

INFOR-Projekt Nr. 214

Testmethoden und Bewertung zur Evaluierung der Recyclingfähigkeit von Papier- und Papierverbundverpackungen auf dem Prüfstand

Mai 2021

Schlussbericht

INFOR-Projekt 214

Testmethoden und Bewertung zur Evaluierung der Recyclingfähigkeit von Papier- und Papierverbundverpackungen auf dem Prüfstand

Papiertechnische Stiftung (PTS)



**TU Darmstadt - Fachgebiet Papierfabrikation
und Mechanische Verfahrenstechnik (PMV)**



Projektbearbeitende (PTS)

Dipl.-Ing. Lydia Tempel
M.Sc. Marie Geißler
Dr. Gert Meinl
Dipl. Ing. Mike Schiefer

Projektbearbeitende (PMV)

Prof. Dr. Samuel Schabel
Dr.-Ing. Heinz-Joachim Schaffrath
M.Sc. Tobias Krebs

Endversion

Februar 2021

Projektbegleitende:

Andreas Faul	PROPAKMA GmbH und INGEDE
Jochen Pfirrmann	Moritz J. Weig GmbH & Co. KG
Sabine Hottmann	LEIPA Georg Leinfelder GmbH
Robin Huesmann	LEIPA Georg Leinfelder GmbH
Nico Päuser	Mitsubishi HiTec Paper Europe GmbH
Simon Kasper	Papier- und Kartonfabrik Varel GmbH
Aljoscha Föll	Papierfabrik August Koehler SE
Markus Wildberger	Papierfabrik August Koehler SE
Dieter Schürmann	Pfleiderer Teisnach
Karl Augustin	Pfleiderer Teisnach
Johannes Scholten-Reintjes	Smurfit Kappa Recycling
Christian Kleefeld	Stora Enso Paper GmbH
Johann Oberndorfer	UPM GmbH
Martin Andreas Waschke	VDP
Julian Pachniewski	VDW
Saskia Runte	VDW
Jutta Hecht	J.M. Voith SE & Co. KG VPH
Martin Kemper	J.M. Voith SE & Co. KG VPH
Klaus Spielmann	VPWP
Thomas Pfeiffer	WPV

Management Summary

Das Projekt im Auftrag von VDP und INGEDE hatte das Ziel, sich proaktiv mit den existierenden Methoden zu Rezyklierbarkeitsprüfungen von Verpackungsmaterialien, ihren Anwendungsbereichen, ihrem Entwicklungsbedarf und den Bewertungskriterien auseinanderzusetzen. Im Fokus standen dabei PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019), die EcoPaperLoop-Methode 1, die mit dem ZELLCHEMING-Merkblatt RECO 1, 2/2014 identisch ist, sowie die Aticelca-Methode MC 501:2017 (UNI 11743:2019).

Neben den oben genannten existierenden Methoden zur Prüfung der Rezyklierbarkeit wurden weitere labortechnische und industrienähe Untersuchungen der für das Papierrecycling relevanten Aufbereitungsprozesse Zerkleinerung und Sortierung durchgeführt. Es wurden geeignete Materialien ausgewählt, welche sich deutlich in ihren Eigenschaften in Bezug auf die Rezyklierbarkeit unterscheiden. In den Untersuchungen wurde dabei verschiedene Aggregate und unterschiedliche Parametereinstellungen gewählt.

Die wesentlichen Erkenntnisse aus den Untersuchungsergebnissen können, wie folgt, zusammengefasst werden:

Derzeit angewandte und gängige Methoden zur Rezyklierbarkeitsbewertung

- Alle im Projekt betrachteten Methoden prüfen die relevanten Anforderungen der Papierindustrie hinsichtlich der Altpapierstoffaufbereitung und beinhalten die Zerkleinerung, die Sortierung (als Reinigungsstufe) und die Qualitätsbewertung des Rezyklats im Labormaßstab.
- Die im Projekt betrachteten Methoden liefern für die vier untersuchten Probenmaterialien grundsätzlich vergleichbare Ergebnisse. Unterschiede gibt es bei der graduellen Abstufung der Werte.

Zerkleinerung

- Der Standarddesintegrator ist geeignet um einen Industrie-Pulper zu simulieren.
- Im Standarddesintegrator ist die Zerkleinerung nach 10min bei einfachem Testliner und einseitig beschichtetem Material erreicht. Eine Erhöhung der Zerkleinerungszeit auf 20 Minuten hat keinen signifikanten Einfluss auf die Faserstoffausbeute.
- Die Zerkleinerung im Standarddesintegrator des beidseitig beschichteten und des nassfesten Materials ist nach 10min noch nicht vollständig. Eine Erhöhung auf 20min Zerkleinerungszeit hat insbesondere bei dem nassfesten Material signifikanten Einfluss auf die Faserstoffausbeute.
- Eine Probenzerkleinerung im Labormaßstab auf 2x2 cm oder 3x3 cm hat keinen signifikanten Einfluss auf das Zerkleinerungsergebnis.
- Insbesondere bei Proben mit höheren Rückstandsmengen sind zum Teil signifikante Abweichungen der Einzelergebnisse infolge der Probenahme zu beobachten.

Sortierung

- Die Rückstandswerte bei der Sortierung mit einem Brecht-Holl-Fraktionator korrelieren gut mit den Rückstandswerten einer Somerville-Sortierung. Der Offset gegenüber den Somerville-Werten liegt bei rund 8 %.

Beurteilung von klebenden und visuellen Verunreinigungen

- Die derzeitige Bewertung der klebenden und visuellen Verunreinigungen wird weiterhin von subjektiven Faktoren beeinflusst. Durch eine Vereinheitlichung der genauen Vorgehensweise (bspw. Verwendung einheitlicher Gautschkartone) sowie eine definierte Festlegung von entscheidenden Kriterien (bspw. Problematik metallisierter oder transparenter Partikel im Gutstoff) kann jedoch die Objektivität bei der Bewertung in hohem Maße gesteigert werden.
- Eine Durchführung des Blattklebetests bleibt weiterhin empfehlenswert, da anhand dieser Methode das Vorhandensein von klebenden Verunreinigungen auch < 150 µm festgestellt werden kann.

Glossar

In diesem Abschnitt werden die relevanten Begrifflichkeiten kurz erläutert.

Begriff	Erläuterung
Rezyklierbarkeit	Hier, als Verhalten eines Papierobjekts in einer im Labormaßstab simulierten Standardaufbereitung der Papierindustrie zu sehen (Zerfaserbarkeit, Sauberkeit des Rezyklats), nicht dazu zählen die Art der Erfassung der Verpackungen (Altpapiersammlung und/oder Leichtverpackungssammlung) sowie die Sortierung dieser Abfallströme.
Recyclingfähigkeit	Recyclingfähigkeit bezieht sich im Unterschied zum Recyclingbegriff des KrWG immer auf ein hochwertiges und werkstoffliches Recycling. Diese Recyclingfähigkeit ist die grundsätzliche und graduelle Eignung einer Verpackung, nach Durchlaufen industriell verfügbarer Rückgewinnungsprozesse Neuware in werkstofftypischen Anwendungen zu substituieren. (Quelle: Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG)
Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)	Das KrWG bildet das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen und trat am 1. Juni 2012 in Kraft. Durch eine starke Ausrichtung der Kreislaufwirtschaft bzgl. Ressourcen-, Klima- und Umweltschutz, werden Vorgaben der EU-Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG) in nationales Recht umgesetzt.
Faserstoff	Zur Bestimmung des Wertstoffgehalts kann „Faserstoff“ gleichgesetzt werden mit der Summe aus Fasern, Füllstoffen, Stärke, Streichfarben inklusive Strichbindemittel sowie typische in der Papierindustrie eingesetzte Additive wie Nassfestmittel, Leimungsmittel sowie gebundenes Wasser. (Quelle: Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen)
Gesamtstoff	Faserstoffsuspension nach der Zerfaserung
Gutstoff	Sortierte Faserstoffsuspension nach der Sortierung mit Haindl-Fraktionator
Rejekt	Rückstand auf einer Siebplatte nach einer Fraktionierung bzw. Sortierung
PPK	Papier, Pappe und Karton sind durch den mechanischen und chemischen Aufschluss von Holz gewonnene Materialien. Sie bestehen aus den Faserstoffen Cellulose und Lignin sowie Füllstoffen zum Einstellen der gewünschten Eigenschaften (Quelle: Umweltbundesamt).
DOMAS	Digital Optical Measurement and Analysis System – PTS-Bildanalysesystem mit verschiedenen Auswertemodulen
NIR-Imaging	Spektroskopische Analyse mit sensortechnischem Nah-Infra-Rot-Messsystem
Schmutzpunkte	i.d.R. dunkle Partikel (verursacht durch Druckfarben-, Strich-, Metall-, Lack-, Klebstoffpartikel, etc.), als optisch störende Verunreinigung im Faserstoff oder Laborblatt
Faserausrisse	Beschädigungen in Form von aufstehenden und/oder abgerissenen Fasern und Faserbündeln am Laborblatt oder Deckblatt bzw. Gautschkarton, verursacht durch klebende Verunreinigungen im Laborblatt
Deckblatt & Gautschkarton	Papier bzw. Karton zur Abdeckung des Laborblattes nach der Laborblattbildung
Makrostickies	Klebende Partikel aus Altpapier > 150 µm, als klebende Verunreinigung im Faserstoff oder Laborblatt

Mikrostickies	Klebende Partikel aus Altpapier < 150 µm als auch kollidal gelöste, klebende Bestandteile, als klebende Verunreinigung im Faserstoff oder Laborblatt
Flotation	Bei der Flotation handelt es sich um ein physikalisch- chemisches Trennverfahren, welches aufgrund unterschiedlicher Oberflächenbenetzbarkeit der Partikel ermöglicht wird. Während des Deinking Prozesses werden so Druck- und Lackpartikel aus einer Faserstoffsuspension, Undeinked Pulp (UP), in einer Flotationszelle abgetrennt. Den gereinigten Stoff nennt man Deinked Pulp (DP)
ROI	Region of interest

Inhaltsverzeichnis

Management Summary.....	1
Glossar.....	2
1 Ausgangssituation	7
1.1 Hintergrund	7
1.2 Stand der Technik: Stoffaufbereitung	8
Zerfaserung.....	9
Sortierung und Reinigung.....	9
Verbesserung.....	10
1.3 Zielstellung Recyclinganforderungen der Papierindustrie	10
1.4 Problemstellung	10
2 Zielstellung des Projekts und Lösungsweg	12
2.1 Zielstellung	12
2.2 Lösungsweg	12
3 Methodik	13
3.1 Probenauswahl.....	13
3.1.1 Materialien für Zerfaserungsversuche	13
3.1.2 Materialien für Sortierversuche	14
3.1.3 Materialien für Bewertung von Rezyklatqualitäten	15
3.2 Methoden zur Rezyklierbarkeit.....	15
3.2.1 PTS-RH 021:2012 (Entwurf Oktober 2019).....	16
3.2.2 ZM-Methode RECO 01/2014 / EcoPaperLoop-Methode 1	18
3.2.3 UNI 11743:2019 (Aticelca MC501:2017).....	20
3.2.4 CTP-Methode.....	22
3.2.5 Methodenübersicht.....	22
3.2.6 Entwurf Cepi Methode	22
3.3 Verwendete Geräte	22
3.3.1 Zerfaserung.....	23
3.3.2 Sortierung und Fraktionierung	24
3.3.3 Sonstige Analysegeräte	24
4 Untersuchungen	27
4.1 Methodenvergleich	27
4.1.1 Bewertung der Rezyklierbarkeit nach PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019)	27
4.1.2 Bewertung der Rezyklierbarkeit nach ZM-Methode RECO 01/2014.....	27
4.1.3 Bewertung der Rezyklierbarkeit nach CTP-Methode und UNI 11743:2019.....	27

4.2	Technikumsversuche	28
4.3	Laborversuche zum Zerfaserungs- und Sortierverhalten	29
4.3.1	Zerfaserungsverhalten	29
4.3.2	Sortierverhalten	29
4.4	Untersuchungen zur Rezyklatqualität	30
4.4.1	Durchgeführte Benchmark-Untersuchungen	30
4.4.2	Klebende Verunreinigungen	31
4.4.3	Visuelle Verunreinigungen	31
5	Ergebnisse	32
5.1	Laborergebnisse der angewandten Bewertungsmethoden	32
5.1.1	Ergebnisse nach EcoPaperLoop-Methode am PMV	32
5.1.2	Ergebnisse nach PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019) am PMV und an der PTS	35
5.1.3	Ergebnisse nach CTP-Methode und UNI 11743:2019	37
5.2	Vergleichbarkeit der Zerfaserung zwischen Labor und Praxis	38
5.2.1	Vergleich der Zerfaserungsaggregate	38
5.2.2	Zerfaserung im Intensa-Pulper (Voith)	47
5.2.3	Vergleich zwischen Labor- und Industripulper	49
5.3	Ergebnisse der Versuche zum Sortierverhalten	54
5.3.1	Bewertung der Sortierversuche anhand der Rückstandsmengen	54
5.3.2	Bewertung der Sortierversuche mittels Valmet Fractionator:	54
5.4	Ergebnisse zu Untersuchungen zur Rezyklatqualität	57
5.4.1	Benchmarkversuche zur Rezyklierbarkeit	57
5.4.2	Klebende Verunreinigungen	59
5.4.3	Optische Inhomogenitäten / Visuelle Verunreinigungen	62
5.5	Prüfung und Bewertung von Auswirkungen auf Prozesswässer	63
6	Zusammenfassung	67
6.1	Wesentliche Erkenntnisse	67
	Derzeit angewandte und gängige Methoden zur Rezyklierbarkeitsbewertung	67
	Zerfaserung	67
	Sortierung	67
	Beurteilung von klebenden und visuellen Verunreinigungen	67
6.2	Empfehlungen	67
	Einführung zusätzlicher Bewertungsmerkmale für die Kategorien:	68
	Weitere Methoden zur Objektivierung der Bewertung von klebenden Verunreinigungen	68
	Weitere Methoden zur Objektivierung der Bewertung von visuellen Verunreinigungen	68
	Probenvorbereitung	68
	Prozesswasser-Untersuchungen	68

	Fortsetzungsprojekt INFOR-Projekt 219.....	68
7	Anhang	69
7.1	Methodenübersicht.....	69
7.2	Cepi recyclability laboratory test method version 1	70
7.3	Übersicht der untersuchten Benchmark-Stoffproben aus Altpapier einsetzenden Papierfabriken zur Bewertung der Rezyklatqualität	71

1 Ausgangssituation

1.1 Hintergrund

Das seit 01.01.2019 geltende Verpackungsgesetz dient dem Zweck, die Auswirkungen von Verpackungsabfällen auf die Umwelt zu reduzieren, wozu der In-Verkehr-Bringer von Verpackungen in die Pflicht genommen wird. Dafür ist zum Einem die Wiederverwendung und stoffliche Verwertung von Verpackungsmaterialien aller Art zu steigern, zum Anderem ist eine generelle Erhöhung der Verwertungsquoten für 2019 und für 2022 gefordert. Dies gilt auch für Papier- und Kartonverpackungen sowie alle faserbasierten Verbundverpackungen. Das Verpackungsgesetz fordert den Nachweis der Recyclingfähigkeit von Verpackungen. Die Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister wird gemeinsam mit dem Umweltbundesamt jährlich zum 01. September den Mindeststandard der Recyclingfähigkeit von Verpackungen festlegen. Bei der Bemessung der Recyclingfähigkeit von faserbasierten Verpackungen wird derzeit auf den Faserstoffanteil abgehoben. Die in der Orientierungshilfe der Zentralen Stelle beschriebene „Einschätzung“ des Faserstoffanteils ist nicht ausreichend, da neben möglicherweise in der Verpackung eingesetzten Nassfestmitteln auch andere Stoffe oder Verpackungskomponenten (z. B. Beschichtungen) einem Verwertungserfolg im Wege stehen. Hier muss ein von allen Seiten akzeptiertes Prüfverfahren etabliert werden.

Tatsächlich gibt es zur Prüfung der Rezyklierbarkeit von Verpackungen in Standard-Altpapieraufbereitungsanlagen europaweit nur einige wenige veröffentlichte Methoden. Die älteste und wohl verbreitetste Methode ist die PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019), die auch ein Bewertungsschema für Verpackungen beinhaltet. Die EcoPaperLoop-Methode 1, die mit dem ZELLCHEMING-Merkblatt RECO 1, 2/2014 identisch ist, wurde im Rahmen eines EU-Projektes entwickelt. Ein entworfenes Bewertungsschema ist allerdings nie offiziell verabschiedet bzw. publiziert worden. Die Aticelca, italienischer Koordinator des EU-Projektes, hat die EcoPaperLoop-Methode mittlerweile leicht modifiziert und mit einem Bewertungsschema als Aticelca-Methode MC 501:2017 (UNI 11743:2019) in Italien veröffentlicht.

Die Papierindustrie sollte sich umgehend proaktiv mit den existierenden Methoden, ihren Anwendungsbereichen, ihrem Entwicklungsbedarf und den Bewertungen auseinandersetzen. Obwohl die Thematik sehr stark politisch geprägt ist, stellen sich natürlich auch technisch/technologische Fragestellungen, die im Rahmen des Projektes (zunächst ausgehend von der PTS-Methode) bearbeitet werden sollten und mit der nachfolgenden Aufzählung sicherlich noch nicht vollständig abgebildet sind:

- Welche Probenvorbereitung muss/darf im Sinne der Zerkleinerung von Verpackungen und Entstehung von dreidimensionalen Teilchen erfolgen, um Verbundmaterialien repräsentativ im Kleinstmaßstab zu prüfen?
- Ist für die nach PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019) von Verpackungsmaterialien mit 20 % bis 50 % papierfremden Bestandteilen gültige Bewertung „bedingt rezyklierbar, aber hinsichtlich der Produktgestaltung verbesserungsbedürftig“ noch zeitgemäß?
- Können Maßnahmen zur objektiveren Bewertung von optischen Inhomogenitäten und des Blattklebetests entwickelt werden, um den Einfluss der visuellen Bewertungen zu minimieren oder zumindest durch exaktere Beschreibungen mit Bildbeispielen vergleichbarer zu machen um damit die Reproduzierbarkeit der Methode zu verbessern?
- Muss für Verbund-Verpackungsmaterialien eine neue Produktkategorie eingeführt werden?
- Spiegeln die Labortestergebnisse das Verhalten von Verpackungen in größerem Maßstab (Technikum, Praxis) wider? Hier könnte die Kooperation mit einem größeren Technikumbetreiber (z. B. Voith) sehr sinnvoll sein und wird vom Institutsconsortium angestrebt.

Für Verbundmaterialien, die in einer Standard-Altpapieraufbereitungsanlage nicht verarbeitet werden können (z. B. Getränkeverpackungen), sind die Möglichkeiten einer separaten Erfassung oder materialspezifischen Abtrennung in der Wertstoffsartierung sowie die Aufbereitungsmöglichkeiten in einer speziell auf das Verpackungsmaterial ausgerichteten Altpapieraufbereitung zu prüfen.

Die Positionierung der Papierindustrie im Themenbereich recyclinggerechte Verpackungen sollte sich auch mit der Fragestellung beschäftigen, ob Verpackungen nach Lebensmittelkontakt (z. B. Pizza-To-Go-Box) oder gebrauchte Küchen-/Handtücher überhaupt in die Altpapiersammlung gelangen sollten. Eindeutige Richtlinien und Hinweise für die Endverbraucher/Konsumenten werden umso notwendiger, je größer der gesetzgeberische Zwang der „Inverkehrbringer“ von Verpackungen wird, höhere Verwertungsquoten nachzuweisen, da sonst Papier-, Karton- und Verbundverpackungen zwangsläufig verstärkt dem Papierkreislauf zugeführt werden.

Die Motivationsgründe für ein derartiges INFOR-Projekt liegen ausgehend vom Verpackungsgesetz einerseits in den sich ergebenden neuen Marktchancen für faserbasierte Verpackungen als Substitute von Kunststoffverpackungen. Andererseits gelangen zunehmend auch faserbasierte Verbundverpackungen in den Fokus der öffentlichen Kritik (Papierbecher, nassfeste Papiertüten, beschichtete Verbundmaterialien usw.), weshalb insbesondere für Verbundverpackungen definiert werden sollte, welche Prüfmethodik geeignet ist, um deren Verwertbarkeit in der Papierindustrie sicherzustellen. Gleichzeitig muss die altpapierverarbeitende Industrie ein Interesse daran haben, diejenigen Stoffe zu identifizieren und zu benennen, die beim Recycling zu Problemen führen können (Zerfaserungsausbeute, Faserstoffqualität, Prozessstabilität). Aus diesem Grund müssen die Bewertungsmethoden zur Prüfung der Rezyklierbarkeit realitätsnah die Stoffaufbereitung simulieren. Die vorhandenen Methoden zur Prüfung der Verwertbarkeit von Papierverpackungen sind in Details abweichend und vor allem in Hinblick auf die Bewertung von Verbundmaterialien kritisch zu hinterfragen. Zudem zielt die Bewertung dieser Methoden derzeit auf Standardaufbereitungsanlagen ab. Zur Simulation der Rezyklierbarkeit in speziellen Aufbereitungsanlagen sollten geeignete Prüfbedingungen und -parameter festgelegt werden. Auf der Basis sollte es möglich sein zu definieren, welche Verpackungen bedenkenlos der getrennten Erfassung über die Altpapiertonne zugeführt werden können und für welche Verpackungsprodukte die Aufbereitung in speziellen Anlagen zu favorisieren ist.

1.2 Stand der Technik: Stoffaufbereitung

Die Stoffaufbereitung ist ein Prozess, bei dem Rohstoff in Fertigstoff (Stoffeintrag) für die Herstellung von Papier und Karton umgewandelt wird. Sie besteht aus mehreren aufeinander abgestimmten Prozessschritten. Diese Systeme unterscheiden sich je nach verwendetem Rohstoff und der erforderlichen Qualität des Rohmaterials erheblich. In den meisten Fällen beinhalten die Stoffaufbereitungslinien Desintegrations- (hauptsächlich Zerfaserung) und Reinigungsprozesse (Sortierung und Reinigung). Die Verfahren zur Verbesserung (Fraktionierung, Mahlung und Dispergierung) werden meist für den Einsatz spezieller Altpapiersorten, z.B. Kraftzellstoffsorten und/oder bei der Herstellung höherwertiger Papiersorten, z.B. Kraftlinersersatz, eingesetzt (siehe Abbildung 1).

Für Altpapier-Deinkingqualitäten sind weitere Verarbeitungsstufen erforderlich, nämlich Deinken, Bleichen und Waschen. Diese konzentrieren sich jedoch hauptsächlich auf die Verbesserung der optischen Eigenschaften und führen zu Faserverlusten. Daher werden sie in der Regel nicht für die Herstellung von Altpapier -Verpackungsqualitäten eingesetzt.

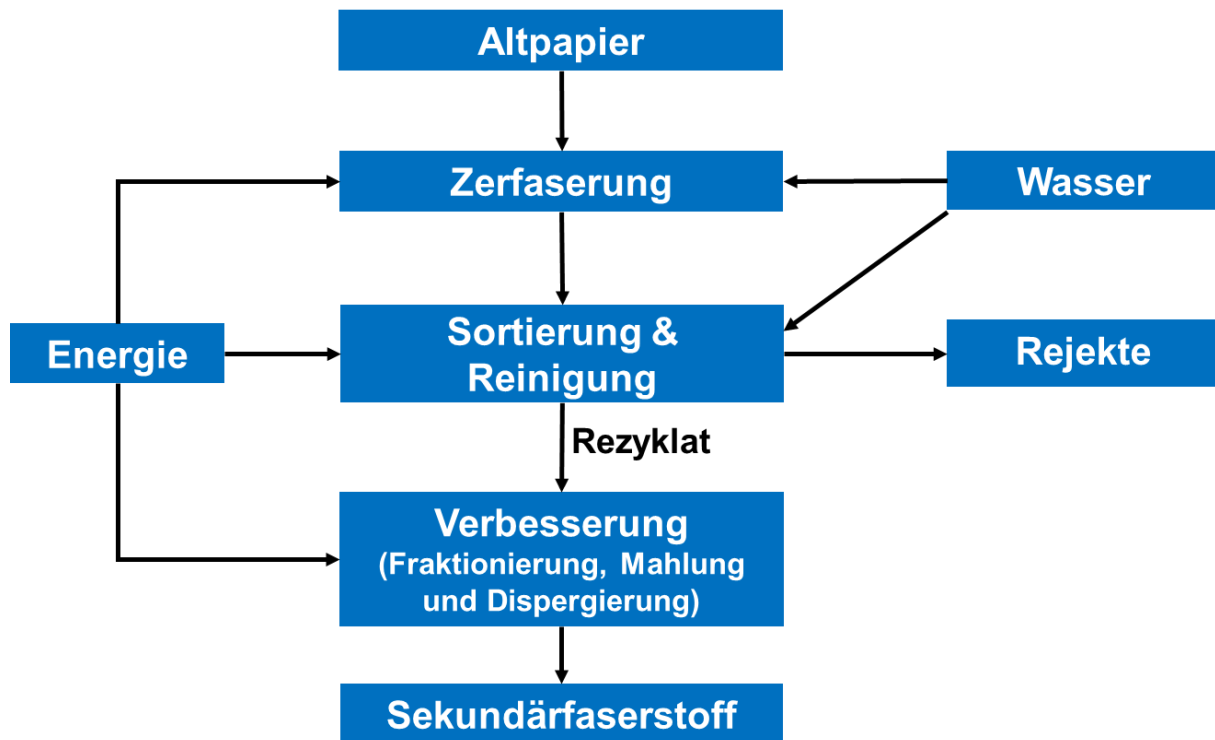


Abbildung 1: Allgemeines Ablaufschema der Prozesse einer Standard-Stoffaufbereitung für Altpapier in einer Papierfabrik

Zerfaserung

Die Ziele der **Zerfaserung** sind die Zerlegung des Altpapiers in eine pumpfähige Suspension und die Abtrennung von Nicht-Papier-Materialien (z.B. Kunststoffumschläge, Bänder, Kunststoffetiketten und -folien sowie Verunreinigungen aus Verbrauch und Sammlung z.B. Kunststoffflaschen, Polstermaterial auf Kunststoffbasis). In einigen speziellen Fällen ist ein Zerkleinerungsprozess vorgeschaltet.

Für die Zerfaserung von Standardsorten (1.02.00 und 1.04.00), die typischerweise bei der Herstellung von Verpackungspapier und -karton verwendet werden, kommen Pulper oder Trommelpulper zum Einsatz. Üblicherweise arbeiten Pulper im Bereich niedriger Stoffdichte (ca. 4,5 %) und sind mit zusätzlichen Aggregaten zur Entfernung großer Verunreinigungen, z.B. Zerkleinerer, Schwerstoffabscheider, ausgestattet. Trommelpulper sind für einen schonenden Aufschluss ausgelegt, so dass die Entfernung von anhaftenden Verunreinigungen in weiteren Schritten verbessert wird.

Sortierung und Reinigung

Ziel der **Grobsortierung** ist eine weitere Zerkleinerung und die Entfernung kleinerer Verunreinigungen (Teile schwer zerlegbaren Materials aus nassfesten, beidseitig gestrichenen/folierten und/oder Kraftverpackungen; Teile von Nicht-Papierbestandteilen aus Papierprodukten und aus Sammelkontaminationen z.B. Metallklammern, Bruchstücke von Bändern und Folien). Üblicherweise wird das Fasermaterial in Lochsiebscheiben oder -körben mit einem Lochweitenbereich von 1,8 - 4 mm sortiert.

Das Ziel der **Feinsortierung** ist die Entfernung von Klebstoffverunreinigungen, so genannten Makrostickies (z.B. aus Klebstoffen, Beschichtungsbindemitteln) und anderen kleinen Verunreinigungen (z.B. kleine Faserbündel, Flocken). Üblicherweise wird der Faserstoff durch Schlitzsiebkörbe mit einem Schlitzweitenbereich von 0,1 - 0,4 mm sortiert.

Das Ziel des **Entstippens** ist die Zerlegung der Flocken in Einzelfasern. Die Größenbereiche sind grob und fein.

Das Ziel der **Reinigung** ist die Entfernung von schweren und/oder leichten Verunreinigungen (z.B. Sand, Metalle, Glas, Steine und Schäben von Sammelverunreinigungen; Wachse, Lacke und Teile von Kunststofffolien und Beschichtungen von Papierproduktkomponenten). In der Regel wird der Faserstoff durch Zentrifugalreiniger (Hydrozyklone) gereinigt. Die meisten Reiniger sind mehrstufige Systeme (bis zu fünf Stufen). Die Effizienz dieses Verfahrensschrittes hängt hauptsächlich von der Dichte, Größe und Form der Verunreinigungspartikel ab.

Verbesserung

Das Ziel der **Fraktionierung** ist die Trennung des Faserstroms in zwei Fraktionen, die in weiteren Schritten unterschiedlich behandelt werden. In den meisten Fällen wird die Langfaserfraktion in Mahl- oder Dispergierstufen zusätzlich behandelt.

Das Ziel der **Mahlung** ist die Verbesserung der optischen Eigenschaften und der Festigkeitseigenschaften, indem die Fasern hauptsächlich fibrilliert und die Faserwände mit möglichst geringer Intensität delaminiert werden.

Das Ziel des **Dispergierens** ist die Fragmentierung von Druckfarbenbestandteilen und klebrigen Partikeln durch eine thermo-mechanische Behandlung, wodurch eine Verbesserung der optischen Eigenschaften erreicht wird. In der Regel wird sie bei hoher Konsistenz durchgeführt. Verunreinigungen wie Tinte und klebrige Partikel werden in Partikelgrößen von bis zu 10 µm zerkleinert. Im optimalen Szenario liegen diese kleinen Partikel dann unterhalb der Sichtbarkeitsgrenze und stören nicht mehr. In diesem Prozessschritt können auch Fasern mechanisch behandelt werden, um ihre Festigkeitseigenschaften zu verbessern.

1.3 Zielstellung Recyclinganforderungen der Papierindustrie

Die altpapiereinsetzenden Papierfabriken haben je nach der zu produzierenden Papierqualität und den zur Verfügung stehenden Aufbereitungsprozessen unterschiedliche Ansprüche an die Qualität von Altpapier und damit an die Recyclingfähigkeit von papier- und kartonbasierten Produkten. Allen gemein sind dafür aber die wesentlichen Zielstellungspunkte der Altpapieraufbereitung (innerhalb der Papierfabrik):

- Rückgewinnung von Faserstoff
- Abtrennung von Nicht-Papierbestandteilen sowie störender Bestandteile
- Produktion eines Faserstoffes mit spezifischen Qualitätsparametern (in Abhängigkeit vom zu produzierenden Neupapier)

Daraus lassen sich im Wesentlichen die folgenden Parameter zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Altpapier ableiten:

- Rezyklierbarer Anteil (Quantität)
- Sauberkeit des Rezyklates (Qualität)
- Einfluss auf die Prozessfähigkeit (in einer Standard-Altpapieraufbereitungsanlage)

1.4 Problemstellung

Ausgehend von der Ausgangssituation wurden u.a. die folgenden Aspekte zur Problemstellung abgeleitet:

- Ausgehend vom Verpackungsgesetz wird es neue Marktchancen für faserbasierte Verpackungsmaterialien geben.
- Die „Single Use Plastic Directive“ der EU schließt beschichtete Papiere mit ein.
- Faserbasierte Verbundverpackungen gelangen zunehmend in den Fokus öffentlicher Kritik (z.B. Papierbecher).

- Rezyklierbarkeitsprüfungen im Labor müssen realitätsnah industrielle Standard-Stoffaufbereitungen simulieren und verlässlich jene Materialien identifizieren, die in der altpapierverarbeitenden Industrie zu Problemen führen.
- Nur mit einer akzeptierten Rezyklierbarkeitsprüfung (inkl. Bewertung) von Papierprodukten kann erwartet werden, dass Fragen der Rezyklierbarkeit auch bei der Produktentwicklung berücksichtigt werden.

Aus diesen Punkten ergeben sich daher die folgenden Fragen und Ansprüche:

- Wie stellt sich die Papierindustrie grundsätzlich zur Rückführung gebrauchter Verpackungen durch den Konsumenten, die zuvor mit Lebensmitteln Kontakt hatten (Pizzakarton, Tiefkühlspinat, ...)? Hierzu ist eine klare Aussage seitens der Papierindustrie zum Recycling erforderlich!
- Für alle Tests muss der Status des zu testenden Verpackungsprodukts eindeutig definiert werden. Verpackungen werden i.d.R. erst beim Verpacker zu der vollständigen Verpackung die beim Konsumenten ankommt und im Zweifelsfall im Altpapier landet (erst nach Befüllung hat die Verpackung auch eine Verschlussnaht). Diese Verpackung kann i.d.R. nicht beprobt werden und der Packmittelhersteller hat auch keinen Einfluss auf den für die Verschlussnaht verwendeten Klebstoff. Auch hier ist eine klare Aussage zur Verwendung von Verpackungen ohne Verschlussnaht für die Rezyklierbarkeitsprüfung erforderlich!

2 Zielstellung des Projekts und Lösungsweg

Nachfolgend werden die Zielstellung und der Lösungsweg dieses Projekts vorgestellt.

2.1 Zielstellung

Die Papierindustrie sollte sich umgehend proaktiv mit den existierenden Methoden zur Rezyklierbarkeitsprüfungen von Verpackungsmaterialien, ihren Anwendungsbereichen, ihrem Entwicklungsbedarf und den Bewertungskriterien auseinandersetzen. Obwohl die Thematik sehr stark politisch geprägt ist, stellen sich natürlich auch technisch/technologische Fragestellungen, die im Rahmen des Projektes bearbeitet werden sollten und mit der nachfolgenden Aufzählung sicherlich noch nicht vollständig abgebildet sind:

- Für Verpackungsprodukte, die einer Standard-Altpapieraufbereitungsanlage zugeführt werden, sollen die bisherigen, verfügbaren Labormethoden zur Prüfung der Rezyklierbarkeit weiterentwickelt werden. Ein besonderes Augenmerk soll dabei auf ein Bewertungsverfahren zur Einstufung der Recyclingfähigkeit von Verpackungsprodukten für Standard-Altpapieraufbereitungsanlagen gelegt werden.
- Nicht für alle Verpackungsprodukte ist eine Bewertung der Rezyklierbarkeit nach den Anforderungen des Papierrecyclings sinnvoll. Daher soll eine Einschränkung der Methode auf die Verpackungsprodukte, auf die die Methode angewendet werden soll, erarbeitet werden und damit eine klare Abgrenzung zu den Verpackungsprodukten formuliert werden, für die Bewertungsmethode ungeeignet ist. Ein entscheidender Punkt, der dabei insbesondere berücksichtigt werden sollte, ist, welchen Einfluss der Verwertungsweg auf die Bewertungskriterien der Rezyklierbarkeit hat (z. B. „weiße“ Verpackungen im Deinkingstrom).
- Ein weiteres Ziel des Projekts ist die Erarbeitung einer Labormethode zur Prüfung der Rezyklierbarkeit von Verpackungsprodukten, die speziellen Altpapieraufbereitungsanlagen zugeführt werden müssen. Hierbei können andere Kriterien sinnvoll sein als bei der Bewertung von Verpackungsprodukten für die Aufbereitung in den Standardaufbereitungsanlagen der Papierindustrie. In diesem Zusammenhang soll es auch zu einer Einigung auf ein Bewertungsverfahren zur Einstufung der Recyclingfähigkeit von Verpackungsprodukten für spezielle Altpapieraufbereitungsanlagen kommen.

