



INFOR-Projekt Nr. 128

Erarbeitung von Rezyklierbarkeitsanforderungen für Verpackungen

Schlussbericht

Februar 2011

Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Papierfabrikation und
Mechanische Verfahrenstechnik

Papiertechnische Stiftung - PTS

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel

Projektbearbeiter:

Dipl.-Ing. Georg Hirsch

Dipl.-Ing. Dennis Voß

Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz

Dr. Frank Miletzky

Projektbearbeiter:

Dipl.-Ing. (FH) Johann Strauß

Schlussbericht INFOR-Projekt 128

Erarbeitung von Rezyklierbarkeitsanforderungen für Verpackungen

Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische
Verfahrenstechnik (PMV)
Technische Universität Darmstadt

Papiertechnische Stiftung (PTS)

Projektbearbeiter:

Dipl.-Ing. Georg Hirsch (PMV)

Dipl.-Ing. Dennis Voß (PMV)

Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz (PMV)

Dipl.-Ing.(FH) Johann Strauß (PTS)

Februar 2011



Projektbegleiter:

Herr Andreas Faul / INGEDE, Bietigheim-Bissingen

Herr Andreas Hacke / Gebr. Grünewald, Kirchhundem (Projektsprecher)

Herr Hermann Onusseit / Henkel, Düsseldorf

Herr Julian Pachniewski / VDW, Darmstadt

Herr Olaf Truppner / Smurfit Kappa, Hoya

Kontakt:

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet Papierfabrikation und

Mechanische Verfahrenstechnik

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel

Alexanderstr. 8

D-64283 Darmstadt

Telefon: +49 – 61 51 – 16 21 54

Fax: +49 – 61 51 – 16 24 54

E-Mail: Schabel@papier.tu-darmstadt.de

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Problemstellung.....	3
2 Forschungsziel und Lösungsweg	3
3 Prinzipielle Vorgehensweise	4
4 Probenmaterial, Geräte und Prüfmethoden	4
4.1 Probenmaterial.....	5
4.2 Probenvorbereitung	7
4.3 Geräte und Probenverarbeitung	8
4.3.1 Laborpulper und Laborzerfaserung.....	8
4.3.2 Technikumpulper und Technikumszerfaserung	8
4.3.3 Aggregat zur Grobsortierung	9
4.3.4 Haindl-Sortierer.....	11
4.3.5 Brecht-Holl Gerät.....	12
4.4 Prüfmethoden.....	12
4.4.1 Grobsortierung	12
4.4.2 Stippengehaltsbestimmung.....	12
4.4.3 Makro-Stickybestimmung.....	13
5 Ergebnisse	13
5.1 Vergleichende Untersuchungen bezüglich Stickyfragmentierung und Stippengehaltsentwicklung zwischen Labor- und Technikumszerfaserung	13
5.2 Kriterien zur Bewertung von Verpackungen.....	19
5.2.1 Rückstand der Grobsortierung	20
5.2.2 Stippengehalt.....	20
5.2.3 Makro-Stickyfläche	20
5.3 Labormethode zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen	23
5.4 Wiederholbarkeit der mit der neuen Labormethode erzielten Messergebnisse.....	26
5.5 Makro-Stickygehalt im nicht verklebten Verpackungsmaterial	31
5.6 Einfluss der Verschluss-Naht von Verpackungen auf die Ergebnisse der Bewertungskriterien	33
5.7 Vorstellung der bisherigen Datenbasis	38
6 Schlussfolgerungen und Ausblick.....	42
7 Literaturverzeichnis.....	43
8 Anhang	44

Zusammenfassung

Papierfabriken, die gemischtes Altpapier aufbereiten, kämpfen heute mehr oder weniger ständig mit Stickyproblemen. Um diese Probleme zu verringern, ist es sinnvoll, dass Papierprodukte recyclinggerecht produziert werden. Dafür müssen die Produkte einfach zerfaserbar sein und dürfen nur Klebstoffapplikationen enthalten, die sehr scherstabil sind und deswegen nur in große Partikel fragmentieren. Denn große Stickys können sehr effektiv mit der heutigen in den Papierfabriken installierten Trenntechnologie aus Altpapierstoffsuspensionen entfernt werden.

Eine Voraussetzung für die Herstellung von recyclinggerechten Papierprodukten ist die Bewertung ihrer Rezyklierbarkeit. Generell beinhaltet ein Bewertungskonzept ein anerkanntes Prüfverfahren, Bewertungskriterien (Parameter für die Beurteilung) sowie anerkannte Grenz- bzw. Zielwerte für die jeweiligen Bewertungskriterien. Im Rahmen dieses Projekts wurden als wichtige Voraussetzung für ein Bewertungssystem die Prüfmethode und die Prüfkriterien erarbeitet.

Ein wichtiger Punkt bei der Erarbeitung der Prüfmethode war die Auswahl eines geeigneten Niederkonsistenzpulpers. Der Laborpulper sollte bei der Zerfaserung bei einem vergleichbaren Stippengehalt eine ähnliche Stickyfragmentierung wie ein Industripulper erzeugen. Vergleichsuntersuchungen zwischen dem Labor- und einem Technikumpulper der PTS in Heidenau haben gezeigt, dass der ausgewählte Laborpulper bei ähnlichem Stippengehalt wie der Technikumpulper und somit wie ein Industripulper Stickys fragmentiert.

Die Labormethode baut sich wie folgt auf. Zuerst werden 480 g einer Verpackung niederkonsistent zerfasert (Stoffdichte 4 %). Anschließend wird die Suspension über eine Lochplatte mit 10 mm Lochdurchmesser sortiert. Der Rückstand wird getrocknet und gewogen. Der Durchlauf wird auf Stippengehalt nach Zellcheming Merkblatt V/1.4/86 und auf Makro-Stickygehalt, angelehnt an INGEDE-Methode 4, untersucht. Das Verpackungsprodukt wird dann nach den Kriterien Rückstand auf der 10 mm Lochplatte, Stippengehalt und Makro-Stickygehalt auf seine Rezyklierbarkeit bewertet.

Mit der erarbeiteten Labormethode wurden fünf Verpackungen aus Wellpappe, drei Verpackungen aus Faltschachtelkarton und eine Verpackung aus Verbundmaterial untersucht. Alle Proben wurden ohne die Verschluss-Naht untersucht. Untersuchungen zum Einfluss der Verschluss-Naht auf die Bewertungskriterien haben gezeigt, dass Hotmelt-Klebebindungen auf kein Kriterium Einfluss nehmen. Verschluss-Nähte, die Klebebänder enthalten, können sowohl den Stippengehalt als auch die Makro-Stickygrößenverteilung beeinflussen. Da nur ein Produkt untersucht wurde, können Verallgemeinerungen zum Einfluss von Klebebändern aber nicht getroffen werden.

Ein System zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen konnte im Rahmen des Projektes nicht abschließend aufgestellt werden, da hierfür eine Festlegung von Grenz- und Zielwerten für die drei Bewertungskriterien nötig ist. Da aber als Datenbasis bisher nur Ergebnisse von 9 Produkten vorliegen, ist eine Festlegung von Ziel- und Grenzwerten nicht möglich. Zur Erweiterung der Datenbasis und zur Ausarbeitung eines Bewertungssystems ist ein Folgeprojekt nötig.

Mit dieser Labormethode sind aber nun erste Voraussetzungen geschaffen, damit die Produzenten von Wellpappenpapieren und Karton mit den anderen Beteiligten der Papierkette diskutieren und Verbesserungen hinsichtlich der Rezyklierbarkeit initiieren können.

1 Problemstellung

Zur Minimierung von Problemen bei der Altpapieraufbereitung ist es notwendig, dass Papierprodukte recyclinggerecht hergestellt werden. Dafür müssen Papierprodukte einfach zerfaserbar sein, damit die Fasern mit möglichst geringem Energieaufwand vereinzelt werden können, und die Klebeverbindungen der Papierprodukte müssen sehr scherstabil sein, damit während der Zerfaserung in Pulper oder Trommel möglichst nur große Stickypartikel entstehen. Große Stickypartikel können mit hoher Effektivität mittels konventioneller Sortiertechnik in den Stoffaufbereitungsanlagen der Altpapier verarbeitenden Papierfabriken abgetrennt werden. Klebstoffapplikationen, die in kleine Stickypartikel fragmentieren, hingegen können nur teilweise innerhalb der Stoffaufbereitung abgetrennt werden und verursachen Probleme in der Papiermaschine. Nicht abgetrennte Stickys können sich auf Sieben, Filzen oder Zylindern ablagern und Abrisse von oder Löcher in der Papierbahn hervorrufen, was Produktionsausfälle und höhere Wartungskosten mit sich bringt.

Um Entwicklungen in recyclinggerechte Produkte zu initiieren, ist es erforderlich, ein einfaches Verfahren zur Prüfung und Bewertung der Rezyklierbarkeit von Papierprodukten im Labormaßstab zur Verfügung zu haben. Nur mittels eines Bewertungskonzeptes basierend auf einer anerkannten Prüfmethode kann zwischen guter und schlechter Rezyklierbarkeit von Papierprodukten unterschieden werden und Entwicklungen von recyclinggerechten Papierprodukten können verfolgt und bewertet werden. Allerdings ist sicherzustellen, dass die Zerfaserung im Rahmen der Laborprüfmethode zu einer Stickyfragmentierung führt, die industriellen Bedingungen entspricht. Außerdem muss die Bewertung so angelegt sein, dass sie die Möglichkeiten industrieller Sortieranlagen im Verpackungsbereich berücksichtigt. Eine solche Rezyklierbarkeitsbewertung stellt die Voraussetzung für Gespräche und Diskussionen der Papierhersteller mit den weiteren Beteiligten der Papierkette dar, um entsprechende Entwicklungen von recyclinggerechten Verpackungen in Gang zu setzen.

2 Forschungsziel und Lösungsweg

Ziel des Projektes war eine Methode zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von geklebten Verpackungen (z. B. Wellpappeschachteln, Faltschachteln) zu entwickeln und daraus Kriterien für recyclinggerechte Verpackungen aufzustellen.

Zur Erreichung des Ziels wurden folgende Teilschritte abgearbeitet:

- 1) Entwicklung einer Prüfmethode zur Untersuchung von Verpackungen mit LC-Zerfaserung ohne Chemikaliendosierung und mit größerem Probemengeneintrag während der Zerfaserung als in der bereits vorhandenen PTS-Methode RH 021/97 [1]
- 2) Überprüfung des in der Labormethode eingesetzten Zerfaserungsaggregats auf Eignung durch vergleichende Untersuchungen der Makro-Stickyfragmentierung und Stippengehaltsentwicklung während der Zerfaserung zwischen Labor- und Technikumpulper
- 3) Auswahl und Festlegung von Kriterien zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen

Mit der entwickelten Labormethode und den festgelegten Bewertungskriterien der Rezyklierbarkeit sind erste Voraussetzungen geschaffen, dass die Verpackungspapier produzierende Industrie mit ihren Verbänden wie z. B. VPWP, VDW und ProCarton mit den Betei-

lichten der Papierkette in Verhandlungen treten und Verbesserung in der Rezyklierbarkeit von Verpackungen initiieren kann. Die Erfahrungen aus dem Bereich der INGEDE zeigen, dass durchaus Verbesserungen herbeiführbar und realisierbar sind.

3 Prinzipielle Vorgehensweise

Zu Beginn des Projektes wurden von PMV und PTS in Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss relevante Kriterien zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen definiert und die dafür erforderlichen Probenaufbereitungsschritte für die Labormethode konzipiert. Die Kriterien sollten dann im Zusammenspiel mit der entsprechenden Prüfmethodik hinsichtlich ihrer Eignung zur Bewertung der Rezyklierbarkeit geprüft werden. Nach Ausarbeitung des Probenaufbereitungsschemas wurden geeignete Laboraggregate und Untersuchungsmethoden von PMV und PTS ausgewählt. Ein wichtiger Punkt bei der Auswahl des Labor-Zerfaserungsaggregats ist das Erzielen einer ähnlichen Stickyfragmentierung, wie sie mit industriellen Pulpn erreicht wird. Deshalb wurden nach Konzipierung einer Rohfassung der Labormethode vergleichende Untersuchungen zwischen Labor- und Technikumszerfaserung durchgeführt. Es wurden verschiedene Verpackungen unter gleichen Bedingungen in Labor und Technikum zerfasert und auf die Stickyfragmentierung untersucht. Neben der Stickfragmentierung wurde auch die Stippengehaltsentwicklung erfasst und verglichen.

Nach diesem Vergleich wurden basierend auf den Erfahrungen aus den Vergleichsuntersuchungen und den INFOR-Projekten 110 und 111 die Zerfaserungsbedingungen für die neu erarbeitete Labormethode so festgelegt, dass bei der Laborzerfaserung ähnliche Stippengehaltniveaus, wie sie in industriellen Anlagen üblich sind, erzielt werden.

Zum Schluss wurden von PMV und PTS in Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss die Kriterien zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen festgelegt. Dabei wurden Erfahrungen aus dem INGEDE Projekte 129 09 „Preparation of an Adhesive Application Database and Development of a Recyclability Scoring System“ und der Erarbeitung des Deinkability Scores genutzt.

4 Probenmaterial, Geräte und Prüfmethoden

Nach Konzipierung der Labormethode, wie sie in **Abbildung 1** dargestellt ist, wurde vom PMV ein geeignetes Labor-Zerfaserungsaggregat, das im Niederkonsistenzbereich arbeitet und ein ausreichendes Arbeitsvolumen besitzt, ausgewählt. Ebenso wurde ein Gerät zur Simulation einer Grobsortierung entworfen und gebaut, um Problemen bei der folgenden Probenverarbeitung durch z. B. papierfremde Bestandteile, die in Verpackungen in Form von beispielsweise Sichtfenstern oder Kaschierfolien enthalten sein können, vorzubeugen. Hierfür wurde auf Erfahrungen und Kenntnisse aus früheren Arbeiten und Projekten zurückgegriffen. Die eingesetzten Labor- und Technikumsgeräte sowie die Untersuchungsmethoden sind in den Kapiteln 4.3 und 4.4 beschrieben.

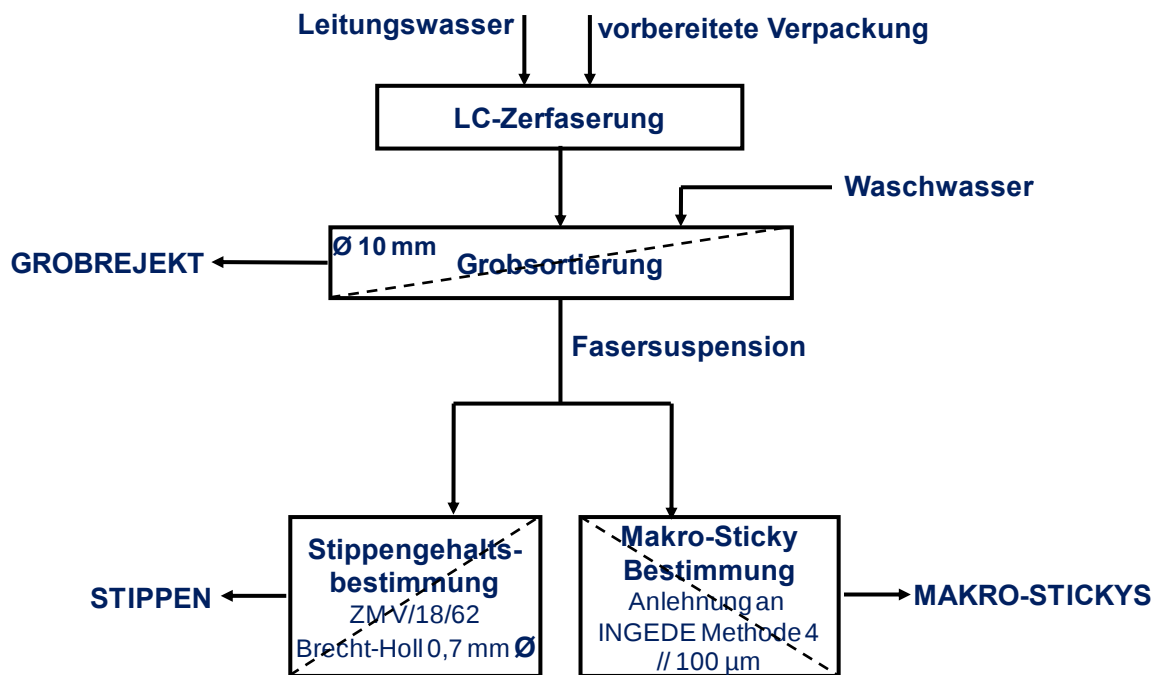


Abbildung 1: Konzept zur Aufbereitung von Verpackungen im Labormaßstab zur Bewertung der Rezyklierbarkeit der Verpackung

Für die Ausarbeitung der Labormethode zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen wurden Verpackungsmuster aus der Industrie und Verpackungen aus dem Supermarkt beschafft. Eine Auflistung der untersuchten Verpackungen befindet sich in Kapitel 4.1.

4.1 Probenmaterial

Für die Untersuchungen wurden zum Einen Verpackungsmuster von verschiedenen Herstellern von Verpackungen bzw. von Abpackern (Lebensmittelbereich) zur Verfügungen gestellt und zum Anderen Verpackungen mit den verpackten Waren im Supermarkt gekauft. Hier sei den Firmen, die uns mit den Verpackungsmustern unterstützt haben, u.a. Brohl Wellpappe, Unilever und SIG Combibloc, gedankt.

Die Verpackungen sind in diesem Bericht in die Kategorien Verpackungen aus Faltschachtelkarton, Wellpappe und Verbundmaterial eingeteilt. Unter Verbundmaterial ist hier Verpackungsmaterial zu verstehen, das aus mehreren verschiedenen Werkstoffen, die vollflächig miteinander verbunden sind, besteht. Ein Beispiel für Verpackungen aus Verbundmaterial ist der Getränkekarton, wie er von TetraPak oder SIG-Combibloc hergestellt wird.

Die von den Firmen zur Verfügung gestellten Proben enthielten als Klebeflächen alle nur die Industrie-Nähte. Die im Supermarkt erworbenen Verpackungen waren auch an den Verschluss-Nähten verklebt.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die untersuchten Verpackungsproben.

Tabelle 1: Untersuchte Verpackungsmuster

Verpackungsart	Probenbezeichnung	Klebstoffart Industrie-Naht	Klebstoff Industrie-Naht	Klebstoffart Verschluss-Naht
Verpackungen aus Faltschachtel- karton	Karton 1	Dispersion	keine Angaben	keine Verschlussnaht
	Karton 2	Dispersion	keine Angaben	keine Verschlussnaht
	Karton 3	Dispersion	Adhesin A 7260	keine Verschlussnaht
	Karton 4	Dispersion	keine Angaben	Hotmelt
	Karton 5	Dispersion	keine Angaben	Hotmelt
Verpackungen aus Wellpappen	Wellpappe 1	Dispersion	Adhesin A 2354	keine Verschlussnaht
	Wellpappe 2	Dispersion	Adhesin A 2305	keine Verschlussnaht
	Wellpappe 3	Dispersion	Eukalin 6080 VL	keine Verschlussnaht
	Wellpappe 4	Hotmelt	Henkel Technomelt Supra 7150-21	keine Verschlussnaht
	Wellpappe 5	Dispersion	Adhesin A 2354	keine Verschlussnaht
	Wellpappe 6	Dispersion	keine Angaben	Klebeband
	Wellpappe 7	Dispersion	Adhesin A 2354	keine Verschlussnaht
Verpackungen aus Verbundmaterial	Verbundmaterial 1 (Suppentüte)	keine Angaben	keine Angaben	keine Verschlussnaht
	Verbundmaterial 2 (Getränkekarton)	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben
	Verbundmaterial 3 (Faltschachtelkarton mit eingeklebtem Innenbeutel)	Hotmelt	Henkel Technomelt Supra 110	keine Verschlussnaht
	Verbundmaterial 4 (Getränkekarton)	keine Angaben	keine Angaben	keine Verschlussnaht

4.2 Probenvorbereitung

Vor der Zerkleinerung im Laborpulper oder im Technikumpulper wurden die Trockengehalte der Verpackungsmuster sowie der Massenanteil der Klebeflächen bestimmt.

