BMUB-Umweltinnovationsprogramm

01/2023

Abschlussbericht

KFW-Aktenzeichen: NKa3 – 003458

Papiermaschine PM 5 neu

Neue Auflösetechnik für Altpapier – Green Pulping

Papierfabrik Palm GmbH & Co. KG

Palm Allee 1

73432 Aalen

Autoren:

Florian Schmid (Papierfabrik Palm)

Philipp Riek (Papierfabrik Palm)

Wolfgang Mannes (Voith)

Umweltbereiche: Ressourcen, Energie und Klimaschutz

Laufzeitbeginn: 29.06.2020

Laufzeitende: 30.06.2022

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

Berichts-Kennblatt

<table>
<tr><td>Aktenzeichen UBA: 3458</td><td>Projekt-Nr. NKa3 – 003458</td></tr>
<tr><td colspan="2">Titel des Vorhabens:
Papiermaschine PM 5 neu – Neue Auflösetechnik für Altpapier – Green Pulping</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Autor/-en (Name, Vorname)
Florian Schmid (Papierfabrik Palm)
Philipp Riek (Papierfabrik Palm)
Wolfgang Mannes (Voith)
Lukas Steffel (Papierfabrik Palm)</td><td>Vorhabensbeginn: 29.06.2020</td></tr>
<tr><td>Vorhabensende (Abschlussdatum):
30.06.2022</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift)
Papierfabrik Palm GmbH & Co. KG
Palm Allee 1
73432 Aalen</td><td>Veröffentlichungsdatum: 18.09.2024</td></tr>
<tr><td>Seitenzahl: 73</td></tr>
<tr><td colspan="2">Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit</td></tr>
<tr><td colspan="2">Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen)
Der Auflöseprozess des Altpapiers (Pulping) ist der erste und entscheidende Schritt für die Qualität des späteren Rohstoffs für die Recyclingpapierherstellung und der effizienten Wiederverwendung sekundärer Faserstoffe.
Dieser Prozessschritt wurde vom Maschinenlieferanten Voith neu gedacht, woraus ein innovatives neues Pulping System entstand. Ziel ist es, die Vorteile der beiden konventionellen Auflösemethoden (Auflösetrommel und Pulper) zu vereinen: niedriger spez. Energieverbrauch durch hohe Stoffdichte und hohe Ausbeute, durch schonende Auflösung.
Im Projekt PM 5 der Papierfabrik Palm in Aalen wurde dieses neue und innovative Auflösekonzept, genannt Green Pulping Concept (GPC), das erste Mal in einem industriellen Maßstab installiert. Die Installation ist ein Prototyp und soll auch der Weiterentwicklung des Konzepts durch die Fa. Voith dienen.
Die ersten Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass das GPC in Verbindung mit einer reduzierten Reinigungsstufe für saubere Altpapiere (4.01) eine Reduzierung des Energieverbrauchs von > 50 % bringt. Das entspricht einer Reduzierung der Emissionen von ca. 2050 t CO_2-eq/Jahr. Für die gesamte PM 5 werden Einsparungen von 12.552 t CO_2-eq/Jahr bzw. 30 % im Vergleich zur BVT-Technologie erreicht. Pro Tonne produziertem Papier sind das 0,0155 t CO_2-Äquivalente.
Weitere Vorteile beim Einsatz des GPC bei sauberen Stanzabfällen ergeben sich durch die Reduzierung von Rejekt- und Schlammmengen sowie der nötigen Transporte für Stärke und Altpapier, indem Frischfasern aus dem Altpapier nicht als Faserbündel im Rejekt entsorgt werden, sondern für die Blattbildung genutzt werden.
Die Reduzierung der Transport-Emissionen liegt im Falle der PM 5 bei ca. 370 t CO_2-eq/Jahr.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Schlagwörter:
Effizienz, Ressourcen, Verfügbarkeit, Energiereduzierung, CO_2, Pulping, Innovation, Stoffaufbereitung</td></tr>
<tr><td>Anzahl der gelieferten Berichte
Papierform: 1
Elektronischer Datenträger: 1</td><td>Sonstige Medien:
- Vortrag Zellcheming 2022 Wiesbaden (Voith/Palm)</td></tr>
</table>

Report-Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: 3458	Project-No. NKa3 – 003458
Report Title: Papermachine PM 5 new – New Pulping Technology for Wastepaper - Green Pulping	
Author/Authors (Family Name, First Name) **Florian Schmid (Papierfabrik Palm)** **Philipp Riek (Papierfabrik Palm)** **Wolfgang Mannes (Voith)** **Lukas Steffel (Papierfabrik Palm)**	Start of Project: **29.06.2020** End of Project: **30.06.2022**
Performing Organisation (Name, Adress) **Papierfabrik Palm GmbH & Co. KG** **Palm Allee 1** **73432 Aalen**	Publication Date: 18.09.2024 No. of Pages: 73
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.	
Summary (max. 1.500 Characters): The pulping process of the recovered paper is the first and crucial step for the quality of the subsequent raw material for recycling paper production and the efficient reuse of secondary fibres. This process step was rethought by the machine supplier Voith, resulting in an innovative new pulping system. The aim is to combine the advantages of the conventional pulping methods (pulping drum and pulper): Low specific energy consumption due to high stock consistency and high yield due to gentle pulping. In the PM 5 project at the Palm paper mill in Aalen this new and innovative pulping system, called Green Pulping Concept (GPC), was installed for the first time on an industrial scale. The installation is a prototype and will also be used for further development by Voith. Initial operating experience has shown that the GPC in combination with a reduced screening stage for clean waste paper (4.01) results in a reduction in energy consumption of > 50 %. This corresponds to a reduction of emissions of approx. 2,050 t CO_2-eq/year. For the PM 5 savings of 12,552 t CO_2-eq/year or 30 % compared to BAT technology are achieved. That's 0.0155 t of CO_2-equivalent per ton of paper produced. Further advantages of using the GPC for clean clippings are the reduction of reject and sludge quantities as well as transports for starch and waste paper, since fresh fibres from the waste paper are not disposed of as fibre bundles (flakes) in the reject, but are used for sheet formation. The reduction in CO_2 transport-emissions in the case of PM 5 is approx. 370 t CO_2-eq/year.	
Keywords: efficiency, resources, energy reduction, CO_2, pulping, innovation, stock preparation	

Inhaltsverzeichnis

1. Abkürzungs-/ Erklärungsverzeichnis 1
2. Einleitung 2
2.1 Kurzbeschreibung des Vorhabens 2
2.2 Kurzbeschreibung des Unternehmens 3
2.3 Ausgangssituation 3
2.3.1 Neue Papierfabrik samt neuer Stoffaufbereitung 3
2.3.2 Steigende Nachfrage nach Wellpappenverpackungen 4
2.3.3 Konventionelle Auflösetechnologien für Altpapier 5
2.4 Grundlagen Stoffaufbereitung 8
2.4.1 Altpapierauflösung 8
2.4.2 LC Pulper 12
2.4.3 Auflösetrommel 14
2.4.3 HC Pulper 15
2.4.4 Reinigung/ Sortierung 16
2.4.5 Altpapiersorten 20
2.4.6 Einsatz von Stärke 21
2.4.7 Rejekte 22
2.4.8 Schlämme (Überschussschlamm und Faserschlamm) 24
2.4.9 Ausschuss und dessen Verarbeitung 25
3. Vorhabensumsetzung 25
3.1 Ziel des Vorhabens 25
3.1.1 Energieeinsparungen im Auflöse- und Reinigungsprozess (Energieeffizienz) 26
3.1.2 Reduzierung der zu entsorgenden Rejektmengen (Abfallvermeidung) 27
3.1.3 Reduzierung des Lkw-Verkehrs zur Abfallentsorgung 28
3.1.5 Reduzierung des spez. Stärkeverbrauchs 29
3.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) 30
3.2.1 Green Pulping Concept (GPC) 30
3.2.2 Sortierung und Reinigung sauberer Altpapiersorten 35
3.2.3 Konzept der Auflöselinie für saubere Altpapiersorten 36
3.3 Umsetzung des Vorhabens 38
3.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigung) 39
3.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten 39
3.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms 40
4 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung 41

4.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung 41
4.1.1 Herausforderungen und Hintergrundinformationen 41
4.1.2 Montage Green Pulping Concept 42
4.1.3 Inbetriebnahme Green Pulping Concept 43
4.2 Stoff- und Energiebilanz 43
4.2.1 Spezifischer Energieverbrauch 44
4.2.2 Vergleich zum europäischen Stand der Technik gemäß BVT-Merkblatt 46
4.2.2 Faserverlust und Rejektqualität 47
4.2.3 Reduzierung Stärkeverbrauch 50
4.2.4 Reduzierung Überschussschlamm 54
4.2.5 Wasserverbrauch/Abwasseranfall Werk Aalen 55
4.3 Umweltbilanz 60
4.3.1 Umwelteffekt durch Energiereduzierung 60
4.3.2 Umwelteffekte durch Effizienzsteigerung 61
4.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse 62
4.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren 64
5 Übertragbarkeit 64
5.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung 64
5.2 Modellcharakter/ Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens / der Anlage / des Produkts) 64
6 Zusammenfassung / Summary 66
6.1 Zusammenfassung 66
6.1.1 Einleitung 66
6.1.2 Vorhabensumsetzung 66
6.1.3 Ergebnisse 67
6.1.4 Ausblick 67
6.2 Summary 68
6.2.1 Introduction 68
6.2.2 Project Implementation 68
6.2.3 Project Results 69
6.2.4 Prospects 69
7 Abbildungsverzeichnis 70
8 Tabellenverzeichnis 72
9 Literatur 73
10 Anhang 74

1. Abkürzungs-/ Erklärungsverzeichnis

AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
CO_2	Kohlenstoffdioxid
CKD	Completly Knocked Down
CSB	Chemischer Sauerstoff Bedarf
DNA	Bezeichnung des Valmet Prozessleitsystem (Dynamic Network of Applications)
ERP	Enterprise-Resource-Planning
GPC	Green Pulping Concept
HC	High Consistency (dt. Hochstoffdichte)
IBN	Inbetriebnahme
I/O	Input/ Output (dt. Eingang/ Ausgang)
KPI	Key Performance Indicator (dt. Schlüsselkennzahlen)
LC	Low Consistency (dt. Niedrigstoffdichte)
OCC	Old Corrugated Container (dt. gebrauchte Wellpappenverpackung)
PM	Papiermaschine
ROI	Return of Investment (Amortisationsberechnung)
STAB	Stoffaufbereitung
t	Tonnen
ÜSS	Überschussschlamm der Kläranlage (Sedimentation)
STR	Sortiertrommel für Pulperrejekte
HDC	Hochkonsistenzpulper
CM	Contaminex

2. Einleitung

2.1 Kurzbeschreibung des Vorhabens

Die Papierfabrik Palm GmbH & Co. KG (im Folgenden: Papierfabrik Palm) investierte an ihrem Stammsitz in Aalen (Baden-Württemberg) in eine komplett neue Papierfabrik – Stoffaufbereitung, Papiermaschine, Rollenschneider inklusive vollständiger Peripherieanlagen (Rohstofflager, Rollenlager, Kläranlage mit Biogasaufbereitung), neuer Infrastruktur und einem neuen umweltfreundlichen KWK-Kraftwerk – zur Herstellung von Wellpappenrohpapier aus Altpapier nach modernstem Standard. Wellpappenrohpapier ist Ausgangsprodukt für Verpackungen (Abbildung 1).

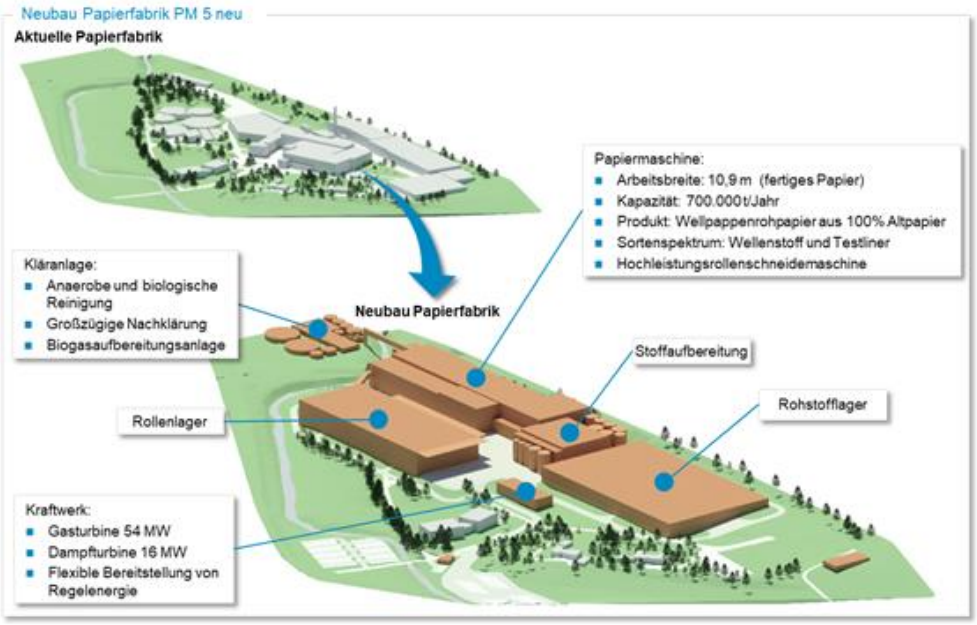


Abbildung 1: Vergleich aktuelle Papierfabrik und Neubau Papierfabrik

Im Zusammenhang mit den Investitionen in die neue Papierfabrik und in die Papiermaschine (PM 5 neu) beabsichtigte die Papierfabrik Palm, in eine über den gegenwärtigen Standard hinausgehende innovative Altpapier-Auflösungstechnologie (Green Pulping Concept) der Fa. Voith zu investieren, die bei geringerem Energieeintrag zu einer verbesserten Faserausbeute führt. Durch die größere Faserausbeute wird der Rohstoffeinsatz verringert und es kommt auch zu einer Verbesserung der Papierfestigkeit. Der Einsatz der innovativen Altpapier-Auflösungstechnologie führt zudem zu CO_2-Einsparungen im Auflöseprozess sowie in der weiteren Wirtschaft, insbesondere in der Logistik. Die Entlastung der Kreislaufwasseraufbereitung und die Abfallvermeidung sind als weitere positive Umwelteffekte zu nennen.

Grundsätzlich hätte die neue Anlage auch ohne die innovative Investition vollumfänglich betrieben werden können.

2.2 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Papierfabrik Palm GmbH & Co. KG ist Teil der Palm Gruppe. Die Palm Gruppe ist eines der größten 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, 29 Wellpappenwerke und 2 Papier-Recyclingunternehmen mit insgesamt 4.200 Mitarbeitern und einem Gesamtumsatz von 2,0 Mrd. EUR (2023).

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

2.3.1 Neue Papierfabrik samt neuer Stoffaufbereitung

Die Papierfabrik Palm betrieb bis Juli 2021 an ihrem Hauptsitz in Aalen eine Papierfabrik zur Herstellung von Wellpappenrohpapier mit einer Produktionskapazität von 350.000 t. Die drei bis dato bestehenden Papiermaschinen PM 2 (Inbetriebnahme 1983), PM 4 (Inbetriebnahme 1968) und PM 5 (Inbetriebnahme 1974) kamen aufgrund ihres Alters und Erhaltungszustandes in absehbarer Zeit an ihr technisches Ende. Um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben, war und ist eine marktorientierte und effiziente Produktion elementar. Die dahingehende Optimierung der bestehenden Papierfabrik in Aalen war bereits an ihren oberen Limits angelangt. Die Papierfabrik Palm in-

vestierte deshalb an ihrem Hauptsitz in eine neue Papierfabrik nach modernstem Standard. In diesem Zuge investierte sie auch in eine neue Stoffaufbereitung, in die das neuartige Auflöseaggregat „Green Pulping“ implementiert wurde.

2.3.2 Steigende Nachfrage nach Wellpappenverpackungen

Aufgrund ihrer Eigenschaften besteht eine steigende Nachfrage nach Wellpappenverpackungen. Sie sind ein ideales Verpackungsgut mit vielen günstigen Eigenschaften: das Produkt ist leicht, es hat hohe dämpfende Eigenschaften, es ist hervorragend stapelbar, gut bedruckbar, hygienisch einwandfrei, zu 100 % aus Recyclingmaterial und zu 100 % recycelbar. Die Verbraucherwahrnehmung eines Produkts als ökologisch vorteilhaft hängt stark von der Art der Verpackung ab. Produkte, die in Wellpappenverpackungen angeboten werden, werden als umweltverträglich wahrgenommen, da Wellpappenrohrpapier (Wellenstoff und Testliner Sorten) heutzutage i.d.R. aus 100 % Altpapier hergestellt wird (Abbildung 2).

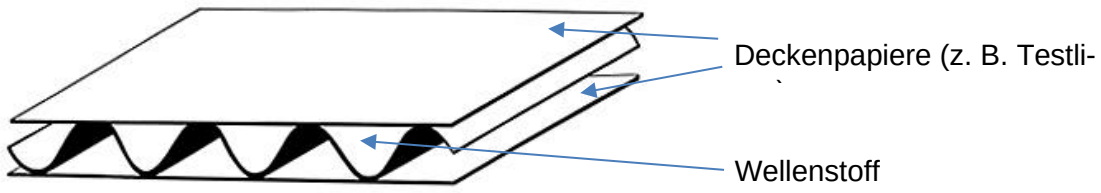


Abbildung 2: Aufbau einer Wellpappe (Wellpappen-Industrie, Wellpappe-Wissen, 2023)

Aus diesem Grund fokussieren sich die Konsumgüterhersteller und der Einzelhandel unter ökologischen Aspekten verstärkt auf Wellpappenverpackungen und versuchen, Kunststoffverpackungen zu vermeiden – 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 die Belieferung von Teilen, verwendet (statt Holz- oder Metallverpackungen). Es wird erwartet, dass der zunehmende Internethandel und der zunehmende globale Warenverkehr weiter zur Verbrauchssteigerung von Wellpappenverpackungen führt. 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 Wellpappenrohpapiere. Die Nachfrage nach altpapierhaltigem Wellpappenrohpapier ist in den letzten 5 Jahren um rund 4,2 % p.a. gestiegen. Mittelfristig gehen Branchenverbände von einem Marktwachstum von rund 3,0 % p.a. aus. Die Papierfabrik Palm produziert Wellpappenrohpapier ausschließlich auf Altpapier-Basis.

2.3.3 Konventionelle Auflösetechnologien für Altpapier

Grundsätzlich werden bei der Herstellung von Papier Wasser und Zellstofffasern benötigt, um ein einfaches Blatt Papier herzustellen. Bei der Verwendung von Altpapier werden die Zellstofffasern aus dem Altpapier gewonnen. Mit heutigen Altpapier-Auflösetechnologien kann eine Ausbeute und Wiederverwertung von rund 90 % des eingesetzten Altpapiers sichergestellt werden. Rund 10 % des Altpapiervolumens werden als sogenannte Rejekte ausgeworfen und als Abfall entsorgt, insbesondere im Wege der thermischen Verwertung (Abbildung 3).

Beim Recyclingprozess werden Fasern immer wieder mit mechanischer Kraft, hoher Temperatur und Chemikalien behandelt, um die Fasern zu vereinzeln und aus dem starken Faserbund zu lösen. Diese Behandlung ist zwar nötig, um ein Papier von hoher Qualität zu erzeugen, jedoch reduziert sich mit jedem Recycling-Zyklus die Faserlänge und die Qualität der Oberflächenbeschaffenheit. Somit kann eine Faser nicht unendlich oft aufbereitet und benutzt werden und wird irgendwann im Sortierprozess ausgeschleust und anschließend entsorgt. Diese Fasern müssen im Kreislauf der Papierherstellung und des Papierrecyclings wieder durch Frischfasern ersetzt werden.



Abbildung 3: Kreislauf einer Wellpappenverpackung (Wellpappen-Industrie, VDW Wellpappenindustrie , 2016)

Damit Verpackungspapiere, die aus 100 % Altpapier bestehen, die hohen Festigkeitsanforderungen zu erreichen, ist ein gewisser Frischfaseranteil erforderlich. Um diesen in den Prozess einzuschleusen, werden sogenannte Kraftpapiere, die über einen hohen Frischfaseranteil verfügen, eingesetzt und dem Altpapier im Auflöseprozess hinzugefügt. Palm verwendet als Kraftpapiere saubere Stanzabfälle aus Wellpappenwerken (Altpapiersorte 4.01) und Ausschussrollen (Papierrollen mit Qualitätsmangel).

Kraftpapiere haben sehr hohe Festigkeitseigenschaften. Daher ist es notwendig, die Energiezufuhr für das Herauslösen der Fasern aus dem Verbund zu erhöhen.

Für die Auflösung von Altpapier werden entweder Pulper oder Auflösetrommel verwendet (Abbildung 4).

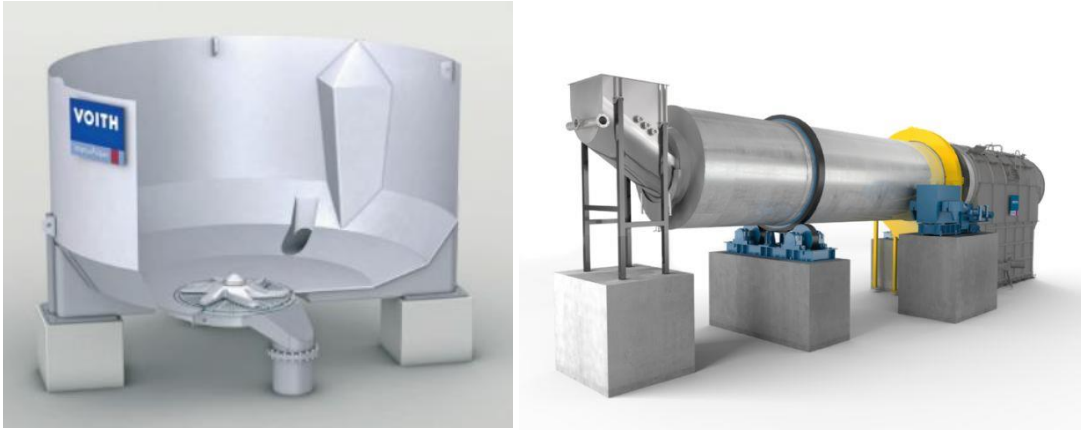


Abbildung 4: Darstellung eines LC Pulpers und einer Auflösetrommel (Voith GmbH & Co. KGaA, 2023; Voith GmbH & Co. KGaA, 2022)

Bei der Auflösung mit Pulpern wird das Altpapier mit Wasser vermengt und durch einen Rotor wird mechanische Energie eingebracht. Mit diesem Auflöseaggregat wird eine große Menge Energie in den Auflöseprozess eingebracht. Dadurch werden auch die im Altpapier enthaltenen Störstoffanteile wie z. B. Kunststoff stark zerkleinert. Eine zu starke Zerkleinerung von Störstoffen vermindert jedoch die Wirksamkeit der nachgelagerten Sortierprozesse. Die Trommelauflösung hat gegenüber der Auflösung mit Pulpern den entscheidenden Vorteil, dass das Altpapier sehr schonend aufgelöst wird, sodass die Störstoffe weitestgehend unversehrt bleiben. Infolge des geringen Energieeintrags ist allerdings das Auflösen der Kraftpapiere weniger effizient und hat zur Folge, dass ein erheblicher Anteil an Frischfaserbündeln (Faserstippen) aus den Kraftpapieren im nachfolgenden Sortierprozess, wie Störstoffe, als sogenannte Rejekte ausgeschleust werden.

