



AiF-Forschungsvorhaben Nr. 17272 N

Laufzeit: 01.09.2011 – 28.02.2014

gefördert durch das BMWi aufgrund eines Beschlusses des
Deutschen Bundestages über die



Mineralölentfrachtung von Altpapierstoffen durch thermisch-mechanische Maßnahmen

Schlussbericht

Juni 2014

Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Papierfabrikation und
Mechanische Verfahrenstechnik
IfP-gGmbH

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel
Projektbearbeiter:
Dipl.-Ing. Christian Ewald
Dipl.-Chem. Antje Kersten

Zusammenfassung

Ziel dieses Projektes war die Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Mineralölentfrachtung von Altpapier basierend auf einer thermisch-mechanischen Behandlung. Dazu wurden die folgenden Verfahren und Verfahrenskombinationen auf ihre Entfrachtungseigenschaften und Betriebskosten im Labormaßstab untersucht und miteinander verglichen:

- Dampf- bzw. Heißluftbehandlung des trockenen Altpapiers vor der Zerfaserung,
- Dampfbehandlung während der Dispergierung im Knetter,
- Flotation der Stoffsuspension und
- Fraktionierung der Stoffsuspension mit anschließender Teilstrombehandlung.

Zur gezielten Bewertung der Mineralölentfernung fanden zunächst Untersuchungen an Wellpappe, Karton und Zeitungen statt, nach Optimierung der Prozesse wurde der Mineralölauftrag an zwei Modellmischungen überprüft. Als Grundlage für den Verfahrenvergleich wurden prozesstypische Kenngrößen wie maximaler Mineralölauftrag, Ausbeute, Kosten für Abluftreinigung und theoretischer Energiebedarf herangezogen.

Ergebnis der Untersuchung ist, dass sich Trennprozesse, wie Flotation und Wäsche, die bereits in Papierfabriken zum Einsatz kommen, durchaus zur Entfernung von Mineralölen eignen, jedoch hohe Verluste hervorrufen. Grund dafür ist eine starke Korrelation des Mineralölauftrags mit der spezifischen Oberfläche der Suspensionsbestandteile und im speziellen mit dem anorganischen Anteil. Um eine möglichst vollständige Entfrachtung des Faserstoffs von bis zu 85 % zu erzielen, bedarf es daher einer nahezu vollständigen Trennung von Füll- und Feinstoffen (Verluste zwischen 20 und 40 %). Hierbei eignet sich die Flotation etwas besser, da sie neben feinen Bestandteilen auch Partikel mit hydrophober Oberfläche wie Druckfarben selektiv abtrennt. Eine Anreicherung der Mineralöle in der Kurzfasernfraktion war nicht möglich.

Bei den thermischen Verfahren erzielt die Heißluftbehandlung des trockenen Altpapiers die höchste Effizienz, wobei die Behandlungsdauer und -temperatur einen entscheidenden Einfluss auf den Mineralölauftrag haben. So konnte bei einer Heißlufttemperatur von 150 °C eine Entfrachtung von über 90 % erzielt werden. Für einen kontinuierlichen Prozess mit Luftzirkulation konnte ein spezifischer Energiebedarf von lediglich 10 kWh/t errechnet werden. Allerdings ist in diesem Fall der kontinuierlich abgeführte Luftvolumenstrom verhältnismäßig hoch, wodurch hohe Kosten für die Abluftreinigung anfallen, sofern sich eine oxidative Zersetzung der Mineralöle bei der Energieerzeugung im Kraftwerk nicht umsetzen lässt. Daher kann es sinnvoll sein, einen energetisch ungünstigeren Prozess mit geringerem Abluftvolumenstrom zu wählen.

Bei den Untersuchungen mit Heißdampf an trockenem Altpapier konnte ein maximaler Mineralölauftrag von 70 % festgestellt werden, der deutlich geringer ausfällt als der der Heißluftbehandlung. Allerdings ist anzunehmen, dass sich unter Verwendung von überhitztem Dampf (im Zuge dieses Projekts nicht möglich) mit einer Dampftemperatur von 150 °C bei Normaldruck ein ähnlicher Mineralölauftrag wie bei der Heißluftbehandlung einstellt. Nachteil der Dampf- gegenüber der Heißluftbehandlung ist jedoch der um ein Vielfaches höhere Energiebedarf, der sich auf die Verdampfungsenthalpie zurückführen lässt. Zudem ist eine energetische Optimierung nur begrenzt möglich, da bei der Behandlung eine Kondens-

sation im Papier zu Gunsten eines optimalen Mineralölauftrags verhindert werden muss. Dies konnte für den Fall der Dampfbehandlung eingedickter Suspensionen sehr eindrucksvoll gezeigt werden. Der Mineralölauftrag lag bei diesem Prozess um ein Vielfaches geringer, was sich auf den hohen Wassergehalt im Faserstoff zurückführen lässt.

