



## **IGF-Forschungsvorhaben Nr. 18521 N**

Laufzeit: 01.12.2014 – 30.11.2017

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



### **Entwicklung einer Labormethode zur Bewertung des Mikro-Sticky-Potenzials von Klebstoffapplikationen in Faserstoffsuspensionen sowie zur Optimierung von Altpapieraufbereitungsanlagen**

**Schlussbericht**

**April 2018**

Technische Universität Darmstadt  
Fachgebiet Papierfabrikation und  
Mechanische Verfahrenstechnik

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel  
Projektbearbeiter:  
M. Sc. Robert Götzinger  
Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 18521 N

## Thema

Entwicklung einer Labormethode zur Bewertung des Mikro-Sticky-Potenzials von Klebstoffapplikationen in Faserstoffsuspensionen sowie zur Optimierung von Altpapieraufbereitungsanlagen

## Berichtszeitraum

01.12.2014 – 30.11.2017

## Forschungsvereinigung

Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e.V.


## Forschungseinrichtung

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik

Darmstadt, 12.04.2018

---

Ort, Datum

  
R. Göttinger, Dr.-Ing. H.-J. Putz

---

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der  
Forschungseinrichtung



Technische Universität Darmstadt  
Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik  
Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel  
Alexanderstr. 8  
64283 Darmstadt  
Telefon: 06151 / 16 22580  
Telefax: 06151 / 16 22581

## Zusammenfassung

Stickys sind nach wie vor ein sehr großes Problem beim Recycling von Altpapier. Während es für Makro-Stickys mit der INGEDE-Methode 4 [1] bzw. der TAPPI-Methode T277 [2] inzwischen standardisierte und weitverbreitete Messmethoden gibt, hat sich für den Bereich der Mikro-Stickys leider bisher noch keine der vielen schon vorgeschlagenen und diskutierten Methoden durchgesetzt.

Vom kanadischen Forschungsinstitut FPInnovations wurde auf dem Research Forum on Recycling 2013 [3] eine sehr interessante Mikro-Sticky-Bestimmungsmethode vorgestellt: Stoffproben werden hierbei unter Rührern in einem Becherglas eine Stunde lang bei Temperaturen von etwa 100 °C mit dem Ziel behandelt, Mikro-Stickys zu Makro-Stickys zu agglomerieren. Nach einer Abkühlphase von drei Stunden wird die Stoffprobe auf Makro-Stickys untersucht. Parallel wird von der gleichen, unbehandelten Stoffprobe ebenfalls der Makro-Sticky-Gehalt bestimmt. Aus der Differenz beider Messungen lässt sich dann der Mikro-Sticky-Gehalt berechnen.

Anders als die bisher veröffentlichten Mikro-Sticky-Methoden bietet die von FPInnovations vorgeschlagene Methode besondere Vorteile:

- Ein geringer apparativer Aufwand, da zur Auswertung etablierte Methoden verwendet werden können,
- durch Kombination der Makro- und Mikro-Sticky-Messmethoden lassen sich Stickys über ein großes Partikelgrößenspektrum bilanzieren,
- die Klebrigkeit dient auch als Klassifizierungsmerkmal von Mikro-Stickys und
- eine ausschließliche Detektion von Mikro-Stickys die potenziell agglomerieren können ist möglich.

Ziel des Forschungsprojektes war die Weiterentwicklung der vom kanadischen Forschungsinstitut FPInnovations vorgeschlagene Agglomerationsmethode [3], wobei die Einflussfaktoren auf die Agglomerations-Vorgänge systematisch untersucht wurden um eine optimale Versuchszeit und Versuchsgeometrie abzuleiten. Besonders berücksichtigte Parameter waren die Strömungsverhältnisse in der Agglomerationsapparatur und die eingestellten Randbedingungen (Feststoffkonzentration, Verweilzeit und Temperatur, Chemikalieneinsatz). Ein weiteres Augenmerk lag auf der Verbesserung der Wiederfindungsrate von Mikro-Stickys und einer Reduzierung des Zeitaufwands der Methode.

Es wurden Tests an einer Vielzahl von Klebstoffapplikationen und Industriestoffproben durchgeführt, um die Nutzbarkeit der Methode in einem breiten Anwendungsbereich zu verifizieren. Es dem Vorgehen und den gewonnenen Ergebnissen wurde eine Messvorschrift abgeleitet.

Aus den Untersuchungen der Modellsuspensionen geht hervor, dass der größte Flächenzuwachs durch Agglomeration bei Einsatz einer Standard-Deinkingchemikalienrezeptur nach INGEDE-Methode 11 [4] erreicht werden kann. Eine Untersuchung der vorherrschenden Oberflächenspannung lässt vermuten, dass niedrigere Oberflächenspannungen die Agglomeration begünstigen. Eine Abhängigkeit vom pH-Wert konnte nicht festgestellt werden. Die Rührergeometrie und Drehzahl hatten geringen Einfluss, wobei niedrige Drehzahlen tendenziell besser geeignet sind. Ebenso kann geschlussfolgert werden, dass tendenziell niedrige Stoffdichten die Agglomeration begünstigen. Die Zeit vom Aufwärmen der Suspension

bis zum Ende der Agglomeration wurde als „Agglomerationszeit“ zusammengefasst. Diese Zeit von 90 min kann nicht verkürzt werden. Die Abkühlung kann durch Wahl der entsprechenden Abkühlmethode verkürzt werden, wobei sich eine Abkühlung bei Raumtemperatur über Nacht als am besten praktikabel herausgestellt hat. Eine systematische Untersuchung verschiedener Klebstoffapplikationen zeigte, dass gut reemulgierbare Klebstoffe auch nach Agglomeration zu keiner oder sehr kleiner Sticky-Fläche führen, wohingegen schlecht reemulgierbare Klebstoffe ein größere Sticky-Fläche aufweisen. Allgemein hängt der Erfolg der Agglomeration von der Klebstoffrezeptur ab. Neben der Agglomeration der Klebstoffpolymere konnte eine Einlagerung von Füllstoffen nachgewiesen werden.