Die Firma Voith hat sich nun im Rahmen des Umweltinnovationsprogrammes an ein neues und effizienteres Auflösekonzept gewagt, dass die Vorteile beider konventioneller Verfahren verbinden soll. Dieses neuartige Auflösekonzept namens Green Pulping Concept (GPC) wurde in der Stoffaufbereitung der PM 5 in Aalen erstmals im industriellen Maßstab gebaut und in Betrieb genommen.

2.4 Grundlagen Stoffaufbereitung

Folgend werden die Grundbegrifflichkeiten des Verfahrens der Stoffaufbereitung erklärt. Der Aufbau einer modernen Stoffaufbereitung für altpapierbasierte Verpackungspapiere ist in der Abbildung 5 dargestellt. In dieser wurden mit zwei Linien die Hauptsegmente der Stoffaufbereitung abgetrennt. Zum einen die Auflösung des Altpapiers in Wasser und zum anderen die Sortierung und Reinigung des Faserstoffs, um schlussendlich für die Produktion auf der Papiermaschine frei von faserfremden Stoffen vorzuliegen.

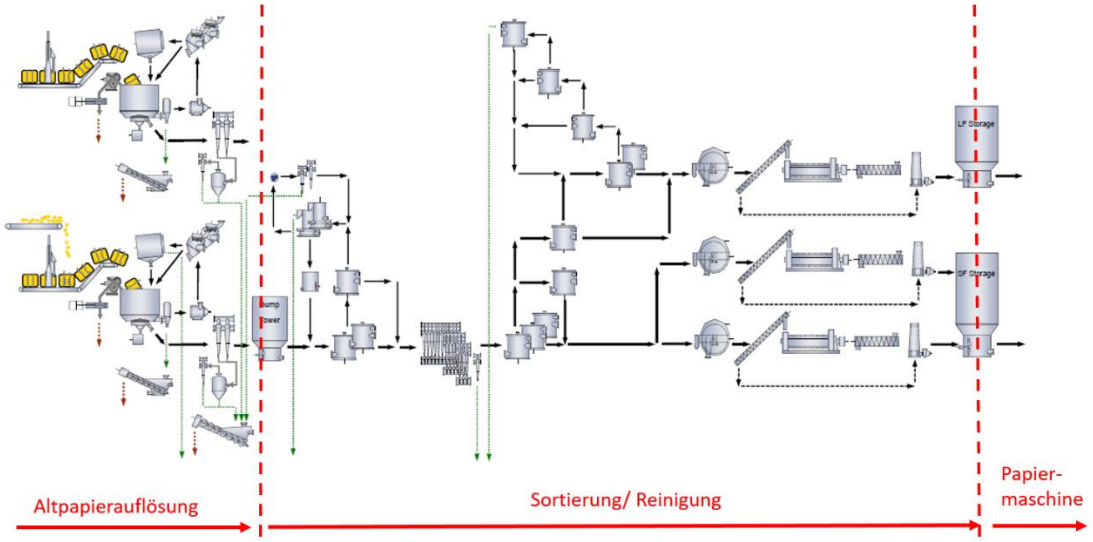


Abbildung 5: Prozessdarstellung einer modernen Stoffaufbereitung für altpapierbasierte Verpackungspapier (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022)

Die Begriffe Altpapierauflösung, deren verschiedenen Arten und die Sortierung / Reinigung des Faserstoffes werden im nächsten Kapitel erläutert.

2.4.1 Altpapierauflösung

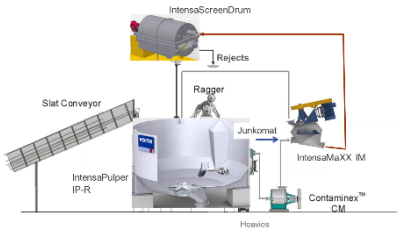
Das Auflösen (engl. „Pulping“) ist der erste Verfahrensschritt bei der Aufbereitung von Altpapier für die Herstellung von neuem Papier. Hierbei wird der trockene Rohstoff mit Wasser vermischt und eine pumpfähige Suspension erzeugt. In der Regel erfolgt in den Aggregaten auch eine erste Abtrennung von größeren Verunreinigungen durch Sieben/Sortieren. Da die im Altpapier enthaltenen Verunreinigungen eine große Vielfalt aufweisen und teilweise unerwartete Abmessungen und Gewichte haben können

(z. B. Motorblock, Stück einer Eisenbahnschwelle, Rollen mit Bindfaden oder Stretchfolie etc.) müssen die an dieser Stelle eingesetzten Aggregate robust gebaut und prozesstechnisch optimiert sein, um im Dauerbetrieb eine hohe Verfügbarkeit zu erreichen. Längere ungeplante Stillstände am Auflöseaggregat führen in der Regel auch zu Produktionsausfällen an der Papiermaschine.

Für die Auflösung von Altpapier sind heute drei unterschiedliche Konzepte am Markt zu finden:

- Die kontinuierliche Auflösung in einem LC-Pulper bei Stoffdichten von 4…5 %
- Die kontinuierliche Auflösung in einer HC-Trommel bei Stoffdichten von 12…15 %
- Die diskontinuierliche Auflösung in einem HC-Pulper, ebenfalls bei Stoffdichten von 12…15 %

Die beiden erstgenannten Konzepte decken dabei den Massenmarkt für die in großen Mengen verfügbaren Altpapiersorten ab, wobei für die Auflösung von Altpapier im Bereich der graphischen Anwendungen nur die HC-Trommel zum Einsatz kommt. Die LC-Auflösung im Pulper ist hier aufgrund der geringen Auflösestoffdichte nicht geeignet. Die diskontinuierliche Auflösung in einem HC-Pulper kommt dagegen nur noch für kleinere Nischenanwendungen zum Einsatz, i.d.R. bei schwer auflösbaren Altpapierqualitäten (z. B. krafthaltig, nassfest, beschichtet etc.). Hintergrund für diese Marktaufteilung sind letztendlich die spezifischen Vor- und Nachteile der einzelnen Auflösekonzepte, die nachfolgend übersichtsartig aufgelistet sind (Abbildung 6):



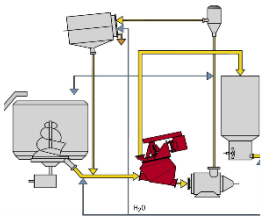
Continuous LC-pulping

☺ Lowest investment costs
☺ Lowest energy requirement for standard OCC
☺ No dewiring required
☺ Bale feeding common practice
☹ Regular maintenance required
☹ Highest costs for wear parts
☹ Skilled operators required
☹ Unstable operation causes consistency variations
☹ Kraft containing furnish can be made pumpable, no full disintegration
☹ Not suitable for deinking applications (no ink detachment)



Continuous Drum-(HC-)pulping

☺ Highest investment costs
☺ Almost no maintenance required/Low wear
☺ Robust, easy to run operation
☺ Very stable operation
☺ Suitable for deinking application (good ink detachment)
☹ 50% higher energy consumption vs. LC-pulping
☹ Dewiring and bale disintegration mandatory
☹ Kraft based furnish components are not broken down, get rejected



Discontinuous HC-pulping

☺ Suitable for deinking application (good ink detachment)
☺ Suitable for Kraft based furnishes!
☺ Bale feeding possible
☹ "Oversized" equipment necessary
☹ High investment costs
☹ Highest energy requirement
☹ Dewiring mandatory

Abbildung 6: Vorteile und Nachteile der drei Auflösekonzepte LC-Pulper, Auflösetrommel und HC-Pulper

Für die Auflösung von graphischen Altpapieren kommen nur HC-Konzepte in Frage, da nur bei diesen Verfahren die für die Ablösung der Druckfarben von den Fasern benötigten höheren Scherkräfte vorhanden sind und durch die höhere Stoffdichte die zudosierten Bleichchemikalien eine bessere Wirkung entfalten können. In der Regel kommen dabei Systeme mit kontinuierlichen Auflösetrommeln zum Einsatz, da diese den diskontinuierlichen HC-Pulpern in nahezu allen Belangen überlegen sind (Investitionskosten, Energiebedarf, Wartungskosten etc.). Auf Grund der Stagnation bzw. des Rückgangs in der Nachfrage nach graphischen Papieren in den letzten 20 Jahren ist dieses Marktsegment aber stark geschrumpft. Neuanlagen wurden vor allem im Tissue-Bereich bzw. in Anlagen zur Herstellung von Verpackungspapieren mit weißer Deckschicht realisiert.

Den Schwerpunkt bei den Neuinvestitionen bilden heute aber Anlagen zur Aufbereitung von gemischten Sorten oder Altpapier aus dem Verpackungsbereich, welche einen Faserstoff für die Herstellung von neuen Verpackungspapieren bereitstellen sollen. In diesem Anwendungsbereich liefern sich derzeit die LC-Pulper-Auflösesysteme und die Trommel-Auflösesysteme einen intensiven Wettbewerb.

LC-Pulper-Systeme zeichnen sich dabei vor allem durch geringere Investitionskosten und einen geringeren Energiebedarf von ca. 15 kWh/t aus, während Trommelauflösungen heute typischerweise 25 kWh/t benötigen. Ein weiterer Vorteil des Pulperkonzepts

beruht auf der Tatsache, dass das Altpapier auch direkt in Ballenform eingetragen werden kann und dass keine vorherige Entdrahtung der Ballen erforderlich ist.

Ein Nachteil des LC-Pulper-Konzepts sind aber die regelmäßig erforderlichen Wartungsarbeiten und dementsprechend hohen Aufwendungen für Verschleiß- und Ersatzteile. Auch stellt der Betrieb von LC-Pulpern höhere Anforderungen an das Prozessverständnis und die laufende Aufmerksamkeit des Bedienpersonals. Trotz allem muss man bei diesen Systemen doch mit etwas größeren Prozessschwankungen (z. B. bzgl. der Accept-Stoffdichte) rechnen.

Bei Trommel-Stofflösern sind Vor- und Nachteile entsprechend vertauscht. Weitere Unterscheidungsmerkmale gibt es noch für bestimmte Nischenanwendungen.

Einige Trommelstofflöser werden z. B. für die Auflösung von Getränkekartons (Liquid packaging board, LPB) genutzt, da Trommeln mit der hohen Fracht an Rejekten, resultierend aus den Plastik- und Aluminiumbeschichtungen, sehr gut zurechtkommen und diese nicht zu stark zerkleinern. LC-Pulper werden für diesen Rohstoff praktisch nicht eingesetzt.

Umgekehrt können in passend dimensionierten LC-Pulpern auch schwer zerfaserbare Rohstoffe aufgelöst werden. Das Altpapier wird dabei aber nur so weit zerkleinert, dass es die Sieböffnungen (im Verpackungsbereich sind Löcher mit 12 mm Durchmesser typisch) passieren kann. Für die weiteren Prozessschritte ist anschließend noch eine Nachzerkleinerung mit weiterem, nicht unerheblichem Energieeintrag erforderlich. Trommel-Stofflöser kommen hier nicht zum Einsatz, da diese bei entsprechender Dimensionierung wirtschaftlich nicht interessant sind.

Die beiden letztgenannten Nischenanwendungen, insbesondere die schwer zerfaserbaren Rohstoffe, sind auch der Bereich, wo heute noch diskontinuierliche HC-Pulper zum Einsatz kommen, da in ihnen durch die hohe Stoffdichte deutliche höhere Scherkräfte im ganzen Stoffvolumen (und nicht nur im Bereich des Rotors wie beim LC-Pulper) zur Wirkung kommen, wie sie für die Zerfaserung dieser Rohstoffe benötigt werden. Gleichzeitig kann durch Zugabe von Chemikalien oder eine Voraufheizung des Prozesswassers die Auflöseresistenz des Rohstoffs abgesenkt werden. Mit dieser Art der Zerfaserung ist es grundsätzlich möglich, schwer auflösbare Rohstoffsorten soweit aufzulösen, dass keine größeren Faserbündel (Stippen) mehr vorhanden sind, die im

weiteren Prozessverlauf zerkleinert werden müssen, um übermäßige Faserverluste zu vermeiden.

2.4.2 LC Pulper

Der Einsatz eines Low Consistency (LC) Pulper ist abhängig von der eingetragenen Altpapierqualität und der bevorzugten Betriebsweise. LC Pulper haben einen sehr einfachen Aufbau, der Grundkörper ist ein zylindrischer Behälter der zum Boden hin konisch zuläuft und mit einer Bodenplatte endet. In dieser Bodenplatte befindet sich das Lochblech, über die der aufgelöste Faserstoff abgepumpt und von den groben Verunreinigungen getrennt wird. Auf diesem Lochblech verläuft ein vertikaler Rotor, der die Faser-Wasser Suspension in Bewegung bringt und so die nötige Energie einträgt. Durch die Bewegung entsteht innerhalb des Mediums eine Reibungsenergie, die die Fasern trennt. Zusätzlich sind Prall- und Störkanten auf der Innenseite des Pulper angebracht. Diese verändern die Strömungsrichtung des Mediums und bringen so zusätzliche Energie ein. Abbildung 7 zeigt eine Bauart des LC Pulpers und der vorhandenen Strömungsrichtungen der Fa. Voith und Abbildung 8 stellt eine Lochplatte mit Rotor dar.

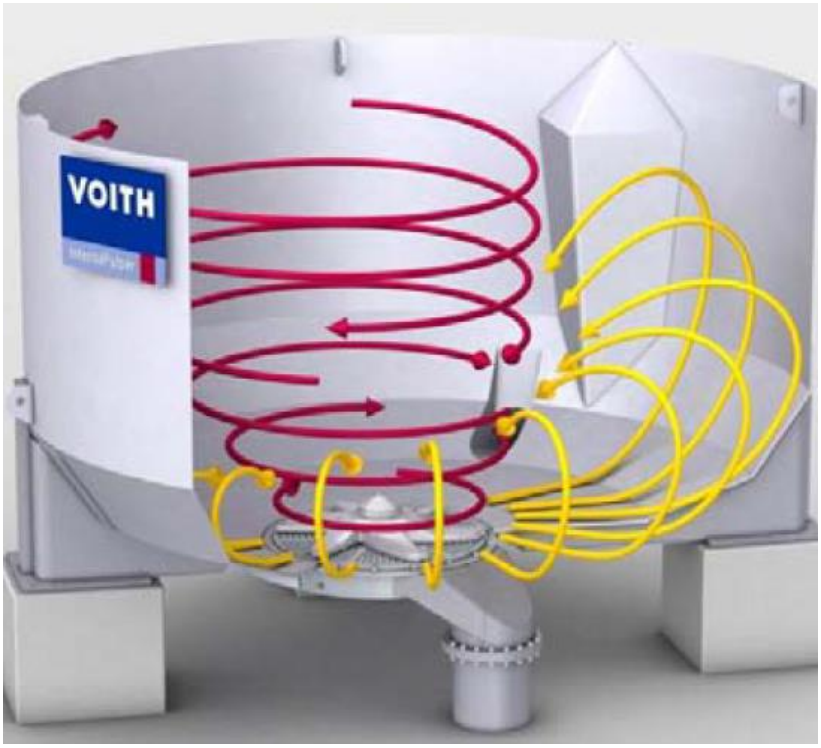


Abbildung 7: Darstellung eines LC Pulpers (Voith GmbH & Co. KGaA, 2023)



Abbildung 8: Lochblech und Rotor eines LC Pulpers (Voith GmbH & Co. KGaA, 2023)

Für Fremdstoffe, die mit dem Altpapier in den Pulper eingetragen werden, aber auf Grund ihrer Größe nicht das Lochblech passieren können, gibt es zwei Entsorgungswege:

1. Entfernung von Drähten und Kunststoff über einen sogenannten Zopf. Dieser Zopf ist ein gewickeltes Gespinst aus Ballendrähten und Kunststofffolien. Dieser Zopf bildest sich mittig im Strudel des Pulper und wird kontinuierlich entfernt.

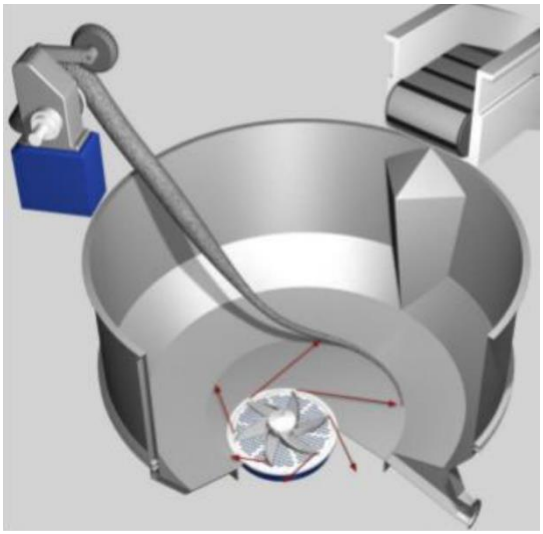


Abbildung 9: LC Pulper mit Zopf (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022)

2. Alle restlichen großen und schweren Bestandteile können über die Schwerschmutzschleuse und Pulperreinigung abgetrennt werden.

Die Vor- und Nachteile wurden schon unter Abbildung 6 vorangehend aufgelistet (Jürgen Blechschmidt, 2021, S. 295; Dipl. Ing. J.H. Bos, 1999, S. 125).

2.4.3 Auflösetrommel

Der Einsatz einer Auflösetrommel kommt ursprünglich aus dem grafischen Papiersektor mit der Beschickung von losem Altpapier. Das Prinzip der Trommel liegt dabei auf der hohen Stoffdichte (HC), die bei 12…15 % liegt.

Der Aufbau der Trommel besteht aus zwei horizontal liegenden hohlen Metallkörpern, wobei sich diese in der Konstruktion und Funktion unterscheiden. Der erste Trommelteil ist der Auflöseteil. Hier wird das Altpapier ähnlich wie in einer Waschmaschine durch die drehenden Trommeln umgewälzt, durch die hohe Stoffdichte und die Bewegung wird die Energie eingebracht, dadurch lösen sich alle Fasern. Der anschießende zweite Teil ist der Sortierteil. Hier ist der Korpus gelocht, sodass die gelösten Fasern durch die Trommel gelangen und Fremdstoffe aus der Trommel befördert werden können (Abbildung 10).

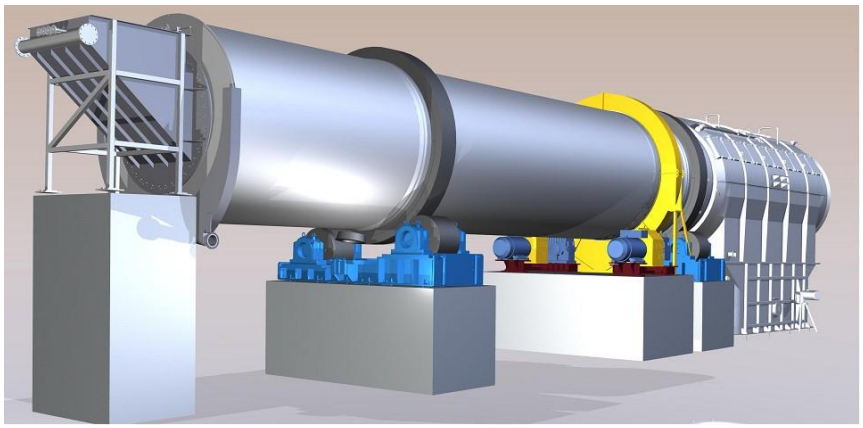


Abbildung 10: Darstellung einer Auflösetrommel (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022)

In Abbildung 6 sind die Vor- und Nachteile der Auflösetrommel detailliert aufgeführt. Wie vorangehend schon beschrieben wurde in den Anfangszeiten der Auflösetrommel vornehmlich loses Altpapier aufgelöst (grafisches Papier), bei dem keine Ballendrähte vorhanden sind. Auch wenn Ballenentdrahtungseinheiten heute mit einer Effizienz von bis zu 98 % arbeiten, gelangen immer noch 2 % der Drähte in die Trommel. Diese können zu Verspinnungen und verstopften Löchern der Trommel führen. In jüngster Vergangenheit wurden in Projekten/Neubauten auch im Verpackungsbereich Auflösetrommeln installiert. Die Weiterentwicklung der Technologie macht den Einsatz nun etwas flexibler. Ein sehr großer Nachteil der Trommel ist die Tatsache, dass eine Instandsetzung im Falle einer Beschädigung extrem aufwendig ist und immer zulangen

Totalausfällen der Anlage führt, da die teuren Auflösetrommeln in den seltensten Fällen redundant gebaut werden (Jürgen Blechschmidt, 2021, S. 299; Dipl. Ing. J.H. Bos, 1999, S. 125).

2.4.3 HC Pulper

Im Vergleich zu den beiden vorangegangenen Auflösekonzepten 2.4.2 LC Pulper und 2.4.3 Auflösetrommel, wird der HC Pulper nur noch in speziellen Anwendungen eingesetzt. In älteren Anlagen zur Auflösung von Deinking Altpapiersorten wird diese Art Auflösung mit der hohen Stoffdichte (12…15 %) noch eingesetzt. In neuen Anlagen wurde der HC Pulper durch Auflösetrommeln ersetzt. Der Aufbau eines HC-Pulper ist sehr ähnlich zum LC Pulper. Er besitzt einen zylindrischen hohlen Körper mit konisch zulaufendem Boden. Jedoch hat der HC Pulper keine Lochplatte. Der Rotor hat im Gegensatz zum LC Pulper einen speziellen Aufbau, um die hohen Stoffdichten umwälzen zu können (Abbildung 11).