Zur Abluftreinigung ist bei der Dampfbehandlung eine Biofiltration vorzusehen, was die Kosten weiter erhöht und den Prozess verglichen mit der Heißluftbehandlung (hier wurde eine Adsorption an Aktivkohle vorgesehen) unattraktiv macht. Nachteil beider thermischen Verfahren ist, dass zugunsten einer optimalen Anströmung die Altpapierbestandteile in einer möglichst gleichen Größenverteilung vorliegen sollten.

Auch eine Teilstrombehandlung der Feinstoffe nach einer Drucksortierung oder Wäsche wurde im Zuge der Untersuchungen analysiert. Hier zeigt sich, dass die Flotation als Teilstrombehandlung ungeeignet ist, da sehr hohe Verluste auftreten und der Mineralölauftrag mit maximal 76 % verglichen mit den anderen Prozessen gering ausfällt. Alternativ wäre eine Heißluftentfrachtung der Feinstoffe denkbar, wobei erhebliche Energiemengen zur Trocknung der Feinstoffe benötigt würden, was die Verfahrenskombination ebenfalls unattraktiv macht.

Demnach fielen die Betriebskosten der Heißluftbehandlung von trockenem Altpapier am niedrigsten aus, gefolgt von der Heißdampfbehandlung mit überkritischem Dampf. Alle anderen Prozesse und Verfahren erfordern nach den im Labormaßstab durchgeführten Untersuchungen deutlich höhere Betriebskosten und erzielen wesentlich niedrigere Mineralölentfrachtungen.

Inhalt

Zusammenfassung	II
Inhalt.....	IV
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	1
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Stand der bisherigen Forschung	4
1.2.1 Migration von Mineralölen in Lebensmittel	4
1.2.2 Wechselwirkungen zwischen Lebensmittel und bedruckter Verpackung.....	6
1.2.3 Testmethoden zur Bestimmung von Verunreinigungen durch Kohlenwasserstoffe	7
1.2.4 Druckfarben und ihre Mineralölanteile	9
1.2.5 Entfrachtung von Lebensmittelkontaktpapieren	12
1.2.6 Tastversuche vor Projektstart zum gezielten Austrag von SVOC-Stoffen aus der Faserstoffsuspension	14
2 Forschungsziel / Lösungsweg	16
2.1 Forschungsziel.....	16
2.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse	16
2.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	16
2.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	17
2.2.1 Dampf- und Heißluftbehandlung vor der Zerfaserung.....	20
2.2.2 Dampfbehandlung während der Dispergierung im Knetter	21
2.2.3 Flotation der Faserstoffsuspension.....	23
2.2.4 Fraktionierung der Stoffsuspension	24
2.2.5 Abschätzung der Wirtschaftlichkeit	27
2.2.6 Arbeitsschritte	27
2.2.7 Personaleinsatz	28
3 Untersuchung und Ergebnisse	29
3.1 Auswahl der Rohstoffe	29
3.1.1 Ergebnisse Gemischtlagerung	30
3.2 Hitzebehandlung vor der Zerfaserung	31
3.2.1 Heißluft.....	31
3.2.2 Heißdampf.....	37

3.3	Entfrachtung eingedickter Faserstoffe	42
3.4	Entfrachtung bei der Flotation	46
3.5	Mineralölanreicherung durch Fraktionierung	53
3.5.1	Teilstrombehandlung der angereicherten Fraktion	57
3.6	Auslegung der Abluftreinigung	59
3.7	Wirtschaftlichkeitsschätzung und Verfahrensvergleich	61
3.8	Schlussfolgerung	66
3.8.1	Erreichen der geplanten Ziele	67
4	Bedeutung der Forschungsergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)	68
4.1	Voraussichtlicher Nutzen der angestrebten Forschungsergebnisse	68
4.2	Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit	68
4.3	Aussagen zur voraussichtlichen Umsetzung der FuE-Ergebnisse	69
5	Ergebnistransfer	70
6	Danksagung	71
7	Literaturverzeichnis	72
8	Anhang	78
8.1	Gemischtlagerung	78
8.2	Heißluftbehandlung	79
8.3	Heißdampfbehandlung	82
8.4	Dampfbehandlung unter Vakuum	87
8.5	Mineralölflotation	87
8.6	Dampfbehandlung im Knetter	90
8.7	Fraktionierung und Teilstrombehandlung	91
8.7.1	Ergebnisse Teilstrombehandlung	91