Zur Bestimmung des Massenanteils der Klebefläche einer Verpackung wird die lufttrockene Masse der Verpackung bestimmt. Anschließend werden die Klebeflächen mit samt dem verklebten Verpackungsmaterial aus der Verpackung herausgeschnitten und die lufttrockene Masse der Klebeflächen wird ermittelt. Das Verhältnis der Masse der Klebeflächen zur Masse der gesamten Verpackung ergibt den Masseanteil der Klebefläche.

$$X_{\text{Klebefläche}} = \frac{m_{\text{Klebefläche}}}{m_{\text{Verpackung}}} * 100 [\%]$$

$X_{\text{Klebefläche}}$: Anteil der Klebefläche von der Gesamtverpackung [%]

$m_{\text{Klebefläche}}$: Masse der Klebefläche (Klebstoff und verklebtes Verpackungsmaterial) [g]

$m_{\text{Verpackung}}$: Masse der Verpackung [g]

Diese Information ist nötig, damit im Fall, dass eine Verpackung nicht vollständig in den Pulper zugegeben wird, von dieser Verpackung anteilmäßig die nicht verklebten Flächen und die Klebeflächen im gleichen Verhältnis in den Pulper gegeben werden, wie sie in der Verpackung vorliegen.

Nachdem die zur Zerkleinerung benötigte Verpackungsmenge bestimmt und abgewogen ist, werden die Verpackungen auf handtellergröße Stücke geschnitten. In der folgenden Bilderreihe (**Abbildung 2**) ist die Vorgehensweise der Probenvorbereitung zu sehen.

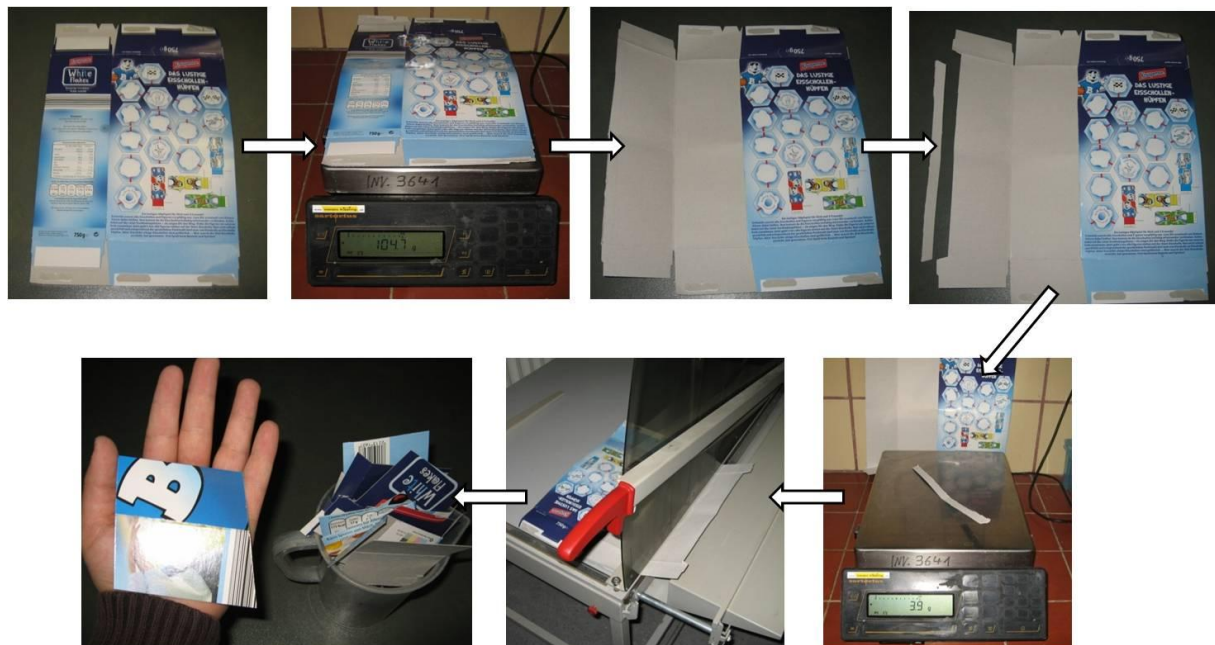


Abbildung 2: Probenvorbereitung

4.3 Geräte und Probenverarbeitung

4.3.1 Laborpulper und Laborzerfaserung

Als Laborpulper wurde ein Niederkonsistenzpulper mit horizontaler Rotorwelle und einem mit Leisten besetztem Rotor, wie er in **Abbildung 3** zu sehen ist, eingesetzt, der am PMV zur Verfügung stand. Der Pulper besitzt ein Fassungsvermögen von maximal 18 l, muss aber mit mindestens 10 l betrieben werden.



Abbildung 3: Niederkonsistenz-Laborpulper des PMV

Der Pulper wurde bei allen Versuchen mit 12 l warmer Suspension (40°C) gefüllt und bei einer Rotordrehzahl von 2 820 Umdrehungen pro Minute betrieben.

Die Stoffdichte während der Zerfaserung wurde für die Labormethode zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen anhand der Erfahrung aus früheren Untersuchungen auf 4 % festgelegt.

Bei den Vergleichsuntersuchungen zwischen Labor- und Technikumszerfaserung wurden 2 Verpackungen aus Faltschachtelkarton, 1 Verpackung aus Wellpappe und 1 Verpackung aus Verbundmaterial untersucht. Für den Vergleich waren die Zerfaserungsbedingungen im Labor und im Technikum gleich einzustellen. Die Suspensionstemperatur zu Beginn der Zerfaserung wurde, wie bereits erwähnt, auf 40°C eingestellt. Die Stoffdichte betrug bei der Zerfaserung der Verpackungen aus Faltschachtelkarton 4 %. Bei der untersuchten Wellpappenverpackung und der Verpackung aus Verbundmaterial war es notwendig, die Stoffdichte auf 5 % zu erhöhen, um einen sicheren Umtrieb bei der Technikumszerfaserung zu gewährleisten.

4.3.2 Technikumpulper und Technikumszerfaserung

Als Technikumpulper diente ein Pulper der Firma PAMA in Freiberg, der bei der PTS in Heidenau installiert ist und für die Versuche mit einem Vokes-Rotor ausgerüstet war (**Abbildung 4**).

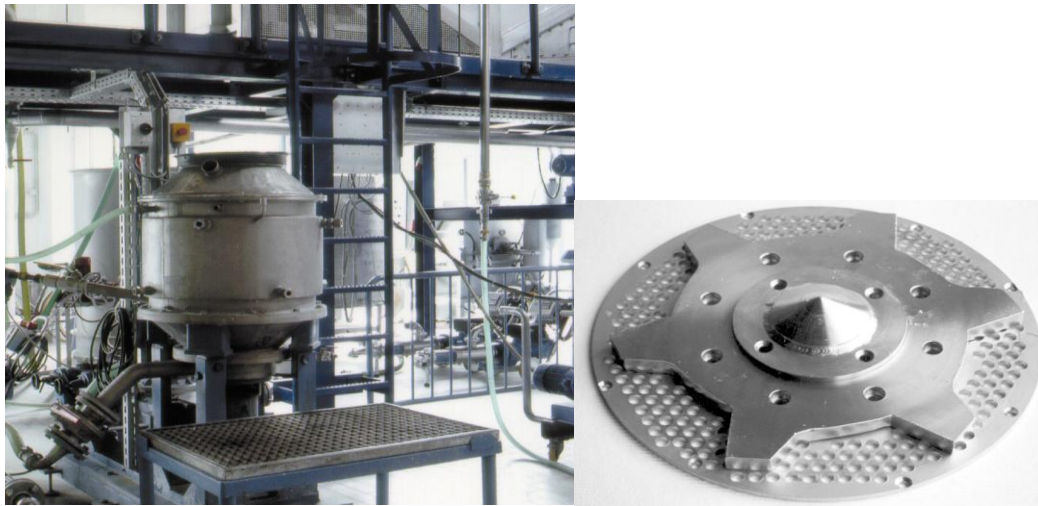


Abbildung 4: Technikumpulper und Vokes-Rotor der PTS in Heidenau

Für die Zerkleinerung im Technikum wurde die Suspensionstemperatur zu Beginn auf 40°C eingestellt. Die Stoffdichte während der Zerkleinerung der Verpackungen aus Faltschachtelkarton betrug 4 %. Wie zuvor erwähnt, wurde die Stoffdichte bei der untersuchten Wellpappenverpackung und der Verpackung aus Verbundmaterial auf 5 % eingestellt. Die Zugabe des Probenmaterials in den Pulper wurde bei allen Proben bei laufendem Rotor durchgeführt. Bei der Verpackung aus Verbundmaterial gestaltete sich die Zugabe als schwierig, da der Umtrieb im Pulper immer wieder stockte. Die Probeneintrags- und Zerkleinerungsbedingungen sind in **Tabelle 2** zusammengefasst.

Tabelle 2: Probeneintrags- und Zerkleinerungsbedingungen bei Technikumszerkleinerung

Probe	Stoffdichte [%]	Temperatur zu Zerkleinerungsbeginn [°C]	Eintragszeit Probenmaterial in Pulper [min]	Rotordrehzahl während Probenzugabe [Umdrehungen/min]	Rotordrehzahl während Zerkleinerung [Umdrehungen/min]
Karton 1	4	40	4	600	800
Karton 2	4	40	4	600	800
Wellpappe 5	5	40	4	600	800
Verbundmaterial 4	5	40	10	1000	900

4.3.3 Aggregat zur Grobsortierung

Für die Grobsortierung wurde ein Aggregat konstruiert, welches eine Lochplatte mit 10 mm Lochdurchmesser enthält und ein Volumen von ca. 24 l besitzt. Die Lochplatte ist am Boden eines zylindrischen Behälters angebracht, der oben offen ist und einen Durchmesser von ca. 300 mm und eine Höhe von ca. 340 mm besitzt. Unter der Lochplatte befindet sich ein Ablauf, der mit Hilfe eines Kugelhahns verschlossen oder geöffnet werden kann.

Die Siebfläche wird während der Sortierung mit einem Flügelrotor freigehalten, der in einem Abstand von 10 bis 20 mm über der Lochplatte mit etwa 200 Umdrehungen pro Minute dreht. Da bei einem hohem Grobschmutzaufkommen und der niedrigen Rotordrehzahl der Rotor hohe Widerstandskräfte überwinden muss, muss der Antriebsmotor ein hohes Drehmoment auf den Rotor übertragen. Aus diesem Grund wird als Antriebsmotor eine Standbormaschine eingesetzt, deren schwenkbarer und höhenverstellbarer Bohrtisch als Behälterhalter dient. Bilder des schematischen Aufbaus und des gesamten Sortieraggregats sind in den **Abbildungen 5 und 6** zu sehen.

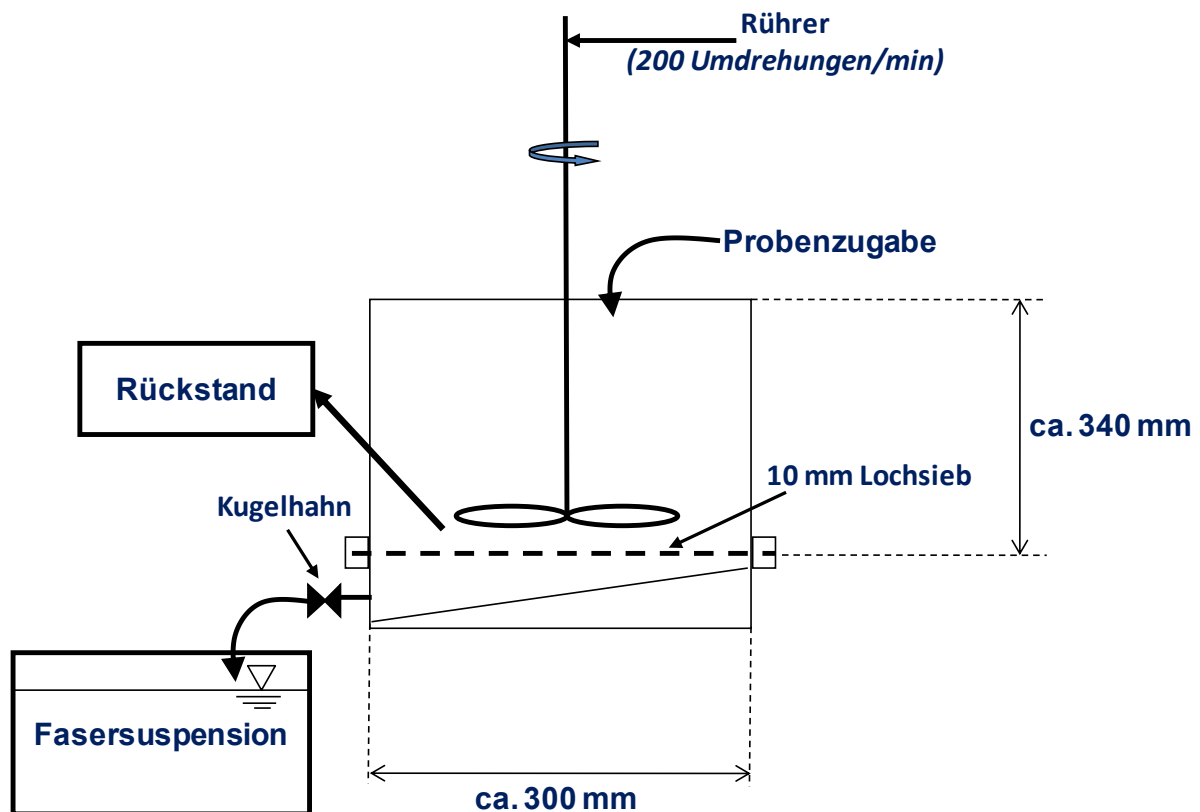


Abbildung 5: Schematischer Aufbau des Sortieraggregats der Grobsortierung

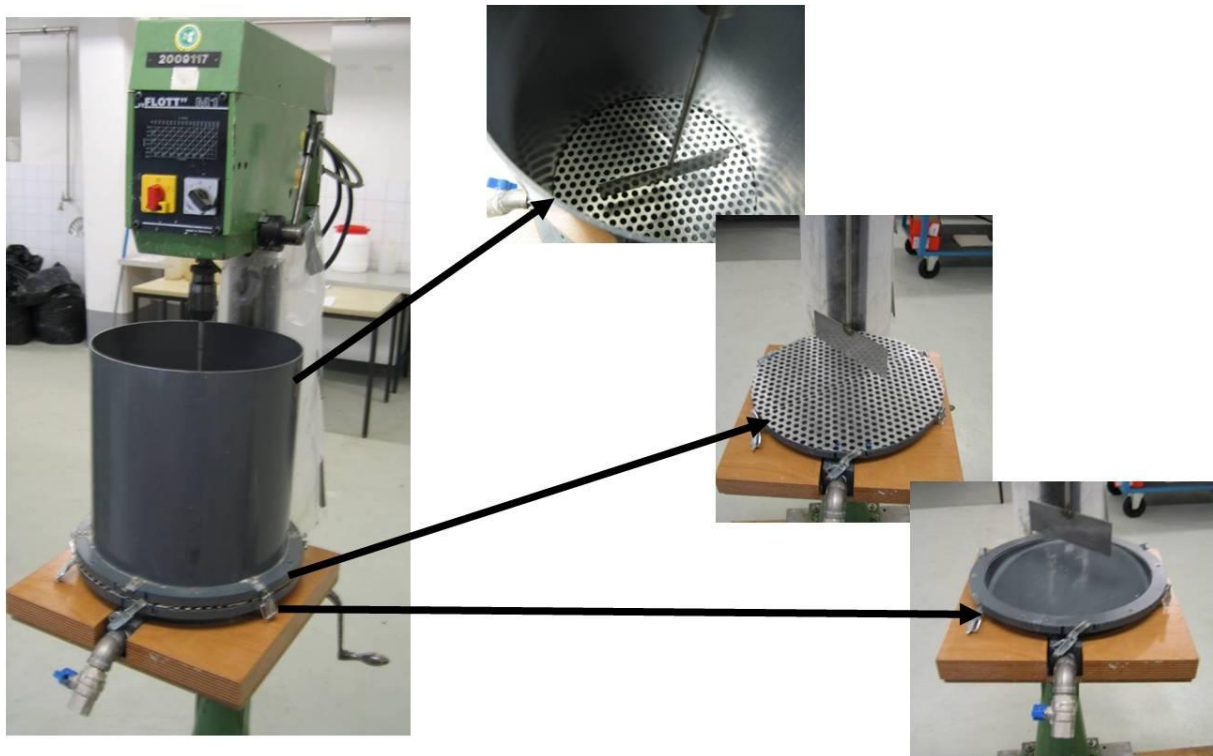


Abbildung 6: Sortieraggregat zur Grobsortierung mit Antriebsmotor

4.3.4 Haindl-Sortierer

Für die Makro-Stickybestimmung wurde als Sortiergerät ein Haindl-Sortierer (**siehe Abbildung 6**) eingesetzt, dessen genauer Aufbau im ZELLCHEMING Merkblatt V/1.4/86 zu finden ist [2]. Die Sortierung erfolgte in Anlehnung an die INGEDE Methode 4, die in Kapitel 4.2.2 beschrieben ist. Der Haindl-Sortierer wurde bei allen Untersuchungen mit 480 Doppelhüben pro Minute betrieben.



Abbildung 7: Haindl-Sortierer

4.3.5 Brecht-Holl Gerät

Die Sortierung zur Bestimmung des Stippengehalts wurde mit einem Brecht-Holl Gerät (**siehe Abbildung 8**) durchgeführt, dessen Aufbau in [3] beschrieben ist. Der Hub wurde gemäß ZELLCHEMING Merkblatt V/18/62 auf 6 mm eingestellt [4].



Abbildung 8: Brecht-Holl Gerät

4.4 Prüfmethoden

4.4.1 Grobsortierung

Die Grobsortierung zur Abtrennung großer, schwer zerfaserbarer Papierstücke und großer, papierfremder Bestandteile wurde mit dem in Kapitel 4.3.3 beschriebenen Aggregat durchgeführt. Für die Grobsortierung wird vor der Sortierung ein Fass mit einem Fassungsvermögen von mindestens 30 l unter das Sortieraggregat gestellt und der Kugelhahn des Auslasses unter der Lochplatte geschlossen. Anschließend wird der Rührer mit einer Umdrehungszahl von 200 Umdrehungen pro Minute gestartet und während des gesamten Sortierprozesses laufen gelassen. Die zerfaserte Probe mit einem Volumen von 12 l wird nun vollständig in das Sortieraggregat gefüllt und für 3 s gerührt. Dann wird der Kugelhahn geöffnet, um den Sortiervorgang zu starten. Ist die Suspension vollständig abgelaufen, wird der Kugelhahn wieder geschlossen und es werden 12 l Leitungswasser in das Sortieraggregat gefüllt. Nach erneuten 3 s Rühren wird der Kugelhahn wieder geöffnet. Ist die komplette flüssige Phase durch die Lochplatte geflossen, werden freie Fasern, die an der Behälterwandung oder auf der Lochplatte zurückgeblieben sind, mit ca. 2 l Leitungswasser mittels einer Gartenspritzpistole z. B. der Marke Gardena, deren Wasserstrahlform auf Sprühnebel eingestellt ist, durch die Lochplatte gespült. Am Ende der Sortierung wird der Rührer abgeschaltet und die Rückstände auf der Lochplatte werden in einen gewogenen, hitzebeständigen Behälter überführt und bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Der Rückstand wird gravimetrisch erfasst.

4.4.2 Stippengehaltsbestimmung

Die Stippengehalte aller Proben wurden nach ZELLCHEMING Merkblatt V/18/62 bestimmt [4]. Abweichend zum Merkblatt wurden faserfremde Bestandteile wie Kunststoffstückchen nicht aus dem Rückstand der Lochplatte entfernt, sondern mit betrachtet. Bei der

Stippengehaltsbestimmung nach Technikumszerfaserung der Verpackung aus Verbundmaterial wurden noch vorhandene große Kunststoffteilchen teilweise manuell entfernt. Als Lochplatte wurde eine Metallplatte eingesetzt, die die Anforderung des Merkblatts erfüllte, und deren Löcher einen Lochdurchmesser von 0,7 mm betragen. Die Sortierbedingungen sind in **Tabelle 3** aufgelistet. Von jeder untersuchten Verpackungsprobe wurde der Stippengehalt 5-fach bestimmt.

Tabelle 3: Sortierbedingungen im Brecht-Holl Gerät zur Bestimmung des Stippengehalts

Probenmenge [g]	Probenstoffdichte [%]	Waschwasserdruck [atü]	Sortierdauer [min]
2	0,25	0,1	5

4.4.3 Makro-Stickybestimmung

Der Makro-Stickygehalt wurde in Anlehnung an die INGEDE Methode 4 bestimmt [5]. Die eingesetzte Schlitzplatte hatte eine Schlitzweite von 100 µm. Statt 50 g_{otro}, wie sie in der INGEDE Methode vorgeschrieben sind, wurden pro Makro-Stickybestimmung 10 g_{otro} sortiert, die auf eine Stoffdichte von maximal 1 % verdünnt und zu Beginn der Sortierung vollständig in den Haindl-Sortierer gegeben wurden. Die Sortierdauer betrug 5 min. Die Sortierbedingungen sind in **Tabelle 4** dargestellt. Jede Makro-Stickyanalyse basiert auf einer 4-fach-Bestimmung jeder Probe.

