberflächengewässer
- Dampf: Zur Trocknung des Papiers benötigter Dampf
- Strom: Stromverbrauch des Werks
- Transport Altpapier: Anlieferung von Altpapier zur Produktion
- Transport Hilfsstoffen: Anlieferung von Hilfsstoffen zur Produktion
- Transport Fertigware: Transport der Rollen aus dem Lager zur Verarbeitungsstätte/ Wellpappenwerk

Ersatz 90g/m² durch 70 g/m²

	Antragsskizze		PM 5 April - September 2022	
	Verbräuche	Emissionen	Verbräuche	Emissionen
Frischwasser	300.000 m ³ /a		195.000 m ³ /a	
Dampf	65.000 MWh/a	16.370 t CO ₂ /a	43.700 MWh/a	11.019 t CO ₂ /a
Strom	17.500 MWh/a	8.295 t CO ₂ /a	17.500 MWh/a	8.295 t CO ₂ /a
Transport Altpapier	53.200 t/a	253,76 t CO ₂ /a	54.000 t/a	257,58 t CO ₂ /a
Transport Hilfsstoffe	3.110 t/a	40 t CO ₂ /a	2.310 t/a	29,4 t CO ₂ /a
Transport Fertigware	1.989 LKW/a	715 t CO ₂ /a	1.989 LKW/a	715 t CO ₂ /a
SUMME		25.674 t CO₂/a		20.315 t CO₂/a

Ersatz 70g/m² durch 60 g/m²

	Antragsskizze		PM 5 April - Juni 2022	
	Verbräuche	Emissionen	Verbräuche	Emissionen
Frischwasser	192.857 m ³ /a		125.357 m ³ /a	
Dampf	41.785 MWh/a	10.524 t CO ₂ /a	28.125 MWh/a	7.083 t CO ₂ /a
Strom	11.250 MWh/a	5.333 t CO ₂ /a	11.250 MWh/a	5.333 t CO ₂ /a
Altpapier Transport	34.200 t/a	163,13 t CO ₂ /a	34.714 t/a	165,59 t CO ₂ /a
Hilfsstoffe Transport	1.999 t/a	25 t CO ₂ /a	1.485 t/a	18,9 t CO ₂ /a
Fertigware Transport	1.287 LKW/a	460 t CO ₂ /a	1.287 LKW/a	160 t CO ₂ /a
SUMME		16.504 t CO₂/a		13.058 t CO₂/a

Gesamtsumme	42.179 t CO₂/a		33.376 t CO₂/a
--------------------	----------------------------------	--	----------------------------------

Differenz	-8.803 t CO₂/a	-21%
------------------	----------------------------------	-------------

Tabelle 16: Vergleich Emissionsreduzierung Antragsskizze zu Betriebsdaten PM 5 April - September 2022

Im Vergleich zum Antrag (Tabelle 16) ist die Gesamtsumme der errechneten Emissionsreduzierungen (Tabelle 16) durch Substitutionen 21 % niedriger. Dies resultiert daraus, dass die realen Verbrauchszahlen, die als Basis der Berechnung dienen, im Zeitraum April bis September 2022 (Tabelle 15) bedeutend besser sind, als die angenommenen Daten aus dem Antrag. Durch den geringeren spezifischen Energieverbrauch fällt somit auch die Einsparung durch die Substitution geringer aus. Besonders die Dampfmengen und der Frischwasserverbrauch (Tabelle 15; Tabelle 16) sind nach der IBN auf einem sehr niedrigen Niveau. Zukünftig werden sich die Verbräuche mit der weiteren Optimierung der PM 5 noch weiter reduzieren. Durch die Substitution von höheren Grammaturen durch leichtgewichtigeren Sorten können, im Falle der in der Antragsskizze angegebenen und in Tabelle 15 und Tabelle 16 dargestellten Daten und Berechnungen, Emissionen reduziert werden. Folgend werden in der Tabelle 17 die möglichen Reduzierungen spezifisch pro Tonne Papier in Beispielrechnungen ermittelt.

CO ₂ Emissionen Recycling Papier (Verband der Wellpappen e.V., 2022)	887 kg CO ₂ /t Papier
CO ₂ Reduzierung Transport durch Substitution durch leichtere Sorten	
90 g/m ² auf 70 g/m ² Wellenstoff	90 kg CO ₂ /t Papier = ca. 10 %
70g/m ² auf 60 g/m ² Wellenstoff	58 kg CO ₂ /t Papier = ca. 6,5 %

Tabelle 17: Berechnung der Emissionsreduzierung durch Substitution aus der Antragsskizze

Nach den ersten Produktionen von 60 g/m² Wellenstoff seit August 2022 und der direkten Verarbeitung in den eigenen Wellpappenwerk, wurden schon erste Umstellungen / Substitutionen realisiert. Die ersten Substitutionen von 70 g/m² durch 60 g/m² wurden in Versuchen bereits umgesetzt und getestet, was für 2023 erste Aufträge nach sich zog. Die Substitution von 90 g/m² durch 70 g/m² soll in 2023 in den ersten Wellpappenwerken forciert werden. Siehe dazu auch unter 4.2.6 Erste Produktion Wellenstoff 60 g/m².

Als Fazit für die Erfolgskontrolle der Umwelteffekte und Emissionsreduzierungen ist die PM 5 mit dem neuen Maschinenkonzept und der „State-of-the-Art“-Papierfabrik bereits kurze Zeit nach der IBN auf einem sehr guten und wettbewerbsfähigen Niveau und wird in Zukunft neue Maßstäbe bzgl. Emissionen und Energie- und Rohstoffverbräuche setzen.

4.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die in den beiden vorangegangenen Kapiteln 4.2 Stoff- und Energiebilanz und 4.3 Umweltbilanz dargestellten Kennzahlen und Verbrauchsangaben haben einen entscheidenden Einfluss in die Betrachtung der Rentabilität der Investition.