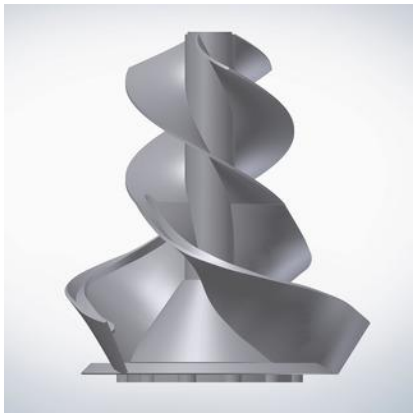


Abbildung 11: Rotor eines HC Pulpers (Voith GmbH & Co. KGaA, 2023)

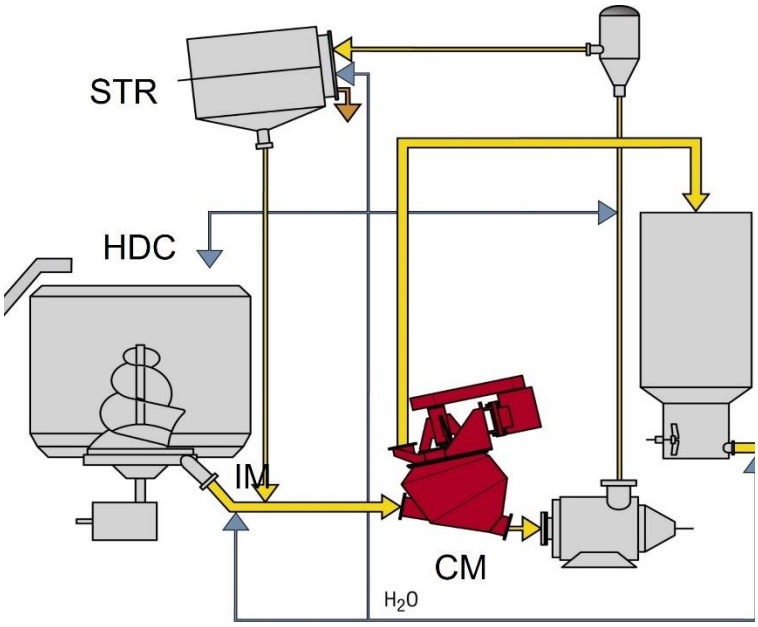


Abbildung 12: Aufbau einer HC Pulper Stufe mit Abzug und Reinigung (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022)

Aufgrund des fehlenden Lochblechs wird der aufgelöste Stoff über eine Schleuse abgepumpt. Deshalb ist im Gegensatz zum LC Pulper auch keine kontinuierliche Betriebsweise möglich, sondern kann nur ein Batch-Verfahren (Abbildung 12). Die Vor- und Nachteile sind unter 2.4.1 Altpapierauflösung und Abbildung 6 dargestellt (Dipl. Ing. J.H. Bos, 1999, S. 125; Jürgen Blechschmidt, 2021, S. 297).

2.4.4 Reinigung/ Sortierung

Altpapierfasern, die im ersten Bearbeitungsschritt der Aufbereitung die Auflösung in einem Pulper oder einer Trommel und die Abscheidung großer Verschmutzungen passiert haben, liegen im anschließenden Ableerturm in Wasser gelöst vor (Abbildung 5). Der nächste Schritt zur Vorbereitung des Faserstoffs zur Bildung eines Papiers ist die Sortierung bzw. Reinigung. Ziel ist die vollständige Entfernung sämtlicher faserfremder Stoffe aus dem Faserstoff bei geringstmöglichem Verlust an Fasern mit den Fremdstoffen. In Tabelle 1 werden die verfahrenstechnischen Definitionen der Trennprozesse erklärt.

	Klassieren	Sortieren	Abscheiden
Definition	Trennen nach geometrischer Form und Größe	Trennen nach physikalischen Merkmalen	Trennen nach Phasen
Beispiel	Kubische, flächige oder zylindrische Teilchen	Dichte, Benetzbarkeit	Fest-flüssig oder flüssig-gasförmig
Beispiele Papiertechnik	Splitter aus Holzstoff. Folienreste, Stickies aus Altpapier	Metallteilchen, Glas, Sand, Styropor aus Altpapierstoff, Deinking-Flotationsverfahren	Entgasung von Suspensionen, Entwässerung der Suspension
Aggregate/ Maschinen	Drucksortierer (Vertikalsichter), Plansortierer	Cleaner, Zentrifugen, Flotationszellen	Schneckenpressen, Vakuumentlüftung (Deculator)

Tabelle 1: Verfahrenstechnische Definition der Trennprozesse (Taschenbuch der Papiertechnik, 2021, S. 306)

Tabelle 1 zeigt die verschiedenen Sortier- und Reinigungsverfahren, welche grundsätzlich bei der Aufbereitung von Faserstoffen in der Papierproduktion möglich sind.
Die Anordnung der verschiedenen Verfahren und Aggregate der PM 5 Stoffaufbereitung sind im Blockschaltbild in Abbildung 13 zu sehen.

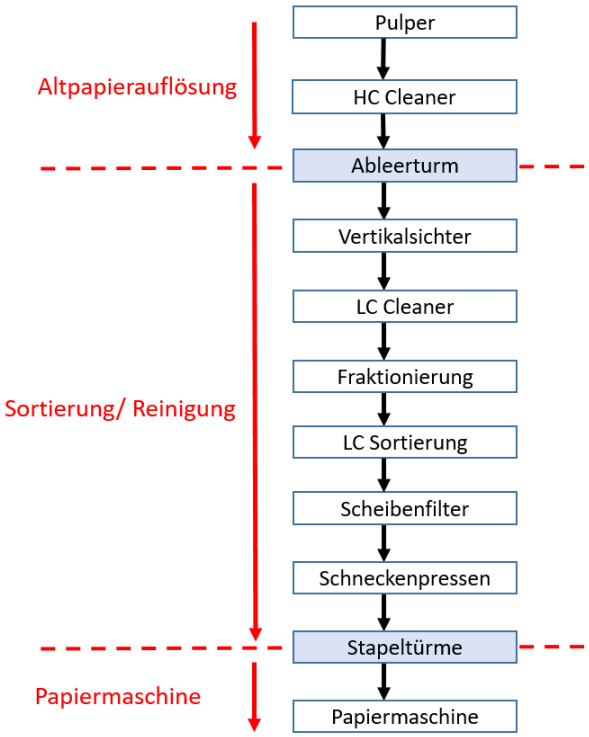


Abbildung 13: Blockschaltbild der Stoffaufbereitung PM 5

Auf die wichtigsten Verfahren bei Altpapier für Verpackungspapiere wird in den nächsten Absätzen eingegangen.

Vertikalsichter (Drucksortierer)

Diese Art Reinigungsaggregat basiert auf der Abtrennung faserfremder Teile nach geometrischer Formen und Größen. Fachlich richtig ist die Bezeichnung des Klassierens, jedoch wird dies in der Branche kaum genutzt. Trennmedium ist eine gelochte oder geschlitzte Fläche, durch die Fasern hindurch passen, Fremdstoffe, die in Form und Größe sich von der Faser unterscheiden, zurückgehalten werden, Fremdstoffe, die kleiner als eine Faser sind, können ebenfalls durch die Öffnungen gelangen und müssen in einer der anderen Verfahren entfernt werden. In modernen Stoffaufbereitungen für Altpapier wird ein Vertikalsichter (Drucksortierer) eingesetzt. Abbildung 14 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt eines Vertikalsichter Siebkorbs mit Schlitzen, wie er an der PM 5 auch zum Einsatz kommt.



Abbildung 14: Bild eines Vertikalsichter Siebkorbs mit Schlitzen (Voith GmbH & Co. KGaA, 2023)

Cleaner

Die Trennung von Fremdstoffen von der Faser nach physikalischen Merkmalen ist die zweite Verfahrenstechnik, um Faserstoffe aus Altpapierzu reinigen. In der Regel kommen in Stoffaufbereitungen sogenannte Cleaner zum Einsatz. Das physikalische Prinzip der Trennung von Fremdstoffen zu Fasern ist der Dichteunterschied. Cleaner sind in ihrer Bauart konisch zulaufende Röhren, denen tangential der Faserstoff zugeführt

wird. Durch den Einlaufdruck bildet sich im Konus nach unten ein Wirbel mit einer definierten Geschwindigkeit. Durch die herrschenden Zentrifugalkräfte werden alle Fremdstoffe mit einer höheren Dichte als die Cellulosefasern nach außen an die Konuswand gedrückt und können nach unten zur Schleuse geführt werden. Dort werden die Fremdstoffe ausgeschieden. Die Fasern sammeln sich dagegen im Inneren des Wirbels und werden nach oben aus dem Cleaner abgeführt.



Abbildung 15: links- Funktionsskizze eines Cleaners, rechts- Moderne Cleaner in einer Parallelanordnung (papier-machen.de, 2023)

Entwässerung/ Eindickung

Moderne Papiermaschinen und Stoffaufbereitungen für altpapierbasierte Verpackungspapiere werden, wie im grafischen Sektor schon lange praktiziert, mit Entwässerungssystemen am Ende der Stoffaufbereitung ausgestattet. Grund hierfür ist die Trennung der Wassersysteme (Kreislauftrennung). Moderne, schnelllaufende Papiermaschinen besonders im niedrigen Grammaturbereich sind bzgl. Wasserqualität und Wasserkreislauf der Papierfabrik sehr sensibel. Deshalb wird der Faserstoff vor der Papiermaschine mit Scheibenfiltern und Schneckenpressen entwässert. Dadurch sollen die noch in der Faserstoffsuspension befindlichen gelösten Fein- und Störstoffe mit dem entwässerten Filtrat in der Stoffaufbereitung bleiben und nicht an die Papiermaschine gelangen. In der Stoffaufbereitung wird dieses Filtrat wieder ins System eingetragen. Diese Fein- und Störstoffe werden über die Stoffaufbereitung in die Kläranlage gebracht, wo diese durch die anaeroben und aeroben Abbauprozesse eliminiert werden.

2.4.5 Altpapiersorten

Die zur Papierherstellung eingesetzten Altpapiersorten unterliegen einer europäischen DIN Norm (DIN EN 643) (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2022). Diese legt die Unterteilung verschiedener Altpapierqualitäten fest und beschreibt die erlaubten Papierqualitäten und Fremdstoffe, die je Sortenqualität enthalten sein dürfen. Anhand der enthaltenen Papierqualitäten im Altpapier, sowie der erlaubten Menge an Fremdstoffe wird die Qualität und Effizienz des Altpapiers bzw. des neu hergestellten Papiers beeinflusst. Grundsätzlich lassen sich die Papierqualitäten in vier Hauptgruppen unterteilen, diese sind in der folgenden Tabelle 2 mit Beispielen aufgeführt.

Papierqualität Hauptgruppen	Beispiele
Verpackungspapiere	Wellpappen, Kartonagen, ...
Grafische Papiere	Kopierpapier, Zeitungsdruckpapier, Illustrierte, …
Hygienepapiere	Toilettenpapier, Küchenpapiere, Taschentücher, …
Spezialpapiere	Etiketten, Kassenbon, Isolierpapiere, Filter, …

Tabelle 2: Hauptgruppen der Papierqualitäten mit Beispielen

Bei der Herstellung von Wellpappenrohpapier (Wellenstoff und Testliner) werden laut Norm folgende Sorten eingesetzt (Waser Paper Trade C.V., 2022).

1.01 - Einfaches gemischtes Altpapier

Mischung verschiedener Papier-, Karton- und, Pappesorten; papierfremde Bestandteile: max. 1,5 %; unerwünschte Materialien: max. 3 %

1.02 - Gemischtes Altpapier

Mischung verschiedener Papier-, Karton- und Pappequalitäten, die maximal 40 % an Zeitungen und Illustrierten enthält; papierfremde Bestandteile: max. 1,5 %; unerwünschte Materialien: max. 2,5 %

1.04 - Verpackungen aus Papier und Karton

Gebrauchte Papier- und Kartonverpackungen, die mindestens 70 % Wellpappe oder ungedeckten grauen Karton oder Verpackungen aus Papier, Karton und Pappe enthalten; papierfremde Bestandteile: max. 1,5 %; unerwünschte Materialien: max. 3 %

4.01 - Unbenutzte Pappe und Späne aus Wellpappe

Unbenutzte Verpackungen, Bogen und Späne aus Wellpappe mit Decken aus Kraft- und/oder Testlinern; papierfremde Bestandteile: max. 0,25 %; unerwünschte Materialien: max. 0,5 %

Die eingesetzten Papiersorten werden je herzustellender Papierqualität und benötigter Eigenschaften und Spezifikationen in Rezepturen in den passenden Verhältnissen festgelegt. Nur so ist eine reproduzierbare Qualität des fertigen Papiers möglich.

2.4.6 Einsatz von Stärke

Das Grundprinzip der Papierherstellung bzw. die chemisch-physikalische Erklärung weshalb natürliche Fasern im Beisein von Wasser, primär aus Hölzern, ein flächiges Gebilde mit einem gewissen Festigkeitspotential ergeben, basiert auf der Beschaffenheit der Fasern.

Zellulosefasern haben, je nach Baumart als Ursprungsquelle, verschiedene Eigenschaften. Bspw. Faserlänge, spezifische Oberfläche, Oberflächenladung. Erreicht das Fasergefüge einen Trockengehalt von 6…8 % bilden sich unter den Fasern, die eine negativ geladenen Oberfläche besitzen, mit den Wassermolekülen sogenannte Wasserstoffbrückenbindungen. Diese geben dem Fasergefüge die nötige Festigkeit. Das heißt, je länger die Faser ist, umso größer ist deren spezifische Oberfläche und somit auch deren Ladungspotential. Eine Frischfaser aus einem Zellstoff (Primärfaser) besitzt die höchste Faserlänge und somit auch das größte Festigkeitspotential. Bei der Nutzung von Altpapier wurden die Papierfaser schon mindestens einmal recycelt und mechanisch, thermisch und chemisch beansprucht. Dies hat zu Folge das sich die Faser abnützt und ihr Festigkeitspotential sinkt. Um bei der Herstellung von Wellpappenrohpapier aus recyceltem Altpapier, statt aus Zellstoff, die benötigten Festigkeiten zu erreichen, wird dem Fasergefüge im Herstellungsprozess enzymatisch abgebaute Stärke beigemischt. Die aus Pflanzen hergestellte Stärke (Weizen, Kartoffel, Mais, …) ist chemisch der Cellulosefaser sehr ähnlich und kann deshalb innerhalb des Fasergefüges das Ladungspotential und somit die Verbindung zwischen den Fasern verstärken.

Damit die Stärke das Fasergefüge ergänzt, muss die Stärke gekocht und anschießend enzymatisch abgebaut werden, um eine Viskosität der Stärke zu erhalten, die das trockene Fasergefüge penetriert. Sinkt die Faserqualität des Altpapiers, was die letzten Jahre vermehrt festgestellt werden kann, und damit auch Faserlängen, muss dem Fasergefüge mehr Stärke beigemischt werden, damit gleichbleibende Festigkeitseigenschaften des Rohpapiers erreicht werden können.

Der Nachhaltigkeitsgedanke der letzten Jahre, der Rückgang der graphischen Papiere durch die fortschreitende Digitalisierung, die Substitution von Verpackungen aus Primärrohstoffen (Kunststoff, Zellstoff) durch Verpackungen aus recycelten Papier und die damit steigende Papier-Recyclingquote reduziert die Zuführung von frischen Primärfasern in den Recyclingkreislauf. Damit wird sich auch zukünftig die Altpapierqualität und der Anteil von Frischfasern mit hohem Festigkeitspotential reduzieren und der Stärkeverbrauch steigen. Alternative Additive zur Festigkeitssteigerung auf Polymerbasis sind bereits am Markt verfügbar, diese sind jedoch auf Grund von Kosten und Verfügbarkeit eher selten im Einsatz. Auch unterliegen die polymerbasierten Trockenverfestiger auf Grund ihrer Wassergefährdungsklasse der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) und stellen ein Arbeitssicherheitsrisiko dar (Bundesministerium der Justiz, 2022). Wohingegen Stärke ein ungefährliches, natürliches Produkt ist (Das Papierbuch, 1999, S. 195-199).

2.4.7 Rejekte

Wie unter 2.4.5 Altpapiersorten aufgeführt, ist in sämtlichen DIN normierten Altpapierqualitäten ein bestimmter Teil faserfremder Stoffe zulässig. Hierunter fallen sämtliche Fremdstoffe, wie Plastik (z. B. Folien und Hartplastik), Metalle (z. B Drähte und Klammern), Sand, Steine und sonstige Störstoffe. Je minderwertiger die Altpapiersorte, umso ungenauer wird das Altpapier sortiert und beinhaltet dementsprechend mehr Fremdstoffe.In den beiden Prozessstufen Auflösung (Pulping) und der Reinigung/Sortierung werden dem Altpapier sämtliche Fremdstoffe entnommen, da zur Blattbildung an der Papiermaschine eine saubere Faser-Wasser-Suspension vorliegen muss.

Die beiden Prozesse wurden vorher unter 2.4.1 Altpapierauflösung und 2.4.4 Reinigung/ Sortierung erläutert. Folgende Rejektfraktionen fallen in der Stoffaufbereitung an (Tabelle 3).

Rejektfraktionen	Beispiele Inhalte
Grobrejekte	Metallstangen, große Steine, Werkzeuge, ….
Feinrejekte	Sand, Heftklammern, Steine, …
Plastikrejekte	Folien, Hartplastik, Plastiktüten, …
Metallrejekte	Drähte von AP Ballen, Metallschrott, Ordnerklammern, …

Tabelle 3: Rejektfraktionen, die in der Stoffaufbereitung dem Altpapier entnommen werden:

Grobrejekte und Feinrejekte sind Mischrejekte, die durch externe Entsorgungsunternehmen verwertet werden.

Die **Plastikrejekte** werden im Unternehmen Papierfabrik Palm im Kraftwerk Wörth mittels Reststoffverbrennungskessel als Ersatzbrennstoff zur Strom und Wärmegewinnung wiederverwertet.

Metallrejekte werden im Werk Aalen (PM 5) von Plastik separiert und als Rohstoff (Altmetall) verkauft.

Ein großes Augenmerk muss beim Thema Rejekte darauf gelegt werden, dass bei der Separierung von Fremdstoffen und Fasern so wenig Fasern wie möglich, bestenfalls keine, mit den Fremdstoffen im Rejekt landen. Dies kann in den verschiedenen Prozessstufen beeinflusst werden.

Besonders bei der Auflösung im Pulper kann es bei der Verwendung von frischfaserhaltigen Altpapiersorten vorkommen, dass Fasern nicht sauber getrennt werden und als Faserbündel zusammen mit den Rejekten entsorgt werden.

Grund hierfür ist, dass Frischfasern mehr Energieeintrag benötigen, um sich voneinander zu lösen, was in manchen Anlagen durch Energiespar- oder Kapazitätserhöhungsmaßnahmen nicht möglich ist.

2.4.8 Schlämme (Überschussschlamm und Faserschlamm)

In einer Papierfabrik fallen in der Regel zwei Arten von Schlämmen an:

1. Faserschlamm

   Unter dem Begriff des Faserschlamms verstehen sich die Ansammlungen aus diversen Endstufen der Sortierungs- und Reinigungseinheiten. Dort werden feine Fremdstoffe und Feinstoffe (Faserbruchstücke und Begleitstoffe) aus dem Prozess entfernt, da diese bei der Blattbildung stören würden.

2. Überschussschlamm

   Da die Papierherstellung mit sehr hohen Wassermengen einhergeht, besitzen Papierfabriken eine eigene Anlage zur Reinigung des Abwassers und Rückführung in das Oberflächengewässer (Direkteinleiter) oder nutzen externe kommunale/industrielle Kläranlagen als Dienstleistung (Indirekteinleiter).

   Moderne Abwasserbehandlungsanlagen von Papierfabriken für altpapierbasierten Verpackungspapiere haben, wie folgend dargestellt (Abbildung 16), verschiedene Reinigungsstufen.

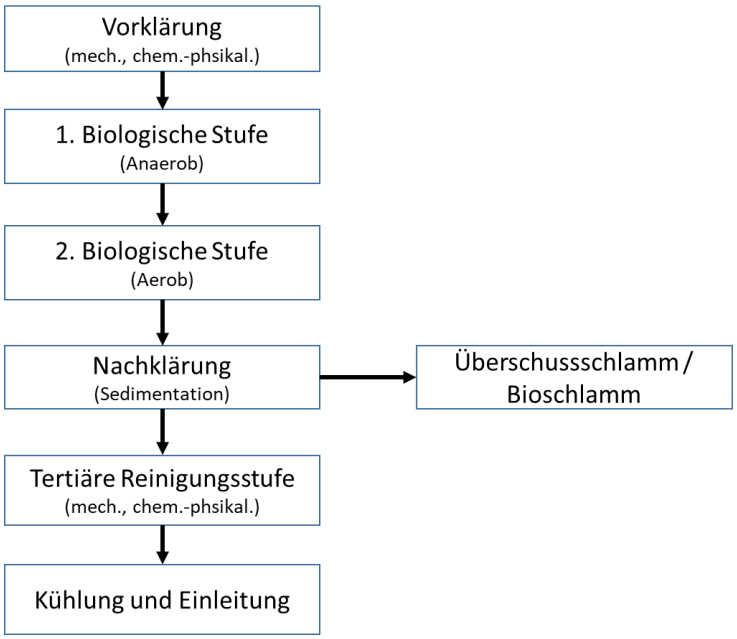


Abbildung 16: Verfahrensstufen einer modernen Abwasserreinigung einer Papierfabrik für altpapierbasierte Verpackungspapiere

Bei der Abwasserreinigung mittels aerober Reinigung wandeln Mikroorganismen unter Zuhilfenahme von Sauerstoff die organischen Inhaltsstoffe des Abwassers in Kohlendioxid und Biomasse um. Diese Biomasse wird als Überschussschlamm oder auch Bioschlamm bezeichnet (Abbildung 16). Da dieser in überschüssiger Menge

vorliegt, muss er entsorgt werden. Der Überschussschlamm, der in einer aeroben Abwasserreinigungsstufe anfällt, kann mit ca. 0,6 kg Biomasse pro 1 kg abgebautem chemischem Sauerstoffbedarf (CSB) kalkuliert werden (Taschenbuch der Papiertechnik, 2021, S. 635-642). Somit kann der zu entsorgende Überschussschlamm/Bioschlamm durch die Reduzierung von CSB im Abwasser der Produktion reduziert werden.

3. Entsorgung

   Beide Schlammfraktionen werden im Falle der PM 5 zusammen mechanisch über einen Vorseihtisch und anschließend mit einer Schneckenpresse entwässert, bevor diese zur thermischen Verwertung gebracht werden.

