

IGF-Forschungsvorhaben Nr. 17496 N

Laufzeit: 01.08.2012 – 31.07.2015

gefördert durch das



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

über die



Modellierung und systematische Bewertung von Altpapiersortieranlagen

Schlussbericht

Oktober 2015

Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Papierfabrikation und
Mechanische Verfahrenstechnik

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel
Projektbearbeiter:
M.Sc. Anke Gottschling

Modellierung und systematische Bewertung von Altpapiersortieranlagen

IGF-Vorhaben AiF 17496 N

Zusammenfassung

Anke Gottschling, M. Sc.
Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik
2016



Kontakt:

Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Papierfabrikation und
Mechanische Verfahrenstechnik PMV
Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel
Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz
Anke Gottschling, M. Sc.
Alexanderstraße 8
D-64283 Darmstadt
Phone: +49 6151 16-2154
Fax: +49 6151 16-2454
E-Mail: schabel@papier.tu-darmstadt.de



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 17496 N der Forschungsvereinigung Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

In Altpapiersortieranlagen wird gesammeltes Altpapier einer trockenen mechanischen Aufbereitung unterzogen, um es als Rohstoff für die Papierherstellung bereitzustellen. Im Zusammenhang mit der Planung und dem Betrieb dieser Anlagen ergeben sich Fragestellungen, bei deren Bearbeitung sich der Einsatz von Fließschemasimulationswerkzeugen anbietet. Bei der Fließschemasimulation werden verfahrenstechnische Prozesse mittels eines Netzwerks aus Stoffströmen und Grundoperationen abstrahiert, sodass sie virtuell untersucht werden können.

Aufgrund fehlender Werkzeuge konnte das Potential von Fließschemasimulationen zum Startzeitpunkt des Projekts allerdings nicht für die Altpapiersortierung erschlossen werden.

Das Hauptziel des Projekts war es deshalb, Werkzeuge zur Fließschemasimulation von Altpapiersortieranlagen zu entwickeln. Folgende Werkzeuge wurden erstellt:

- Modelle für in der Praxis relevante Teilprozesse,
- Fließschemasimulationsumgebung,
- Datenstruktur zur Beschreibung der Materialströme,
- Vergleichsdaten von Eingangs- und Ausgangsströmen zur Beurteilung der Ergebnisse von Simulationen.

Zu Beginn des Projekts wurde das Grundmodell für Teilprozesse erarbeitet. Dieses basiert auf Massenbilanzen und wurde anschließend auf Teilprozesse der Altpapiersortierung angewendet. Folgende Teilprozesse wurden modelliert:

- Mischung,
- Teilung,
- Siebung mittels Ballistikseparator,
- Siebung mittels Scheibensieb,
- Siebung mittels Sternsieb,
- Paperspikeprozesse,
- automatische Klaubung mittels Spektroskopie-Technik,
- händische Klaubung.

Ebenfalls auf dem Grundmodell aufbauend wurde die Datenstruktur zur Beschreibung der Materialströme erstellt.

Nach den grundlegenden Arbeiten wurde ein Analysegerät entwickelt, das es ermöglicht, die Zusammensetzung und Teilchengrößenverteilungen von Altpapierproben mit relativ geringem Aufwand zu bestimmen. Dieses Gerät, als automatische Messanlage bezeichnet, wurde genutzt, um Proben aus fünf industriellen Altpapiersortieranlagen zu analysieren. Die Daten,

die dadurch über Materialströme in den Sortieranlagen gewonnen wurden, können nun als Vergleichsdaten für Fließschemasimulationen eingesetzt werden. Sie wurden aber auch dazu verwendet, Parameter der modellierten Teilprozesse zu bestimmen.

Diese Parameteranpassung hat gezeigt, dass Wellpappen in den Grobsiebprozessen ein anderes Verhalten als Objekte aus den übrigen Materialklassen aufweisen. Die Trennfunktionen der Wellpappen sind gegenüber denen der übrigen Materialklassen nach rechts verschoben. Dies bedeutet, dass ein Stück Wellpappe bei gleicher Objektgröße mit höherer Wahrscheinlichkeit ins Grobgut gelangt. Hinzu kommt, dass im Eingangsmaterial von Altpapiersortieranlagen im Längenbereich oberhalb von 500 mm nahezu ausschließlich Wellpappen zu finden sind.

Die Ergebnisse der Parameteranpassung der restlichen Teilprozesse können wie folgt zusammengefasst werden: Die Materialklassen der grafischen Papiere werden sowohl durch den Paperspikeprozess als auch durch die händische Klaubung kaum beeinflusst und verbleiben somit wie gefordert im Akzeptmaterialstrom. Demgegenüber entfernt die automatische Klaubung nicht zu vernachlässigende Mengen dieser Papiere aus dem Akzeptmaterialstrom. Wellpappen werden gut bis sehr gut abgetrennt. Allerdings werden bei der automatischen Klaubung Wellpappen weiß etwas schlechter entfernt als Wellpappen braun. Die Materialklassen Karton und Pappe grau, braun sowie Faserguss werden in der Gesamtbetrachtung eher schlecht abgetrennt. Da diese Materialklassen für das Deinking ungeeignet sind, sind für deren Abtrennung Prozessverbesserungen oder -entwicklungen empfehlenswert.