In der Antragsskizze wurden die erwarteten Kosteneinsparungen sowie die Rentabilität und ROI Berechnung erstellt. Diese gilt es nun mit den aktuellen Kenn- und Verbrauchszahlen aus dem Zeitraum (April – September 2022) zu vergleichen und die neue Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu diskutieren. Die folgenden Tabellen (Tabelle 18; Tabelle 19) zeigen die Kosteneinsparungen und Rentabilitätsberechnungen aus der Antragsskizze sowie mit aktuellen Zahlen.

Erwartbare Rentabilität in Mio. EUR	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Förderfähige Investitionsmehrkosten	-9,1	-15,2	-6,1					
Mehrkosten der Wartung und Instandhaltung			-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6
Zinsbelastung		-0,3	-0,7	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
Minderkosten Energie wg. OptiDry Konzept			1,6	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Zusätzliche Positiveffekte (v.a. Rohstoffeinsatz)			0,3	1,0	1,3	1,7	2,1	2,5
Gesamt	-9,1	-15,5	-4,9	2,8	3,1	3,4	3,8	4,2
Gesamt kumuliert	-9,1	-24,6	-29,5	-26,7	-23,7	-20,2	-16,4	-12,2

Tabelle 18: Erwartete Kosteneinsparungen durch die Installation des OptiDry-Twin aus Antragsskizze

Erwartbare Rentabilität in Mio. EUR	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Förderfähige Investitionsmehrkosten	-0,7	-18,9	-8,8								
Mehrkosten der Wartung und Instandhaltung				-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
Zinsbelastung		0,0	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
Minderkosten Energie wg. OptiDry Konzept			4,0	9,6	11,7	13,8	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
Zusätzliche Positiveffekte (v.a. Rohstoffeinsatz)			0,0	0,3	1,0	1,6	2,1	2,5	2,9	3,3	3,7
Gesamt	-0,7	-18,9	-5,2	8,9	11,6	14,3	15,9	16,3	16,7	17,1	17,4
Gesamt kumuliert	-0,7	-19,6	-24,7	-15,8	-4,2	10,1	26,0	42,3	59,0	76,1	93,5

Tabelle 19: Kosteneinsparungen durch OptiDry-Twin mit Kennzahlen nach IBN (April – September 2022)

Durch den Vergleich der Tabelle 18 und Tabelle 19, die die Kosteneinsparungen aus Antragsskizze und Kennzahlen nach IBN (April - Juni 2022) darstellen, sind bei der aktuellen Betrachtung (Tabelle 19) deutliche Veränderungen zur Antragsskizze ersichtlich.

Besonders auffällig ist hierbei die Position „Minderkosten Energie wg. OptiDry Konzept“. Hier kommt die aktuelle Situation am Strom und Energiemarkt zum Tragen. Die zum Zeitpunkt der Auswertungen anhaltende Energiekrise und die daraus resultierten Strom- und Gaskosten sind um ein vielfaches höher als zum Zeitpunkte des Förderantrags und somit ändert sich die Rentabilität entscheidend. In den beiden unteren Zeilen sind die Mehr- und Minderkosten durch den OptiDry verrechnet. Betrachtet man die jährliche Gesamtsumme, so steigern sich die Kosteneinsparungen bei der Energie und verbessern die Rentabilitätsbetrachtung.

Diese Betrachtung ist jedoch bis 2029 mit den aktuell hohen Energiekosten berechnet. Sollte sich der Energiemarkt wieder entspannen, so würde die Kalkulation wieder etwas differenzierter aussehen und die Rentabilität sich wieder negativ entwickeln.

Die resultierenden Minderkosten wirken sich natürlich auch auf die Rentabilität und somit die ROI Betrachtung aus. Die folgenden beiden Tabelle 20 und Tabelle 21 zeigen die Rentabilitätsrechnung aus der Antragsskizze sowie die mit den realen Zahlen aus dem Zeitraum (April – September 2022)

Erwartbare Rentabilität in Mio. EUR	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Förderfähige Investitionsmehrkosten	-9,1	-15,2	-6,1								
Gesteigerte Kosten		-0,3	-1,2	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
Verminderte Kosten			1,9	4,2	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,5	6,9
Gesamt ohne Förderung	-9,1	-15,5	-4,9	2,8	3,1	3,4	3,8	4,2	4,6	5,0	5,3
Gesamt ohne Förderung (kumuliert)	-9,1	-24,6	-29,5	-26,7	-23,7	-20,2	-16,4	-12,2	-7,6	-2,6	2,7
Amortisation nach Jahren											8,5
Gesamt mit Förderung	-6,4	-10,8	-2,9	3,1	3,4	3,7	4,1	4,5	4,9		
Gesamt mit Förderung (kumuliert)	-6,4	-17,2	-20,1	-17,0	-13,7	-10,0	-5,9	-1,4	3,5		
Amortisation nach Jahren									6,3		

Tabelle 21: Rentabilitätsberechnung OptiDry mit Kennzahlen nach IBN (April – September 2022)

Erwartbare Rentabilität in Mio. EUR	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Förderfähige Investitionsmehrkosten	-0,7	-18,9	-8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesteigerte Kosten		0,0	-0,4	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1
Verminderte Kosten			4,0	9,9	12,7	15,4	17,0	17,4	17,8	18,2	18,6
Gesamt ohne Förderung	-0,7	-18,9	-5,2	8,9	11,6	14,3	15,9	16,3	16,7	17,1	17,4
Gesamt ohne Förderung (kumuliert)	-0,7	-19,6	-24,7	-15,8	-4,2	10,1	26,0	42,3	59,0	76,1	93,5
Amortisation nach Jahren						3,5					
Gesamt mit Förderung	-0,7	-17,1	-2,2	9,5	11,9	20,0	15,9	16,3	16,7	17,1	17,4
Gesamt mit Förderung (kumuliert)	-0,7	-17,8	-19,9	-10,4	1,5	21,5	37,4	53,7	70,4	87,5	104,9
Amortisation nach Jahren					2,5						

Tabelle 20: Rentabilitätsberechnung OptiDry aus Antragskizze

Die beiden Rentabilitätsbetrachtungen (Tabelle 20 und Tabelle 21) zeigen ebenfalls, den großen Einfluss der gestiegenen Energiepreise. In den beiden Zeilen „Amortisation“ mit und ohne Förderung konnten die ROI Zeiträume stark gekürzt werden. Ohne Förderung ist die Amortisation nach 3,5 statt 8,5 Jahren und mit Förderung konnte die Amortisationsberechnung von 6,3 auf 2,5 Jahre reduziert werden.

