



INFOR-Projekt Nr. 167 R

Ermittlung und Bewertung des Verbesserung- und Nutzenpotenzials existierender Trenntechniken auch aus anderen Industriebereichen

Schlussbericht

März 2014

Technische Universität Dresden
Professur für Papiertechnik

Prof. Dr.-Ing. Harald Großmann

Projektleiter:
Dr.-Ing. Matthias Wanske



Technische Universität Dresden, 01062 Dresden

Prof. Dr.-Ing.

Harald Großmann

Inhaber der Professur

Bearbeiter: Herr
Dr.-Ing. Matthias Wanske
Telefon: 0351 463-38029
Telefax: 0351 463-38032
E-Mail: thomas.schrinner@tu-dresden.de
AZ:

Abschlussbericht

Ermittlung und Bewertung des Verbesserungs- und Nutzenpotenzials existierender Trenntechniken auch aus anderen Industriebereichen.

(INFOR-Projekt Nr. 167 R)

Prof. Dr.-Ing. H. Großmann, TU Dresden
Dr.-Ing. Matthias Wanske, TU Dresden

März 2014

Das Forschungsprojekt wird gefördert über das Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e.V., Bonn

Postadresse (Briefe)
TU Dresden
Fakultät Maschinenwesen
Professur für Papiertechnik
01062 Dresden

Postadresse (Pakete u.ä.)
TU Dresden
Fakultät Maschinenwesen
Professur für Papiertechnik
Helmholtzstraße 10
01069 Dresden

Besucheradresse Direkt- Internet
anlieferung <http://tu-dresden.de/pt>
Sekretariat:
Marschnerstraße 39
01307 Dresden
Zimmer 369

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
1 Ausgangssituation / Problemstellung.....	4
2 Reststoffe des Papierproduktionsprozesses	6
2.1 Anfallort, Art und Menge der Reststoffe	6
2.2 Derzeitige Verwertungswege.....	9
3 Definition möglicher Zielprodukte und Ableitung der Trennaufgabe	13
3.1 Mögliche Zielprodukte	13
3.2 Limitierungen der stofflichen Nutzung.....	14
3.2.1 Trennung von organischen und anorganischen Bestandteilen	14
3.2.2 Fazit zur Limitierung der stofflichen Nutzung.....	17
4 Beispiele der stofflichen Reststoffnutzung	19
4.1 Reststoffe als Absorbermaterial.....	19
4.2 Reststoffe als Bestandteile von Gipsfaserplatten.....	20
4.3 Reststoffe in Naturfaserverstärkten Kunststoffen – Paper-Polymer-Composites.....	21
4.4 Faserrückgewinnung und Entaschung.....	23
4.5 Rückgewinnung von Streichfarbenpigmenten.....	24
4.6 Herstellung von Sekundärfüllstoff	25
5 Thermische Verwertung und Energiegewinnung.....	27
5.1 Verbrennung von Rejektschlämmen.....	27
5.2 Pyrolyse	28
6 Zusammenfassung und Fazit	29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rückstandsmengen der deutschen Papierindustrie [3].....	6
Abbildung 2: Anfallstellen der Reststoffe im Bereich der Zellstoffherstellung	7
Abbildung 3: Anfallstellen der Reststoffe bei der Produktion von Recyclingpapier	8
Abbildung 4: Anteil der Trockensubstanz unterschiedlicher Reststoffgruppen [3].....	9
Abbildung 5: Derzeitige Verwertungswege der Reststoffe [4].....	10
Abbildung 6: Derzeitige Verwendung der Reststoffe [4]	11
Abbildung 7: Zielstellung und Zielprodukte der Trennaufgaben.....	13
Abbildung 8: Dekanterzentrifuge der Fa. Flottweg SE, Vilsbiburg [12]	15
Abbildung 9: Trennversuche Deinkingschlamm mittels Dekanterzentrifuge	16
Abbildung 10: Verteilungsfunktionen der Sinkgeschwindigkeiten von Feststoffpartikeln in Altpapiersuspensionen [15].....	17
Abbildung 11: Verarbeitungsstufen vom Reststoff zum Absorberkissen [18].....	19
Abbildung 12: Herstellungsprozess Absorbermaterial (CabSorb) [18].....	19
Abbildung 13: PPC-Demonstratoren (Blumentopf / Lüfterrad) [21].....	22
Abbildung 14 : Aggregat zur Entaschung von Faserstoffsuspensionen [22]	23
Abbildung 15 : Faserrückgewinnung undEntaschung mit dem SpeedWasher-Aggregat der Fa. Andritz AG	23
Abbildung 16 : Größenbereich der Pigmente und mögliche mechanische Abtrennverfahren	24
Abbildung 17 : Herstellung von CaCO_3 duraus Verbrennungsasche [26]	25
Abbildung 18: Gewinnung von PCC nach dem SERECARB-Prinzip [27]	26
Abbildung 19: Wirtschaftlichkeit einer Verbrennungsanlage für Rejekte aus der Altpapieraufbereitung.....	27
Abbildung 20: Mögliche thermische Verwertungswege für die Reststoffe der Altpapieraufbereitung [28].....	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abfallsorten und prozentualer Anteil am Gesamtreststoffaufkommen.....	6
Tabelle 2: Entsorgungskosten nach Rückstandsgruppen [3].....	10
Tabelle 3: Vergleichende Darstellung der wirksamenn Absorberfläche eines synthetischen Absorbers und dem Reststoffabsorber CabSorb [18].....	20
Tabelle 4: Alternativer Faserstoffquellen bei der Produktion von Gipsfaserplatten [20]	20
Tabelle 5: Eignungsbewertung faserhaltiger Reststoffe für die Weiterverarbeitung in Gipsfaserplatten [20].....	21

1 Ausgangssituation / Problemstellung

Statistisch betrachtet fielen im Jahr 2010 bei der Produktion einer Tonne Papier in Deutschland ca. 180 kg Reststoffe an [1].

Auch wenn die Zahlen für einzelne Papier- und Kartonsorten weniger dramatisch sind, so legt es dieser Durchschnittswert nahe, sich der Reststoffproblematik intensiver als bisher zu widmen. Die deutsche Papierindustrie – und nicht nur diese – steht bei diesen Zahlenverhältnissen gleichzeitig vor einem riesigen Problem und vor einer großen Chance.

In ihrer „Roadmap 2050“ [2] definiert die CEPI zwei bis zum Jahre 2050 zu erreichende Zielvorgaben: eine ökologische, nämlich eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßes um 80 % sowie eine ökonomische, die Steigerung des „added value“ um 50 %.

Was verbirgt sich hinter diesen Zahlen? Relativ einfach, da mess- und rechenbar, ist die Reduzierung der CO₂-Bilanz. Erreicht werden kann dieses Ziel vor allem durch einer signifikante Verbesserung der Effizienz der Herstellungsprozesse und zwar sowohl beim Rohstoff- als auch beim Energieeinsatz. Hier wird – wie die roadmap sehr deutlich macht – ein „business as usual“ in der technologischen Weiterentwicklung nicht mehr ausreichen. Was benötigt wird, sind vollkommen neue „Breakthrough Technologies“.

Wesentlich schwieriger zu fassen ist die Steigerung des „added value“, also die Steigerung des „Mehrwertes“ um 50 %. Sie soll nicht zuletzt die wirtschaftlichen Voraussetzungen für die Entwicklung und technische Realisierung der „Breakthrough Technologies“ schaffen, die einen Forschungs- und Entwicklungsaufwand verlangen wird, den diese Industrie in der Vergangenheit noch nie leisten musste. Unter Mehrwert ist in diesem Zusammenhang also in erster Linie die Verbesserung der Ertragssituation der Industrie zu verstehen. Sie kann entweder durch eine Steigerung der Wertschöpfung, d. h. mittels neuer, ertragsreicher Produkte, durch noch intensiveres Kostenmanagement oder durch die Vermarktung bisher nicht genutzter „by-products“.

Insbesondere zu dieser letzten Option sollte das INFOR-Projekt 167R einen Beitrag leisten. Gemessen an den oben genannten Reststoffmengen stellt sich die Frage, ob diese Stoffe als Reststoffe zu betrachten sind, deren einziger Verwertungsweg die thermische Verwertung, also die Verbrennung ist, oder ob diese Stoffe, zerlegt in ihre Einzelfractionen, nicht wieder sinnvoll und wirtschaftlich stofflich verwertet werden können. Der zweite Weg, die stoffliche Verwertung, birgt das Potenzial – einen bereitwilligen Markt vorausgesetzt – aus ihnen einen echten Mehrwert zu generieren.

Eine notwendige Voraussetzung ist die Extraktion potenziell möglicher Reststofffraktionen und deren optimale und möglichst vollständige Nutzung zur Erzeugung hochwertiger Produkte, die über das hinausgehen, was die Papierindustrie bisher produziert. - z.B. Biokraftstoffe, Chemikalien, Werkstoffe

Möglicherweise ist ein Umdenken notwendig: Orientierung auf den Einsatz von Rohstoffen, welche die Herstellung neuer Produkte der dann erweiterten Palette mit dem größtmöglichen „added value“ erlauben.

Dieser Ansatz ist mit den bewährten, auf die bisherigen Bedürfnisse der Papierindustrie hin optimierten Technik nicht zu schaffen – ein Einbezug neuer Trenn- und Reaktionstechniken wird zur Erreichung die entscheidende Rolle spielen.

Die Selektivität der Trennprozesse ist der entscheidende Parameter um die Papierindustrie zu einem wichtigen Partner einer zukünftigen Bio-Economy zu machen. Hochselektive Trennprozesse stellen die Schlüsseltechnologie für die Entwicklung neuer biobasierter ertragsreicher Produkte als Ergänzung der klassischen Produktpalette Papier und Karton dar.

Im Rahmen dieses INFOR-Projektes sollte den Fragen nach möglichen Folgeprodukten aus abgetrennten Reststofffraktionen sowie deren Abtrennbarkeit nachgegangen werden

2 Reststoffe des Papierproduktionsprozesses

2.1 Anfallort, Art und Menge der Reststoffe

In Deutschland fallen jährlich etwa 4,6 Mio. Tonnen Reststoffe im feuchten Zustand an [3]. Feucht deshalb, da sie aus den vorwiegend nass-mechanischen Prozessschritten der Faser- und Pappaufbereitungslinien der Papierfabriken stammen.

Aus Abbildung 1 wird die in der Vergangenheit steigende Menge an Rückständen deutlich. Bezogen auf die Tonne produzierten Papiers bleibt die Reststoffmenge nahezu konstant und pendelt sich auf einen Wert um 180 kg/t ein.