2.4.9 Ausschuss und dessen Verarbeitung

Auch wenn die PM 5 eine der modernsten Papiermaschinen ist und eine Vielzahl technologischer Messungen, Sensoren und Programmierungen besitzt, kommt es vor, dass Fertigpapierrollen nicht der geforderten Qualität entsprechen und aussortiert werden müssen. Diese Rollen werden als Ausschuss bezeichnet und wieder dem Auflöseprozess beigefügt. Dafür werden die Rollen mit einer Guillotine gespalten und in kleinere handliche Stücke geschnitten. Damit lässt sich die Ausschussrolle wieder in der Stoffaufbereitung auflösen und dem Produktionsprozess zuführen.

3. Vorhabensumsetzung

3.1 Ziel des Vorhabens

Um die Ausbeute des Altpapiers zu erhöhen und den Energieaufwand der Altpapierauflösung (Pulping) zu reduzieren, hat der Anlagenbauer Voith gemeinsam mit der Papierfabrik Palm eine neue Auflösetechnologie entwickelt und eine Pilotanlage gebaut, die erfolgreiche Testläufe absolvierte. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde die Technologie des Green Pulping Concepts an der PM 5 neu erstmals im großtechnischen Maßstab in der Stoffaufbereitung installiert. Mit der Implementierung der Green Pulping Concept-Auflösetechnologie werden nachfolgende Umweltschutzwirkungen bzw. Ziele angestrebt:

3.1.1 Energieeinsparungen im Auflöse- und Reinigungsprozess (Energieeffizienz)

Die Green Pulping-Auflösetechnologie hat das Potenzial, langfristig die Altpapier-Auflösetrommel und den LC Pulper für OCC (*Old Corrugated Containers* – Gebrauchte Wellpappenverpackungen) abzulösen. Im Vergleich zu herkömmlichen Auflösetechnologien (LC-Pulping, Auflösetrommel oder HC Pulper) ist es mit dem Green Pulping möglich, Altpapier bei einem signifikant geringerem Energieverbrauch aufzulösen. Durch die hohe Stoffdichte im GPC können schwer auflösbare Altpapiersorten (krafthaltige Sorten, Zellstoff, frischfaserhaltige Altpapiere) wesentlich effizienter aufgeschlossen werden, um keine Fasern als unaufgelöste Faserbündel (Stippen) im Rejekt auszusortieren.

Bei der Produktion von Wellpappenrohpapier werden zum heutigen Stand Ausschussrollen (2.4.9 Ausschuss und dessen Verarbeitung) und Stanz- bzw. Schnittabfälle aus den Wellpappenwerken zusammen mit allen Altpapierqualitäten (2.4.5 Altpapiersorten) in der Stoffaufbereitung aufgelöst, gereinigt und sortiert. Dies führt dazu, dass zur Stoffaufbereitung der sauberen Altpapiersorte 4.01 (Stanzabfälle aus Wellpappenwerken) und der Ausschussrollen der gleiche spezifische Energieeintrag aufgewendet wird, wie er für die Stoffaufbereitung verunreinigter Altpapiersorten erforderlich ist, obwohl eine aufwendige Reinigung und Sortierung bezüglich der sauberen Altpapiersorten samt Ausschussrollen nicht nötig wäre (3.2.2 Sortierung und Reinigung sauberer Altpapiersorten). Durch den Anteil an Frischfasern in den Stanzabfällen wäre der Energieeintrag im Auflöseprozess bedeutend effizienter, da die frischfaserhaltigen Altpapiere schwerer in die einzelnen Fasern zerlegt werden können. Mit dem Green Pulping Concept verfolgen Palm und Voith nun den innovativen Ansatz, eines separaten Auflösestrang. Der zum einen die Stanzabfälle und Ausschussrollen mit höherem Energieeintrag gezielt und effizient zerfasert und zum anderen durch die geringe Verschmutzung der eingetragenen Papiersorten nur eine minimale Sortiereinheit benötigt. Dadurch wird der spezifische Energieeintrag für saubere und schwer auflösbare AP Sorten reduziert. Die Standard Altpapiersorten (bspw. 1.02/ 1.04/ 1.05) werden weiterhin durch eine herkömmliche Stoffaufbereitung (nach aktuellem Stand der Technik) aufgelöst, gereinigt und sortiert. Da eine Stoffaufbereitung aus den beiden Anlagenteilen Altpapierauflösung und Reinigung/Sortierung besteht, wurden unter 2.4 Grundlagen

Stoffaufbereitung alle konventionellen Auflösekonzepte sowie die dazugehörige Sortierung/Reinigung von Standard Altpapier für Wellpappenverpackungen erläutert. Die technische Lösung mit dem innovativen GPC Auflösesystem und der minimalistischen Sortierung/Reinigung wird folgend unter 3.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) dargestellt.

Derzeit plant Palm, im Jahr 800.000 t Altpapier in der PM 5 neu zu verarbeiten. Geht man davon aus, dass davon 680.000 t/Jahr verunreinigte Altpapiere und 120.000 t/Jahr Stanzabfälle und Ausschussrollen verarbeitet werden, dann kann mit dem Einsatz des Green Pulping Concept im Vergleich zur Anwendung eines LC Pulpers für die Aufbereitung von Stanzabfällen und Ausschussrollen eine Reduzierung des Energieverbrauchs von 36,2 kWh/t bzw. 4.344 MWh/Jahr und somit eine Reduzierung des CO_2-Ausstoßes von 2.059 t/Jahr realisiert werden (rein aufbereitungsbezogen ohne Transporteffekte). Um zukünftig noch mehr Stanzabfälle und Ausschussrollen mit der effizienten Technologie auflösen zu können, als derzeit im eigenen Unternehmen anfallen, hat Palm das Green Pulping-Aggregat samt Nebengewerken mit einer Kapazität von bis zu 500 t/Tag (bzw. 180.000 t/Jahr) konstruieren lassen. Folglich wären weitere Reduzierungen des CO_2-Ausstoßes durch eine Erhöhung des Einsatzes sauberer Rohstoffe, beispielsweise durch den Zukauf von Stanzabfällen, möglich.

Die Energieverbräuche nach IBN der 3. Linie im Werk der PM 5 werden 4.2.1 Spezifischer Energieverbrauch genannt und erläutert.Die detaillierte Darstellung der Umwelteffekte (CO_2 Emissionen) ist in 4.3.1 Umwelteffekt durch Energiereduzierung zu finden.

3.1.2 Reduzierung der zu entsorgenden Rejektmengen (Abfallvermeidung)

Im Rahmen von herkömmlichen Auflösungstechnologien werden rund 10 % des Altpapiervolumens als sogenannte Rejekte ausgeworfen und als Abfälle entsorgt, in der Regel durch Verbrennung. In den Rejekten sind neben Plastik und Metall auch noch erhebliche Anteile an schwer auflösbaren Faserbündeln, sog. Stippen (mit besonders kräftigen Frischfasern) enthalten. Dies entspricht ca. 4,1 % (Erfahrung Werk Wörth mit LC Pulper) der in den Auflöseprozess eingebrachten Stanzabfälle aus Wellpappenwerken mit Frischfaseranteil (Sorte 4.01). Mit einer rejektschonenden Trommelauflösung wäre dieser Wert vermutlich noch höher. Dagegen können mit der Green Pulping Concept-Auflösetechnologie auch schwer auflösbare Faserbündel aufgeschlossen werden

und es kommt zu einer Reduzierung der zu entsorgenden Rejektmengen. Es gelangen weniger Faserstippen aus krafthaltigen Altpapierbestandteilen ins Rejekt wodurch die Altpapierausbeute verbessert wird. Im Ergebnis werden ca. 4.900 Tonnen dieser Fasern pro Jahr im Papier gehalten und nicht mehr als zu entsorgende Rejekte ausgeschleust. Grundlage für die Berechnung ist die Verlustquote der Referenzanlage in Wörth.

Plastikstörstoffe im Altpapier werden zudem durch die im Vergleich zu herkömmlichen Pulpern (LC Pulper) schonendere Auflösung weniger stark zerkleinert und können so besser aussortiert werden. Dies trägt zu einer effektiveren Abfalltrennung und damit ebenfalls zum Umweltschutz bei. Tabelle 4 zeigt die theoretische jährliche Reduzierung von Rejektmengen bzw. Faserverlusten auf Basis der Erfahrungswerte der PM6 in Wörth.

Theoretische Reduzierung der Rejektmengen		
Menge Stanzabfälle	120.000	t/Jahr
Verlustrate Fasern in Rejekten (Quote Wörth)	4,1	%
Reduzierung der Rejektmengen durch Vermeidung von unaufgelösten Faserbündeln	**4.920**	**t/Jahr**

Tabelle 4: Berechnung der theoretisch einzusparenden Rejektmengen zum effizienten Auflösen von frischfaserhaltigen Stanzabfällen.

3.1.3 Reduzierung des Lkw-Verkehrs zur Abfallentsorgung

Durch die reduzierten Mengen an Rejekten und Bioschlamm aus der Abwasseraufbereitung, die die Green Pulping-Auflösetechnologie mit sich bringt, wird das Transportvolumen der Abfälle (Rejekte und Schlämme), die per Lkw zu Entsorgungsanlagen transportiert werden, deutlich reduziert, so dass auch der Lkw-Verkehr weniger wird. Weiterhin werden beim Ausschleusen und Pressen höhere Trockengehalte der jetzt frischfaserfreien Rejekte erzielt, was die Verlademenge an Rejekten je Lkw wiederum erhöht und damit ebenfalls den mit der Verbringung der Rejekte zu Abfallentsorgungsanlagen verbundenen Lkw-Verkehr reduziert. Durch die Reduzierung von Transporten werden die damit verbundenen Emissionen vermindert.

Die verbesserte Faserausbeute, die dazu führt, dass ca. 4.920 t krafthaltige Fasern im Altpapier gehalten werden und sich die zu entsorgende Rejektmenge um eben diese

Menge verringert, hat zur Folge, dass einerseits 196 LKW-Fuhren für den Transport von Altpapier zum Standort Aalen und andererseits auch 196 LKW-Fuhren für die Rejektentsorgung vom Standort Aalen ins Kraftwerk nach Wörth eingespart werden können. Eine detaillierte CO_2-Emissionsreduzierung wird unter 4.3.2 Umwelteffekte durch Effizienzsteigerung dargestellt.

3.1.5 Reduzierung des spez. Stärkeverbrauchs

Die grundsätzlichen Anforderungen an Wellpappenrohpapiere sind Festigkeitseigenschaften, die die Widerstandsfähigkeit und Schutzfunktion der Wellpappenverpackung bestimmen. Diese Festigkeitsparameter und die mit dem Rohstoff Altpapier einhergehenden Qualitätsschwankungen werden durch den Einsatz von Additiven (wie z. B. Stärke) gesteigert bzw. kompensiert. Dabei wird beispielsweise native Stärke in Lösung gebracht und mittels eines Auftragsaggregats in der Papiermaschine auf die Papieroberfläche aufgetragen. Diese Stärkelösung, dringt in das Papier ein, um nach dem Trockenprozess Festigkeiten auszubilden. Bei der Anwendung von herkömmlichen Auflösetechnologien können frischfaserhaltige Altpapiersorten (Stanzabfälle) nicht effizient aufgelöst und vereinzelt werden, sodass die Frischfasern im Rejekt landen. Diese Fasern haben jedoch ein sehr hohes Potenzial, die Festigkeitseigenschaften von Papier zu verbessern.

Durch die Anwendung des GPC und der daraus resultierenden nahezu 100 %igen Vereinzelung der Frischfasern können diese Frischfasern aus Zellstoff das Grundfestigkeitsniveau des Rohpapiers heben. Dadurch ist eine geringere Menge Stärke (inkl. Additive) nötig, um die vorgegebenen Soll-Festigkeiten zu erreichen. In 4.2.3 Reduzierung Stärkeverbrauch wird detailliert auf die Berechnung eingegangen.

Das Green Pulping Concept führt nicht nur zu einem Rückgang der unmittelbar im Herstellungsprozess benötigten Stärke, sondern verringert dadurch auch die im Altpapier gebundene Stärke: Gelangt aus Altpapier hergestelltes Papier wieder in den Recyclingprozess, wird die enthaltene Stärke bei der erneuten Auflösung in den Wasserkreislauf der Papierfabrik gebracht, da diese kaum retendiert werden kann. Das heißt, dass die gelöste Stärke nicht wieder mit dem neu produzierten Papier ausgetragen werden kann und somit mit dem Abwasser in die Kläranlage gelangt.

Stärke, als natürliches Produkt, trägt einen hohen Anteil CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) mit in die Abwasserreinigung ein.

Durch den Einsatz des Green Pulping-Konzepts, der damit resultierenden Festigkeitssteigerung und den reduzierten Mengen Stärke (inkl. Additiven) wird auch die Belastung der Kläranlage reduziert. Aufgrund der geringeren Wasserbelastung durch CSB werden Additive in der Kläranlage und auch die anfallenden Überschussschlammmengen (2.4.8 Schlämme (Überschussschlamm und Faserschlamm)) reduziert. Die zu entsorgendenden Mengen, welche im Falle der PM 5 im Kraftwerk Wörth thermisch verwertet werden, könnten sich auf 6…7 % reduzieren. Die Kalkulation und Darstellung der Überschussschlammmengen sind unter 4.2.4 Reduzierung Überschussschlamm dargestellt.

3.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

3.2.1 Green Pulping Concept (GPC)

Bei der Entwicklung des Green Pulping Concepts war es das Ziel, die Vorteile der verschiedenen heute existierenden Auflösekonzepte (2.4 Grundlagen Stoffaufbereitung) soweit wie möglich zu kombinieren. In Abbildung 17 sind die Motivation und Ziele der Fa. Voith dargestellt.

Motivation und Ziele

Die Kombination der Vorteile konventioneller Auflösekonzepte in einem neuen innovativen Aggregat.

- ➔ Niedrige Investitionskosten (LC Pulper)
- ➔ Niedriger Energieverbrauch (LC Pulper)
- ➔ Verarbeitung von Altpapierballen (LC Pulper)
- ➔ Robust, stabil laufend und einfach zu betreiben (Auflösetrommel)
- ➔ Niedriger Verschleiß und Instandhaltungsaufwand (Auflösetrommel)
- ➔ Einsatz im Deinking Prozess möglich (Auflösetrommel und HC Pulper)
- ➔ Effizientes und vollständiges Auflösen von Frischfaser-Kraftpapieren (HC Pulper)

Abbildung 17: Motivation und Ziele des Green Pulping Concepts von Voith

Die Maschinenkosten sollten möglichst im Bereich eines LC-Pulping Systems liegen, der Energiebedarf sollte auf keinen Fall höher als bei einem LC-Pulper, d.h. unter 15 kWh/t liegen, das Konzept sollte ähnlich verschleiß- und wartungsarm wie eine Trommelauflösung sein, einfach zu betreiben und konstante Prozessbedingungen für nachfolgende Aggregate bereitstellen. Außerdem sollten damit auch schwer auflösbare und/oder beschichtete Rohstoffe stippenfrei aufgelöst werden können. Aus dem letztgenannten Ziel ergab sich im Prinzip zwangsläufig, dass das gesuchte Konzept auf einem kontinuierlichen HC-Auflöseprozess mit Zwangsumwälzung ähnlich wie beim oben beschriebenen HC-Pulper beruhen musste. Letztendlich diente das früher schon für die Vereinzelung von schwer auflösbaren, mit Teer beschichteten Überseekartonagen eingesetzte Konzept des „Einwellenzerfaserers“ als Vorbild (hierbei handelt es sich um eine Maschine mit geschlossenem Arbeitsvolumen und horizontaler Achse; der Stoff wird unter HC-Bedingungen axial durch die Maschine gefördert und dabei durch wechselnde Ebenen mit langsam drehenden bzw. stehenden Arbeitselementen geführt).
Für den Einsatz als Stofflöser für heutige Altpapiere mit hohem Störstoffanteil und im Prinzip nicht definierbaren Störstoffeigenschaften mussten allerdings diverse Anpassungen vorgenommen werden. Außerdem musste ein hinsichtlich der Größenverhältnisse und Drehzahlen passendes Sortierkonzept gefunden werden, um die Funktionalität der heute existierenden Auflösekonzepte zu erreichen. Das Ergebnis zeigen die folgenden Abbildungen.

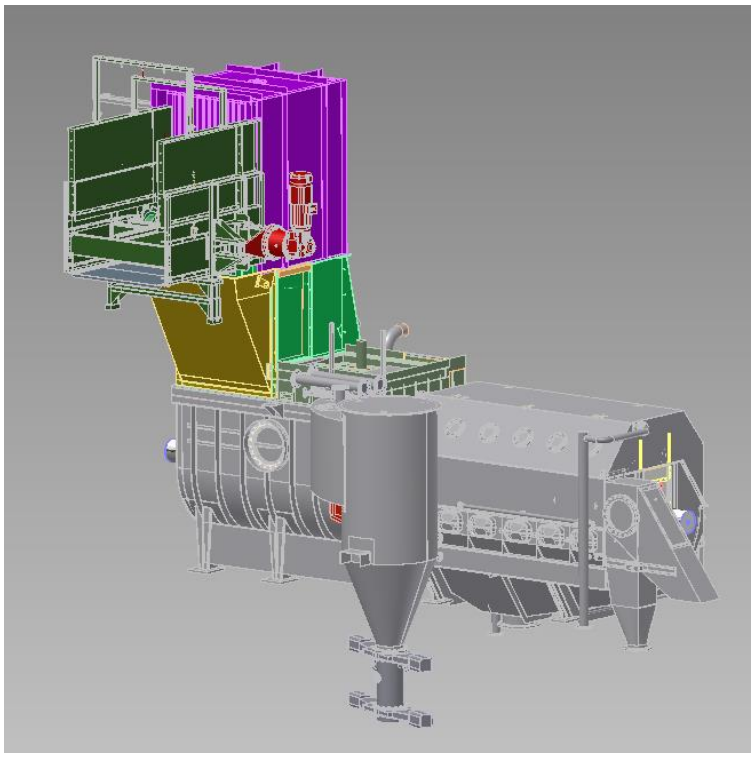


Abbildung 18: Konstruktion Green Pulping Concept (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022)



Abbildung 19: Erste großtechnische Installation des GPC in der Stoffaufbereitung der PM 5 Aalen

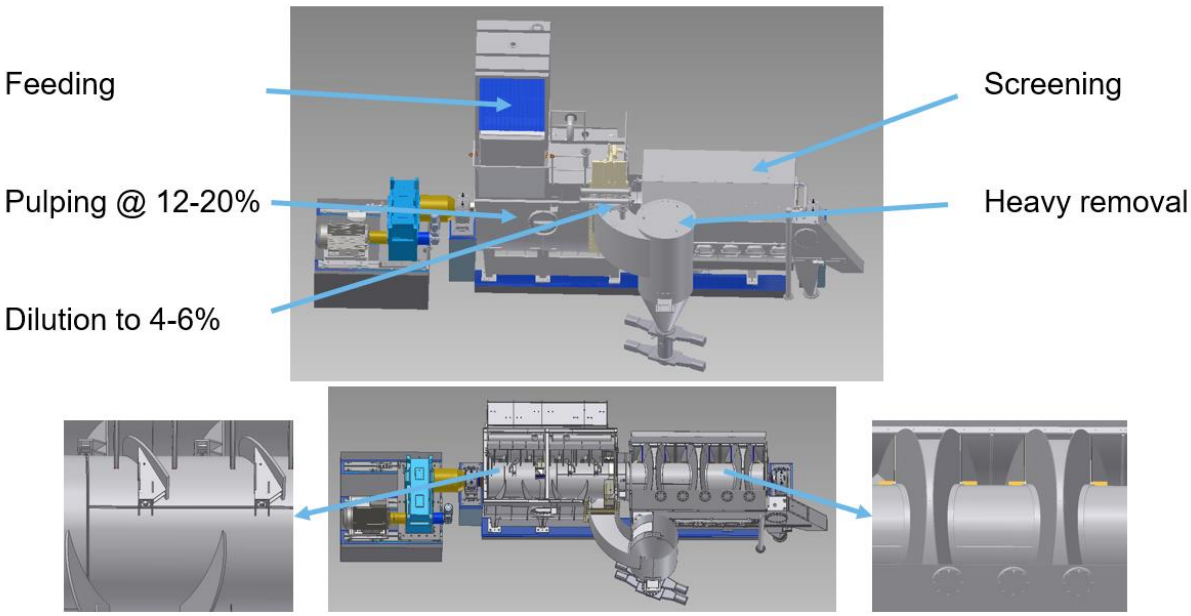


Abbildung 20: Prozessdarstellung Green Pulping Concept (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022)

Das GPC-Auflöseaggregat ist unterteilt in zwei Behälter für die Auflösung bzw. Sortierung, die über eine gemeinsame Welle verbunden sind, sowie einen zwischengeschalteten Sedimentationsbehälter zur Abscheidung von größeren Schwerteilen (Abbildung 20). Im Auflösebehälter wird das vom Beschickungsband eingetragene Altpapier vereinzelt, mit Wasser vermischt und durch die auf der Welle angebrachten, schaufelartigen Arbeitselemente „durchgeknetet“ bis die Fasern weitestgehend vereinzelt vorliegen. Durch geringe Rotationsgeschwindigkeiten und große Abstände zwischen rotierenden und stehenden Elementen ist dieser Vorgang besonders schonend, sodass Verunreinigungen praktisch nicht zerkleinert werden, aber auch verschleißarm. Die großen Abstände zwischen den Elementen und eine strömungsoptimierte Geometrie sind auch wichtig für ein robustes, störungsfreies Betriebsverhalten bei hohen Verschmutzungsgraden. Am Ende der Auflösung kann der Mengenfluss an der Auswurfstelle über ein höhenverstellbares Wehr gesteuert werden. Anschließend wird der Faserstoff durch die impulsbehaftete Zugabe von weiterem Wasser von der HC-Stoffdichte, die im Bereich der Auflösung vorlag (12…20 %), auf eine für den anschließenden Sortierschritt geeignete Stoffdichte von 4…6 % verdünnt. Er fließt dann zunächst in einen Sedimentationsbehälter um größere Schwerteile (Schrauben, Muttern, Drahtknäuel etc.), die im Sortierteil mechanische Schäden, aber auch Verschleiß verursachen könnten, abzutrennen und von dort in den Sortierteil. Dieser besteht aus perforierten Halbschalen über denen schräg auf der

drehenden Welle angebrachte Scheiben für die Freihaltung der Sieblöcher sorgen. Zwischen den Scheiben angebrachte Hebeleisten sorgen für den Weitertransport der vom Sieb zurückgehaltenen Verunreinigungen in Richtung Rejectauswurf.