Auch bei dieser Betrachtung muss festgehalten werden, dass bei der Berechnung bis 2029 mit den gleich hohen Energiekosten gerechnet wurde, wie sie im Erhebungszeitraum April – September 2022 waren.

Sämtliche weiteren Kosten in den Tabelle 18 und Tabelle 19, wie Zinsen, zusätzliche Wartungs- und Instandhaltungskosten und weiter positive Effekte haben sich, wie in der Antragsskizze erwartet, entwickelt.

4.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Mit dem OptiDry Twin kann ein Teil einer konventionellen Trockenpartie (mit Dampf beaufschlagte Trockenzylinder) substituiert werden, was die Trockenkapazität betrifft.

Konventionelle Trocknung

Eine Konventionelle Trockenpartie besteht aus mit Dampf beaufschlagten Trockenzylindern, die in Reihe oder als Slalom aufeinander folgend. Der Dampf im inneren des Zylinders erwärmt die Zylinderoberfläche (Siehe 2.4.1 Aufbau einer Papiermaschine). Gleichzeitig sind die Trockenzylinder im Gruppen zusammenhängend durch Trockensiebe (Geflochtene Kunststoffgewebe; 2.4.2 Bespannungen Papiermaschine) verbunden und sektional umschlungen. Die Papierbahn verläuft durch die Gruppe bzw. die Trockenpartie von der Presse in Richtung der Aufrollung wobei das Papier immer zwischen den Sieben und der Trockenzylinderoberfläche läuft. Somit wird die Papierbahn geführt, an die heiße Oberfläche gedrückt und das verdampfte Wasser kann durch die Gewebe der Siebe entweichen. Diese geschieht in mehreren aufeinander folgenden Gruppen und ggf. Trockenpartien. Die verdampfte Wassermenge wird in einer Haube gesammelt und abgeführt, damit es zu keiner Kondensation kommen kann (Abbildung 50).

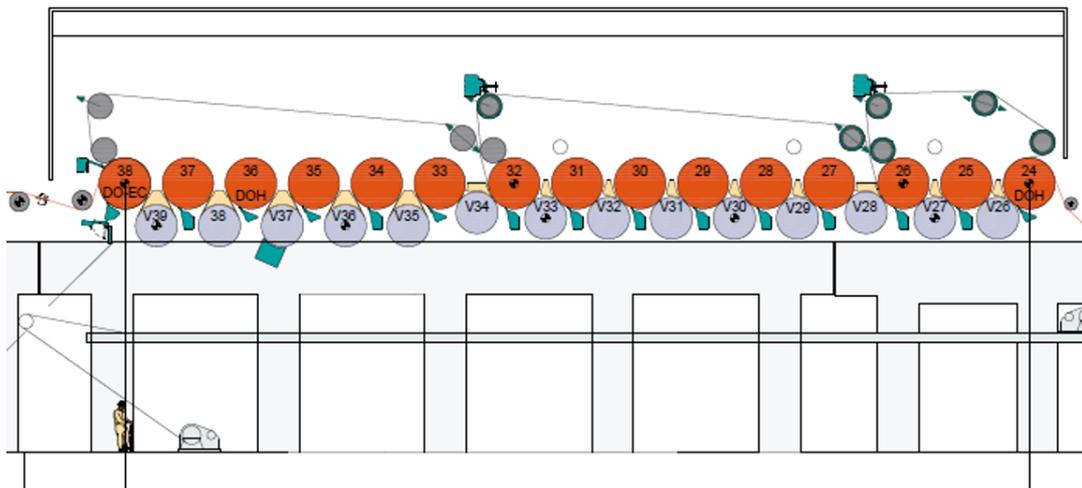


Abbildung 50: Beispiel einer konventionellen Trockenpartie mit Dampf beaufschlagten Trockenzylindern

OptiDry Twin Trocknungseinheit

Die OptiDry Trocknungseinheit besteht, wie in 3.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) (Abbildung 21; Abbildung 22) dargestellt, aus drei Trocknungshauben (1x Horizontal und 2x Vertikal) die gasbefeuerte Brenner und Ventilatoren beinhalten, die heiße Luft mittels Prallströmtrocknungsverfahren mit bis zu 350 °C auf die Papieroberfläche blasen. Die auf die Papieroberfläche auftreffende heiße Luft lässt das im Papier befindliche Wasser verdampfen und wird mit dem Abluftgebläse in den Hauben entfernt. Somit ist kein Kontakt zwischen der Papierbahn und der heißen Haubenoberfläche möglich. Die Papierbahn wird im gesamten OptiDry-Twin von Trockensieben gestützt und geführt. Durch die heiße Luft des OptiDry wird die Papierbahn nicht nur trocken, sondern gelangt in die darauffolgende konventionelle Trockenpartie mit einer bedeutend höheren Temperatur, als ohne den OptiDry. Die Tabelle 22 zeigt eine Gegenüberstellung der beiden Trocknungskonzepte und deren Kennzahlen.