2.2 Lösungsweg

Zur Erreichung der oben genannten Projektziele werden folgende Teilschritte im Rahmen dieses Projektes bearbeitet:

- 1) Bestandsaufnahme der aktuell in der Papierindustrie vorhandenen Altpapierstoffaufbereitungsanlagen (Technologie, Prozessbedingungen)
- 2) Festlegung der Verpackungsprodukte, die zunächst betrachtet werden sollen
- 3) Untersuchungen zum Einfluss der Probematerialzerkleinerung auf die Zerfaserbarkeit im Labormaßstab
- 4) Entwicklung von Maßnahmen zur objektiveren Gestaltung von visuellen Bewertungen (optische Inhomogenitäten, Blattklebetest)
- 5) Ausgewählte Vergleichsuntersuchungen im Labor- und Technikumsmaßstab
- 6) Vergleichsuntersuchungen zur Bewertung von Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit der favorisierten Methode
- 7) Entwicklung eines Bewertungsschemas für Verpackungsprodukte

3 Methodik

In diesem Abschnitt werden die für die Untersuchungen die ausgewählten Proben, die genutzten Methoden und die verwendeten Geräte beschrieben.

3.1 Probenauswahl

3.1.1 Materialien für Zerfaserungsversuche

Ein Hauptziel dieses Projekts war es herauszufinden, inwieweit die Labortestergebnisse von gängigen Methoden zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Papierverpackungen die Realität in den Aufbereitungsanlagen der Papierindustrie widerspiegeln. Um hierzu eine fundierte Aussage zu treffen, wurden in Labor- und Technikumsversuchen Verpackungsmaterialien untersucht, die eine möglichst große Bandbreite der in der Praxis vorkommenden Materialien abbildet. Hierbei wurden u. a. auch Materialien ausgewählt, bei denen potenziell Schwierigkeiten in der Stoffaufbereitung zu erwarten sind.

Als Referenzmaterial wurde ein Testliner 3 ausgewählt. Von diesem Material ist bekannt, dass es in der Stoffaufbereitung keine Probleme macht. Es kann daher zum Vergleich herangezogen werden, um die Ergebnisse der weiteren testeten Produkte zu bewerten. Beim nassfesten Karton war zu erwarten, dass er sich aufgrund der nassfesten Ausrüstung deutlich schlechter zerfasern lässt. Der PE-Karton 1 besitzt nur eine einseitige Beschichtung, weshalb das Wasser in der Stoffaufbereitung die Fasern weiterhin gut aus dem Verbund herauslösen kann. Die PE-Beschichtung bleibt jedoch als Rejekt im Prozess übrig. Beim PE-Karton 2 sind aufgrund der beidseitigen Beschichtung mindestens doppelt so viele Rejekte zu erwarten. Gleichzeitig sorgt die beidseitige Beschichtung dafür, dass das Papier zwischen den Beschichtungen schlechter von dem Prozesswasser durchdrungen wird, was zu einer schlechteren Zerfaserbarkeit führt. Abbildung 2 zeigt die vier untersuchten Verpackungsmaterialien. In Tabelle 1 ist eine Zusammenfassung der bekannten Spezifikationen der getesteten Materialien aufgeführt.

Tabelle 1: Grundinformationen der verwendeten Papier- und Kartonprodukte für die Zerfaserungsversuche

Bezeichnung im Projekt	Beschreibung
Testliner	Testliner 3 mit einem Flächengewicht von 100 g/m ²
Nassfest	Karton mit einem Flächengewicht von 160 g/m ² , nassfest ausgerüstet
1-seitig PE	Karton mit einem Flächengewicht von 850 g/m ² und einer einseitigen PE-Beschichtung von 15 g/m ² (PE-Beschichtung wird auf ein Kraftpapier extrudiert)
2-seitig PE	Karton mit einem Flächengewicht von 650 g/m ² und einer zweiseitigen PE-Beschichtung von jeweils 15 g/m ² (PE-Beschichtung wird auf ein Kraftpapier extrudiert)



Testliner



1-seitig PE



Nassfester Karton



2-seitig PE

Abbildung 2: Übersicht über die untersuchten Verpackungsmaterialien

3.1.2 Materialien für Sortierversuche

Neben den Zerkleinerungsuntersuchungen wurden im Rahmen des Projektes ebenfalls Sortierversuche durchgeführt. Diese dienen dem Vergleich verschiedener Sortieraggregate und Sortiergrößen. Bei der Musterauswahl wurde, wie in Tabelle 2 ersichtlich, auf eine Variation der Faserlängen sowie der Unterscheidung zwischen Frisch- und Recyclingfaser geachtet. Für die Betrachtung des Abreicherungsverhalten von optischen Verunreinigungen bei unterschiedlichen Schlitzweiten wurde

UV-Lack-beschichtetes Papier als auch metallisiertes Papier zu unterschiedlichen Massenanteilen mit einem altpapierbasierten Wellenstoff gemischt.

Tabelle 2: Materialauswahl für die Sortierversuche

Bezeichnung im Projekt	Beschreibung
Langfaser	Frischfaserzellstoff gebleicht, Fichte
Kurzfaser	Frischfaserzellstoff gebleicht, Eukalyptus
Altpapier 90 + UV Lack 10	Mischung aus altpapierbasierten Wellenstoff (90 %) und Verpackungspapier mit UV-Lack-Beschichtung (10 %)
Altpapier 10 + UV Lack 90	Mischung aus altpapierbasierten Wellenstoff (10 %) und Verpackungspapier mit UV-Lack-Beschichtung (90 %)
Altpapier 90 + Metall 10	Mischung aus altpapierbasierten Wellenstoff (90 %) und Verpackungspapier mit metallisierter Beschichtung (10 %)

3.1.3 Materialien für Bewertung von Rezyklatqualitäten

Für die Beurteilung verschiedener Rezyklatqualitäten wurden Stoffproben verschiedener Altpapier einsetzender Papierfabriken verwendet. Dabei erfolgte eine Variation der Altpapierqualität sowohl aufgrund des unterschiedlich produzierten Sortenspektrums als auch durch die Entnahme der von Stoffproben an unterschiedlichen Probenahmestellen innerhalb der Stoffaufbereitung bis hin zum Stoffauflauf. Eine detaillierte Auflistung der unterschiedlichen Proben ist im Abschnitt 5.4.1 nachzulesen. In Tabelle 3, ist eine Übersicht der beteiligten Fabriken sowie der untersuchten Proben dargestellt.

Tabelle 3: Übersicht der Altpapier einsetzenden Fabriken mit bereit gestellten Stoffproben

Fabrik	Ziel Sorte/ Qualität	Probenahme
Werk 1	Wellpappenrohpaper	-
Werk 2	Decke	Ableerbütte
Werk 2	Decke	Fertigstoff
Werk 2	Einlage	Ableerbütte
Werk 2	Einlage	Fertigstoff
Werk 3	Einlage	Kartonmaschine 2
Werk 3	Deckenstoff	Kartonmaschine 3
Werk 3	Einlage	Kartonmaschine 3
Werk 3	Testliner III	Ableerbütte, PM5
Werk 3	Decke, Testliner III	Stoffauflauf, PM 5
Werk 3	Rückseite, Kraftliner	Stoffauflauf, PM4
Werk 3	Kraftliner	Ableerbütte, PM4
Werk 4	Vollpappe Grau	Pulper Ableerbütte
Werk 4	Vollpappe Grau	Maschinenbütte
Werk 5	Testliner 130 g/m ²	Stoffauflauf Langsieb, Maschine 3, Werk Süd

3.2 Methoden zur Rezyklierbarkeit

Für die Bewertung der Rezyklierbarkeit von grafischen Produkten und papierbasierten Verpackungen, gibt es eine Vielzahl verschiedener Labormethoden. In Tabelle 3 werden diese, gemeinsam mit Ihrer Kurzbeschreibung aufgeführt.

Tabelle 4: Übersicht relevanter Prüfmethoden zur Bewertung von Rezyklierbarkeitsparametern

Methode	Name
PTS-RH 021:2012 (Entwurf 2019)	Kennzeichnung der Rezyklierbarkeit von Packmitteln aus Papier, Karton und Pappe (Kat. II) sowie von grafischen Druckerzeugnissen (Kat. I)
ZELLCHEMING RECO 1, 2014	Prüfung des Rezyklierhaltens von Verpackungen (EcoPaperLoop)
UNI 11743:2019 (Aticelca MC501:2017)	Paper and board - Determination of parameters of recyclability of cellulose-based materials and products
CTP-Methode	CTP-Interne Methode zur Rezyklierbarkeitsbewertung
INGEDE Methode 2	Bestimmung optischer Eigenschaften von Deinkingstoffen und Filtraten
INGEDE Methode 4	Bestimmung von Makrostickys in Faserstoffen
INGEDE Methode 5	Bewertung der Druckfarbenablösung durch Hyperwäsche mit dem Haindl-McNett-Fraktionator
INGEDE Methode 11	Bewertung der Rezyklierbarkeit von Druckprodukten – Prüfung der Deinkbarkeit
INGEDE Methode 12	Bewertung der Rezyklierbarkeit von Druckprodukten – Prüfung des Fragmentierhaltens von Klebstoffapplikationen
INGEDE Methode 13	Bewertung der Rezyklierbarkeit von Druckprodukten – Prüfung der Bildungsrate von Makrostickys von Klebstoffapplikationen

3.2.1 PTS-RH 021:2012 (Entwurf Oktober 2019)

Die PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019) wurde 1997 vom Ausschuss „Recyclingkriterien der Altpapierverwertung“ des ZELLCHEMING Fachausschusses RECO und der Deutschen Papierindustrie verabschiedet. Untersucht wird die Rezyklierbarkeit von Packmitteln aus Papier, Karton und Pappe (Kategorie II) sowie von grafischen Druckerzeugnissen (Kategorie I). In Abbildung 3 ist der Ablauf der PTS-RH 21:2012 (Kategorie 2) schematisch dargestellt.

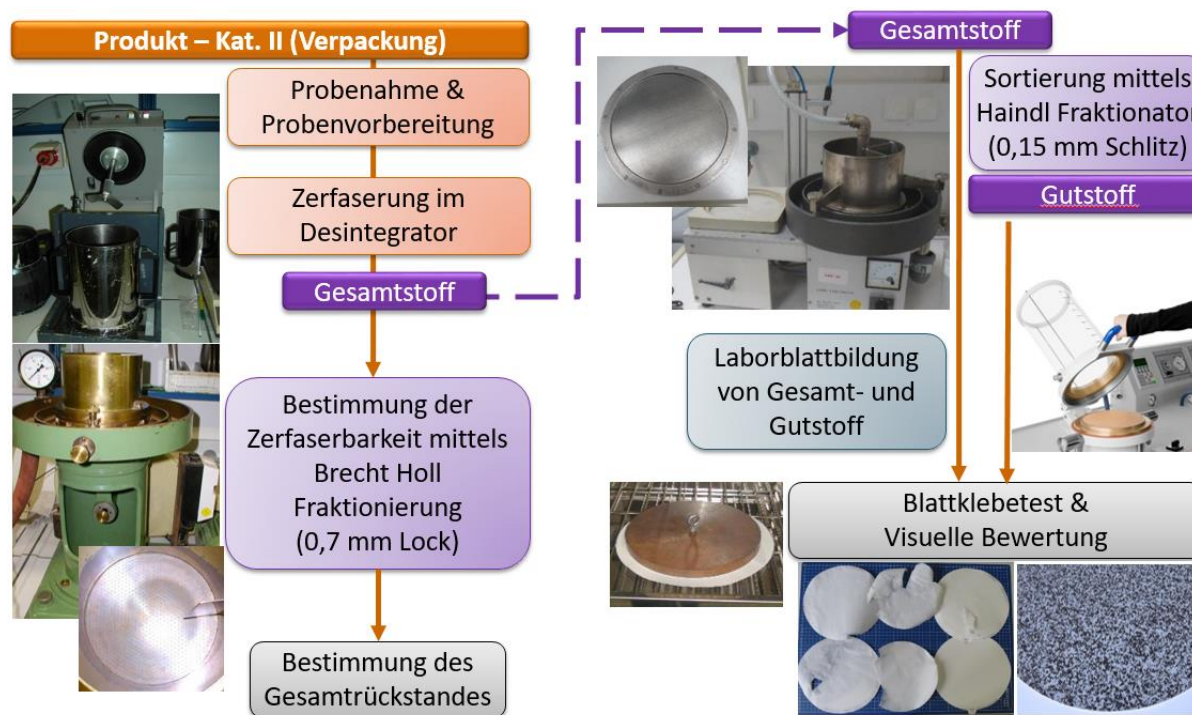


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Laborablaufes, PTS-RH 021:2012

Bei der Probenahme und Probenaufbereitung ist auf die Repräsentativität der Probe zu achten. Dafür wird aus einer Gesamtprobenmenge von 250 g lutro (Kategorie II) und 600 g lutro (Kategorie I) eine

100 g lutro Probemenge entnommen und Teile wie Metalldeckel, Trageriemen sowie Verstärkungsleisten aus Kunststoff entfernt. Ihr Anteil an der Gesamtmasse des Produktes muss gravimetrisch ermittelt und bei der späteren Sortierung eventuell anfallenden Rückstandsmengen hinzugerechnet werden. Der maximal zulässige Anteil papierfremder Materialien beträgt für die Kategorie I max. 5 Gew.- % und für Kategorie II maximal 50 Gew.- %. Liegt der Anteil bei Kategorie II zwischen 20 % und 50 % erfolgt die Bewertung „rezyklierbar, aber hinsichtlich der Produktgestaltung verbesserungsbedürftig“. Liegt das Ergebnis über dem für die jeweiligen Kategorien festgelegten Anteil an papierfremden Bestandteilen, werden die Produkte als „im Papierrecycling nicht sinnvoll verwertbar“ beurteilt. Für die Zerkleinerung im Desintegrator wird die Probe auf eine Größe von 2 x 2 cm gestanzt oder geschnitten. Es erfolgt eine Desintegration von 50 g otro (Kategorie II) und einem Suspensionsvolumen von 2 l bei 60.000 Umdrehungen (20 min., 40° C). Für die Kategorie I erfolgt die zwanzigminütige Zerkleinerung in Anlehnung an die INGEDE 11 Methode unter Zugabe der gleichen Deinkinglösung. Anschließend wird das Volumen durch Leitungswasser auf 4.000 ml aufgefüllt. Für die weiteren Verfahrensschritte wird nun eine Stoffmenge von 50 g otro entnommen und auf 2 l verdünnt und im Standarddesintegrator bei 3.000 Umdrehungen erneut für mind. 1 min. homogenisiert. Für beide Kategorien wird die Probe danach verlustfrei in ein Standardverteilergerät überführt und auf ca. 10 l Gesamtvolumen mit Leitungswasser verdünnt. Es folgt eine fünfminütige Homogenisierung. Für eine erste Blattbildung am Rapid Köthen Gerät, wird für zwei Prüfblätter jeweils eine Menge von ca. 360 ml entnommen. Dies entspricht einer otro Masse von ca. 1,8 g pro Blatt.

Anschließend erfolgt die Bestimmung der Zerkleinerbarkeit, in Anlehnung an das ZELLCHEMING Merkblatt ZM V/18/62. Für die Nassauflösung wird der Brecht-Holl Fraktionierer mit einer 0,7 mm Lochplatte verwendet. Hierfür wird eine Suspensionsmenge von 2 g otro entnommen und auf 1000 ml mit Leitungswasser aufgefüllt. Die Probe wird innerhalb von 30 sec eingetragen und bei einem Waschwasserdruck von 0,3 bar 5 min. lang fraktioniert. Der papierfremde Rückstand und Stippengehalt auf der Lochplatte wird verlustfrei überführt und über einem Filter im Büchnertrichter entwässert. Der Filter wird anschließend bis zu seiner Gewichtskonstante getrocknet und ausgewogen. Beträgt der Rückstand bei Kategorie II weniger als 20 Gew.- % wird die Probe hinsichtlich Ihrer Zerkleinerbarkeit als „rezyklierbar“ bewertet. Liegt der Anteil zwischen 20 Gew.- % und 50 Gew.- % ist die Probe „rezyklierbar, aber hinsichtlich der Produktgestaltung verbesserungsbedürftig“. Proben der Kategorie I dürfen für eine positive Bewertung keinen höheren Anteil an papierfremden Bestandteilen und Stippen als 5 Gew.- % enthalten. Es werden anschließend zwei weitere Ansichtsblätter mit dem Blattbildner hergestellt und getrocknet. Die flächenbezogene Masse soll 60 g/m² otro betragen. Nach Entnahme der Laborblätter, werden diese in einem Trockenschrank bei 130 °C, für 2 min. zwischen zwei Messingplatten (3,7 kg) vollflächig gepresst. Nach zehnminütiger Auskühlung im Exsikkator wird der Blattklebetest durchgeführt. Hierfür werden erst das Deckblatt und dann der Gautschkarton abgezogen. Dabei werden mögliche Faserausrisse und Beschädigungen durch das Ankleben des Laborblattes bewertet und im Prüfprotokoll vermerkt.

Nachfolgend wird in Anlehnung an das ZELLCHEMING- Merkblatt ZM V/1.4/86 der Sortierprozess durchgeführt. Aus dem Verteilergerät wird eine Suspensionslösung, entsprechend 5 g otro entnommen und in den Haindlfraktionator eingefüllt. Dieser besteht aus einem Fraktionierbehälter, einer Bündeldüse, einer Auflage für die Schlitzplatte (150 µm) und einem Überlauf.

Die Eintragszeit während der zweiminütigen Sortierung beträgt 15 s. Die dabei betriebene Hubfrequenz beträgt 200 Doppelhübe pro min. Der durch den Überlauf abfließende Gutstoff wird in einer Wassertonne aufgefangen und für die Herstellung von zwei weiteren Laborblättern verwendet. Mit diesen wird ebenfalls der Blattklebetest durchgeführt. Stippen und papierfremde Bestandteile > 150 µm verbleiben auf der Schlitzplatte und werden verlustfrei in ein Becherglas abgespült, gefiltert und anschließend als Rückstand getrocknet, ausgewogen und im Prüfbericht vermerkt. Die Bewertung der Gutstoffblätter erfolgt erneut durch eine Einteilung in die Recyclingfähigkeit der Probe hinsichtlich

klebender und visueller Verunreinigungen. In der folgenden Tabelle sind die Einzelbewertungen der Kriterien dargestellt aus welchen sich die abschließende Bewertung ergibt.

Tabelle 5: Bewertungsschemata der PTS-RH 021:2012 (Entwurf 2019)

Bewertung des Gesamtrückstands (inkl. trockenentfernter papierfremder Produktbestandteile bei der Probenvorbereitung)		
< 20 %	20 – 50 %	> 50 %
Rezyklierbar	Das Produkt ist rezyklierbar, aber hinsichtlich der Produktgestaltung verbesserungswürdig.	Im Papierrecycling nicht sinnvoll verwertbar.
Bewertung Blattklebetest (Gutstoff)		
Keine Klebewirkung	Leichte Klebewirkung mit geringen Beschädigungen	Klebewirkung mit Beschädigungen
Rezyklierbar	Wegen klebender Verunreinigungen im aufbereiteten Stoff bedingt rezyklierbar.*	Wegen klebender Verunreinigungen im aufbereiteten Stoff nicht rezyklierbar.
Bewertung Optische Inhomogenitäten (Gutstoff)		
Keine bzw. keine störenden optischen Inhomogenitäten	Störende optische Inhomogenitäten	Stark störende optische Inhomogenitäten
Rezyklierbar	Wegen optischer Inhomogenitäten im aufbereiteten Stoff bedingt rezyklierbar.*	Wegen optischer Inhomogenitäten im aufbereiteten Stoff nicht rezyklierbar.

* In einer Mischung wie der Haushaltssammelware rezyklierbar. Nicht einsetzbar als Monofraktion ohne, dass zusätzliche Maßnahmen durchgeführt werden.

3.2.2 ZM-Methode RECO 01/2014 / EcoPaperLoop-Methode 1

Der Prozessablauf der in dem EU-Projekt EcoPaperLoop entwickelten Rezyklierbarkeits-Prüfmethode für Verpackungsmaterialien ist in **Abbildung 4** dargestellt. In dieser Methode werden 480 g ofengetrocknetes Verpackungsprodukt in einem Niederkonsistenzpulper zerfaserf. Der Trockengehalt des Verpackungsprodukts muss vor der Zerfaserung bestimmt werden. Die entsprechende Menge des Produkts muss für die weiteren Schritte des Verfahrens auf Handflächengröße zugeschnitten werden. Um eine Fasersuspension zu erzeugen, wird das vorbereitete Verpackungsprodukt unter Niedrigkonsistenzbedingungen zerfaserf. Entsprechend dem Trockengehalt des Produktes muss eine berechnete Menge Frischwasser in den Pulper gegeben werden, um eine Stoffdichte von 4% zu erreichen. Nach einer Zerfaserungszeit von fünf Minuten wird die gesamte Probe über ein Grobsieb geleitet. Durch das Lochsieb mit 10 mm Maschenweite werden große papierfremde Materialien und schwer zerfaserbare Papierteile von der Suspension getrennt.

Um eine ausreichende und homogene Probenahme für weitere Untersuchungen zu gewährleisten, wird der Gutstoff der Grobsiebstufe zunächst von Hand gemischt und die Probe anschließend in einen Verteiler überführt und auf eine Stoffdichte von ca. 1% verdünnt. An der homogenisierten Fasersuspension wird der Aschegehalt bei 525 °C gemessen, um den Gehalt an anorganischen Stoffen im Produkt zu bestimmen. Unter Verwendung des Aschegehalts und der zuvor berechneten Ausbeute kann die Faserausbeute berechnet werden, um den Fasergehalt des Feststoffmaterials zu erhalten, das den Grobsiebschritt durchläuft. Anschließend wird nach den Vorgaben des Zellcheming-Merkblattes

ZM V/18/62 die homogenisierte Fasersuspension über eine Lochplatte von 0,7 mm gesiebt, um den Flockenanteil zu bestimmen. Im Gegensatz zum Zellcheming-Verfahren ZM V/18/62 werden auch papierfremde Papierkomponenten wie Kunststoffkleinteile als Teil des Flockenanteils untersucht. Für die Auswertung müssen fünf Proben von je 2 g ofentrockenem Material für 5 min mit dem Brecht-Holl-Siebgerät mit 100 Doppelhüben pro Minute klassiert werden. Alternativ könnte ein Haindl-Sichter mit einem Wasservolumenstrom von 3,33 L/min oder 0,2 m³/h eingesetzt werden.

Das Makrosticky-Potential nach der Zerkleinerung und der Grobsiebung wird nach der INGEDE-Methode 4 gemessen. Zur Bestimmung der Makrosticky-Fläche pro kg Verpackungsmaterial werden 10 g ofentrockenes Probenmaterial über eine 100 µm Schlitzplatte gesiebt. Unter Verwendung des Haindl-Gerätes wird die Probe fünf Minuten lang mit 480 Doppelhüben pro Minute gesiebt. Der Ausschuss auf der Siebplatte wird dann nach der INGEDE-Methode 4 zur Anfärbung und Visualisierung der Stickies auf einen Papierfilter übertragen. Vor der Bildanalyse, die für die Sticky-Messung nach der INGEDE-Methode 4 angewendet wird, erfolgt eine mikroskopische Untersuchung der Proben notwendig. Weiße Partikel oder Kunststoffe, die definitiv nicht klebrig sind, müssen erkannt und entfernt oder schwarz übermalt werden, damit sie für das makrosticky Bildanalysesystem nicht mehr sichtbar sind. Aus der Annahme der Makrosticky-Messung werden nach ISO 5269-2 Handzettel mit einem Flächengewicht von 60 g/m² hergestellt. Sie werden verwendet zur Prüfung von visuell die optische Homogenität des Zellstoffs unter Berücksichtigung der Schmutzpunkte von Nichtfaserbestandteilen und unter Vernachlässigung farbiger Fasern.

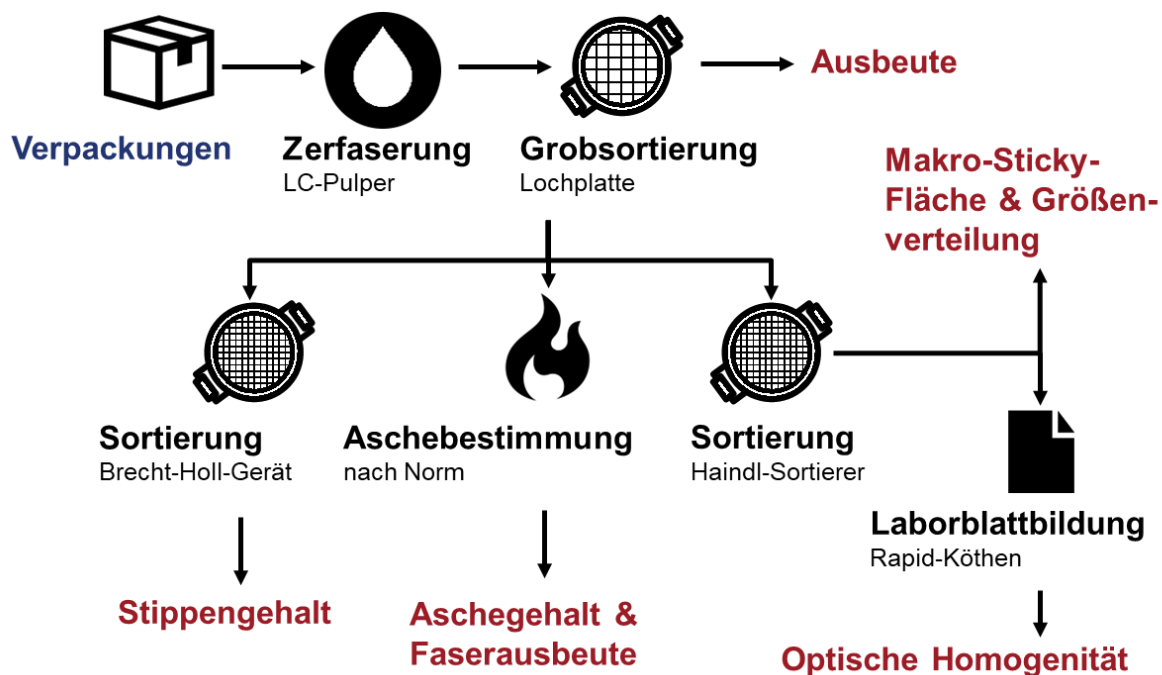


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Prüfung des Rezyklierhaltens von Verpackungen gemäß EcoPaperLoop (5th Draft)

Es existiert ein nicht offizielles Bewertungsschema in Form einer Scorecard: Insgesamt werden maximal 100 Punkte vergeben. Dabei können jeweils maximal 35 Punkte in der Kategorie Grobrejekt, 15 Punkte in der Kategorie Stippengehalt, 40 Punkte für die Makro-Stickyfläche und 10 Punkte für die Bewertung der optischen Homogenität der Laborblätter erreicht werden. Für eine gute Rezyklierbarkeit sind jeweils möglichst niedrige Werte für den Grobrejektanteil, den Stippengehalt und

die Makro-Stickyfläche erforderlich. Für jeden dieser Parameter sind zwei Grenzwert festgelegt. Liegt der gemessene Wert oberhalb des oberen Grenzwerts, führt dies zu einer negativen Punktzahl, für gemessene Werte unterhalb des unteren Grenzwerts zu einer positiven Punktzahl. Liegt der gemessene Wert zwischen den beiden Grenzwerten, erhält das Produkt in dieser Untersuchung null Punkte.

Abhängig von der Summe der erreichten Punkte in den vier Kategorien ergibt sich für das getestete Produkt eine der folgenden Bewertungen:

- 71 – 100 Punkte: gute Rezyklierbarkeit
- 51 – 70 Punkte: angemessene Rezyklierbarkeit
- 0 – 50 Punkte: tolerierbare Rezyklierbarkeit
- < 0 Punkte: Produkt ungeeignet für die Papierindustrie

3.2.3 UNI 11743:2019 (Aticelca MC501:2017)

Die italienische Norm UNI 11743:2019 “Paper and board - Determination of parameters of recyclability of cellulose-based materials and products” stellt eine Abwandlung der EcoPaperLopp-Methode dar. Statt eines Laborpulpers wird zum Desintegrieren ein Standardaufschlaggerät gemäß ISO 5263-1, Anhang A, verwendet. Aufgeschlagen werden 10 min bei 3.000 U/min bei 2,5 % Stoffdichte, was der halben Aufschlagszeit der PTS-Methode entspricht. Die Probenmenge beträgt 100 g (50 g bei der PTS-Methode, 480 g bei der EPL-Methode), die Probe soll in 3 x 3 cm große Stücke geschnitten werden, also etwas größer als bei der PTS-Methode und kleiner als bei der EPL-Methode. Die 100 g werden in 2 x 50 g aufgeteilt, getrennt dispergiert und dann wieder zusammengeführt. Das Grobrejekt wird mit einem Somerville-Fraktionator (andere sind erlaubt) bei 5 mm Lochung bestimmt, während EPL eine wie auch immer geartete Sortierung über ein 10 mm Lochsieb vorschreibt. Stippen werden mit einer 0,7 mm Lochplatte im Haindl-Fraktionator bestimmt, Alternativen sind erlaubt, u.a. auch ein Schlitzplatte mit 150 µm Schlitzweite. Die Hubzahl ist jedoch mit 150 pro Minute höher als bei EPL. Die Bestimmung der Makrostickys erfolgt mittels Bildanalyse nach Sortierung über eine 100 µm Schlitzplatte und entspricht der EPL-Methode. Gleichzeitig werden Laborblätter hergestellt und einem Blattklebetest unterzogen (wie bei der PTS-Methode) und auf optische Homogenität geprüft. In der Abbildung 5 ist das Ablaufschema dargestellt.

An dieser Stelle endet die UNI 11743. Eine Bewertung auf Rezyklierbarkeit findet dann nach der Aticelca MC 501 statt. Deren Kriterien sind abweichend von der Scorecard, die für die EPL-Methode im Gespräch war. Auch gibt es keinen errechneten Score, sondern eine Einteilung in unterschiedliche Rezyklierbarkeitslevel (siehe Abbildung 6).

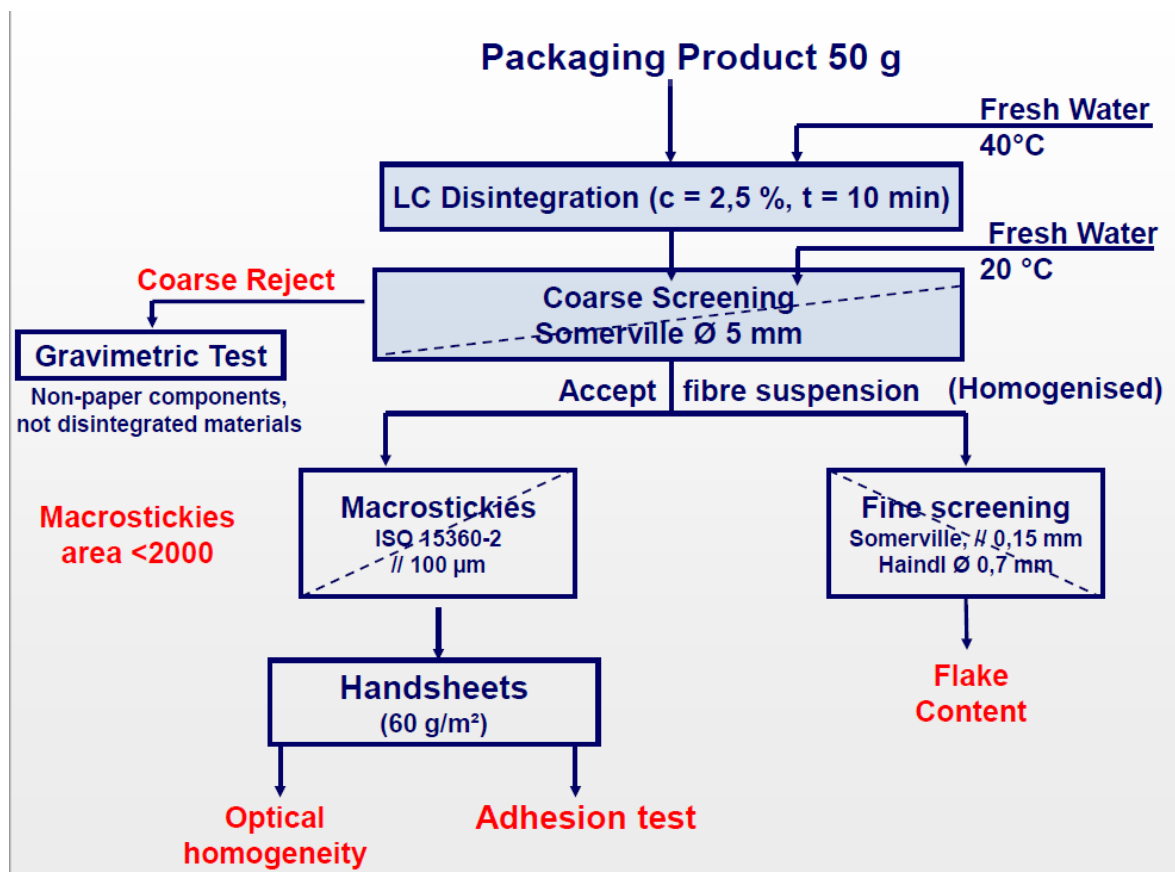


Abbildung 5: Ablaufschema der Untersuchung nach UNI 11743 (Aticelca MC 501)

Parameter	Recyclable with paper				Not recyclable with paper
	Level A+	Level A	Level B	Level C	
Coarse rejects (%)	< 1.5	1.5-10	10-20	20-40	> 40
Macrostickies area < 2.000µm (mm2/kg)	<2.500	2.500-10.000	10.000-20.000	20.000-50.000	> 50.000
Flakes (%)*	< 5	5-15	15-40	>40	-
Adhesion	absent	absent	absent	absent	present
Optical in-homogenities	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	-

* If flakes contain mostly non-cellulosic material the amount is added to coarse rejects



Abbildung 6: ScoreCard zur Bewertung der Rezyklierbarkeit nach Aticelca MC 501

3.2.4 CTP-Methode

Des Weiteren existiert noch eine vom Centre Technique du Papier in Grenoble (Frankreich) praktizierte Methode. CTP desintegriert mit einem Lhomargy-Laborpulper bei 3,5 % Stoffdichte für 15 min. Es werden 60 g Probenmaterial, von Hand auf etwa 3 x 3 cm gerissen, bei 45 °C aufgelöst. Grobrejekt werden nicht bestimmt bzw. werden bei den Stippen miterfasst, d.h. es wird nur ein Messwert nicht- bzw. schwer desintegrierbarer Anteil bestimmt. Hierzu dient eine 150 µm Schlitzplatte im Somerville-Fraktionator. Die akzeptierte Fraktion wird mit 100 µm nochmals sortiert. Daraus werden Laborblätter gefertigt. Ähnlich dem Blattklebetest bei der PTS-Methode wird beim Abziehen der Deckblätter und des Gautschkartons auf anhaftende Partikel geachtet, aber auch auf „Abziehgeräusche“, die auf Kleben hindeuten könnten. Die optische Homogenität des Laborblattes wird ebenfalls bewertet. Im Zweifel wird eine Sticky-Analyse durchgeführt.