Tabelle 4: Sortierbedingungen im Haindl-Sortierer zur Bestimmung des Makro-Stickygehalts

Probenmenge [g]	Probenstoffdichte [%]	Volumenstrom Waschwasser [l/min]	Sortierdauer [min]
10	1	10	5

5 Ergebnisse

5.1 Vergleichende Untersuchungen bezüglich Stickyfragmentierung und Stippengehaltsentwicklung zwischen Labor- und Technikumszerfaserung

Ein wichtiger Punkt für die Auswahl des Laborpulpers war ein ähnliches Stickyfragmentierverhalten bei vergleichbarem Stippengehalt, wie es industrielle Pulper aufweisen. Hierfür wurden Vergleichsuntersuchungen zwischen Labor- und Technikumszerfaserung mit besonderem Augenmerk auf die Makro-Stickygrößenverteilung durchgeführt, denn mit Hilfe der Größenverteilung kann eine Aussage über die Fragmentierung getroffen werden. Zusätzlich zu den Stickyuntersuchungen wurde überprüft, ob bei einer ähnlichen Stickyfragmentierung auch ein ähnlicher Stippengehalt erzielt wurde. Die Technikumszerfaserung gilt als industriennahe Zerfaserung und wurde in diesen Untersuchungen als industrielle Zerfaserung angesehen. Anhand der erzielten Ergebnisse wurde über die Eignung des Laborpulpers entschieden.

Für die vergleichenden Untersuchungen wurden, wie in den Kapiteln 4.3.1 und 4.3.2 beschrieben, 2 Verpackungen aus Faltschachtelkarton, 1 Verpackung aus Wellpappe und 1 Verpackung aus Verbundmaterial sowohl im Labor als auch im Technikum unter gleichen Bedingungen zerkleinert und auf Makro-Stickyfläche, Makro-Stickygrößenverteilung und Stippengehalt untersucht. Sowohl im Technikum als auch im Labor wurden von jeder Verpackung mehrere Zerkleinerungspunkte untersucht, um diejenigen Zerkleinerungszeiten im Technikums- und Laborpulper, die annähernd übereinstimmende Stippengehalte und Stickyfragmentierungsergebnisse liefern, herauszufinden. Im Technikum wurde die Zerkleinerungszeit zwischen 5 und 30 min und im Labor zwischen 5 und 60 min variiert. In der **Tabelle 5** und den **Abbildungen 9 bis 12** sind die Ergebnisse der Verpackungen aus Faltschachtelkarton und Wellpappe bei der Labor- und Technikumszerkleinerung aufgelistet und dargestellt. Die Abbildungen 9 und 10 zeigen die Makro-Stickygrößenverteilung und die Abbildungen 11 und 12 die Stippengehaltsentwicklungen.

Tabelle 5: Makro-Stickyflächen der im Labor und Technikum zerkleinerten Verpackungen aus Faltschachtelkarton und Wellpappe

Probe	Pulper	Zerkleinerungsdauer [min]	Makro- Stickyfläche [mm ² /kg _{Produkt}]	Standardabweichung Makro-Stickyfläche [mm ² /kg _{Produkt}]
Karton 1	Technikum	10	6 650	623
Karton 1	Labor	30	6 294	1 009
Karton 1	Technikum	20	8 467	907
Karton 1	Labor	60	8 176	1 257
Karton 2	Technikum	10	14 018	5 965
Karton 2	Labor	30	24 505	6 006
Karton 2	Technikum	20	19 134	1 510
Karton 2	Labor	60	24 085	3 099
Wellpappe 5	Technikum	5	14 656	1 556
Wellpappe 5	Labor	15	14 476	1 582
Wellpappe 5	Technikum	10	14 097	2 283
Wellpappe 5	Labor	30	17 234	2 409
Wellpappe 5	Technikum	20	17 392	1 883
Wellpappe 5	Labor	60	14 327	945

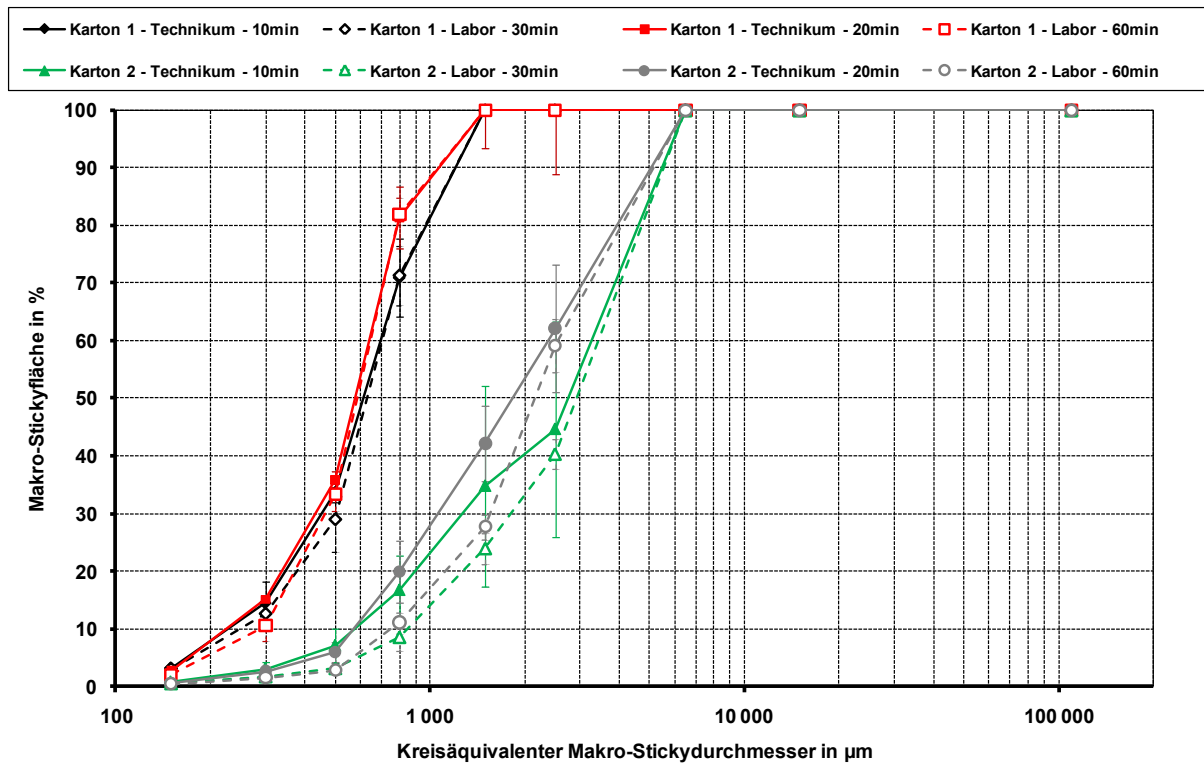


Abbildung 9: Summenverteilung der Makro-Stickyfläche von Karton 1 und 2

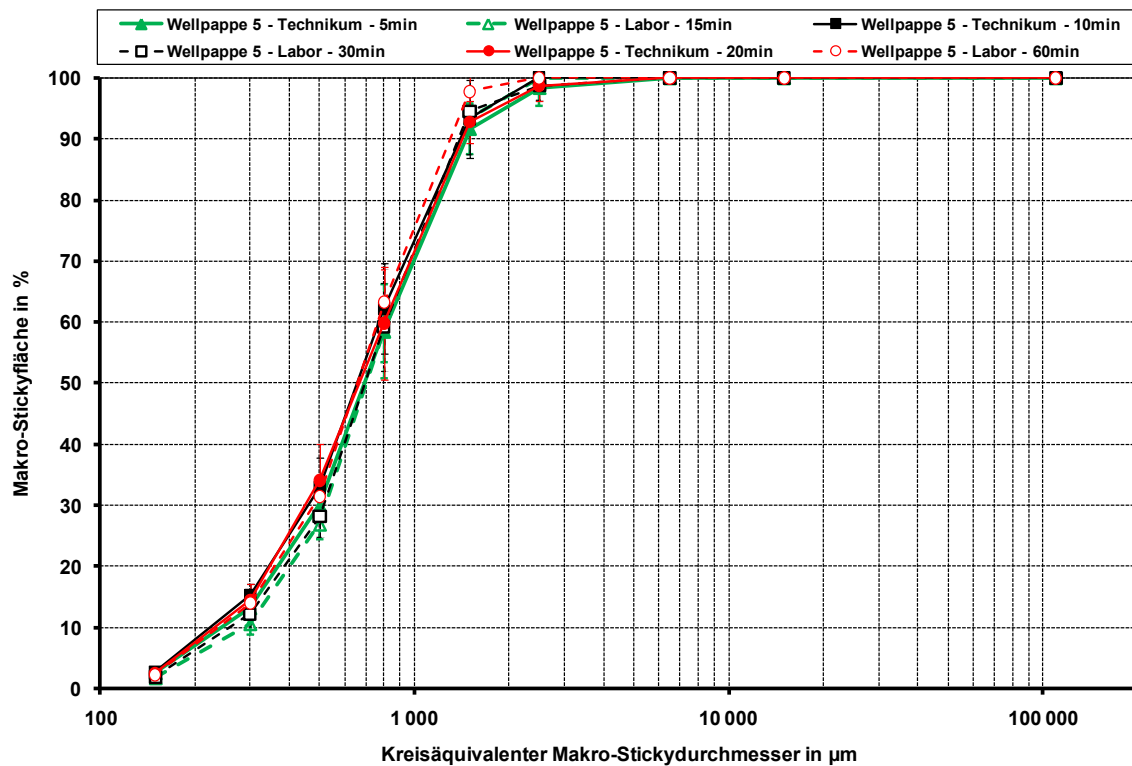


Abbildung 10: Summenverteilung der Makro-Stickyfläche der Wellpappe 5

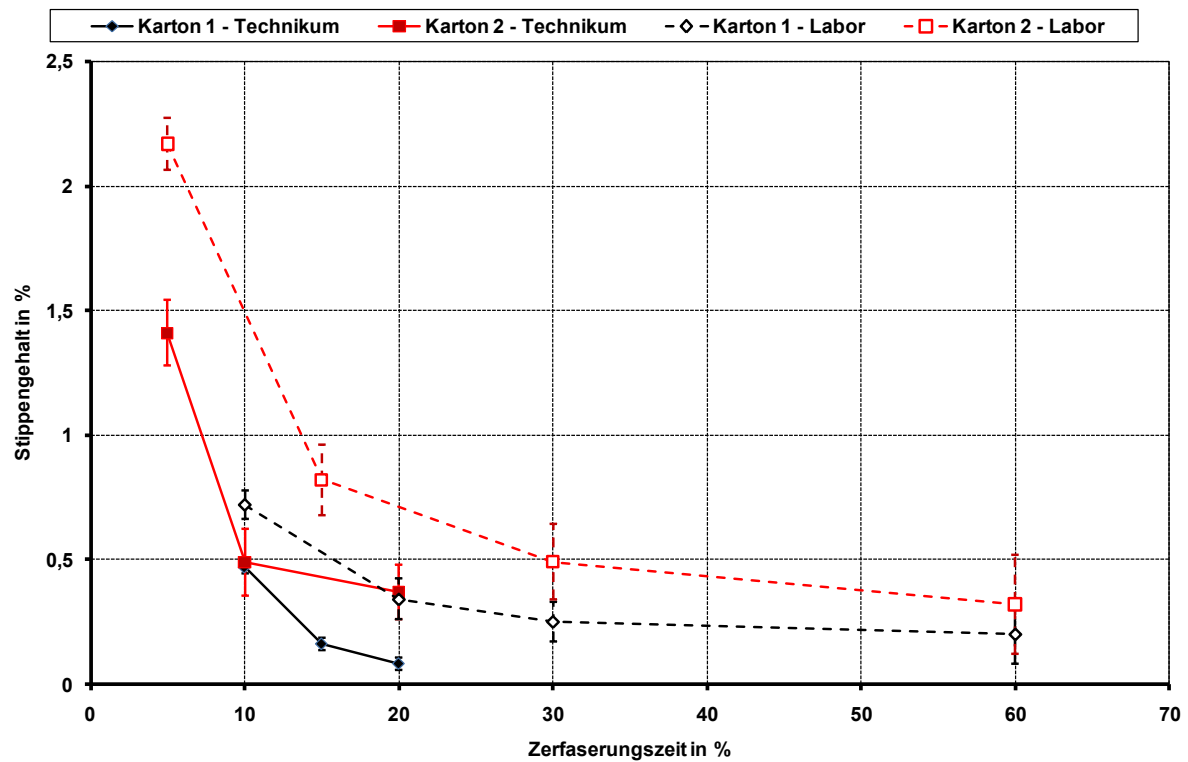


Abbildung 11: Stippengehalt von Karton 1 und 2 über der Zerfaserungszeit

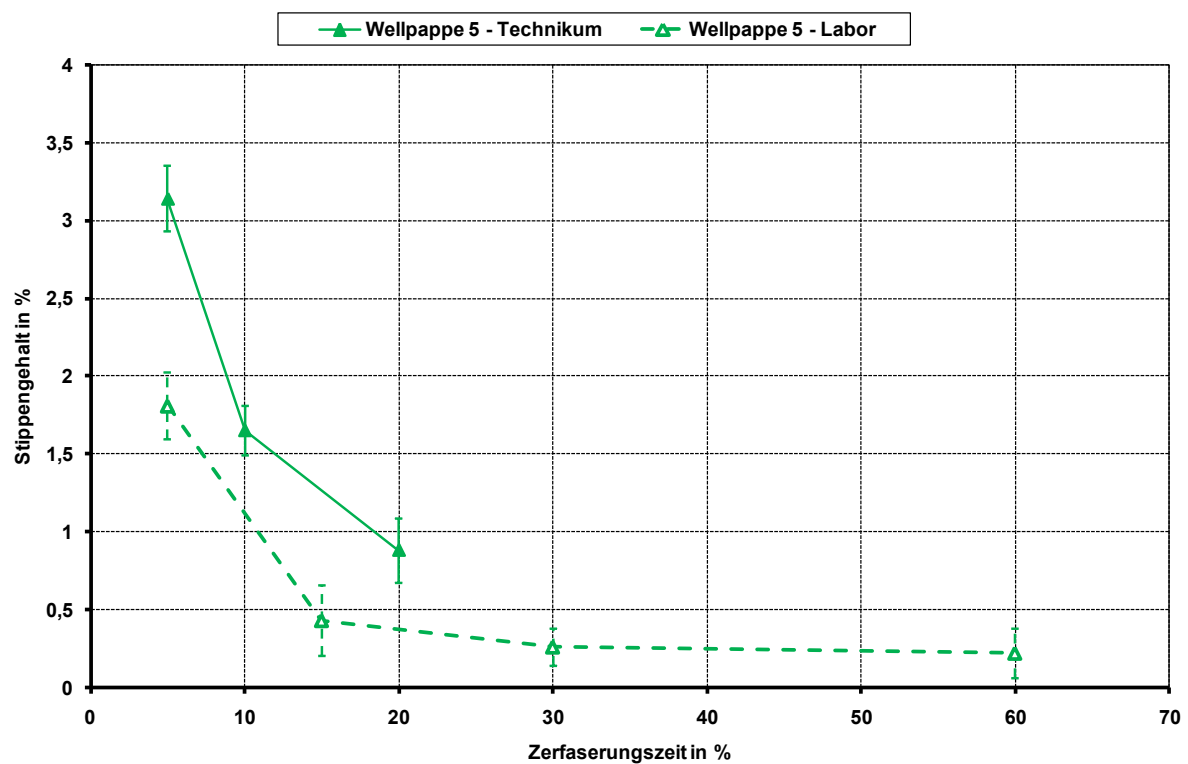


Abbildung 12: Stippengehalt der Wellpappe 5 über der Zerfaserungszeit

Die Untersuchungen dieser beiden Verpackungsarten zeigen, dass mit dem Laborpulper bei dreifacher Zerkleinerungszeit eine ähnliche Stickyfragmentierung bei ähnlichem Stippengehalt wie im Technikumpulper erreicht wird. Die größten Unterschiede in den Ergebnissen weist Karton 2 auf, wobei die Makro-Stickyprobenvorbereitung und anschließende Makro-Stickyauswertung bei den Proben dieser Verpackung durch eine Lackschicht auf der Verpackung sehr schwierig war. Die Ergebnisse der untersuchten Verpackungen aus Faltschachtelkarton und Wellpappe zeigen, dass der Laborpulper, der in Kapitel 4.3.1 beschrieben ist, sich für die neu zu entwickelnden Labormethode zur Untersuchung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen eignet.

Die Untersuchungsergebnisse der Verpackung aus Verbundmaterial weichen allerdings stark von den Ergebnissen der Vergleichsversuche der Faltschachtelkartons und der Wellpappe ab. Die Ergebnisse des Verbundmaterials sind in **Tabelle 6** und den **Abbildungen 13 und 14** aufgeführt. Bei den Technikumsversuchen wurden bei einem Drittel der Zerkleinerungszeit der Laborzerfaserung viel geringere Stippengehalte und eine viel stärkere Stickyfragmentierung ermittelt als bei den Laborversuchen. Ein Grund dafür dürfte die sehr lange Eintragsdauer der Probe in den Technikumpulper bei hoher Rotordrehzahl sein (siehe Kapitel 4.3.2). Bei diesem Material war es unter den üblichen Zerkleinerungsbedingungen schwierig einen konstanten Rührmodus während des Probeneintrags zu erreichen (Stocken des Umtriebs). Zur Abhilfe war eine Erhöhung der Drehzahl während des Probeneintrags sowie eine längere Eintragszeit notwendig, um konstante Rührverhältnisse im Pulper sicherzustellen. Dadurch dürfte die tatsächliche Zerkleinerungszeit im Technikum viel höher liegen, als eigentlich angestrebt war. Da die Bestimmung der tatsächlichen Zerkleinerungszeit nicht möglich war und der projektbegleitende Ausschuss die Meinung vertrat, dass Getränkekartons nicht in den Papierrecyclingkreislauf gelangen, sondern einen anderen Verwertungsweg gehen, wurden keine weiteren Untersuchungen durchgeführt, um einen zur Technikumszerfaserung geeigneten Zerkleinerungszeitfaktor der Laborzerfaserung für Verbundmaterialien herauszufinden.