Vergleich Trocknungskonzepte

	Konvent. Trocknung	OptiDry Twin Trocknung
Geschwindigkeit	Keine Limitierung	Keine Limitierung
Trocknungsverfahren	Kontakttrocknung	Prallströmtrocknung
Einlauffeuchte VTP	55-56 nach Presse	> 60 % nach OptiDry Twin
Bahntemperatur	ca. 40-45 °C	60-80 °C
Stauben / Rupfen 1. TZ	Starke Neigung am 1. TZ	Kein Stauben und Rupfen
Ablagerungsneigung	Sticky Ablagerungen in ersten Trockengruppen	Kaum Sticky-Ablagerungen in ersten Trockengruppen
Risiko Bahnabriss	Hohes Risiko durch Rupfen aus Papierbahn und Stickies	Reduziertes Risiko von Abrissen der Papierbahn

Tabelle 22: Vergleich Trocknungskonzepte

5 Übertragbarkeit

5.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Hintergrund für die Entscheidung erstmalig die OptiDry-Twin Trocknungseinheit in einer Papiermaschine für Wellpappenrohpaper einzusetzen, war das Ziel leichtgewichtige Papiere mit Flächengewichte bis 60 g/m² mit hoher Geschwindigkeit effizient und ressourcenschonend zu produzieren. Papiermaschinengeschwindigkeiten von 1800 m/min und mehr wurden bis zum Bau der PM 5 nur in graphischen Papiermaschinen umgesetzt und erreicht. In diesem Segment sind Flächengewichte < 60 g/m² Standard. Nach der IBN der PM 5 mit der OptiDry Twin Trocknungseinheit können die erwarteten Pros und nicht erwarteten Contras nun herausgearbeitet und dargestellt werden.

Pro:

1. Kaum Ablagerungen an ersten Trockenzylinder

Der Einfluss des OptiDry Twin auf die Verschmutzungsneigung an den ersten Trockenzylindern der VTP ist deutlich zu erkennen. Das sogenannte Stauben und Rupfen, dass üblicherweise an den ersten Zylinder mit dem Auge gut zu sehen ist, wird mit dem Start des OptiDry fast komplett eliminiert. Die Ablagerungen an den Schabern sind nur sehr minimal vorhanden, was darauf hinweist, dass die erwartete Erwärmung der Papieroberfläche auf bis zu 80 °C sich positiv auf das Stauben und Rupfen auswirkt. Mit dem Betrieb des OptiDry Twin ist somit das Risiko eines Abrisses durch das Herausreißen von Fasern an der Zylinderoberfläche stark reduziert.

2. Zugreduzierung durch Transferband

Der Betrieb des Transferbands lässt sich nach der IBN ebenfalls als sehr positiv bewerten. Der nicht vorhandene freie Zug aus der Presse und die sehr niedrigen Züge gewährleisten ein geringeres Risiko für Abrisse und weniger Verlust von Festigkeiten durch Dehnung des noch feuchten Papiers.

Contra:

1. Hoher Automatisierungsgrad

Da der OptiDry-Twin in der Vergangenheit ausschließlich im grafischen Bereich gebaut wurde, war der Stand der Automation nicht voll durchdacht. Die Herausforderungen und Probleme bei einer Anwendung zur Produktion von altpapierbasierten Wellpappenroh-papieren wurden vom Lieferanten unterschätzt bzw. vernachlässigt. Nach der IBN des OptiDry-Twin wurden sehr viele Änderungen und Optimierungen an der Automation vor Ort durchgeführt, was sehr viele und teilweise auch lange Ausfälle der gesamten Anlage nach sich zog.

Ein Beispiel hierfür sind defekte Trockensiebe, die unplanmäßig gewechselt werden mussten. Diese Siebe transportieren die Papierbahn durch den OptiDry-Twin und haben aus den Erfahrungen von Referenzanwendungen im grafischen Bereich eine Laufzeit von bis zu 6 Monate. Im Falle des OptiDry der PM 5 wurden seit IBN Juli 2021 schon insgesamt 27 Trockensiebe getauscht werden. Die meisten der Wechsel mussten ungeplant tagsüber aber auch nachts oder an Wochenenden vorgenommen werden. Hierfür muss die PM abgestellt werden, da die PM und das neue Sieb erst gereinigt und vorbereitet werden müssen. Gründe sind Automatisierungsprobleme, wie Ausfälle von Abrissüberwachungen, Brände, Elektrotechnische Defekte.

Folgend eine Aufstellung der Siebwechsel:

Position	OptiDry Horizontal	OptiDry Vertikal
Anzahl Siebe seit IBN Soll	2	2
Anzahl Siebe seit IBN IST	21	6
Kosten pro Sieb (€)	ca. 14.000	ca. 19.000
Siebkosten sein IBN Soll (€)	ca. 28.000	ca. 38.000
Siebkosten sein IBN IST (€)	ca. 294.000	ca. 114.000
Differenz (€)	ca. 342.000	

Tabelle 23: Anzahl Trockensiebe OptiDry-Twin seit IBN

Die in Tabelle 23 gezeigte Kostenaufstellung für die Vielzahl an defekten zu wechselnden Trockensieben im OptiDry-Twin beinhalten nur die reinen Siebkosten. Stillstandszeiten der PM, Produktionsausfälle und Lieferverzögerungen bei Kunden sowie Personalkosten sind nicht mit inbegriffen. Die Vielzahl von Ausfällen haben das Erreichen der geplanten Anlaufkurve verhindert und Mehrkosten verursacht.

2. Brandgefahr

Da der OptiDry-Twin mit Brennern und Gebläsen direkt in den Hauben ausgestattet ist und in der PM Staub und Papierfetzen durch Abrisse üblich sind, ist die Gefahr von entstehenden Glutnestern und Bränden sehr hoch. Die heißen Oberflächen der Haube lassen ein regelmäßiges Reinigen mit Wasser nicht zu, was dazu führt, dass nur Druckluft zur Reinigung während eines Stillstands oder Abrisses in Frage kommt. Die Qualität der Reinigung mit Luft ist im Vergleich zum Wasser jedoch schlechter, was wiederum die Gefahr von Bränden verstärkt. Im gesamten OptiDry-Twin ist ein sehr aufwendiges Sprinklersystem zwingend erforderlich. Die zuverlässige Arbeit der Flammendetektoren spielt hier ebenfalls eine große Rolle.