Das Agglomerationsverfahren ist bei Industriestoffproben durch die starke Beeinflussung durch Additive nicht allgemein anwendbar. Je nach Fabrik, eingesetzten Rohstoffen und Additiven, lässt sich eine Agglomeration nachweisen, wodurch eine Bilanzierung von Prozessstufen möglich wird, oder nicht.

## Inhalt

Zusammenfassung .....	3
1. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung .....	8
1.1. Ausgangssituation .....	8
1.2. Stand der Technik .....	8
1.2.1. Sticky-Klassifizierung .....	9
1.2.2. Schadenspotenzial von Stickys .....	10
1.2.3. Methoden zur Sticky-Bestimmung und ihre Einschränkungen .....	11
1.2.4. Agglomerationsmethode .....	13
1.3. Strömungsverhältnisse und Rührtechnik .....	15
1.4. Agglomerieren .....	16
2. Forschungsziel / Lösungsweg .....	20
2.1. Forschungsziel .....	20
2.2. Lösungsweg .....	21
2.2.1. Arbeitspaket 1: Nachstellen der bisher veröffentlichten Zusammenhänge .....	21
2.2.2. Arbeitspaket 2: Systematische Untersuchung der Strömungsverhältnisse und Turbulenzen während der Mikro-Sticky-Agglomeration .....	21
2.2.3. Arbeitspaket 3: Bewertung der Relaxationszeit nach Temperaturbehandlung .....	21
2.2.4. Arbeitspaket 4: Optimierung von Prozessbedingungen und Zellengeometrie zum Erzielen einer weitgehend vollständigen und schnellen Sticky-Agglomeration .....	21
2.2.5. Arbeitspaket 5: Aufnahme von Agglomerations-Zeit-Verläufen und Berechnung eines Modells zur Berechnung des absoluten Mikro-Sticky-Gehalts .....	22
2.2.6. Arbeitspaket 6: Systematische Bewertung verschiedener, praxisrelevanter Klebstoffapplikationen .....	22
2.2.7. Arbeitspaket 7: Überprüfung des Verfahrens an industriellen Stoffsuspensionen und Prozesswässern .....	22
2.2.8. Arbeitspaket 8: Evaluation sämtlicher Prozesse einer Stoffaufbereitung .....	22
2.2.9. Arbeitspaket 9: Ausarbeitung einer Prüfvorschrift für die neue Mikro-Sticky-Methode .....	22
2.2.10. Arbeitspaket 10: Auswertung, Datendokumentation, Berichterstattung .....	23
2.2.11. Personaleinsatz .....	23
3. Versuchsdurchführung .....	24
3.1. Randbedingungen .....	24

3.2.	Agglomerationsversuche .....	25
3.2.1.	Probenvorbereitung Modellsuspensionen.....	25
3.2.2.	Probenahme und -vorbereitung Industriestoffproben.....	26
3.2.3.	Agglomeration und Relaxation .....	27
3.2.4.	Sortierung .....	27
3.2.5.	Sticky-Bestimmung .....	28
3.2.6.	Berechnung der Wiederfindungsrate und des Agglomerationspotenzials .....	29
3.3.	Glührückstandbestimmung.....	30
3.4.	Oberflächenspannungsmessung.....	30
4.	Ergebnisse und Diskussion .....	32
4.1.	Ergebnisse zu Arbeitspaket 1 .....	32
4.1.1.	Nachstellung der bisher veröffentlichten Ergebnisse .....	32
4.1.2.	Auswertemethoden .....	33
4.2.	Ergebnisse zu Arbeitspaket 2.....	35
4.2.1.	Vorversuche.....	35
4.2.2.	Rührer & Rührerdrehzahl .....	36
4.2.3.	Stoffdichte und Deinkingchemikalien.....	38
4.2.4.	Überprüfung der Einstellungen an weiteren Klebstoffen.....	41
4.3.	Ergebnisse zu Arbeitspaket 3.....	42
4.4.	Ergebnisse zu Arbeitspaket 4.....	45
4.4.1.	Zellengeometrie .....	45
4.4.2.	Prozessbedingungen.....	46
4.5.	Ergebnisse zu Arbeitspaket 5.....	56
4.6.	Ergebnisse zu Arbeitspaket 6.....	59
4.7.	Ergebnisse zu den Arbeitspaketen 7 und 8 .....	62
4.8.	Ergebnisse zu Arbeitspaket 9.....	71
5.	Wirtschaftliche Bedeutung der Ergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)....	72
5.1.	Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit.....	72
5.2.	Aussagen zur voraussichtlichen Umsetzung der FuE-Ergebnisse .....	73
5.3.	Voraussichtlicher Nutzen der Forschungsergebnisse .....	74
6.	Ergebnistransfer .....	74
7.	Danksagung .....	76
8.	Verzeichnisse .....	76
8.1.	Abkürzungsverzeichnis .....	76
8.2.	Formelverzeichnis .....	76
8.3.	Abbildungsverzeichnis.....	77

8.4. Tabellenverzeichnis.....	79
8.5. Literaturverzeichnis .....	79
9. Anhang.....	82

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden von Zhou [5], Götzinger [6] und Helbrecht [7] studentische Arbeiten durchgeführt. Texte, Ideen und Ergebnisse aus den Arbeiten wurden in den vorliegenden Abschlussbericht übernommen.