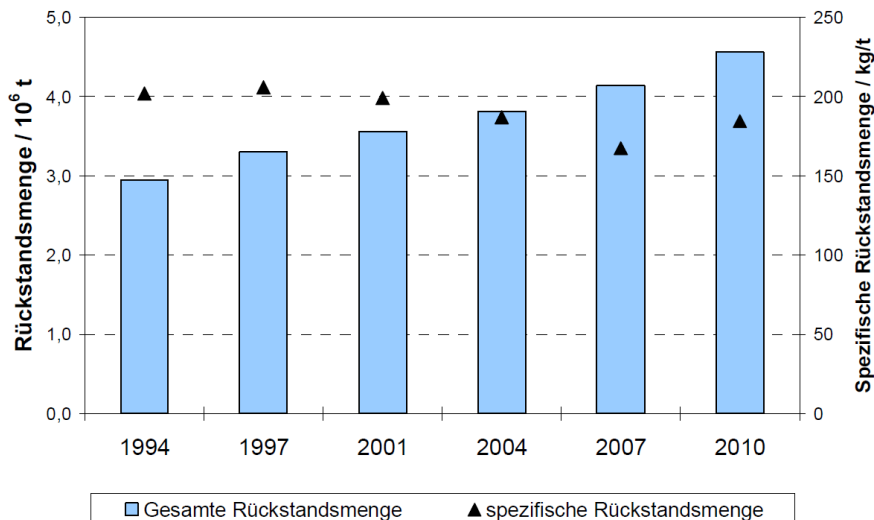


Abbildung 1: Rückstandsmengen der deutschen Papierindustrie [3]

Im Bereich der Faserstoffaufbereitung, vor allem aber bei der Aufbereitung von Altpapier fällt eine große Menge unterschiedlicher Reststoffe an. Diese werden gemäß der Abfallverordnungsverordnung AVV klassiert und definiert. Einen Überblick über die wichtigsten Abfallsorten und deren prozentualen Anteil am gesamten Aufkommen ist der folgenden Tabelle zu entnehmen [4]

Tabelle 1: Abfallsorten und prozentualer Anteil am Gesamtreststoffaufkommen

Art	AVV	proz. Anteil
Rinden- und Holzabfälle	030301	15
Deinkingschlämme	030305	25
Abfälle aus der Auflösung von Papier- und Pappenabfälle (Zöpfe, Grobrejekte)	030307	10
Faserabfälle und Schlämme	030310	33
Schlämme aus der Abwasserreinigung	030311	6
Verbrennungsrückstände	10 / 19	10
Weitere		1

Die beiden folgende Grafiken (Abbildung 2, Abbildung 3) geben eine Übersicht über die Anfallstellen der Reststoffe im Produktionsprozess Zellstoffherstellung und Herstellung von Recyclingpapier [5], [6].

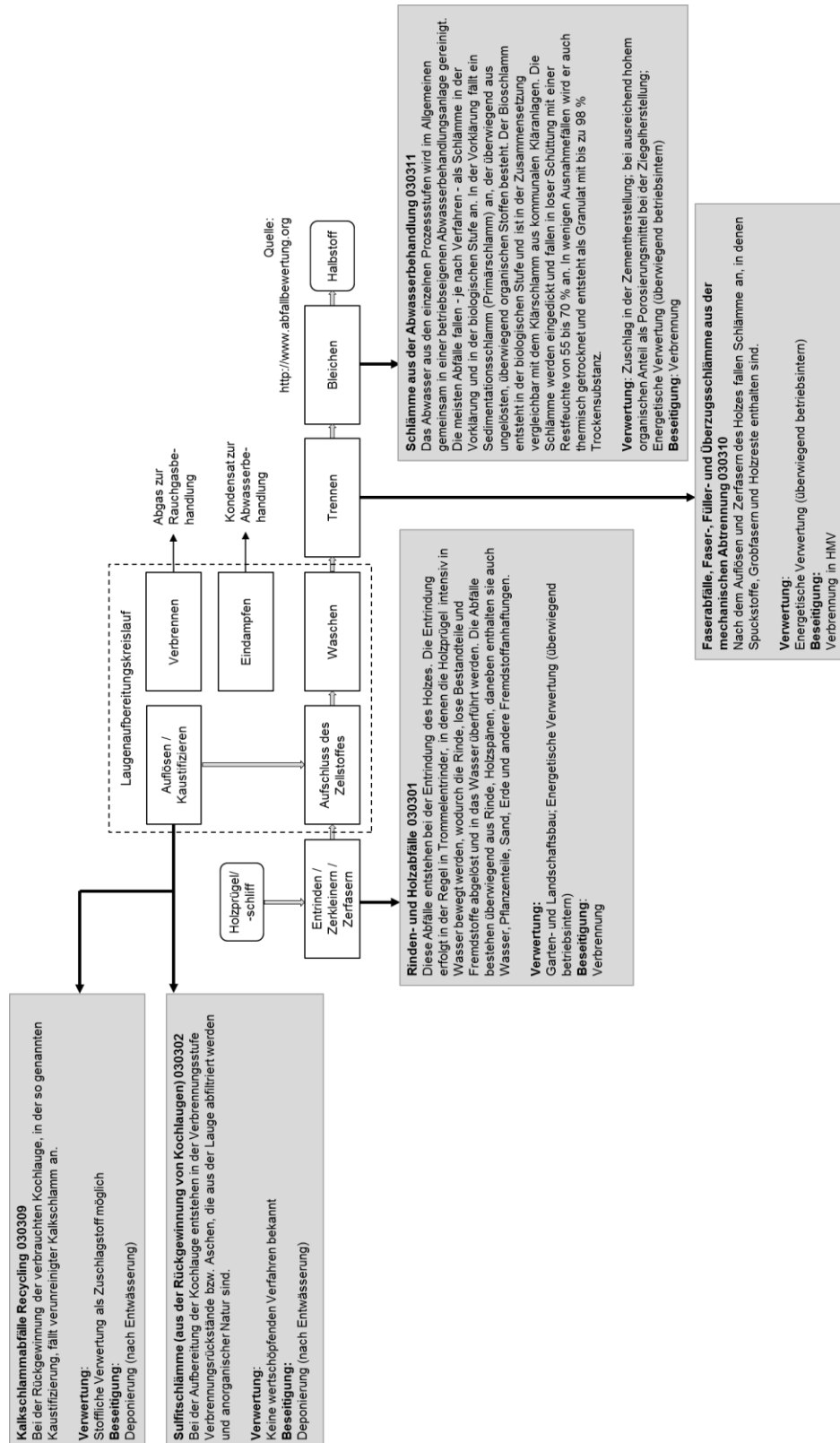


Abbildung 2: Anfallstellen der Reststoffe im Bereich der Zellstoffherstellung

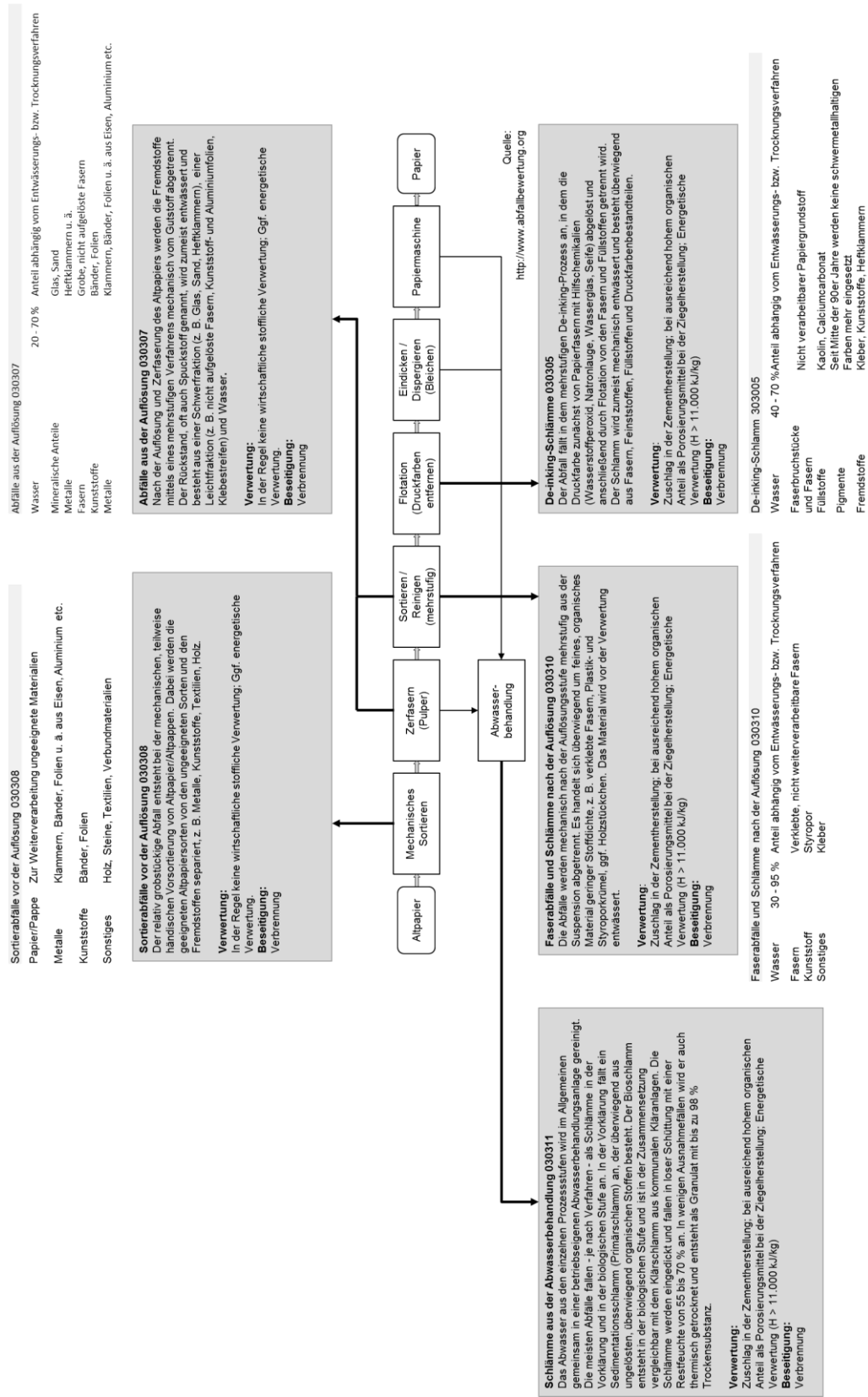


Abbildung 3: Anfallstellen der Reststoffe bei der Produktion von Recyclingpapier

Wie bereits erwähnt, fallen die Reststoffe in überwiegend feuchtem Zustand an, d. h. neben der eigentlichen Reststofffraktion enthalten sie einen erheblichen Anteil an Wasser, der häufig ebenso hoch ist wie der der Feststoffe (Abbildung 4).

Darüber hinaus bestehen die einzelnen Reststoffgruppen aus sehr unterschiedlichen Anteilen an organischen und anorganischen Fraktionen.

Die anorganischen Anteile sind überwiegend Füllstoffe oder Streichpigmente wie Kaolin und CaCO_3 , welche im Altpapier enthalten sind. Darüber hinaus auch Reste von Sand, Steinen, Glas und Metall, welche durch die Trennaggregate der Stoffaufbereitungslinien aussortiert wurden.

Durch die Sortier- und Reinigungsprozesse der Stoffaufbereitung wird unweigerlich auch eine bestimmte Menge an Fasern aussortiert. Diese Fasern bilden den einen Teil der im Reststoff enthaltenen organischen Fraktion und sind als Verluste der Trennprozesse zu betrachten. Möglichkeiten aufzuzeigen, wie diese Fasern zurück gewonnen, bzw. wie sie stofflich genutzt werden können, stellte ein Ziel des INFOR-Projektes dar.