3. Ablagerung Stickies im OptiDry-Twin

Durch die hohen Temperaturen von bis zu 350 °C sammeln sich im Bereich des OptiDry-Twin sehr viele Stickies/ klebrige Verunreinigungen am Trockensieb und an Walzen und Hauben. Hier ist ein sehr gründliches Reinigen und zuverlässige Beschabberung der Walzen nötig. Diese Thematik ist auf Grund der Altpapierzusammensetzung erst durch den Einsatz im Wellpappenroh papier aufgekommen. Bei graphischen Papiermaschinen mit Deinking Materialien oder Primärfasern ist diese Problematik nicht oder kaum vorhanden.

5.2 Modellcharakter/ Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens / der Anlage / des Produkts)

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass der Einsatz einer OptiDry-Twin in einer Wellpappenroh-papiermaschine mit niedrigen Flächengewichten und hohen Geschwindigkeiten seine Vorteile ausspielt, jedoch auch einige schwerwiegende Nachteile hat. Das Transferband in der Presse ist ebenfalls sehr positiv zu bewerten und verbessert den Lauf der PM. Die Ausrüstung einer neuen Papiermaschine mit einem Transferband und/oder mit einem OptiDry-Twin ist aus unserer Sicht kein Problem und kann in Zukunft umgesetzt werden. Nach IBN des OptiDry-Twin in der PM 5 sind beim Lieferanten Valmet schon erste weitere Aufträge für Neuanlagen eingegangen, die einen OptiDry-Twin beinhalten. Eine Nachrüstung einer bestehenden Papiermaschine mit einem OptiDry-Twin und oder einem Transferband sind dagegen schwerer umzusetzen. Zum einen ist der benötigte Stillstand einer bestehenden PM zum Umbau von einer konventionellen Trocknung auf einen OptiDry-Twin mit 3-4 Wochen sehr lange. Zum anderen ist durch die sehr große Wärmerückgewinnungseinheit der nötige Platzbedarf in bestehenden Gebäude kaum vorhanden. Die Nachrüstung eines Transferbandes hängt bei bestehenden Papiermaschinen von der vorhandenen Gebäudestruktur und PM Konstruktion ab. Ein Umbau der PM stellt oft kein Problem dar, jedoch ist vor der PM mehr Platz nötig, um die Einzugvorrichtung aufzubauen. Diese benötigt viel mehr Platz als herkömmliche Bespannungen, da das Gewicht des Transferbandes mehr als 1 Tonne misst (2.4.2 Bespannungen Papiermaschine). Gebäudebreiten lassen sich im Nachhinein nicht mehr vergrößern. Ist der Platz gegeben, so ist ein Transferband nachrüstbar.

6 Zusammenfassung / Summary

6.1 Zusammenfassung

Einleitung

Am historischen Standort Aalen, an dem die Papierfabrik vor 150 Jahren (1872) gegründet wurde und an dem heute noch die Firmenzentrale sitzt, liefen bis 2021 drei betagte Papiermaschinen für Wellpappenrohpaper und Zeitungsdruckpapier. Neben der Papierfabrik in Aalen mit 3 Papiermaschinen betreibt die Fa. Palm 2 weitere Papierfabriken in Deutschland, sowie je eine Papierfabrik in England und Frankreich, 28 Wellpappenwerke sowie Recycling Unternehmen. Als Rohstoff wird bei Palm von Beginn an zu 100 % sekundäre Fasern (Altpapier) eingesetzt.

Ziel des Projekts in Aalen war es, die alten Anlagen mit einer jährlichen max. Produktion von ca. 350.000 t/Jahr durch eine moderne Papierfabrik zu ersetzen. Die Fabrik umfasst die komplette Papierherstellung vom Altpapier zur fertigen Rolle inkl. Kläranlage, Rejektaufbereitung, Biogasaufbereitung, KWK Kraftwerk und ein vollautomatisches Fertigrollenlager. Herzstück ist die Papiermaschine 5. Eine der modernsten und schnellsten Anlagen der Welt für Wellpappenrohpaper mit einer Kapazität von 750.000 t/Jahr. Da geplante Sortenspektrum umfasst Testliner und Wellenstoff im Grammaturbereich von 100 g/m² bis 60 g/m². Besonders die niedrigen Flächengewichte wie 70 g/m² und 60 g/m² stellen eine sehr große Herausforderung dar. 60 g/m² ist heute noch nicht auf dem Markt verfügbar. 70 g/m² hingegen schon. Um die Sorten nun effizient und ressourcenschonend herstellen zu können wurde im Konzept der PM 5 auf einen erstmaligen Einsatz des Transferbands aus der Presse und des OptiDry-Twin Trocknungssystems gesetzt. Der Einsatz soll Abrisse reduzieren und den Laufzeitwirkungsgrad bei leichten Sorten verbessern.

Vorhabensumsetzung

Im Konzept der PM 5 wurde im Auslauf der 3-Nip-Pressen anstatt eines Schabers ein Transferband um die Zentralwalze installiert, um dort den freien Zug der Papierbahn zu eliminieren. Dieser freie Zug ist bei Standard Pressen ein hohes Risiko für Abrisse. Zugleich wird die Papierbahn in die Impingement Trocknungseinheit OptiDry-Twin geführt. Dieses Trocknungsverfahren bläst heiße Luft auf die Papierbahn, trocknet diese und erhöht im Gegensatz zu konventionellen Konzepten die Temperatur der Papierbahn vor dem ersten Trockenzylinder, damit dieser nicht kleben bleibt. Das sogenannte Stauben und Rupfen wird so nahezu eliminiert und Abrisse in dem Bereich reduziert.

Ergebnisse

Seit der IBN der PM 5 im Juli 2021 hat dieses Konzept ihr Potential bereits gezeigt und die Produktion von leichten Sorten schon nach wenigen Monaten auf einer hohen Geschwindigkeit erlaubt.

