

Altpapierfeinstoffe – Trennbarkeit und Festigkeitspotenzial

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des Grades
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Georg Friedrich Hirsch
aus Ubstadt-Weiher

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Techn. Wolfgang Bauer

Tag der Einreichung: 20. August 2012

Tag der mündlichen Prüfung: 19. November 2012

Darmstadt 2012

D 17

GEORG HIRSCH
HRSG. SAMUEL SCHABEL

ALTPAPIERFEINSTOFFE – TRENNBARKEIT UND FESTIGKEITSPOTENZIAL

FORTSCHRITT-BERICHTE
PAPIERTECHNIK

10

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2012

Copyright Shaker Verlag 2013

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1668-0

ISSN 1865-7419

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Für die Möglichkeit, diese Arbeit zu erstellen, sowie für die Förderung und Unterstützung möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel herzlich danken. Herrn Prof. Dr. Techn. Bauer danke ich für die Bereitschaft, die Mitberichterstattung dieser Arbeit zu übernehmen.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz und Herrn Dipl.-Ing. Dennis Voß für die Diskussionen und Anregungen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Mein Dank gilt auch meinen Kollegen und allen anderen Mitarbeitern des Fachgebiets Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik für die spannende und interessante Zeit.

Allen Studenten, deren Studien- und Diplomarbeiten in diese Arbeit eingeflossen sind, sowie allen studentischen Hilfskräften, die mir bei der experimentellen Durchführung geholfen haben, danke ich für die tatkräftige Unterstützung und gute Zusammenarbeit.

Meiner Frau Stefani, meinen Eltern und meinem Bruder danke ich für ihre Geduld, ihre Unterstützung und ihr Verständnis.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Arbeit, abgesehen von den in ihr ausdrücklich genannten Hilfen, selbständig verfasst zu haben.

20.08.2012,

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters that appear to be 'HAN'.

Datum, Unterschrift

Zusammenfassung

Altpapierstoffsuspensionen enthalten neben Fasern auch viele Feinstoffe. Diese Feinstoffe setzen sich zum größten Teil aus Faserfeinstoffen und anorganischen Partikeln zusammen. Da der Anteil an anorganischen Partikeln im Altpapier mittlerweile so hoch ist, dass die Papierproduktion oder Produktqualität negativ beeinflusst werden, ist es sinnvoll zumindest anorganische Partikel gezielt aus dem Altpapier auszuschleusen. Wie gut sich anorganische Partikel aus Altpapierstoffsuspensionen entfernen lassen und ob es auch sinnvoll ist, Faserfeinstoffe aus Altpapierstoffsuspensionen zu entfernen, ist bisher unklar. Diese beiden Punkte werden in der vorliegenden Arbeit näher beleuchtet.

Eine gezielte Entfernung von Feinstoffen aus Altpapierstoffsuspensionen bringt eine Verringerung des anorganischen Anteils im Faserstoff mit sich. Dabei gehen aber auch Faserfeinstoffe verloren und zwar in gleichem Maße wie anorganische Partikel. Die Auswirkung auf Festigkeitseigenschaften ist bei verschiedenen Altpapiersorten unterschiedlich. Während die Altpapierstoffe, die ausschließlich oder überwiegend aus gestrichenen Altpapieren bestehen, Verbesserungen in Bruchkraft und Weiterreißarbeit aufweisen, wenn Feinstoffe entfernt werden, ist bei Faserstoffen aus alten Zeitungen nahezu keine Änderung zu erkennen. Bei Altpapierstoffen aus Wellpappe und bei Industriefaserstoffen für Hygienepapiere und für Wellpappenrohapiere sind Verschlechterungen in der Bruchkraft zu sehen. Die Weiterreißarbeit hingegen bleibt bei diesen Faserstoffen nahezu konstant.

Die Feinstoffe, die in Altpapierstoffsuspensionen vorkommen, liegen überwiegend als Faserfeinstoff-Mineralien-Agglomerate vor. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich durch Blattbildung, Papiertrocknung und Anwesenheit von Retentionsmittel Agglomerate zwischen den Faserfeinstoffen und Füllstoffen bilden, die so scherstabil sind, dass sie einen Zerfaserungsprozess mindestens teilweise unbeschadet überstehen.