Tabelle 6: Makro-Stickyflächen der im Labor und Technikum zerkleinerten Verpackung aus Verbundmaterial

Probe	Pulper	Zerkleinerungsdauer [min]	Makro- Stickyfläche [mm ² /kg _{Produkt}]	Standardabweichung Makro-Stickyfläche [mm ² /kg _{Produkt}]
Verbundmaterial 4	Technikum	10	8582	7415
Verbundmaterial 4	Labor	30	15910	15346
Verbundmaterial 4	Technikum	20	6740	3379
Verbundmaterial 4	Labor	60	20307	19029

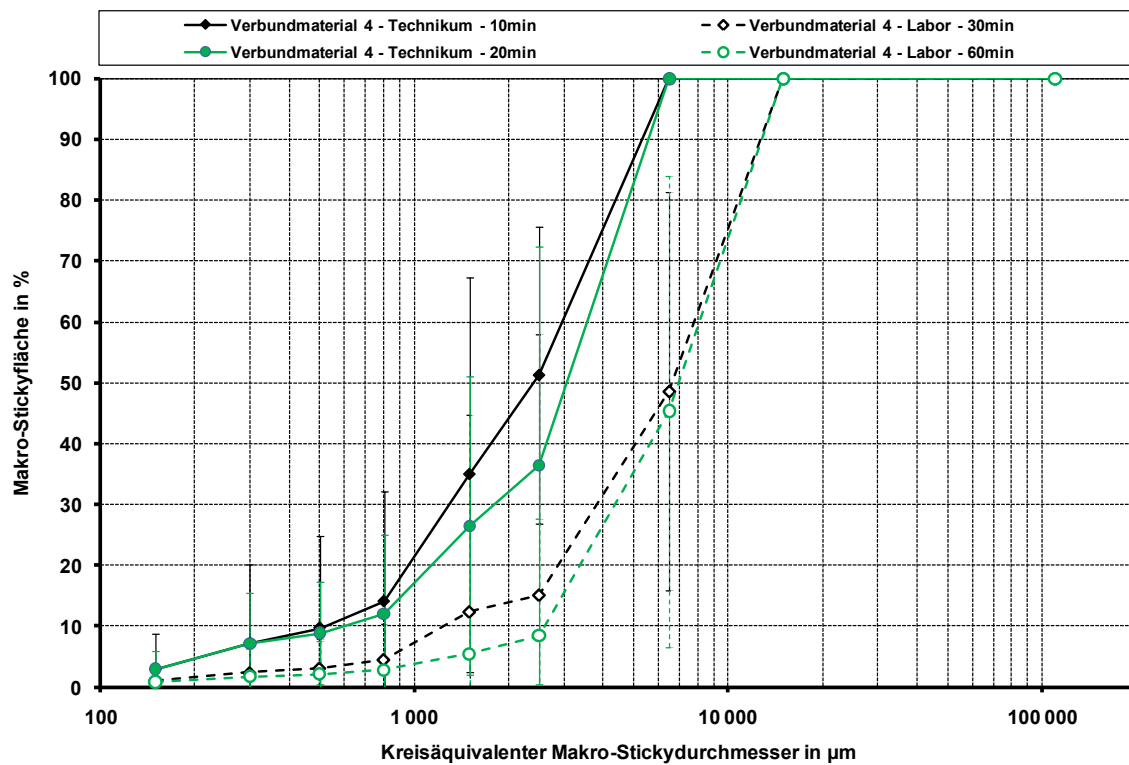


Abbildung 13: Kumulative Verteilung der Makro-Stickyfläche des Verbundmaterials 4

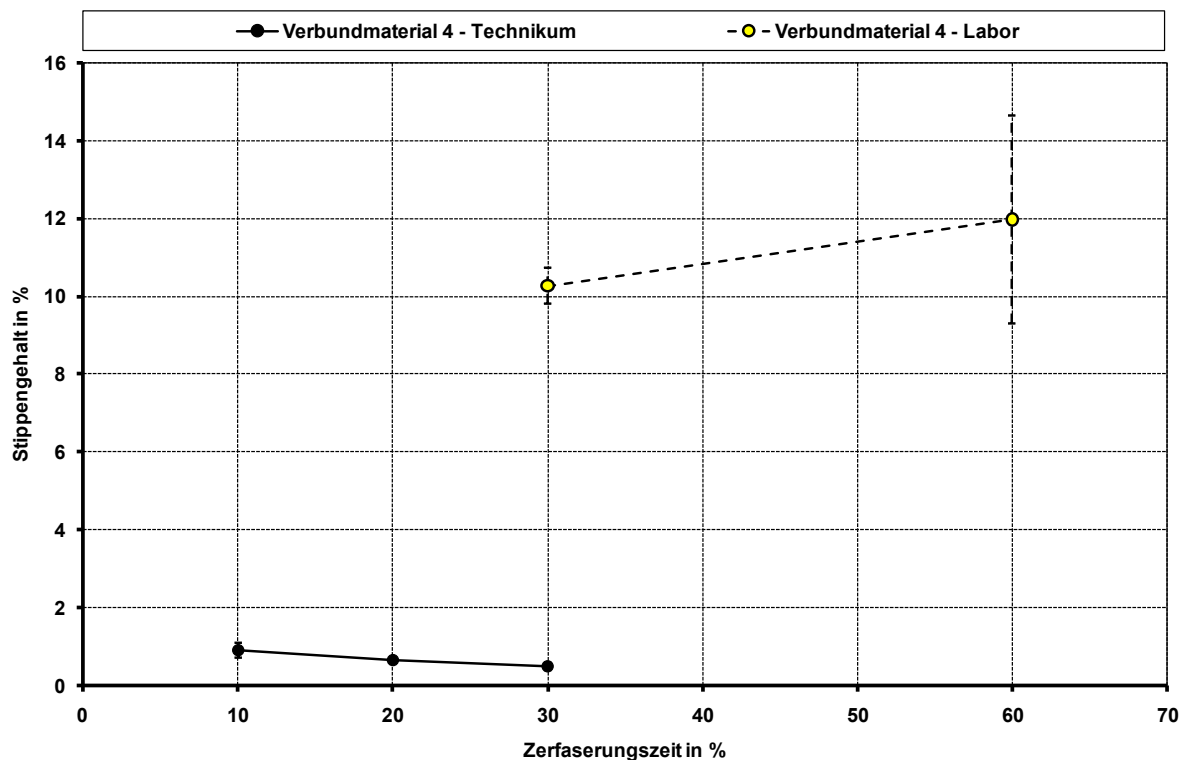


Abbildung 14: Stippengehalt des Verbundmaterials 4 über der Zerfaserungszeit

Insgesamt zeigen die vergleichenden Untersuchungen zwischen Technikums- und Laborzerfaserung, dass der Laborpulper bei der dreifachen Zerfaserungszeit eine ähnliche Stickyfragmentierung bei ähnlichem Stippengehalt wie der Technikumpulper und somit ver-

gleichbar den industriell eingesetzten Pulpern liefert. Der ausgewählte Laborpulper eignet sich für die Labormethode.

5.2 Kriterien zur Bewertung von Verpackungen

Der projektbegleitende Ausschuss und die beiden beteiligten Forschungsinstitute PMV und PTS haben in den Sitzungen während des Projektes folgende 3 Kriterien zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen beschlossen:

- 1) Rückstand der Grobsortierung,
- 2) Stippengehalt und
- 3) Makro-Stickyfläche

Sowohl der Rückstand der Grobsortierung als auch der Stippengehalt liefern eine Aussage über die Zerfaserbarkeit der Verpackung und den Anteil an papierfremden Bestandteilen. Beide Parameter werden aus den Rückständen nach einer Lochsortierung, die gravimetrisch erfasst werden, ermittelt, wobei die Rückstände in beiden Messungen nicht nach Materialien unterschieden werden. Eine gemeinsame Betrachtung beider Kriterien wäre somit möglich. In den Diskussionen wurde aber festgelegt, dass der Rückstand der Grobsortierung und der Stippengehalt getrennt voneinander betrachtet werden. Hintergrund dieser Entscheidung ist, dass grobe Verunreinigungen vornehmlich im Rückstand der Grobsortierung zu finden sind. Diese groben Verunreinigungen würde eine Grobsortierung in der Stoffaufbereitung einer Papierfabrik entfernen. Damit macht dieses Bewertungskriterium eine Aussage über die Belastung einer industriellen Grobsortierung. Die mit dem Stippengehalt gemessenen Verunreinigungen sind vornehmlich Faserbündel aber auch kleine Kunststoffteilchen, die in industriellen Stoffaufbereitungsanlagen in der Feinsortierung abgetrennt werden. Der Stippengehalt macht somit eine Aussage wie stark eine industrielle Feinsortierung belastet werden würde.

Die Makro-Stickyfläche liefert Informationen über die Belastung einer industriellen Stoffaufbereitung mit klebenden Verunreinigungen durch eine Verpackung. Jedoch bereiten nicht alle Größenklassen der Stickys Probleme. Große Makro-Stickys sind in den Stoffaufbereitungsanlagen gut entfernbar, wohingegen kleine Makro-Stickys nur schlecht bis überhaupt nicht entfernbar sind. In Untersuchungen, die im Auftrag der INGEDE durchgeführt wurden, wurde herausgefunden, dass in Stoffaufbereitungsanlagen grafischer Papierfabriken alle Makro-Stickys mit einem kreisäquivalenten Partikeldurchmesser größer als 2 000 μm , gemessen und ausgewertet nach INGEDE Methode 4, vollständig entfernt werden. Kleinere Makro-Stickys werden nur zum Teil bis gar nicht entfernt. Im INGEDE Projekt 129 09 wurden, begründet mit Untersuchungsergebnissen des PMV und des CTP, Entfernbarkeiten von Makro-Stickygrößenklassen kleiner 2 000 μm mittels einer industriellen Sortierung, wie sie in Stoffaufbereitungen grafischer Papierfabriken vorzufinden ist, festgelegt. Makro-Stickys im Größenbereich zwischen 1 000 und 2 000 μm werden zu 80 % entfernt, Makro-Stickys zwischen 600 und 1 000 μm zu 20 % und Makro-Stickys kleiner 600 μm werden durch Überlagerung von Entfernung und Stickyfragmentierung während des Sortierprozesses überhaupt nicht entfernt [6].

Für Stoffaufbereitungsanlagen brauner Papierfabriken gibt es solch gezielte Untersuchungen über die Entfernbarkeit von Makro-Stickys mittels Sortierung in Abhängigkeit der Makro-Stickygrößenklasse nicht. Untersuchungen des PMV und der PTS an industriellen Suspensionen brauner Papierfabriken, bei denen jedoch nicht gezielt die Sortierung, sondern die gesamte Stoffaufbereitung betrachtet wurde, zeigen, dass in braunen Stoffaufbereitungsanlagen

Makro-Stickys größer 3 000 µm in der Regel vollständig entfernt werden. In den Projektsitzungen wurde deshalb beschlossen, dass für die Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen der Anteil und die Fläche der Makro-Stickys kleiner 3 000 µm kreisäquivalenten Partikeldurchmesser herangezogen werden.

Weiterhin wurde in den Diskussionen der Projektbegleitersitzung beschlossen, Inhaltsstoffe, Festigkeitskennwerte und optische Eigenschaften nicht in die Bewertung der Rezyklierbarkeit einfließen zu lassen, da bis heute nur ein kleiner Teil der Papierproduzenten von braunen Papiersorten Anforderung an Inhaltsstoffe und optische Eigenschaften stellt bzw. Auflagen erfüllen muss und da die Festigkeitseigenschaften von Verpackungsaltpapier nach Erfahrung der Papierproduzenten in der Regel ausreichend sind.

5.2.1 Rückstand der Grobsortierung

Der Rückstand der Grobsortierung ist der gravimetrisch ermittelte trockene Rückstand einer Verpackungssprobe auf der 10 mm Lochplatte, nachdem die Probe, wie in Kapitel 4.4.1 beschrieben, sortiert wurde, bezogen auf die Trockenmasse der zerkleinerten Verpackungssprobe.

$$R_{\text{Grob}} = \frac{m_{\text{Rückstand Lochplatte}}}{m_{\text{Zerkleinerung}}} * 100 [\%]$$

R_{Grob} : Rückstand der Grobsortierung [%]

$m_{\text{Rückstand Lochplatte}}$: Feststoffmasse auf der Lochplatte nach der Grobsortierung [g]

$m_{\text{Zerkleinerung}}$: Feststoffmasse im Laborpulper zerkleinert [g]

Vornehmlich befinden sich auf der Lochplatte papierfremde Bestandteile. Es können aber auch sehr große Papierstücke der Verpackung enthalten sein, die im Laborpulper nicht zerkleinert wurden.

5.2.2 Stippengehalt

Der Stippengehalt ist der gravimetrisch ermittelte Rückstand auf der 0,7 mm Lochplatte nach der Sortierung gemäß der Stippengehaltsbestimmung nach Brecht-Holl (Kapitel 4.4.2) bezogen auf die für die Messung vorgelegte Feststoffmasse.

$$R_{\text{Stippen}} = \frac{m_{\text{Rückstand Sortierung}}}{m_{\text{Einwaage}}} * 100 [\%]$$

R_{Stippen} : Rückstand der Grobsortierung [%]

$m_{\text{Rückstand Sortierung}}$: Feststoffmasse auf der Lochplatte nach der Sortierung [g]

m_{Einwaage} : für Messung vorgelegte Feststoffmasse [g]

Auf der Lochplatte befinden sich hauptsächlich Faserbündel, aber auch kleine Kunststoffteilen oder Folienstücke.

5.2.3 Makro-Stickyfläche

Zur Bewertung der Belastung einer Stoffaufbereitung mit Makro-Stickys durch eine Verpackung, werden pro zerkleinertes Verpackungsmuster 4 Suspensionsproben nach der in Kapitel 4.4.3 beschriebenen Methode untersucht. Die Auswertung der Makro-Stickybelastung ist bildanalytisch und liefert neben der Makro-Stickyfläche auch die Makro-

Stickygrößenverteilung. Aus den Ergebnissen der 4 Messungen werden der Mittelwert und die Standardabweichung bestimmt und auf 1 kg Verpackung bezogen. Für die Bewertung der Rezyklierbarkeit werden der Anteil der Makro-Stickyfläche der Stickys kleiner $3\,000\ \mu\text{m}$ an der Gesamt-Makro-Stickyfläche und die vorhandene Makro-Stickyfläche der Stickys kleiner $3\,000\ \mu\text{m}$ betrachtet.

Die $3\,000\ \mu\text{m}$ Makro-Stickygröße als Sortierbarkeitsgrenze wurde anhand von Untersuchungen des PMV und der PTS von Industriesuspensionen zu Beginn und am Ende der Stoffaufbereitungen brauner Papierfabriken festgelegt. Die **Abbildung 15** zeigt die Summenverteilung der Makro-Stickyfläche am Stoffauflauf, die **Abbildung 16** die mittlere Makro-Stickyfläche zu Beginn der Sortierung sowie am Stoffauflauf und die prozentuale mittlere Stickyreduzierung bis zum Stoffauflauf, die das PMV bei 8 braunen Papierfabriken gemessen hat. **Abbildung 17** zeigt die mittlere Makro-Stickyflächenreduzierung, die die PTS in Stoffaufbereitungsanlagen von 4 braunen Papierfabriken gemessen hat. Der negative Wert für die Stickyreduzierung im Größenbereich 500 bis $1\,000\ \mu\text{m}$, den die PTS ermittelte, ist auf Stickyfragmentierungen im Prozess bzw. die Wasserführung (Zuführung kleiner Partikel) zurückzuführen.

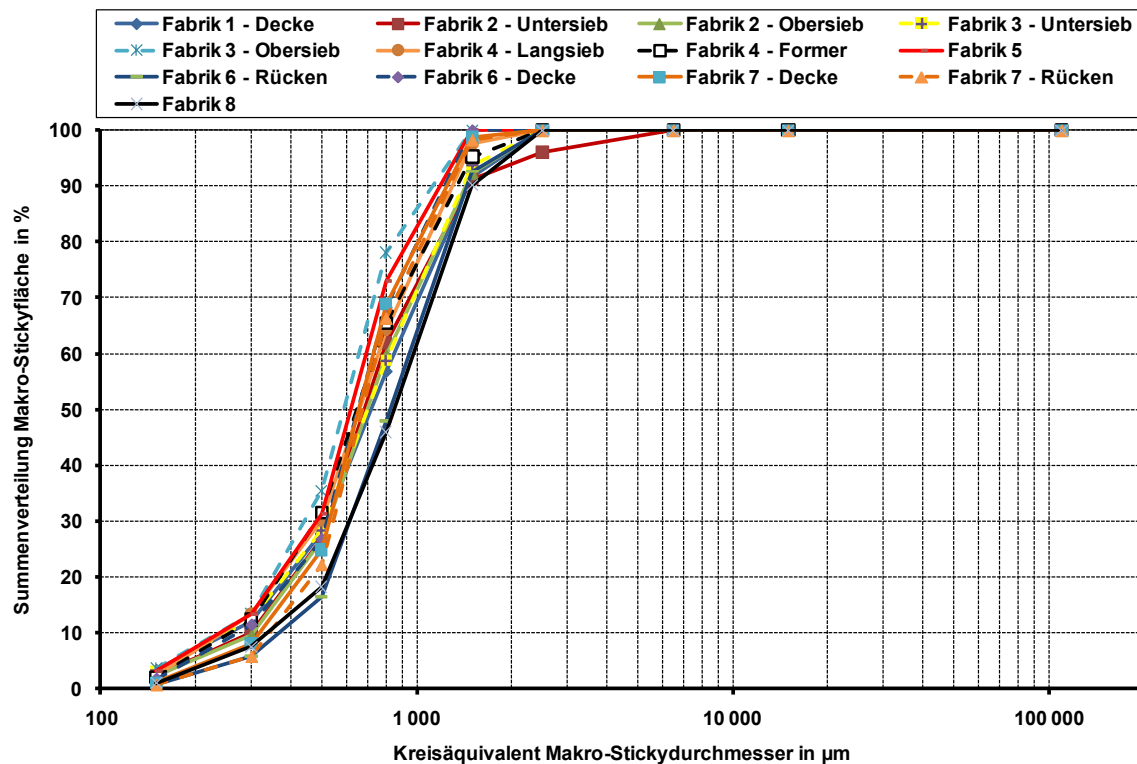


Abbildung 15: Summenverteilung der Makro-Stickyfläche am Stoffauflauf in 8 Papierfabriken – Untersuchungen PMV

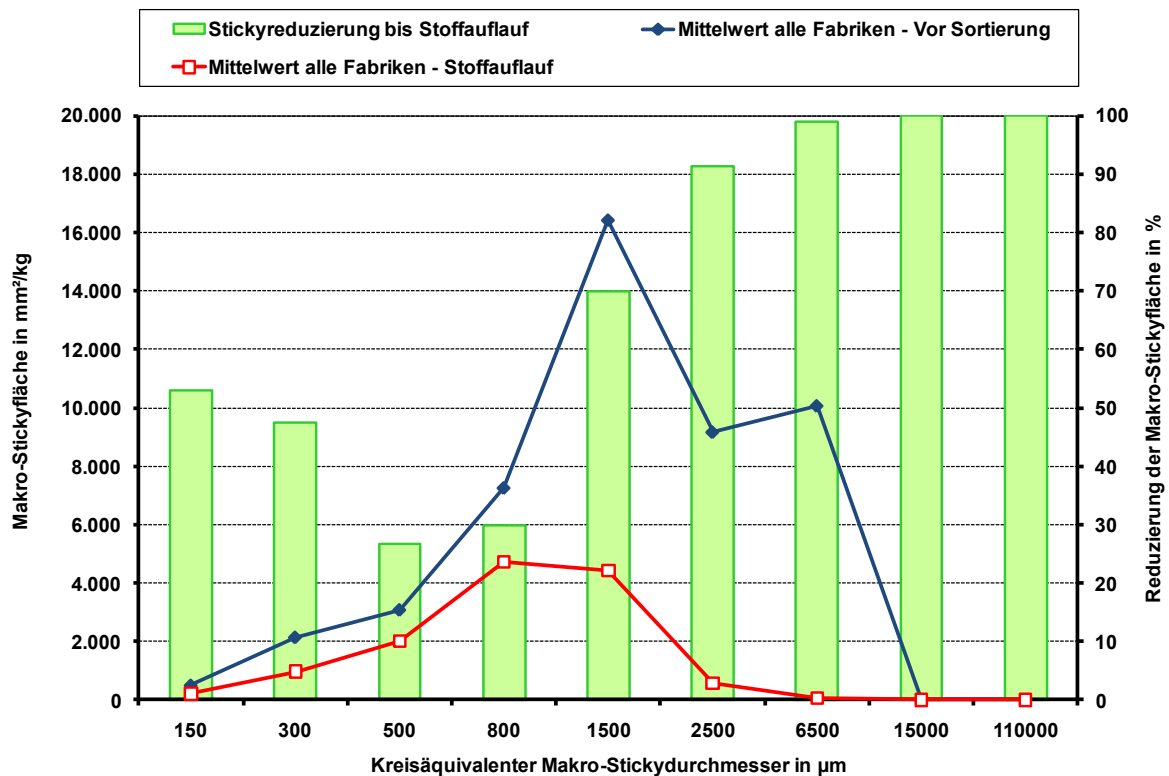


Abbildung 16: Mittelwert Makro-Stickyfläche vor der Sortierung und am Stoffauflauf (primäre y-Achse) und prozentuale Entfernung der Makro-Stickyfläche (sekundäre y-Achse) von 8 braunen Papierfabriken – Untersuchungen PMV

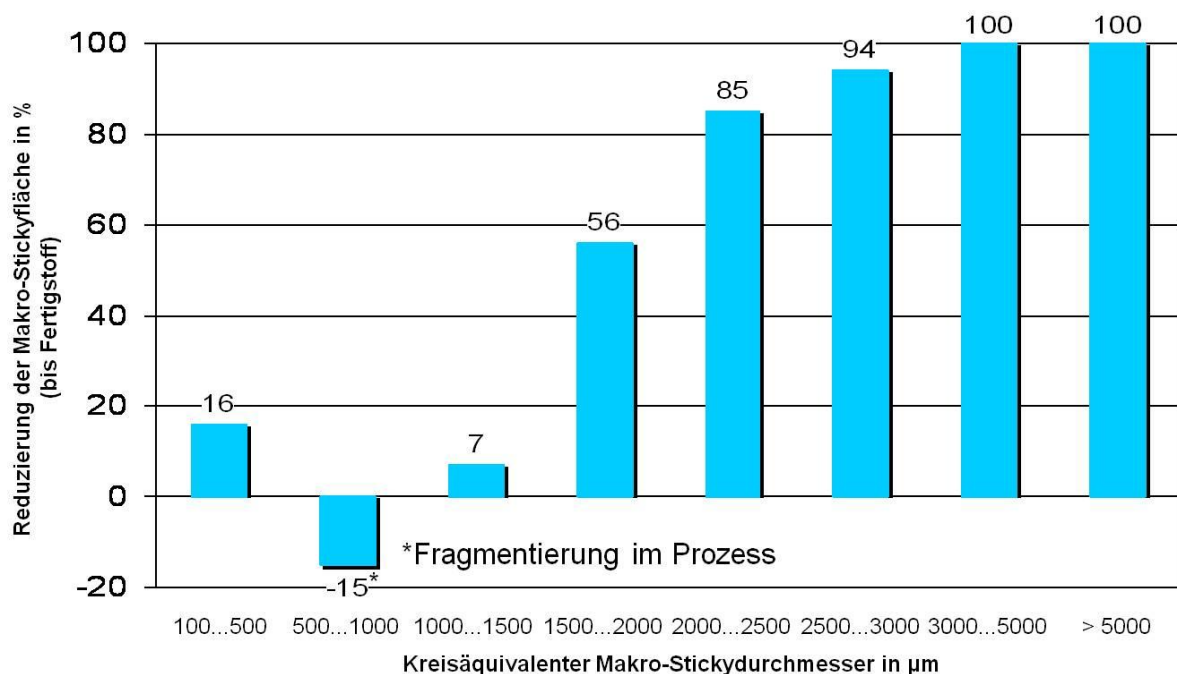


Abbildung 17: Entfernung der Makro-Stickyfläche von 4 braunen Papierfabriken – Untersuchungen PTS

Die Ergebnisse beider Institute zeigen, dass am Stoffauflauf einer braunen Papierfabrik in der Regel keine Makro-Stickys größer 3 000 µm vorhanden sind. Bei den Untersuchungen des PMV wurden lediglich in einer Fabrik am Stoffauflauf des Untersiebs Makro-Stickys größer 3 000 µm gefunden.