Die energetische Effizienz des Green Pulping Concepts zeigt die nachfolgende Grafik (Abbildung 21). Dort ist der Zusammenhang zwischen dem Stippengehalt, also dem Anteil an noch nicht vereinzelten Fasern über dem Energieeintrag dargestellt. Der Stippengehalt nimmt, wie man an den drei aus einem Technikumsversuch bei der Fa. Voith mit einem krafthaltigen, also schwerer auflösbaren Rohstoff resultierenden Kurven sieht, mit zunehmendem Energieeintrag ab. Beim GPC wird allerdings zur Erreichung eines bestimmten Stippengehalts weniger Energie benötigt, als mit heute existierenden Auflösekonzepten (LC-Pulper bzw. Trommelauflösung).

In der Grafik ist auch noch der bei der Fa. Palm in Aalen erreichte Arbeitspunkt eingetragen. Dort wird mit einem spezifischen Energieeintrag von lediglich 7 kWh/t ein Stippengehalt von unter 10 % erreicht. Das GPC dort liegt also noch deutlich unterhalb der ursprünglich anvisierten 15 kWh/t für die Auflösung von Verpackungsaltpapier (OCC). Es sollte zwar fairerweise ergänzt werden, dass der in Aalen eingesetzte Rohstoff auf Grund seiner Sauberkeit und Vorzerkleinerung an sich schon deutlich leichter aufzulösen ist, als normales OCC. Auf Grund des großen Vorteils kann aber davon ausgegangen werden, dass auch bei Standard-OCC ein energetischer Vorteil erhalten bleibt.

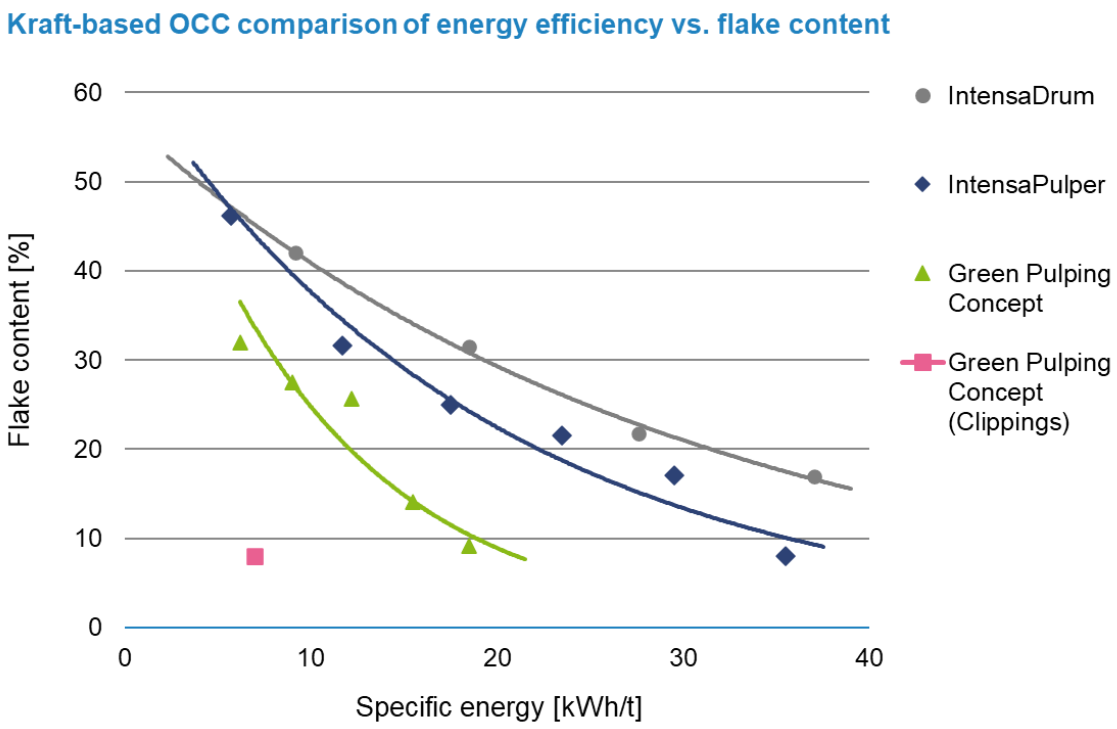


Abbildung 21: Stippengehalt (%) vs. spez. Energiebedarf (kWh/t) konventioneller Auflösekonzepte und dem Green Pulping Concept

3.2.2 Sortierung und Reinigung sauberer Altpapiersorten

Die Reinigung und Sortierung von Altpapier ist ein sehr sensibler und ein hochtechnologisierter Prozessteil, der die vereinzelten Fasern von Verschmutzungen befreit (2.4.4 Reinigung/ Sortierung). Die Anlagenteile in diesem Bereich wurden über Jahrzehnte optimiert und verbessert, um bei möglichst geringem Faserverlust im Rejekt die beste Energieeffizienz zu erreichen. Wird jedoch lediglich die Altpapiersorte 4.01 (Stanzabfälle aus Wellpappenwerken) und Ausschussrollen betrachtet, so ist aufgrund der minimalen Verschmutzung dieser Papiersorten keine Anlage für die Sortierung und Reinigung nach heutigem Standard für die Produktion von Wellpappenrohpapier nötig. Eine minimale Reinigungseinheit als Polizeifunktion ist ausreichend, um nachfolgende Aggregate zu schützen. In Abbildung 22 sind in Form von Blockschaltbildern die Verfahrensschritte einer modernen Stoffaufbereitung für Standard AP Sorten (bspw. 1.01, 1.02, 1.04) links und für saubere AP Sorten wie 4.01 und Ausschussrollen rechts gegenübergestellt. Es ist daraus ersichtlich, dass die Anzahl der Verfahrensschritte und auch die Anzahl der nötigen Kaskadenstufen zur Reduzierung des Faserverlusts für saubere

AP Sorten geringer ist. Somit ist auch der spezifische Energieverbrauch für diese Art Aufbereitung deutlich geringer.

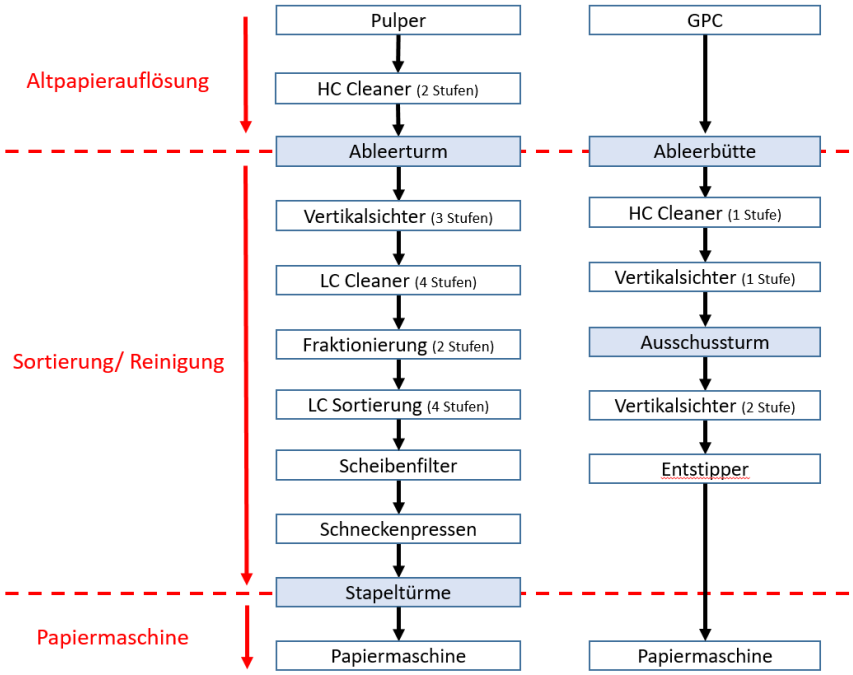


Abbildung 22: Vergleich der Verfahrensschritte einer Aufbereitung von Standard AP Sorten (links) und einer minimierten Lösung für saubere AP Sorten (rechts)

3.2.3 Konzept der Auflöselinie für saubere Altpapiersorten

In den beiden vorangegangen Kapiteln 3.2.1 Green Pulping Concept (GPC) und 3.2.2 Sortierung und Reinigung sauberer Altpapiersorten wurden die zwei elementaren Themen einer effizienten Stoffaufbereitung für saubere Altpapiersorten dargestellt und Lösungsansätze definiert. Für die Stoffaufbereitung der PM 5 wurde entschieden, für saubere und teilweise frischfaserhaltige Altpapiere aus der Altpapiersorte 4.01 und den Ausschussrollen der PM 5 eine separate 3. Auflöselinie zu installieren. Diese beinhaltet als Auflöseaggregat das neue innovative Green Pulping Concept der Fa. Voith sowie eine anschließende sehr minimalistische Sortierungs-/ Reinigungsstufe. Der dort aufgelöste und gereinigte Faserstoff wird über die Ausschussaufbereitung der PM 5 zugeführt. Abbildung 23 zeigt einen Vergleich der Hauptauflöselinien 1/2 für die verschmutzen Standard AP Sorten links und die 3. Auflöselinie für die sauberen AP Sorten rechts in Form eines Blockschaltbilds. Im rechten Blockschaltbild, der 3. Linie inkl. GPC, ist zu sehen, dass ein Teil der abgehenden Rejekte in den Ableerturm geführt werden. Dies wurde realisiert, um im Falle unerwartet vorkommender Verunreinigungen bei

sauberen AP Sorten und später für Versuche mit verunreinigten AP Sorten die Faserverluste zu eliminieren. Das bedeutet, dass die Rejektströme aus dem GPC (außer grober Schwerschmutz) und Cleaner (Feinrejekte) in den Reinigungsprozess der Hauptauflöselinien 1/2 geleitet werden. Dort werden sie effizient abgetrennt und von Fasern separiert.

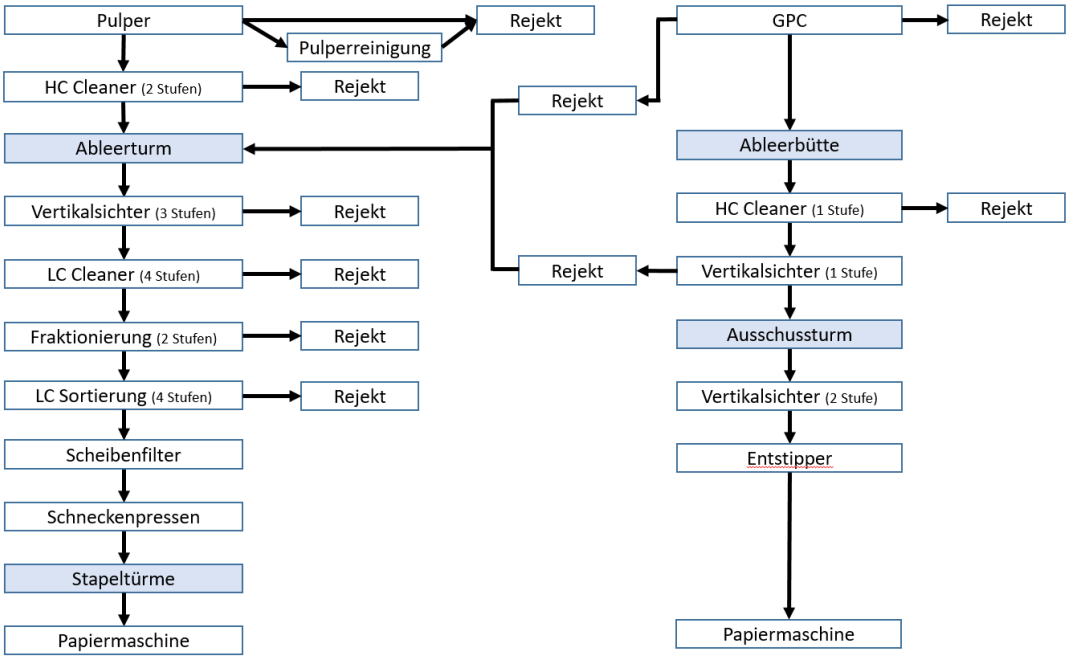


Abbildung 23: Darstellung der Auflöselinien 1&2 für Standard AP (links) und Linie 3 für saubere AP Sorten (rechts) als Blockschaltbild inkl. der Rejekte – Linie 1&2 sind identische Pulper, Linie 3 ist der GPC

Diese Kombination verbindet die optimale, hundertprozentige Auflösung von sauberen krafthaltigen Altpapieren im energiesparenden GPC, welche den Verlust von hochwertigen Fasern im Rejekt vermeidet, sowie den Einsatz der reduzierten Sortierung/Reinigung für diese Altpapiere. Dieser separate dritte Auflösestrang (GPC) der Stoffaufbereitung ist bzgl. Energieeffizienz und Verlustquote der konsequente Schritt in eine nachhaltige Stoffaufbereitung. Die Auswertung der Umwelteffekte durch spezifische Energiereduzierung und Vermeidung von Rejektmengen bzw. effizientere Nutzung von Fasern werden im Kapitel 4.2 Stoff- und Energiebilanz beschrieben und diskutiert.

3.3 Umsetzung des Vorhabens

Die Installation des neuen GPC Pulpers wurde im Rahmen des Neubau Projekts PM 5 in der Stoffaufbereitung parallel zu den LC Pulpern installiert. Auf Grund von Verzögerungen durch Lieferschwierigkeiten musste der GPC im laufenden Betrieb der Stoffaufbereitung montiert werden. Die IBN des Systems erfolgte Anfang Mai 2022. Seitdem wird die Anlage in enger Zusammenarbeit mit Voith betrieben und optimiert.



Abbildung 25: Werk Palm Aalen alt mit PM2, PM4 und PM 5 alt



Abbildung 24: Werk Palm Aalen Neu mit PM 5 neu

3.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigung)

Es gibt keine behördlichen Auflagen für das Green Pulping Concept.

3.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Zur Ermittlung der Erfolgskontrolle werden sämtliche Betriebsparameter des gesamten Werks im übergreifenden Prozessleitsystem (Valmet DNA) digital und online gemessen. Die Speicherung/Archivierung und Auswertung sämtlicher Daten findet im Gruppenweiten ERP System Tieto statt. Neben Prozessparametern werden auch Qualitätsdaten, Planungsdaten, KPI Auswertungen und Vor-Ort Messergebnisse langfristig und sicher geschützt und ausgewertet (vgl. Tabelle 5). Für detaillierte Auswertungen, Kontrollaufgaben und Problemlösungen wurde 2020 begonnen, das Datenanalysetool Capstone DataParc Sytem in allen Werken zu installieren. Im Werk Aalen war das System von Beginn an im gesamten Werk verfügbar. Das DataParc System wird auch für das Energiemanagement genutzt.

Daten / Parameter	Quelle der Erfassung Auswertung
Energiedaten	DNA Prozessleitsystem / DataParc
Prozessparameter PM 5 / STAB	DNA Prozessleitsystem / DataParc
Rejekte / Faserverluste	Labormessungen
Qualitätsparameter	Labordaten / Tieto
Stärkeverbrauch	DNA Prozessleitsystem / DataParc
Bioschlammmengen	DNA Prozessleitsystem / DataParc

Tabelle 5:Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten PM 5

Zur Kontrolle der gemessenen Daten aus dem Prozess sowie der Qualität werden diese 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
- EU Ecolabel
- FSC® C041166 Zertifikat
- PEFC Zertifikat
- Der Blaue Engel
- 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 bis September 2022 ausgewertet werden. Parameter digitaler Messeinrichtungen liegen in hochauflösender Signaldichte auf den Servern unserer Prozessleitsysteme und Auswertetools vor.

Für die Bestimmung von Rejektmengen und Faserverlusten werden wöchentliche Laborproben gemessen und digital gespeichert, um für die Auswertung jederzeit verfügbar zu sein.

Eine digitale Auswertung mit statistischen Analysemethoden ist durch die langjährige Speicherung aller relevanten Daten nachvollziehbar und reproduzierbar.

4 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

4.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

4.1.1 Herausforderungen und Hintergrundinformationen

Der gesamte Bau der neuen Papierfabrik inkl. Papiermaschine, Stoffaufbereitung und sämtlichen Nebenanlagen wurde durch die weltweite Corona Pandemie negativ beeinflusst.

Die Herausforderungen stellen sich folgendermaßen dar:

Lieferverzögerungen

Den großen Einfluss des heutigen Global-Sourcing und der weltweiten 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 ließen oder Container, die in geschlossenen Häfen nicht ver- oder entladen werden könnten, führten zu Lieferverzögerungen, die direkte Auswirkungen auf die Montage der neuen Fabrik 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, sodass Arbeiter kurzfristig die Baustellen verlassen haben, bspw. 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 Corona-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 Global-Sourcing zum Einsatz, was bei einem solch großen Projekt den gesamten Globus betrifft. Entscheidend für ein funktionierendes Global-Sourcing ist ein funktionierendes Qualitätsmanagement, welches für sämtliche Produktionsstandorte die gleichen Qualitätsstandards garantiert. Das dies bei verschiedensten Kulturen, Arbeitsweisen und regionalen Standards sehr schwer ist, ist verständlich. Im Projekt PM 5 hat die Covid-19-Pandemie jedoch auch hier ihre Spuren hinterlassen. Ab April 2019 war es dem Projektteam der Fa. Palm nicht mehr möglich, Qualitätsabnahmen und -kontrollen beispielsweise in China vorzunehmen. Reiseverbote haben keine Kontrollen zugelassen. Das Gleiche galt auch für die Mitarbeiter der Lieferanten, die für das Qualitätsmanagement keine Kontrollen vor Ort an den Produktionsstandorten in China, Russland, Brasilen, Indien vornehmen konnten. Somit wurden die in Aalen angelieferten Teile ohne Vor-Ort-Kontrolle angeliefert. Schon bei der Montage kamen diese Qualitätsmängel zum Vorschein, bspw., wenn Anlagenteile aus unterschiedlichen Standorten nicht zusammengepasst haben oder falsche, nicht angemessene Materialien verbaut wurden. Diese Mängel mussten auf der Baustelle behoben werden, was zu enormen Zeit- und Mehraufwand geführt hat.

4.1.2 Montage Green Pulping Concept

Als die Entscheidung seitens Voith und Palm getroffen wurde, in der Stoffaufbereitung der PM 5 die allererste großindustrielle Installation des neuen Green Pulping Concepts zu installieren, war das Engineering der Hauptkomponenten der Stoffaufbereitung schon weit fortgeschritten. Dadurch musste das GPC in die vorhandene Planung und Gebäudestruktur eingepasst werden. Zusätzlich war die Lieferung der Komponenten stark verzögert, sodass die Stoffaufbereitung mit den Hauptsträngen der LC Pulper schon in Betreib war. Daher war der Montageaufwand auf Grund der Abstimmungen mit dem Betriebspersonal und den gegebenen Betriebsbedingungen in der Stoffaufbereitung sehr herausfordernd und verlangte einen hohen Koordinationsaufwand.

4.1.3 Inbetriebnahme Green Pulping Concept

Als absoluter Prototyp und innovatives Neukonzept unterlag die Inbetriebnahme des GPC natürlich den Spezialisten und Inbetriebnehmern der Fa. Voith. Erste Versuche zur Auflösung von Stanzabfällen waren qualitativ bereits sehr gut, jedoch mussten in den ersten Wochen und Monaten vor Ort einige Optimierungen und Nachbesserungen am System vorgenommen werden. Auch gab es während der IBN immer wieder auch Defekte und Schäden, die behoben werden mussten und einen Ausfall der Auflösung mit sich brachten. Abgebrochene Rotorflügel und deformierte Bleche wurden aber von Voith immer wieder repariert und zur Vermeidung erneuter Defekte optimiert.

Die Qualität der aufgelösten Altpapiermengen war von Anfang an sehr gut. Die produzierten Fasern waren auch mit krafthaltigen Stanzabfällen nahezu stippenfrei, was auf ein sehr gutes Auflösevermögen hindeutet. Seit dem Start der IBN im April 2022 wird der GPC von Voith weiter optimiert und ist je nach Situation und Verfügbarkeit von sauberem Rohstoff im Einsatz. Auch der erwartete niedrige Energiebedarf des Auflösesystems GPC hat sich seit der IBN auf sehr gutem Niveau entwickelt. Der GPC zeigt in Aalen schon jetzt das Potential, welches das Auflösekonzept hat und wird im Bereich Pulping neue Maßstäbe setzten.

4.2 Stoff- und Energiebilanz

Am 14. Juli 2021 wurde die PM 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 Stoffaufbereitung wurde von diesem Tag an parallel weiter in Betrieb genommen, um den stetig steigenden Faserstoffbedarf der PM 5 decken zu können. Die Erfolgskontrolle sämtlicher Anlagenteile, darunter auch die Altpapierauflösung und die Sortierung/Reinigung, werden seit dem mit den unter 3.5 und 3.6 aufgeführten Kontroll- und Auswertewerkzeugen analysiert und bewertet.

4.2.1 Spezifischer Energieverbrauch

In den vergangenen Jahren wurden von den unterschiedlichsten Maschinenlieferanten Jahr für Jahr neue und optimierte Anlagenteile und Aggregate auf den Markt gebracht, die den spezifischen Energiebedarf für eine stippenfreie und effiziente Auflösung /Reinigung von Altpapier immer weiter senken. Als Voith vor Jahren begann am Green Pulping Concept zu arbeiten und den ersten Prototypen im Werk Aalen zu Versuchszwecken aufstellte, war es das Ziel mit der neuen Auflösetechnologie die bisher am Markt verfügbaren Konzepte abzulösen und neue Standards bzgl. Energieverbrauch zu setzen. Die erste Installation in der Stoffaufbereitung im Werk Aalen, die im April 2022 die ersten Altpapierballen aufgelöst hat, zeigt seither, trotz Prototypenstatus und Optimierungen, ihr Potential. Nach den ersten sieben Monaten Betrieb des GPC und der dazu gehörigen 3. Reinigungslinie (3.2.3 Konzept der Auflöselinie für saubere Altpapiersorten) wurden mittels des Prozessleitsystems und der Datenanalysetools DataParc die spezifischen Energieverbräuche der produzierten Menge Faserstoff berechnet. Als Referenz zur Stoffaufbereitung in Aalen wurde die Stoffaufbereitung der PM 6 in Wörth herangezogen. Diese wurde 2002 zusammen mit der PM 6 in Betrieb genommen und seither immer weiter optimiert. Die folgende Tabelle 6 zeigt die Aufstellung der Hauptsektionen der Stoffaufbereitung von Altpapier für Wellpappenrohpapier und vergleicht die spezifischen Energieverbräuche in Wörth, der beiden Hauptauflöselinien in Aalen und der neuen GPC Auflöselinie mit reduzierter Reinigung.