Dadurch, dass die Faserfeinstoffe mit anorganischen Partikeln Agglomerate bilden, also mit anorganischen Partikeln belegt sind, verändern sich die Festigkeitseigenschaften der Faserfeinstoffe. Faserfeinstoffe wirken grundsätzlich festigkeitssteigernd. Sie verstärken das Fasergefüge im Papier. Je stärker die Faserfeinstoffe aber mit anorganischen Partikeln beladen sind, desto geringer wird die festigkeitssteigernde Wirkung. Die Beladung der Faserfeinstoffe mit anorganischen Partikeln begrenzt die maximal mögliche Verstärkung des Fasergefüges. Somit besitzen organisch angereicherte Feinstoffe ein höheres Festigkeitspotenzial als

die Feinstoffe, wie sie im Altpapier vorliegen. Die Höhe des Festigkeitspotenzials hängt aber auch von der Feinstoffart, also aus welchem Altpapier die Feinstoffe stammen, ab.

Um Faserfeinstoffe aus den Altpapierfeinstoffen abzutrennen und ihr Festigkeitspotenzial nutzen zu können, müssen die Faserfeinstoff-Mineralien-Agglomerate aufgebrochen werden. Hierzu sind Scherkräfte, wie sie bei einer Knetdispergierung entstehen, nötig. Der Erfolg der Dispergierung hängt vom Energieeintrag ab und spiegelt sich in der Veränderung des normierten Medianwerts $x_{50,3}$ (Quotient aus Medianwert behandelte Suspension und Medianwert unbehandelte Suspension) wieder. Je höher der Energieeintrag, desto kleiner ist der normierte Medianwert und desto besser funktioniert die Dispergierung. Die nötige Energie für eine gute Dispergierung ist für verschiedene Feinstoffarten (Feinstoffe aus verschiedenen Altpapieren) unterschiedlich.

Sind die Agglomerate zerstört, lassen sich die Feinstoffe mittels Flotation und Sedimentation in eine organisch und eine anorganisch angereicherte Fraktion auftrennen. Die Trennung mit beiden Verfahren lässt sich mathematisch über eine gebrochenrationale Funktion aus Überlaufrate und Trenngrad beschreiben. Die Schärfe der Trennung ist von mehreren Prozessparametern aber auch vom Erfolg der vorangeschalteten Dispergierung abhängig.

Der Einfluss der Feinstoffe im Papier auf Bruchkraft und Weiterreißarbeit hängt neben ihrem Festigkeitspotenzial auch von ihrem Anteil im Papier ab. Bezüglich der Bruchkraft gibt es mindestens ein geeignetes Mischungsverhältnis zwischen Faser- und Feinstoff, bei welchem die Bruchkraft maximal wird. Die Weiterreißarbeit nimmt mit hohen Feinstoffanteilen ab, bleibt aber bis Feinstoffanteilen von 30 % nahezu konstant. Sowohl der Zusammenhang zwischen Bruchkraft und Feinstoffanteil als auch der Zusammenhang zwischen Weiterreißarbeit und Feinstoffgehalt lässt sich mit einem Polynom dritten Grades gut beschreiben.

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung	1
2	Wissensstand Feinstoffe	5
2.1	Definition von Feinstoffen	5
2.2	Eigenschaften von Feinstoffen	6
2.2.1	Eigenschaften von frisch erzeugten Faserfeinstoffen	7
2.2.2	Eigenschaften von reinen Mineralien	10
2.2.3	Eigenschaften von Feinstoffen in Altpapierstoffsuspensionen	11
2.2.4	Einfluss der Faserfeinstoff- und Füllstoffmenge auf Festigkeitseigenschaften von Papier	12
2.3	Entstehung des Faserfeinstoff-Mineralien-Agglomerats	17
2.4	Bewertung der Qualität von Faserfeinstoffen	18
2.5	Trennung der Faserfeinstoffe von Mineralien	19
3	Arbeitshypothesen und Zielstellung	21
3.1	Vorbemerkung	21
3.2	Hypothese 1: Das Faserfeinstoff-Mineralien-Agglomerat	21
3.3	Hypothese 2: Die Qualität des Faserfeinstoff-Mineralien-Agglomerats	21
3.4	Hypothese 3: Die Zerstörung des Faserfeinstoff-Mineralien-Agglomerats	22
3.5	Hypothese 4: Die Qualität der Faserfeinstoffe nach Trennung von Mineralien	22
3.6	Zielstellung	22
4	Versuchsplanung und Versuchsdurchführung	23
4.1	Versuchsplan	23
4.2	Verwendete Materialien	24
4.3	Messmethoden und Laborgeräte	26
4.3.1	Laborsortierzelle	26