Eine Angabe der Entfernbarkeit mittels Sortierung, wie sie im INGEDE Projekt 129 09 festgelegt wurde, ist auf Grund der Datenlage aber nicht möglich. Gerade in den Makro-Stickygrößenklassen kleiner 2 000 μm ist die Stickyreduzierung in den verschiedenen Papierfabriken immens unterschiedlich, wie in **Abbildung 18** zu sehen ist. Diese Grafik zeigt die schlechteste (Minimale Reduzierung), durchschnittliche (Mittlere Reduzierung) und beste (Maximale Reduzierung) Makro-Stickyreduzierung, die die untersuchten Papierfabriken erzielten. In den Klassen bis 2 000 μm schwankt die Reduzierung je nach Fabrik zw. 0 und 90 %.

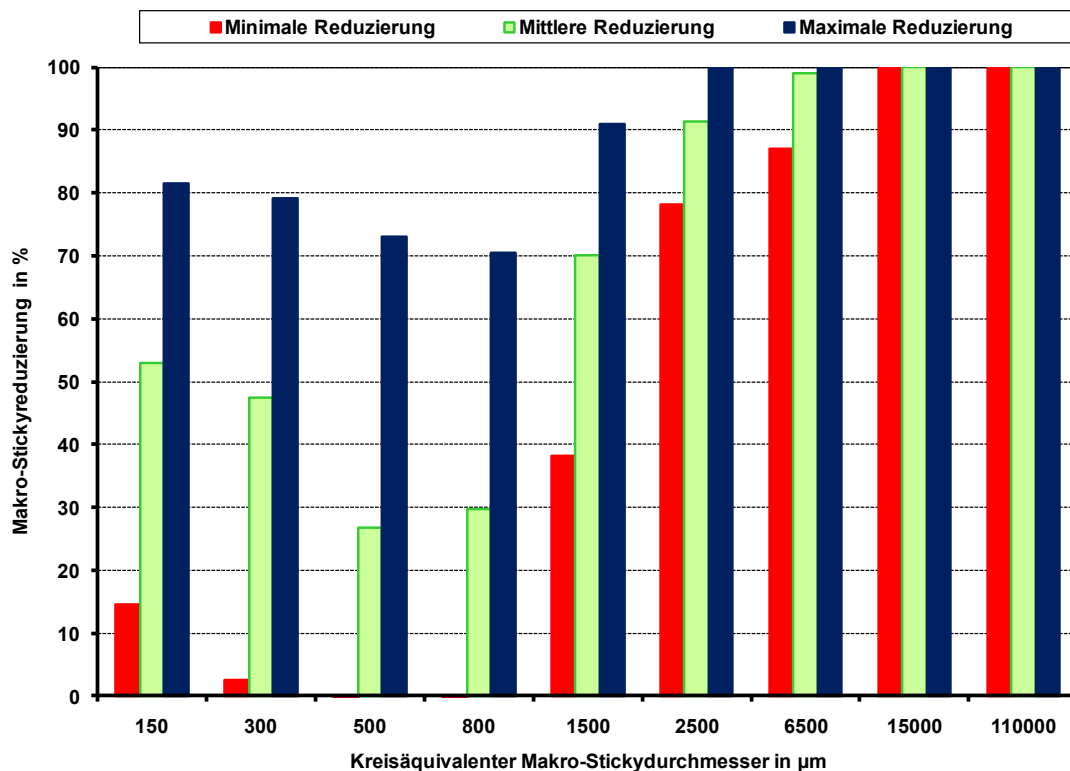


Abbildung 18: Schlechteste, durchschnittliche und beste prozentuale Entfernung der Makro-Stickyfläche bei 8 braunen Papierfabriken – Untersuchungen PMV

Ein Grund für die großen Reduzierungsunterschiede zw. den einzelnen Fabriken liegt in dem unterschiedlichen Aufbau und der unterschiedlichen Fahrweise der Stoffaufbereitungsanlagen. Um eine theoretische Makro-Stickyentfernung mittels Sortierung in die Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen einfließen lassen zu können, wie es die INGEDE in der ‚Scorecard for the Removability of Adhesive Applications‘ zur Bewertung des Sticky-potenzials von Klebstoff-Applikationen grafischer Papiere beim European Recovered Paper Council (ERPC) vorgeschlagen hat, müssen gezielte Untersuchungen zur Entfernbarkeit mit Sortieraggregaten brauner Papierfabriken in einem separaten Projekt durchgeführt werden.

5.3 Labormethode zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen

Mit dem in Kapitel 4 beschriebenen Konzept der Labormethode zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen wurden mehrere Verpackungen aus Faltschachtelkarton und Wellpappe untersucht. Offen in dem Konzept war die Zerfaserungsdauer, die in der endgültigen Labormethode festgeschrieben ist. Die Stoffdichte der Zerfaserung wurde anhand der Erfahrungen des PMV mit diesem Laborpulper für die Labormethode auf 4 % festgelegt. Ziel der Festlegung einer Zerfaserungsdauer war, nach der Zerfaserung im Laborpulper vergleich-

bare Stippengehalte, wie sie in industriellen Stoffaufbereitungsanlagen vorliegen, zu haben. Deshalb wurden von mehreren Verpackungen mehrere Zerfaserungszeiten untersucht und mit industriellen Stippengehalten nach der Grobsortierung verglichen. Als industrielle Werte wurden Messdaten, die in den INFOR Projekten 110 und 111 in 3 braunen Papierfabriken aufgenommen wurden, herangezogen [7]. Diese Messdaten sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 7: Stippengehalte in Stoffaufbereitungsanlagen von 3 braunen Papierfabriken

Papierfabrik	Probennahmestelle	Mittlerer Stippengehalt [%]
Papierfabrik A	Akzept Dickstoffreiniger	11,0
	Ableerturm	9,3
	Akzept Fibersorter	<u>2,8</u>
Papierfabrik B	Akzept Pulper	14,2
	Akzept Dickstoffreiniger	14,2
	Ableerturm	19,1
	Akzept Sortierer	<u>2,6</u>
Papierfabrik C	Akzept Pulper	10,5
	Ableerturm	3,4
	Akzept Fibersorter	<u>1,1</u>

Die Stippengehalte nach der Grobsortierung lagen in den 3 Fabriken zwischen 1,1 und 2,8 %.

In **Abbildung 19** sind die mittleren Stippengehalte der untersuchten Verpackungen aus Falt-schachtelkarton und Wellpappe aufgelistet.

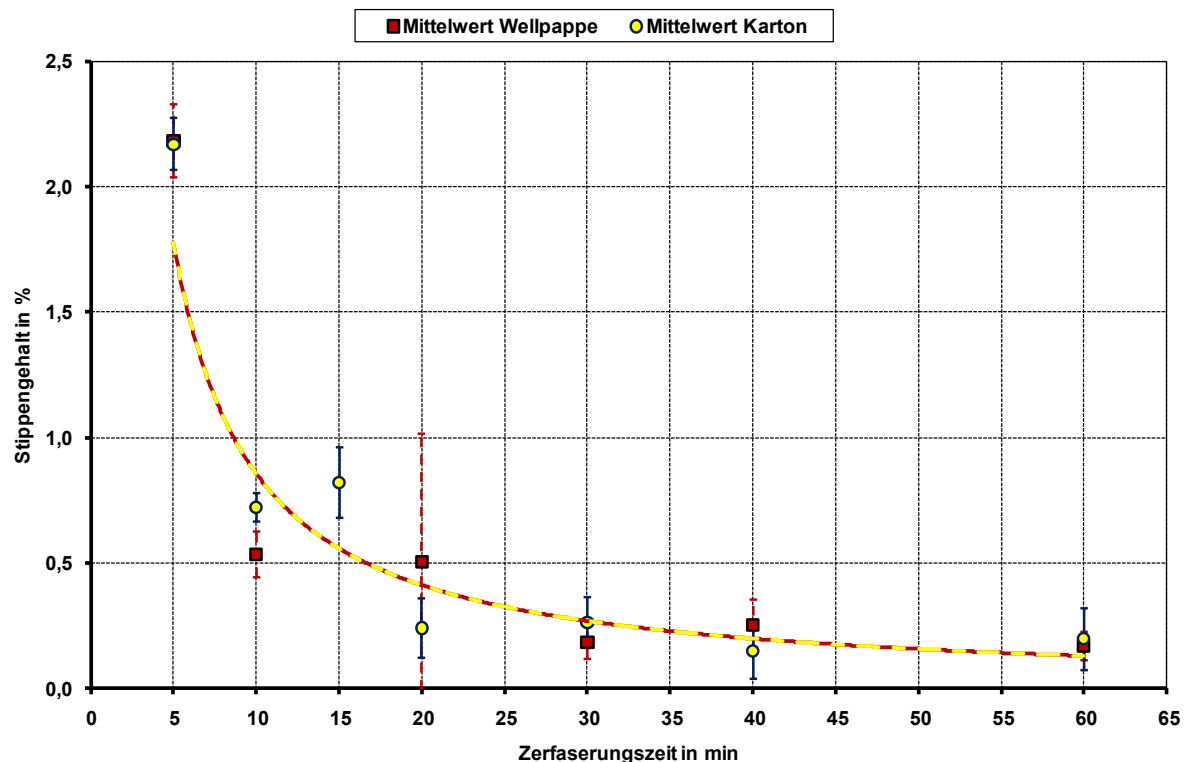


Abbildung 19: Mittlerer Stippengehalt von Verpackungen aus Faltschachtelkarton und Wellpappe in Abhängigkeit von der Zerfaserungszeit im Laborpulper

Der Stippengehalt war bei allen Verpackungen bereits nach 10 min Zerfaserungszeit unter 1 %. Nach 5 min Zerfaserungszeit lag er sowohl für die Verpackungen aus Faltschachtelkarton als auch für die Verpackungen aus Wellpappe bei 2,2 %, was dem Niveau der in der Industrie gemessenen Stippengehalte entspricht. Die Verweilzeit des Altpapiers in industriellen Pulpern liegt laut Papierhersteller häufig unter 2 min. Die Verweilzeit im Laborpulper ist mit 5 min somit etwa dreimal so hoch wie in der Industrie. Anhand der Vergleichsuntersuchungen zwischen Labor und Technikumszerfaserung kann deshalb bei einer 5 minutigen Zerfaserungszeit im Laborpulper eine ähnliche Stickyfragmentierung wie in der Industrie erwartet werden. In der Labormethode ist deshalb, wie in **Abbildung 20** zu sehen ist, eine Zerfaserung von 5 min bei einer Stoffdichte von 4 % festgeschrieben.

Um eine Verpackung nach dieser Labormethode zu untersuchen, werden 480 g_{otro} der Verpackung charakterisiert und auf handtellergröße Stücke geschnitten, gemäß der Probenvorbereitung, die in Kapitel 4.2 beschrieben ist. Diese 480 g_{otro} werden bei 4 % Stoffdichte und einer Temperatur von 40°C 5 min zerfasert. Anschließend werden die 12 l Suspension über das in Kapitel 4.3.3 beschriebene Grobsortierungsaggregat sortiert, mit weiteren 12 l Leitungswasser gewaschen und mit nochmals 2 l Leitungswasser aus einer Gartenspritzpistole nachgespült. Der genaue Ablauf der Grobsortierung ist in Kapitel 4.4.1 erläutert. Der Rückstand der Grobsortierung wird anschließend bis zur Gewichtskonstanz bei 105°C in einem Trockenschrank getrocknet und gewogen. Die Fasersuspension wird mit einer 5-fach-Bestimmung auf Stippengehalt und mit einer 4-fach-Bestimmung auf Marko-Stickyfläche und –größenverteilung untersucht. Mit den Werten der Grobsortierung, der Stippengehaltsbestimmung und der Makro-Stickymessung wird die Rezyklierbarkeit der Verpackung bewertet.

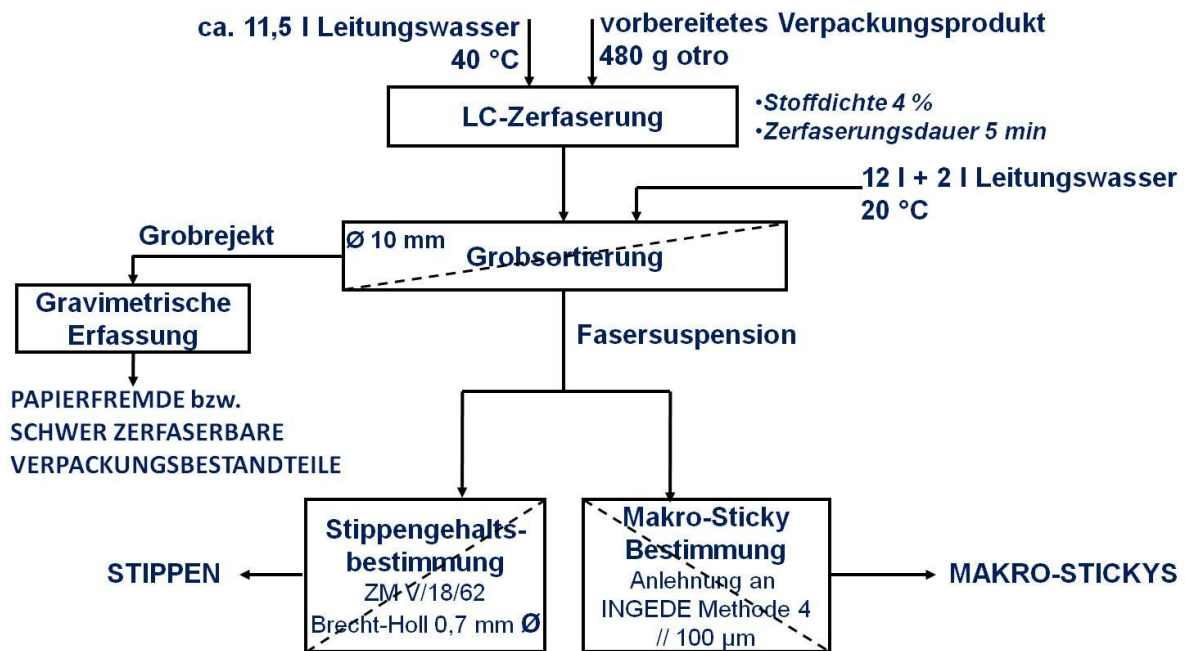


Abbildung 20: Labormethode zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen

5.4 Wiederholbarkeit der mit der neuen Labormethode erzielten Messergebnisse

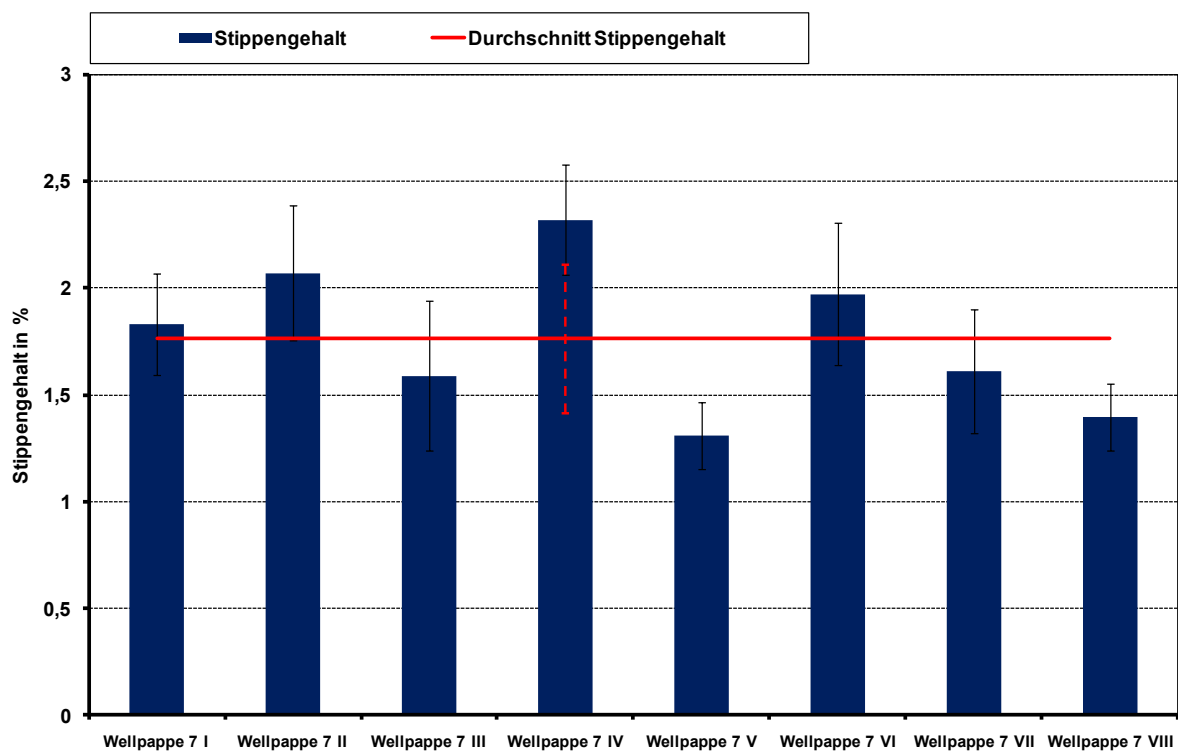
Um die Aussagekraft der mit der neuen Labormethode erzielten Messergebnisse zu bewerten, wurde eine Wiederholbarkeitsreihe durchgeführt. In dieser Reihe wurde eine Wellpappenverpackung (Wellpappe 7) 8 mal mit der Labormethode untersucht. Die erzielten Ergebnisse für den Rückstand der Grobsortierung und den Stippengehalt sind in den **Tabellen 8 und 9** und in der **Abbildungen 21** zusammengefasst.