3.2.5 Methodenübersicht

Für einen Methodenvergleich wurden alle wichtigen Aspekte und Parameter der gängigen Methoden zur Bewertung der Rezyklierbarkeit in einer Übersicht zusammengetragen. Die Übersicht ermöglicht einen schnellen Abgleich bspw. der jeweils eingesetzten Aggregate, deren Einstellparameter, der Bewertungsparameter und weitere relevanter Aspekte wie z.B. Probenmenge und Probengröße. Die Übersicht ist in einer separaten Tabelle (Anhang 7.1) verfügbar.

3.2.6 Entwurf Cepi Methode

Parallel zur Bearbeitung dieses Projektes Infor 214 war auf europäischer Ebene ein von CEPI moderiertes Projekt mit dem Titel *“Proposal for a harmonised method to test recyclability of paper materials and paper based products at laboratory scale”* in Bearbeitung. Ziel ist die Harmonisierung der in Europa gebräuchlichen Methoden in einer CEN-Norm. Erste Entwürfe wurden bereits im Rahmen der Projektbegleitersitzungen diskutiert. Die finale Fassung der Version 1 liegt seit Beginn 2021 vor¹ (Anhang 7.2).

3.3 Verwendete Geräte

In diesen Abschnitt werden die für die Untersuchungen relevanten Geräte beschrieben. Diese unterteilen sich in Aggregate für die Zerfaserung, für Sortierung und Fraktionierung sowie für weitere Analysen. Eine Übersicht zeigt Tabelle 6.

¹ Cepi: Harmonised European laboratory test method to produce parameters enabling the assessment of the recyclability of paper and board products in standard paper and board recycling mills, Dec 2020.

Tabelle 6: Übersicht der im Projekt verwendeten Geräte

Geräte	Kurzbeschreibung
Standard-Desintegrator (PTS und PMV)	Laboraggregat zur Zerkleinerung mit einem Fassungsvermögen von 2 Liter (50 g otro Faserstoff, Standardrührer, 3.000 U/min)
Lamort-Pulper (PTS)	Laboraggregat zur Zerkleinerung mit einem Fassungsvermögen von 20 Liter, davon 15 Liter genutzt (750 g otro Faserstoff, LC-Standardrotor, 1.500 U/min)
EPL-Pulper (PMV)	Laboraggregat zur Zerkleinerung mit einem Fassungsvermögen von 19 Liter, davon 12 Liter genutzt (480 g otro Faserstoff, Standardrotor, 3.000 U/min)
TEC-Pulper (PTS)	Technikumsaggregat zur Zerkleinerung mit einem Fassungsvermögen von 150 Liter (6.000 g otro Faserstoff, LC-Intensiv-Rotor)
Intensa-Pulper (Voith)	Technikumsaggregat zur Zerkleinerung mit einem Fassungsvermögen von 8.000 Liter (300 kg lutro Faserstoff, IP-R Rotor)
Brecht-Holl-Fraktionator	Laboraggregat zur Sortierung bzw. Fraktionierung (i.d.R. 2 g otro Faserstoff und 5 min Sortierzeit, unterschiedl. Siebplatten mit Schlitz und Loch)
Haindl-Sortierer	Laboraggregat zur Sortierung bzw. Fraktionierung (i.d.R. 5 g otro Faserstoff und 2 min Sortierzeit, unterschiedl. Siebplatten mit Schlitz und Loch)
Somerville-Sortierer	Laboraggregat zur Sortierung bzw. Fraktionierung (Grobrejekt – 5 mm Loch: 50 g otro Faserstoff bei 1 % Stoffdichte, Wasserdurchfluss von 8 l/min und 5 min Sortierzeit, die ersten 10 Liter werden für weitere Untersuchungen aufgefangen; Stippen – 0,15 mm Schlitz: 5 g Stoff, 8 l/min und 5 min Sortierzeit; Stickys – 0,1 mm Schlitz: 10 g Stoff, 8 l/min und 10 min Sortierzeit)
Sonstige Analysegeräte	Messtechnische Analysegeräte zur Prüfung weiterer Parameter, bspw. DOMAS-Analysesysteme und Valmet Fraktionator

3.3.1 Zerkleinerung

Im Rahmen dieses Projekts wurden sowohl im Labor als auch im Technikum Untersuchungen zur Zerkleinerbarkeit der oben genannten Verpackungsmaterialien durchgeführt. Hierbei kamen verschiedene Pulper zum Einsatz. Im Technikum der Firma Voith stand ein Intensa Pulper mit einem Fassungsvermögen von 8 m³ zur Verfügung. Für die Versuche im PMV-Labor wurden sowohl ein Standarddesintegrator (2 Liter) als auch ein spezieller Pulper (19 Liter), der in der EcoPaperLoop-Methode definiert ist, verwendet. Abbildung 7 zeigt Aufnahmen der bei Voith und am PMV verwendeten Pulper.



Abbildung 7: Übersicht über die bei Voith und am PMV verwendeten Pulper. Intensa-Pulper (links), Standarddesintegrator (mitte), EcoPaperLoop-Pulper (rechts).

Für die Untersuchungen an der PTS kam ebenfalls ein Standarddesintegrator (2 Liter) als auch ein Laborpulper der Firma Lamort (15 Liter) sowie der PTS-Technikumpulper (100 Liter) zum Einsatz. Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt die eingesetzten Zerfaserungsaggregate an der PTS.



Abbildung 8: Übersicht über die an der PTS verwendeten Pulper. Standarddesintegrator (links), Lamort-Pulper (mitte), PTS-Technikumpulper (rechts).

3.3.2 Sortierung und Fraktionierung

Zur Bewertung der Zerfaserbarkeit wird der zerfaserte Stoff von Stippen und weiteren Rückständen getrennt. Hierzu kommen drei verschiedene Sortiergeräte zum Einsatz. Das Sortiergerät nach Somerville ist insbesondere in der Industrie sehr weit verbreitet. Die Sortiergeräte nach Brecht-Holl und Haendl sind für die Durchführung der Labormethoden zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Bedeutung. In Abbildung 5 zu sind die drei Aggregate abgebildet.



Abbildung 9: Übersicht über die in diesem Projekt verwendeten Sortieraggregate. Somerville (links), Brecht Holl Fraktionator (mitte), Haendl Fraktionator (rechts)

Für die Aggregate stehen jeweils verschiedene Loch- und Schlitzplatten zur Verfügung mittels denen eine Grobrejekt- sowie Feinrejekt-Abtrennung möglich ist.

3.3.3 Sonstige Analysegeräte

Zur Prüfung weiterer Parameter wurden die nachfolgend beschriebenen messtechnischen Analysegeräte hinzugezogen.

DOMAS- Bildanalyse Programm, Modul Schmutzpunkte

Für die Analyse von Schmutzpunkten mittels des DOMAS Bildanalyseprogramm werden die gebildeten Laborblätter, jeweils mit Ihrer Vorder- sowie Rückseite mittels Durchlicht eingescannt und analysiert.

Es wird sowohl die mittlere Partikelgröße ($\mu\text{m}^2/\text{m}^2$) detektiert, als auch die Anzahl der Partikel ($\mu\text{m}^2/\text{ROI}$). Beide Kennwerte werden in die folgenden Partikelgrößenklassen unterschieden:

- 50 - 100 μm
- 100 – 150 μm
- 150 - 200 μm
- 200 – 250 μm
- 250 - 500 μm
- 500 - 50000 μm .

In Abbildung 10 ist eine exemplarische DOMAS Messstation abgebildet sowie ein beispielhaftes Ergebnis des Schmutzpunktemoduls.

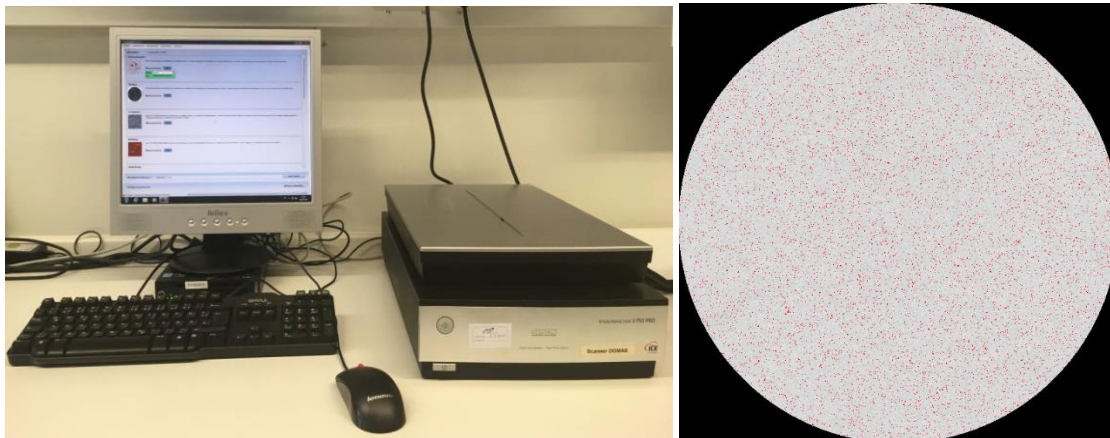


Abbildung 10: DOMAS Bildanalyse – Messstation (links), Messung der Schmutzpunkte (rechts)

DOMAS-Chemical-Imaging

Mittels des DOMAS Chemical Imaging Messverfahrens, wird eine quantitative Bestimmung klebender und nicht klebender Polymere ermöglicht. Dies erfolgt durch die Vermessung von Laborblättern mittels Nahinfrarot, im Bereich 780 – 2.500 nm. Ebenfalls möglich ist die chemische Identifizierung der jeweiligen Substanzen. In Abbildung 7 zu sehen, ist der entsprechende Messplatz und die Messung verschiedener polymerer Substanzen eines Beispiel Laborblattes.

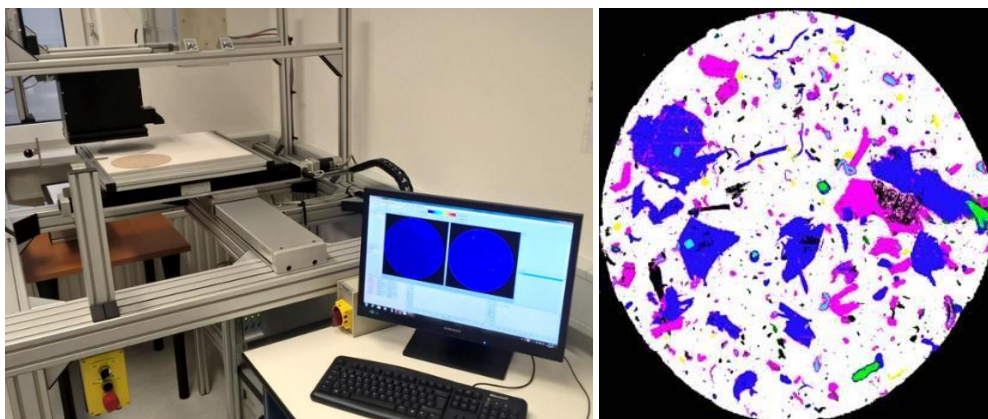


Abbildung 11: DOMAS Chemical Imaging – Messstation (links), Messung polymerer Substanzen (rechts)

Wie in dem rechten Bild der Abbildung 11 zu sehen, lassen sich durch das Chemical Imaging verschiedene polymere Substanzen durch ihre chemische Zusammensetzung unterscheiden. Dabei kann zwischen klebenden und nicht klebenden Polymeren unterschieden werden.

Valmet Fractionator

Der Valmet Fractionator ist ein Messgerät zur morphologischen Analyse von Faserstoffsuspensionen. Das Gerät ist mit einer optischen und einer im nahen Infrarot arbeitenden Kamera ausgerüstet und erlaubt somit die Analyse der in der Suspension enthaltenen Fasern und Farbpigmente („Schmutzpunkte“).



Abbildung 12: Valmet Fractionator (links), Aufnahme der Faserkamera (mitte) und Aufnahme der Ink-Kamera (rechts)

4 Untersuchungen

In diesem Abschnitt werden die folgenden, durchgeführten Untersuchungen beschrieben:

- Methodenvergleich (PTS-RH 021, ZM RECO 01/2014, CTP, UNI 11743)
- Technikumsversuche (Fa. Voith)
- Laborversuche zum Zerfaserungs- und Sortierverhalten
- Untersuchungen zur Rezyklatqualität

4.1 Methodenvergleich

Die vier in Abschnitt 3.1 beschriebenen Probenmaterialien wurden nach den folgenden Methoden vergleichend hinsichtlich der Bewertung ihrer Rezyklierbarkeit untersucht:

Tabelle 7: Übersicht der Methoden, die von den beteiligten Instituten zur Bewertung der Rezyklierbarkeit der vier Probenmaterialien angewandt wurden.

Methode	Durchführende Institute
PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019)	PTS, PMV
ZM-Methode RECO 01/2014	PMV
CTP-Methode	CTP
UNI 11743:2019 (Aticelca MC501:2017)	Lucense

4.1.1 Bewertung der Rezyklierbarkeit nach PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019)

Die vier zu untersuchenden Verpackungsmaterialien wurden in einem nächsten Schritt nach den beiden gängigsten Labormethoden zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Papierprodukten, der PTS-Methode PTS-RH 021:2012 (Entwurf 2019) als auch nach der ZM-Methode RECO 01/2014, getestet und bewertet.

4.1.2 Bewertung der Rezyklierbarkeit nach ZM-Methode RECO 01/2014

Für die Bewertung der Rezyklierbarkeit nach der EcoPaperLoop-Methode (ZM-Methode RECO 01/2014) gibt es zum aktuellen Zeitpunkt noch keinen offiziell gültigen Bewertungsmaßstab. Allgemein lässt sich jedoch erwarten, dass für ein gutes Abschneiden ein geringer Grobrejektanteil sowie ein geringer Stippen- und Makro-Stickygehalt erforderlich ist. Des Weiteren ist eine optische Homogenität der Laborblätter nach der Sortierung wünschenswert. Für die Bewertung wurde der in Abschnitt 3.2.2 beschriebene, inoffizielle Bewertungsmaßstab verwendet.

4.1.3 Bewertung der Rezyklierbarkeit nach CTP-Methode und UNI 11743:2019

Zur Untersuchung der vier Probenmaterialien nach der französischen CTP-Methode und der italienischen UNI-Methode wurden jeweils eine Probenmenge von 500 g je Probenmaterial in Form von DIN-A4 Bögen an das CTP-Institut in Frankreich und an ein italienisches Institut (Lucense) versendet. Diese führten die entsprechenden Bewertungsmethoden nach ihren eigenen Vorgaben durch.

4.2 Technikumsversuche

Im Technikum der Firma Voith wurde die Zerfaserbarkeit der vier zu untersuchenden Verpackungsmaterialien in einem Intensa-Pulper untersucht. Hierzu wurden jeweils 300 kg des Verpackungsmaterials mit 4 m³ Wasser mit einer Temperatur von etwa 40 °C zerfasernd. Im Abstand von 4 min wurden Stoffproben aus dem Pulper entnommen. Im Labor wurden aus den Stoffproben Sichtblätter gebildet und die Rückstände nach Sortierung sowohl in einem Somerville- als auch in einem Brecht-Holl-Sortiergerät bestimmt. Beim Somerville-Gerät kam eine Schlitzplatte mit 150 µm Schlitzweite und beim Brecht-Holl eine Lochplatte mit einem Lochdurchmesser von 0,7 mm zum Einsatz. Abbildung 13 stellt den Versuchsablauf schematisch dar.

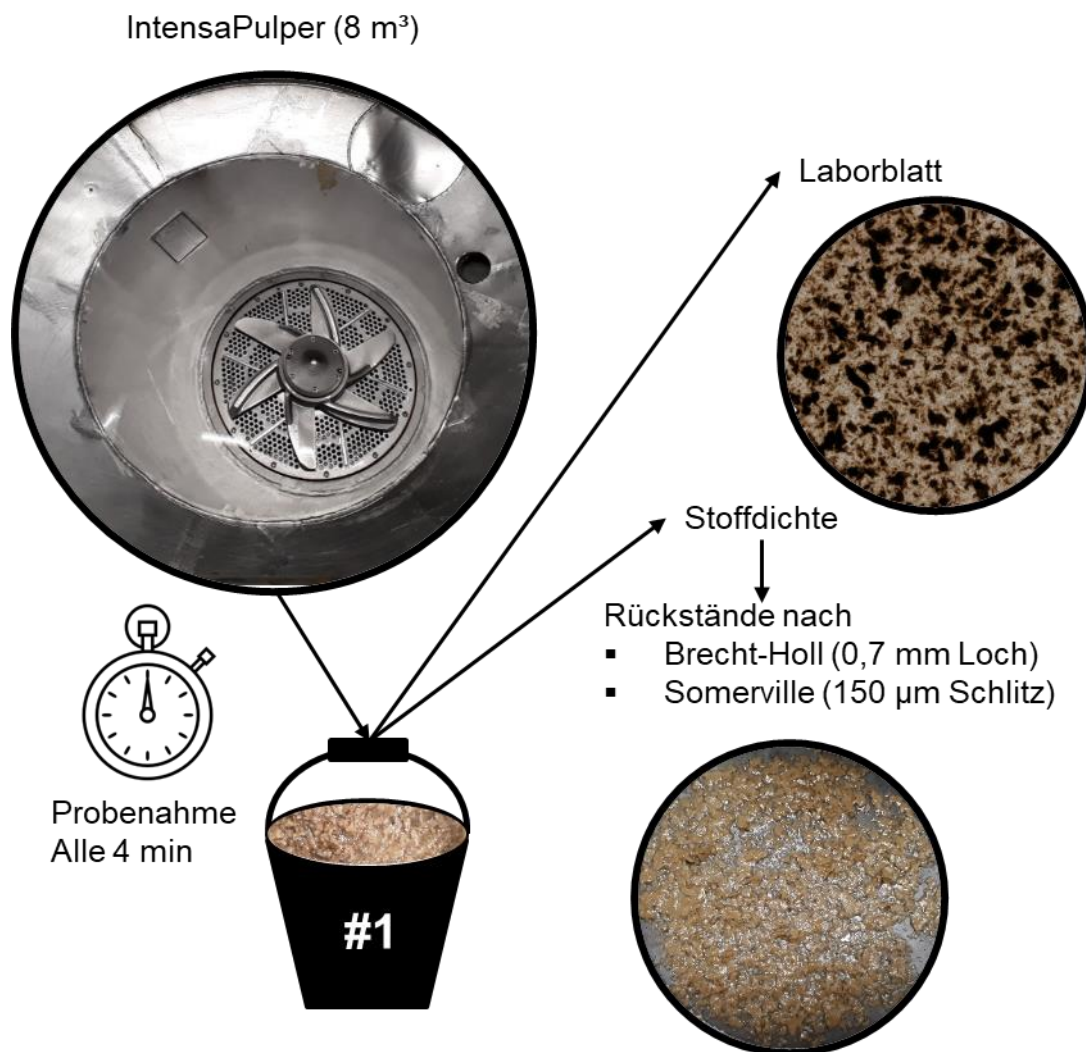


Abbildung 13: Schematische Darstellung der Technikumsversuche

4.3 Laborversuche zum Zerfaserungs- und Sortierverhalten

In den Laboren des PMV und der PTS wurden zum einen Untersuchungen zum Zerfaserungsverhalten mit den vier bereitgestellten Probenmaterialien durchgeführt. Zum anderen wurden an der PTS zusätzlich Untersuchungen zum Sortierverhalten mit vier verschiedenen Faserstoffen und Faserstoffmischungen durchgeführt.

4.3.1 Zerfaserungsverhalten

Zur Bestimmung des Verhaltens der eingesetzten Zerfaserungsaggregate wurden sogenannte Zerfaserungskurven für die vier untersuchten Probenmaterialien aufgenommen. Zum Einsatz kamen die sechs in Abschnitt 3.3.1 beschriebenen Zerfaserungsaggregate. Bei den Laboraggregaten Standarddesintegrator (PMV & PTS) und EPL-Pulper (PMV) wurden die unterschiedlichen Zerfaserungszeiten jeweils mit einem vollständigen Ansatz untersucht. Bei den Untersuchungen am Intensa-Pulper (Voith), Lamort-Pulper (PTS) und TEC-Pulper (PTS) erfolgte je Material insgesamt ein Ansatz, dabei wurde zu den verschiedenen Zerfaserungszeiten jeweils eine Stoffprobe aus dem Gesamtansatz entnommen. Für eine Vergleichbarkeit mit den gängigen Methoden wurden bei allen Untersuchungen mind. eine Zerfaserungszeit von 5 Minuten (entsprechend ZM-Methode RECO 01/2014) und eine Zerfaserungszeit von 20 Minuten (entsprechend PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019)) sowie 10 Minuten (entsprechend UNI 11743:2019 bzw. Vorschlag für harmonisierte europäische Methode) untersucht. Die Probengröße bei den Standarddesintegratoren betrug $2 \times 2 \text{ cm}^2$ sowie $3 \times 3 \text{ cm}^2$ für die Vergleichbarkeit mit. Im EPL-Pulper als auch Lamort-Pulper war die Probengröße $7 \times 7 \text{ cm}^2$. Für die Zerfaserung im Intensa-Pulper wurden die vier Probenmaterialien im Anlieferungszustand verwendet (siehe auch Abbildung 2). Die Maße der Platten des einseitig PE-beschichteten Kartons betrugen $74 \times 74 \text{ cm}^2$ und die des zweiseitig PE-beschichteten Kartons $76 \times 125 \text{ cm}^2$. Sowohl der verwendete Testliner als auch der Nassfeste Karton wurden als Rollenware der Breite 84 cm bzw. 98 cm angeliefert und eingesetzt. Die Proben für die Zerfaserung im Technikumpulper der PTS wurden in etwa A4-große Bögen geschnitten (ca. $20 \times 30 \text{ cm}$).

Zu beachten ist, dass bei den großen Partikeln in den größeren Pulpern (EPL, Lamort, TEC und Intensa) weiterhin die bereits beschriebene Problematik mit den Grobrejekten bei den beschichteten Kartons zu beobachten war, weshalb bei diesen Materialien eine Grobsortierung vor der Stippenbestimmung notwendig war.

4.3.2 Sortierverhalten

Zur Bewertung des Einflusses von Siebgeometrie auf die Verteilung der morphologischen Parameter in Akzept und Rejekt wurde das Sortierverhalten der in Abschnitt 3.1.2 beschriebenen Faserstoffe untersucht. Die Faserstoffe wurden jeweils mittels einer Zerfaserung im Desintegrator bei 2 Minuten erzeugt. Anschließend wurden die Faserstoffe jeweils in den beiden zur Verfügung stehenden Aggregaten Brech-Holl- und Haindl-Sortierer sortiert. Der Brecht-Holl-Sortierer war mit einer Lochplatte mit 0,7mm Lochdurchmesser ausgestattet und die Sortierzeit betrug 5 Minuten (Einstellungen gemäß PTS-RH 021:2012). Bei den Sortierversuchen mit dem Haindl-Sortierer betrug Sortierzeit 5 Minuten (Einstellungen gemäß PTS-RH 021:2012). Zur Variation wurde eine Schlitzplatte mit $100 \mu\text{m}$ und eine mit $150 \mu\text{m}$ Schlitzweite eingesetzt. Die Bewertung der Versuche erfolgt zum einem hinsichtlich der Rückstandsmengen auf den jeweiligen Siebplatten und zum anderen bezüglich der Fasermorphologie (Faserlänge), welche mittels des in Abschnitt 3.3.3 beschriebenen Valmet-Fraktionators bestimmt wurde.

4.4 Untersuchungen zur Rezyklatqualität

Um sich einen Überblick über die, in der Altpapiereinsetzenden Fabriken, typischen Rezyklatqualität zu verschaffen, wurden im Rahmen des Projektes verschiedene Fabriken um Stoffsuspensionsproben gebeten. Diese wurden dann im Labor nach PTS-RH 021:2012 auf deren klebende und visuelle Verunreinigungen beurteilt. Die Proben variierten durch unterschiedliche Probenahmestellen sowie die Input und Output Qualität des Rohstoffes.

Für die Objektivierung des Blattklebetests wurden verschiedene Variationen des Blattklebetestes untersucht und auf deren Reproduzierbarkeit untersucht. Dabei ebenfalls variiert wurden verschiedene Trägerkartone sowie der Einsatz weiterer Materialien als Trägermaterial.

4.4.1 Durchgeführte Benchmark-Untersuchungen

Für die sogenannte Benchmark Untersuchung der industriellen Referenzen wurden folgende Hinweise an die Fabriken vermittelt, mit dem Wunsch die entsprechenden Informationen mit der Probe gemeinsam zu versenden:

Ort der Probenahme:

- Stoffauflauf (der auf die Papiermaschine gelangende Stoff inkl. Additive)
- Nach bestimmten Reinigungsstufen

Menge:

- 2 l (angenommene Stoffdichte 10 g/l)
- in Flasche abfüllen
- bis zum Versand kühl stellen, wenn möglich etwas Biozid hinzufügen

Zusammensetzung:

- Eingesetzte Inputmaterialien
- Verwendete Additive (Fixiermittel, Massestärke, Retentionsmittel, Entschäumer, Nassfestmittel, Leimungsmittel, usw.)

Nach Erhalt der Proben wurden diese im Labor verdünnt und anschließend im Verteilgerät homogenisiert. In Anlehnung an die PTS-Rh 021:2012 wurde dann der Blattklebetest durchgeführt und die klebenden und visuellen Verunreinigungen überprüft. Die Abbildung 14 zeigt den schematischen Ablauf der Benchmark-Untersuchung.

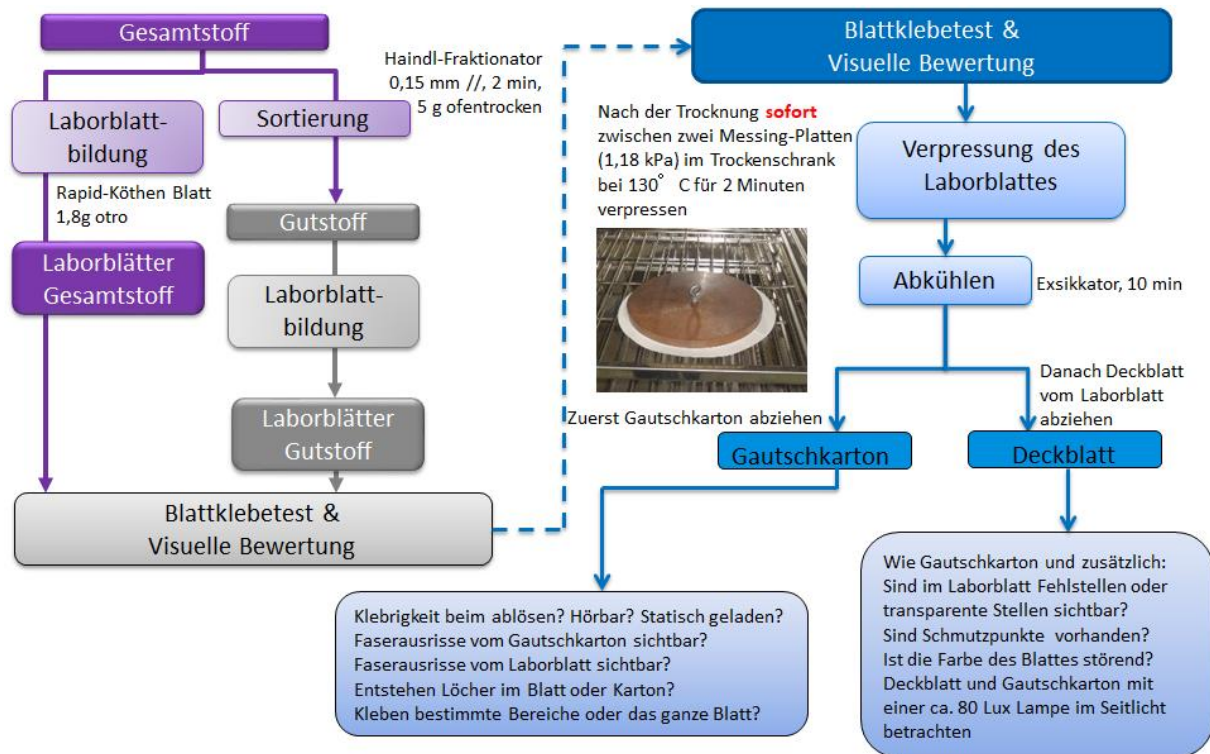


Abbildung 14: Schematischer Ablauf der Laboruntersuchung der Benchmark-Stoffproben

4.4.2 Klebende Verunreinigungen

Für die Objektivierung der Beurteilung klebender Verunreinigungen erfolgte eine genauere Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren auf den Blattklebetest. Dabei wurden folgende Parameter variiert bzw. überprüft:

- Reproduzierbarkeit des Blattklebetests bei identischer Durchführung
- Einfluss variierender Deckblätter sowie Gautschkartone (PMV-Karton, Xella-Karton, schwarzer Karton, gelbe Folie)
- Variation der Trockenzeit im Trockenschrank sowie Abkühlzeit im Exsikkator.

Die durchgeführten Blattklebetests wurden anschließend nach PTS-RH 21:2012 verglichen, wofür die Menge, Größe und Verteilung der Faserausrisse festgehalten wurde.

4.4.3 Visuelle Verunreinigungen

Um auch die Bewertung visueller Verunreinigungen zu objektivieren erfolgte anhand verschiedener zur Verfügung stehender Laborblätter eine Betrachtung mittels des DOMAS Bildanalyseprogramms, Modul Schmutzpunkte. Dabei wird sowohl die Vorderseite als auch die Rückseite des Laborblattes in einem Scanner eingescannt und die Schmutzpunktanzahl (μm) sowie die Fläche (μm) in verschiedenen Größenklassen ausgegeben.

5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der in Kapitel 4 beschriebenen Untersuchungen dargestellt und bewertet.

5.1 Laborergebnisse der angewandten Bewertungsmethoden

5.1.1 Ergebnisse nach EcoPaperLoop-Methode am PMV

Tabelle 8 zeigt für die vier getesteten Materialien eine Übersicht aller vergebenen Punkte in den genannten Kategorien sowie die erreichte Gesamtpunktzahl und die Einstufung des Materials. Während dem Testliner und dem einseitig beschichteten Karton eine gute Rezyklierbarkeit bescheinigt wird, sind der nassfeste Karton sowie der zweiseitig beschichtete Karton nach dieser Testmethode nicht für die Aufbereitung in einem Standardprozess geeignet. Beim nassfesten Karton liegt die Ursache für diese Bewertung bei einem zu hohen Stippengehalt, beim zweiseitig beschichteten Karton an einem sehr hohen Grobrejektanteil.

Tabelle 8: Übersicht der Gesamtbewertungen der vier untersuchten Materialien nach der ZM-Methode RECO 01/2014 und der für die Bewertung relevanten Parameter.

Probenmaterial	Prozessparameter		Qualitätsparameter		Gesamtpunktzahl	Bewertung
	Grobrejekt	Stippengehalt	Makro-Stickygehalt	optische Homogenität		
Testliner	35	14	40	10	99	gute Rezyklierbarkeit
1-seitig PE	28	12	40	0	80	gute Rezyklierbarkeit
Nassfest	35	-3	40	5	---	nicht für Standardprozess geeignet
2-seitig PE	-57	8	40	5	---	nicht für Standardprozess geeignet

Anders als bei der PTS-Methode RH 021:2012 wird bei der ZM-Methode RECO 01/2014 der zerfaserte Stoff vor der Bestimmung der Stippen nach Brecht-Holl über eine Lochplatte mit 5 mm Lochdurchmesser grobsortiert. Hierbei können gröbere Rejekte, wie beispielsweise papierfremde Bestandteile aussortiert werden. Abbildung 15 ist zu entnehmen, dass sowohl beim Testliner als auch beim nassfesten Karton keine Grobrejekte festgestellt wurden. Beim einseitig und beim zweiseitig PE-beschichteten Karton ergab die Analyse 6 % bzw. 49 %. Insbesondere die 49 % beim zweiseitig beschichteten Karton lassen darauf schließen, dass bei diesem Material die Zerfaserung nur sehr schlecht funktioniert hat. Abbildung 16 zeigt einen Teil der Rejekte der beiden beschichteten Kartons aus der Grobsortierung. Speziell beim zweiseitig beschichteten Karton ist zu erkennen, dass einige der ursprünglich 7 x 7 cm² großen Partikel noch fast im Originalzustand vorlagen und lediglich am Rand ein paar Fasern herausgelöst wurden. Die Beschichtung scheint ein Eindringen des Wassers Richtung mit der Partikel fast vollständig zu verhindern. Beim einseitig beschichteten Karton kann das Wasser zunächst von einer Seite Fasern herauslösen. Jedoch scheinen sich die PE-Folien durch Turbulenzen im Pulper teilweise aufzuwickeln und damit noch nicht zerfasertes Papier einzuschließen, wodurch diese auch nicht weiter zerfasert werden können. Die Kunststofffolien werden durch die Grobsortierung fast vollständig entfernt.

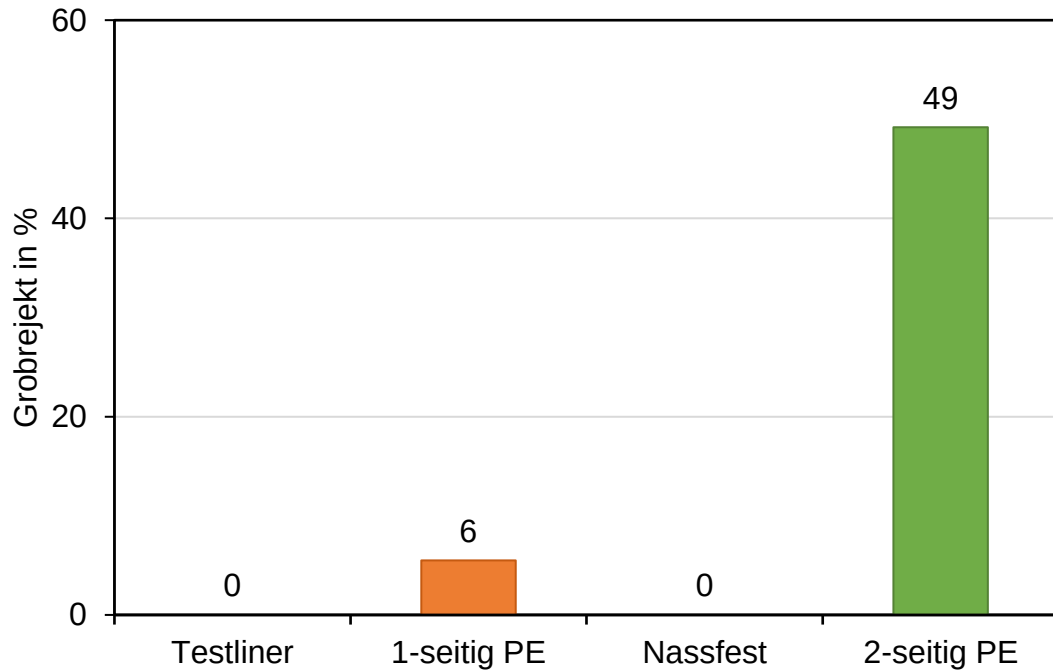


Abbildung 15: Grobrejekte der vier untersuchten Materialien nach der ZM-Methode RECO 01/2014.