Eine weitere Gruppe der organischen Reststofffraktion stellen Kunststoffe dar, die sich vor allem in den Grobrejekten konzentrieren. Diese besitzen einen hohen Heizwert und eignen sich damit zur Herstellung von Ersatzbrennstoff. Sollte es gelingen, sie sortenrein aus dem Reststoffgemisch zu entfernen, wäre auch hier eine stoffliche Verwertung denkbar. Derzeit ist dies unter ökonomischen Gesichtspunkten kaum oder nicht möglich, so dass diese Kunststoffe tatsächlich zumeist als Ersatzbrennstoff einer thermischen Verwertung zugeführt werden.

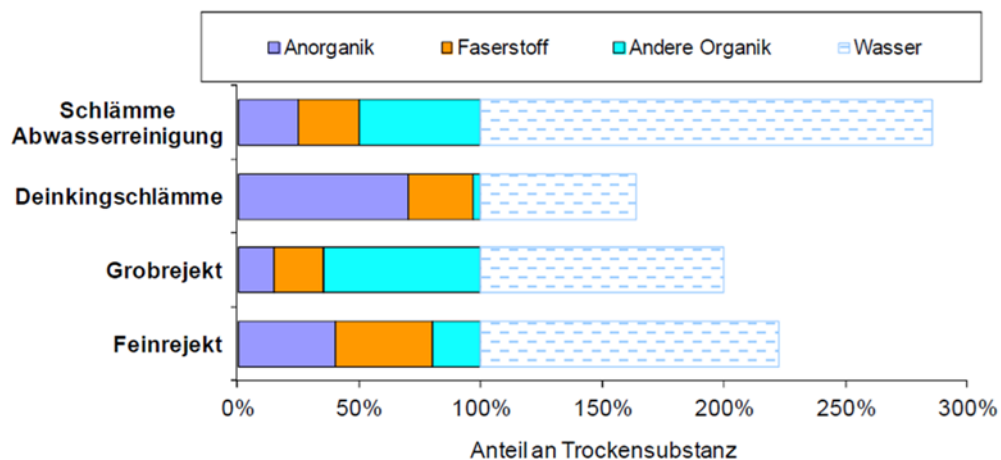


Abbildung 4: Anteil der Trockensubstanz unterschiedlicher Reststoffgruppen [3]

2.2 Derzeitige Verwertungswege

Papierfabriken, die ihre Reststoffe nicht selbst thermisch verwerten, müssen diese professionell entsorgen lassen. Betroffen sind vor allem kleinere Papierfabriken mit einer Jahresproduktion < 200.000 t/a. Erst oberhalb dieser Produktionsmenge sind die Errichtung und der Betrieb einer eigenen Reststoffverbrennungsanlage wirtschaftlich sinnvoll.

Für die 97 Papierfabriken, welche im Jahr 2012 im VdP organisiert waren, stellt sich die Verteilung nach diesem Größenkriterium so dar: 75 Fabriken < 250.000 t/a, 22 Fabriken > 250.000 t/a [7].

Demnach muss sich die Mehrzahl der in Deutschland produzierenden Papierfabriken für die Entsorgung ihrer Reststoffe externer Entsorgungsbetriebe bedienen.

Die Entsorgung selbst generiert in fast allen Fällen Kosten für die Papierfabrik. In Tabelle 2 sind die 2013 durch Schütt et al. präsentierten minimalen, maximalen und mittleren Entsorgungskosten, sortiert nach Rückstandsgruppen, zusammengefasst.

Tabelle 2: Entsorgungskosten nach Rückstandsgruppen [3]

Rückstandsgruppe	Entsorgungskosten in EUR/t		
	Min.	Mittel	Max.
Rinden- und Holzabfälle	-8*	-4*	0
Mechanisch abgetrennte Abfälle aus der Auflösung von Papier- und Pappenabfällen	0	66	141
Faserabfälle, Faser-, Füller und Überzugsschlämme aus der mechanischen Abtrennung	-12*	35	100
Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserreinigungsanlage	0	35	100
Verbrennungsrückstände	12	31	100

* negative Werte bedeuten Erlöse

Die Deponierung von Reststoffen nahm in den vergangenen 30 Jahren stetig ab. Mit der Umsetzung der TA-Siedlungsabfall im Jahr 2005 und dem damit verbundenen Wegfall der Möglichkeit unbehandelte Reststoffe und vor allem solche mit einem Anteil an organischen Komponenten von mehr als 5 % zu deponieren, stieg die thermische Verwertung der Reststoffe stark an (siehe Abbildung 5, Sprung 2001-2004) [8].

Gleichzeitig stagnierte der prozentuale Anteil der stofflichen Verwertung von Reststoffen. Dies kann mit den steigenden Energiepreisen und der damit höheren Attraktivität der thermischen Nutzung der Reststoffe zur Energiegewinnung begründet werden.

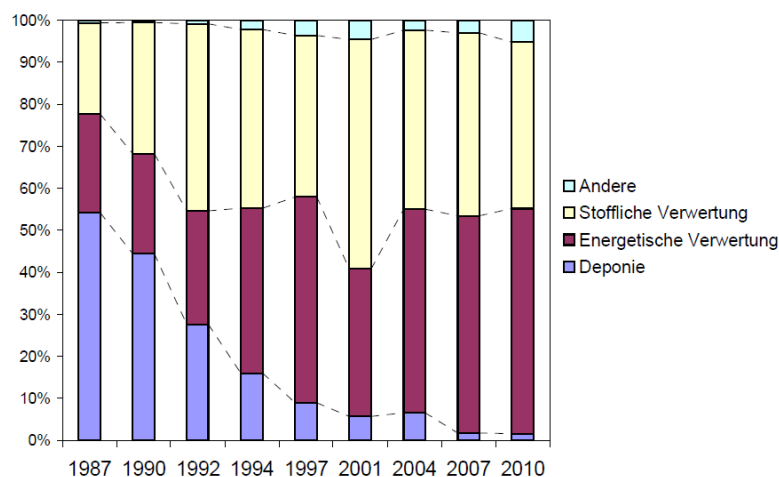


Abbildung 5: Derzeitige Verwertungswege der Reststoffe [4]

Im Sinne einer möglichst holistischen, umweltverträglichen und nicht zuletzt wirtschaftlichen Nutzung aller Rohstoffe wäre aber eine stoffliche Verwertung der Reststoffe eindeutig die anzustrebende Option.

Eine genauere Analyse der derzeitigen Verwertungswege (Abbildung 6) zeigt, dass mehr als die Hälfte der Reststoffe (53 %) einer thermischen Behandlung zugeführt werden. Diese kann entweder als „interne energetische Verwertung“ oder als „externe Verbrennung“ erfolgen. Dient die Verbrennung der Energiegewinnung, so werden meist Kraft-Wärmekopplungsanlagen genutzt.

Das Umweltbundesamt betrachtet diese Form als derzeit beste verfügbare Technik.

Bevor die Reststoffe (meist Grobrejekte, AVV 030307) einer energetischen Verwertung zugeführt werden können, müssen sie - vor allem zur Vermeidung von Chlorspitzen (PVC im Reststoff) - homogenisiert werden. Dies kann durch das Mischen mit Reststoffen aus der Sperrmüll- und Containersammlung erfolgen.

Darüber hinaus erfolgt eine Sortierung in folgende Fraktionen:

- Sand, Steine (Dichte),
- FE-Metalle (Magnetabscheider),
- Nicht-FE-Metalle (Wirbelstrom),
- Kunststoffen (NIR),
- PVC (händisch).

Es erfolgt dann eine Weiterverarbeitung zu Ersatzbrennstoff (EBS) oder Sekundärbrennstoff (SBS). EBS kann mit einem Heizwert von 14-16 MJ/kg zur Zufeuerung in Kraftwerken, SBS mit einem Heizwert < 20 MJ/kg in der Ziegel- und Zementindustrie verwendet werden.

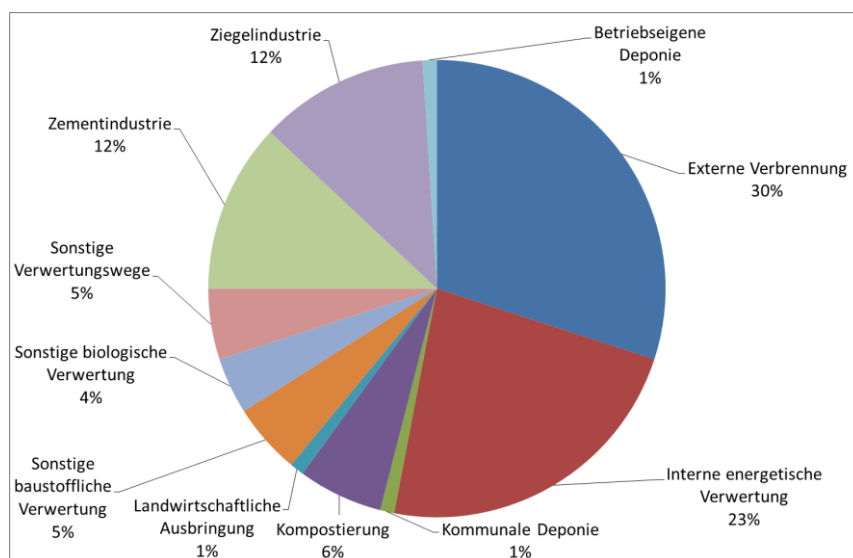


Abbildung 6: Derzeitige Verwendung der Reststoffe [4]

Der Sortiererfolg ist für eine weitere thermische Verwertung ausreichend. Im Sinne einer Sortereinheit als Voraussetzung für eine Verwertung mit deutlich höherer Wertschöpfung aber zumeist ungenügend. Metalle werden mittels Magnetabscheider, bzw. im Falle von Nichtei-

senmetallen mittels Wirbelstromabscheidern separiert. Diese Abscheidung gelingt zumeist nur so, dass eine größere Menge an Folien und Kunststoffen in der Metallfraktion zu akzeptieren ist. Für die Weiterverwertung der Metalle ist dies aber nicht relevant.

Der Weg der sortierten Fraktionen als Rohstoffe zur stofflichen Verwertung bleibt momentan somit verschlossen. Es findet sich nach Angaben der Entsorgungsbetriebe kein Absatzmarkt.

Eine weitere Ursache ist der hohe Trocknungsaufwand, was die Weiterverwendungen in den meisten Fällen unwirtschaftlich macht [9], [10].

Die Ziegel- und Zementindustrie nutzt die faserhaltigen Reststoffe als Zuschlagsstoffe (Porositätsmittel). Aufgrund der saisonalen Bedarfsschwankungen in der Baubranche schwankt auch die Nachfrage nach Reststoffen über den Jahresverlauf.

3 Definition möglicher Zielprodukte und Ableitung der Trennaufgabe

3.1 Mögliche Zielprodukte

Nach der Erfassung des Ist-Zustandes der Reststoffsituation wurden gemeinsam mit den Projektbegleitern mögliche Zielprodukte definiert. Aus deren Definition ergaben sich die eigentlichen Trennaufgaben.

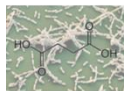
Mögliche Zielstellungen oder Zielprodukte der Trennaufgaben sind in der folgenden Abbildung zusammengefasst.