<table>
<tr><th></th><th>PM 6</th><th colspan="3">PM 5</th></tr>
<tr><td></td><td>PM 6
(kWh/t)</td><td>Pulper Linie 1&2
(kWh/t)</td><td>GPC / Linie 3
(kWh/t)</td><td>Gesamt
(kWh/t)</td></tr>
<tr><td>Stoffauflöser/Pulper</td><td rowspan="2">29,9</td><td rowspan="2">20,5</td><td rowspan="2">6,5</td><td rowspan="2">18,4</td></tr>
<tr><td>Rejektbehandlung Pulper</td></tr>
<tr><td>Grobsortierung</td><td>20,0</td><td>14,1</td><td rowspan="5">22,1</td><td rowspan="5">40,0</td></tr>
<tr><td>Cleaneranlage</td><td>14,7</td><td>8,0</td></tr>
<tr><td>Fraktionierung</td><td rowspan="2">22,2</td><td rowspan="2">14,2</td></tr>
<tr><td>Langfasersortierung</td></tr>
<tr><td>Entwässerung</td><td>5,9</td><td>8,1</td></tr>
<tr><td>SUMME</td><td>92,6</td><td>64,8</td><td>28,6</td><td>59,4</td></tr>
</table>

Tabelle 6: Vergleich spezifischer Energiebedarf STAB PM 6 / STAB PM 5 und GPC inkl. 3. Reinigungslinie

Betrachtet man in Tabelle 6 die Zeilen Stoffauflöser/Pulper inkl. Pulperreinigung, so ist sofort zu erkennen, dass sich in den letzten 20 Jahren, seit der IBN der PM6 der spezifische Energiebedarf beim LC Pulper schon um ca. 1/3 reduziert hat. Die Hauptlinie der PM 5 ist ein energetisch optimiertes LC Pulper System. In der rechten Spalte dagegen ist der drastische Sprung nach unten zu erkennen. Mit nur 6,5 kWh/t löst das GPC System den Stoff (bisher nur Stanzabfälle und Ausschussrollen) sehr effizient auf. Im Vergleich zu den beiden LC Pulpern in Aalen, braucht das GPC nur ca. 31 % des Stroms. Dieses Ergebnis ist trotz der etwas unterschiedlichen AP Qualitäten sehr beeindruckend und zeigt das enorme Potential des GPC für zukünftige Installationen und Einsatzgebiete. Für die darauffolgende Sortierung/Reinigung des Altpapiers (Grobsortierung bis Eindickung) kann das selbe Resultat, gezogen werden. Die Stoffaufbereitung (STAB) in Wörth liegt in diesem Bereich bei insgesamt 62,7 kWh/t und die neue STAB der PM 5 bei 44,3 kWh/t. Das entspricht auch in diesem Bereich der Anlage einer Reduzierung um 30 %. Wird die Sortierung/Reinigung des Hauptstrangs in Aalen noch mit der (aufgrund der nahezu stippenfreien Auflösung durch das GPC) reduzierten Reinigung inkl. Ausschussaufbereitung verglichen, dann ist auch hier ersichtlich, dass das neue Konzept der 3. Linie aufgeht. Aufgrund der Anlagentechnik und des eingesetzten Rohstoffs wird der spezifische Energieverbrauch um ca. 50 % reduziert.Werden die in Tabelle 6 dargestellten Gesamtenergiemengen der Stoffaufbereitungen nun verglichen (Tabelle 7), so zeigt sich, dass das Green Pulping Concept in Verbindung mit der 3. Auflöselinie ein sehr effizientes System zur Auflösung von Altpapier ist. Tabelle 7 stellt die Einsparpotentiale dar. Das GPC inkl. reduzierter Reinigung bringt verglichen zum schon sehr effizienten State of the Art *Voith BlueLine Concept* der PM 5 eine Einsparung an Energie von mehr als 55 %. Letztendlich werden somit für die Aufbereitung der 800.000 t Gesamtjahresmenge der PM 5 im Mittel 5,4 kWh/t bzw. 4.344 MWh weniger an Energie benötigt.

	PM6 LC Pulper	PM 5 LC Pulper (Linie 1&2)	PM 5 GPC / Linie 3	PM 5 gesamt
Energieverbrauch gesamt (kWh/t)	92,6	64,8	28,6	59,4
Reduzierung (%)		**30,1**	**55,9**	**35,9**

Tabelle 7: Vergleich Gesamtenergie der Stoffaufbereitungen aus Tabelle 6

4.2.2 Vergleich zum europäischen Stand der Technik gemäß BVT-Merkblatt

Vergleicht man nun die oben angegebenen Ergebnisse bzgl. spezifischer Energie mit den BVT Merkblättern (Beste verfügbare Techniken (BVT), 2015) so können folgende Aussagen getroffen werden. Tabelle 8 (Beste verfügbare Techniken (BVT), 2015, S. 573) zeigt die spezifischen Energiemengen für das HC Pulping in Verbindung mit den Papiersorten Deinking Tissue und Deinking Zeitungsdruckpapier. Dazu ist der Energiebedarf des GPC Pulpers mit angegeben. Grundsätzlich sind die Voraussetzungen durch die unterschiedlichen Altpapierqualitäten (Deinking Tissue und Deinking Zeitungsdruckpapier) sehr groß, jedoch ist der eindeutig niedrige Energiebedarf von 6,5 kWh/t verglichen zu 15…80 kWh/t bei existierenden Auflösesystemen gemäß gut erkennbar (Beste verfügbare Techniken (BVT), 2015, S. 575). Der niedrige Energiebedarf des GPC lässt sich später unabhängig von den AP Qualitäten einsetzen.

	BVT		PM 5 Aalen
	6.2.2.4		Wellpappen-rohpapier
	Table 6.4		
	Deinking Tissue	Deinking Zeitungs-druckpapier	
	HC Pulper	Drum Pulper	GPC Pulper
spezifischer Energiebedarf HC Pulping	39 kWh/t	16 kWh/ t	6,5 kWh/t

Tabelle 8: Vergleich des Energiebedarfs des GPC mit den BVT Merkblätter 6.2.2.4 Tabelle 6.4

Im Kapitel der BVT Merkblätter 6.3.10.1 (Beste verfügbare Techniken (BVT), 2015, S. 633) werden die energetischen Verbräuche diskutiert, die in einer Stoffaufbereitung für nicht zu deinkende Altpapiere mit der besten verfügbaren Technik angenommen werden. Tabelle 9 stellt diese Energieverbräuche dar und vergleicht sie mit dem LC Pulper in den Hauptlinien sowie GPC inkl. reduzierter Reinigung. Die Darstellung in Tabelle 9 zeigt eindrucksvoll, dass mit einer neuen State of the Art Stoffaufbereitung mit LC Pulper ca. 22 % und in der GPC Linie sogar 74 % weniger Energie benötigt wird. Im Mittel entspricht dies einer Einsparung von 30 % bezogen auf die 800.000 t Jahresproduktion der PM 5.

	BVT Strom Stoffaufbereitung (kWh/t)	PM 5 LC Pulper (Linie 1&2) (kWh/t)	PM 5 GPC / Linie 3 (kWh/t)	PM 5 gesamt (kWh/t)
Aufschluss, Entstippen	20	20,5	6,5	19,4
Sortieren	30	42,1	22,1	57,5
Reinigen	10	14,7		
Eindicken	10	8,1		
Dispergieren	40	0	0	0
SUMME	**110,0**	**85,4**	**28,6**	**76,9**

Tabelle 9: Vergleich des Energiebedarfs des GPC inkl. Reinigung mit den BVT Merkblättern (Kapitel 6.3.10.1/Tabelle 6.26)

Das Ziel der Reduzierung des spezifischen Energieverbrauchs durch den Einsatz des GPC wurde nach den ersten sieben Monaten Betrieb eindrucksvoll bewiesen und zeigt das nachhaltige Potential das GPC.

4.2.2 Faserverlust und Rejektqualität

Unter der Bezeichnung Faserverlust/Rejektquote muss im Detail definiert werden, welche Fraktionen betrachtet werden und welche Zahlen als Basis zur Berechnung dienen. Grundsätzlich handelt es sich hierbei um die Differenz zwischen eingekaufter/eingesetzter Altpapiermenge und produzierter verkaufsfähiger Papiermenge (brutto). Bei der Betrachtung der Effizienz des GPC für saubere und teilweise schwer auflösbare Altpapiere ist die Betrachtung über diese Berechnung allerdings nicht richtig, da hier die gesamte Altpapiermenge über alle drei Pulperlinien kalkuliert wird. Für die Beurteilung der Effizienz des GPC und der Bestimmung von nicht aufgelösten Papieren/Faserbündel, die mit dem Rejekt ausgeschleust werden, muss eine manuelle Beprobung und eine visuelle Kontrolle durchgeführt werden. Dazu wird während des Einsatzes der Sorte 4.01 (Stanzabfälle aus Wellpappenwerken) regelmäßig eine bestimmte Menge Rejekt (ca. 20 kg) aus dem Gesamtrejekt entnommen und manuell separiert. Dabei werden sämtliche Faserbündel und Papierreste vom Rest abgetrennt. Anschießend werden beide Fraktionen abgewogen und verrechnet. Für die Auswertung werden die Messungen aus den Stoffaufbereitungen des alten Werks in Aalen (PM4 und PM 5), dem Werk Wörth (PM 6) und die der neuen PM 5 in Aalen verglichen. Die Proben aus dem alten Werk in Aalen stammen aus den Jahren 2017/2018.

Tabelle 10 zeigt die in der Vergangenheit gemessenen Mengen Faserbündel und Papierreste im Rejekt an den Papiermaschinen 4 und 5 im alten Werk in Aalen und der PM6 in Wörth, die 2002 in Betrieb gegangen ist. Der Vergleich der Fasern im Rejekt der unterschiedlichen Anlagen zeigt den Trend und die Steigerungen der Effizienz der Auflösungen im Laufe der Zeit. Die zwanzig Jahre alte PM6 und deren Stoffaufbereitung haben im Vergleich zu den Papiermaschinen 4 und 5 schon um ca. 30 % weniger Faserreste im Rejekt, wenn Altpapier mit Frischfaseranteil im Auflöseprozess verarbeitet werden. Das liegt daran, dass die Stoffaufbereitung im alten Werk Aalen weit über deren Kapazität betrieben wurde und zudem weit mehr als 30 Jahre auf den Schultern hatte. Im Gegensatz zu den beiden Anlagen PM 4/5 und PM 6 sind in Aalen an der neuen PM 5 nun keine Faserbündel bzw. unaufgelösten Papierreste mehr im Rejekt zu finden. Dies haben Messungen über die letzten 6 Monate gezeigt.

		PM 4/5 alt	PM 6	PM 5 neu
Separierte Fasern/ Papiere aus dem Rejekt	%	5,9 %	4,1 %	**0 %**
Altpapiermengen mit Frischfaseranteil	t/Jahr	70.000	70.000	70.000
Menge Faserbündel/ Papierreste im Rejekt	t/Jahr	4130	2870	**0**

Tabelle 10: Vergleich der Menge an nicht aufgelösten Faserbündel / Papierreste im Rejekt

In den folgenden Bildern ist zu sehen, wie die Rejekte an den verschiedenen Anlagen aussehen bzw. ausgesehen haben. Abbildung 26 zeigt Bilder von Rejekten im alten Werk Aalen aus dem Jahr 2017 während des Einsatzes von frischfaserhaltigen Stanzabfällen. Es sind sehr große braune unaufgelöste Papierreste zu sehen. Das sind Papiere aus Zellstoff, die sehr hohe Festigkeiten haben. Für die komplette Vereinzelung der Fasern sind zusätzliche Energie und längere Auflösezeiten im Pulper nötig.



Abbildung 26: Rejekt Werk Aalen alt (PM 4/5) 2017 mit teilweise noch großen unaufgelösten Faserbündel und Papierreste, die zur Entsorgung gingen.

Abbildung 27 zeigt das Rejekt der Auflösung mit GPC bzw. der Hauptauflöselinie beim Einsatz von frischfaserhaltigen Stanzabfällen in der 3. Auflöselinie. Die dort ersichtlichen braunen Bestandteile sind braune Klebebänder und gefärbte Folien. Es sind in den Rejekten keine unaufgelösten Faserbündel und Papierreste zu finden.



Abbildung 27: Rejekt PM 5 neu während des Einsatzes von frischfaserhaltigen Stanzabfällen

Der Unterschied der beiden Fraktionen ist klar ersichtlich. Die Rejekte der neuen PM 5 sind frei von unaufgelösten Frischfaserbündeln und Papierresten. Somit werden alle frischfaserhaltigen Papiere aufgelöst und verbleiben im System. Die Rejektmengen können dann im gleichen Umfang reduziert werden. Ein weiterer positiver Aspekt ist, dass faserfreies Rejekt (Kunststoff) immer einen niedrigeren Trockengehalt erreicht als Rejekt, das Fasern enthält. Die Fasern speichern das Wasser und geben es schwerer ab als reiner Kunststoff. Das ist zum einen Vorteilhaft für den Transport, da weniger Wasser auf der Straße transportiert wird. Somit kann auch mehr Rejekt auf einen LKW geladen werden. Zum anderen bringt ein höherer Trockengehalt Vorteile bei der thermischen Verwertung. Enthaltenes Wasser muss beim Verbrennungsvorgang erst verdampft werden. Trockeneres Rejekt ist energetisch effizienter.

4.2.3 Reduzierung Stärkeverbrauch

In den vorangegangenen Kapiteln 2.4.6 Einsatz von Stärke und 3.1.5 Reduzierung des spez. Stärkeverbrauchs wurde erläutert, dass zur Festigkeitssteigerung von Wellpappenrohpapieren und somit von Wellpappenverpackungen native Weizenstärke enzymatische abgebaut und auf die Papieroberfläche aufgetragen wird. Die Stärke dringt in die Blattstruktur ein, sodass die Stärkemoleküle zusätzliche Verbindungen unter den Cellulosefasern ausbilden können. Diese Verbindungen geben der Blattstruktur mehr Festigkeiten. Die nötigen Stärkemengen können reduziert werden, wenn das Festigkeitspotential der Fasern, die zur Blattbildung genutzt werden, schon etwas höher ist. In Frage kommen hier beispielsweise Frischfasern aus Stanzabfällen. Können diese, wie in 3.1 Ziel des Vorhabens beschrieben zu 100 % genutzt werden (kein Verlust im Rejekt), dann ist die Grundfestigkeit des Papiers höher und es ist weniger Stärke nötig, um die Spezifikation der Papiere zu erreichen.

Folgend werden die Stärkeverbräuche bei einer Referenzsorte 90 g/m² Wellenstoff der PM6 (Werk Wörth) und der neuen PM 5 in Aalen verglichen. Die folgende Tabelle 11 zeigt die spez. Stärkeverbräuche der Papiermaschinen in kg/t bei der Produktion von 90 g/m² Wellenstoff. Die Spezifikationswerte der Festigkeiten sind somit bei allen Papiermaschinen identisch.

		PM 6	PM 5neu
Spezifischer Verbrauch Stärke (90 g/m² Wellenstoff)	kg/t	35	32
Reduzierung Stärkeverbrauch PM 5 neu zu PM 6	%		8,6

Tabelle 11: Vergleich spezifischer Stärkeverbrauch PM 6 zu PM 5 bei 90 g/m² Wellenstoff

Der Vergleich zeigt, dass die PM 5 neu mit ihrem innovativen Auflösekonzept, aber auch mit dem modernen und innovativen Papiermaschinenlayout im Stärkeverbrauch deutlich unter dem von älteren und konventionellen Anlagen liegt. Wie in 3.1.5 Reduzierung des spez. Stärkeverbrauchs beschrieben ist durch die Nutzung der Frischfasern aus den Stanzabfällen ein zusätzlicher Festigkeitsgewinn möglich. Die langen Fasern des Zellstoffs bringen ein höheres Festigkeitspotential, verglichen zu den herkömmlichen Altpapieren ohne verarbeitete Frischfasern. Laboruntersuchungen über viele Jahre im Werk Aalen haben gezeigt, dass Stanzabfälle mit Frischfaseranteil im Schnitt 2,3 % mehr Festigkeiten liefern, als Stanzabfälle ohne Frischfaseranteil. Dazu wurden während der Produktion Stoff aus den Maschinenbütten direkt vor den Papiermaschinen entnommen und Laborblätter gebildet. Diese Laborblätter wurden auf ihre Festigkeiten hin untersucht. Maschinenversuche mit dem Einsatz der verschiedenen Stanzabfälle haben ebenfalls gezeigt, dass die Festigkeiten mit dem Einsatz der frischfaserhaltigen Altpapiere erhöht werden können und somit eine Reduktion der Stärke zulässt. Die Untersuchungen, dargestellt in Tabelle 12 haben folgendes ergeben:

Festigkeitseinfluss durch Frischfaseranteil aus Stanzabfällen				
Laborblatt ohne Frischfaseranteil				
Berstfaktor			1,73	kPa m²/g
Laborblatt mit Frischfaseranteil				
Berstfaktor			1,77	kPa m²/g
Festigkeitsdifferenz			0,04	kPa m²/g
			2,3	%
Korrelation Berstfaktor zu Stärkeverbrauch				
0,1	kN/m	≙	4	kg Stärke/t
0,04	kPa m²/g	≙	1,6	kg Stärke/t
Reduzierung der Stärke beim Auftrag von			32	kg Stärke/t
1,6	kg Stärke/t	≙	5	%

Tabelle 12: Festigkeitseinfluss durch Frischfaseranteil aus Stanzabfällen

Durch den Einsatz von frischfaserhaltigen Stanzabfällen ist es möglich den Gesamtverbrauch der Stärke; bei gleichbleibender Festigkeiten, von 32 kg/t um 5,0 % zu reduzieren. Für eine Berechnungsgrundlage ist noch festzuhalten, dass es in der Papierfabrik zwei Quellen von Stärke gibt, die das Abwasser des Werks belasten und CSB generieren:

1. Stärkeverluste aus dem Oberflächenauftrag (Sizer) und Aufbereitungssystem.

   In diesem Fall kommen an verschiedenen Stellen Verluste zu Stande, an denen Stärke in den Abwasserkanal gelangt.

   - Reinigung von Filtern, Behältern und dem Auftragsaggregat
   - Gekochte Stärke wir bei ungeplanten langen Stillständen dem Abwasser direkt zugegeben, um Nahrung für die Mikroorganismen der Kläranlage zu generieren.
   - Ausschusspapier beim Bahnabriss und Trimmverluste (Randbeschnitt) werden nach dem Stärkeauftrag wieder der Stoffaufbereitung zurückgeführt.
   - Ausschussrollen werden der Stoffaufbereitung wieder zugegeben

   Diese Verluste belaufen sich aus der Erfahrung der einzelnen Papierfabriken bei Palm auf ca. 3 %.

2. Stärke aus dem Altpapier

   Angeliefertes und aufgelöstes Altpapier bringt grundsätzlich dieselbe Menge Stärke in das System, wie am Auftragsaggregat zugegeben wird. Jedoch kommen die Papier aus verschiedenen Fabriken und haben unterschiedliche Stärkegehalte. Hinzu kommt die Verklebung der Rohpapiere bei der Wellpappenherstellung. Bei der Herstellung von Wellpappe, werden die Papierbahnen mithilfe von Stärke miteinander verklebt. Dadurch erhöht sich der Stärkegehalt im Altpapier zusätzlich. Verschiedene Untersuchungen durch Additiv-Lieferanten haben die letzten Jahre gezeigt, dass im Durchschnitt ca. 45 kg Stärke/t aus den Standard Altpapiersorten in die Papierfabrik gelangen. Diese Untersuchungen haben auch gezeigt, dass ca. 25 % der Stärke im Abwasser der Fabrik wieder zu finden ist. Die restlichen 75 % werden zu kleinen Teilen im Papier retendiert und im Wasserhaushalt der Fabrik durch Mikroorganismen zersetzt. Hier wird in Papierfabriken von der Versäuerung des Wasserhaushalts gesprochen.

Aus den vorangegangenen Laboruntersuchungen und dessen mögliche Stärkereduzierung wurde ein Berechnungsbeispiel für eine Abwasserentlastung anhand der Produktion von 90 g/m² Wellenstoff an der PM 5 kalkuliert. Die Abbildung 28 zeigt oben eine Berechnung ohne den Frischfaseranteil und unten dieselbe Berechnung mit Frischfaseranteil. Als Quellen für die Stärke im Abwasser wurden einmal der Oberflächenauftrag und dessen Systeme sowie die Stärkemengen aus dem Altpapier dargestellt. Auf der rechten Seite werden die ins Abwasser gebrachten Tagesmengen Stärke summiert und das Reduktionspotential berechnet.

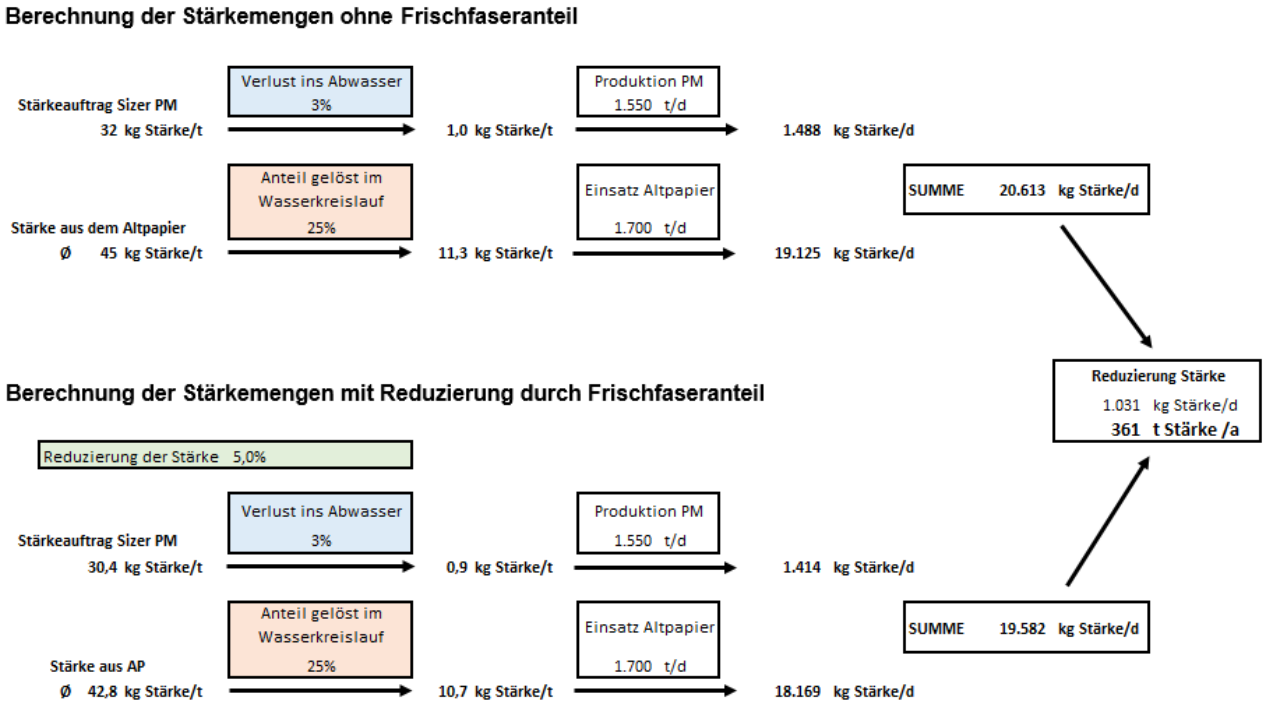


Abbildung 28: Berechnungsbeispiel für die Abwasserentlastung durch reduzierte Stärke bei 90 g/m² Wellenstoff-Produktion der PM 5

Der Einsatz von frischfaserhaltigen Stanzabfällen kann, wie im Beispiel in Abbildung 28, eine tägliche Reduzierung von Stärke im Abwasser von ca. 1 t oder jährlich von 361 t zur Folge haben. Da Stärke maßgeblich zur CSB Belastung im Abwasser einer Papierfabrik beiträgt, wird eine Reduzierung der Stärke im Abwasser auch eine Reduzierung des CSB und somit des Überschussschlamms haben. Dies wird im folgenden Abschnitt erläutert.