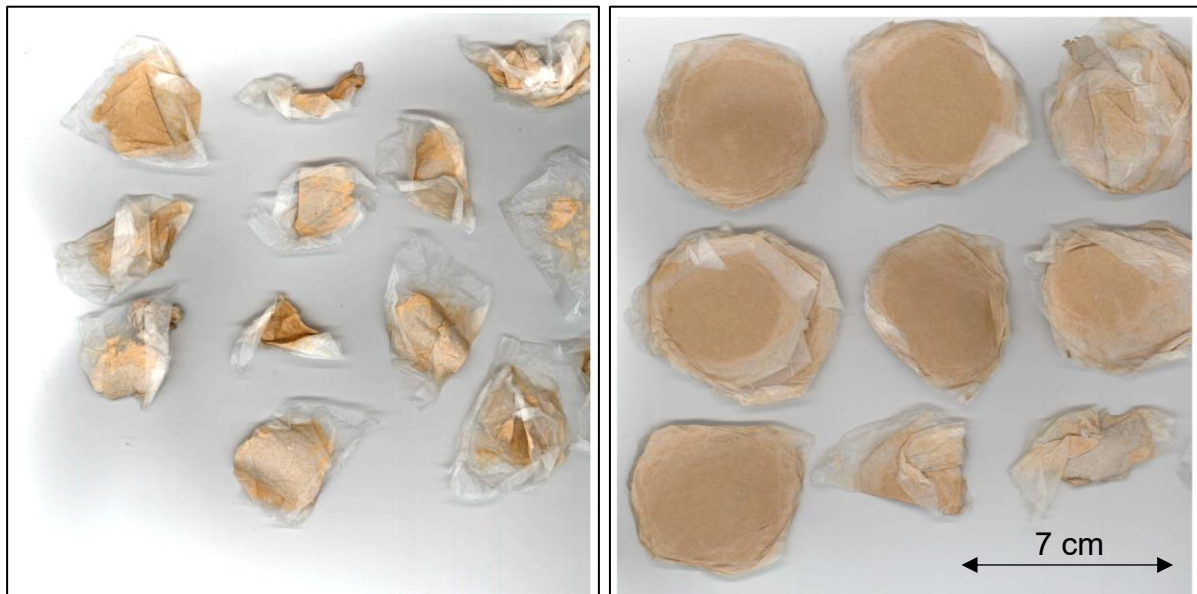


Abbildung 16: Grobrejekte des einseitig PE-beschichteten Kartons (links) und des zweiseitig PE-beschichteten Kartons (rechts)

Beim Stippengehalt zeigt sich, wie in Abbildung 17 zu sehen, die gleiche Reihenfolge wie bei der Zerkleinerung nach der PTS-Methode (siehe auch Abbildung 20). Die gemessenen Werte liegen jedoch deutlich höher. Die dargestellten Werte beziehen sich prozentual auf der Gutstoff nach der Grobsortierung.

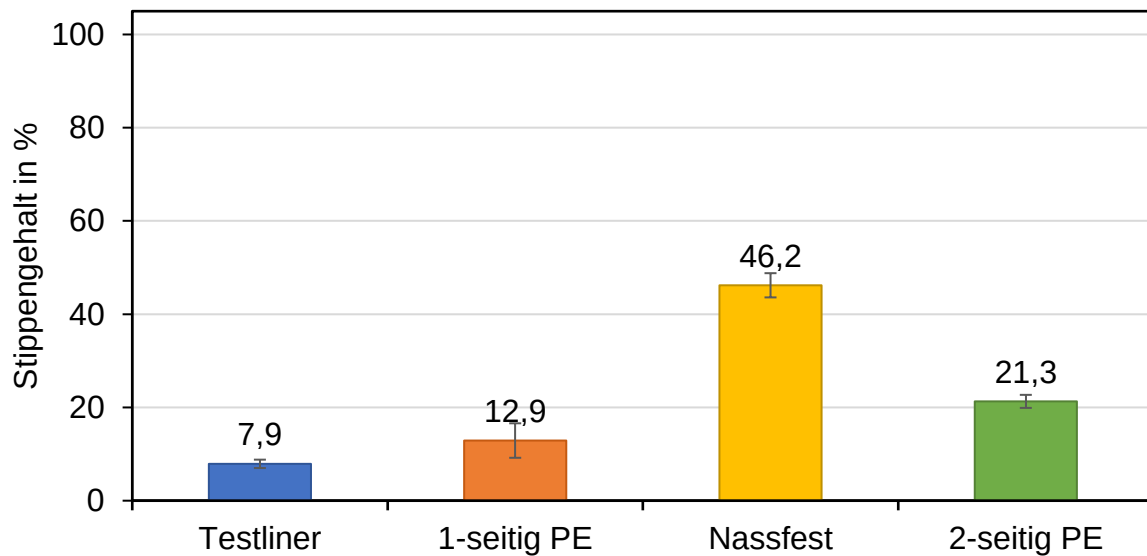


Abbildung 17: Stippengehalte der vier untersuchten Materialien nach der ZM-Methode RECO 01/2014.

Makro-Stickys wurden für alle untersuchten Materialien nur in sehr geringen Mengen nachgewiesen. Abbildung 18 zeigt die gemessenen Werte. Alle Materialien erhielten in der Endbewertung volle Punktzahl in dieser Kategorie.

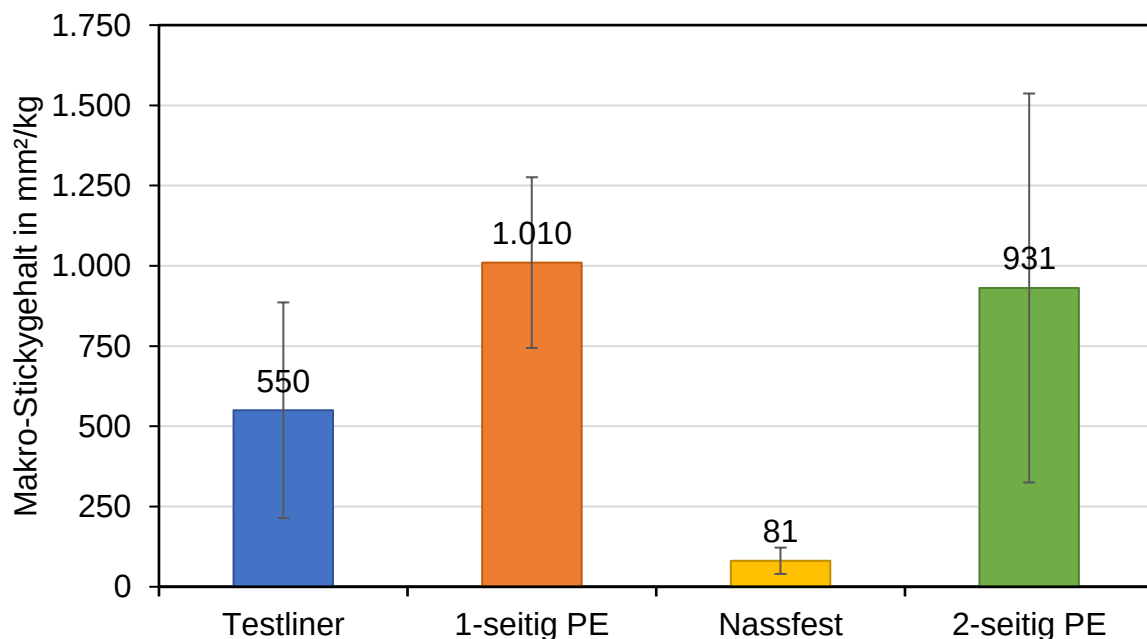


Abbildung 18: Makro-Stickygehalte der vier untersuchten Materialien nach der ZM-Methode RECO 01/2014.

Bei der optischen Homogenität zeigt sich ein gemischtes Bild. Während der Testliner keine relevanten optischen Inhomogenitäten zeigte, konnten beim nassfesten Karton und beim zweiseitig PE-beschichteten Karton ein paar Inhomogenitäten beobachtet werden, was zu einer mittleren Bewertung führte. Am auffälligsten waren die Inhomogenitäten jedoch beim einseitig beschichteten Karton. Abbildung 19 zeigt jeweils einen Ausschnitt der gebildeten Blätter, anhand derer die Beurteilung der optischen Homogenität durchgeführt wurde.

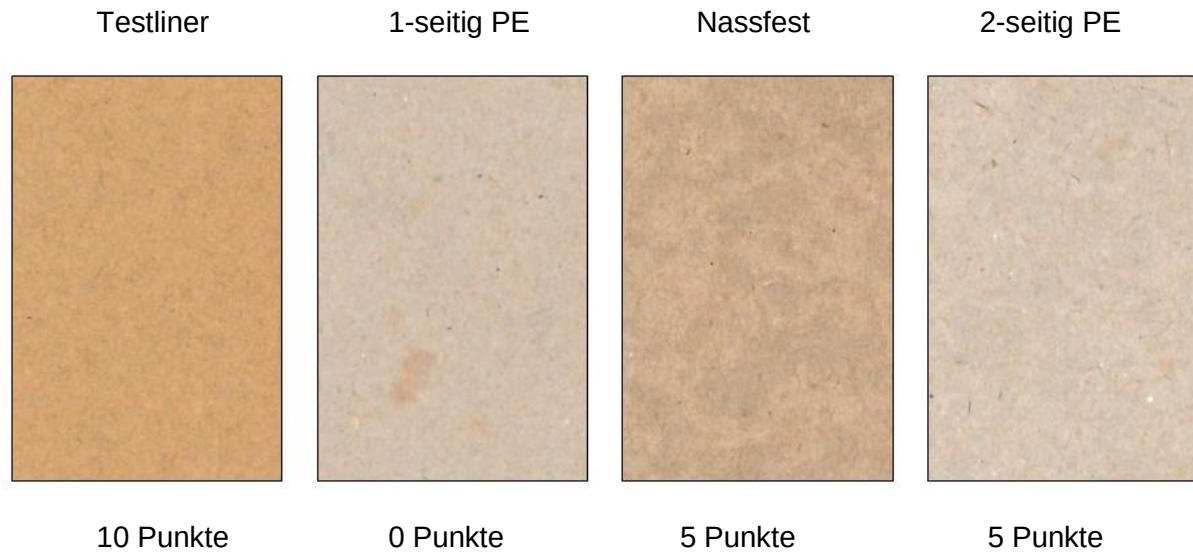


Abbildung 19: Bewertung der optischen Homogenität der gebildeten Blätter der vier untersuchten Materialien nach der ZM-Methode RECO 01/2014.

5.1.2 Ergebnisse nach PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019) am PMV und an der PTS

Ergebnisse PTS-Methode am PMV

Bei der PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019) erfolgt die Bewertung der Rezyklierbarkeit in die drei Kategorien „rezyklierbar“, „bedingt rezyklierbar“ und nicht „rezyklierbar“. Grundlage dieser Bewertung sind im Labor bestimmte Daten zur Qualität der Zerfaserung, dem Rückstand und dem Ergebnis von Blattklebetests an sortiertem und unsortiertem Stoff. Die Ergebnisse der Rezyklierbarkeit für die in diesem Projekt verwendeten Papiere und Kartons sind in Tabelle 9 entsprechend der Rezyklierbarkeitsergebnisse zusammengefasst. Die abschließende Bewertung ist farblich hervorgehoben (grün für rezyklierbar, gelb für bedingt rezyklierbar und rot für nicht rezyklierbar).

Tabelle 9: Übersicht der Gesamtbewertungen der vier untersuchten Materialien nach der PTS-Methode und der für die Bewertung relevanten Parameter (Durchführung am PMV)

Material	Rejektmenge in Gew.-%	Blattklebetest Gesamtstoff	Blattklebetest Gutstoff	Rezyklierbarkeit
Testliner	0,8 ± 0,2	negativ	negativ	rezyklierbar
1-seitig PE	4,7 ± 1,5	positiv	negativ	rezyklierbar
Nassfest	12,0 ± 1,0	negativ	negativ	rezyklierbar
2-seitig PE	5,7 ± 1,0	positiv	negativ	rezyklierbar

Abbildung 20 zeigt die Ergebnisse zur Zerfaserbarkeit der getesteten Materialien. Der nassfeste Karton weist nach 20 min im Standarddesintegrator die meisten Rückstände auf der Lochplatte auf, gefolgt vom zweiseitig PE-beschichteten Karton. Der einseitig PE-beschichtete Karton liegt sehr nahe am zweiseitig beschichteten. Der Testliner hat mit 1 % nur einen fast verschwindend geringen Rückstand.

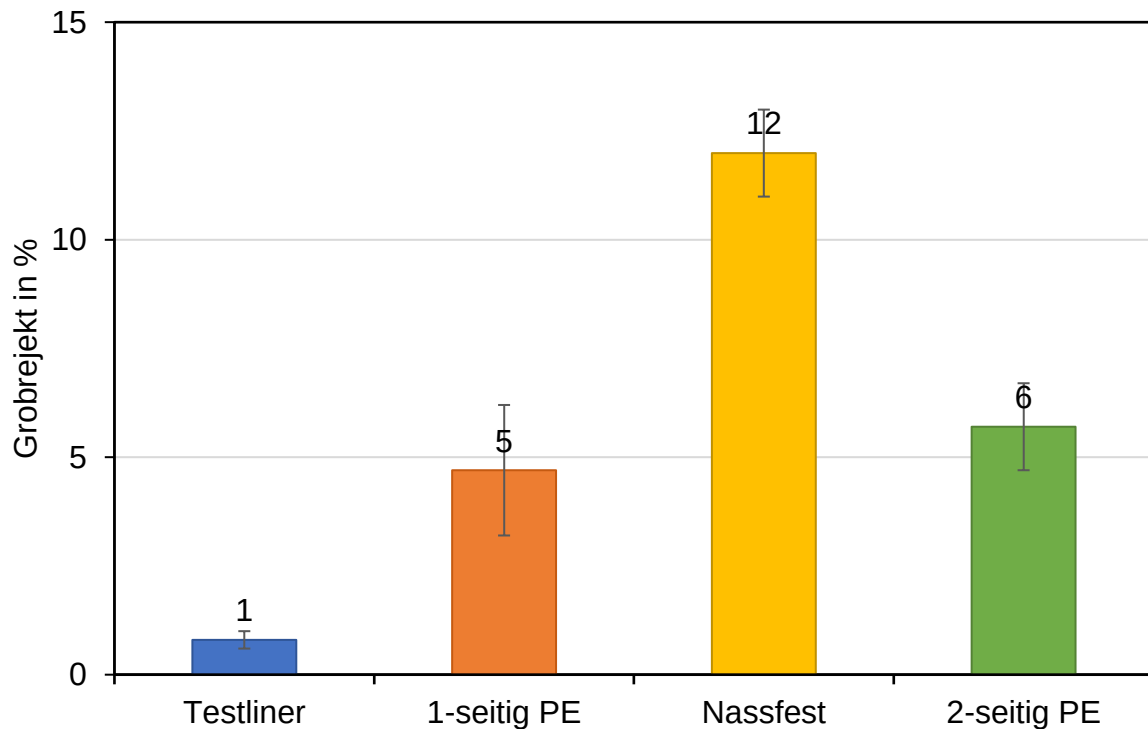


Abbildung 20: Rückstände der vier untersuchten Materialien nach der PTS-Methode

Klebrigkeit scheint bei den untersuchten Materialien keine Rolle zu spielen. Alle durchgeführten Blattklebetests am sortierten Gutstoff fielen negativ aus. Die positiven Blattklebetests der beschichteten Kartons, abgebildet in Abbildung 21 zu sehen, führen nach der Methodenbeschreibung zu keiner Herabstufung der Rezyklierbarkeit.

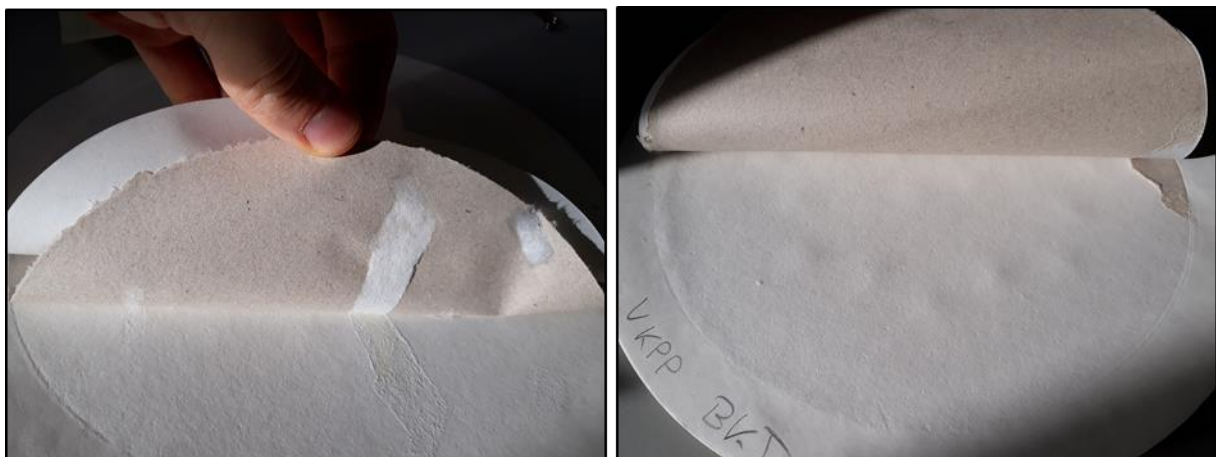


Abbildung 21: Positiver Blattklebetest des Gesamtstoffs für den PE-Karton 1 (links) und den PE-Karton 2 (rechts). Der Blattklebetest für den Gutstoff dieser Materialien fiel hingegen negativ aus.

Insgesamt wurden alle vier getesteten Materialien nach der PTS-Methode RH 021:2012 (Entwurf 2019) als rezyklierbar eingestuft.

Ergebnisse PTS-Methode an der PTS

Die Ergebnisse der PTS-RH 021:2012 Methode (PTS) zeigen, dass alle vier Materialien rezyklierbar sind. Im Vergleich zu den Ergebnissen des PMV weichen lediglich die Werte der Brecht-Holl Bestimmung etwas ab. Dies wird vor allem bei den beschichteten Proben und der Nassfesten Probe deutlich. Ursache dafür ist, die durch die Grobrejekte erschwerte, Probenahme. Alle Proben wiesen nach der Sortierung keine klebenden oder visuellen Verunreinigungen mehr auf.

Tabelle 10: Übersicht der Gesamtbewertungen der vier untersuchten Materialien nach der PTS-Methode und der für die Bewertung relevanten Parameter (Durchführung an der PTS)

Material	Rejektmenge in Gew.-%	Klebende Verunreinigungen Gutstoff	Visuelle Verunreinigungen Gutstoff	Rezyklierbarkeit
Testliner	0,9 ± 0,2	Keine	Keine	rezyklierbar
1-seitig PE	2,2 ± 0,1	Keine	Keine	rezyklierbar
Nassfest	8,3 ± 0,1	Keine	Keine	rezyklierbar
2-seitig PE	8,6 ± 1,3	Keine	Keine	rezyklierbar

5.1.3 Ergebnisse nach CTP-Methode und UNI 11743:2019

Ergebnisse UNI 11743:2019 bei Lucense

Bei der Methode UNI 11743:2019 (Aticelca MC501:2017) findet die Bewertung der Rezyklierbarkeit nach den gleichen Parametern wie bei EcoPaperLoop-Methode. Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der vier untersuchten Materialien. Die Untersuchungen wurden am italienischen Institut LUCENSE durchgeführt. Drei der vier untersuchten Materialien wurden in Bezug auf die Rezyklierbarkeit mit Level A bewertet. Lediglich der nassfeste Karton erreichte aufgrund des relativ hohen Stippengehalts von 22,5 % die Bewertung Level B.

Tabelle 11: Übersicht der Gesamtbewertungen der vier untersuchten Materialien nach Methode UNI 11743:2019 (Aticelca MC501:2017) und der für die Bewertung relevanten Parameter (Durchführung bei LUCENSE)

Material	Testliner	1-seitig PE	Nassfest	2-seitig PE
Grobrejekt in %	< 0,1	2,0	< 0,1	5,1
Stippengehalt in %	5,9	7,9	22,5	10,4
Makro-Stickyfläche in mm ² /kg	350	470	350	400
Makro-Stickyfläche (< 2000 µm) in mm ² /kg	350	470	350	410
Klebrigkeit	nicht klebrig	nicht klebrig	nicht klebrig	nicht klebrig
Optische Inhomogenität	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
Rezyklierbarkeit	Level A	Level A	Level B	Level A

Ergebnisse CTP-Methode am CTP

Die Untersuchungen nach der CTP-Methode wurden am französischen Institut CTP durchgeführt. In Tabelle 12 sind die gemessenen Parameter und die Einstufung der Rezyklierbarkeit aufgeführt. Alle vier untersuchten Materialien wurden als rezyklierbar eingestuft, beim nassfesten Karton aber mit dem Zusatz, dass zusätzliche Zerfaserungszeit in der Stoffaufbereitung für dieses Material notwendig ist.

Tabelle 12: Übersicht der Gesamtbewertungen der vier untersuchten Materialien nach der CTP-Methode und der für die Bewertung relevanten Parameter (Durchführung bei CTP)

Material	Testliner	1-seitig PE	Nassfest	2-seitig PE
Zerfaserung	ok	ok	zusätzliche Zerfaserungszeit	ok
Rejekte	< 0,1 %	Plastik	Fasern	Plastik
Sortierung	ok	ok	ok	ok
Altpapiersorte	1.04 / 1.05	5.03 / 5.14	1.04	5.03 / 5.14
Rezyklierbarkeit	rezyklierbar	rezyklierbar	rezyklierbar mit zusätzlicher Zerfaserungszeit	rezyklierbar

5.2 Vergleichbarkeit der Zerfaserung zwischen Labor und Praxis

5.2.1 Vergleich der Zerfaserungsaggregate

Vergleich Standard-Desintegrator (PMV) und EPL-Pulper (PMV) mit Intensa-Pulper (Voith)

Abbildung 22 bis Abbildung 25 zeigen die Zerfaserungskurven der vier Probenmaterialien im Standarddesintegrator und im EPL-Pulper am PMV im Vergleich zum Intensa-Pulper bei Voith. Die Kurven des Standarddesintegrators und des EPL-Pulpers zeigen im Wesentlichen einen gleichen Verlauf und ähneln dem Verlauf der Kurve des Intensa-Pulper mit einem zeitlichen Versatz. Aufgrund der Tatsache, dass der Standarddesintegrator in der Industrie bereits weit verbreitet ist, ist dieser bei sonst gleicher Eignung dem EPL-Pulper vorzuziehen.

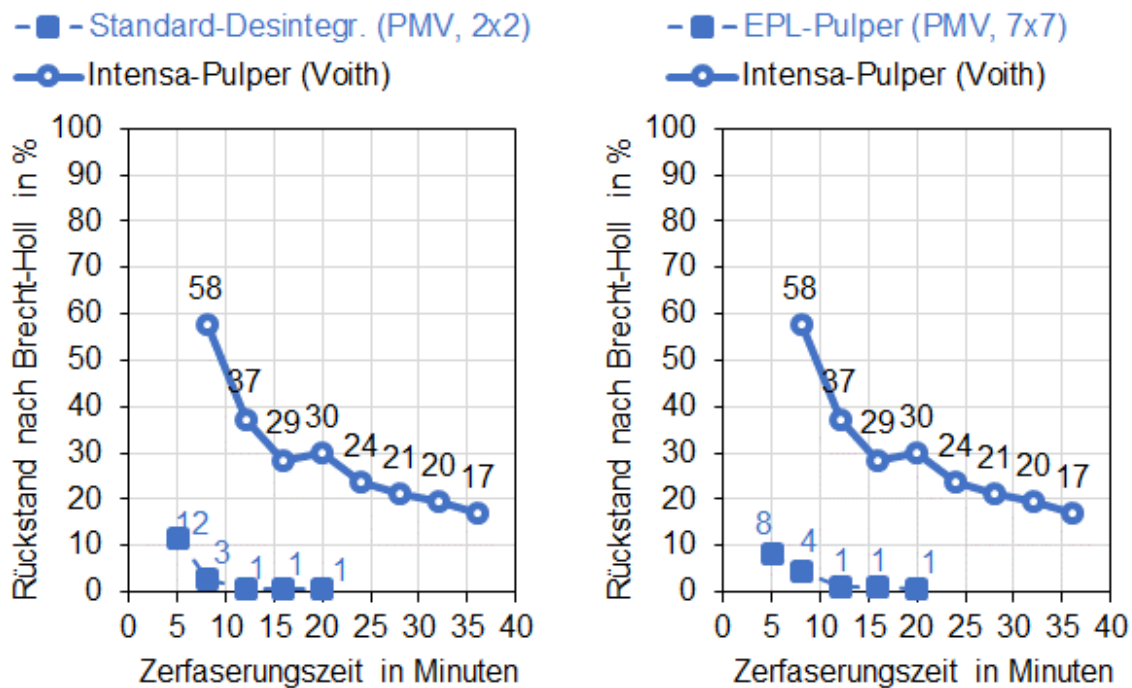


Abbildung 22: Gegenüberstellung der Zerfaserungskurven des Testliners aus dem Intensa-Pulper und dem Standarddesintegrator (links) sowie dem EPL-Pulper (rechts)

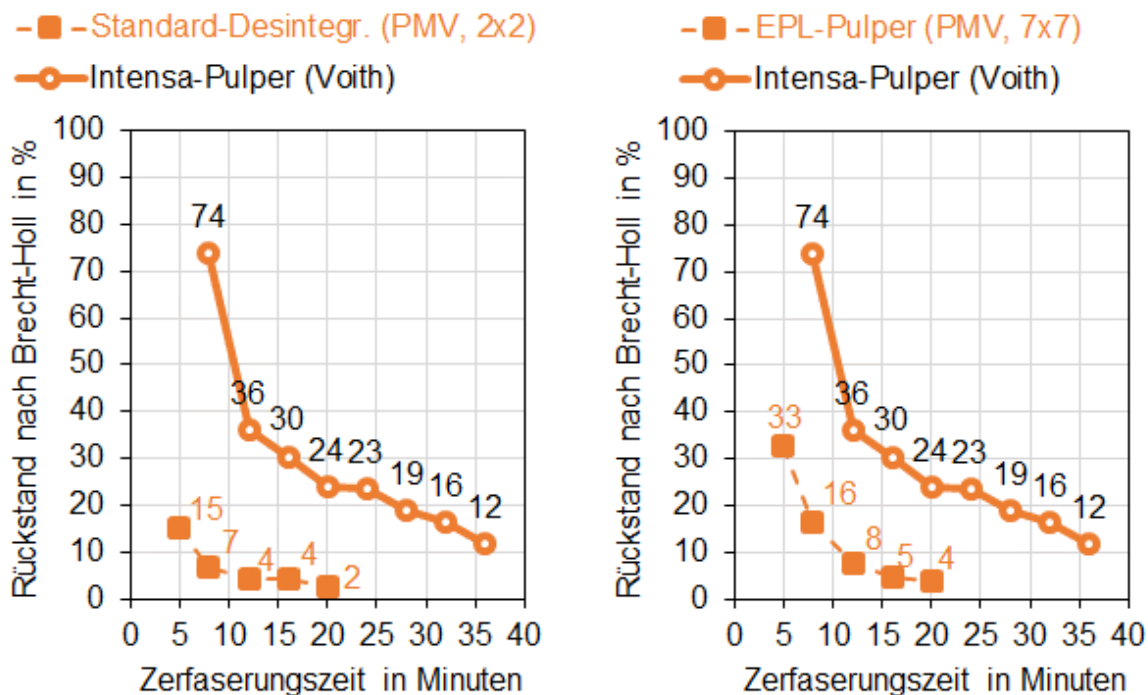


Abbildung 23: Gegenüberstellung der Zerkleinerungskurven des einseitig PE-beschichteten Kartons aus dem Intensa-Pulper und dem Standarddesintegrator (links) sowie dem EPL-Pulper (rechts)

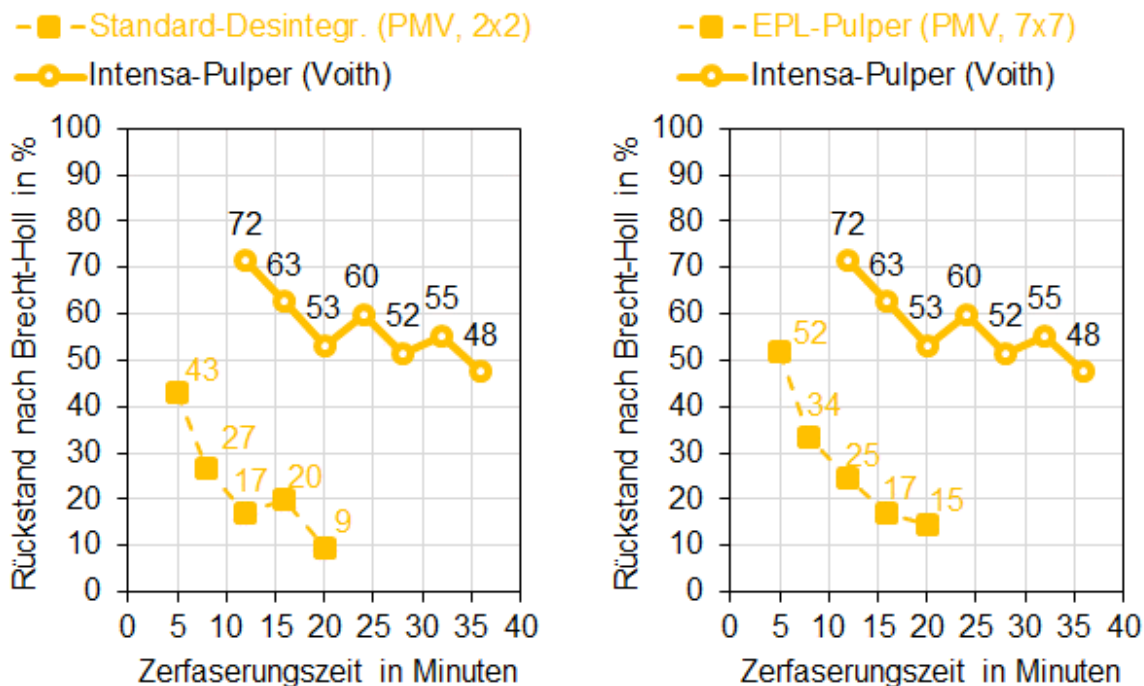


Abbildung 24: Gegenüberstellung der Zerkleinerungskurven des nassfesten Kartons aus dem Intensa-Pulper und dem Standarddesintegrator (links) sowie dem EPL-Pulper (rechts)

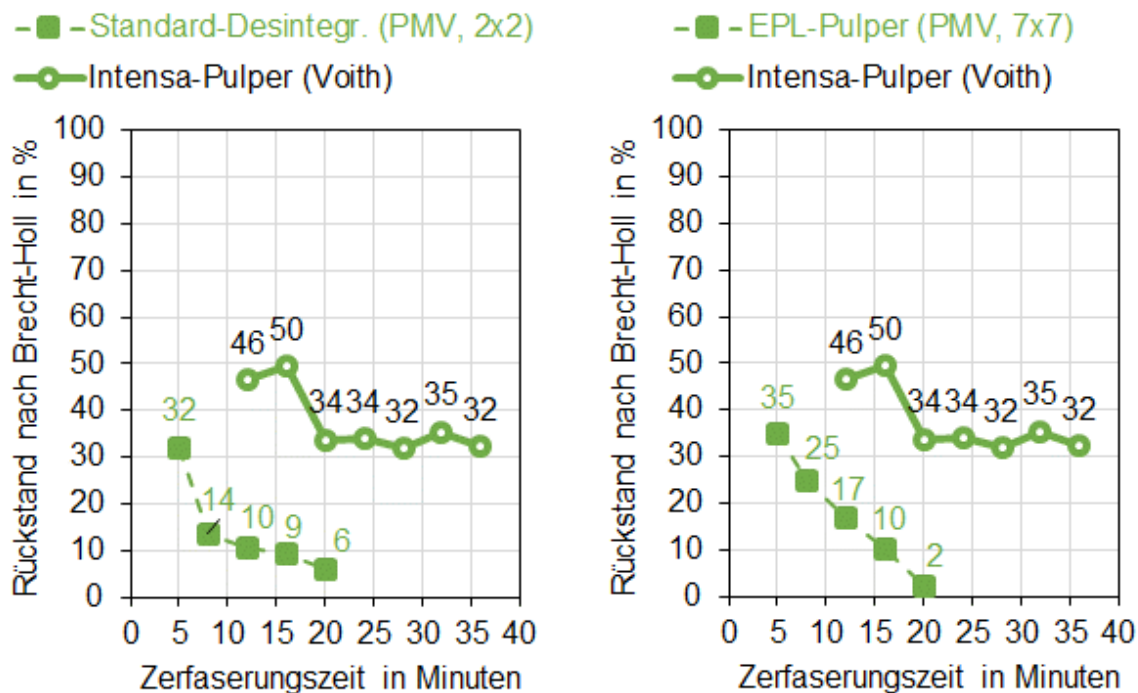


Abbildung 25: Gegenüberstellung der Zerfaserungskurven des zweiseitig PE-beschichteten Kartons aus dem Intensa-Pulper und dem Standarddesintegrator (links) sowie dem EPL-Pulper (rechts)

Vergleich Standard-Desintegrator (PMV) und Standarddesintegrator (PTS)

Die Abbildung 26 und Abbildung 27 zeigen die Zerfaserungskurven der vier Probenmaterialien im Standarddesintegrator an der PTS im Vergleich zum Standarddesintegrator am PMV. Der Vergleich zeigt bei allen Materialien eine gute Reproduzierbarkeit der Zerfaserung an unterschiedlichen Standorten. Nach 10 Minuten (UNI 11472) bis 20 Minuten (PTS-RH 021:2012) liegen die Kurven im Wesentlichen übereinander. Abweichungen zu Beginn der Zerfaserung bis 5 Minuten sind auf die noch nicht vollständig zerfaserten und größeren Partikeln im Faserstoff zurückzuführen, welche höhere Abweichungen bei den Probenahmen und damit Rückstandsmengen bei der Brecht-Holl-Untersuchung zur Folge haben. Des Weiteren ist zu erkennen, dass bei beim Testliner als auch beim einseitig sowie zweiseitig PE-beschichteten Karton der Faserstoffanteils nach 10 Minuten fast vollständig zerfaserter wurde. Die geringen Abweichungen bei den beschichteten Kartons werden vor allem durch die unzerkleinerten Partikel der Beschichtung bei der Probenahme für die Brecht-Holl-Untersuchungen verursacht. Beim nassfesten Karton lässt sich erst ab 20 Minuten ein Erlernen der Zerfaserungskurve ableiten.