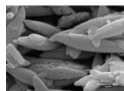
Faserrückgewinnung / Minimierung von Faserverlusten



Rückgewinnung von Pigmenten aus Streichfarben,
Rückgewinnung mineralischer Füllstoffe



Plattformchemikalien (Bernstein- / Propion- / Lävulinsäure)



Sekundärfüllstoff (PCC)

Abbildung 7: Zielstellung und Zielprodukte der Trennaufgaben

Die **Rückgewinnung von Fasern** bzw. allgemein die Verringerung der Faserverluste ist seit langem eine der Kernaufgaben jeder Stoffaufbereitung. Für diese Teilaufgabe galt es, die derzeit auf dem Markt befindlichen Technologielösungen hinsichtlich ihrer Neuheit zu erfassen.

Die **Rückgewinnung von Streichfarben** ist wie die Faserrückgewinnung eine direkte Möglichkeit, die eingekauften Rohstoffe effizient zu nutzen. Auch hierfür galt es, die derzeit auf dem Markt befindlichen Technologien eingängiger zu prüfen.

Plattformchemikalien sind in großem Maßstab industriell hergestellte Chemikalien, die als Ausgangsmaterial für viele andere Industrieprodukte verwendet werden [11]. Diese so genannten Grundchemikalien bilden die Rohstoffe für wichtige Massenprodukte wie zum Beispiel:

- Kunststoffe,
- Farbmittel,
- Tenside und
- Düngemittel sowie Spezialprodukte wie
- Klebstoffe,
- Pestizide, Anstrichmittel,
- Konservierungsmittel und
- Feinchemikalien

Ziel ist es, Monomere einer bestimmten Strukturformel zu erzeugen, weshalb Plattformchemikalien sowohl erdölbasierend als auch biogenen Ursprungs sein können.

Sekundärfüllstoffe können als präzipitiertes Kalziumcarbonat (PCC) durch Fällung aus Kalkmilch gewonnen werden. Meist werden diese mit einer bestimmten Menge an reinem PCC gemischt und dem Produktionsprozess wieder zugeführt. Eine Möglichkeit die mineralische Komponente der Kalkmilch bereitzustellen besteht in der Nutzung von entsprechend aufbereiteten Verbrennungsaschen.

Die Möglichkeit zur Trennung der Reststoffe wäre nach dieser Einteilung in folgende drei Fraktionen wünschenswert:

- Organische für die Faserrückgewinnung und die Herstellung von Plattformchemikalien
- Anorganische Phase zur Rückgewinnung von Streichpigmenten und zur Herstellung von Sekundärfüllstoff
- eine organische Phase aus den Grobrejekten – vornehmlich aus Kunststoffen bestehend – zur weiteren thermischen Verwertung.

3.2 Limitierungen der stofflichen Nutzung

Die Voraussetzung zur stofflichen Nutzung ist erst durch die möglichst sortenreine Trennung in einzelne Reststofffraktionen gegeben. Für viele Weiterverwendungen verlangt „der Markt“ eine Sortenreinheit, die mit der derzeit zur Verfügung stehenden Trenntechnik nicht wirtschaftlich erreicht werden kann.

Betrachtet man die Schlämme aus der Feinsortierung und den Deinkinganlagen genauer, so kann festgehalten werden, dass diese zum überwiegenden Teil aus einer Faserfraktion und aus einer Fraktion mineralischer Komponenten (Füllstoffe und Streichpigmente) bestehen. Diese Betrachtung sagt noch nichts über die Art und Weise aus, in der diese beiden Fraktionen im Rejekt (Schlamm) vorliegen.

Eine genauere Kenntnis darüber ist die Voraussetzung für die Auswahl geeigneter Trennverfahren, mit der das oben skizzierte Ziel einer Trennung von organischen und anorganischen Bestandteilen erreicht werden kann.

Sollen große Mengen solcher Rückstandsgruppen in seine einzelnen Fraktionen unter wirtschaftlichen Bedingungen zerlegt werden, so sind zunächst mechanische Verfahren zu prüfen.

3.2.1 Trennung von organischen und anorganischen Bestandteilen

Untersuchungen zur Behandlung von Deinkingschlämmen mittels Dekanterzentrifuge

Gemeinsam mit der Fa. Flottweg SE, Vilsbiburg wurde untersucht, ob es möglich ist, die Feststofffraktionen (Fasern / Füllstoffe) von Deinkingschlämmen unter der Wirkung hoher Zentrifugalkräfte voneinander zu trennen.

Hierfür wurden Schleuderversuche durchgeführt, deren Ergebnisse auf das Betriebsverhalten von so genannten Sorticantern hochskaliert werden können.

Ein Sorticanter ist eine Dekanterzentrifuge, welche die Möglichkeit bietet, zwei Feststofffraktionen voneinander zu trennen, wenn sich diese in ihrem spezifischen Gewicht unterscheiden. Voraussetzung ist, dass die beiden Feststofffraktionen in einer kontinuierlichen Phase suspendiert sind, deren Dichte zwischen denen der Feststoffe liegt.

Laut Herstellerangaben ist die Dekanterzentrifuge in der Lage bei einem Dichteunterschied von nur $0,1 \text{ g/cm}^3$ eine Trennschärfe von 98 % zu erreichen.

In der folgenden Abbildung 8 ist eine Dekanterzentrifuge zur Trennung von zwei Feststofffraktionen schematisch dargestellt. Der Einlauf des Stoffgemisches aus zwei Feststoffphasen sowie der Trennflüssigkeit erfolgt axial. Auf das Stoffgemisch werden durch eine rotierende Schnecke und ein mit einer Differenzgeschwindigkeit rotierender Mantel Zentrifugalkräfte ausgeübt. Die Partikel, welche eine höhere Dichte als die Trennflüssigkeit haben, werden an die Mantelwand gedrückt und von dort in Richtung Feststoffaustrag, schwere Phase transportiert. Die Partikel, welche spezifisch leichter als die Trennflüssigkeit sind sammeln sich an der Schneckenwelle und werden mittels Schnecke (entgegengesetzte Steigung in diesem Bereich) nach rechts, zum Feststoffaustrag, leichte Phase transportiert.

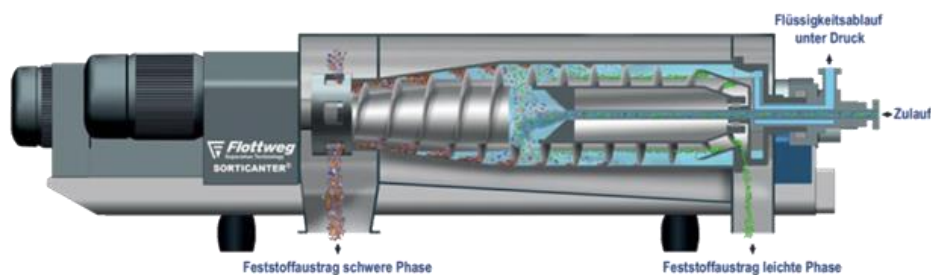


Abbildung 8: Dekanterzentrifuge der Fa. Flottweg SE, Vilsbiburg [12]

Die Firma Flottweg wurde beauftragt, nach dem oben beschriebenen Prinzip Trennversuche an einer getrockneten Probe aus Deinkingschlamm durchzuführen (Abbildung 9).

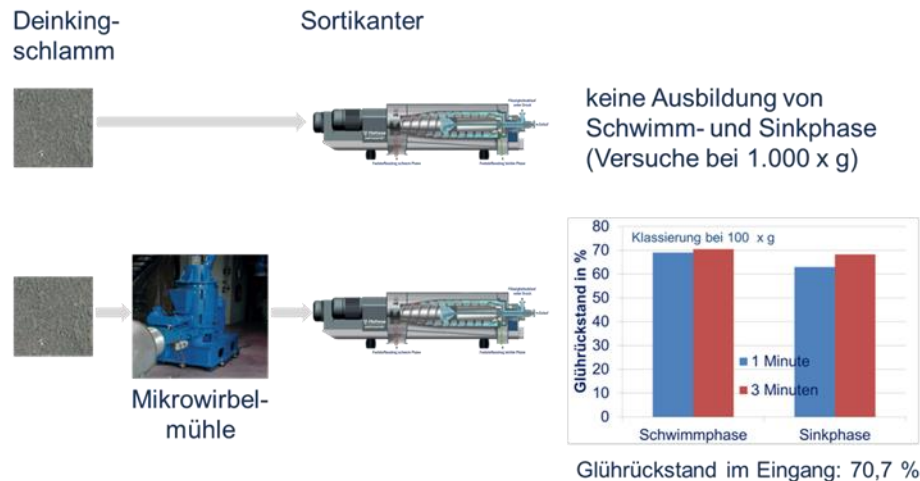


Abbildung 9: Trennversuche Deinkingschlamm mittels Dekanterzentrifuge

Es wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Zunächst wurde bei einer Zentrifugalbeschleunigung von 1.000 g (Erdbeschleunigung) der Deinkingschlamm mit Trennflüssigkeiten unterschiedlicher Dichte und für unterschiedliche Verweilzeiten versucht, zu trennen.

Das Ergebnis war negativ. Es bildete sich keine explizite Schwimm- und Sinkphase aus [13]. Als mögliche Ursachen hierfür wurden zwei Gründe vermutet: zum ersten das Vollaugen der Fasern mit der Trennflüssigkeit, was schließlich einen Dichteunterschied verhindert. Zum anderen besonders starke Haftkräfte zwischen den anorganischen Bestandteilen und den Fasern aufgrund von Bindemitteln, die ursprünglich im Reststoff enthalten waren (Druckfarben, Strich).

In einem zweiten Versuch wurde der Deinkingschlamm mittels Mikrowirbelmühle vorbehandelt. Dies sollte mögliche Anhaftungen der anorganischen Bestandteile an den Fasern lösen. Im Ergebnis des zweiten Versuches bildete sich zwar eine Schwimm- und Sinkphase aus, jedoch waren die Glührückstände in beiden Phasen nahezu identisch [14].

Abschließend musste konstatiert werden, dass eine mechanische Trennung mittels Dekanterzentrifuge nicht möglich war.

Die gleiche Aussage wird im Abschlussbericht des IGF-Forschungsvorhabens 14650BR (2009) zur Trennung von organischen und anorganischen Feinstoffen aus Altpapiersuspensionen getroffen [15].

Trennung von organischen und anorganischen Feinstoffen aus Altpapierstoffsuspensionen

In dem 2009 beendeten Forschungsprojekt versuchten Wissenschaftler der TU Darmstadt und der TH Karlsruhe durch die Entwicklung eines neuen, auf den Grundlagen der Sedimentation basierenden Verfahrens, gezielt mineralische Partikel aus dem Recycling-Prozess von Altpapier auszuschleusen.

Ausgehend von der Erkenntnis, dass die etablierten Verfahren der Wäsche und der Flotation keine ausreichende Trennschärfe für das oben genannte Ziel bieten, sollte die Aufstromklassierung zur Lösung der Trennaufgabe untersucht werden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Trennaufgabe mit der Aufstromklassierung besser als mit den konventionellen Verfahren zu lösen ist. In Abbildung 10 sind die Verteilungsfunktionen der Sinkgeschwindigkeiten für unterschiedliche Stoffdichten des betrachteten Systems dargestellt.