4.2.4 Reduzierung Überschussschlamm

Das vorhergehende Kapitel zur Reduzierung der Stärke im Abwasser und somit zur Entlastung der Kläranlage hat unmittelbar auch Auswirkungen auf die zu entsorgende Menge Überschussschlamm (ÜSS) aus der Nachklärung der Kläranlage (2.4.8 Schlämme (Überschussschlamm und Faserschlamm)). Für die Berechnung der CSB- und Überschussschlammmengen werden folgende Berechnungsgrundlagen benötigt:

1. Verhältnis Stärke zu CSB

   Für die Bestimmung des Verhältnisses gelöster Stärkemenge (kg) zu gemessenem CSB Mengen (kg) im Abwasser ist eine Mol-Massenbetrachtung herangezogen:

CSB von Stärke				
Molgewichte				
C	12	g/Mol		
H	1	g/Mol		
O	16	g/Mol		
Stärke $C_6H_{10}O_5$	162	g/Mol		
			Verhältnis	(g)
Stärke $C_6H_{10}O_5$	162	g/Mol	1	162
O_2	32	g/Mol	6	192
Verhältnis CSB zu Stärke		**1,2**	**kgO_2/kg Stärke**	

Tabelle 13: Mol-Massenbetrachtung

   Durch die Bestimmung lässt sich ein Verhältnis von 1,2 kg CSB zu 1,0 kg Stärke definieren. Die gängige Literatur bietet hierzu keine andere Berechnungsgrundlage.

2. Verhältnis CSB zu Überschussschlamm

   Um die schlussendlich benötigte Überschussschlammmenge definieren zu können wird noch das Verhältnis CSB (kg) zu ÜSS (kg) benötigt. Da es hierfür keine Berechnungsgrundlagen gibt, werden Erfahrungswerte aus Kläranlagen herangezogen. Grund dafür ist, dass die Überschussschlammmenge nur zu einem Anteil dem Prozess entnommen wird. Der Überschussschlamm aus der Nachklärung (Sedimentation) wird zu einem Teil auch rezirkuliert und in die Aerobstufe (Belebung) zurückgegeben. Das heißt für die anfallende und zu entsorgende ÜSS Menge, dass diese von den Anlagenparametern der Kläranlage abhängt, denn die rezirkulierte ÜSS Menge ist die Führungsgröße zur Steuerung der Anlagenperformance. Somit ist die ÜSS Menge nicht direkt abhängig von der CSB Menge im Zulauf der Kläranlage. Als

Richtwert werden von den gängigen Ingenieurbüros für die Auslegung von Kläranlagen im Papierbereich ein Verhältnis von 1:1 angenommen. Somit ist 1 kg CSB auch 1 kg ÜSS.

Diese Kalkulationsgrundlagen wurden in der Abbildung 29 genutzt, um die Auswirkung der in Abbildung 28 ermittelte Stärkereduktion auf die Überschussschlammmenge aufzuzeigen. Die ÜSS Menge auf Tagesbasis wird am Ende mit den durchschnittlich anfallenden 14.000 kg/d ÜSS auf eine Jahresmenge berechnet.

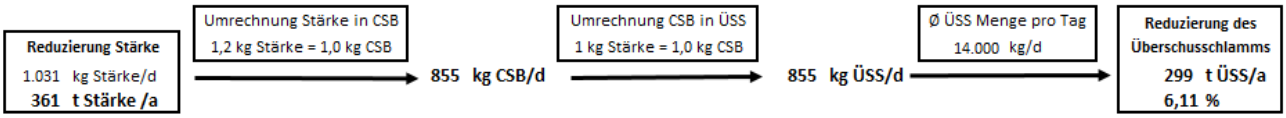


Abbildung 29: Berechnung der reduzierten ÜSS Menge durch die Reduzierung der Stärke aus Abbildung 28

Mit der Reduzierung der Stärkemengen im Abwasser lassen sich somit 6,11 % ÜSS reduzieren. Das macht im Jahr eine Reduzierung des Überschussschlamms von ca. 300 Tonnen.

4.2.5 Wasserverbrauch/Abwasseranfall Werk Aalen

Eine moderne effiziente Papierfabrik wird heutzutage besonders anhand ihres spezifischen Frischwasserverbrauchs und der eingeleiteten Abwassermenge beurteilt. Aus Gründen der Schonung der Umwelt und im speziellen der ökologischen Belange der Oberflächengewässer und deren Bewohner, werden die Anforderungen an die Wasserentnahme und deren Rückführung seitens der Behörden immer strenger kontrolliert und Grenzwerte verschärft. Produzenten von Wellpappenrohpapier aus 100 % Altpapier benötigen für die Einhaltung der Grenzwerte und die Reduzierung des Wasserverbrauchs aufwendige prozesstechnische 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 ausgeleiteten Wassermengen, um Wasser so optimal als möglich zu nutzen. Dazu kann das Wassermanagement System auch bis zu 50 % des gereinigten Wassers in die Produktion zurückführen. Das Abwasser der Produktion wird über Anaerobreaktoren, eine aerobe Reinigungsstufe mit Tiefenbelüfter, einem Nachklärbecken, sowie einem Biofilter und einem Sandfilter gereinigt. Da sich 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-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 für die Herstellung von Zellstoff, Papier und Karton (Tabelle 14) durchgeführt (Beste verfügbare Techniken (BVT), 2015).

Produzierte Sorten:	**Corrugated Medium / Testliner**		
	BVT-Merkblatt	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)	1,5…10	4,2	3,7

Tabelle 14: Vergleich spez. Frischwasser- und Abwassermengen für altpapierverarbeitende Fabriken ohne Deinking PM 5 zu BVT

Spezifischer Frischwasserverbrauch

Im Vergleich zu den BVT-Schlussfolgerungen befindet sich die PM 5 bzgl. spez. Frischwassermengen für die Herstellung von Wellpappenrohpapier an der unteren Grenze. Ein Verbrauch von 1,5 m^3/t entsteht bereits durch die verdampften 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 Biozid und Härtestabilisatoren behandeln zu müssen. In der Tabelle 14 ist zu sehen, dass schon während der Optimierungs- und Hochfahrphase zwischen April und September 2022 die Wasserverbräuche auf einem sehr guten Niveau waren. Abbildung 30 zeigt auch einen positiven Trend zu einer weiteren Reduzierung des spez. Wasserverbrauchs.

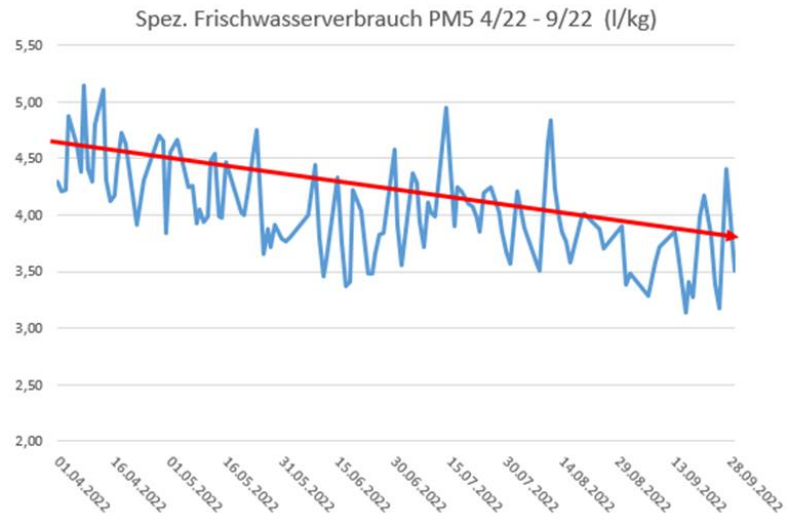


Abbildung 30: Spez. Frischwasserverbrauch PM 5 4/22-9/22

Spezifische Abwassermenge

Die in Tabelle 15 dargestellten Abwassermengen zeigen das sehr gute Niveau im Vergleich zu den BVT-Schlussfolgerungen. Die in den Richtlinien dargestellten 0,4 l/kg stellen ebenfalls wie im Falle des Frischwassers den Wert einer komplett geschlossenen Anlage dar. Wie auch beim spezifischen Frischwasserverbrauch ist das Ziel die spezifischen Abwassermengen zu senken. Abbildung 31 stellt die Abwassermengen von April-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.

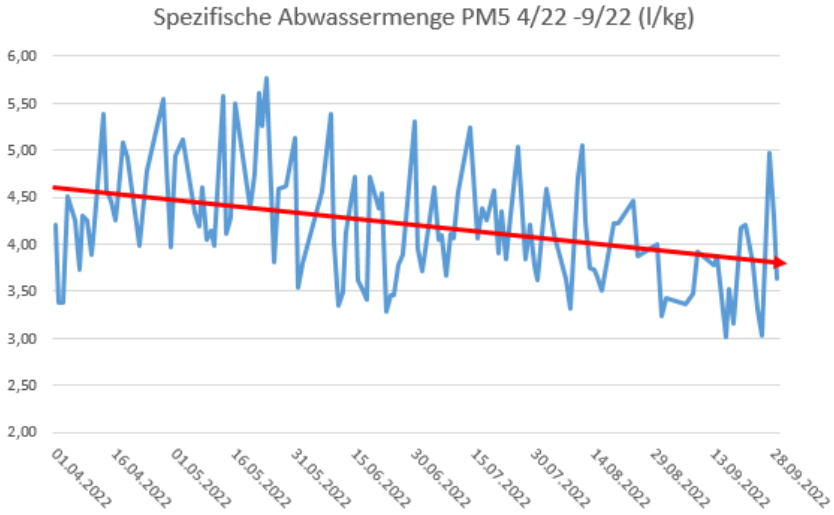


Abbildung 31: Spezifische Abwassermengen PM 5 4/22 - 9/22

Energieverbräuche

Die Erfassung der spezifischen Energieverbräuche wird über das Energiemanagement das fabrikweiten Prozessleitsystems DNA 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-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 (Beste verfügbare Techniken (BVT), 2015) für die Herstellung von Zellstoff, Papier und Karton (Tabelle 15) durchgeführt. In Tabelle 15 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-Merkblatt	Palm PM 5 4/22 – 9/22	Palm PM 5 9/2022
Strom (kWh/t)	350…450	350	351
Wärme (kWh/t)	1100…1500	875	832

Tabelle 15: Vergleich spez. Energieverbräuche PM 5 zu BVT Merkblatt (Tabelle 6.25 indicative energy consumption for RCF without deinking)

In Tabelle 15 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. Im gesamten Projekt wurde die Reduzierung von Energiebedarf und Wärme priorisiert. Dies ist auch in den Verbrauchstrends in den In Tabelle 15 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. Im gesamten Projekt wurde die Reduzierung von Energiebedarf und Wärme priorisiert. und Abbildung 33 zu sehen.

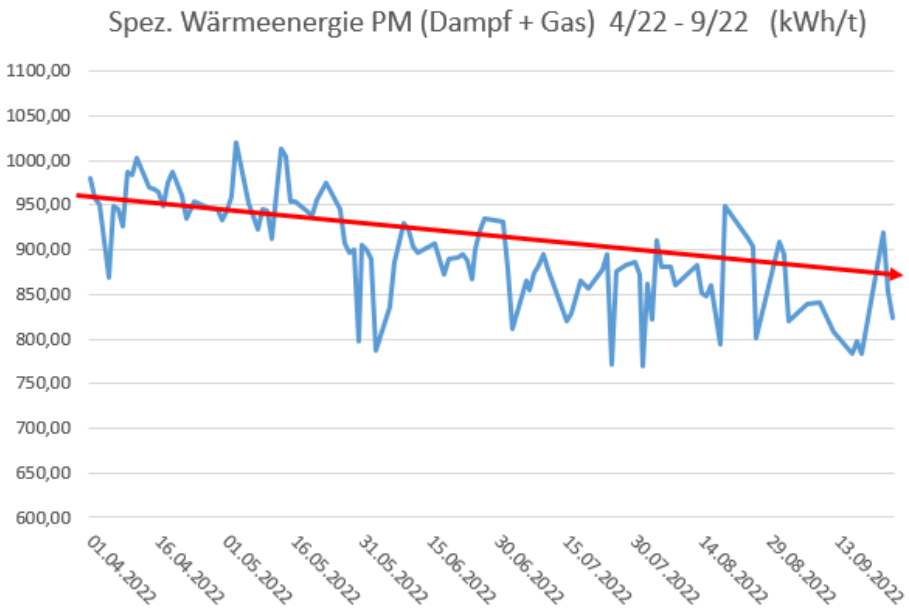


Abbildung 33: Spezifischer Wärmeenergiebedarf PM 5 4/22- 9/22

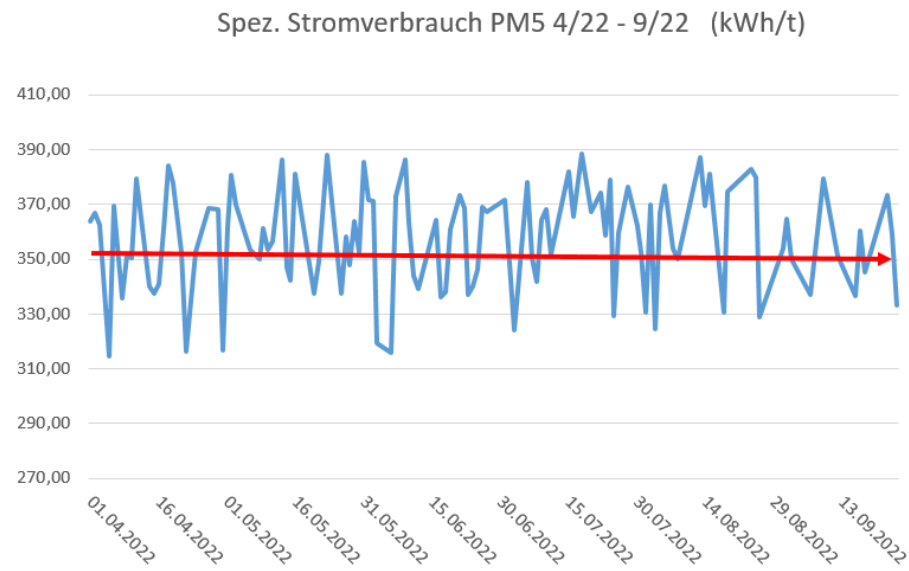


Abbildung 32: Spezifischer Strombedarf PM 5 4/22-9/22

4.3 Umweltbilanz

4.3.1 Umwelteffekt durch Energiereduzierung

Zur Bestimmung der Umwelteffekte durch eine Energiereduzierung mit dem Einsatz des Green Pulping Concepts in Kombination mit einer reduzierten Reinigung für saubere Altpapiersorten, wie Stanzabfälle und Ausschussrollen, werden die Energiezahlen aus Tabelle 6 und Tabelle 7 mittels eines Emissionsfaktors zur Umrechnung der Energieeinsparungen in CO_2-Einsparungen und der aktuell verfügbaren jährlichen Menge an Stanzabfälle in der Tabelle 16 kalkuliert. Verglichen werden die beiden Hauptlinien der PM 5 mit einem LC Pulper mit der 3. Linie inkl. GPC.

Emissionsfaktoren

Strom 0,474 tCO_2-eq/MWh

Der verwendete Emissionsfaktor für Strom ist der vom UBA im Jahr 2019 für das Jahr 2018 veröffentlichte Wert (Umweltbundesamt, 2022).

Formel

$$Emission\ \left(\frac{t\ CO2}{\text{t Papier}}\right) = Energie\ \left(\frac{kWh}{t\ Papier}\right) * Emissionsfaktor\ \left(\frac{t\ CO2}{\text{MWh}}\right) / 1000\ \left(\frac{kWh}{\text{MWh}}\right)$$

		PM 5	
		LC Pulper	GPC / 3. Linie
Spezifischer Strombedarf	kWh/t Papier	64,8	28,6
Emissionsfaktor Strom *	t CO_2/MWh	0,474	0,474
Menge Stanzabfälle (4.01)	t/Jahr	120.000	120.000
Energiebedarf pro Jahr	MWh/Jahr	7.776	3.432
Spezifische CO_2 Emissionen	t CO_2 /t Papier	0,031	0,014
Reduzierung CO_2 Emissionen	%		55,9
Produktion mit Stanzabfällen	t Papier/a	120.000	120.000
Jährliche CO_2 Emissionen	t CO_2/Jahr	3.686	1.627
Einsparung CO_2 Emissionen	t CO_2/Jahr		**2.059**

Tabelle 16: Berechnung der Reduzierung von CO_2-Emissionen durch den Einsatz des GPC in Verbindung mit einer reduzierten Reinigung für saubere Stanzabfälle

Der Einsatz des Green Pulping Concepts inkl. einer reduzierten Reinigung für saubere Altpapiere hat einen energetischen Vorteil gegenüber den konventionellen LC Pulpern mit kompletter Sortierung, Reinigung und Eindickung. Berechnet auf die 120.000 Jahrestonnen an Stanzabfällen kann mit dem GPC eine Emissionsreduktion von 2.059 t CO2-eq/Jahr erreicht werden. Mit dem Gesamtkonzept der PM 5 wird gegenüber BVT

eine jährliche Gesamteinsparung der Emissionsmenge von 12.552 t CO2-eq/Jahr bzw. 0,0155 t CO2-eq/t Papier erreicht.

		BVT	PM 5 gesamt
Spezifischer Strombedarf	kWh/t Papier	110	76,9
Emissionsfaktor Strom	t CO_2/MWh	0,474	0,474
Gesamttonnage	t/Jahr	800.000	800.000
Energiebedarf pro Jahr	MWh/Jahr	88.000	61,520
Spezifische CO_2 Emissionen	t CO_2/t Papier	0,052	0,0365
Reduzierung CO_2 Emissionen	%		30
Jährliche CO_2 Emissionen	t CO_2/Jahr	41.712	29.160
Einsparung CO_2 Emissionen	t CO_2/Jahr		**12.552**

Tabelle 17: Berechnung der Reduzierung von CO_2-Emissionen der PM 5 im Vergleich zum BVT

4.3.2 Umwelteffekte durch Effizienzsteigerung

In den Kapiteln 3.1 Ziel des Vorhabens und 4.2 Stoff- und Energiebilanz werden die Effekte der Faserverlustreduzierung durch das GPC bzw. die 3. Auflöselinie diskutiert und erläutert. Durch die Nutzung der Frischfasern, die nicht im Rejekt landen, sondern die Papierqualität verbessern, ergeben sich bzgl. Transport- und somit CO_2 Emissions-reduzierungen folgende Effekte:

- Der Frischfaseranteil der Stanzabfälle, der nicht mehr im Rejekt verloren geht, muss nicht mit dem LKW nach Wörth zur thermischen Verbrennung transportiert werden.
- Der Frischfaseranteil, der anstatt im Rejekt, im Papier genutzt wird, ersetzt im gleichen Anteil Altpapier. Dieses muss somit weniger nach Aalen transportiert werden.
- Da die erhaltenen Frischfasern die Festigkeiten des Rohpapiers verbessern, muss weniger Stärke auf das Papier aufgetragen und somit weniger angeliefert werden.
- Da ein Teil der Stärke im Abwasser als CSB landet und somit Überschuss-schlamm in der Kläranlage generiert wird, bringt die Stärkereduktion auch eine Entlastung des Abwassers und dadurch auch eine Reduzierung des ÜSS. Diese ÜSS Menge muss nicht zur thermischen Verwertung nach Wörth transportiert werden.

Tabelle 18 gibt eine Übersicht über die reduzierten Transportmengen und CO_2-Emissionen, die durch die Reduzierung des Faserverlustes gespart werden können.

	Einheit	Rejekte Transport	Altpapier Transport	ÜSS Transport	Stärke Transport
Reduzierung Jahresmenge	t/Jahr	4920	4920	299	868
LKW pro Jahr *	Stk./Jahr	197	197	12	35
Ø km pro LKW **	km	176	400	176	520
Reduzierung Emissionen ***	t CO_2-eq/Jahr	**96,1**	**218,4**	**5,8**	**50,1**
SUMME	t CO_2-eq/Jahr	**370,5**			

Tabelle 18: Aufstellung der Reduzierungen bzgl. CO_2 Emissionen durch reduzierten LKW Transport

* Berechnungsgrundlage 25 t/LKW
** durchschnittliche Wegstrecken der LKW (ÜSS + Rejekte nach Wörth)
*** berechnet mit Emissionsfaktor LKW = 111 g CO_2-eq/tkm (Umweltbundesamt, Tremod 6.23, 2022)

4.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die im Bericht vorangegangen Analysen und Berechnungen positiver Effekte durch die Installation und den Betrieb des neuen Green Pulping Concept in der Stoffaufbereitung der PM 5 in Aalen werden im folgenden (Tabelle 19 und Tabelle 20) mit den Investitionskosten, den Fördermitteln bzw. Rentabilität dargestellt. Tabelle 19 zeigt die Aufstellung der Investitionskosten für das Green Pulping Concept, erwartete Mehrkosten für Wartung und Instandhaltung, sowie die Zinsbelastungen. Diese werden mit den positiven wirtschaftlichen Effekten verrechnet.