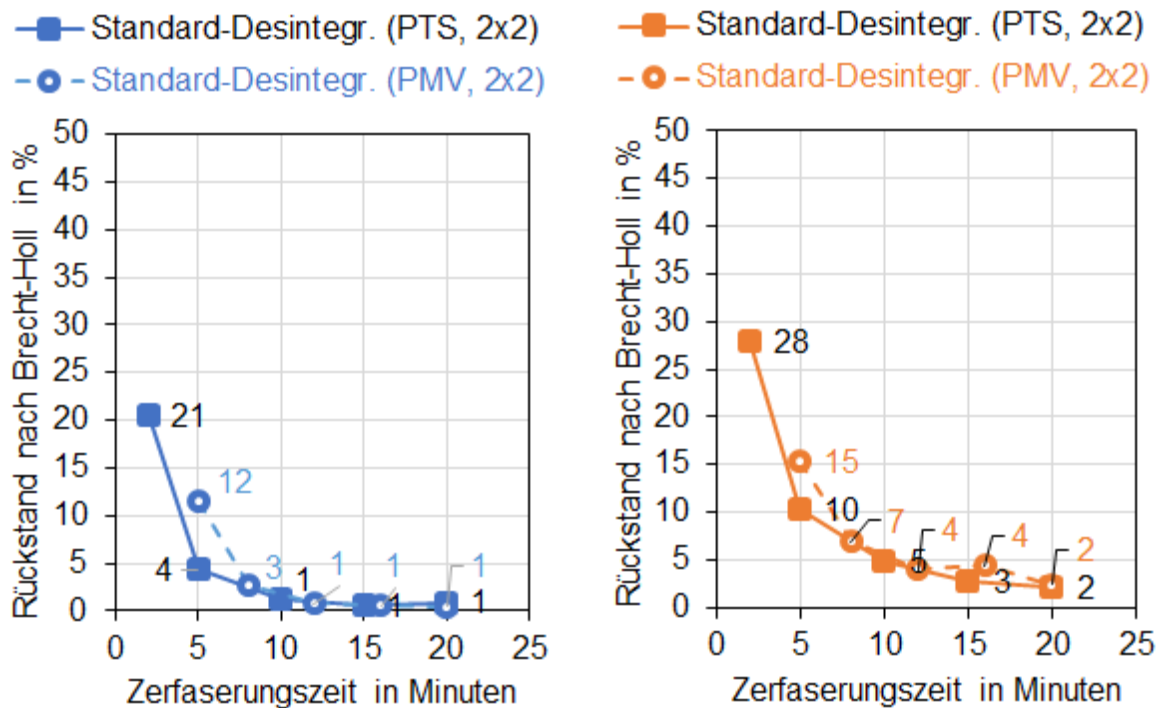


Abbildung 26: Gegenüberstellung der Zerfaserungskurven von Testliner (links) und einseitig PE-beschichteten Karton (rechts) im Desintegrator am PMV und an der PTS

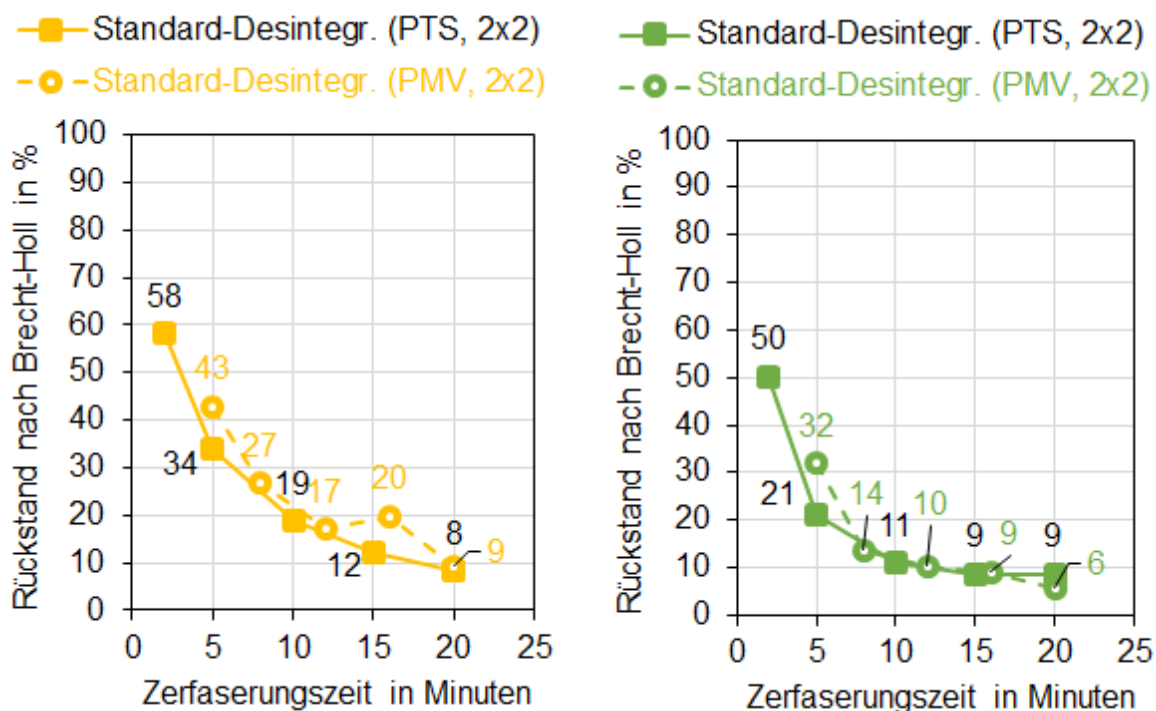


Abbildung 27: Gegenüberstellung der Zerfaserungskurven von nassfesten Karton (links) und zweiseitig PE-beschichteten Karton (rechts) im Desintegrator am PMV und an der PTS

Vergleich Standard-Desintegrator (PTS) mit Probengröße 2x2 und 3x3

Die Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen die Zerfaserungskurven der vier Probenmaterialien im Standarddesintegrator an der PTS bei unterschiedlichen Probengrößen zu Beginn der Zerfaserung im

Vergleich. Der Vergleich zeigt, dass bei allen Materialien nach 10 Minuten (UNI 11472) bis 20 Minuten (PTS-RH 021:2012) die Kurven im Wesentlichen übereinander liegen und somit die Probengröße zu diesen Zeitpunkten keinen entscheidenden Einfluss hat. Nur zu Beginn der Zerfaserung bis 5 Minuten wird der Faserstoff der kleineren Partikel (2x2 cm²) schneller aufgeschlossen. Dies ist u.a. auf den durch die Probengröße bedingten, höheren Anteil der Kantenlängen zurückzuführen.

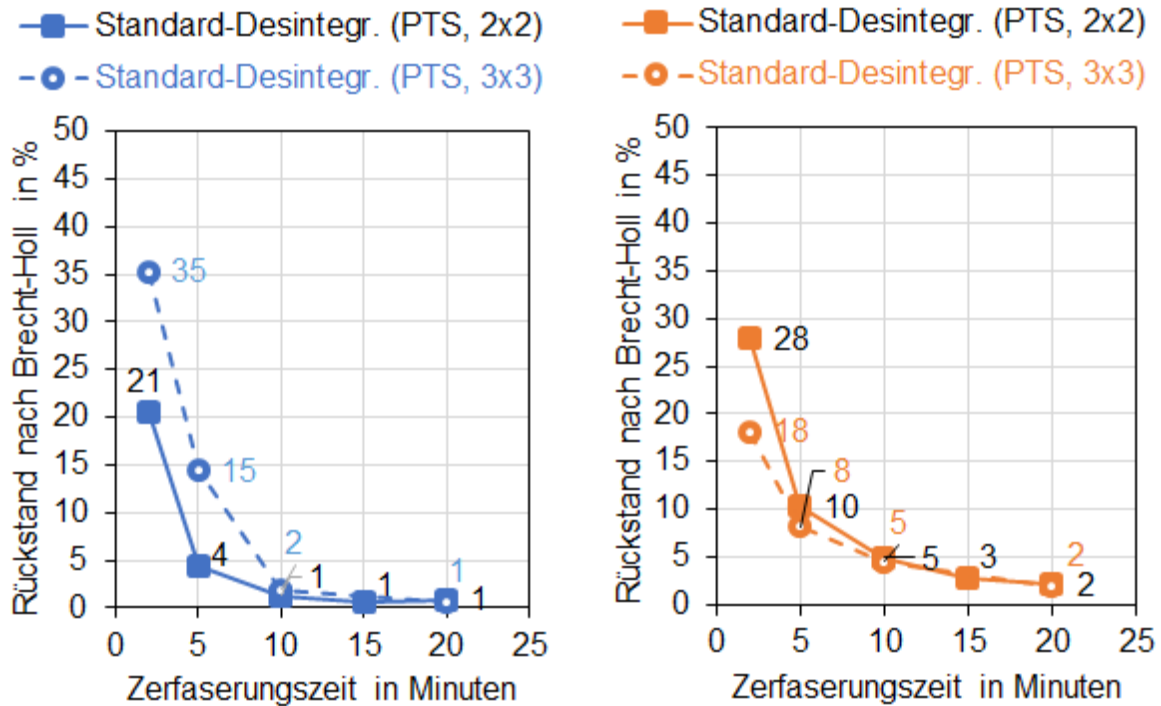


Abbildung 28: Gegenüberstellung der Zerfaserungskurven von Testliner (links) und einseitig PE-beschichteten Karton (rechts) im Desintegrator bei einer Probengröße von 2x2cm und 3x3cm

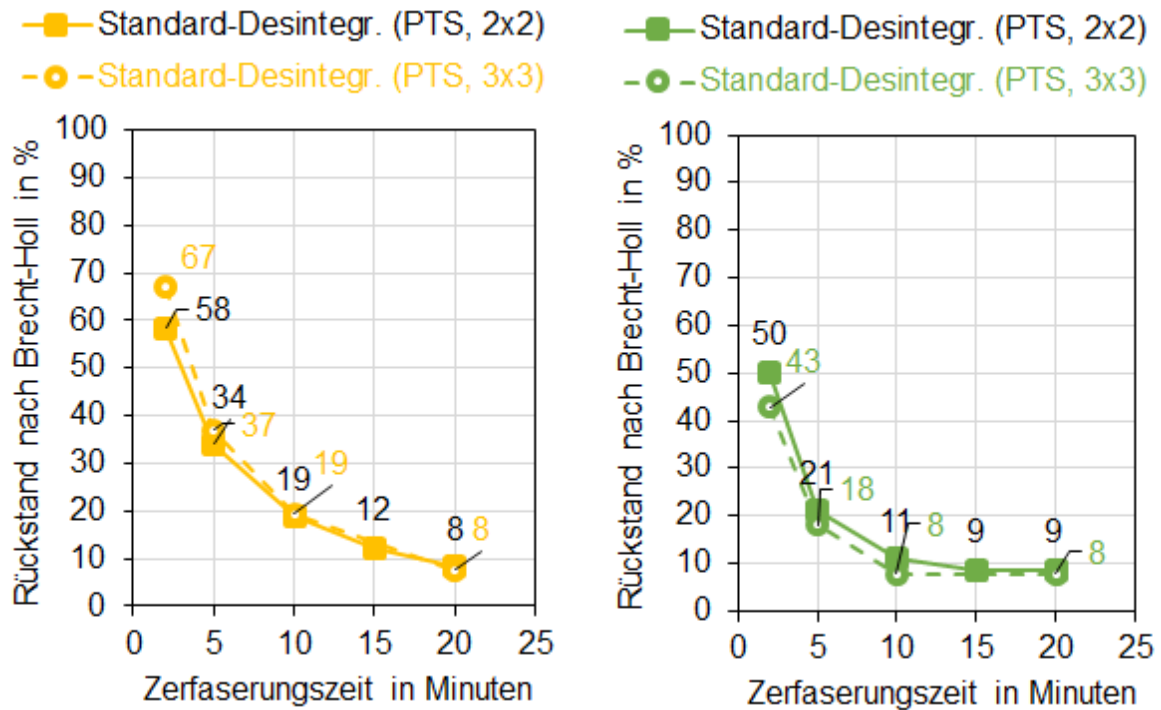


Abbildung 29: Gegenüberstellung der Zerkleinerungskurven von nassfesten Karton (links) und zweiseitig PE-beschichteten Karton (rechts) im Desintegrator bei einer Probengröße von 2x2cm und 3x3cm

Vergleich Lamort-Pulper (PTS) mit EPL-Pulper (PMV)

Die Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen die Zerkleinerungskurven der vier Probenmaterialien im Lamort-Pulper an der PTS im Vergleich zum EPL-Pulper am PMV. Der Vergleich zeigt bei zwei Materialien (Testliner und nassfester Karton) einen nahezu gleichen Zerkleinerungsverlauf. Bei den anderen beiden Materialien weichen die Verläufe der Zerkleinerungskurven der beiden Aggregate deutlich voneinander ab. Während beim einseitig PE-beschichteten Karton die Abweichung sich nach einer längeren Zerkleinerungszeit verringert und die Kurve des Lamort-Pulper nach 20 Minuten sich der EPL-Pulper angenähert hat. So ist die Abweichung der Zerkleinerungskurven beim zweiseitig PE-beschichteten Karton besonders deutlich. Ein Hauptgrund sind die unterschiedlichen Zerkleinerungsbedingungen der beiden Pulper. Der Lamort-Pulper arbeitet lediglich mit einer Drehzahl von 1.500 U/min gegenüber dem EPL-Pulper mit 3.000 U/min. Daneben kann es durch die unterschiedliche Anordnung der Rotoren (Lamort-Pulper horizontal am Boden; EPL-Pulper vertikal an der Seitenwand) ebenfalls zu diesen großen Zerkleinerungsunterschieden kommen. Vor allem bei Materialien, welche durch ihren Aufbau (bspw. durch Beschichtungen) ein erhöhten Zerkleinerungswiderstand mit sich bringen.

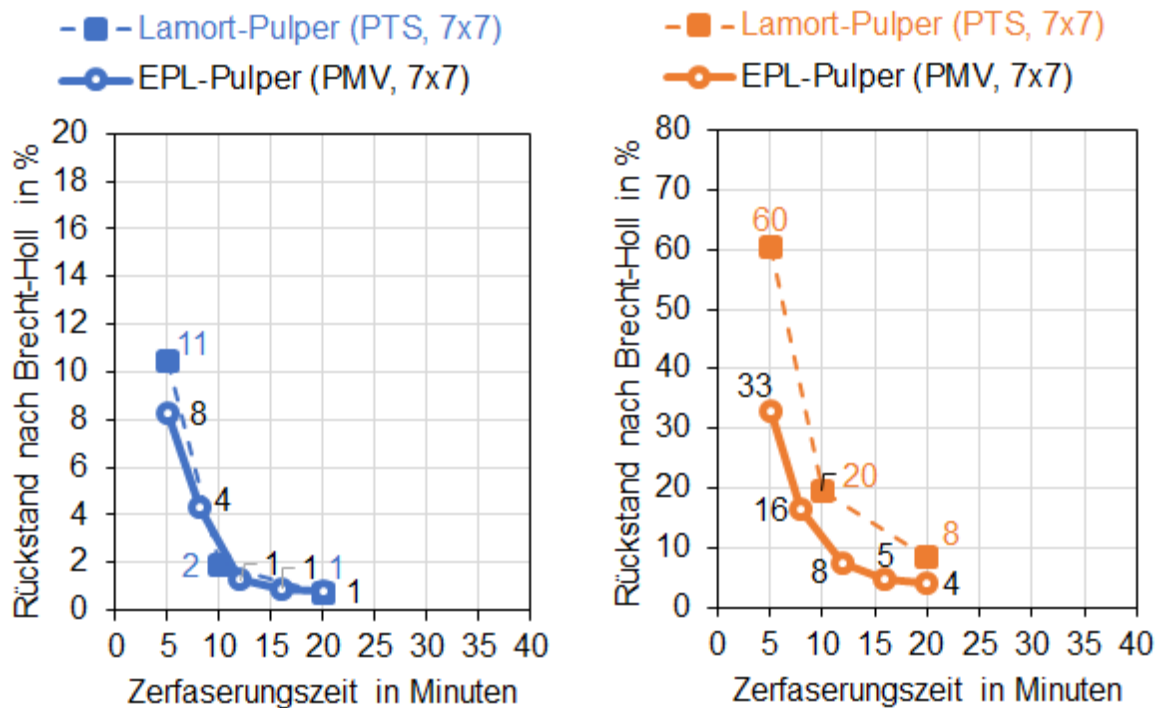


Abbildung 30: Gegenüberstellung der Zerfaserungskurven von Testliner (links) und einseitig PE-beschichteten Karton (rechts) im Lamort-Pulper (PTS) und dem EPL-Pulper (PMV)

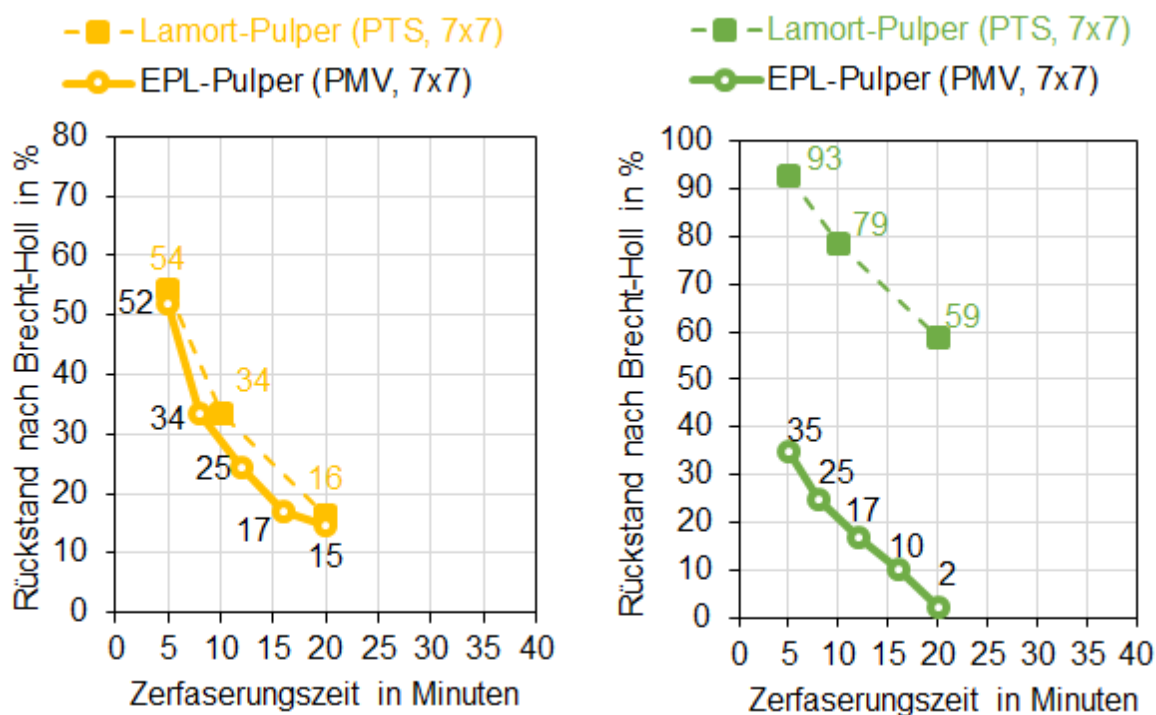


Abbildung 31: Gegenüberstellung der Zerfaserungskurven von nassfesten Karton (links) und zweiseitig PE-beschichteten Karton (rechts) im Lamort-Pulper (PTS) und EPL-Pulper (PMV)

Vergleich Lamort-Pulper (PTS) mit Intensa-Pulper (Voith)

Die Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen die Zerfaserungskurven der vier Probenmaterialien im Lamort-Pulper an der PTS im Vergleich zum Intensa-Pulper bei Voith. Wie beim Vergleich des EPL-

Pulper mit dem Intensa-Pulper ähneln sich die Verläufe mit einen zeitlichen Versatz. Ausnahme ist hier wie im vorhergehenden Vergleich die Zerfaserungskurve für zweiseitig beschichteten Karton, bei dem der Faserstoffanteil aus den benannten Gründen im Lamort-Pulper deutlich langsamer zerfasert wird.

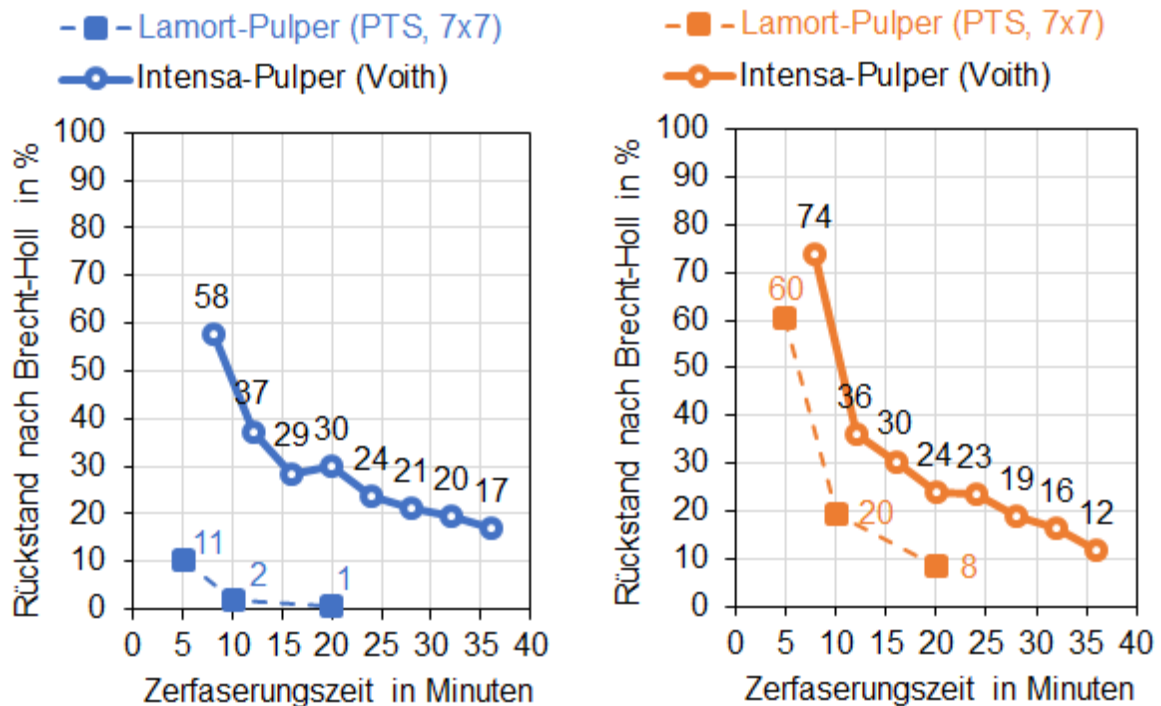


Abbildung 32: Gegenüberstellung der Zerfaserungskurven von Testliner (links) und einseitig PE-beschichteten Karton (rechts) im Lamort-Pulper (PTS) und Intensa-Pulper (Voith)

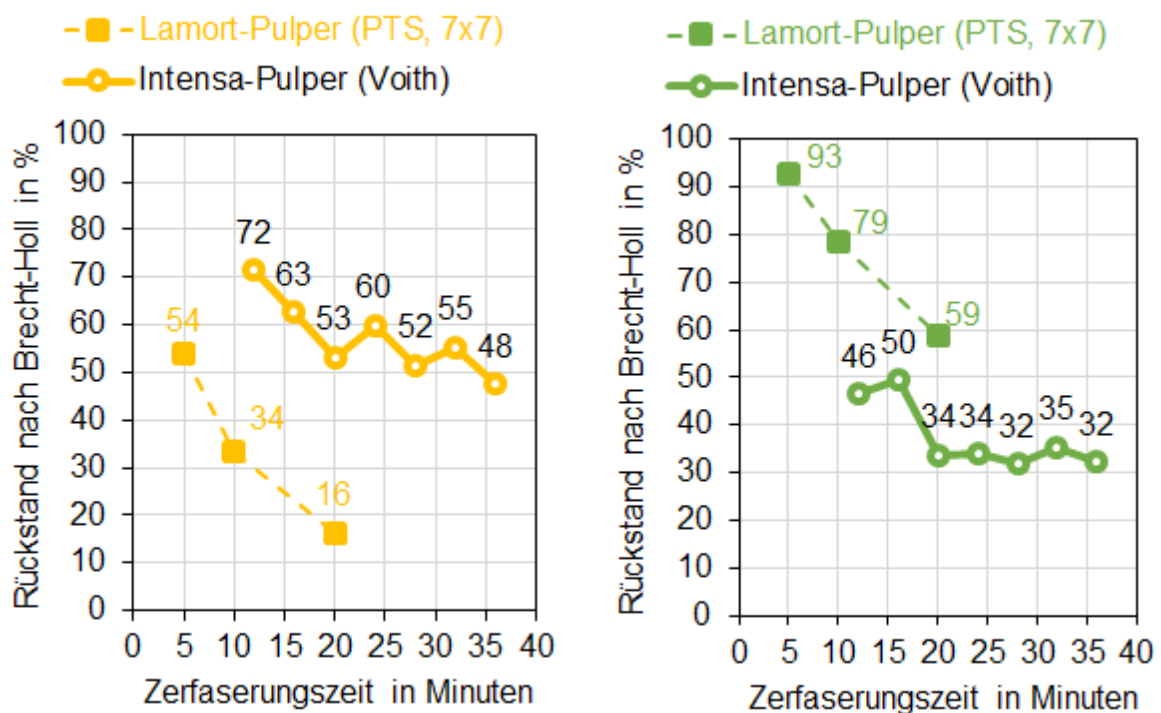


Abbildung 33: Gegenüberstellung der Zerfaserungskurven von nassfesten Karton (links) und zweiseitig PE-beschichteten Karton (rechts) im Lamort-Pulper (PTS) und Intensa-Pulper (Voith)

Vergleich TEC-Pulper (PTS) mit Intensa-Pulper (Voith)

Die Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen die Zerfaserungskurven der vier Probenmaterialien im Lamort-Pulper an der PTS im Vergleich zum Intensa-Pulper bei Voith. Der Vergleich zeigt im Wesentlichen bei allen vier Materialien einen ähnlichen Verlauf mit zeitlichen Versatz.

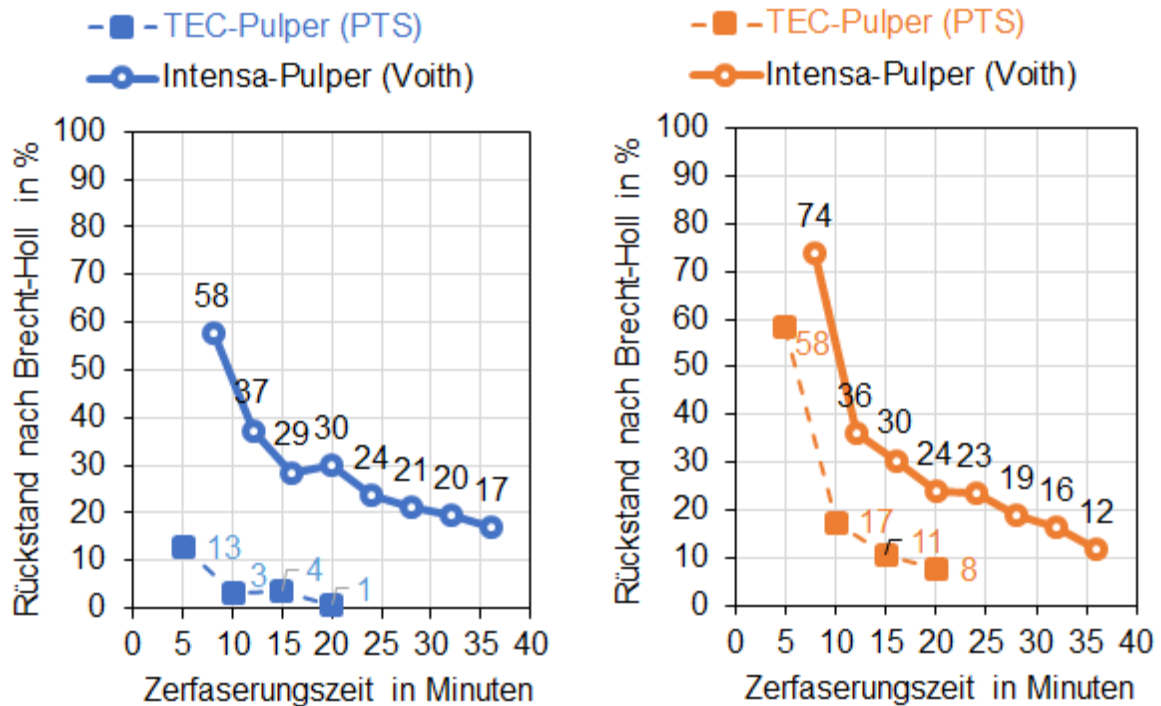


Abbildung 34: Gegenüberstellung der Zerfaserungskurven von Testliner (links) und einseitig PE-beschichteten Karton (rechts) im TEC-Pulper (PTS) und Intensa-Pulper (Voith)

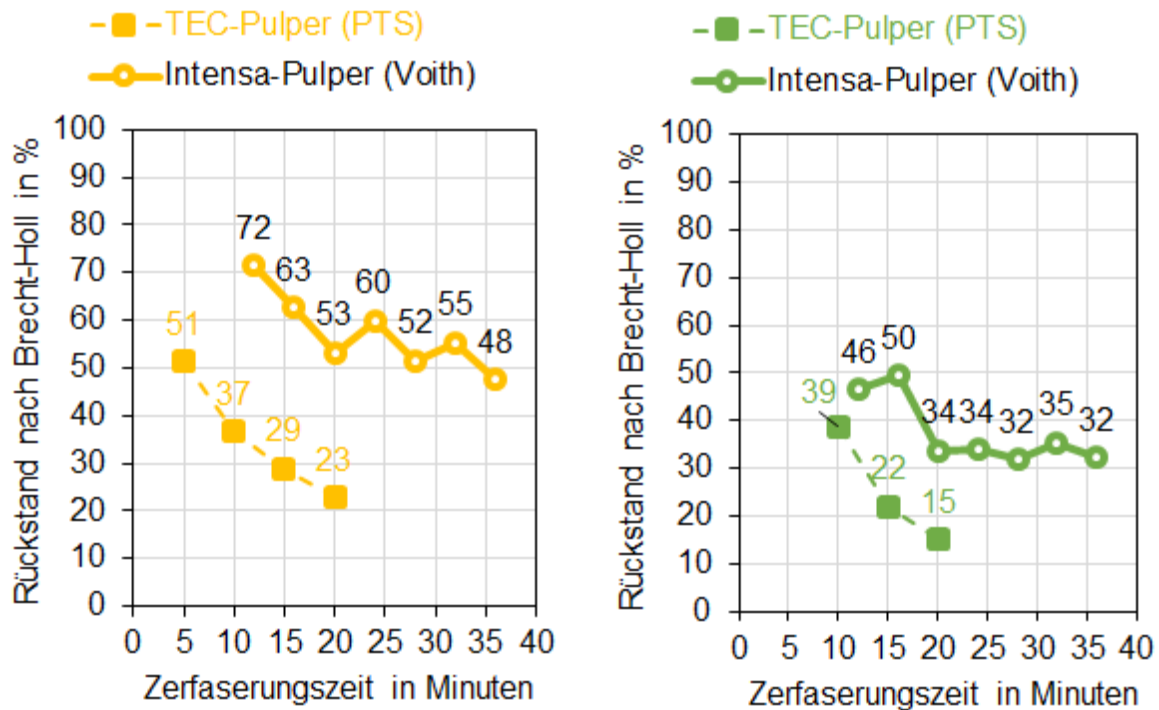


Abbildung 35: Gegenüberstellung der Zerfaserungskurven von nassfesten Karton (links) und zweiseitig PE-beschichteten Karton (rechts) im TEC-Pulper (PTS) und Intensa-Pulper (Voith)

5.2.2 Zerfaserung im Intensa-Pulper (Voith)

Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen die Zerfaserungskurven des Intensa-Pulpers, wobei die Messwerte der ersten Abbildung mit dem Somerville- und die Messwerte der zweiten Abbildung mit dem Brecht-Holl-Sortierer bestimmt wurden.

Man erkennt, dass, wie bei der Auswahl der Materialien beabsichtigt, die vier untersuchten Materialien ein unterschiedliches Zerfaserungsverhalten zeigen. Der nassfeste Karton scheint sich am schlechtesten zerfasern zu lassen, gefolgt vom zweiseitig PE-beschichteten Karton. Zwischen dem Testliner und dem einseitig PE-beschichteten Karton ist, bis auf den ersten Messwert, der beim einseitig beschichteten-Karton noch etwas höher liegt als der Testliner, kaum ein Unterschied zu erkennen. Alle Kurven zeigen einen asymptotischen Verlauf. Zu Beginn ist die Änderung der Rückstände zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messwerten noch groß. Mit fortlaufender Versuchsdauer wird diese Änderung immer kleiner, sodass jede Kurve gegen einen Grenzwert zu laufen scheint.

Vergleicht man für ein bestimmtes Material zu einem festen Zeitpunkt den Rückstand, der mit dem Somerville-Sortierer bestimmt wurde, mit dem Rückstand aus der Brecht-Holl-Sortierung, ist auffällig, dass der Messwert aus dem Brecht-Holl-Gerät immer höher liegt, als der Messwert aus dem Somerville-Gerät. Trägt man, wie in Abbildung 38 gezeigt, die Messwerte aus dem Somerville-Sortierer gegen die jeweils dazugehörigen Messwerte aus dem Brecht-Holl-Sortierer, ist zu erkennen, dass zwischen den Messwerten der beiden Geräte eine recht gute Korrelation besteht. Im Wesentlichen misst der Brecht-Holl-Sortierer das gleiche wie der Somerville-Sortierer mit einem Offset von etwa 8 %.