Mit steigender Stoffdichte kippt das System von einer bimodalen Verteilung hin zu einer monomodalen Verteilung der Dichtefunktion. Die bimodale Verteilung ist die Voraussetzung für eine Trennung nach dem Dichteprinzip.

Bereits bei einer Stoffdichte von 2 % ist diese Voraussetzung nicht mehr ausreichend gegeben. Das ganze Prinzip würde unwirtschaftlich werden.

Des Weiteren wurde herausgearbeitet, dass das Trennergebnis sehr stark von den Bindungskräften zwischen den mineralischen Bestandteilen und den Fasern abhängt. Oft sind diese so groß, dass die Aufstromklassierung erfolglos bleibt oder nur mit mäßigem Erfolg betrieben werden kann.

Alternativen wie eine vorgeschaltete Knetdispargierung, Feinstoffmahlung oder Ultraschall-Dispargierung werden vorgeschlagen. Alle diese Maßnahmen verschlechtern aber die Energiebilanz des Prinzips so sehr, dass es am Ende als nicht wirtschaftlich zu betrachten ist.

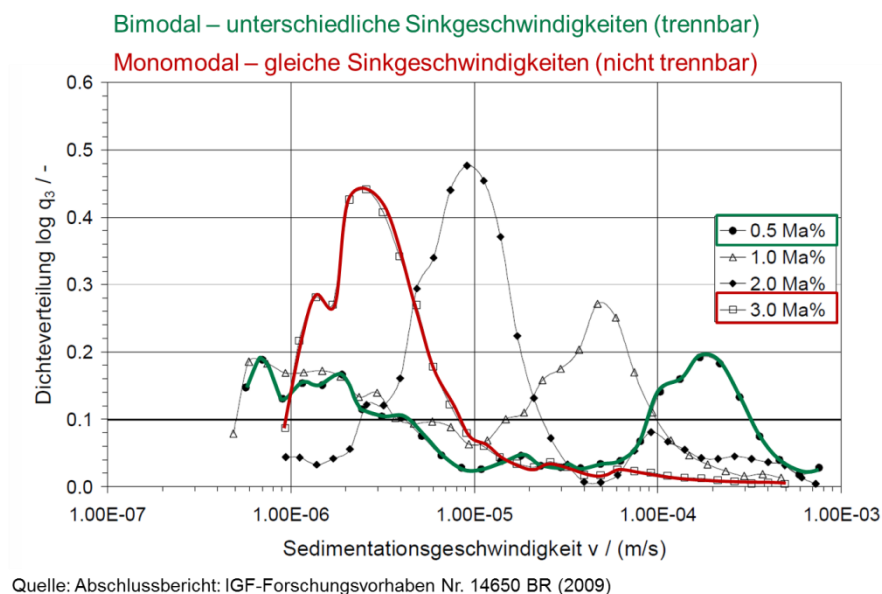


Abbildung 10: Verteilungsfunktionen der Sinkgeschwindigkeiten von Feststoffpartikeln in Altpapiersuspensionen [15]

3.2.2 Fazit zur Limitierung der stofflichen Nutzung

Es konnte herausgearbeitet werden, dass eine Trennung von mineralischen Komponenten und Fasern aus Schlämmen und Suspensionen des Papierproduktionsprozesses nur dann gelingt, wenn die Füllstoffe fein suspendiert in der kontinuierlichen Phase vorliegen. Diese

Abtrennung ist dann unter dem Begriff „Entaschung“ zusammen zu fassen (siehe auch Kapitel 4.4).

Aufgrund von sehr hohen Bindungskräften, welche sich beim Papierproduktionsprozess zwischen Füllstoffpartikeln und Fasern bzw. Faserfeinstoffen ausbilden können diese beiden Fraktionen nicht befriedigend voneinander getrennt werden.

Diese Bindungen aufzubrechen würde ein Maß an zusätzlicher Energie erfordern, welches den Gesamtprozess unwirtschaftlich erscheinen lässt. Darüber hinaus bliebe die Trennschärfe weiterhin für bestimmte Weiterverarbeitungsprozesse hinter dem gewünschten Maß zurück.

Das Fraunhofer-Institut CBP in Leuna sowie die die Papiertechnische Stiftung (Heidenau) kommen zu der Einschätzung, dass faserhaltige Reststoffe der Papierindustrie weiterhin interessant für die Herstellung von Plattformchemikalien sind.

Die BASF AG, die ein Verfahren zur Herstellung von Bernsteinsäure aus nachwachsenden Rohstoffen innerhalb eines fermentativen Prozesses mitentwickelt hat, kommt zu dem Schluss, dass fermentative Prozesse momentan zu anfällig auf die ansonsten in den Reststoffen enthaltenen Inhaltsstoffen sind, als das diese Rohstoffquelle momentan technisch und wirtschaftlich genutzt werden könnte.

Trotz optimistischer Forschungsprojekte wie die zur Koppelnutzung von Altpapier [16], [17], in dem die Produktion von Lävulinsäure untersucht wurde, bleibt der Verwertungsweg der faserhaltigen Reststoffe der Papierindustrie für Plattformchemikalien wohl so lange verschlossen, bis eine ausreichende Trennung zwischen Organik und Anorganik gelingt.

Nachfolgend wird deshalb ein Überblick über mögliche stoffliche Verwertungswege der Reststoffe der Papierindustrie gegeben werden. Weiterhin werden die in Kapitel 0 formulierten Ziele der Faserrückgewinnung, der Streichfarbenrückgewinnung sowie der Herstellung von Sekundärfüllstoff aufgegriffen.

4 Beispiele der stofflichen Reststoffnutzung

4.1 Reststoffe als Absorbermaterial

Eine in ihrer Herstellung und Anwendung sehr einfache, jedoch effektive Verwendung von faserhaltigen Reststoffen ist die als Absorbermaterial. Hierbei wird die Saug- und Absorptionsfähigkeit der Fasern ausgenutzt um z. B. Öle und Schmierstoffe von Wasseroberflächen als auch festen Oberflächen aufzunehmen [18].



Abbildung 11: Verarbeitungsstufen vom Reststoff zum Absorberkissen [18]

In Abbildung 11 ist ein Beispiel eines faserhaltigen Reststoffes (Deinkingschlamm / Fangstoff aus der Feinsortierung) in seinen weiteren Verarbeitungsstufen hin zu einem Absorberkissen dargestellt. Der Faserschlamm wird thermo-mechanisch aufbereitet und anschließend in entsprechender Kissengröße konfektioniert. Abbildung 12 zeigt den schematischen Aufbau der Aufbereitungslinie.

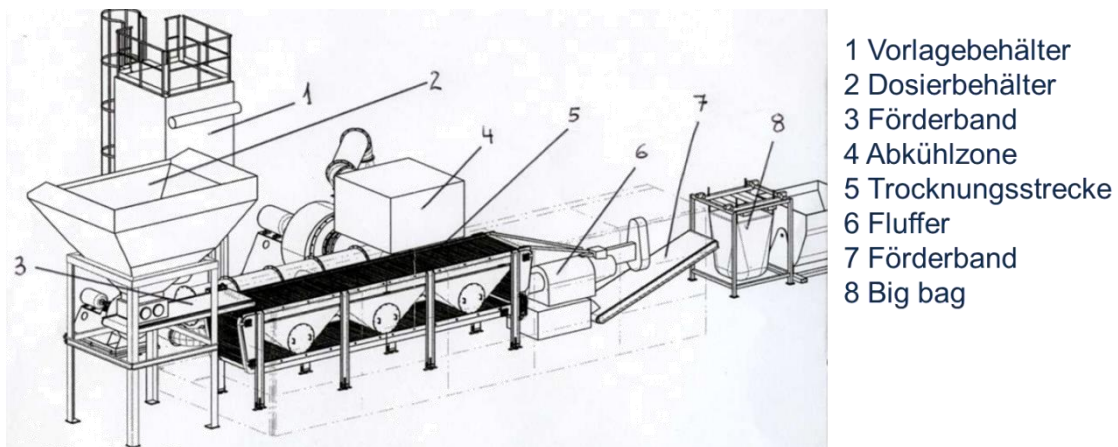


Abbildung 12: Herstellungsprozess Absorbermaterial (CabSorb) [18]

Aus einem Vorlagebehälter wird ein Dosierbehälter so beschickt, dass ein kontinuierlicher Stoffstrom aus dem faserhaltigen Reststoffschlamm einer Trocknungsstrecke zugeführt werden kann. Nach dessen Trocknung und Abkühlung erfolgt eine Vergrößerung seiner spezifischen Oberfläche in einem so genannten Fluffer (Aggregat zum Zerreißen, Aufwirbeln und zur Volumenvergrößerung des Faserstoffes). Der so aufbereitete Stoff wird in Big bags verpackt und einer Konfektioniereinheit zur Herstellung der Kissen zugeführt.

Die Kissen haben eine Größe von 25 x 25 bzw. 48 x 48 cm. Ebenso können Ölbarrieren hergestellt werden, die dann einen Durchmesser von bis zu 40 cm und eine Länge von 4 m haben können.

Das spezifische Gewicht des Absorbermaterials beträgt 180 kg/m³. Die Aufnahmekapazität liegt bei 4 g/g [19]. Andere Absorbermaterialien sind in der Lage, Öl-Wassergemische von 4-6 g/g zu binden.

Die folgende Tabelle 3 vergleicht die spezifische Oberfläche eines synthetischen Absorbers mit der des CabSorb-Produktes. Die Abkürzung PMS steht dabei für Paper Mill Sludge. Der aufbereitete faserhaltige Reststoff besitzt demnach eine um den Faktor 25 größere Oberfläche als der synthetische Absorber.

Tabelle 3: Vergleichende Darstellung der wirksamen Absorberfläche eines synthetischen Absorbers und dem Reststoffabsorber CabSorb [18]

	Area [m ² /g]	Area factor	Area factor
Synthetic Absorbent	1,4189	1	
Untreated PMS	4,8096	3,39	1
Sample 2	4,6617	3,29	0,97
Sample 4	3,2048	2,26	0,67
Sample 4 (treated)	36,0526	25,41	7,5

Das Produkt befindet sich in der Anwendung / Vermarktung.

4.2 Reststoffe als Bestandteile von Gipsfaserplatten

Gipsfaserplatten werden aus Gips (Calciumsulfat), Wasser und Fasern hergestellt. Als Faserrohstoffquelle dienen schon heute – zumindest teilweise – faserhaltige Reststoffe der Papierindustrie (Deinkingabfälle, Fangstoffe aus der Feinsortierung). Diese werden durch Zeitungsdruckpapier bzw. Altpapiere ergänzt [20].

Das Unternehmen Fermacell GmbH, Düsseldorf, verwendet für die Herstellung von Gipsfaserplatten unter anderem solche Reststoffe und erwartet im Vergleich zum Jahr 2012 für das Jahr 2016 einen steigenden Bedarf (Tabelle 4).

Tabelle 4: Alternativer Faserstoffquellen bei der Produktion von Gipsfaserplatten [20]

Bedarf an alternativen Faserstoffen	2012	2016
Deinking / Zeitungsdruckpapiere	80.000 t/a	68.000 t/a
Faserfangstoffe	17.000 t/a	40.000 t/a
gesamt	97.000 t/a	108.000 t/a

An die Qualität der Reststoffe als potenzielle Rohstoffe werden jedoch hohe Anforderungen gestellt. Für die drei Hauptbewertungskriterien (Feuchte, Fremdstoffgehalt und Glühverlust) werden durch die verarbeitende Firma enge Eignungsgrenzen definiert.