Kurzfassung der Resultate:

- Keine Abrisse im Bereich Presse bis zum 3. Trockenzylinder bei 70 g/m² in 6 Monaten. Erste 60 g/m² Produktionen war die Abrissbild identisch.
- Durch den Einsatz des Transferbands könnte der Zug aus der Presse auf 0,55 % reduziert werden. Im Vergleich sind bei Standardpressen mit Schaber 1,5-2,5 % nötig.
- Festigkeitswerte konnten durch die niedrigen Züge erhöht werden, um die Substitution von Papieren durch leichtere Grammatoren zu realisieren, ohne an den Festigkeiten der Verpackung einzubüßen.
- Die Papierbahntemperatur wird durch den OptiDry Twin auf bis zu 75 °C erhitzt, anstatt den 40-45 °C im Standardkonzept. Stauben, Rupfen und Sticky Ablagerungen sind stark reduziert bzw. eliminiert.

- Das neue Gesamtkonzept der PM 5 inkl. des OptiDry Twin und des Transferbandes der Presse haben seit der Inbetriebnahme sehr gute Energieverbrauchs-werte gezeigt. Im Vergleich zur internen Referenzanlage PM 6 konnte werks-weite der Stromverbrauch um ca. 14 % und der Wärmebedarf um ca. 23 % re-duziert werden. Gesamtreduzierung des Energieverbrauchs beträgt ca. 20 %. Auf die zukünftige Jahreskapazität der PM 5 von 750.000 t/Jahr kalkuliert, re-sultieren die Energieeinsparungen in eine Emissionsreduzierung von ca. 71.500 t CO₂/Jahr.
- Der elementare Umwelteinfluss des OptiDry Twin mit Transferband zur Redu-zierung von Abrissen und Steigerung der Effizienz der PM 5 und der innovativen Produktion von leichtgewichtigen Wellpappenrohpapier mit 60 g/m² hat sich zum Antrag bestätigt. Es wurden seit der IBN erste 60 g/m² Sorten produziert.
- Erste Kunden wollen in 2023 nach den Versuchen 70 g/m² Papiere durch 60 g/m² Papiere substituieren und somit Gewicht in den Verpackungen reduzie-ren.

Ausblick

Das Konzept der PM 5 mit Transferband und OptiDry Twin hat sich seit der Inbetrieb-nahme für die Produktion von leichtgewichtigen Flächengewichten als richtiges Tool erwiesen um zukunftssträchtige, hochqualitative Wellpappenrohpa-piere ökologisch und ressourcenschonend zu produzieren.

Da sich die PM 5 nach etwas mehr als einem Jahr noch in der Hochfahr- und Optimie-rungsphase befindet, werden zukünftig neben den 70 g/m² Produktion auch die 60 g/m² Produktion regelmäßig in größeren Mengen auf dem Produktionsplan auftau-chen. Erste Produktionen von 60 g/m² Wellenstoff wurden seit Juli 2022 bereits gefah-ren und das Papier in der Verarbeitung getestet.

Durch die Substitution schwerer Sorten kann somit in Zukunft das spezifische Gewicht von Verpackungen gesenkt werden, ohne an Festigkeiten zu verlieren. Diese wird sich folglich dann auch die spezifischen Transportkosten und CO₂ Emissionen auswirken und den Verpackungsmarkt revolutionieren. Die Produktion von 60 g/m² Sorten ist für die Papierfabrik Palm ein elementarer Schritt in eine ökologische und CO₂ neutrale Zu-kunft.

6.2 Summary

Introduction

At the historic location in Aalen, where the paper mill was founded 150 years ago (1872) and where the company headquarters is still located today, three old paper machines for corrugated base paper and newsprint were in operation until 2021. In addition to the paper mill in Aalen with three paper machines, Palm operates two further paper mills in Germany, as well as one paper mill each in England and France, 28 corrugated board plants and recycling companies. From the very beginning, Palm has used 100 % secondary fibres (waste paper) as raw material.

The aim of the project in Aalen was to replace the old plants with a maximum annual production of approx. 350.000 t/year with a modern paper mill. The mill comprises the complete paper production from waste paper to the finished roll, including a clarification plant, reject treatment, biogas treatment, a CHP power plant and a fully automated finished roll store. The centrepiece is paper machine 5, one of the most modern and fastest lines in the world for corrugated base paper with a capacity of 750.000 t/year.

The planned range of grades includes testliner and corrugating medium in the grammage range from 100 gsm to 60 gsm. Especially the low basis weights such as 70 gsm and 60 gsm pose a great challenge. 60 gsm is not yet available on the market. 70 gsm, on the other hand, is.

In order to be able to produce the grades efficiently and in a resource-saving way, the PM 5 concept is based on the first-time use of the transfer belt from the press and the OptiDry Twin drying system. The use of this system is intended to reduce breaks and improve the running time efficiency of light grades.

Implementation

In the PM 5 concept, a transfer belt was installed around the central roll in the outlet of the 3-nip press instead of a doctor in order to eliminate the open draw of the paper web there. This free pull is a high risk for breaks in standard presses.

At the same time, the web is fed into the OptiDry Twin impingement drying unit. This drying process blows hot air onto the web, dries it and, in contrast to conventional concepts, increases the temperature of the paper web before the first drying cylinder so that it does not stick. This virtually eliminates the so-called dusting and picking and reduces breaks in the area.

Project Results

Since the Installation of PM 5 in July 2021, this concept has already shown its potential and allowed the production of light varieties at a high speed after only a few months.

Summary of results:

- No breaks in the press area up to the 3rd dryer cylinder at 70 gsm in 6 months. First 60 gsm productions the breaks pattern was identical.
 - By using the transfer belt, the draw from the press could be reduced to 0.55 %. In comparison, 1.5-2.5 % are necessary for standard presses with doctor.
 - Strength values could be increased by the low draw in order to realise the substitution of papers by lighter grammages without sacrificing packaging strength.
 - The OptiDry-Twin heats the paper web temperature up to 75 °C instead of the 40-45 °C in the standard concept. Dust, pickling and sticky deposits are greatly reduced or eliminated.
 - The new overall concept of the PM 5 including the OptiDry-Twin and the transfer belt of the press have shown very good energy consumption values since commissioning. Compared to the internal reference system PM 6, the power consumption could be reduced by approx. 14 % and the heat demand by approx. 23 %. The total reduction in energy consumption is approx. 20 %.
- Calculated on the future annual capacity of PM 5 of 750,000 t/year, the energy savings results in an emission reduction of approx. 71,500 t CO₂/year.