Tabelle 8: Rückstände der Grobsortierung der Wellpappe 7 bei 8 Wiederholungsmessungen

Probe	Rückstand Grobsortierung [%]	Mittelwert Rückstand Grobsortierung [%]	Standardabweichung Rückstand Grobsortierung [%]
Wellpappe 7 I	0,00	0,0125	0,04
Wellpappe 7 II	0,00		
Wellpappe 7 III	0,00		
Wellpappe 7 IV	0,00		
Wellpappe 7 V	0,10		
Wellpappe 7 VI	0,00		
Wellpappe 7 VII	0,00		
Wellpappe 7 VIII	0,00		

Tabelle 9: Stippengehalte der Wellpappe 7 bei 8 Wiederholungsmessungen

Probe	Stippengehalt [%]	Standardabweichung Stippengehalt [%]	Durchschnitt Stippengehalt [%]	Standardabweichung Durchschnitt Stippengehalt [%]
Wellpappe 7 I	1,83	0,24	1,76	0,35
Wellpappe 7 II	2,07	0,32		
Wellpappe 7 III	1,59	0,35		
Wellpappe 7 IV	2,32	0,26		
Wellpappe 7 V	1,31	0,16		
Wellpappe 7 VI	1,97	0,33		
Wellpappe 7 VII	1,61	0,29		
Wellpappe 7 VIII	1,40	0,16		

**Abbildung 21:** Stippengehalte der Wellpappe 7 bei 8 Wiederholungsmessungen

Sowohl die Rückstände der Grobsortierung als auch die Stippengehalte zeigen eine gute Wiederholbarkeit. Bei der Messung des Rückstands der Grobsortierung wurde bei 7 von 8 Proben der gleiche Wert gemessen (0 %). Nur bei Probe 5 wurde ein minimaler Rückstand von 0,1 % festgestellt, der aus zwei nicht aufgelösten Verpackungsschnipseln bestand. Die Stippengehalte der 8 Proben liegen alle auf demselben Niveau. Sie schwanken zwischen 1,3 und 2,3 %.

In den folgenden **Tabellen 10 bis 12** sind die Messwerte der Gesamt-Makro-Stickyfläche, der Makro-Stickyfläche der Partikel kleiner 3 000 μm sowie der Flächenanteil der Makro-Stickys kleiner 3 000 μm an der Gesamt-Makro-Stickyfläche zusammengefasst. In den **Abbildungen 22 und 23** sind die Makro-Stickyflächen sowie die Makro-Stickygrößenverteilung grafisch dargestellt.

Tabelle 10: Gesamt-Makro-Stickyfläche der Wellpappe 7 bei 8 Wiederholungsmessungen

Probe	Gesamt-Makro-Stickyfläche [mm ² /kg _{Produkt}]	Standard-abweichung [mm ² /kg _{Produkt}]	Durchschnitt Gesamt-Makro-Stickyfläche [mm ² /kg _{Produkt}]	Standardabweichung Durchschnitt [mm ² /kg _{Produkt}]
Wellpappe 7 I	19 305	3 813	24 013	4 511
Wellpappe 7 II	22 864	3 119		
Wellpappe 7 III	24 440	3 307		
Wellpappe 7 IV	19 545	3 495		
Wellpappe 7 V	30 998	4 975		
Wellpappe 7 VI	27 804	4 180		
Wellpappe 7 VII	19 375	2 597		
Wellpappe 7 VIII	27 777	2 114		

Tabelle 11: Makro-Stickyfläche der Stickys kleiner 3 000 µm der Wellpappe 7 bei 8 Wiederholungsmessungen

Probe	Makro-Stickyfläche < 3 000 µm [mm ² /kg _{Produkt}]	Standard-abweichung [mm ² /kg _{Produkt}]	Durchschnitt Makro-Stickyfläche < 3 000 µm [mm ² /kg _{Produkt}]	Standardabweichung Durch-schnitt [mm ² /kg _{Produkt}]
Wellpappe 7 I	17 754	2 349	20 248	2 710
Wellpappe 7 II	18 649	1 929		
Wellpappe 7 III	20 104	2 153		
Wellpappe 7 IV	17 813	1 965		
Wellpappe 7 V	24 714	6 182		
Wellpappe 7 VI	23 529	4 113		
Wellpappe 7 VII	18 066	1 362		
Wellpappe 7 VIII	21 355	1 582		

Tabelle 12: Anteil der Makro-Stickyfläche der Stickys kleiner 3 000 µm von der Gesamt-Makro-Stickyfläche der Wellpappe 7 bei 8 Wiederholungsmessungen

Probe	Anteil Makro-Stickyfläche < 3 000 µm von Gesamt-Makro-Stickyfläche [%]	Durchschnitt Anteil [%]
Wellpappe 7 I	92	84
Wellpappe 7 II	82	
Wellpappe 7 III	82	
Wellpappe 7 IV	91	
Wellpappe 7 V	80	
Wellpappe 7 VI	85	
Wellpappe 7 VII	93	
Wellpappe 7 VIII	77	

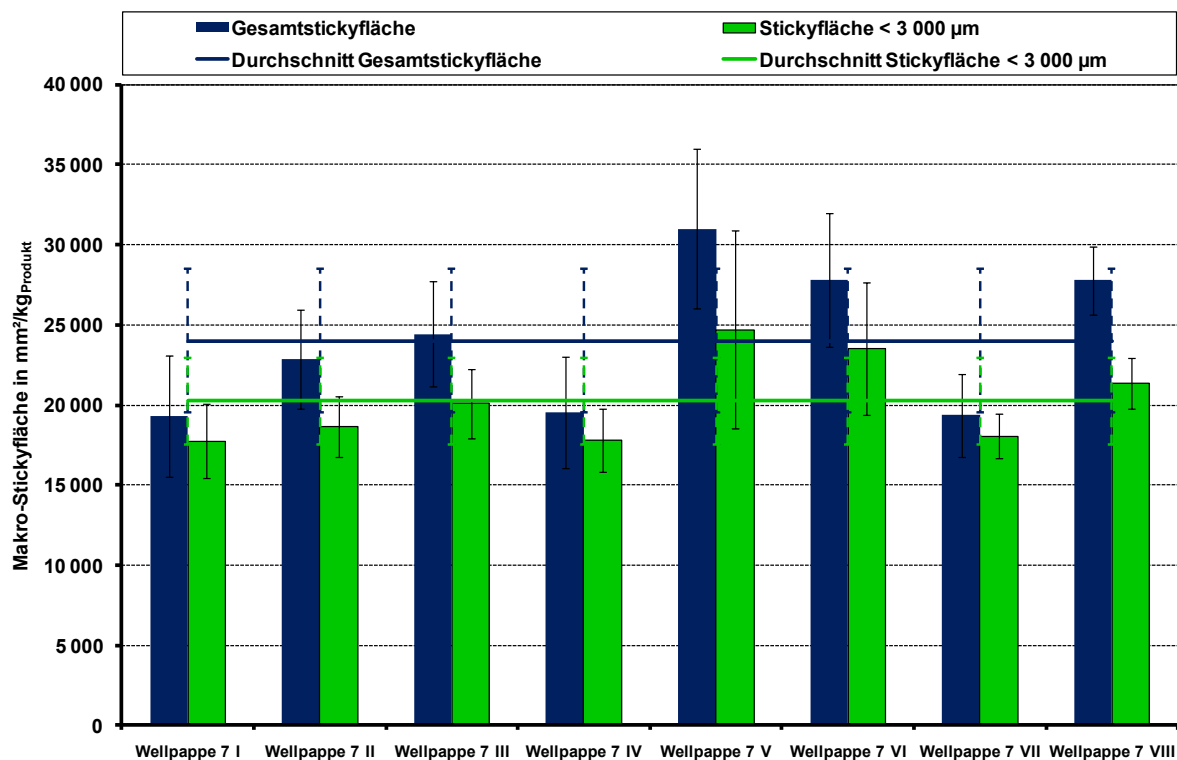


Abbildung 22: Gesamt-Makro-Stickyfläche und Makro-Stickyfläche der Makro-Stickys kleiner 3 000 µm der Wellpappe 7 bei 8 Wiederholungsmessungen

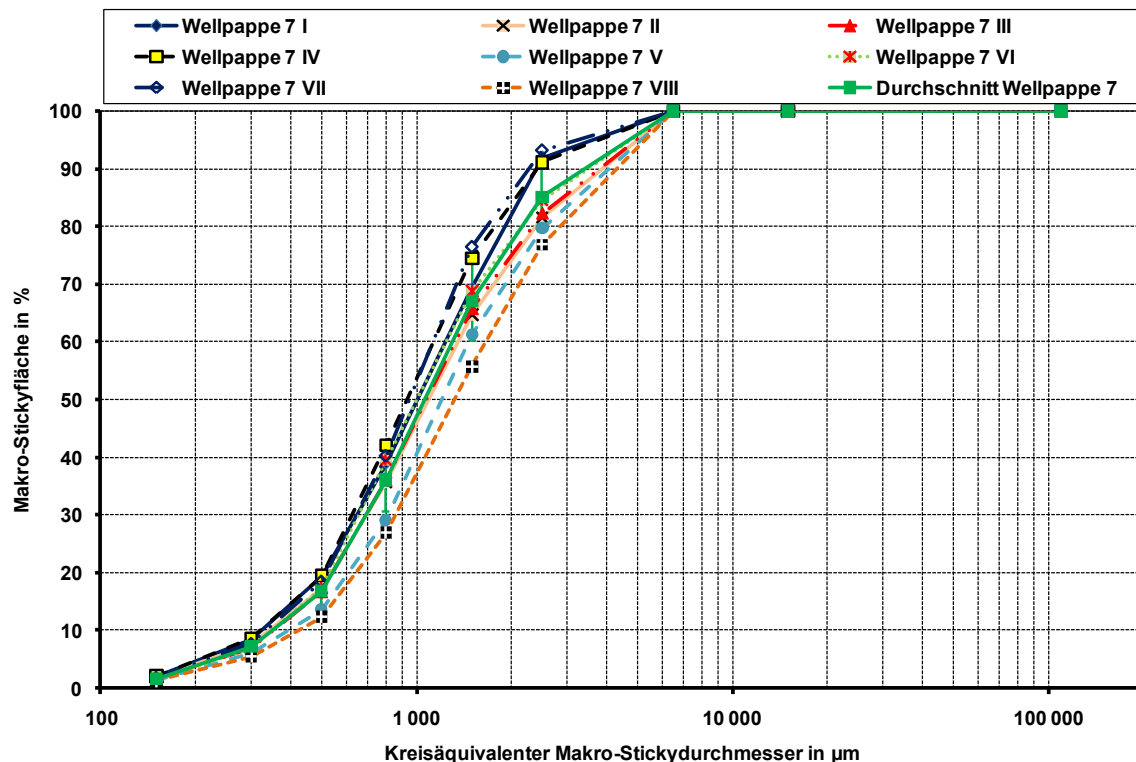


Abbildung 23: Summenverteilungen der Makro-Stickyfläche der Wellpappe 7 bei 8 Wiederholungsmessungen

Auch die Untersuchungen der Makro-Stickyfläche zeigen eine akzeptable Wiederholbarkeit. Die Gesamt-Makro-Stickyfläche liegt im Schnitt bei $24\,013\text{ mm}^2/\text{kg}_{\text{Produkt}}$, wobei die Standardabweichung $4\,511\text{ mm}^2/\text{kg}_{\text{Produkt}}$ beträgt (Variationskoeffizient: 18,8 %). Die Makro-Stickyfläche der Makro-Stickys mit einem kreisäquivalenten Durchmesser kleiner $3\,000\text{ }\mu\text{m}$ liegt durchschnittlich bei $20\,248\text{ mm}^2/\text{kg}_{\text{Produkt}}$ und hat eine Standardabweichung von $2\,710\text{ mm}^2/\text{kg}_{\text{Produkt}}$ (Variationskoeffizient: 13,4 %). Die Größenverteilung der Makro-Stickys ist bei allen 8 Proben sehr ähnlich. Der Anteil der Makro-Stickyfläche der Makro-Stickys kleiner $3\,000\text{ }\mu\text{m}$ an der Gesamt-Makro-Stickyfläche liegt bei den 8 Proben zwischen 77 und 92 % und im Durchschnitt bei 84 %.

Insgesamt hat die Wiederholbarkeitsuntersuchung gezeigt, dass die Labormethode bezüglich aller Bewertungskriterien wiederholbare Messwerte liefert und sich somit zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen eignet.

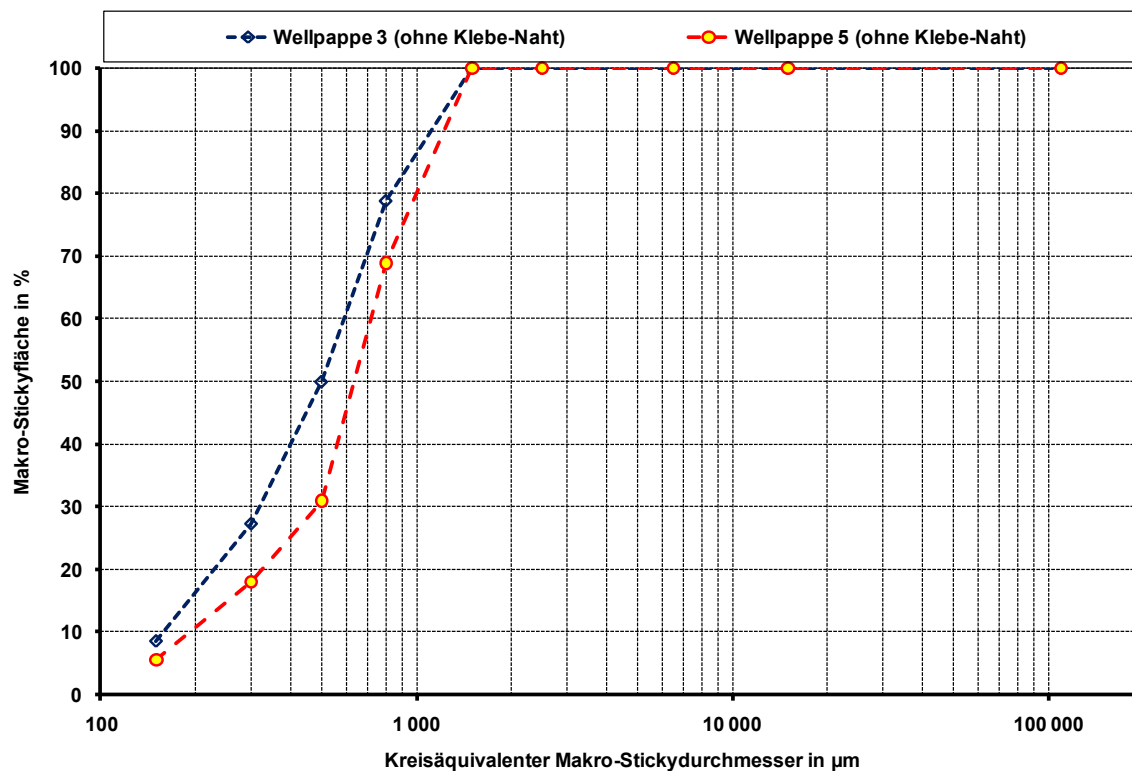
5.5 Makro-Stickygehalt im nicht verklebten Verpackungsmaterial

Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass alle Produkte sehr hohe Makro-Stickyflächen lieferten. Da unklar war, ob die hohen Makro-Stickywerte allein von den Verklebungen herrührten, oder ob die Verpackungsmaterialien selbst einen erheblichen Anteil an Makro-Stickys einbrachten, wurden zwei Wellpappenverpackungen (Wellpappe 3 und Wellpappe 5) ohne Klebe-Nähte auf ihre Makro-Stickygehalte untersucht. Für die Untersuchungen ohne Klebe-Nähte wurden von beiden Verpackungen alle Klebe-Nähte entfernt und anschließend zerfasert. Die beiden Suspensionen wurden dann auf ihre Makro-Stickygehalte untersucht. Die Ergebnisse sind in der **Tabelle 13** aufgelistet.

Tabelle 13: Makro-Stickyflächen der beiden ohne Klebe-Naht untersuchten Verpackungen aus Wellpappe

Probe	Klebe-Naht	Makro-Stickyfläche [mm ² /kg _{Produkt}]	Standardabweichung Makro-Stickyfläche [mm ² /kg _{Produkt}]	Makro-Stickyfläche < 3 000 µm [mm ² /kg _{Produkt}]	Standardabweichung Makro-Stickyfläche < 3 000 µm [mm ² /kg _{Produkt}]
Wellpappe 3	ohne	2 732	461	2 732	461
Wellpappe 5	ohne	4 011	1 378	4 011	1 378

Bei beiden Verpackungen konnten im nicht verklebten Verpackungsmaterial Makro-Stickys gemessen werden. Bei der Wellpappe 3 betrug die Makro-Stickyfläche 2 732 mm²/kg_{Produkt} und bei der Wellpappe 5 4 011 mm²/kg_{Produkt}. Die Makro-Stickys aus beiden Verpackungen waren alle kleiner als 3 000 µm, wie in **Abbildung 24** zu sehen ist.

**Abbildung 24:** Makro-Stickygrößenverteilung der beiden ohne Klebe-Naht untersuchten Verpackungen aus Wellpappe

Mit dem nicht verklebten Verpackungsmaterial werden bei Wellpappenverpackungen Makro-Stickys, die kleiner als 3 000 µm sind, mit einer Fläche zwischen 3 000 und 4 000 mm²/kg_{Produkt} in die Suspensionen eingebracht. Da bei fast allen untersuchten Verpackungen mit Klebe-Nähte aber Makro-Stickyflächen von 10 000 bis 20 000 mm²/kg_{Produkt} und höher gemessen wurden, wird in der Regel der größte Teil der Makro-Stickys durch die Klebstoffapplikationen in die Suspension eingebracht.

5.6 Einfluss der Verschluss-Naht von Verpackungen auf die Ergebnisse der Bewertungskriterien

Die meisten in diesem Projekt untersuchten Verpackungen wurden von Herstellern von Verpackungen und Abpackern zur Verfügung gestellt und enthielten kein Füllgut und damit auch keine Verschluss-Naht. Um herauszufinden, welchen Einfluss die Verschluss-Naht auf die Bewertungskriterien hat, wurden im Supermarkt drei Produkte (siehe **Abbildung 25**) gekauft, die Füllgüter entfernt und mit und ohne Verschluss-Naht untersucht.



Abbildung 25: Probenmaterial zur Untersuchung des Einflusses der Verschluss-Naht

Als Produkte dienten Eisumverpackungen (Karton 4), die zu einem großen Teil mit Hotmelt-Klebebindungen und zu einem kleinen Teil mit Klebebändern verschlossen waren, Nudelverpackungen (Karton 5), die ein Sichtfenster enthielten und mit Hotmelt-Klebebindungen verschlossen waren, und Windelumverpackungen (Wellpappe 6), die mit Klebebändern verschlossen waren. Von jeder Verpackung wurde je ein Versuch mit und ein Versuch ohne Verschluss-Naht durchgeführt. Für die Versuche ohne Verschluss-Naht wurde die komplette Naht, also der Klebstoff und das den Klebstoff berührende Verpackungsmaterial, entfernt und durch nicht verklebtes Verpackungsmaterial ersetzt, damit die vorgeschriebene Stoffdichte von 4 % bei der Zerfaserung eingehalten wird. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den **Abbildungen 26 bis 30** und in **Tabelle 14** zusammengefasst.