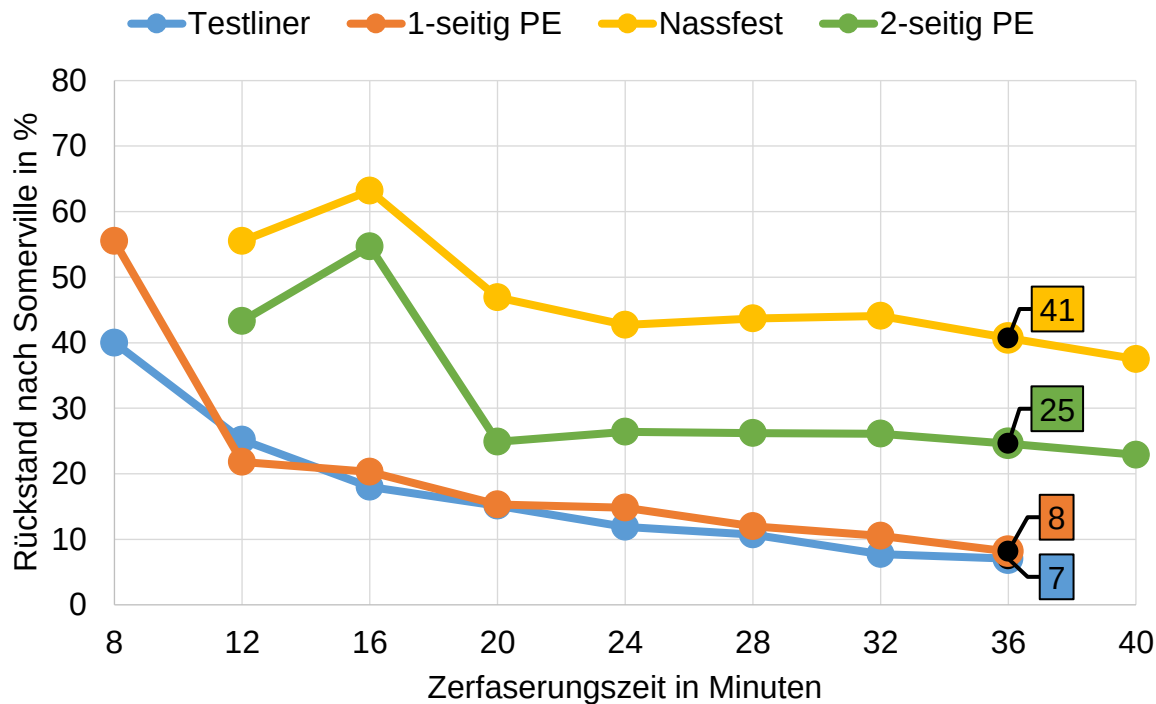


Abbildung 36: Zeitlicher Verlauf der Rückstände nach **Somerville** bei der Zerfaserung der vier untersuchten Verpackungsmaterialien im Intensa-Pulper

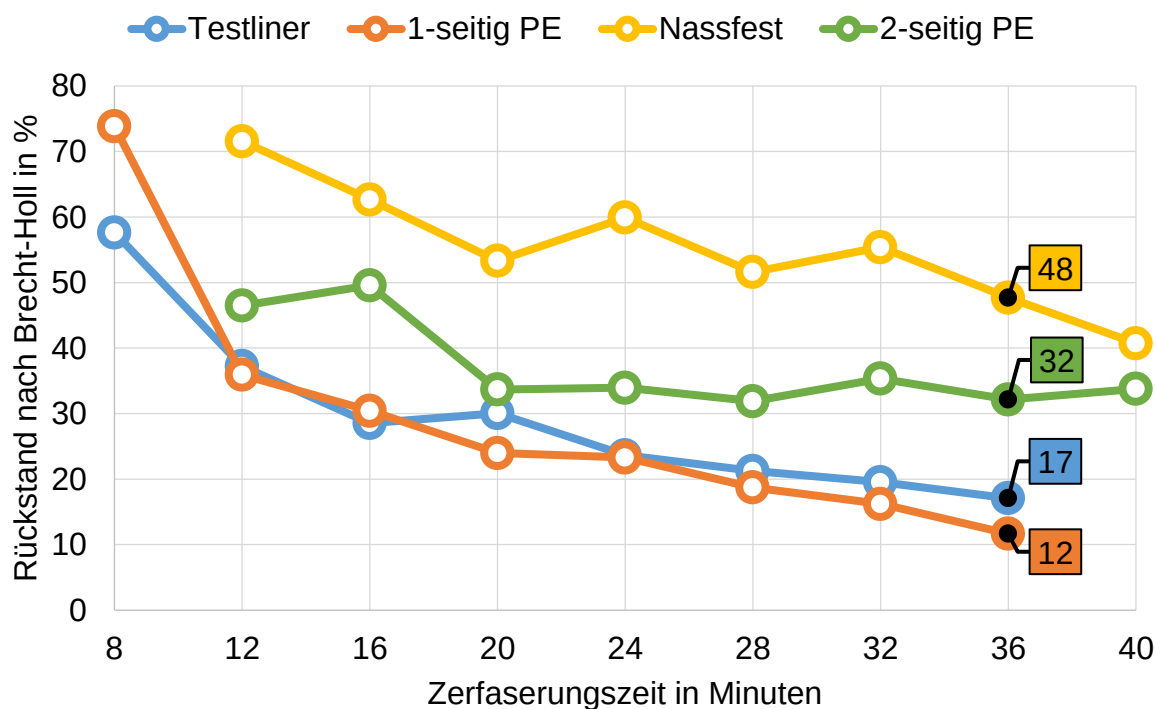


Abbildung 37: Zeitlicher Verlauf der Rückstände nach **Brecht-Holl** bei der Zerfaserung der vier untersuchten Verpackungsmaterialien im Intensa-Pulper

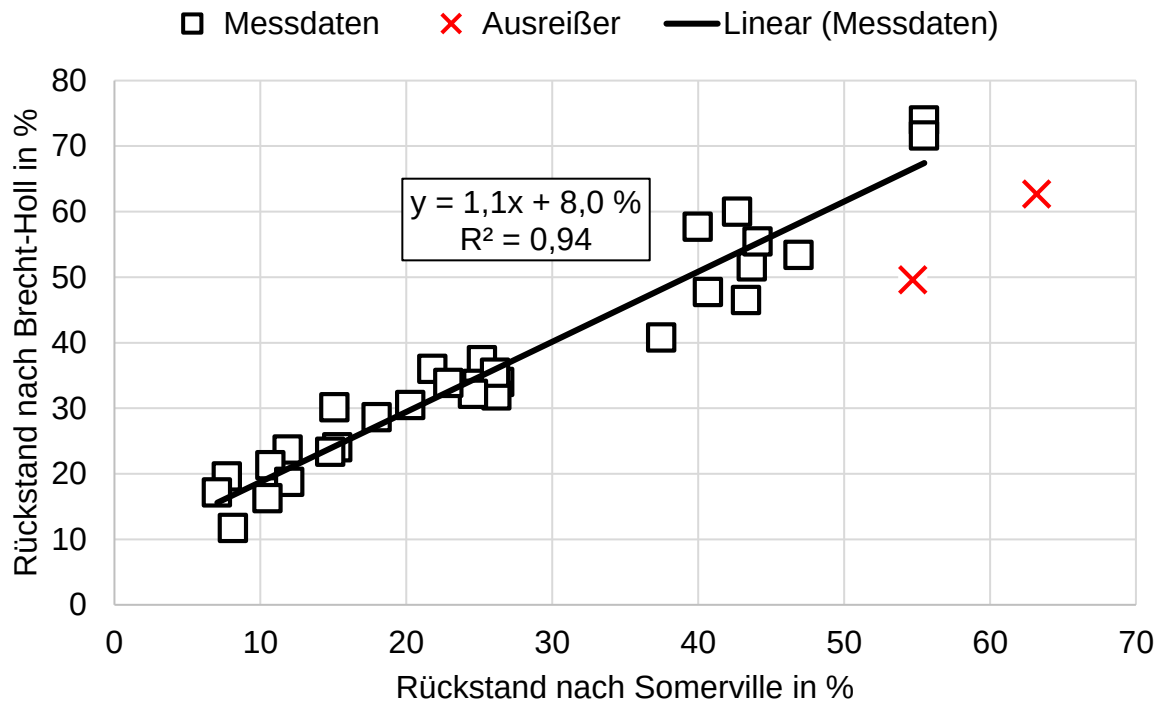


Abbildung 38: Korrelation zwischen den gemessenen Rückständen nach Somerville und Brecht-Holl bei der Zelfaserung der vier untersuchten Verpackungsmaterialien im Intensa-Pulper.

5.2.3 Vergleich zwischen Labor- und Industripulper

Im Gespräch mit Experten des Anlagenherstellers Voith konnte ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen aus den Labor- und Technikumsversuchen und industriellen Aufbereitungsprozessen abgeleitet werden. Der Schlüssel für diesen Zusammenhang ist der spezifische Energieeintrag beim Zelfaserungsprozess. Bei gleichem Energieeintrag ist auch bei den verschiedenen Zelfaserungsprozessen in unterschiedlichen Pulvern ein ähnliches Zelfaserungsergebnis zu erwarten. Das Zelfaserungsverhalten von Testliner kann hierbei als Kalibrationskurve verwendet werden. Bekannt ist, dass Industripulper so ausgelegt werden, dass ein typischer Testliner nach dem Pulper einen Stippengehalt von etwa 8 % bis 13 % nach Somerville aufweist. Trägt man die im Technikum gemessenen Somerville-Rückstände über dem spezifischen Energieeintrag im Pulper auf, ergibt sich daraus die in Abbildung 39 gezeigte Darstellung. Das Intervall des spezifischen Energieeintrags, bei dem die gewünschten 8 % bis 13 % Stippengehalt erreicht werden, ist in der Darstellung gelb markiert. Für die anderen drei Materialien ergeben sich unter Zuhilfenahme des markierten Bereichs ebenfalls Intervalle, die den zu erwartenden Stippengehalt nach der Zelfaserung in einem Industripulper beschreiben. Aus den Messungen des vorhergehenden Abschnitts lassen sich diese Intervalle auf Stippengehalte nach Brecht-Holl übertragen. Alle bestimmten Intervalle sind im roten Kasten in Abbildung 39 dargestellt. Um die Zelfaserung eines industriellen Pulpers mit einem Laborpulper zu simulieren, muss die Zelfaserungszeit so gewählt werden, dass der gemessene Stippengehalt für die einzelnen Materialien in den bestimmten Intervallen liegt. Extrapoliert man die Kurven aus Abbildung 22 bis Abbildung 25 geringfügig, erkennt man, dass diese Forderung bei etwa 4 Minuten Zelfaserungszeit erfüllt ist. Nach 4 Minuten Zelfaserung im Laborpulper sollte der Zelfaserungszustand demnach ungefähr dem nach der Zelfaserung in einem Industripulper entsprechen. Betrachtet man jedoch die Tatsache, dass in einem industriellen Prozess neben dem Pulper noch weitere Prozesse, wie beispielweise Entstipper, Sekundärpulper und Sortierer, für eine weitere Entstippung des Faserstoffs vor dem Stoffauflauf sorgen, ist es ratsam, eine Zelfaserungszeit zu wählen, die über 4 Minuten liegt. Auf diese Weise wird der Effekt der genannten Prozesse ebenfalls in der Simulation berücksichtigt. Als Vorschlag für eine geeignete Zelfaserungszeit im Laborpulper wurden daher 10 Minuten gewählt.

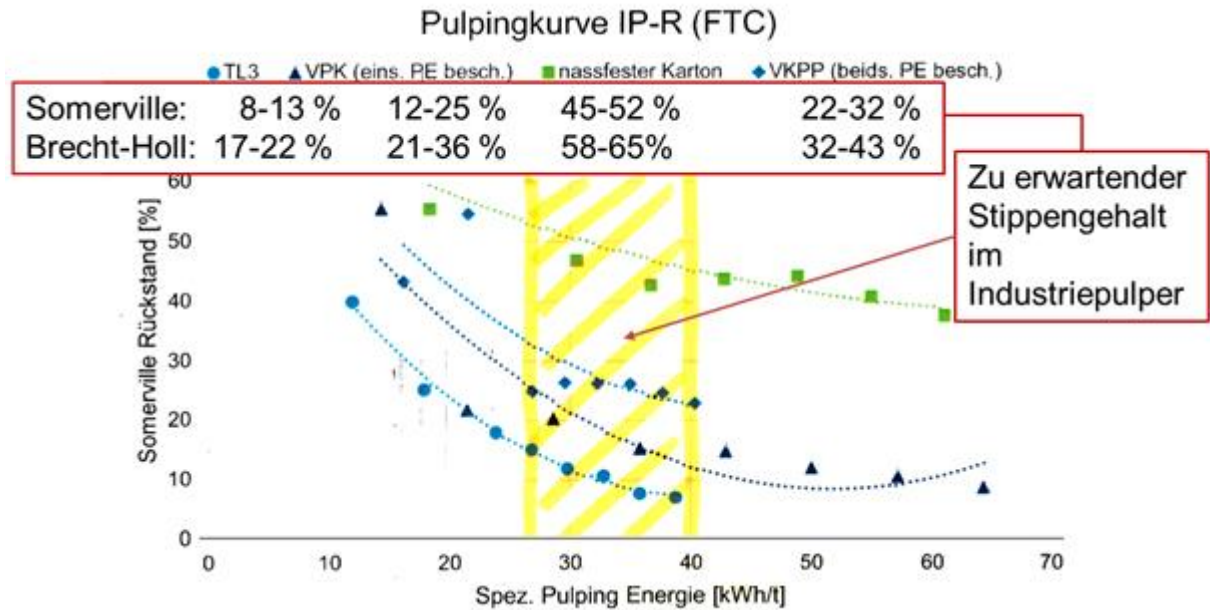


Abbildung 39: Aus dem spezifischen Energieeintrag lässt sich der zu erwartende Stippengehalt im Industrieprozess ableiten.

Grundsätzlich unterscheiden sich Pulper in der Art und Weise der Kraftübertragung auf die Stippen. Dies kann durch Gestaltung der Rotoranordnung, der Rotorgeometrie, der Anordnung und Dimensionierung von Prallflächen usw. beeinflusst werden. Um Unterschiede in den Kraftwirkungen zu erkennen ist es zweckmäßig, die Zerfaserungszeit durch den spezifischen Energieeintrag zu ersetzen. Aus Abbildung 40 wird am Beispiel Testliner ersichtlich, dass die Rückstände der Technikums-Aggregate von Voith und PTS auf nahezu derselben Kurve liegen, woraus auf eine ähnliche Kraftumsetzung auf die Stippen geschlossen werden kann. Die Zerfaserungszustände am Technikumpulper der PTS liegen aber offensichtlich in einem Bereich, der am IntensaPulper von Voith erst nach mehr als 40 Minuten erreicht wird. Für die übrigen Zerfaserungsaggregate kann Abbildung 40 entnommen werden, dass bei gleichem spezifischem Energieeintrag die Zerfaserungswirkung hinter den beiden Technikumpulpern zurückbleibt.

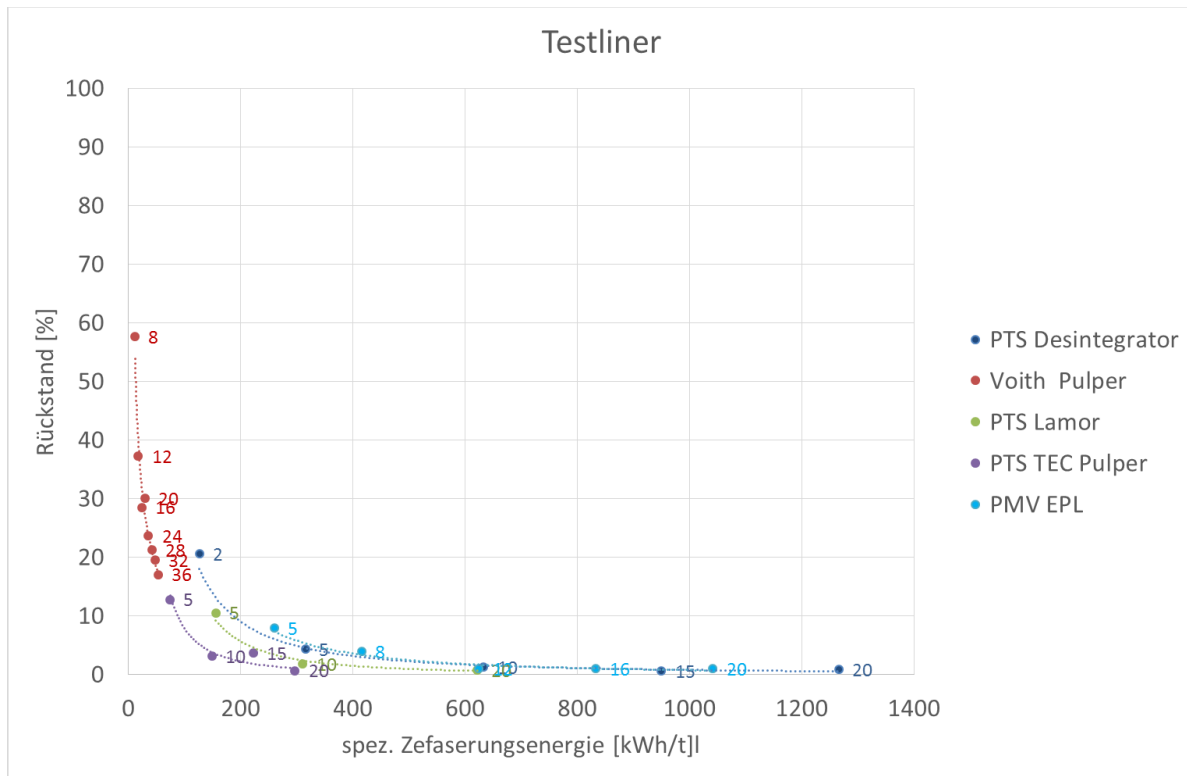


Abbildung 40: Rückstände (Brecht-Holl) bei der Zefaserung eines Testliners für verschiedene Zefaserungsaggregate und spezifische Energieeinträge (je Messpunkt ist die zugehörige Zefaserungszeit angegeben).

Bei schwieriger zefaserbaren Papieren treten die Unterschiede der verschiedenen Pulper in der Kraftwirkung deutlicher hervor, wie Abbildung 41 für einseitig beschichtete Papiere demonstriert. Bei gleichem spezifischem Energieeintrag liefert der IntensaPulper von Voith die geringsten Rückstände (Brecht-Holl). Hinsichtlich der Zefaserungswirkung kommen der Technikums-Pulper der PTS sowie der (Standard-)Desintegrator dem IntensaPulper noch am nächsten während bei den übrigen Zefaserungsaggregaten ein deutlich höherer spezifischer Energieeintrag erforderlich ist, um dasselbe Zefaserungsergebnis zu erzielen. Ein ähnliches Ranking der Zefaserungsaggregate ist auch für bei den übrigen Papiersorten festzustellen (Abbildung 42 und Abbildung 43).

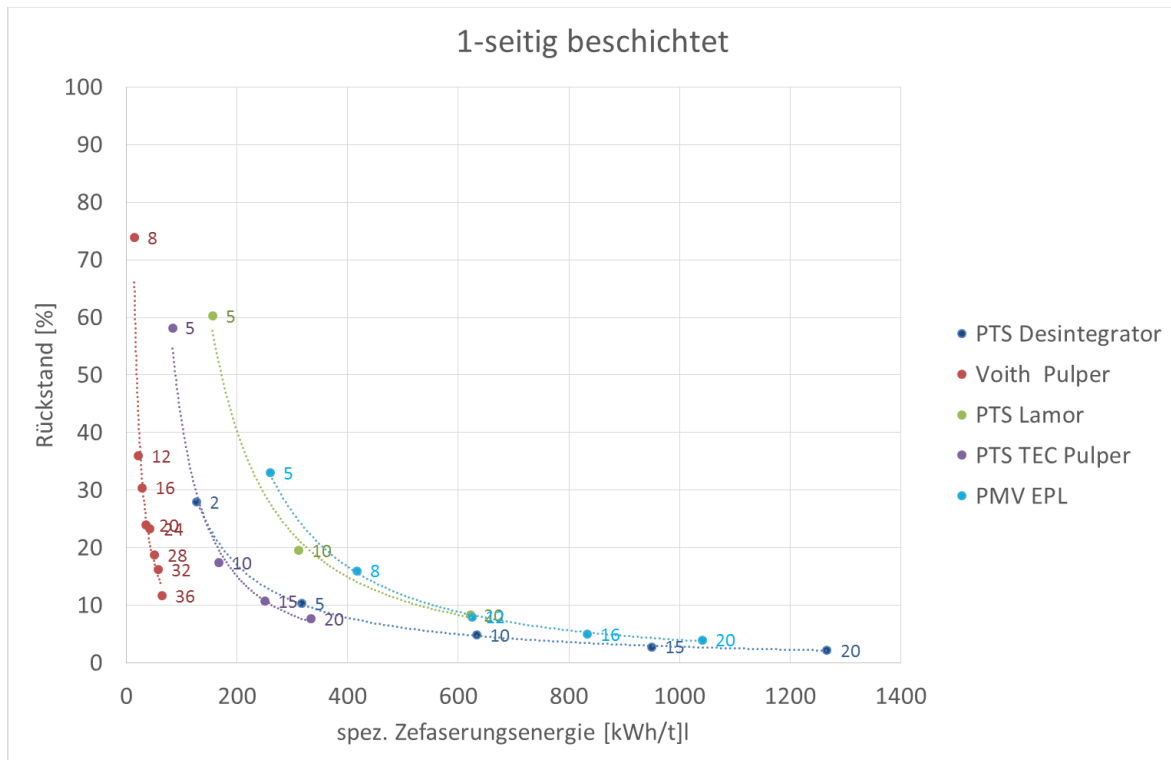


Abbildung 41: Rückstände (Brecht-Holl) bei der Zefaserung von 1-seitig beschichtetem Papier für verschiedene Zefaserungsaggregate und spezifische Energieeinträge (je Messpunkt ist die zugehörige Zefaserungszeit angegeben).

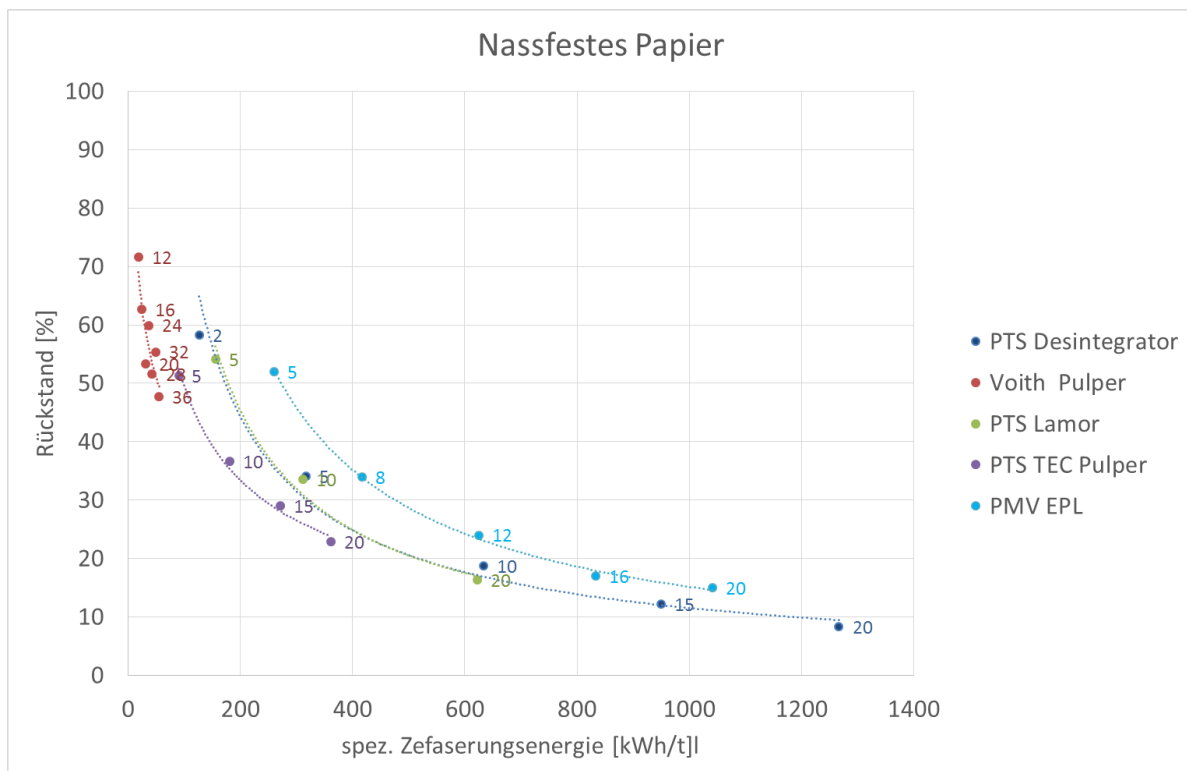


Abbildung 42: Rückstände (Brecht-Holl) bei der Zefaserung von nassfestem Papier für verschiedene Zefaserungsaggregate und spezifische Energieeinträge (je Messpunkt ist die zugehörige Zefaserungszeit angegeben).

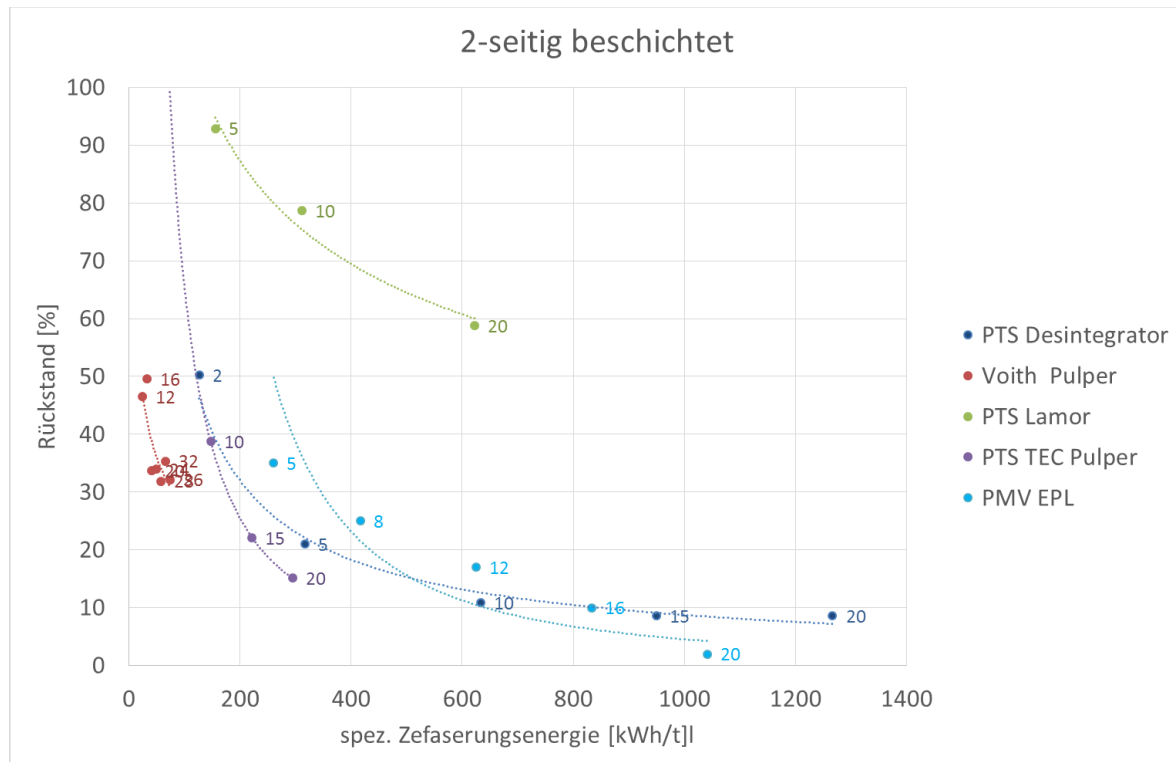


Abbildung 43: Rückstände (Brecht-Holl) bei der Zerkleinerung von beidseitig beschichtetem Papier für verschiedene Zerkleinerungsaggregate und spezifische Energieeinträge (je Messpunkt ist die zugehörige Zerkleinerungszeit angegeben).

Insbesondere bei beidseitig beschichteten Papieren gewinnt die Ausgangsgröße der zu zerkleinernden Objekte an Bedeutung. Wasser kann nur über die Kanten ins Papier eindringen. Aus vorliegenden Aufnahmen kann eine Penetrationsgeschwindigkeit für die verwendeten beidseitigen Papiere von etwa $0,7\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ geschätzt werden. Ein Objekt mit 14 cm Durchmesser ist somit erst nach 10 Minuten vollständig durchfeuchtet. Unter der Annahme, dass die wirkenden Kräfte im Pulper nur die durchfeuchteten Bereiche zerkleinern können, kann ein Simulationsmodell für den Zerkleinerungsverlauf abgeleitet werden, welches unterschiedliche Objektgrößen berücksichtigt (Abbildung 44).

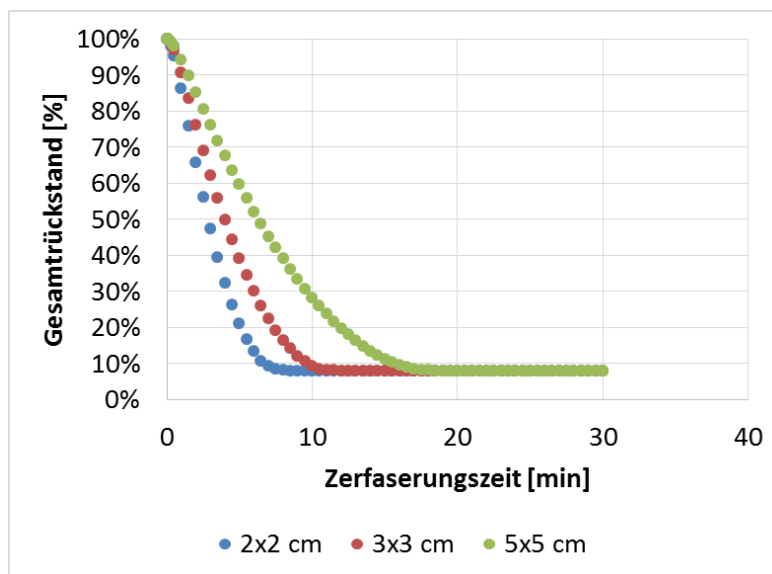


Abbildung 44: Simulation des Zerkleinerungsverlaufs für ein beidseitig beschichtetes Papier bei Variation der Objektgröße (Zerkleinerung am Desintegrator; Anteil der Beschichtung am Gesamtpapier: 8%)

5.3 Ergebnisse der Versuche zum Sortierverhalten

In diesen Abschnitt werden Ergebnisse der Versuche zum Sortierverhalten unterschiedlicher Faserstoffmischungen bei unterschiedlichen Sortierbedingungen (Brecht-Holl und Haindl bei unterschiedlichen Siebgrößen) dargestellt. Die Bewertung erfolgt zum einem hinsichtlich der Rückstandsmengen und zum anderen bezüglich der Fasermorphologie (Faserlänge).

5.3.1 Bewertung der Sortierversuche anhand der Rückstandsmengen

Die Rückstandsmengen der Brecht-Holl-Sortierungen mit einer Lochplatte 0,7mm liegen erwartungsgemäß deutlich unter den Rückstandswerten Haindl-Sortierung mit Schlitzplatte (100 und 150 μm).

Die Haindl-Sortierungen mit einer Schlitzplatte 100 μm ergeben erwartungsgemäß für jeweils alle Faserstoffmischungen die größten Rückstandsmengen. Vor allem der Langfaserstoff wird bei einer Haindl-Sortierung mit Schlitzplatte (100 und 150 μm) besonders stark absortiert, während sich die Rückstandsmengen der anderen Faserstoffe bei der Haindl-Sortierung mit einer Schlitzplatte 150 μm gegenüber 100 μm signifikant (bei den Altpapierfaserstoffen) bis sehr deutlich (bei Kurzfasern) verringern. In der nachfolgenden Abbildung 45 sind die Rückstandsmengen der jeweiligen Sortierungen dargestellt.

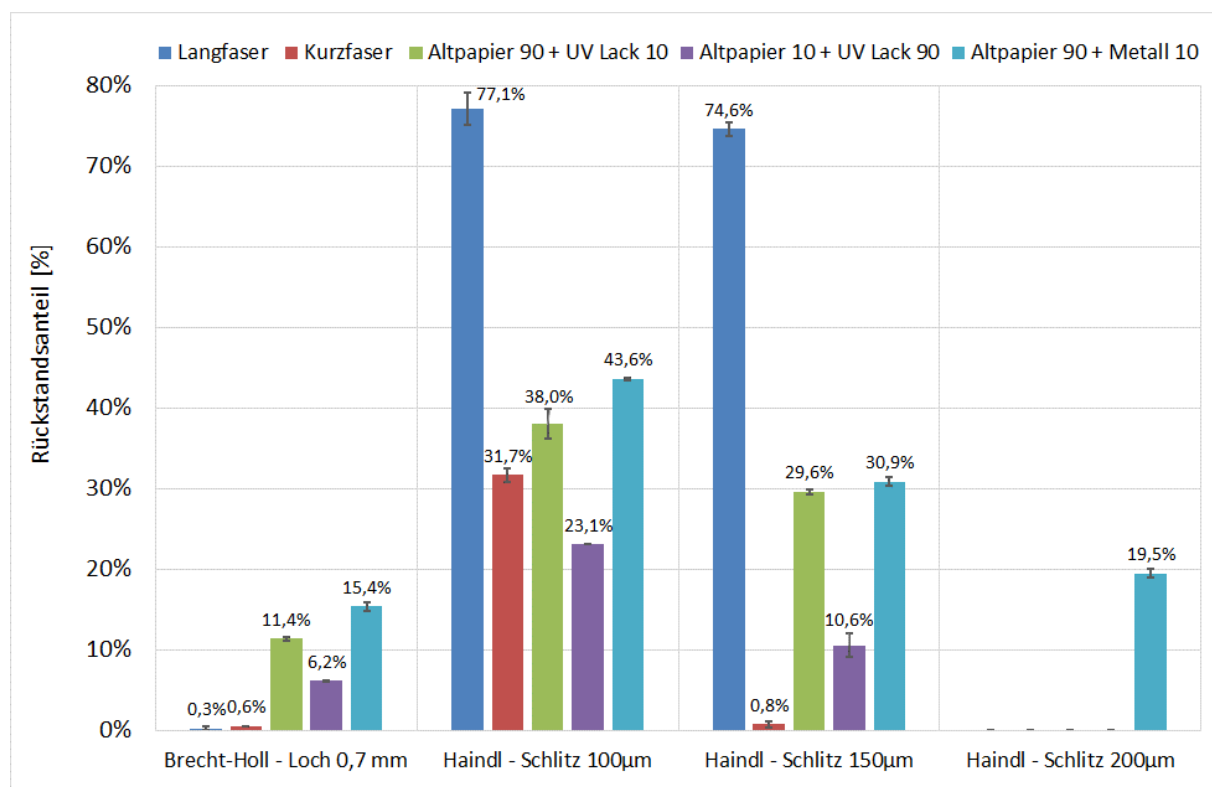


Abbildung 45: Rückstandsmengen der Sortierversuche

5.3.2 Bewertung der Sortierversuche mittels Valmet Fractionator:

a) Faserlängen der Sortierfraktionen

Für alle 4 zum Einsatz gekommenen Faserstoffe ist eine mehr oder minder ausgeprägte Reduzierung der mittleren Faserlänge im Akzept zu beobachten, bedingt durch die Abtrennung von Langfasern ins Rejekt (Abbildung 46). Am stärksten ist der Abtrennungseffekt naturgemäß bei einem Langfaserzellstoff zu beobachten. Unter allen getesteten Sortieraggregaten hat der Haindl-Sortierer mit einer Schlitzweite von 100 μm die stärkste Abtrennwirkung. Die Abtrennwirkung des Haindl-Sortierers ist für Altpapierstoffe in etwa mit dem Brecht-Holl-Sortierer vergleichbar. Sind jedoch

dominant Langfasern enthalten (z.B. krafthaltiger Faserstoff), ist die Abtrennwirkung am Brecht-Holl deutlich stärker.