4.3.2	Gegenstromsedimentationszelle	26
4.3.3	Prüfung des anorganischen Anteils	28
4.3.4	Prüfung der Partikelgrößenverteilung	29
4.3.5	Prüfung der Faserfraktionsanteile.....	29
4.3.6	Prüfung der Bruchkraft.....	29
4.3.7	Prüfung der Weiterreißarbeit	29
4.4	Probenaufbereitung	29
4.4.1	Entfernung von Feinstoffen aus Altpapierstoffsuspensionen (Arbeitspaket 1).....	29
4.4.2	Blattbildung mit frischen Faser- und Füllstoffen (Arbeitspaket 2)	34
4.4.3	Beladung von Faserfeinstoffen mit Füllstoffen (Arbeitspaket 3).....	37
4.4.4	Zerstörung des Faserfeinstoff-Mineralien-Agglomerats in Altpapierfeinstoffssuspensionen (Arbeitspaket 4).....	38
4.4.5	Trennung der Faserfeinstoffe von Füllstoffen aus Altpapierfeinstoffssuspensionen (Arbeitspaket 5).....	41
4.4.6	Bewertung der Faserfeinstofffraktion (Arbeitspaket 6).....	45
5	Ergebnisse und Diskussion.....	47
5.1	Auswirkung der Entfernung von Feinstoffen aus Altpapierstoffsuspensionen	47
5.1.1	Entwicklung des Anorganischen Anteils durch eine gezielte Feinstoffentfernung	47
5.1.2	Auswirkung der Feinstoffentfernung auf Festigkeitseigenschaften	49
5.1.3	Zusammenfassung der Auswirkung einer Feinstoffentfernung aus Altpapierstoffsuspensionen.....	64
5.2	Entstehung des Faserfeinstoff-Mineralien-Agglomerats	65
5.2.1	Versuchsreihe mit Kiefersulfatzellstoff und Calciumcarbonat	66
5.2.2	Versuchsreihe mit Kiefern-Holzschliff und Calciumcarbonat	71

5.2.3 Zusammenfassung der Untersuchungen zur Entstehung des Faserfeinstoff-Mineralien-Agglomerats	74
5.3 Einfluss der Mineralienbelegung auf Festigkeitseigenschaften	75
5.3.1 Zusammenfassung des Einflusses der Mineralienbelegung auf Festigkeitseigenschaften	85
5.4 Vorbehandlung von Feinstoffsuspensionen aus Altpapierstoffsuspensionen	86
5.4.1 Wiederholbarkeit der Knetdispergierung	88
5.4.2 Einflüsse auf die Knetung	89
5.4.2.1 Feinstoffe vom ungestrichenen weißen Papier	89
5.4.2.2 Feinstoffe vom gestrichenen weißen Papier	95
5.4.2.3 Feinstoffe Zeitungen	106
5.4.3 Zusammenfassung zur Vorbehandlung von Feinstoffen	113
5.5 Trennung der Faserfeinstoffe von den Füllstoffen aus Altpapierfeinstoffsuspensionen	116
5.5.1 Einflussgrößen und Wiederholbarkeit bei der Trennung mittels Flotation	117
5.5.2 Einflussgrößen und Wiederholbarkeit bei der Trennung mittels Gegenstromsedimentation	126
5.5.3 Beschreibung der Trennung mittels Flotation und Gegenstromsedimentation	135
5.5.3.1 Auswahl einer geeigneten Trennfunktion	136
5.5.3.2 Auswirkung der Einflussgrößen auf den Koeffizienten b der Trennfunktion	139
5.5.4 Trennung von Feinstoffen aus alten Zeitungen	142
5.5.5 Zusammenfassung der Trennverfahren	144
5.6 Bewertung der Faserfeinstofffraktion aus Altpapierstoffsuspensionen	146
5.6.1 Zusammenfassung der Bewertung	154
5.7 Einfluss der Feinstoffanteils auf die Bruchkraft und Weiterreißarbeit	154

5.7.1	Zusammenfassung des Einflusses des Feinstoffanteils auf die Bruchkraft und Weiterreißarbeit	162
6	Ausblick	165
7	Abkürzungsverzeichnis	167
8	Verzeichnis der Formelzeichen und Indizes.....	169
9	Abbildungsverzeichnis	171
10	Tabellenverzeichnis	181
11	Literaturverzeichnis	185