- The elementary environmental impact of the OptiDry-Twin with transfer belt to reduce breaks and increase the efficiency of the PM 5 and the innovative production of lightweight corrugated base paper with 60 gsm has been confirmed for the application. The first 60 gsm grades have been produced since the start-up.

First customers want to substitute 70 gsm papers with 60 gsm papers in 2023 after the trials and thus reduce the weight in the packaging.

The future calculations through these substitutions result in emission reductions in transportation due to more efficient loading of approx. 35,000 t CO₂/year.

Prospects

The concept of the PM 5 with transfer belt and OptiDry Twin has proven to be the right tool for the production of lightweight basis weights since the start-up in order to produce future-oriented, high-quality corrugated base papers in an ecological and resource-saving way.

Since the PM 5 is still in the ramp-up and optimisation phase after a little more than a year, in future 60 gsm production will also regularly show up in larger quantities on the production schedule in addition to the 70 gsm production. First productions of 60g/m² corrugating medium have already been running since July 2022 and the paper has been tested in processing.

By substituting heavier grades, the specific weight of packaging can be reduced in the future without losing strength. This will then also have an impact on the specific transport costs and CO₂ emissions and revolutionise the packaging market. For the Palm paper mill, the production of 60 gsm grades is a fundamental step towards an ecological and CO₂-neutral future.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektdarstellung.....	2
Abbildung 2: Wellarten für Wellpappen und deren Konstruktionsdaten.....	6
Abbildung 3: Papiermaschine 5 mit den 5 Sektionen (1 = Formerpartie / 2= Pressenpartie / 3 = Vor- und Nachtrockenpartie / 4= Stärkeauftragsaggregat / 5 = Aufrollung / Finishing)	6
Abbildung 4: Formerpartie Papiermaschine (Blattbildung und Entwässerung durch Vakuum).....	7
Abbildung 5: Pressenpartie (3-Nip Zentralwalzenpresse).....	8
Abbildung 6: Lauf der Papierbahn in einer einreihigen Trockenpartie (oben: beheizte Trockenzylinder, unten: vakuumbeaufschlagte Walzen zur Führung der Papierbahn)	9
Abbildung 7: Stärkeauftragsaggregat mit Auftragswalzen und Stärkesprührohre	10
Abbildung 8: Finishing/Umrollung der Papierbahn von der großen Mutterrolle auf die kundenspezifischen Rollen auf Papierhülsen für den Versand.	11
Abbildung 9: Skizze einer Bespannungsregulierung mit Sensoren zur Erkennung eines Verlaufs.....	13
Abbildung 10: Beispielrechnung eines Zugs zwischen zwei Bespannungsgruppen in der Trockenpartie	14
Abbildung 11: vSchema der Prozesse in der Papierherstellung (Quelle: VDP, 2010)	16
Abbildung 12: Konventionelle Drei-Nip-Pressen mit freiem Zug der Papierbahn zwischen Presse und Trockenpartie	17
Abbildung 13: Papierbahnlauf (rot) mit Transferbelt.....	18
Abbildung 14: Darstellung der Impingement-Trocknung (Quelle: Juppi et al., "Das Papier" – Beitrag: Moderne Trocknungsverfahren für Papier und Karton (2009)).....	19
Abbildung 15: Prinzip der Impingement Trocknung des OptiDry Twin (Quelle: Valmet)	20
Abbildung 16: OptiDry-Arten (v.l.n.r.) - OptiDry Vertical, OptiDry Horizontal, OptiDry Twin.....	21
Abbildung 17: PM 5 neu ohne OptiDry	21
Abbildung 18: PM 5 neu mit OptiDry Twin (Pfeil)	21
Abbildung 19: Zentralwalzenpresse konventionell mit freiem Zug (links) und mit Transferband ohne freien Zug (rechts)	24
Abbildung 20: Ansicht OptiDry Horizontal Haube auf der Papierseite mit den Öffnungen für Zuluft und Abluft.....	24
Abbildung 21: Prinzipdarstellungen OptiDry Horizontal (oben) und Vertikal (unten) (Quelle: Valmet)	25
Abbildung 22: Lauf der Papierbahn (rote Linie) durch den OptiDry Twin der PM 5	26
Abbildung 23: Vergleich des Energieverbrauchs bei konventioneller Dampftrocknung und Impingement-Trocknung (Quelle: Valmet)	27
Abbildung 24: ODT Wärmerückgewinnung PM 5 (Screenshot im Betrieb aus dem Prozessleitsystem)	28
Abbildung 25: Funktion Wärmetauscher (Erwärmung der Zuluft/ Wasserkreisläufe durch die Kühlung der Abluft)	29
Abbildung 26: Werk Palm Aalen alt mit PM2, PM4 und PM 5 alt	30
Abbildung 27: Werk Palm Aalen Neu mit PM 5 neu	31
Abbildung 28: Mechanische Montage OptiDry Horizontal Haube und Blick auf die Montage der PM 5 neu.....	31
Abbildung 29: Presse mit Transferband und OptiDry PM 5	37
Abbildung 30: Erste OptiDry Haube zur Vormontage auf der 7,5m Ebene vor dem Maschinenfundament	38
Abbildung 31: Einhub der OptiDry Horizontal Haube	39