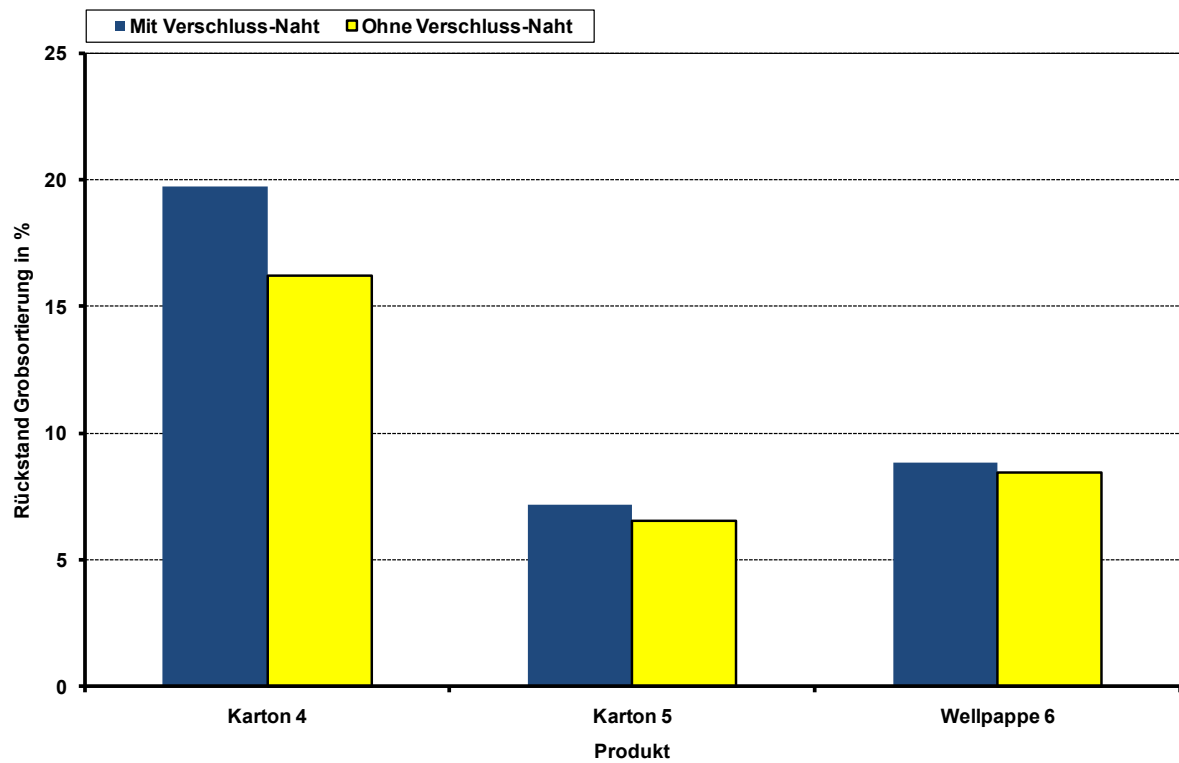


Abbildung 26: Rückstand der Grobsortierung der mit und ohne Verschluss-Naht untersuchten Verpackungen

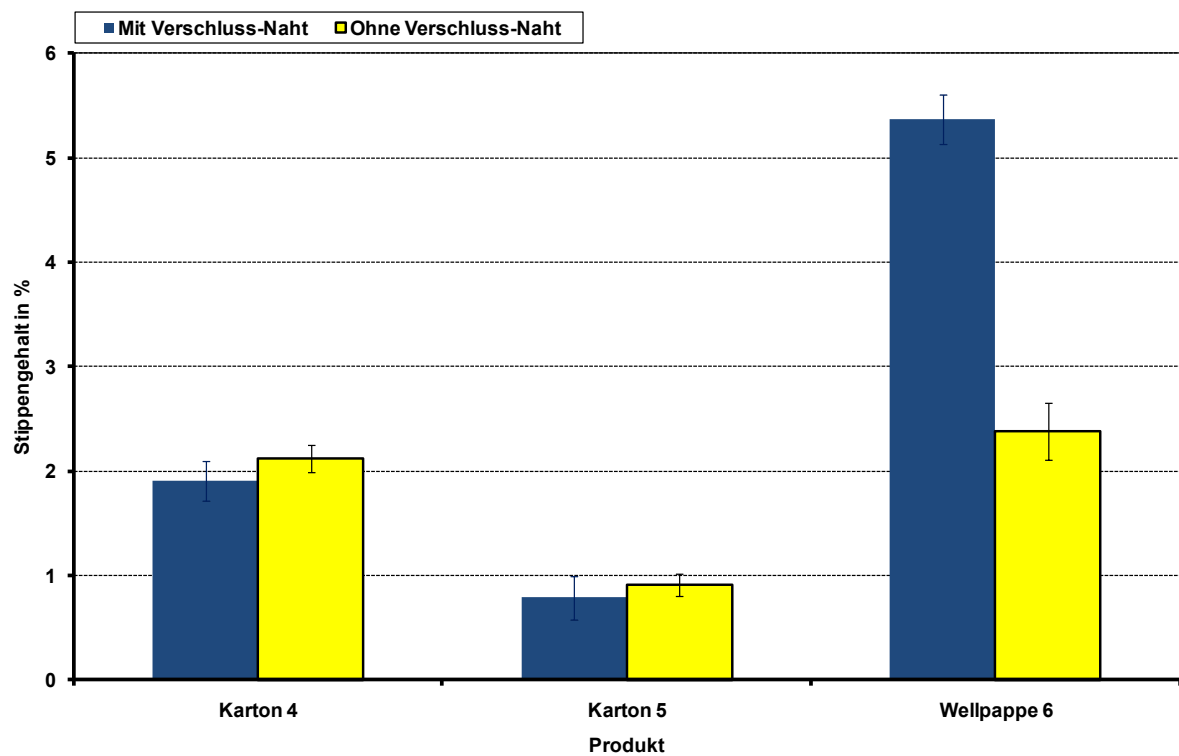


Abbildung 27: Stippengehalt der mit und ohne Verschluss-Naht untersuchten Verpackungen

Beim Rückstand der Grobsortierung (Abbildung 27) ist nur bei Karton 4 ein Unterschied zwischen den Versuchen mit und ohne Verschluss-Naht zu sehen, wobei dieser Unterschied von 3,5 %-Punkten vernachlässigbar klein ist. Die untersuchten Verschluss-Nähte haben somit keinen Einfluss auf den Rückstand der Grobsortierung

Beim Stippengehalt, der in Abbildung 28 dargestellt ist, ist bei den beiden Verpackungen, die überwiegend bzw. nur mit Hotmelt-Klebebindungen verschlossen wurden, kein Einfluss durch die Verschluss-Naht zu sehen. Anders sieht es bei der Wellpappe 6 aus, die mit einem Klebeband verschlossen war. Hier liegt der Stippengehalt bei der Probe mit Verschluss-Naht doppelt so hoch wie bei der Probe ohne Verschluss-Naht. Gründe dafür können veränderte Strömungsverhältnisse im Pulper durch die handtellergrößen Klebebandstücke, die nicht weiter fragmentieren, und eine geringere Angriffsfläche an das Fasermaterial, das am Klebeband anhaftet, sein.

Die Ergebnisse der Makro-Stickymessungen sind in Tabelle 14 und den Abbildungen 28 bis 30 zu sehen. Bei den beiden untersuchten Kartons und der untersuchten Wellpappe liegen die Messwerte der Makro-Stickygesamtfläche von den Proben mit und ohne Verschluss-Naht nah beieinander. Die Unterschiede der Makro-Stickygesamtfläche zwischen den Proben mit und ohne Verschluss-Naht liegen alle im Rahmen der Standardabweichungen und sind damit nicht auf die Verschluss-Naht zurückzuführen. Die Verschluss-Naht hat somit bei keinem der drei Produkte Einfluss auf die Makro-Stickygesamtfläche. Der Anteil an Klebstoffmenge, der durch den Verschluss eingebracht wird, ist im Vergleich zur Restklebstoffmenge, die mit den Industrie-Nähten und dem Faltschachtelkarton bzw. der Wellpappe selbst eingebracht wird, gering und fällt in den Messwerten nicht auf.

Tabelle 14: Makro-Stickyflächen der mit und ohne Verschluss-Naht untersuchten Verpackungen

Probe	Ver- schluss- Naht	Makro- Stickyfläche [mm ² /kg _{Produkt}]	Standardabwei- chung Makro- Stickyfläche [mm ² /kg _{Produkt}]	Makro- Stickyfläche < 3 000 µm [mm ² /kg _{Produkt}]	Standardabwei- chung Makro- Stickyfläche < 3 000 µm [mm ² /kg _{Produkt}]
Karton 4	Klebeband und Hotmelt	10 922	3 905	6 990	1 907
Karton 4	ohne	12 044	5 063	6 519	3 240
Karton 5	Hotmelt	11 307	2 069	8 292	2 010
Karton 5	ohne	11 025	2 230	8 751	1 443
Wellpap- pe 6	Klebeband	14 073	2 654	9 190	2 258
Wellpap- pe 6	ohne	12 508	4 131	11 732	3 208

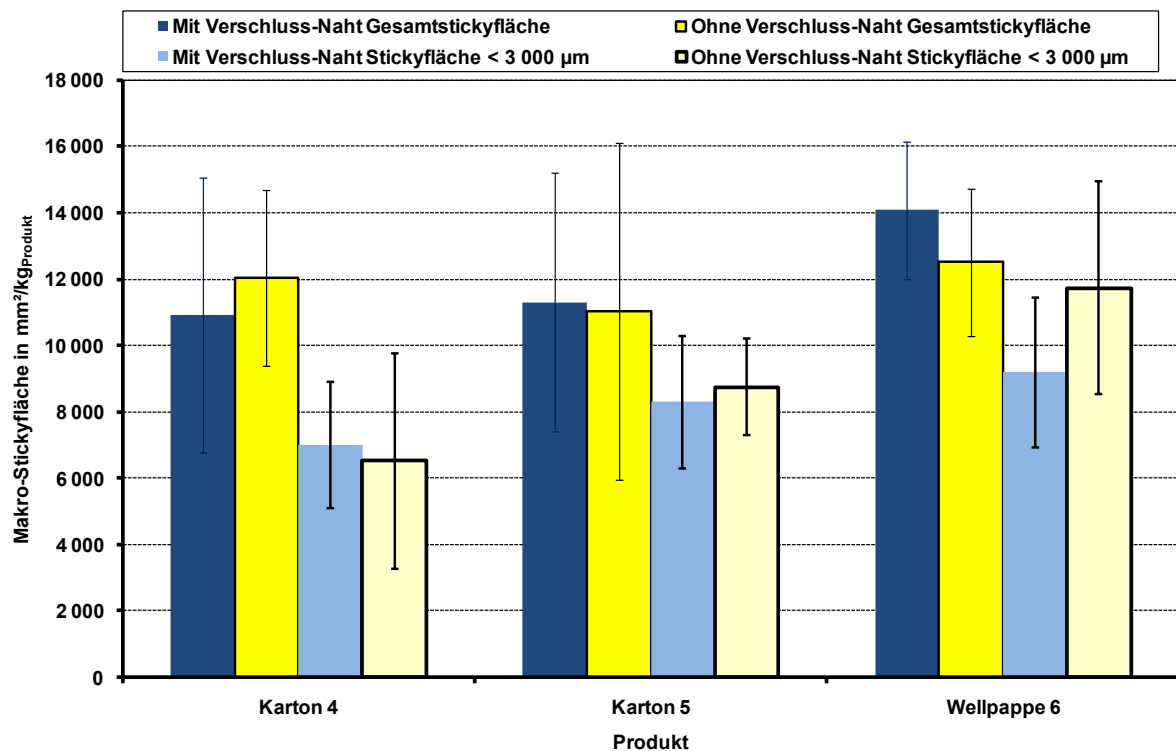


Abbildung 28: Makro-Stickyfläche der mit und ohne Verschluss-Naht untersuchten Verpackungen

Die Art der Klebebindung beeinflusst nicht die Stickyfläche, kann aber die Stickyfragmentierung beeinflussen, wie in den Abbildungen 29 und 30 zu sehen ist. Die Proben der beiden Faltschachtelkartons mit Verschluss-Naht zeigen einen vergleichbaren Anteil an Stickys kleiner 3 000 µm wie die Proben ohne Verschluss-Naht. Bei den Proben der Wellpappe sieht es anders aus. Die Probe mit Verschluss-Naht hat mit 65 % einen deutlich geringeren Anteil an Stickys kleiner 3 000 µm als die Probe ohne Verschluss-Naht, deren Anteil bei 94 % liegt. Dies ist ein ähnliches Verhalten wie beim Stippengehalt. Die Stickyfragmentierung wird wie der Stippengehalt durch die Anwesenheit von handtellergrößen Klebebandstücken beeinflusst. Gründe für die veränderte Stickyfragmentierung können ebenfalls veränderte Strömungsverhältnisse im Pulper sein.

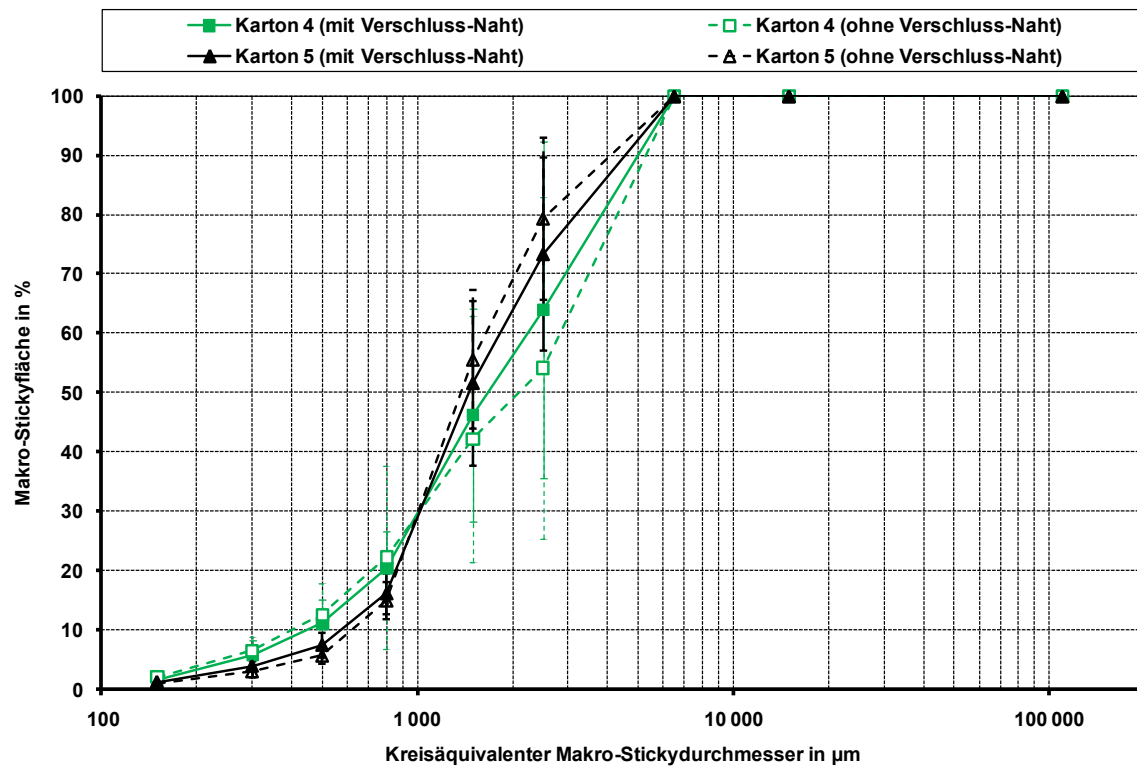


Abbildung 29: Makro-Stickygrößenverteilung der mit und ohne Verschluss-Naht untersuchten 2 Verpackungen aus Faltschachtelkarton

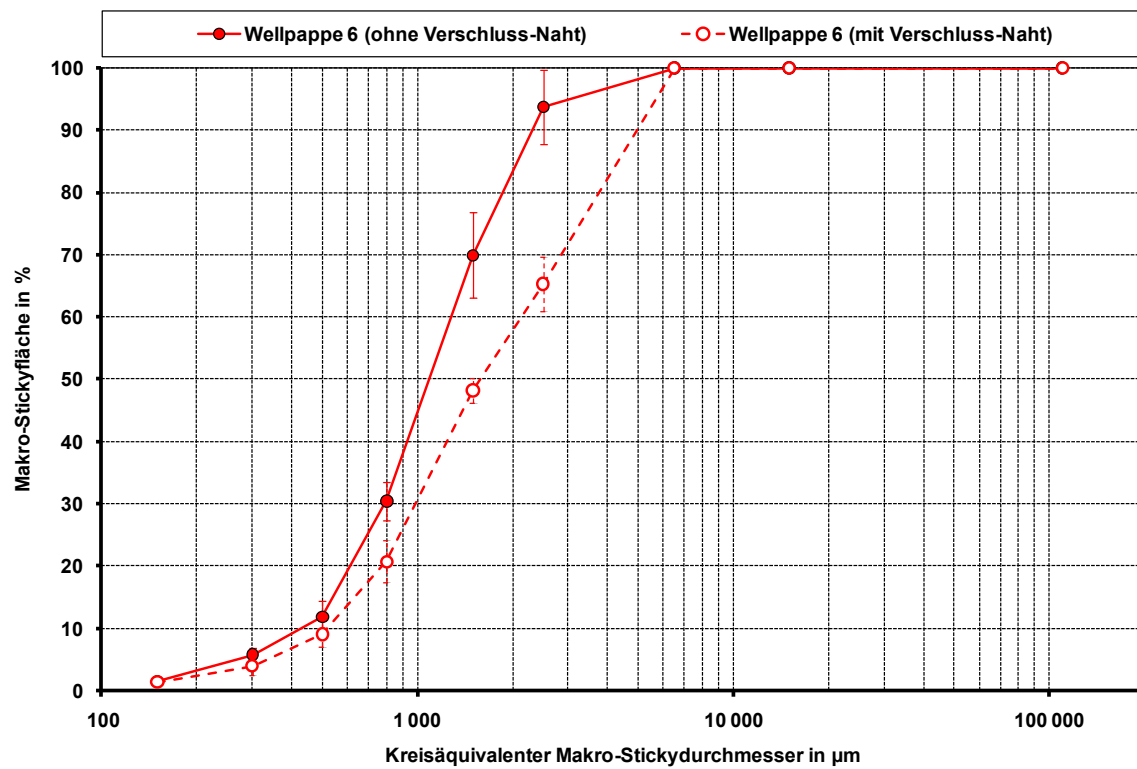


Abbildung 30: Makro-Stickygrößenverteilung der mit und ohne Verschluss-Naht untersuchten Verpackung aus Wellpappe

Der Eintrag von Makro-Stickys durch die Verschluss-Naht ist bei den untersuchten Proben gering. Bei den Verschluss-Nähten mit Hotmelt als Klebebindung ist keine Beeinflussung der Bewertungskriterien zu erkennen. Nur beim Klebeband als Verschluss der Verpackung sind Veränderungen im Stippengehalt und in der Stickyfragmentierung zu sehen. Durch die geringe Anzahl an Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Verschluss-Nähte auf die Bewertungskriterien können die Ergebnisse nicht generalisiert werden. Für allgemeine Aussagen sind weitere Untersuchungen nötig.