In Tabelle 5 ist das Punktesystem skizziert, mit welchem die Fa. Fermacell GmbH, Düsseldorf die eingehenden Reststoffe bezüglich ihrer Weiterverarbeitung in Gipsfaserplatten be-

wertet. Wird nur in einer der drei Kategorien der Wert „0“ vergeben, so scheidet der Reststoff für eine Weiterverarbeitung aus.

Die Anforderungen lassen sich so zusammenfassen: Ein

- hoher Trockengehalt,
- eine geringe Fremdstoffmenge sowie
- ein hoher Glühverlust

sind Eigenschaften eines besonders gut geeigneten Faserreststoffes zur Weiterverarbeitung in Gipsfaserplatten.

Tabelle 5: Eignungsbewertung faserhaltiger Reststoffe für die Weiterverarbeitung in Gipsfaserplatten [20]

Parameter	Wert	Bewertung		Gesamtbewertung	
Feuchte (40 °C)	< 48 %	3		X	
	48-50 %	2			
	50-60 %	1			
	< 60 %	0			
Fremdstoffgehalt, bezogen auf TS	< 1 %	2		Y	
	1-3 %	1			
	> 3 %	0			
Glühverlust 550 °C	> 80 %	4		Z	
	70-80 %	3			
	50-70 %	2			
	40-50 %	1			
	< 40 %	0			
				X + Y + Z	
Bewertungszahl (x + Y + Z)		<6	6/7	8/9	10
Bewertungseinstufung		-	o	+	++

Das Produkt befindet sich in der Anwendung / Vermarktung.

4.3 Reststoffe in Naturfaserverstärkten Kunststoffen – Paper-Polymer-Composites

Naturfaserverstärkte Kunststoffe bestehen aus einem Fasermaterial, einer Polymermatrix sowie verschiedenen Additiven zur Sicherstellung bestimmter Eigenschaften des Verbundwerkstoffes. Das Fasermaterial kann dabei sehr unterschiedlicher Herkunft sein, wobei festzuhalten ist, dass sich nahezu alle Fasermaterialien eignen. Die Polymermatrix kann sowohl erdölbasierend als auch aus Bio-Polymeren bestehen und so den Verbundwerkstoff zu einem 100 % Bio-Produkt machen. Eine breite Anwendung finden diese Werkstoffe momentan auf dem rasant wachsenden Markt der Wood-Polymer Composites (WPC) in Form von Paneelen, Deckings oder in der Bauindustrie.

In Deutschland fallen jährlich etwa 4,6 Mio. Tonnen Reststoffe bei der Produktion von Recyclingpapier an. Mehr als die Hälfte dieser Reststoffe (Fangstoffe und Deinkingschlämme) haben einen erheblichen Faserstoffbestandteil und werden derzeit zumeist thermisch entsorgt.

Für Papierfabriken ohne eigene Reststoffverbrennung entstehen dabei nicht unerhebliche Kosten.

In WPCs wird üblicherweise Holzmehl als Faserrohstoff verwendet. Diese Rohstoffquelle konkurriert zunehmend mit einer thermischen Verwertung in Holzpellets.

Die steigende Nachfrage nach Fasermaterial seitens der Faserverbundwerkstoffhersteller und die Konkurrenzsituation des Holzmehls verteuern diesen Rohstoff zusehends.

Im Rahmen eines von der AiF-IGF (17434) geförderten Forschungsprojektes ist es Wissenschaftlern der TU Dresden und TU Chemnitz gelungen, nachzuweisen, dass sich faserhaltige Reststoffe der Papierindustrie als Substituenten für Holzmehl in naturfaserverstärkten Kunststoffen eignen. Solche neuen Werkstoffe werden in Anlehnung an die bekannte Nomenklatur als Paper-Polymer-Composites (PPC) bezeichnet. Es konnte gezeigt werden, dass die Eigenschaften der so hergestellten Halbzeuge mit denen der klassischen WPCs konkurrieren können.

Die Palette der denkbaren Produkte aus PPC ist weitgehend identisch mit denen der gegenwärtig am rasch wachsenden weltweiten Markt außerordentlich erfolgreichen WPCs, also Terrassendielen, Sichtschutzelemente, Parkbänke, Formteile und spezialisierte Verpackungslösungen. Beispiele von Demonstratoren sind in gegeben. Es ist erfolgreich gelungen Bauteile mit besonders dünnen Wandstärken (Blumentöpfe) sowie mit komplexen Bauteilgeometrien zu fertigen (Lüfterrad) [21].



Abbildung 13: PPC-Demonstratoren (Blumentopf / Lüfterrad) [21]

Die Schaffung der technischen Voraussetzungen zur Herstellung pelletierter Reststoffe ist mit dem auf dem Markt erhältlichen Maschinen- und Anlagenbau problemlos realisierbar. Das notwendige technologische Wissen zur Produktion von NFKs auf der Basis faserhaltiger Reststoffe lieferte das genannte Projekt.

Die Verwendung faserhaltiger Reststoffe für die Herstellung von NFK eröffnen für kleinere und mittelgroße Papierfabriken die Möglichkeit, einen nicht unerheblichen Teil ihrer Reststoffe in einer ökologisch und ökonomisch gleichermaßen sinnvoller Weise zu nutzen und damit einen echten Mehrwert für die Papierfabrik zu generieren.

4.4 Faserrückgewinnung und Entaschung

Für die Rückgewinnung von Fasern und das Entaschen von Suspensionen gab es in den vergangenen Jahren kaum nennenswerte Neuerungen.

Die Fa. Andritz AG stellte im Jahr 2004 Wochenblatt für Papierfabrikation [22] ein Aggregat zur Faserrückgewinnung vor, welches grundsätzlich auf dem Prinzip eines Drucksortierers arbeitet. Nach Herstellerangaben entspricht diese Lösung weitgehend dem Stand der Technik.

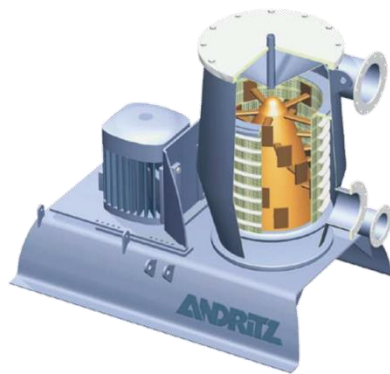


Abbildung 14 : Aggregat zur Entaschung von Faserstoffsuspensionen [22]

Ausgestattet mit einem Lochkorb (Lochdurchmesser 150-400 μm) wird das Aggregat zum Entaschen von Faserstoffsuspensionen eingesetzt. Fasern einer Länge von mehr als 400 μm sollen im Prozess gehalten werden.

Das Aggregat kann zusätzlich oder an Stelle der Sekundärflotation eingesetzt werden. Im zweiten Fall werden zusätzlich Fasern zurückgewonnen.

Wichtig ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass eine Entaschung nur so weit gelingen kann, wie die mineralischen Füllstoffe fein in der Suspendiert sind. Ein Ablösen fest klebender anorganischer Bestandteile von der Faser ist auch mit diesem Aggregat nicht möglich (vgl. Kapitel 3.2).

Eine weitere Möglichkeit zur Faserrückgewinnung aus Suspensionen und zu deren Entaschung stellt das als SpeedWasher vertriebene Aggregat der Fa. Andritz AG dar (Abbildung 15, [23])

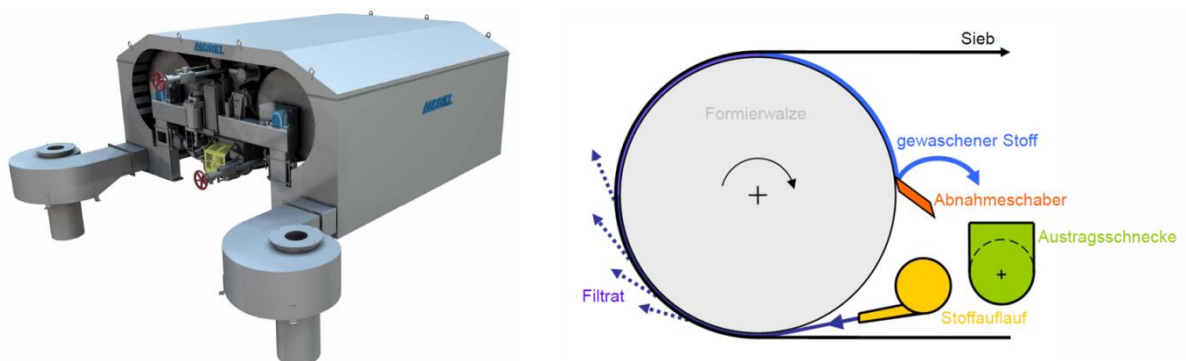


Abbildung 15 : Faserrückgewinnung und Entaschung mit dem SpeedWasher-Aggregat der Fa. Andritz AG

Das System arbeitet nach dem Prinzip eines Stoffauflaufes. Durch ein axial angebrachtes Zuführsystem wird die Fasersuspension mittels Querstromverteiler zwischen eine Walze und ein umlaufendes Sieb gespritzt. Die Faserstoffsuspension entwässert dabei einseitig, wobei Fasern vom Sieb zurückgehalten werden. Füll- und Feinstoffe passieren das Sieb und werden ausgeschleust. Ein Abnahmeschaber entfernt die Fasermatte kontinuierlich vom Sieb, eine Austragsschnecke fördert die eingedickte Fasermatte aus dem Aggregat.

Nach Herstellerangaben entspricht das System dem Stand der Technik zur Faserrückgewinnung und Entaschung. Es befindet sich seit einigen Jahren in der Vermarktung.

4.5 Rückgewinnung von Streichfarbepigmenten

Die Abmessungen von Pigmenten von Streichfarben liegen üblicherweise im Bereich von 0,03-7 μm eingesetzt [24]. Typisch sind 2 μm .