Zu den positiven Effekte zählen die kalkulierten Energieeinsparungen (Spezifischer Energieverbrauch/4.3.1 Umwelteffekt durch Energiereduzierung) sowie die reduzierten Kosten für Altpapier, Stärke usw. (4.2.2 Faserverlust und Rejektqualität/4.2.3 Reduzierung Stärkeverbrauch/4.3.2 Umwelteffekte durch Effizienzsteigerung). Die aktuell hohen Kosten für Energie und Rohstoffe beeinflussen die Berechnung in besonderem Maße. Für die Kalkulation wurden die Durchschnittskosten aus 2022 herangezogen. Die Kalkulation zeigt sehr deutlich, dass die Effekte des GPC mit der IBN in 2022 die erwarteten Mehrkosten im laufenden Betrieb übersteigen und die Gesamtinvestition bis 2026 amortisiert sein wird, vorausgesetzt die Preise für Energie und Rohstoffe bleiben auf dem Niveau aus 2022.

Erwartbare Rentabilität in Mio. EUR	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Förderfähige Investitionsmehrkosten	-1,8	-2,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mehrkosten der Wartung und Instandhaltung	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Zinsbelastung	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Minderkosten Energie wg. Green Pulping Concept	0,0	0,0	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Zusätzliche Positiveffekte (v.a. Rohstoffeinsatz)	0,0	0,0	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Gesamt	-1,8	-2,0	0,3	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
Gesamt kumuliert	-1,8	-3,8	-3,5	-2,4	-1,4	-0,3	0,7	1,8

Tabelle 19: Kostenkalkulation des Green Pulping Concepts im Werk Aalen

Für die Betrachtung des Einflusses der Förderung bzgl. der Amortisationszeit der Investition werden in Tabelle 20 die beiden Szenarien mit und ohne Förderung berechnet.

In den beiden farbigen Spalten ist zu sehen, dass sich die Amortisation des GPC mit Förderung um ein Jahr verkürzt wird.

Erwartbare Rentabilität in Mio. EUR	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Förderfähige Investitionsmehrkosten	-1,8	-2,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesteigerte Kosten	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
Verminderte Kosten	0,0	0,0	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Gesamt ohne Förderung	-1,8	-2,0	0,3	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
Gesamt ohne Förderung (kumuliert)	-1,8	-3,8	-3,5	-2,4	-1,4	-0,3	0,7	1,8
Amortisation nach Jahren							**4,5**	
Gesamt mit Förderung	-1,8	-2,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Gesamt mit Förderung (kumuliert)	-1,8	-3,8	-2,8	-1,7	-0,6	0,5	1,5	2,6
Amortisation nach Jahren						**3,5**		

Tabelle 20: Amortisationsberechnung der Investition Green Pulping Concept im Projekt PM 5 Aalen mit und ohne Förderung

Grundsätzlich ist in Bezug auf die Berechnungen der Amortisation zu berücksichtigen, dass es sich bei der Installation um einen echten Prototyp handelt und sich die Anlage trotz mehrerer Monate Betriebszeit nach wie vor in der Optimierungsphase befindet. Das GPC wird mit Voith zusammen weiter optimiert, da die Anlage aus dem ursprünglichen kleineren Versuchspulper hochskaliert wurde und es dadurch zu Problemen

kommt. Beide Firmen arbeiten dabei sehr eng zusammen, um die Lern- und Betriebskurve so effektiv und positiv wie möglich zu gestalten.

4.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Die Beschreibung konventioneller Auflösetechnologien und Reinigungs-/Sortieraggregate wurden vorab in 2.4 Grundlagen Stoffaufbereitung dargestellt und beschrieben. Ein Vergleich des neuen Auflöseverfahren Green Pulping Concept sowie der reduzierten Reinigung mit konventionellen Konzepten wurde in Kapitel 3.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) detailliert behandelt.

5 Übertragbarkeit

5.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

In den ersten Monaten nach der Inbetriebnahme ist das Aggregat Green Pulping Concept noch in der Optimierungsphase. Mitarbeiter von Voith testen mit der ersten industriellen Installation noch einige Parameter und Betriebsweisen. Das bisherige Fazit seitens Palm ist, dass das GPC zusammen mit der reduzierten Reinigung eine energieeffiziente Lösung für saubere Altpapiersorten bietet. Erste Versuche mit Kaufhaus Altpapieren (1.01) wurden bereits durchgeführt und haben sehr gute Auflöseergebnisse bei sehr niedrigem Energiebedarf gezeigt. Das GPC hat das Potential sämtliche konventionelle Auflösekonzepte, wie LC Pulper, HC Pulper und Auflösetrommeln zu ersetzen und energetisch neue Maßstäbe zu setzen.

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

Das GPC Auflöseverfahren ist grundsätzlich für alle Arten von Altpapier geeignet. Hierzu sind seitens Voith nach der IBN in Aalen weitere Versuche am Aggregat durchzuführen. Wie in 5.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung beschrieben, haben erste Versuche mit verschmutzten AP Sorten in Aalen stattgefunden, die sehr positive Ergebnisse lieferten. Grundsätzlich kann das GPC für alle Altpapiersorten in Neubauprojekten, aber auch durch seine kompakte Bauweise, in Pulper-Umbauten/-Optimierungen ausgeführt werden.

6 Zusammenfassung / Summary

6.1 Zusammenfassung

6.1.1 Einleitung

Im Rahmen des Neubau Projekts PM 5 am Firmenhauptsitz Aalen der Papierfabrik Palm war neben der Errichtung der weltweit größten Papiermaschine für Wellpappenrohpapier (Produktionskapazität von 800.000 t) auch das Ziel, eine Stoffaufbereitung zu bauen, die bzgl. spezifischem Energieverbrauch und Ressourceneffizienz neue Maßstäbe setzt. Zusammen mit der Firma Voith aus Heidenheim beinhaltete das Engineering der Anlage drei Linien zur Auflösung von Altpapier. Dabei sind zwei Auflöselinien im konventionellen LC Pulper Konzept (Voith BlueLine) ausgeführt, die 100 % des Altpapiers auflösen können. Daneben beinhaltet das Konzept der Stoffaufbereitung eine zusätzliche dritte Linie, die Ausschussrollen der Papiermaschine und saubere Altpapiere (4.01 Stanzabfälle aus Wellpappenwerken) auflöst, um möglichst niedrige spezifische Energiekosten zu erreichen und Faserverluste durch nicht aufgelöste Frischfasern im Rejekt zu verhindern.

6.1.2 Vorhabensumsetzung

Zusammen mit der Fa. Voith wurde am Standort Aalen über mehrere Jahre ein Prototyp eines neuen, innovative Auflöseaggregats betrieben. Dieses Aggregat ist dort zu einer industriell tauglichen Anlage gereift. Mit der Installation der ersten industriellen Großanlage für 500 t Altpapier pro Tag ist die Fa. Voith damit an den Markt gegangen. Dieses Aggregat, namens Green Pulping Concept (GPC), vereint laut Voith alle Vorteile der bisher am Markt üblichen konventionellen Auflöseaggregate, wie LC-Pulper, Auflösetrommel und HC-Pulper.

Ziel war es, ein simples, robustes, kompaktes Hochkonsistenz-Auflösekonzept zu entwickeln, dass Altpapierballen verarbeiten kann und energetisch auf einem neuen Niveau arbeitet. In der Stoffaufbereitung wurde das Green Pulping Concept in einer dritten Auflöselinie verbaut, um saubere Altpapiersorten aufzulösen, die teilweise Frischfasern aus Zellstoff enthalten und mehr spez. Energie benötigen, wie Standard Altpapier. Auf das GPC folgt eine sehr minimalistische Reinigungsstufe in Polizeifunktion, um die gelösten Fasern dann über das Ausschusssystem an die Papiermaschine zu bringen.

6.1.3 Ergebnisse

Nach der IBN und den ersten Monaten des Betriebs wird das Green Pulping Concept noch optimiert, jedoch sind die Ergebnisse sehr positiv:

- Energieverbrauch

  Der Betrieb des GPC parallel zu den beiden konventionellen Auflöselinien lässt einen Vergleich der beiden Konzepte sehr gut zu. Die energetische Auswertung der Konzepte zeigt eine Reduzierung des spezifischen Energiebedarfs um 55,9 % (siehe Tabelle 7) durch den Einsatz des GPC in Verbindung mit der reduzierten Reinigung. Eine Reduzierung der CO_2 Emissionen für die Aufbereitung der 120.000 Jahrestonnen Stanzabfälle (4.01) lasst sich dabei auf ca. 2.050 t CO_2-eq/Jahr kalkulieren.

- Reduzierung Transporte

  Ein zweiter Vorteil der dritten Auflöselinie (GPC) ist die spezifische Behandlung der Stanzabfälle aus Wellpappenwerken mit Frischfaseranteil. Durch die separate Behandlung werden die schwer lösbaren Fasern nicht mehr als ungelöste Faserbündel im Rejekt ausgeschleust, sondern für die Papierherstellung genutzt. Durch das erhöhte Festigkeitspotential der Fasern kann die Stärkezugabe reduziert werden. Diese Effekte führen zu Reduzierungen im Transportwesen bei Rejekt- und Überschussschlammentsorgung sowie bei Altpapier- und Stärketransporten. Insgesamt ergibt sich daraus eine Emissionsreduktion um ca. 370 t CO_2-eq/Jahr. In der Summe ergibt sich eine Gesamteinsparung (GPC + Transport) von ca. 2.420 t CO_2-eq/Jahr bzw. 3 kg CO_2-eq/t Produkt bei einer Produktion von 800.000 t/a.

6.1.4 Ausblick

Mit der Erstinstallation des Green Pulping Concepts konnte nun erstmals im industriellen Einsatz das Potential des Systems aufgezeigt werden. Durch die Auslegung des GPC in Aalen von max. 500 t/Tag Auflösekapazität werden zusammen mit der Fa. Voith weitere Versuche zur Optimierung des Konzepts und zum Einsatz weiterer Altpapiersorten durchgeführt. Das GPC ist grundsätzlich für alle Altpapiersorten geeignet und ist somit in allen Neubauprojekten und Umbauten zu berücksichtigen. Das GPC hat das Potential alle bisher angewendeten konventionellen Auflösekonzepte zukünftig zu ersetzen.

6.2 Summary

6.2.1 Introduction

As part of the new PM 5 project at the Aalen headquarter of Papierfabrik Palm, the aim was not only to build the world's largest paper machine for corrugated base paper, (production capacity of 800,000 tonnes) but also to build a stock preparation system that sets new standards in terms of specific energy consumption and resource efficiency. Together with the Heidenheim-based company Voith, the engineering of the plant included three lines for pulping waste paper. Two pulping lines are designed in the conventional Low Consistency (LC) Pulper concept (Voith BlueLine), which can pulp 100 % of the recovered paper. In addition, the stock preparation concept includes an additional third line that pulps broken rolls from the paper machine and clean recovered paper (4.01 Clippings/die-cutting waste from corrugated board plants) in order to achieve the lowest possible specific energy costs and prevent fibre losses due to undissolved virgin fibres in the rejects.

6.2.2 Project Implementation

Together with Voith, a prototype of a new, innovative pulping unit was operated at the Aalen site for several years. This unit has matured into a plant suitable for industrial use, and with the installation of the first industrial large-scale plant for 500 t of recovered paper per day, Voith has entered the market with it. According to Voith, this unit, called the Green Pulping Concept (GPC), combines all the advantages of the conventional pulping units previously on the market, such as LC Pulper, Pulping Drum and HC Pulper.

The aim was to develop a simple, robust, compact high-consistency pulping concept that can process waste paper bales and operates at a new level in terms of energy efficiency. In stock preparation, the Green Pulping Concept was used in a third pulping line to pulp clean grades of recovered paper, some of which contain virgin pulp fibres and require more specific energy than standard recovered paper. The GPC is followed by a very minimalist cleaning stage in a police function, in order to then bring the dissolved fibres to the paper machine via the reject system.

6.2.3 Project Results

After the start up and the first months of operation, the Green Pulping Concept is still being optimised, but the results are very positive.

- Energy consumption

  The operation of the GPC parallel to the two conventional pulping lines allows a comparison of the two concepts very well. The energetic evaluation of the concepts shows a reduction of the specific energy demand by 55.9 % by using the GPC in combination with the reduced screening stage. A reduction of CO_2 emissions for the treatment of the 120,000 annual tonnes of punching waste (4.01) can be calculated to approx. 2,050 t CO_2-eq/year.

- Reduction of transports

  A second advantage of the third pulping line (GPC), is the specific treatment of the Clippings/die-cutting waste from corrugated board plants with fresh fibre content. Thanks to the separate treatment, the fibres that are difficult to dissolve are no longer discharged as undissolved fibre bundles (Flakes) in the rejects, but are used for paper production. The increased strength potential of the fibres can reduce starch consumption. These effects lead to reductions in the transport of rejects, reject sludge as well as waste paper, and starch transport. This corresponds to an emission reduction of approx. 370 t CO_2-eq/year. This results in a total saving (GPC + transport) of approx. 2,420 t CO2-eq/year or 3 kg CO2-eq/t product with a production of 800,000 t/year.

6.2.4 Prospects

With the first installation of the Green Pulping Concept, the potential of the system was demonstrated for the first time in industrial use. Due to the design of the GPC in Aalen with a maximum pulping capacity of 500 t/day, further tests are carried out together with Voith to optimise the concept and to use other types of recovered paper. The GPC is basically suitable for all types of recovered paper and should therefore be considered in all new construction projects and rebuilds. In the future, the GPC has the potential to replace all conventional pulping concepts used so far.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich aktuelle Papierfabrik und Neubau Papierfabrik 2
Abbildung 2: Aufbau einer Wellpappe (Wellpappen-Industrie, Wellpappe-Wissen, 2023) 4
Abbildung 3: Kreislauf einer Wellpappenverpackung (Wellpappen-Industrie, VDW Wellpappenindustrie , 2016) 6
Abbildung 4: Darstellung eines LC Pulpers und einer Auflösetrommel (Voith GmbH & Co. KGaA, 2023; Voith GmbH & Co. KGaA, 2022) 7
Abbildung 5: Prozessdarstellung einer modernen Stoffaufbereitung für altpapierbasierte Verpackungspapier (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022) 8
Abbildung 6: Vorteile und Nachteile der drei Auflösekonzepte LC-Pulper, Auflösetrommel und HC-Pulper 10
Abbildung 7: Darstellung eines LC Pulpers (Voith GmbH & Co. KGaA, 2023) 12
Abbildung 8: Lochblech und Rotor eines LC Pulpers (Voith GmbH & Co. KGaA, 2023) 13
Abbildung 9: LC Pulper mit Zopf (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022) 13
Abbildung 10: Darstellung einer Auflösetrommel (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022) 14
Abbildung 11: Rotor eines HC Pulpers (Voith GmbH & Co. KGaA, 2023) 15
Abbildung 12: Aufbau einer HC Pulper Stufe mit Abzug und Reinigung (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022) 16
Abbildung 13: Blockschaltbild der Stoffaufbereitung PM 5 17
Abbildung 14: Bild eines Vertikalsichter Siebkorbs mit Schlitzen (Voith GmbH & Co. KGaA, 2023) 18
Abbildung 15: links- Funktionsskizze eines Cleaners, rechts- Moderne Cleaner in einer Parallelanordnung 19
Abbildung 16: Verfahrensstufen einer modernen Abwasserreinigung einer Papierfabrik für altpapierbasierte Verpackungspapiere 24
Abbildung 17: Motivation und Ziele des Green Pulping Concepts von Voith 30
Abbildung 18: Konstruktion Green Pulping Concept (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022) 32
Abbildung 19: Erste großtechnische Installation des GPC in der Stoffaufbereitung der PM 5 Aalen 32
Abbildung 20: Prozessdarstellung Green Pulping Concept (Voith GmbH & Co. KGaA, Internes Dokument, 2022) 33
Abbildung 21: Stippengehalt (%) vs. spez. Energiebedarf (kWh/t) konventioneller Auflösekonzepte und dem Green Pulping Concept 35
Abbildung 22: Vergleich der Verfahrensschritte einer Aufbereitung von Standard AP Sorten (links) und einer minimierten Lösung für saubere AP Sorten (rechts) 36
Abbildung 23: Darstellung der Auflöselinien 1&2 für Standard AP (links) und Linie 3 für saubere AP Sorten (rechts) als Blockschaltbild inkl. der Rejekte – Linie 1&2 sind identische Pulper, Linie 3 ist der GPC 37
Abbildung 25: Werk Palm Aalen Neu mit PM 5 neu 38
Abbildung 24: Werk Palm Aalen alt mit PM2, PM4 und PM 5 alt 38
Abbildung 26: Rejekt Werk Aalen alt (PM 4/5) 2017 mit teilweise noch großen unaufgelösten Faserbündel und Papierreste, die zur Entsorgung gingen. 49
Abbildung 27: Rejekt PM 5 neu während des Einsatzes von frischfaserhaltigen Stanzabfällen 49
Abbildung 28: Berechnungsbeispiel für die Abwasserentlastung durch reduzierte Stärke bei 90 g/m² WellenstoffProduktion der PM 5 53
Abbildung 29: Berechnung der reduzierten ÜSS Menge durch die Reduzierung der Stärke aus Abbildung 28 55

Abbildung 30: Spez. Frischwasserverbrauch PM 5 4/22-9/22 57
Abbildung 31: Spezifische Abwassermengen PM 5 4/22 - 9/22 57
Abbildung 33: Spezifischer Strombedarf PM 5 4/22-9/22 59
Abbildung 32: Spezifischer Wärmeenergiebedarf PM 5 4/22- 9/22 59

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verfahrenstechnische Definition der Trennprozesse (Taschenbuch der Papiertechnik, 2021, S. 306) 17
Tabelle 2: Hauptgruppen der Papierqualitäten mit Beispielen 20
Tabelle 3: Rejektfraktionen, die in der Stoffaufbereitung dem Altpapier entnommen werden: 23
Tabelle 4: Berechnung der theoretisch einzusparenden Rejektmengen zur effizientes Auflösen von frischfaserhaltigen Stanzabfällen. 28
Tabelle 5:Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten PM 5 39
Tabelle 6: Vergleich spezifischer Energiebedarf STAB PM 6 / STAB PM 5 und GPC inkl. 3. Reinigungslinie 44
Tabelle 7: Vergleich Gesamtenergie der Stoffaufbereitungen aus Tabelle 6 45
Tabelle 8: Vergleich des Energiebedarfs des GPC mit den BVT Merkblätter 6.2.2.4 Tabelle 6.4 46
Tabelle 9: Vergleich des Energiebedarfs des GPC inkl. Reinigung mit den BVT Merkblättern (Kapitel 6.3.10.1/Tabelle 6.26) 47
Tabelle 10: Vergleich der Menge an nicht aufgelösten Faserbündel / Papierreste im Rejekt 48
Tabelle 11: Vergleich spezifischer Stärkeverbrauch PM 6 zu PM 5 bei 90 g/m² Wellenstoff 51
Tabelle 12: Festigkeitseinfluss durch Frischfaseranteil aus Stanzabfällen 51
Tabelle 13: Mol-Massenbetrachtung 54
Tabelle 14: Vergleich spez. Frischwasser- und Abwassermengen für altpapierverarbeitende Fabriken ohne Deinking PM 5 zu BVT 56
Tabelle 15: Vergleich spez. Energieverbräuche PM 5 zu BVT Merkblatt (Tabelle 6.25 indicative energy consumption for RCF without deinking) 58
Tabelle 16: Berechnung der Reduzierung von CO_2-Emissionen durch den Einsatz des GPC in Verbindung mit einer reduzierten Reinigung für saubere Stanzabfälle 60
Tabelle 17: Berechnung der Reduzierung von CO_2-Emissionen der PM 5 im Vergleich zum BVT 61
Tabelle 18: Aufstellung der Reduzierungen bzgl. CO_2 Emissionen durch reduzierten LKW Transport. 62
Tabelle 19: Kostenkalkulation des Green Pulping Concepts im Werk Aalen 63
Tabelle 20: Amortisationsberechnung der Investition Green Pulping Concept im Projekt PM 5 Aalen mit und ohne Förderung 63

9 Literatur

Bundesministerium der Justiz. (28. 11 2022). *www.gesetzte-im-internet.de.* Von https://www.gesetze-im-internet.de/awsv/ abgerufen

Waser Paper Trade C.V. (25. 11 2022). *www.wpt-nl.com*. Von https://www.wpt-nl.com/de/en643-sortenliste-altpapier/ abgerufen

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (25. 11 2022). Von https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/npa/veroeffentlichungen/wdc-beuth:din21:223947791 abgerufen

Dipl. Ing. J.H. Bos, I. P. (1999). *Das Papierbuch.* (E. P. b.v., Hrsg.) EPN Verlag Niederlande.

Jürgen Blechschmidt, H.-J. N. (2021). *Taschenbuch der Papiertechnik* (Bd. 3. Auflage). München: Carl Hanser Verlag.

Michel Suhr, G. K. (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

papier-machen.de. (2023). *Papier machen einfach machen*. Von https://www.papier-machen.de/papierherstellung/altpapieraufbereitung/ 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

Umweltbundesamt, Tremod 6.23. (05 2022). *https://www.umweltbundesamt.de.* (Umweltbundesamt, Hrsg.) Abgerufen am 14. 12 2022 von https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#verkehrsmittelvergleich_g%C3%BCterverkehr_tabelle

Voith GmbH & Co. KGaA. (2022). Von http://voith.com/corp-de/branchen/papierherstellung/nextlevel/article_57458.html abgerufen

Voith GmbH & Co. KGaA. (2022). *Internes Dokument.*

Voith GmbH & Co. KGaA. (2023). Von http://voith.com/corp-de/papierherstellung/intensatechnology.html abgerufen

Voith GmbH & Co. KGaA. (2023). Von https://voith.com/corp-de/papermaking/pulping-solutions.html abgerufen

Voith GmbH & Co. KGaA. (2023). Von https://voith.com/corp-de/papermaking/Siebkoerbe-und-Rotoren.html#109542 abgerufen

Wellpappen-Industrie, V. d. (2016). *VDW Wellpappenindustrie .* Von https://www.wellpappen-industrie.de/data/04_Verband/05_Publikationen/04_Broschueren/VDW_Broschuere-Kreislaufverpackung-Wellpappe.pdf abgerufen

Wellpappen-Industrie, V. d. (13. 11 2023). *Wellpappe-Wissen*. Von http://www.wellpappe-wissen.de/wissen/wellpappe/bauprinzip/einwellige-wellpappe.html abgerufen

10 Anhang

1. Präsentation des Konzepts GPC zusammen mit Voith auf der Zellcheming 2022 in Wiesbaden 2022-06-30 Zellcheming Team BlueLine – Palm Aalen final.pdf