Abbildung 32: Anzahl Abrisse nach Ort bei 70 g/m ² (4/22 - 9/22).....	45
Abbildung 33: Anzahl Abrisse nach Ort bei 60 g/m ² (4/22 - 9/22).....	45
Abbildung 34: Schaber Zylinder 1 VTP	46
Abbildung 35: SCT (Short Crush Test) Messverfahren (Quelle: https://www.wellpappe-wissen.de/wissen/qualitaetssicherung/papierpruefung/stauchwiderstand.html)	48
Abbildung 36: Messverfahren Berstfestigkeit (Quelle: https://www.wellpappe-wissen.de/wissen/qualitaetssicherung/papierpruefung/berstfestigkeit.html).....	49
Abbildung 37: Messverfahren ECT Messung (Quelle: https://www.wellpappe-wissen.de/wissen/qualitaetssicherung/wellpappe-und-verpackung/wellpappenpruefungen.html) ..	50
Abbildung 38: Messverfahren BCT Messung (Quelle: https://www.wellpappe-wissen.de/wissen/qualitaetssicherung/wellpappe-und-verpackung/pruefung-der-fertigen-verpackung.html)	51
Abbildung 39: Marktanalyse SCT CD 2022	54
Abbildung 40: Wellenarten für Wellpappenverpackungen	56
Abbildung 41: Aufbau Versuch EE Welle mit 60g/m ²	57
Abbildung 42: Bilder Versuch 60 g/m ² Wellenstoff	57
Abbildung 43: Muster Verpackungen aus den Versuchen zur Substitution von 80 g/m ² Wellenstoff durch 60 g/m ² Wellenstoff.....	58
Abbildung 44: Spez. Frischwasserverbrauch PM 5 4/22 -9/22	61
Abbildung 45: Spezifische Abwassermengen PM 5 4/22 - 9/22	62
Abbildung 46: Spezifischer Wärmeenergiebedarf PM 5 4/22- 6/22.....	64
Abbildung 47: Spezifischer Strombedarf PM 5 4/22- 9/22	64
Abbildung 48: Einflüsse Verbrauch bei mengen- und flächenspezifischer Betrachtung	69
Abbildung 49: Einflüsse auf Transportemissionen bei mengen- und flächenspezifischer Betrachtung	69
Abbildung 50: Beispiel einer konventionellen Trockenpartie mit Dampf beaufschlagten Trockenzylindern.....	77

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prozess Kreisläufe die durch die ODT Wärmerückgewinnung erwärmet werden	29
Tabelle 2: Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten PM 5.....	32
Tabelle 3: Abrisse / Laufzeitwirkungsgrad PM 5 Stand Juni 2022	43
Tabelle 4: Trockengehalte Presse / OptiDry.....	46
Tabelle 5: Züge (Geschwindigkeitsdifferenz) Auslauf Presse	47
Tabelle 6: Übersicht der Qualitätsmessverfahren für Wellpappenrohapiere und Wellpappverpackungen	51
Tabelle 7: SCT- und Berstfestigkeitswerte je Sorte	52
Tabelle 8: Vergleich ECT Messergebnisse Wellenstoff und EE Welle 60g/m ² und 80g/m ²	58
Tabelle 9: Messergebnisse Vergleich 80g/m ² mit 60g/m ² in Wellpappenverpackungen	59
Tabelle 10: Vergleich spez. Frischwasser- und Abwassermengen PM 5 zu BVT Richtlinien	60
Tabelle 11: Vergleich spez. Energieverbräuche PM 5 zu BVT Richtlinien	63
Tabelle 12: Vergleich Strombedarf Stoffaufbereitung und Papiermaschine PM 5 zu PM 6	67
Tabelle 13: Berechnung der spez. Emissionsreduzierung	67
Tabelle 14: Berechnung der jährlichen Emissionseinsparungen.....	68
Tabelle 15: Vergleich Berechnungsgrundlagen aus Antragskizze und Betriebsdaten PM 5 April-Juni 2022.....	70
Tabelle 16: Vergleich Emissionsreduzierung Antragskizze zu Betriebsdaten PM 5 April - September 2022.....	71
Tabelle 17: Berechnung der Emissionsreduzierung durch Substitution aus der Antragskizze.....	72
Tabelle 18: Erwartete Kosteneinsparungen durch die Installation des OptiDry Twin aus Antragskizze	74
Tabelle 19: Kosteneinsparungen durch OptiDry Twin mit Kennzahlen nach IBN (April – September 2022).....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 20: Rentabilitätsberechnung OptiDry aus Antragskizze.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 21: Rentabilitätsberechnung OptiDry mit Kennzahlen nach IBN (April – September 2022)....	75
Tabelle 22: Vergleich Trocknungskonzepte.....	78
Tabelle 23: Anzahl Trockensiebe OptiDry Twin seit IBN	80

9 Literatur

ContainerBoard, C. (Oktober 2017). Von www.cepi-containerboard.org: https://www.cepi-containerboard.org/display_Doc.php?id=1289 abgerufen

Europäische Kommission . (2015). *Beste verfügbare Techniken (BVT) Referenzdokument für die Herstellung von Zellstoff, Papier und Karton*. (E. C. Reports, Hrsg.) Abgerufen am 12. Juli 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de>:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/367/dokumente/papier_ue_s.pdf

Jürgen Blechschmidt, H.-J. N. (2021). *Taschenbuch der Papiertechnik*. München: Carl Hanser Verlag.

Justiz, B. f. (15. 11 2022). www.gesetze-im-internet.de. Von https://www.gesetze-im-internet.de/zuv_2012/anhang_1.html abgerufen

Umweltbundesamt, P. I. (15. 11 2022). www.umweltbundesamt.de. Von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-04-10_cc_10-2019_strommix_2019.pdf abgerufen

Verband der Wellpappen e.V. (21. 11 2022). www.wellpappen-industrie.de. Von <https://www.wellpappen-industrie.de/presse/wellpappe-report/2009-09-21-nachhaltigkeit-setzt-sich-durch-86.html#:~:text=Die%20FEFCO%2C%20der%20europ%C3%A4ische%20Verband,von%20Papier%20und%20papierbasierter%20Verpackungen.> abgerufen

10 Anhang

1. Präsentation der Ergebnisse auf dem Internationales Münchner Papier Symposium (IMPS) 2022
IMPS-2022_08_Papierfabrik Palm - Das Papiermaschinenkonzept der PM 5.pdf
2. Tagungsprogramm des Internationales Münchner Papier Symposium (IMPS) 2022
IMPS-2022_Tagungsband_web.pdf