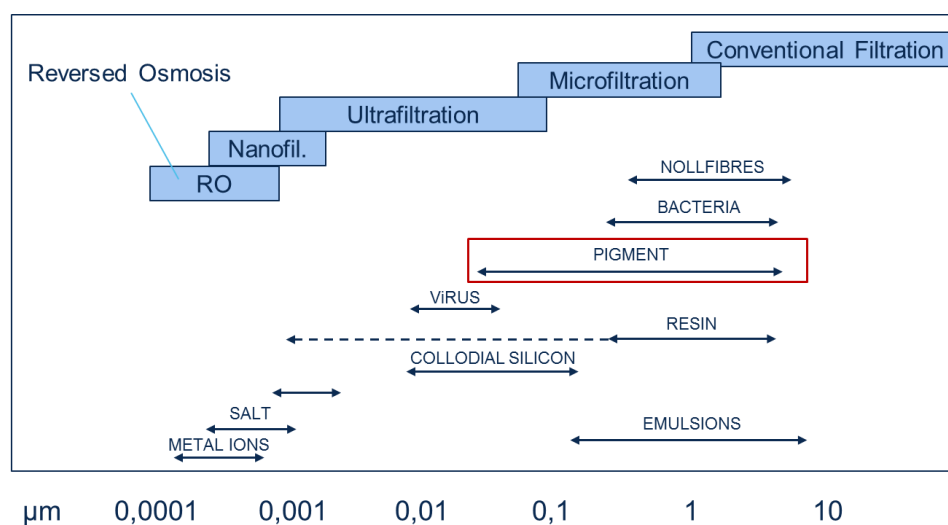


Abbildung 16 : Größenbereich der Pigmente und mögliche mechanische Abtrennverfahren

Das Bundesumweltamt kam im Jahr 2003 zu der Auffassung, dass die Ultrafiltration (UF) eine geeignete Maßnahme (Stand der Technik) ist, um Streichfarbenpigmente aus Streichereiabwässern zurück zugewinnen. Gleichzeitig wird jedoch festgestellt, dass die geringe Feststoffkonzentration zu einer erheblichen hydraulischen Belastung solcher Filteranlagen führt. Die Erhöhung des Filterdruckes bzw. der Filterfläche verteuern UF-Anlagen deshalb relativ rasch.

Unabhängig davon sind die Amortisationszeiten kürzer als bei Mikrofiltrationsanlagen [24]

Der Abschlussbericht eines mit den Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördertes Projekt zur Errichtung einer Demonstrationsanlage zur Streichfarbenrückgewinnung in Ehingen (Sappi) zeigt einen davon abweichenden Weg auf [25]. Wegen des schnellen Belegens und der fehlenden Möglichkeit alle „Rohstoffe“ (Pigmente) zurück zu gewinnen wird hier auf den Einsatz einer UF verzichtet,

Mit der vorgestellten Lösung ist es gelungen, durch die Wiederaufbereitung der Streichfarbenrückstände ca. 70% Energie, verglichen mit der Vermahlung eines Frischpigments, einzusparen. Die Abwassermenge wurde dabei um 130.000 m^3/a reduziert.

Das zurück gewonnene Produkt hatte einen Feststoffgehalt von mehr als 50 %, was eine notwendige Voraussetzung für seine Wiederverwendung ist. Geringere Feststoffgehalte würden bei einer Zudosierung des Produktes zu frischer Streichfarbe diese übermäßig stark verdünnen.

Der Prozess und der Anlagenaufbau können wie folgt beschrieben werden:

- Sammlung der streichfarbenhaltigen Abwässer in einer Sammelgrube unterhalb der Maschine
- Pufferbehälter
- 2- stufige Siebung (300 μm und 100 μm)
- Abscheiden der Pigmente durch Flockung in einem Sedimentationsbehälter
- Eindickung auf ca. 20 %TS
- Klarwasserüberstand zurück in den Prozess gepumpt.
- Vermahlen der Pigmente in einer Kugelmühle
- Entwässerung im Dekanter auf ca. 50 – 55 %TS
- Dispergierbehälter: Zugabe von Dispergiermittel, Natronlauge und Biozid zur Herstellung der fertigen Dispersion
- aus Vorratsbehälter wird die Dispersion nach Bedarf in die Dispergiermaschinen gepumpt (150 μm Kontrollsiebung)

4.6 Herstellung von Sekundärfüllstoff

Ein Verfahren zur Gewinnung von CaCO_3 wird in der Patentschrift U.S. Patent 5,759,258,1998 beschrieben [26]. Hierbei werden bei hohen Temperaturen Deinking-Rejekte verbrannt und die dabei entstehende Asche mit Wasser und Kohlenstoffdioxid gemäß Abbildung 17 aufbereitet. Es entsteht präzipitiertes CaCO_3 (RMF Recycled Mineral Fillers) und Wasser.

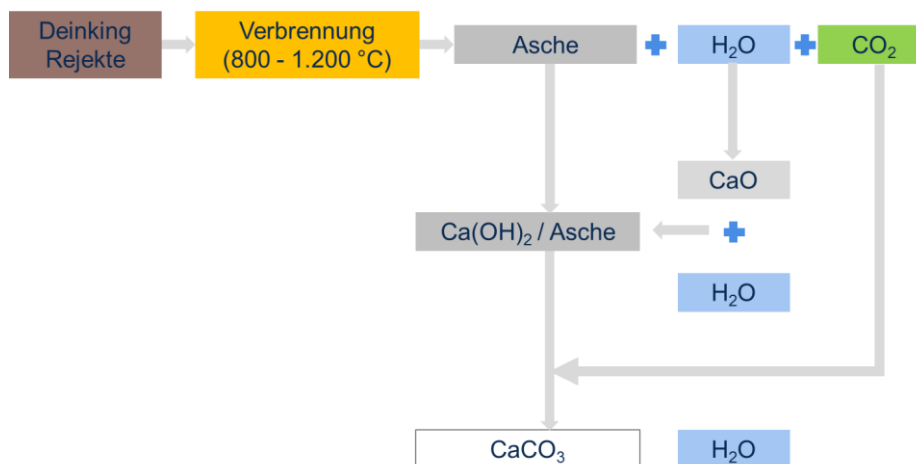


Abbildung 17 : Herstellung von CaCO_3 daraus Verbrennungsasche [26]

Durch das beschriebene Verfahren ist es möglich, bis zu 50 % CaO einzusparen und die zu deponierenden Aschemengen deutlich zu verringern.

Bei einer Mischung von 30 % des RMF PCC mit 70 % reinem PCC konnten ISO-Weißgrade von 90 % erreicht werden. Zum Vergleich: das reine PCC besaß eine Weiße von 96 %. Dagegen zeigte das RMF PCC höhere Opazitätswerte [24].

Das Verfahren befindet sich in der Anwendung.

Im SERECARB-Projekt der Papiertechnischen Stiftung (PTS) ist ein Verfahren zur Aufbereitung von Deinkingschlämmen entwickelt worden.

Hierbei ist es gelungen, durch das Einblasen von CO_2 in den Schlamm und verschiedenen nachgeschalteten Filtrationsstufen sowie einer Präzipitierungsstufe ein CaCO_3 zu separieren (Abbildung 18, [27]).

Die vielversprechende Technologieentwicklung konnte jedoch bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit noch nicht vollständig überzeugen, so dass sich das Verfahren weiterhin in der Erprobungsphase befindet.

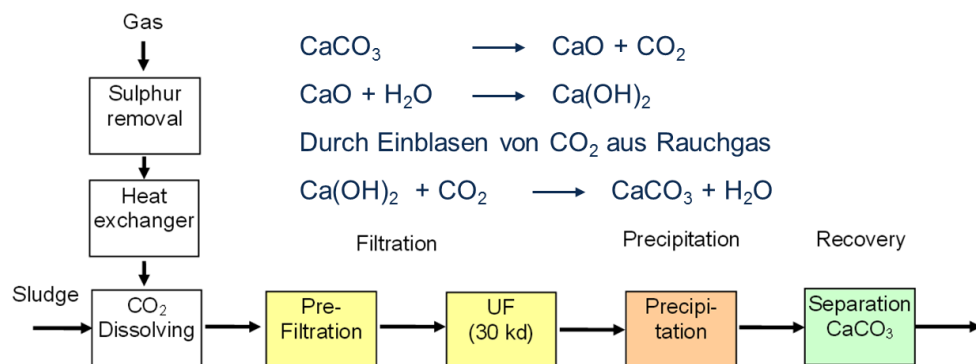


Abbildung 18: Gewinnung von PCC nach dem SERECARB-Prinzip [27]

5 Thermische Verwertung und Energiegewinnung

5.1 Verbrennung von Rejektschlämmen

Die Verbrennung von Schlämmen kann in modernen Wirbelschichtfeuerungsanlagen auch ohne Stützbrennstoff erfolgen (abhängig vom Feststoff- und Aschegehalt des Schlammes).

Bei einem Feststoffgehalt von 35-40 % kann von einer spontan einsetzenden Verbrennung ausgegangen werden.

Gemäß Bundesumweltamt kann davon ausgegangen werden, dass für die Verbrennung von Rejekten gilt:

Energieäquivalent: 1 t Rejekt (45 % Wassergehalt) ersetzt ungefähr 0,7 t Braunkohle [24].

Eine Befragung der Projektbegleiter zur Entsorgungssituation ihrer Reststoffe ergab die in Abbildung 19 dargestellte Zusammenfassung. Demnach lohnt der Betrieb einer eigenen Rejektverbrennungsanlage ab einer Jahresproduktion von ca. 200.000 t/a.

Trommel- und Pulperrejekte wurden aber trotz Überschreiten der genannten Produktionsmenge zum Teil extern entsorgt. Ein Grund hierfür ist die Auslegung der Brennerkessel, die bei Grobrejekten anders ist als die für Schlämme, sowie das hohe Maß an Verunreinigungen, welche sich im Grobrejekt befinden können. Eine entsprechende Aufbereitung (Metallabscheidung, etc.) ist oft zu teuer. Darüber hinaus müssen Chlorspitzen bei der Verbrennung vermieden werden, welche aus der Verbrennung von PVC-Resten entstehen können.

Bei besonders große Anlagen, wie der Papierfabrik ProPapier GmbH, Eisenhüttenstadt, findet eine Aufbereitung der Grobrejekte statt. In einer angeschlossenen Verbrennungsanlage werden die Reststoffe dann thermisch verwertet.

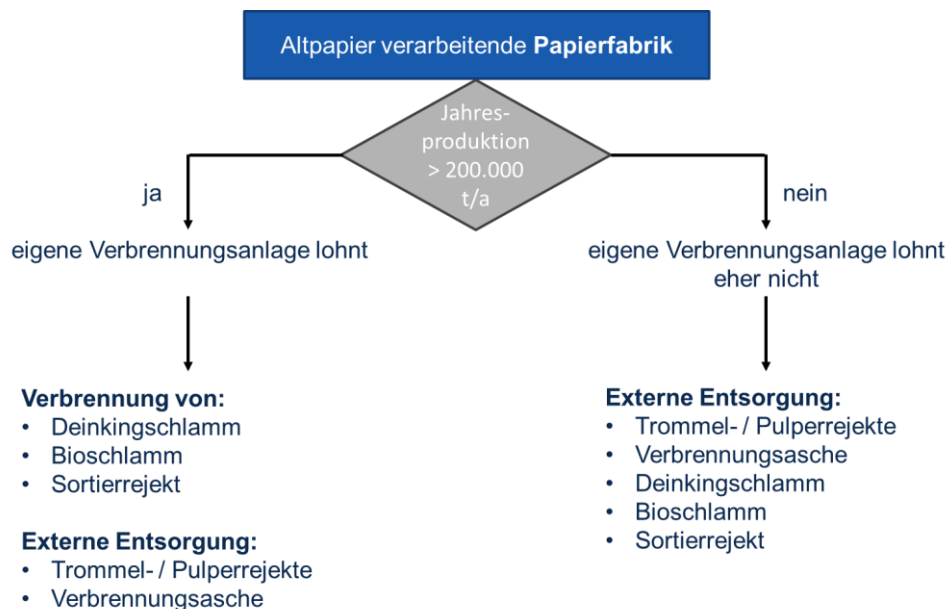


Abbildung 19: Wirtschaftlichkeit einer Verbrennungsanlage für Rejekte aus der Altpapieraufbereitung

Aufgrund des hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Reststoffe ist deren Trocknung die Voraussetzung für eine sinnvolle thermische Verwertung.