5.7 Vorstellung der bisherigen Datenbasis

Mit der entwickelten Labormethode zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen wurden mehrere Verpackungen ohne Verschluss-Naht untersucht. Insgesamt stehen nun Ergebnisse von 5 Verpackungen aus Wellpappe, 3 Verpackungen aus Faltschachtelkarton und 1 Verpackung aus Verbundmaterial zur Verfügung. Alle Ergebnisse sind abschließend in **Tabelle 15 und 16** sowie den **Abbildungen 31 bis 34** zusammengefasst

Tabelle 15: Ergebnisse der Grobsortierung und der Stippengehaltsmessung der 8 Verpackungsprodukte

Probe	Rückstand Grobsortierung [%]	Stippengehalt [%]	Standardabweichung Stippengehalt [%]
Karton 2	0	2,17	0,10
Karton 4	16,2	2,12	0,14
Karton 5	6,6	0,91	0,11
Wellpappe 1	5,5	0,94	0,25
Wellpappe 3	0	4,40	0,28
Wellpappe 5	0	1,66	0,07
Wellpappe 6	8,5	2,38	0,28
Wellpappe 7	0	1,76	0,35
Verbundmaterial 4	46,3	6,58	0,65

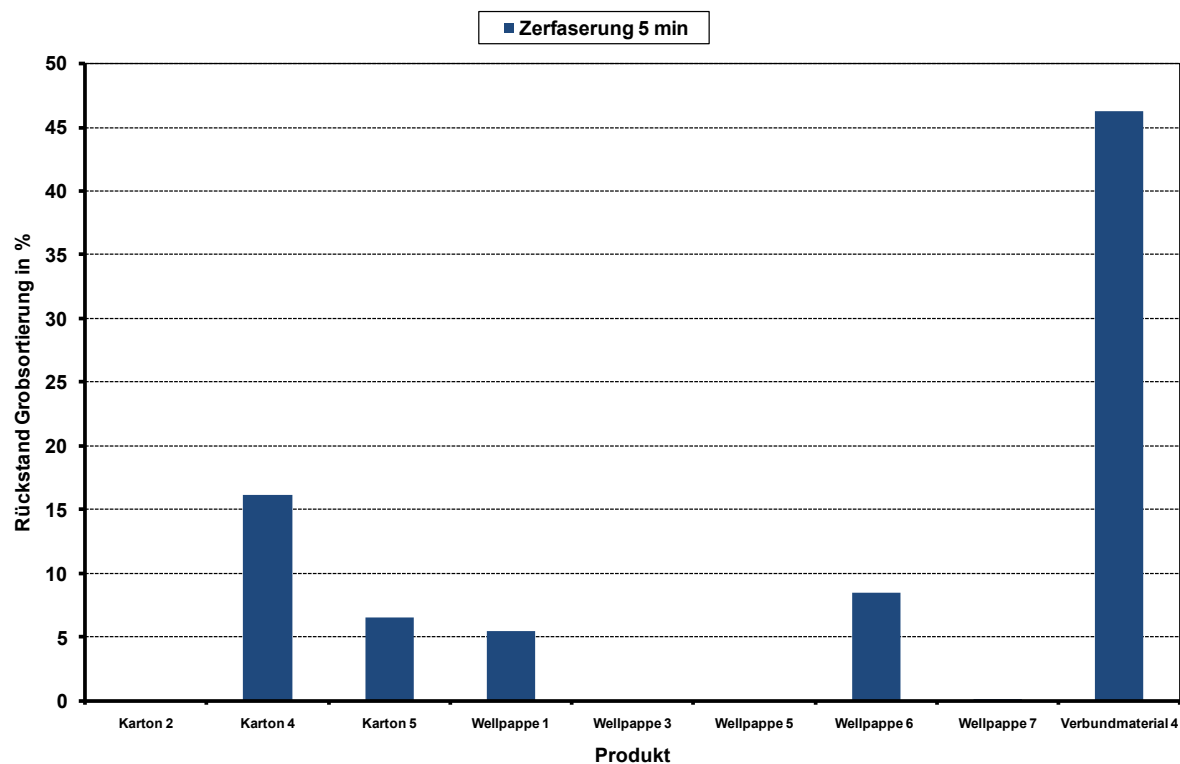


Abbildung 31: Rückstand der Grobsortierung der 9 Verpackungen

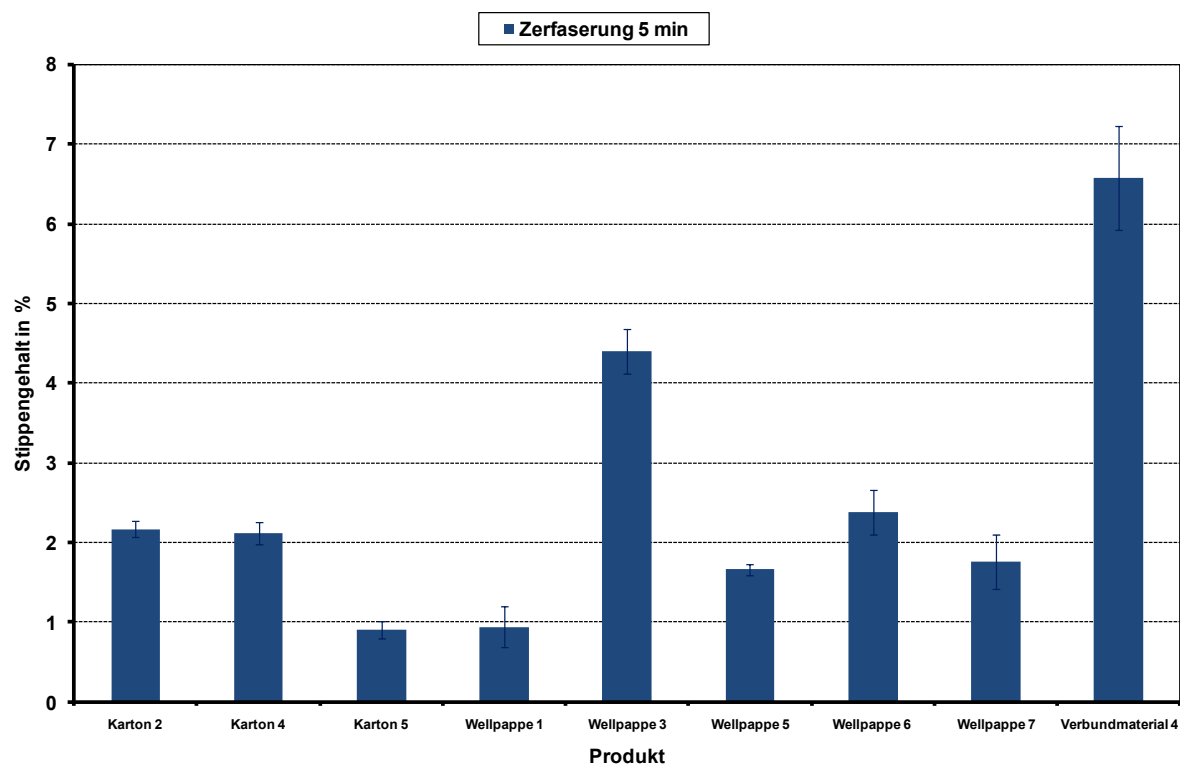
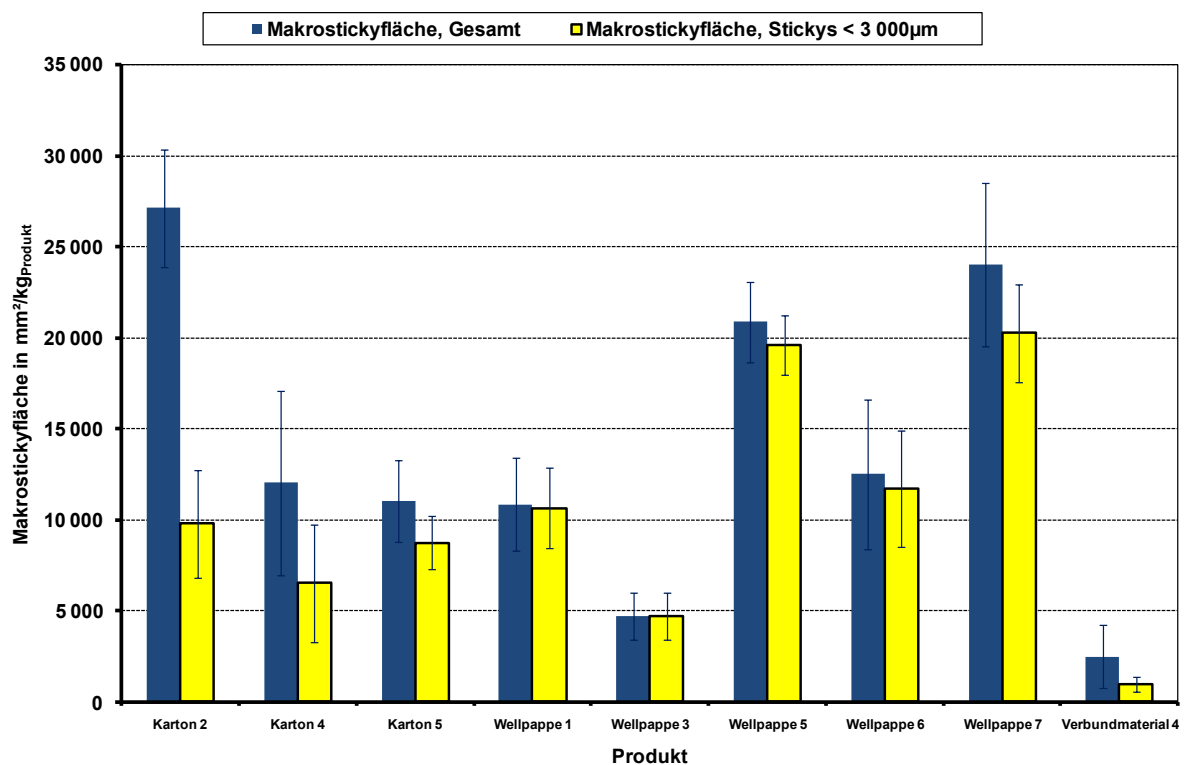


Abbildung 32: Stippengehalte der 9 Verpackungen

Tabelle 16: Ergebnisse der Makro-Stickyuntersuchungen der 9 Verpackungen

Produkt	Gesamt-Makro-Stickyfläche [mm ² /kg _{Produkt}]	Standard-abweichung [mm ² /kg _{Produkt}]	Makro-Stickyfläche < 3 000 µm [mm ² /kg _{Produkt}]	Standard-abweichung [mm ² /kg _{Produkt}]	Anteil Makro-Stickyfläche < 3 000 µm [%]
Karton 2	27 132	3 235	9 791	2 949	36
Karton 4	12 049	5 063	6 519	3 240	54
Karton 5	11 025	2 230	8 751	1 443	79
Wellpappe 1	10 863	2 543	10 650	2 215	98
Wellpappe 3	4 709	1 299	4 709	1 299	100
Wellpappe 5	20 882	2 218	19 607	1 656	94
Wellpappe 6	12 508	4 131	11 732	3 208	94
Wellpappe 7	24 013	4 511	20 248	2 710	84
Verbundmaterial 4	2 498	1 703	990	401	40

**Abbildung 33:** Makro-Stickygehalte der 9 Verpackungen

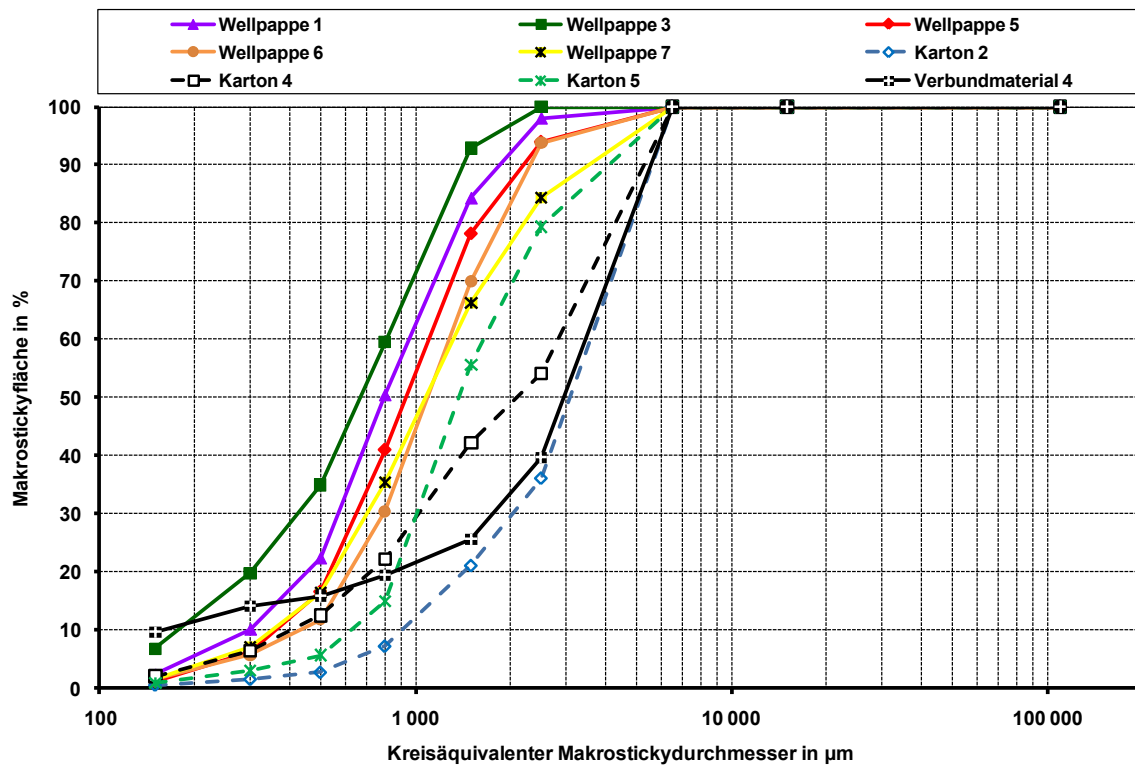


Abbildung 34: Makro-Stickygrößenverteilung der 9 Verpackungen

Da die Datenbasis bisher aus nur 9 Verpackungsprodukten besteht, können für die drei Bewertungskriterien keine Ziel- und Grenzwerte benannt werden, die für die Ausarbeitung eines Systems zur Bewertung von Verpackungen allerdings notwendig sind.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit der neu entwickelten Labormethode steht nun ein Aufbereitungs- und Prüfschema zur Verfügung, um Verpackungen hinsichtlich ihrer Rezyklierbarkeit zu untersuchen. Für die Rezyklierbarkeit einer Verpackung werden die Kriterien Rückstand der Grobsortierung, Stippengehalt und Makro-Stickyfläche betrachtet. Der ausgewählte Laborpulper erzeugt bei der Zerfaserung bei vergleichbarem Stippengehalt eine ähnliche Stickyfragmentierung wie ein Technikumpulper - ist somit vergleichbar mit einem Industripulper - und ist damit für die Labormethode zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen geeignet. Ebenso lassen sich mit der Labormethode für alle drei Bewertungskriterien, wie die Untersuchungen gezeigt haben, reproduzierbare Messerwerte erzeugen, weshalb sich die Labormethode zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen eignet.

Verpackungen müssen, um ihre Rezyklierbarkeit zu bewerten, nicht zwingend an der Verschluss-Naht verklebt sein. Die Untersuchungen des Einflusses der Verschluss-Naht auf die Ergebnisse der Bewertungskriterien haben gezeigt, dass Hotmelt-Klebebindungen als Verschluss keinen Einfluss haben. Bei Klebeband als Verschluss war bei den Untersuchungen jedoch ein Einfluss auf den Stippengehalt und die Makro-Stickyfragmentierung zu sehen. Allerdings wurde im Rahmen dieses Projektes nur eine mit Klebeband verschlossene Probe untersucht, so dass diese Ergebnisse noch nicht als allgemeingültig gelten können. Der Einfluss der Verschluss-Naht sollte deshalb in einem Folgeprojekt näher untersucht werden, damit generelle Aussagen getroffen werden können.

Papierprodukte sollen so konzipiert sein, dass sie recyclinggerecht sind. Rezyklierbarkeitsanforderungen für Verpackungen bzw. ein entsprechendes Bewertungssystem für die Rezyklierbarkeit bilden daher die Grundlage für die Unterscheidung von guter und schlechter Rezyklierbarkeit von Papierprodukten. Diese sind die Voraussetzung für Gespräche und Diskussionen mit den Beteiligten der Papierkette dar, um entsprechende Entwicklungen von recyclinggerechten Verpackungen in Gang zu setzen.

Generell beinhaltet ein Bewertungskonzept ein anerkanntes Prüfverfahren, Bewertungskriterien (Parameter für die Beurteilung) sowie anerkannte Grenz- bzw Zielwerte für die jeweiligen Bewertungskriterien. Im Rahmen dieses Projektes wurden als wichtige Voraussetzung für ein Bewertungssystem die Prüfmethode und die Prüfkriterien erarbeitet.

Da in diesem Projekt nur 9 Verpackungen mit der Methode untersucht werden konnten, war die abschließende Ausarbeitung eines Bewertungssystems nicht möglich. Für die Ausarbeitung eines Bewertungssystems sind mit Hilfe einer größeren Datenbasis Ziel- und Grenzwerte für alle drei Bewertungskriterien festzulegen. Da mit den geprüften Verpackungen die Datenbasis zu klein ist, ist es sinnvoll in einem Folgeprojekt, die Datenbasis zu erweitern. Aus der erweiterten Datenbasis können dann Ziel- und Grenzwerte abgeleitet und ein Bewertungssystem entwickelt und empfohlen werden.

7 Literaturverzeichnis

1. **Strauß, J. ; Großmann, H.:** Prüfung von Roh-, Halb- und Hilfsstoffen der Papiererzeugung - Kennzeichnung der Rezyklierbarkeit von Packmitteln aus Papier, Karton und Pappe sowie von grafischen Druckerzeugnissen.
In: PTS-Methode RH 021/97, 1997, S. 6
2. **N.N.:** Prüfung von Holzstoffen für Papier, Karton und Pappe - Gleichzeitige Bestimmung des Gehaltes an Splintern und Faserfraktionen.
In: ZELLCHEMING Merkblatt V/1.4/86, Fachausschuss für Physikalische Halbstoff- und Papierprüfung, 1986, S. 9
3. **Brecht, W. ; Holl, M.:** Stippengehaltsbestimmung und Faserfraktionierung in einem Gerät.
In: Das Papier. - 2(1948)5-6. - S. 885-891
4. **N.N.:** Prüfung von Holzstoffen für Papier, Karton und Pappe - Gravimetrische Bestimmung des Stippengehaltes von Stoffsuspensionen.
In: ZELLCHEMING Merkblatt V/18/62, Fachausschuss für Physikalische Halbstoff- und Papierprüfung, 1962, S. 3
5. **N.N.:** Analysis of Macro Stickies in Deinked Pulp (DIP).
In: INGEDE Method 4, INGEDE e.V., 1999, S. 5
6. **Voß, D. ; Hirsch, G. ; Putz, H.-J.:** Preparation of an Adhesive Application Database and Development of a Recyclability Scoring System : Final Report INGEDE Project 129 09. - 51 S.
Darmstadt, Techn. Univ., FG Papierfabrikation u. Mech. Verfahrenstechnik, 2010
7. **Großmann, H. ; Kappen, J. ; Fröhlich, H. ; Lumpe, C. ; Bösner, J.-K.:** Reduktion des spezifischen Energieeinsatzes durch verbesserte Steuerung der Prozesszeiten und Erhöhung der Stoffdichten in den Prozessen der Stoffaufbereitung : Abschlussbericht INFOR Projekt 110 und 111. - 78 S.
Darmstadt, Techn. Univ., FG Papierfabrikation u. Mech. Verfahrenstechnik, 2009

8 Anhang

Probe	Rückstand Grobsortierung [%]
Karton 2	0,0
Karton 4	16,2
Karton 5	6,6
Wellpappe 1	5,5
Wellpappe 3	0,0
Wellpappe 5	0,0
Wellpappe 6	8,5
Wellpappe 7	0,0
Verbundmaterial 4	46,3

Probe	Stippengehalt [%]						
	A	B	C	D	E	Mittelwert	Standardabweichung
Karton 2	2,00	2,20	2,15	2,25	2,25	2,17	0,10
Karton 4	1,95	2,20	2,10	2,05	2,30	2,12	0,14
Karton 5	0,85	1,05	0,85	0,80	1,00	0,91	0,11
Wellpappe 1	0,90	1,35	0,90	0,65	0,90	0,94	0,25
Wellpappe 3	4,10	4,65	4,10	4,55	4,60	4,40	0,28
Wellpappe 5	1,75	1,65	1,60	1,60	1,70	1,66	0,07
Wellpappe 6	2,20	2,10	2,80	2,30	2,50	2,38	0,28
Wellpappe 7	1,83	1,69	1,86	1,64	1,79	1,76	0,35
Verbundmaterial 4	7,15	7,20	6,40	5,60	6,55	6,58	0,65

Probe	Gesamtfläche [mm²/kg_Produkt]	Standardabweichung [mm²/kg_Produkt]	Makro-Stickyfläche < 3 000 µm [mm²/kg_Produkt]	Standardabweichung < 3000µm [mm²/kg_Produkt]	Anteil Makro- Stickyfläche < 3 000 µm [%]
Karton 2	27132	3235	9791	2949	36
Karton 4	12049	5063	6519	3240	54
Karton 5	11025	2230	8751	1443	79
Wellpappe 1	10863	2543	10650	2215	98
Wellpappe 3	4709	1299	4709	1299	100
Wellpappe 5	20882	2218	19607	1656	94
Wellpappe 6	12508	4131	11732	3208	94
Wellpappe 7	24013	4511	20248	2710	84
Verbundmaterial 4	2498	1703	990	401	40

Probe	Makrostickyfläche [mm²/kg_Produkt]								
	Intervall [µm]								
	100 bis 200	200 bis 400	400 bis 600	600 bis 1000	1000 bis 2000	2000 bis 3000	3000 bis 10000	10000 bis 20000	20000 bis 200000
Karton 2	146	273	322	1218	3758	4074	17341	0	0
Karton 4	243	533	730	1167	2408	1437	5530	0	0
Karton 5	97	233	291	1025	4480	2624	2275	0	0
Wellpappe 1	250	847	1331	3050	3678	1494	213	0	0
Wellpappe 3	319	610	716	1156	1573	334	0	0	0
Wellpappe 5	236	1076	2151	5093	7758	3293	1274	0	0
Wellpappe 6	180	535	759	2329	4941	2988	776	0	0
Wellpappe 7	369	1319	2262	4552	7397	4350	3765	0	0
Verbundmaterial 4	240	112	44	89	155	350	1508	0	0

Probe	Makrostickyfläche kumulativ [%]								
	Intervall [µm]								
	100 bis 200	200 bis 400	400 bis 600	600 bis 1000	1000 bis 2000	2000 bis 3000	3000 bis 10000	10000 bis 20000	20000 bis 200000
Karton 2	1	2	3	7	21	36	100	100	100
Karton 4	2	6	13	22	42	54	100	100	100
Karton 5	1	3	6	15	56	79	100	100	100
Wellpappe 1	2	10	22	50	84	98	100	100	100
Wellpappe 3	7	20	35	59	93	100	100	100	100
Wellpappe 5	1	6	17	41	78	94	100	100	100
Wellpappe 6	1	6	12	30	70	94	100	100	100
Wellpappe 7	2	7	16	35	66	84	100	100	100
Verbundmaterial 4	10	14	16	19	26	40	100	100	100