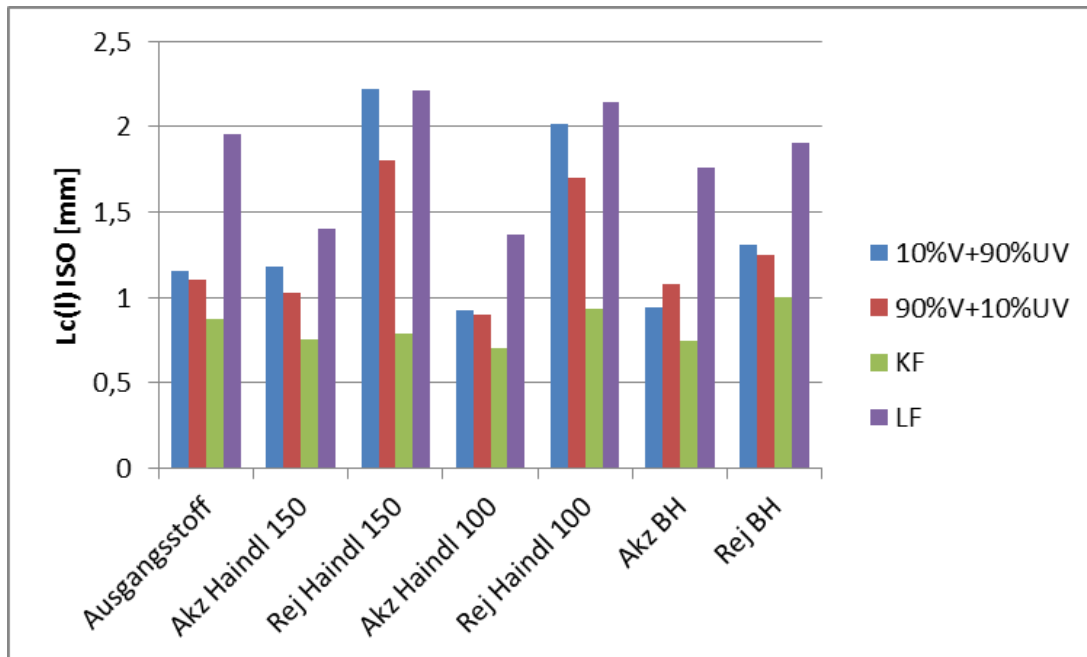


Abbildung 46: Mittlere Faserlängen der 4 verschiedenen Ausgangsstoffe und der Sortierfraktionen der jeweiligen Sortieraggregate

Aus Abbildung 47 wird deutlich, dass der Brecht-Holl-Sortierer mit einem Lochdurchmesser von 700µm hinsichtlich seiner Abtrennwirkung in etwa zwischen einem Haindl-Sortierer mit 200µm Schlitzweite und 150µm Schlitzweite liegt.

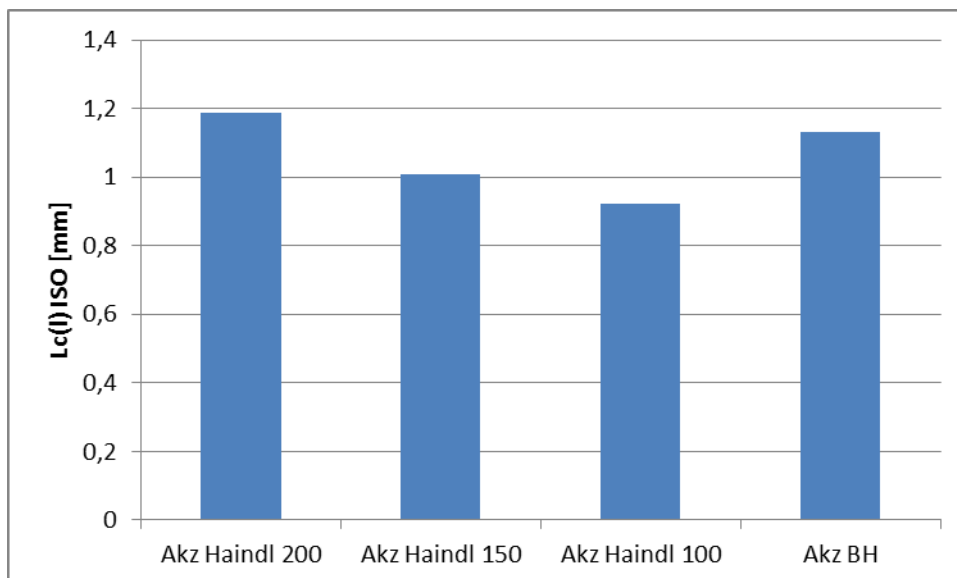


Abbildung 47: Mittlere Faserlänge des Siebdurchganges der Probe Altpapier 90 + Metall 10

b) Schmutzpunkte der Sortierfraktionen

Analog zu Fasern ist auch bezüglich Schmutzpunkte eine Abtrennwirkung bei allen verwendeten Sortieraggregaten zu beobachten (Abbildung 48).

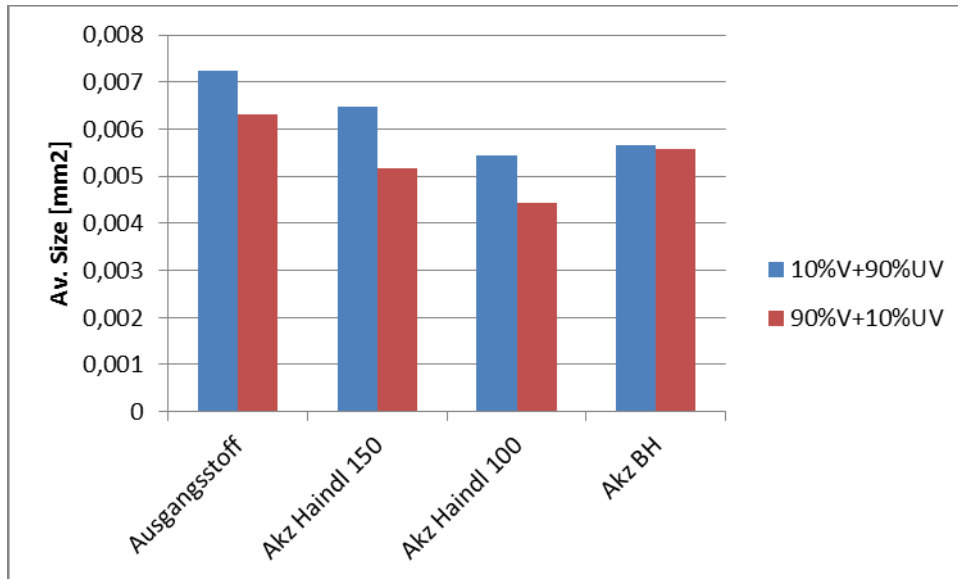


Abbildung 48: Mittlere Fläche der Schmutzpunkte der mit UV-Lack angereicherten Altpapiermischungen und des Siebdurchgangs der jeweiligen Sortieraggregate

Ein analoges Verhalten wird auch für die Probe Altpapier 90 + Metall 10 beobachtet (Abbildung 49). Wie bereits für Fasern liegt auch hinsichtlich Schmutzpunkte der Brecht-Holl-Sortierer zwischen den Haindl-Sortierern mit Schlitzweiten 150µm und 200µm.

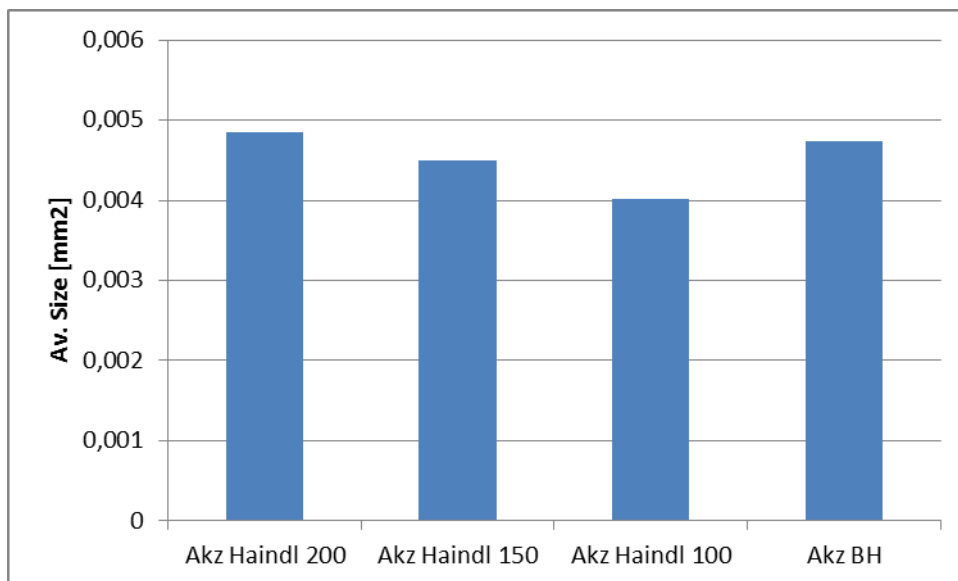


Abbildung 49: Mittlere Fläche der Schmutzpunkte des Siebdurchganges der Probe Altpapier 90 + Metall 10

Zusammenfassend lassen sich die nachfolgenden Aussagen ableiten:

- Haindl Schlitz 150µm → Haindl Schlitz 100µm: Anreicherung von Fasern > 2mm im Rejekt; keine signifikanten Veränderungen für Schmutzpunkte (im Bereich bis 0,04mm²)
- Haindl Schlitz 150µm → Brecht-Holl Loch 0,7mm: im Gegensatz zur Schlitzplatte ist auf der Lochplatte kaum ein Faserrückstand detektierbar, dasselbe gilt für Schmutzpunkte (mind. im Bereich bis 0,04mm²)
- Sortieraggregate verändern die Verteilung von Faserlänge und SP-Fläche in Akzept und Rejekt gegenüber dem Einlauf indem einzelne Fraktionen an- bzw. abgereichert werden.
- Unterschiedliche Verteilungen im Ausgangsstoff können an demselben Sortieraggregat ähnliche Verteilungen im Rejekt oder Akzept liefern

- Dieselben Verteilungen im Ausgangsstoff können an unterschiedlichen Sortieraggregaten unterschiedliche Verteilungen im Rejekt und Akzept liefern
- Vorsicht beim Aufstellen von verteilungsunabhängigen Masse-Korrelationen zwischen verschiedenen Aggregaten
- Weiterer Untersuchungsbedarf: Somerville-Versuche

5.4 Ergebnisse zu Untersuchungen zur Rezyklatqualität

Für eine Vergleichbarkeit von Laborergebnissen mit der Industrie erfolgten im Rahmen des Projektes eine Benchmark Untersuchung sowie verschiedene Untersuchungen zur Objektivierung des Blattklebetests. Im Folgenden werden die jeweiligen Ergebnisse dargestellt.

5.4.1 Benchmarkversuche zur Rezyklierbarkeit

Die Übersicht der Benchmark Untersuchung umfasst sowohl die Bewertung der klebenden als auch der visuellen Verunreinigungen, dargestellt in der Tabelle im Anhang 7.2. Beispielhaft sind in den folgenden Abbildung 50 bis Abbildung 55 die Laborblätter der untersuchten Proben dargestellt.

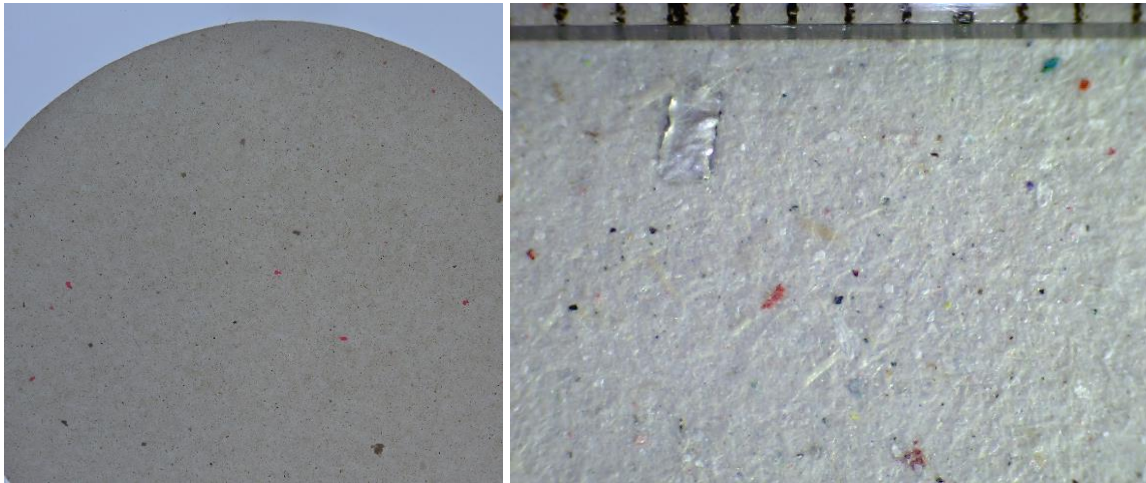


Abbildung 50: Probe Ableerbütte Decke, links Laborblatt im Durchlicht, rechts Laborblatt im Detail

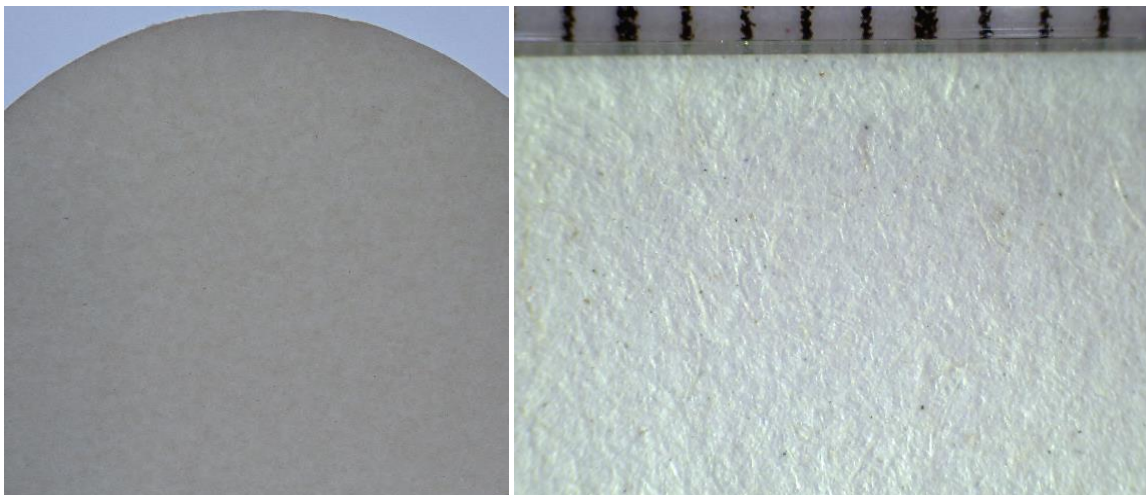


Abbildung 51: Probe Fertigstoff Decke, links Laborblatt im Durchlicht, rechts Laborblatt im Detail

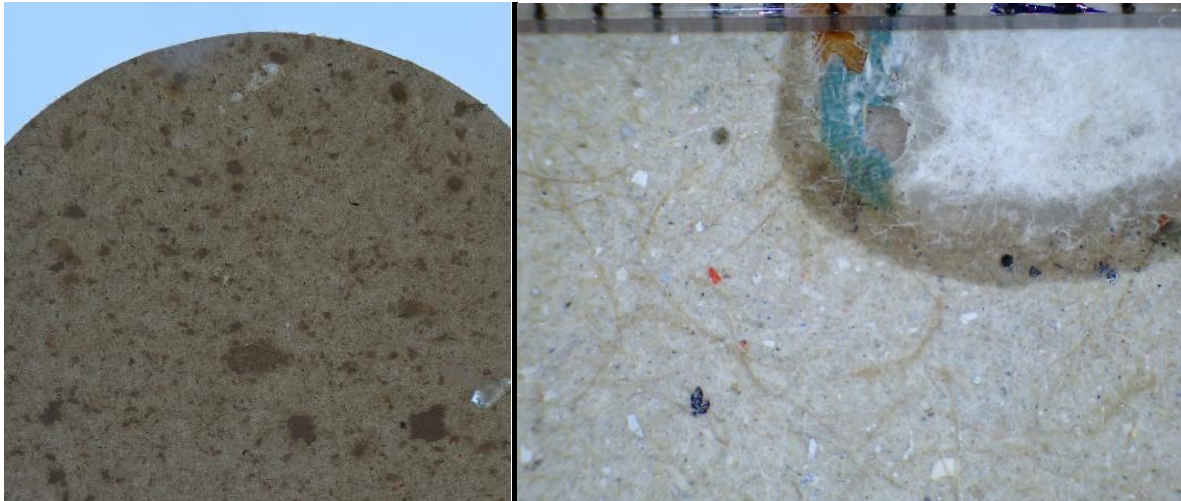


Abbildung 52: Probe Ableerbütte Einlage, links Laborblatt im Durchlicht, rechts Laborblatt im Detail

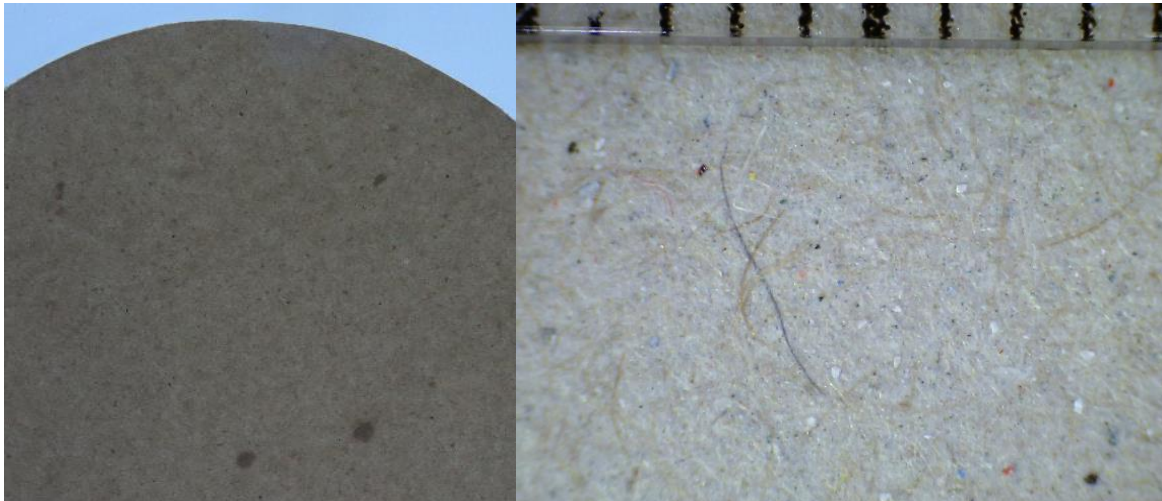


Abbildung 53: Probe Fertigstoff Einlage, links Laborblatt im Durchlicht, rechts Laborblatt im Detail:

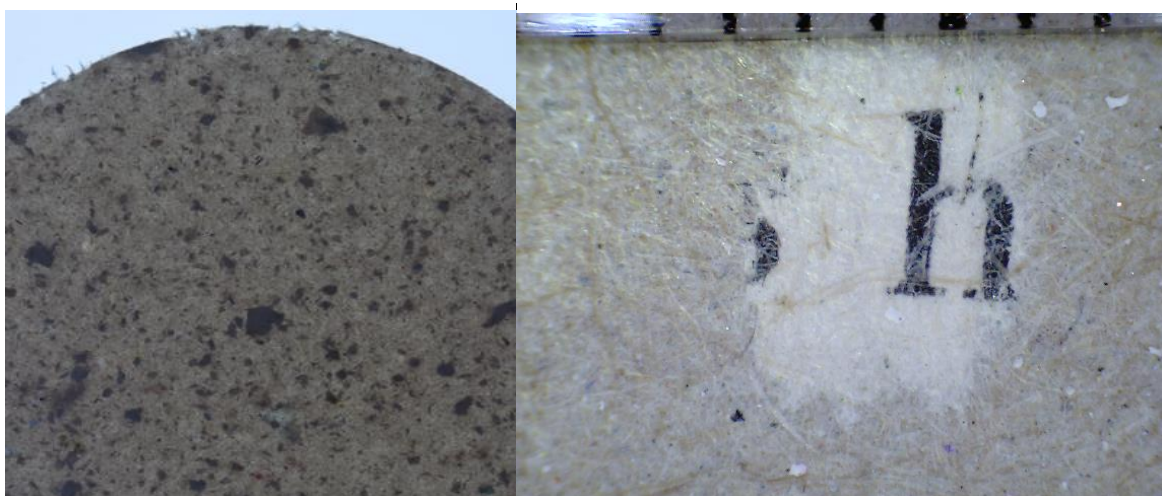


Abbildung 54: Probe Ableerbütte Decke Testliner III, links Laborblatt im Durchlicht, rechts Laborblatt im Detail

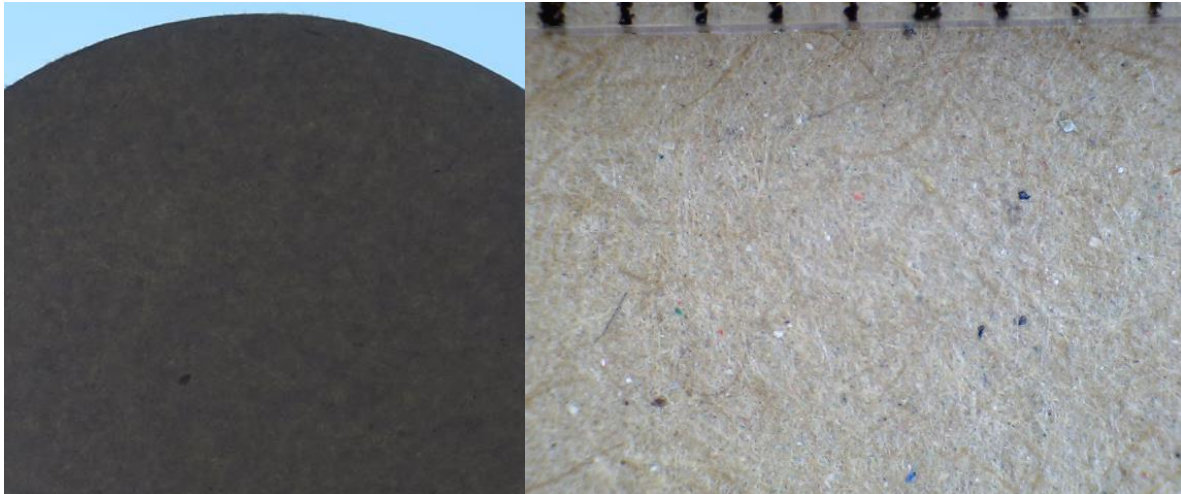


Abbildung 55: Probe Stoffauflauf Decke Testliner III, links Laborblatt im Durchlicht, rechts Laborblatt im Detail

Anhand der Abbildungen ist zu sehen, dass sich die Qualität des Stoffes entlang der Stoffaufbereitung signifikant verbessert. Entsprechend dieser Beobachtung erfolgte auch die Bewertung nach PTS-RH 021:2012. Die Proben nach den Ableerbütten (vor weiteren Sortier- und Reinigungsschritten) wurden jeweils, aufgrund visueller und/ oder klebender Verunreinigungen als bedingt rezyklierbar bewertet. Im Laufe der Stoffaufbereitung erfolgten verschiedene Reinigungsschritte, welche sich ebenfalls in der Bewertung der jeweiligen Proben widerspiegelt. Diese wurden alle als rezyklierbar bewertet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bewertung klebender und visueller Verunreinigungen nach PTS-RH 021:2012 Methode den durch die Papierfabriken eingesetzten und produzierten Qualitäten entlang der Stoffaufbereitung entspricht. So wurden die Proben vor den Reinigungsschritten jeweils als bedingt rezyklierbar bewertet und die Proben welche dem Stoffauflauf zugeordnet werden konnten, wurden als rezyklierbar bewertet.

5.4.2 Klebende Verunreinigungen

Für die Objektivierung des Blattklebetests (BKT) nach PTS-RH 021:2012 wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde die Reproduzierbarkeit des Tests sowie die Stabilität der Ergebnisse bei Variation einzelner Parameter (Trockenzeit, Abkühlzeit, Gautschkarton, usw.) überprüft. Zu Beginn wurde ein genaueres Bewertungsschema festgelegt, welches in Tabelle 13 dargestellt ist. Anhand von Größe, Anzahl und Verteilung der Faserausrisse, erfolgte die Zuordnung der klebenden Verunreinigungen in eine von sechs Kategorien für sowohl den Trägerkarton als auch das Deckblatt und ermöglicht so eine objektiviere Beurteilung.

Tabelle 13: Entwurf Bewertungskategorien für klebende Verunreinigungen, PTS-RH 021:2012

Kategorie	Klebe- wirkung	Art der klebenden Verunreinigungen				Bewertung
		Art	Verteilung	Anzahl	Größe	
0	Sehr stark	Kein Ablösen	Über gesamte Fläche	-	-	Wegen klebender Verunreinigungen nicht rezyklierbar
1	Sehr stark	Löscher, Einrisse, Faserausrisse	Flächig bis partiell	Wenig bis sehr viel	Alle Größen	
2	Stark	Faserausrisse, Partikelanhaftungen	Über gesamte Fläche	Sehr viel	Alle Größen	
3	Mittel	Faserausrisse, Partikelanhaftungen	Über gesamte Fläche bis partiell	Viel	Klein bis Mittel (<2 mm)	Wegen klebender Verunreinigungen nur bedingt rezyklierbar
4	Gering	Faserausrisse	Vereinzelt	Sehr Wenige (<10)	Klein (<1 mm)	Rezyklierbar
5	Keine	-	-	-	-	

Mittels des vorgegebenen Schemas erfolgte die Bewertung der jeweiligen Untersuchungen. Diese zeigten, dass bei gleichbleibenden Parametern der BKT reproduzierbar ist. Alle Trägerkartone wurden mit einer vier und alle Deckblätter mit einer drei bewertet.

Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Verwendung unterschiedlicher Gautschkartone bei der Durchführung des BKT eine Rolle spielt. So schnitten Proben jeweils eine Kategorie schlechter ab, wenn der BKT mit dem Xell-Gautschkarton und nicht mit dem Gautschkarton von Buchmann Karton untersucht wurden. Es erfolgte die Umstellung auf einheitliche Gautschkartone (Gautschkarton von Buchmann Karton).

Um den Einfluss unterschiedlicher Zeiträume auf den BKT abzuschätzen, erfolgte eine Variation der Trockenzeit des BKT im Rapid-Köthen Trockner (Erhöhung um 5 min), die Verlängerung der Abkühlzeit vor dem Trocknen zwischen den Messingplatten (um 10 min) sowie eine Verlängerung der Abkühlzeit im Exsikkator (um 10 min). Mit den hier ausgewählten Proben konnten dabei keinerlei Veränderungen in den Bewertungen des BKT festgestellt werden. Die zeitliche Variation hatte keinen Einfluss auf den BKT. Da dieser Einfluss jedoch nicht für alle Muster und deren klebende Substanzen ausgeschlossen werden kann, empfiehlt sich die Einhaltung der in der PTS-RH 021:2012 vorgegebenen Abläufe.

Zudem erfolgten zwei weitere Versuche, bei denen anstatt eines regulären Gautschkartons andere Materialien als Trägerkarton ausgewählt wurden. In Abbildung 56 ist die Durchführung mit einem schwarzen Karton und in Abbildung 57 die Durchführung mit einer Folie dargestellt.

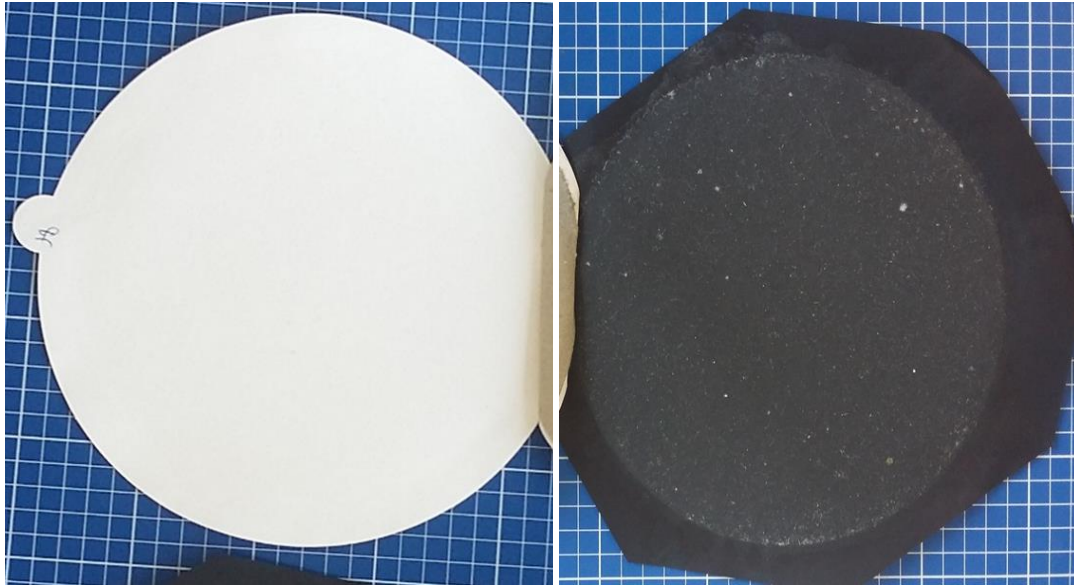


Abbildung 56: links BKT mit Standard Gautschkarton, rechts BKT mit schwarzem Karton

In Abbildung 56 ist zu sehen, dass die Faserausrisse auf dem schwarzen Karton deutlicher zu sehen sind als auf dem hellen Gautschkarton. Die Verwendung eines eingefärbten Gautschkartons für den BKT könnte die Bewertung also vereinfachen. Leider stehen bisher keine schwarzen Kartone mit einem ausreichenden Datenblatt zur Verfügung um das Material genügend zu charakterisieren. Da das Verhalten des schwarzen Kartons daher nicht reproduzierbar genug ist, wurde auf dessen weiteren Einsatz verzichtet.

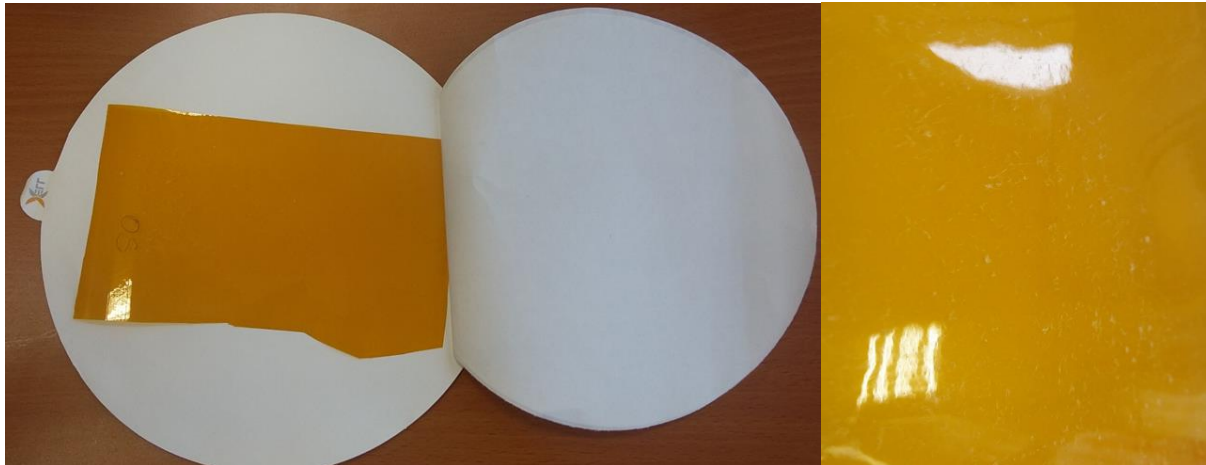


Abbildung 57: links Verwendung einer Folie für den BKT, rechts Detailbild der Faseranhaftungen an der Folie

Auch die in Abbildung 57 verwendete Folie wurde ähnlich bewertet. Faserausrisse konnten zwar gut beurteilt werden, aber für die verwendete Folie stehen keine standardisierten Kennzahlen und ausreichende Erfahrungen zur Verfügung. Eine flächendeckende Verwendung für den BKT ist daher nicht empfehlenswert. Als weiterer Forschungsbedarf eröffnet sich die Untersuchung verschiedener Materialien nach INGEDE Methode 4 und eine Größenverteilung der Makrostickies in Korrelation zum BKT zu untersuchen. Auch die Verwendung der DOMAS Chemical Imaging Messmethode kann möglicherweise zu weiteren Erkenntnissen führen.

5.4.3 Optische Inhomogenitäten / Visuelle Verunreinigungen

Für die Analyse der Schmutzpunkte durch das Domas Programm wurden die Laborblätter jeweils mit Ihrer Vorder- sowie Rückseite eingescannt und analysiert. Beispielhaft erfolgt in den folgenden Abbildungen die Darstellung der DOMAS Ergebnisse im Vergleich zum visuellen Erscheinungsbild der Laborblätter.

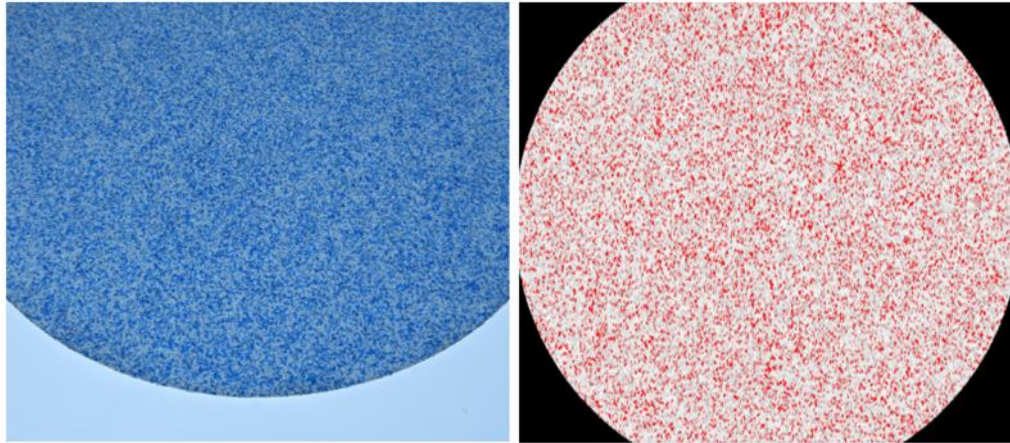


Abbildung 58: Links: Gutstoffblatt mit blauen Lackpartikel, rechts: Laborblatt Scan im DOMAS Schmutzpunkte Modul

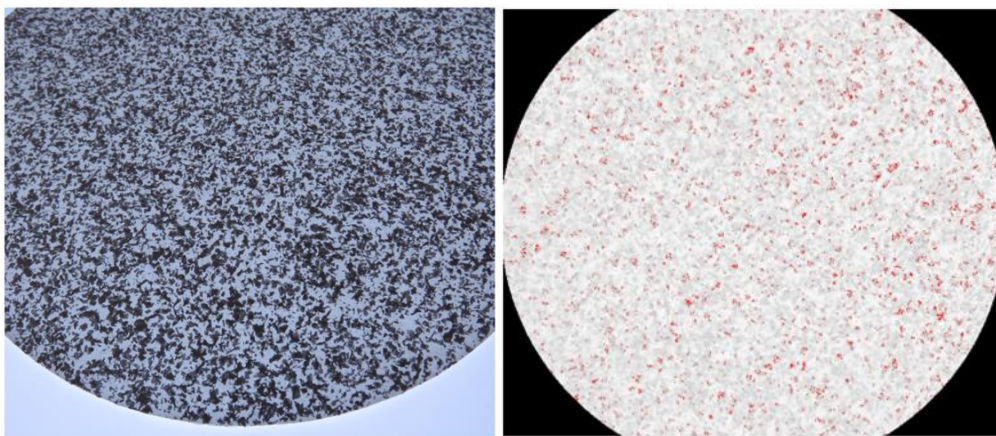


Abbildung 59: Links: Gutstoffblatt mit Metallpartikel, rechts: Laborblatt Scan im DOMAS Schmutzpunkte Modul

Die Ergebnisse der DOMAS Untersuchungen zeigten, dass für die Analyse von Verpackungsprodukten, das bestehende Schmutzpunktmodul zwar gewisse Korrelationen zwischen Erkennung von Schmutzpunkten und visueller Verunreinigung aufzeigt, aber für eine quantifizierte Messung weiter angepasst werden muss. Vor allem bei im Laborblatt vorhandenen Metallpartikeln, konnte nur eine geringe Anzahl und Fläche detektiert werden. Ebenfalls geringere Werte werden gemessen, wenn der Kontrast zwischen Faserstoff und Schmutzpunkten sehr gering ist.