Nach dem Trocknungsschritt können die Reststoffe entweder direkt verbrannt oder einer Vergasungsanlage zugeführt werden. Alternativ erfolgt eine Pelletierung und somit die Herstellung eines Brennstoffes in einer gut dosierbaren Form [28].

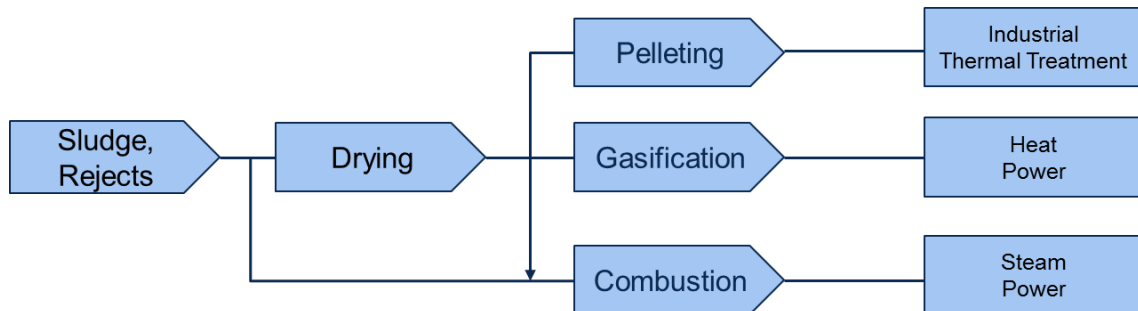


Abbildung 20: Mögliche thermische Verwertungswege für die Reststoffe der Altpapieraufbereitung [28]

5.2 Pyrolyse

Mittels Pyrolyse können organische Kohlenwasserstoffketten bei hohen Temperaturen unter Abwesenheit von Sauerstoff in kürzere Ketten gespalten werden. Dabei entstehen Pyrolysegase (kurze Ketten) oder Pyrolyseöle (lange Ketten), welche als Energieträger verbrannt werden können.

Wird ein Gemisch aus organischen Kohlenwasserstoffen (z. B. Fasern) und anorganischen Bestandteilen pyrolysiert, so werden wie angedeutet die Kohlenstoffketten gekürzt und Gas sowie Öl erzeugt. Gleichzeitig gibt das Gemisch seine anorganischen Bestandteile frei, ohne diese (aus chemischer Sicht) zu verändern. Grund hierfür ist die thermische Zerlegung unter Ausschluss von Sauerstoff.

Das spanische Unternehmen Alucha S.A. aus Barcelona stellte 2013 ein Pyrolysesystem sowie ihre Untersuchung zur Behandlung von typischen Reststoffen der Papierindustrie vor [29]. Folgende Reststoffgruppen wurden untersucht:

- Kartonagen zur Getränkeverpackungen (mit Aluminiumbarriereschicht),
- Deinkingschlämme,
- gemischte Plastikabfälle (Grobprojekte).

Mittels Pyrolyse werden die organischen Verbindungen zu Öl und Gas aufgespalten, die anorganischen Bestandteile zurückgewonnen. Im Falle der gemischten Plastikabfälle stellt die PVC-Fraktion aufgrund ihres Chlorgehaltes eine Limitierung des Verfahrens dar. Bei der Pyrolyse von Getränkeverpackungen konnte das Aluminium mit hoher Reinheit zurückgewonnen werden.

Bei der Pyrolyse von Deinkingschlämmen ist es gelungen, die mineralischen Füllstoffe zurück zu gewinnen. Eine Pilotanlage wurde bereits errichtet, ein kommerzieller Betrieb ist für 2014 erwartet.

6 Zusammenfassung und Fazit

Das Ziel, einen ökonomischen und ökologischen Mehrwert aus den Nebenprodukten und Reststoffen der Papierindustrie zu generieren, kann dann erreicht werden, wenn es gelingt, Produkte zu definieren, die sowohl vom Markt angenommen als auch unter wirtschaftlichen Aspekten produziert werden können.

Eine weitere Voraussetzung ist die möglichst sortenreine Abscheidung von Fraktionen aus den Reststoffen und deren Bereitstellung in einer für die Weiterverarbeitung geeigneten Form.

Sowohl bei der wirtschaftlichen Erzeugung der Fraktionen mit hoher Selektivität als auch bei der Bereitstellung, z. B. in einem möglichst trockenen Zustand, gibt es gegenwärtig viele Probleme, so dass eine direkte Weiterverarbeitung meist scheitert.

Möglichkeiten für eine stoffliche Nutzung der Reststoffe der Papierindustrie scheinen dann gegeben zu sein, wenn diese keine weiteren oder nur geringfügig mechanische Trenn- und Separierungsprozesse vor ihrer Weiterverarbeitung benötigen (Gipsfaserplatte, Absorber, PPC). Jedoch stellt meist die Notwendigkeit einer Trocknung der Reststoffe die Wirtschaftlichkeit in Frage.

Seitens der industriellen Forschung wird der Herstellung von Plattformchemikalien aus faserhaltigen Reststoffen der Papierindustrie weiterhin ein hohes Potenzial unterstellt. Jedoch besteht bis jetzt die noch nicht gelöste Aufgabe einer effektiven Trennung von Organik und Anorganik im Bereich der faserhaltigen Schlämme.

Möglichkeiten zur effektiven Trocknung faserhaltiger Reststoffe sowie die Suche nach Möglichkeiten zur Abtrennung von mineralischen Komponenten von den Fasern sollten deshalb in Zukunft im Vordergrund weiterer Anstrengungen stehen.

- [1] W. Schwetlik, *Ökologische Sicherheit in der Zellstoff- und Papierindustrie*, Bde. %1 von %2Scientific Publication 3-2008, IIA International Informatization Academy, 2008.
- [2] N.N., *Unfold the Future- 2050 Roadmap to a low-carbon bio-economy*, Brüssel: CEPI, 2011.
- [3] F. Schütt und H. Jung, *Reststoffe der Papierindustrie – Status Quo*, München: Papiertechnische Stiftung (PTS), 2013.
- [4] H. Jung, J. Kappen und A. Götz, *Aufkommen und Verbleib der Rückstände aus der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie*, Papiertechnische Stiftung (PTS), 2011.
- [5] N.N., „Abfallsteckbrief - 0303 Papierherstellung aus Altpapier,“ 2012. [Online]. Available: www.abfallbewertung.org. [Zugriff am 19. April 2014].
- [6] N.N., „Abfallsteckbrief - 0303 Zellstoffherstellung,“ 2012. [Online]. Available: www.abfallbewertung.org. [Zugriff am 19. April 2014].
- [7] N.N., „Papier 2013 - ein Leistungsbericht,“ Verband deutscher Papierfabriken VdP, Bonn, 2013.
- [8] J. Sommer, R. Trumpf und A. Haas, *Reststoffverwertung in der Papierindustrie am Beispiel des Heizkraftwerkes Wörth der Papierfabrik Palm - Konzept, Realisierung, Inbetriebnahme und erste Betriebserfahrungen* -, B. A. u. E. -. O. d. Abfallverbrennung, Hrsg., 2009.
- [9] AMAND GmbH & Co. KG, *Gesprächsprotokoll zur Reststoffverwertung*, Dresden, 2013.
- [10] Entsorgungsdienste Lang GmbH, *Gesprächsprotokoll zur Reststoffverwertung*, 2013.
- [11] N.N., „Wikipedia - Plattformchemikalie,“ [Online]. Available: <http://de.wikipedia.org/wiki/Plattformchemikalie>. [Zugriff am 24. März 2014].
- [12] N.N., „Flottweg - Sorticanter,“ [Online]. Available: <http://www.flottweg.de/germany/zentrifugen/sorticanter/kunststoffrecycling.html>. [Zugriff am 25 März 2014].
- [13] Steiger; Flottweg SE, „Schleuderversuch Deinkingabfall (1),“ Vilsbiburg, 2013.
- [14] Steiger; Flottweg SE, „Schleuderversuch Deinkingabfall (2),“ Vilsbiburg, 2013.
- [15] S. Schabel, G. Hirsch, H. Nirschel und M. Feist, „Trennung von organischen und anorganischen Feinstoffen aus Altpapiersuspensionen,“ Darmstadt, 2009.
- [16] F. Schütt, C. Seidemann und J. Kappen, „Entwicklung eines Verfahrens zur erstmaligen zur Koppelnutzung von Altpapier und Lävulinsureherstellung,“ Papiertechnische Stiftung PTS, Heidenau, 2011.
- [17] R. Seltner, „Koppelnutzung von Altpapier - Entwicklung eines Konzeptes zur Faserstofftrennung unter dem Aspekt der erstmaligen Koppelnutzung von Altpapier zur Verpackungspapierherstellung und Verwendung in chemischen Umwandlungsverfahren,“ Dresden, 2011.
- [18] F. Černec, *Conversion of paper mill sludge into absorbents (CAPS)*, PTS-Seminar RK 1326 Rohstoff-Alternativen, Reststoff-Nutzung: Neue Ressourcenkonzepte für die Papierherstellung, 2013.
- [19] N.N. - TEC Ltd., „Cab Sorb,“ [Online]. Available: <http://www.toc.si/caps/pdf/brosura-capsorb.pdf>. [Zugriff am 27. März 2014].
- [20] S. Brandt, „Einsatz von Reststoffen der Papierherstellung in Bauwerkstoffen,“ Papiertechnische Stiftung (PTS), München, 26.-27.6.2013.
- [21] M. Wanske, P.-G. Weber, H. Großmann, S. Siwek, F. Jornitz, A. Wagenführ und S. Bürgermeister, „Paper-Polymer-Composites - neuartige Biokompositwerkstoffe,“

Dresden, 03.04.2014.

- [22] H. Gabl und M. Waupotisch, „Erhöhung der Ausbeute bei der Erzeugung von Deinkingstoff durch den Einsatz des CleanFlot™-Systems,“ *Wochenblatt für Papierfabrikation*, pp. 8-14, 2004.
- [23] N.N., „SpeedWasher Selektive und effiziente Entaschung,“ Andritz AG, www.andritz.com.
- [24] N.N., Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken in der Zellstoff und Papierindustrie, Bundesumweltamt, 2003.
- [25] C. Finke, S. Karrer und M. Hilpert, „Streichfarbenrückgewinnung in der Papierproduktion,“ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2009.
- [26] J. A. Sohar und T. D. Young, „Recycling of mineral fillers from the residue of a paper deinking plant“. USA Patent US5759258 A, 02. Juni 1998.
- [27] N.N., „Selective Recovery of Calcium Carbonate in paper making effluents,“ Papiertechnische Stiftung PTS, Heidenau, 2010.
- [28] H. Gabl und M. Waupotitsch, *Rejektbehandlung in Altpapieraufbereitungslinien nach Stand der Technik*, Papiertechnische Stiftung (PTS), 2013.
- [29] G. Jansen und H. Bouma, *Recovering metals, minerals and bio-oil from complex papermaking side streams through pyrolysis*, Papiertechnische Stiftung (PTS), 2013.