Am Ende des Projekts wurde eine Fließschemasimulationsumgebung programmiert und es wurden mit den Teilprozessmodellen Simulationen zu zwei Beispielanlagen durchgeführt. Durch die Betrachtung unterschiedlicher Szenarien konnten Verbesserungsmöglichkeiten für Altpapiersortieranlagen aufgezeigt werden.

Der vollständige Schlussbericht zu diesem Forschungsvorhaben ist über das Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik (PMV) der Technischen Universität Darmstadt (Kontakdaten siehe oben) erhältlich. Zusätzlich werden die Ergebnisse im Laufe des Jahres 2016 in Form einer Dissertation veröffentlicht.

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Motivation.....	1
2	Zielstellung.....	3
3	Vorgehen.....	4
4	Modellierung Teilprozesse.....	5
4.1	Teilprozesse.....	9
4.1.1	Mischung.....	9
4.1.2	Gleichmäßige Teilung.....	10
4.1.3	Siebklassierung.....	10
4.1.4	Paperspikeprozesse.....	17
4.1.5	Klaubung.....	18
5	Entwicklung der Datenstruktur.....	19
5.1	Materialklassen.....	20
5.2	Eigenschaften.....	21
6	Entwicklung einer automatischen Messanlage.....	22
6.1	Anforderungsliste.....	22
6.2	Funktionsstruktur.....	24
6.3	Lösungsvarianten für Teilfunktionen.....	26
6.4	Gesamtanlagenkonzept.....	34
6.4.1	Ursprüngliches Konzept.....	35
6.4.2	Modifiziertes Konzept.....	36
6.5	Umsetzung mechanischer Aufbau.....	36
6.5.1	Ursprüngliche Anlage.....	37
6.5.2	Umgebaute Anlage.....	40
6.6	Umsetzung Steuerung.....	40
6.7	Analysesoftware.....	41
6.7.1	Bildsegmentierung.....	42
6.7.2	Berechnung flächige Abmaße.....	43

6.7.3	Berechnung flächenbezogene Masse.....	44
6.7.4	Extraktion von Farb-, Muster- und Formeigenschaften sowie der Höhe	44
6.7.5	Automatische Objekterkennung	46
6.8	Probelaufe.....	47
6.8.1	Vereinzelnung	47
6.8.2	Automatische Objekterkennung	49
7	Datenerfassung	54
7.1	Probenahmemethode	54
7.1.1	Auffangen.....	55
7.1.2	Abräumen am Band.....	56
7.1.3	Entnahme aus Bunker.....	56
7.1.4	Entnahme aus Haufwerk	56
7.2	Bestimmung der Massenströme	58
7.3	Durchführung	60
7.4	Probenanalyse.....	60
7.5	Ergebnisse	61
8	Anpassung der Modellparameter.....	66
8.1	Methoden.....	66
8.1.1	Siebklassierung.....	66
8.1.2	Paperspikeprozesse und Klaubung.....	67
8.2	Ergebnisse und Diskussion.....	70
8.2.1	Siebklassierung.....	70
8.2.2	Paperspikeprozesse und Klaubung.....	78
9	Simulationsumgebung	88
9.1	Grafische Benutzeroberfläche	88
9.2	Materialstromobjekt	89
9.3	Apparatemodelle	90
9.4	Simulationsmaschine.....	90

10	Simulationen.....	91
10.1	Anlage A	91
10.2	Anlage B.....	93
11	Zusammenfassung und Fazit.....	95
12	Verwendung der Zuwendung	97
12.1	Zuwendung und Ergebnisse gegenüber den Projektzielen.....	97
12.1.1	Teilziel 1.....	97
12.1.2	Teilziel 2.....	97
12.1.3	Teilziel 3.....	98
12.1.4	Teilziel 4.....	98
12.1.5	Teilziel 5.....	98
12.2	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	99
13	Nutzen der Ergebnisse.....	100
13.1	Wissenschaftlich-technischer Nutzen	100
13.2	Industrielle Anwendungsmöglichkeiten und wirtschaftlicher Nutzen (insbesondere für KMU).....	100
13.3	Innovativer Beitrag.....	101
14	Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....	102
14.1	Bisher durchgeführte Maßnahmen	102
14.2	Geplante Maßnahmen nach Projektende	104
	Tabellenverzeichnis.....	CV
	Abbildungsverzeichnis	CVI
	Literaturverzeichnis.....	CIX
A	Anhang	CXI
A.1	Datenstruktur: Materialklassen.....	CXI
A.2	Zeichnungen der Messanlage	CXV
A.3	Datenblätter und technische Spezifikationen.....	CXVIII
A.3.1	Durchlaufwaage	CXVIII

A.3.2 Kameras	CXXI
A.3.3 Beleuchtung	CXXV
A.4 Detaillierte Beschreibungen zu den Eigenschaften in der Bildanalyse	CXXVIII
A.4.1 Farbe.....	CXXVIII
A.4.2 Form.....	CXXXI
A.4.3 Muster	CXXXIII
A.4.4 Optische Aufheller	CXXXV
A.5 Ergebnisse der statistischen Analysen zu den Eigenschaften zur Objekterkennung CXXXVII	
A.6 Übersicht der untersuchten Sortieranlagen.....	CXLV
A.6.1 Anlage Nr. 1.....	CXLV
A.6.2 Anlage Nr. 2.....	CXLV
A.6.3 Anlage Nr. 3.....	CXLVI
A.6.4 Anlage Nr. 4.....	CXLVIII
A.6.5 Anlage Nr. 5.....	CL