Für eine kurzfristige Lösung zur Objektivierung wurde daher ebenfalls eine detaillierte Tabelle zur Bewertung der verschiedenen visuellen Verunreinigungen erstellt, dargestellt in Tabelle 14.

Tabelle 14: Entwurf Bewertungskategorien für visuelle Verunreinigungen, PTS-RH 021:2012

Kategorie	Art der visuellen Verunreinigungen				Bewertung
	Art	Verteilung	Anzahl	Größe	
0	durchgefärbte Papiere, Transparente Stellen, viele Metallpartikel	Über gesamte Fläche	Sehr viel (>100)	Alle Größen	Wegen optischer Inhomogenitäten nicht rezyklierbar
1	mittlerer bis hoher Kontrast zum LBB*	Über gesamte Fläche bis partiell	Einige (>10) bis viel (<100)	Alle Größen	Wegen optischer Inhomogenitäten im aufbereiteten Stoff bedingt rezyklierbar
2	Geringer Kontrast zum LBB*	Vereinzelt	Sehr wenig (<10)	Klein	
4	Faserausrisse	Vereinzelt	Sehr Wenige (<10)	Klein (<1 mm)	Rezyklierbar

* LBB = Laborblatt

Bestimmte Merkmale der Verunreinigungen sowie deren Kontrast zum Faserstoff werden als Kriterien festgelegt. Anhand dieser Kriterien kann die Probe objektiver einer Kategorie und damit einer Bewertung zugeordnet werden.

5.5 Prüfung und Bewertung von Auswirkungen auf Prozesswässer

Im Rahmen dieses Projekts wurden Methoden zu Bewertung der Rezyklierbarkeit von Papierprodukten betrachtet. Bei keiner dieser Methoden wird dabei der Einfluss der Inhaltstoffe des Papierprodukts auf die Kreislaufwasserqualität berücksichtigt. Hier lässt sich im Folgenden ein Forschungsbedarf ableiten, wobei Ansätze aus vorhergehenden Projekten genutzt werden können.

Simulation der Anreicherung im Prozesswasser

Zur Minimierung des spezifischen Wasserverbrauchs in der Stoffaufbereitung sowie bei der Papier- und Kartonherstellung wird das Prozesswasser im Kreislauf geführt. Dadurch können sich vor allem in eng geschlossenen Wasserkreislaufsystemen feindisperse, kolloidale oder gelöste Bestandteile der Papierprodukte anreichern und zu Produktionsproblemen führen. Im Projekt INFOR 178² zur Rezyklierbarkeit von Barrierebeschichtungen wurde eine Methode entwickelt, die eine mögliche Anreicherung von chemischen Substanzen durch Mehrfachzersetzung bewertet, die die Anreicherungs Vorgänge in eingegengten Wasserkreisläufen von Stoffaufbereitungsanlagen und Papiermaschinen in altpapierverarbeitenden Papierfabriken simuliert.

Nach der ersten Zersetzung der Verpackung mit Frischwasser (Leitungswasser) im Niederkonsistenzpulper bei einer Temperatur von 40 °C und einer Stoffdichte von 4 %, erfolgt eine möglichst weitgehende Entwässerung der Suspension, bei der das Filtrat aufgefangen wird. Zur Entwässerung kann beispielsweise eine Durchlaufzentrifuge genutzt werden. Mit dem aufgefangenen und mit etwas Frischwasser ergänzten Filtrat erfolgt dann die Zersetzung einer zweiten Probe des zu untersuchenden Verpackungsprodukts. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt bis sich ein Gleichgewichtszustand eingestellt hat. Dieser Prozess ist in Abbildung 60 schematisch dargestellt.

² Runte, Saskia ; Putz, Hans-Joachim ; Hanecker, Elisabeth (2017): Rezyklierbarkeitsbewertung von Papier- und Kartonprodukten mit Barrierebeschichtung : Abschlußbericht zum INFOR-Projekt 178. (INFOR 178), Darmstadt, [Report].

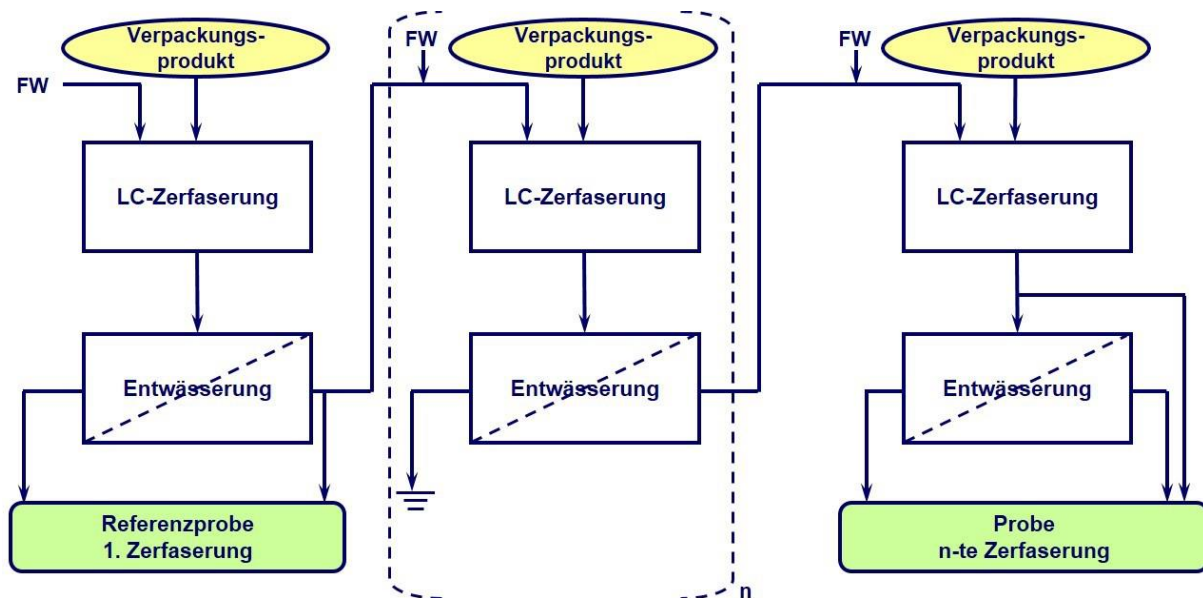


Abbildung 60: Schematische Darstellung des Anreicherungsprozesses der Labormethode

Parameter zur Bewertung des Filtrats

Das bei der Entwässerung anfallende Filtrat muss untersucht werden, wobei folgende Parameter möglicherweise von Relevanz sind:

- Klebende Verunreinigungen im Filtrat anhand der Adsorptionsmethode am rotierenden Sieb (ARS-Methode) (mit Fällungsmittel) oder mittels NIR-Imaging-Messverfahren der PTS oder mittels Durchflussszytometrie,
- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) im Filtrat nach DIN 38409-41,
- Leitfähigkeit im Filtrat nach DIN EN 27888,
- pH-Wert im Filtrat nach DIN EN ISO 10523,
- Kationischer Bedarf mittels Polyelektrolyttitration und PCD-Endpunkt-Bestimmung

Klebende Verunreinigung im Filtrat

Adsorptionsmethode am rotierenden Sieb: Zur Bewertung der Klebrigkeit der verschiedenen Barrieren erfolgt die Untersuchung der Adsorption am rotierenden Sieb in Anlehnung an die von Hamann beschriebene Methode³. Mittels dieser Methode wird die Klebrigkeit der Suspension direkt untersucht und es können Aussagen dazu getroffen werden, ob das Filtrat beispielsweise zu Ablagerungen an den Sieben der Papiermaschine führen kann. Dafür wird ein Polyestersieb auf ein rundes Drahtgestell gespannt und mit 25 min⁻¹ für zwei Stunden durch 2,5 Liter Filtrat gedreht. Dabei ist ein Drittel des Rades vom Filtrat umgeben. Um näher an der industriellen Praxis zu sein, wird das Filtrat konstant auf 45 °C erwärmt. Des Weiteren wird der obere Teil des Siebes mit 90 °C heißer Luft angetrocknet. Nach der zweistündigen Rotation des Siebes durch das Filtrat wird das Rad entnommen und mit Leitungswasser abgespült. Die verbleibenden klebenden Ablagerungen am Sieb werden gravimetrisch ermittelt, indem das Sieb nach der Durchführung der Methode gewogen wird und das Referenzgewicht des Siebes vor der Durchführung abgezogen wird. Um die Ablagerungen der klebenden Bestandteile zu verbessern, kann dem Filtrat noch Fällungsmittel hinzugegeben werden⁴.

³ **Hamann, A.:** Untersuchung des Ablagerungsverhaltens klebender Verunreinigungen bei der Papierherstellung aus Altpapier. 101 S. Darmstadt, Technische Universität, Institut für Makromolekulare Chemie, Dissertation, 2003.

⁴ **Ricklefs, N.:** Entwicklung einer neuen Methode zur Bewertung der Klebrigkeit von Filtrationsrückständen. TU Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik (PMV), Master Thesis, 2015.

NIR-Imaging-Messverfahren: Bei diesem neuen Verfahren werden die Makro-Stickys mittels eines NIR-Imaging-Messverfahrens direkt an Laborblättern gemessen, ohne dass die Makro-Stickys zuvor (wie beispielsweise bei der VisiCon- Makro-Sticky-Bestimmung) vom Faserstoff abgetrennt werden müssen. Neben der quantitativen Auskunft über die Anzahl, Größe und Fläche der Makro-Stickys ist es zusätzlich möglich diese chemisch zu charakterisieren. Durch besondere NIR-Klassifikationsmodule kann identifiziert werden, aus welchem Standardkunststoff (Polyethylen, Polypropylen, ...) die gemessenen Makro-Stickys bestehen, bzw. ob es sich um eine klebende Verbindung (Polyacrylat, Polyisopren oder Polyvinylacetat) handelt⁵.

Durchflusszytometrie: Am PMV durchgeführte Versuche im Rahmen des laufenden IGF-Projekts 20521 N zur Rezyklierbarkeit von Mineralölbarrieren sowie einige Literaturstellen^{6 7} haben gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, mit der Durchflusszytometrie hydrophobe, klebende Bestandteile, sogenannte Stickys, im Filtrat zu bestimmen. Normalerweise werden Durchflusszytometer in der Biologie oder Medizin zur Analyse von Zellen eingesetzt, indem die hydrophoben Partikel mit einem Fluoreszenzfarbstoff angefärbt und anschließend detektiert werden. Damit sind Aussagen über die Anzahl sowie beim Einsatz eines Standards auch über die Größe der Partikel möglich.

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

Der CSB-Wert ist der wichtigste Parameter zur Charakterisierung der Konzentration an gelösten organischen Stoffen im Prozesswasser. Hohe CSB-Konzentrationen im Prozesswasser können zu vermehrtem Wachstum von Bakterienstämmen führen, Geruchsprobleme im Wasser, aber auch im Papier verursachen, für eine reduzierte Aktivität von chemischen Additiven verantwortlich sein und einen hohen Aufwand der Abwasserreinigung nach sich ziehen. Mit der Einengung von Wasserkreisläufen ist häufig auch ein erhöhter CSB-Gehalt im Prozesswasser verbunden.

Leitfähigkeit

Zur Leitfähigkeit des Prozesswassers tragen insbesondere anorganische Ionen bei, neben Wasserstoff- und Hydroxid-Ionen sind dies insbesondere Ionen gelöster Salze wie Chloride, Sulfate, Carbonate mit den entsprechenden Gegenionen Natrium, Ammonium, Calcium, Magnesium und anderen. Bei erhöhten Leitfähigkeitswerten ist ggf. die Dosierung von Prozess- und funktionalen Additiven anzupassen. Für einige Papiere existieren Vorgaben für die zulässigen Chlorid- und Sulfatgehalte, so dass deren Konzentration auch im Prozesswasser wegen der Gleichgewichtseinstellung mit der Faseroberfläche möglichst gering gehalten werden sollte. Höhere Konzentrationen an Chloriden und Sulfaten im Prozesswasser führen darüber hinaus zu vermehrter Korrosion an Anlagenteilen, können die Bildung von Chlorwasserstoff begünstigen, zu Geruchsproblemen führen (wegen der Bildung von Schwefel-Wasserstoff-Verbindungen) und führen zu erhöhtem Aufwand in der Abwasserreinigung.

pH-Wert

Der pH-Wert im Prozesswasser ist nicht nur für das Ausmaß an Wasserstoffbrückenbindungen der Cellulosefasen bei der Blattbildung wichtig, sondern ist entscheidend für die Wirkung der meisten chemischen Additive bei der Papierherstellung. Im Prozesswasser stellt sich üblicherweise ein stabiles chemisches Gleichgewicht ein, dessen pH-Wert von den eingesetzten Faserstoffen, chemischen Additiven und der Wasserkreislaufführung (Einsatzmenge Frischwasser, anaerobe Zonen mit erhöhter mikrobieller Aktivität, die zur Versäuerung führen kann etc.) bestimmt wird. Der pH-Wert, der sich bei

⁵ **Pigorsch, E.; Hamann, L.; Finger, M.:** Neues Messverfahren zur direkten Makrosticky-Bestimmung - Anwendung der NIR-Imaging Messtechnik zur Stickyanalyse. In: Wochenblatt für Papierfabrikation, 146 (2018) 2, S. 80 – 85.

⁶ **Krohl, T. et al.:** A new laser-optical method for counting colloiddally dispersed pitch. In: Nordic Pulp & Paper Research Journal 9 (1994) 1, S. 26 – 30.

⁷ **Richardson, E. D.; Grubb, J. M.:** Evaluation of mineral filler interaction with wood extractive colloids in pulp and paper mill process waters using flow cytometry. In: Journal of Science & Technology for Forest Products and Processes, 3 (2013) 2, S. 16 – 21.

der Zerfaserung von Altpapier einstellt, beeinflusst den pH-Wert des Prozesswassers stark, führt aber auch zu einer pH-Pufferung des Systems.

Kationischer Bedarf

Mit dem kationischen Bedarf wird der Ladungszustand eines Prozesswassers charakterisiert. Die Bestimmung erfolgt mit Hilfe der Polyelektrolyttitration mit einem hochkationischen oder hochanionischen Polymer kurzer Kettenlänge als Titrand. Im Ergebnis der Bestimmung wird die Menge an Ladungsäquivalenten angegeben, die benötigt werden, um die im Prozesswasser vorhandenen Ladungen der dispergierten bzw. gelösten Partikel zu neutralisieren. Die Kenntnis des Ladungszustands des Prozesswassers ist erforderlich, um die Dosierung der kationischen und/oder anionischen chemischen Additive (z. B. Retentionsmittel, Leimungsmittel, Fällungs- und Fixiermittel) einzustellen.

Forschungsbedarf

Bei der Aufbereitung von Papier- und Kartonverpackungen in der Papierfabrik werden alle o. g. Prozesswasserparameter beeinflusst. Über das Ausmaß und die Schwankungsbreite gibt es keine systematischen Untersuchungen. Um den Einfluss auf die Prozesswasserparameter umfassend bewerten zu können, ist eine große Anzahl unterschiedlicher Papierprodukte verschiedenster Kategorien einzeln zu untersuchen. Zum Thema „Systematische Untersuchung und Beurteilung des Einflusses von herkömmlichen und biobasierten Barrierebeschichtungen auf die Störstoffbeladung und das Störpotenzial im Prozesswasser“ beantragt die PTS im September 2020 ein neues AIF-Projekt. Dabei ist die repräsentative Auswahl und Einteilung von Verpackungspapieren und -kartons von großer Bedeutung und sollte alle marktüblichen Produkte einschl. beschichteter Verpackungen beinhalten. Sollten sich im Laufe der Untersuchungen einzelne auffällige Messwerte in den Kategorien zeigen, sind gezielte Beprobungen mit produktspezifischen Fragebögen bei den Papierherstellern bzw. –verarbeitern durchzuführen, um die Ursachen zu ermitteln. Ggf. kann die Ableitung von Grenzwerten für einzelne Parameter im Rahmen der Rezyklierbarkeitsprüfung sinnvoll sein.

6 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Erkenntnisse und daraus abgeleitete Empfehlungen (sowie weiteren Forschungsbedarf) basierend auf den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen zusammengefasst.

6.1 Wesentliche Erkenntnisse

Nachfolgend sind die wesentlichen Erkenntnisse der thematischen Untersuchungsschwerpunkte gegliedert und zusammengefasst:

Derzeit angewandte und gängige Methoden zur Rezyklierbarkeitsbewertung

- Alle im Projekt betrachteten Methoden prüfen die relevanten Anforderungen der Papierindustrie hinsichtlich der Altpapierstoffaufbereitung und beinhalten die Zerfaserung, die Sortierung (als Reinigungsstufe) und die Qualitätsbewertung des Rezyklats im Labormaßstab.
- Die im Projekt betrachteten Methoden liefern für die vier untersuchten Probenmaterialien grundsätzlich vergleichbare Ergebnisse. Unterschiede gibt es bei der graduellen Abstufung der Werte.

Zerfaserung

- Der Standarddesintegrator ist geeignet um einen Industrie-Pulper zu simulieren.
- Im Standarddesintegrator ist die Zerfaserung nach 10 min bei einfachem Testliner und einseitig beschichtetem Material erreicht. Eine Erhöhung der Zerfaserungszeit auf 20 Minuten hat keinen signifikanten Einfluss auf die Faserstoffausbeute.
- Die Zerfaserung im Standarddesintegrator des beidseitig beschichteten und des nassfesten Materials ist nach 10min noch nicht vollständig. Eine Erhöhung auf 20 min Zerfaserungszeit hat insbesondere bei dem nassfesten Material signifikanten Einfluss auf die Faserstoffausbeute.
- Eine Probenzerkleinerung im Labormaßstab auf 2x2 cm oder 3x3 cm hat keinen signifikanten Einfluss auf das Zerfaserungsergebnis.
- Insbesondere bei Proben mit höheren Rückstandsmengen sind zum Teil signifikante Abweichungen der Einzelergebnisse infolge der Probenahme zu beobachten.

Sortierung

- Die Rückstandswerte bei der Sortierung mit einem Brecht-Holl-Fraktionator korrelieren gut mit den Rückstandswerten einer Somerville-Sortierung. Der Offset gegenüber den Somerville-Werten liegt bei rund 8 %.

Beurteilung von klebenden und visuellen Verunreinigungen

- Die derzeitige Bewertung der klebenden und visuellen Verunreinigungen wird weiterhin von subjektiven Faktoren beeinflusst. Durch eine Vereinheitlichung der genauen Vorgehensweise (bspw. Verwendung einheitlicher Gautschkartons) sowie eine definierte Festlegung von entscheidenden Kriterien (bspw. Problematik metallisierter oder transparenter Partikel im Gutstoff) können jedoch die Objektivität bei der Bewertung in hohem Maße gesteigert werden.
- Eine Durchführung des BKT bleibt weiterhin empfehlenswert, da anhand dieser Methode das Vorhandensein von klebenden Verunreinigungen auch < 150 µm festgestellt werden kann.
- Bei der Ableitung von Empfehlungen hinsichtlich der Rezyklierbarkeit von Produkten, die visuelle Verunreinigungen hervorrufen, ist zu berücksichtigen, dass visuelle Verunreinigungen nicht für alle Papiersorten relevant bzw. problematisch sind.

6.2 Empfehlungen

Nachfolgend sind die aus den Ergebnissen und Erkenntnissen abgeleiteten Empfehlungen für weitere Untersuchungen, Abstimmungen und Forschungsbedarfe thematisch zusammengefasst:

Einführung zusätzlicher Bewertungsmerkmale für die Kategorien:

- Rejekte (Art faserhaltig oder papierfremd, Fragmentierverhalten, Anzahl)
- Klebende Verunreinigung (Schaden, Wirkung, Ursachen, Anzahl)
- Visuelle Verunreinigungen (analog zu klebenden Verunreinigungen), wobei zu berücksichtigen ist, dass nicht für alle Papiersorten visuelle Verunreinigungen relevant bzw. problematisch sind.

Weitere Methoden zur Objektivierung der Bewertung von klebenden Verunreinigungen

- Systematische Untersuchungen mit INGEDE 4 und DOMAS-Chemical-Imaging

Weitere Methoden zur Objektivierung der Bewertung von visuellen Verunreinigungen

- Systematische Untersuchungen mit DOMAS-Modul Schmutzpunkte
- Erweiterung von DOMAS-Modul Schmutzpunkte

Probenvorbereitung

- Einfluss von Alterung (bspw. wie bei INGEDE 11, 60°C, 3d) und Quellung

Prozesswasser-Untersuchungen

- Systematische Erfassung besonderer Auffälligkeiten (z.B. Schäumen, schlechte Entwässerung)
- CSB-Abgabe
- Simulierte Anreicherung von Stoffen um den Einfluss der Verdünnung mit Frischwasser g auf die Qualität des Rezyklats zu prüfen

Fortsetzungsprojekt INFOR-Projekt 219

Ein geplantes Fortsetzungsprojekt zur Bearbeitung einiger, oben benannter sowie aus einer CEPI-Arbeitsgruppe (zur Harmonisierung und Erarbeitung einer europäischen Methode zur Rezyklierbarkeitsbewertung) erarbeiteter Punkte wurde mit Beschluss des INFOR-Forschungsrats am 03.09.2020 bewilligt. In diesem Projekt sollen u.a. folgenden Fragestellungen bearbeitet werden (Auszug aus Projektantrag zu neuem INFOR-Projekt):

- Methode zur Untersuchung des qualitativen Störpotentials in Bezug auf klebende und visuell störende Verunreinigungen (AP 1).
- Vergleichsversuche zwischen Sortierprozessen im Labor- und Technikumsmaßstab (AP 2).
- Die praktische Erprobung der im Rahmen der CEPI-Arbeitsgruppe erarbeiteten Methodenvorschrift und ggf. die Ausarbeitung von Nachbesserungen und Einbringen der Erkenntnisse aus dem Vorgängerprojekt INFOR-Projekt 214 (AP 3)
- Die Untersuchung des Einflusses von Schlitzweiten und Schlitzplattenqualität bei der Laborsortierung (AP 4).
- Erarbeitung einer Prüfmethode für redispergierte und feindisperse Partikel. Partikel, die beim Recycling solche störenden Partikel hervorrufen (z. B. durch Metallisierungen) kommen zunehmend auf den Markt. Das Problem der oft nicht absortierbaren, feindispersen Partikel wird jedoch von den vorhandenen Methoden noch nicht adressiert (AP 5).
- Ringversuch mit der neuen CEPI-Methode und im Rahmen dieses Projektes erarbeiteten Ergänzungen (AP 6).

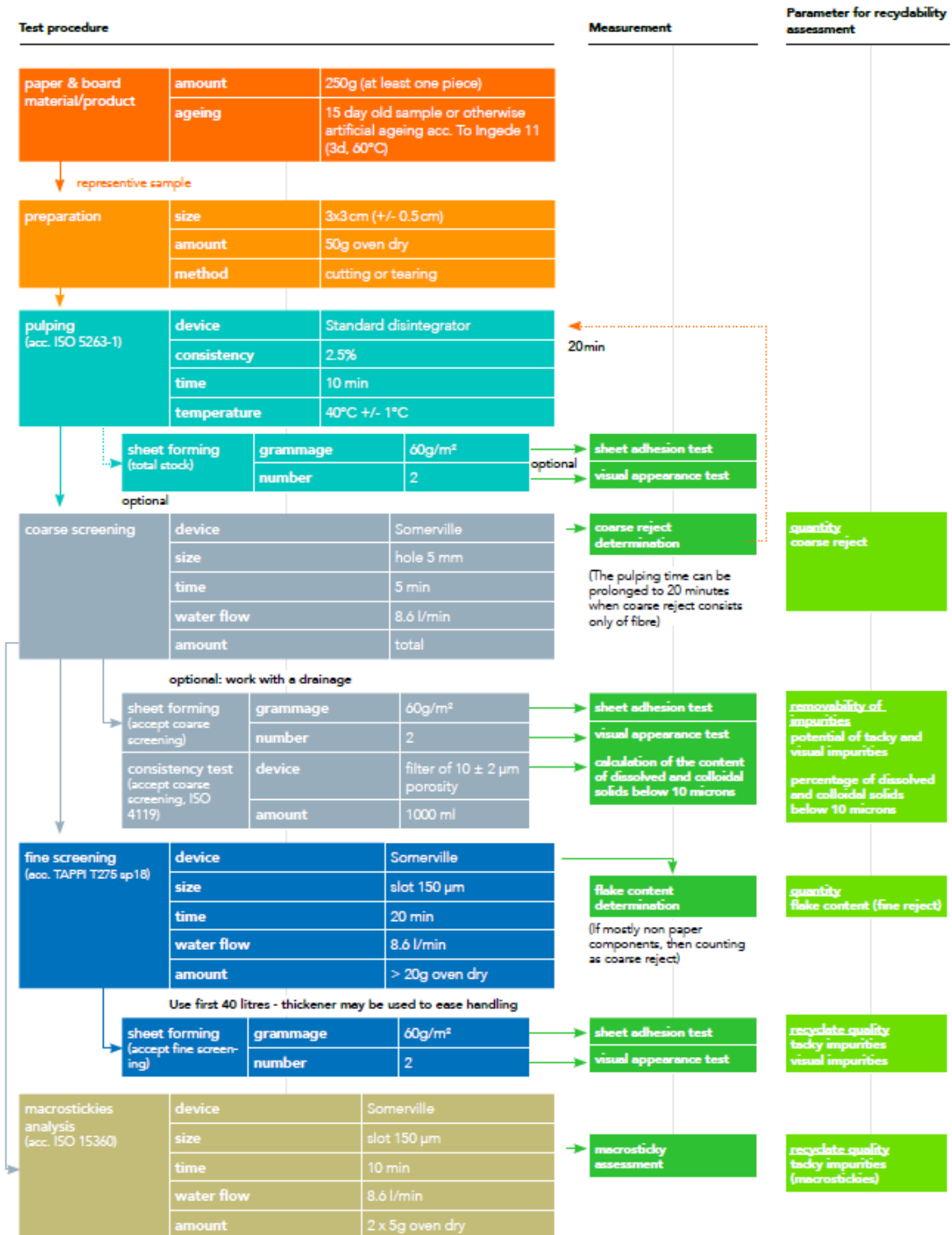
7 Anhang

7.1 Methodenübersicht

	Kat. II	Kat. III			
Methode	PTS-RH 021/97 - Kat. II Prüfung von Roh-, Halb- und Hilfsstoffen der Papiererzeugung - Kennzeichnung der Rezyklierbarkeit von Packmitteln aus Papier, Karton und Pappe sowie von grafischen Druckerzeugnissen	PTS-RH 021/97 - Kat. III Praxisnahe Bewertung des Zerfaserungsverhaltens und des Störpotenzials von Papier- und Karton, Kartonerzeugnissen sowie Klebstoffprodukten bei der Herstellung altpapierhaltiger Neupapiere	EcoPaperLoop Prüfung des Rezyklierungsverhaltens von Verpackungen	CTP (Frankreich) Packaging material	UNI 11743 / Aticelca (Italien)
English	Identification of the recyclability of paper and board packages and of graphic print products		Recyclability Test for Packaging Products		
Bemerkung	für Packmittel aus Papier, Karton und Pappe (Kat. II)	Bewertung Rezyklierbarkeit für Standard Verpackungsrecycling (Monosammlung blaue Tonne) und Spezialrecycling für Material aus LVP Sammlung (z.B. für cyclos-HTP)			
Untersuchungsobjekte	PTS-RH 021/97 - Kat. II	PTS-RH 021/97 - Kat. III	EcoPaperLoop	CTP (Frankreich)	UNI 11743 / Aticelca (Italien)
Packmittel aus Papier	x	x	x	x	x
PPK-Packmittel	x	x	x	x	x
PPK-Verbunde	x	x	x	x	x
Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel		x			
Untersuchungsmaterial	PTS-RH 021/97 - Kat. II	PTS-RH 021/97 - Kat. III	EcoPaperLoop	CTP (Frankreich)	UNI 11743 / Aticelca (Italien)
Probenmenge lutro [g]	> 250	> 750	> 480	?	250g
Nachgestellte Prozessstufen	PTS-RH 021/97 - Kat. II	PTS-RH 021/97 - Kat. III	EcoPaperLoop	CTP (Frankreich)	UNI 11743 / Aticelca (Italien)
Zerfaserung	20 min im Labor-Desintegrator bei 2,5 SD-%	mind. 15 min im Lamort-Pulper bei 5,0 SD-%	5 min im LC-Pulper bei 4,0 SD-%	LC pulper (Lhomargy), 15 min, 45000 rev., 3,5%	10 min im Labor-Desintegrator bei 2,5 SD-%
Grobsortierung	keine	teilweise über 5 mm Lochblech vom Vibrationsortierer / Wuchtschüttler	über 10 mm Lochplatte in einem speziellen Rührbehälter	keine	über 5mm Lochplatte, Somerville Fraktionator
Homogenisierung	5 min im Verteilgerät	manuell	2 min im Verteilgerät	?	manuell
Feinsortierung	Haindl-Fraktionierung 0,15mm	Haindl-Fraktionierung 0,15mm	Haindl-Fraktionierung 0,10mm (für Makrostickets)	Somerville, 10/100 mm, 25 g b.d., 20 min., 10 L/ min.	Haindl, 0,7 mm Lochplatte, 3,33 L/ min (0,2 m3/h), 2g, 5min + Haindl 0,1 mm Schlitzplatte (Ingede 4) 10 L/ min. ± 0,2 L/ min, 10g, 5min
Deinking	keine	keine	keine	keine	keine
Blattbildung - Gesamtstoff	mind. 2x Laborblatt 60 g/m²	mind. 2x Laborblatt 60 g/m²	keine	Handsheets for visual aspect	Handsheets for visual aspect
Blattbildung - Gutstoff nach Grob	keine	keine	keine	Handsheets for visual aspect	keine
Blattbildung - Gutstoff nach Fein	mind. 2x Laborblatt 60 g/m²	mind. 2x Laborblatt 60 g/m²	mind. 2x Laborblatt 60 g/m²	Handsheets for visual aspect	Handsheets for visual aspect
Probenvorbereitung bis zur Einwaage	PTS-RH 021/97 - Kat. II	PTS-RH 021/97 - Kat. III	EcoPaperLoop	CTP (Frankreich)	UNI 11743 / Aticelca (Italien)
Probenentnahme	250 g lutro	800g lutro			250 g lutro
Anzahl Ansätze	1	1	1	1	2
Trocknenentfernung von papierfremden Produktbestandteilen	Metaldeckel, Trageriemen, Verstärkungsleisten			Metaldeckel, Trageriemen, Verstärkungsleisten	Metaldeckel, Trageriemen, Verstärkungsleisten
Trockengehaltsbestimmung	2fach				
Bestimmung der Materialzusammensetzung	teilweise (Papierträger, Papierfremde, etc.)	teilweise (Papierträger, Papierfremde, etc.)	teilweise		
Bestimmung der Packmittelteile	teilweise (Boden, Seitenlasche, Riemen, etc.)	teilweise (Boden, Seitenlasche, Riemen, etc.)	teilweise		teilweise (Boden, Seitenlasche, Riemen, etc.)
Bestimmung Anteil Klebeflächen	keine	keine	Massenanteil an einer Verpackung (Klebeflächen mit Verpackungsmaterial)		
Zerkleinerung Probenmaterial	mit Schere/Stanze auf 2x2cm Stücke	mit Schere auf handtellergröße Stücke	mit Schere auf handtellergröße Stücke	mit Hand in 3x3 cm zerreißen	mit Schere/Stanze auf 3x3cm Stücke
Einwaage zerkleinertes Probenmaterial	50 g (+/-1g) otro	750 g otro	480 g otro	60g otro	50 g otro
Zerfaserung / Desintegration	PTS-RH 021/97 - Kat. II	PTS-RH 021/97 - Kat. III	EcoPaperLoop	CTP (Frankreich)	UNI 11743 / Aticelca (Italien)
Aggregat	Labor-Desintegrator	Lamort-Pulper (PTS-TEC)	LC-Pulper (PMV)	Labor-Desintegrator	Labor-Desintegrator
Drehzahl	3.000	1.500		3.000	3.000
Umdrehungen	60.000	22.500 (tw. 30.000)		45.000	30.000
Zeitdauer (min)	20 min	15 min (tw. 20/25 min)	5 min	15 min	10 min

7.2 Capi recyclability laboratory test method version 1


**HARMONISED EUROPEAN LABORATORY TEST METHOD TO PRODUCE
 PARAMETERS ENABLING THE ASSESSMENT OF THE RECYCLABILITY OF PAPER
 AND BOARD PRODUCTS IN STANDARD PAPER AND BOARD RECYCLING MILLS**

 VERSION 1
 December 2020


7.3 Übersicht der untersuchten Benchmark-Stoffproben aus Altpapier einsetzenden Papierfabriken zur Bewertung der Rezyklatqualität

Fabrik	Ziel Sorte/ Qualität Probenahme	Verwendete Altpapierqualitäten,	Weitere Rohstoffe und Additive	Bewertung nach PTS-RH 021:2012, klebende Verunreinigungen	Bewertung nach PTS-RH 021:2012, visuelle Verunreinigungen
Werk 1	Wellpappen-rohpapier -	k.A.	k.A.	Keine Klebewirkung	Keine störenden opt. Inhomogenitäten
Werk 2	Decke Ableerbütte	k.A.	k.A.	Keine Klebewirkung	Störende optische Inhomogenitäten
Werk 2	Decke Fertigstoff	k.A.	k.A.	Keine Klebewirkung	Keine störenden opt. Inhomogenitäten
Werk 2	Einlage Ableerbütte	k.A.	k.A.	Klebewirkung mit Beschädigungen	Störende optische Inhomogenitäten
Werk 3	Einlage Fertigstoff	k.A.	k.A.	Keine Klebewirkung	Keine störenden opt. Inhomogenitäten
Werk 3	Einlage Kartonmaschine 2	k.A.	k.A.	Leichte Klebewirkung mit geringen Beschädigungen	Keine störenden opt. Inhomogenitäten
Werk 3	Deckenstoff Kartonmaschine 3	k.A.	k.A.	Keine Klebewirkung	Keine störenden opt. Inhomogenitäten
Werk 3	Einlage Kartonmaschine 3	k.A.	k.A.	Keine Klebewirkung	Keine störenden opt. Inhomogenitäten
Werk 3	Kraftliner Ableerbütte PM4	84 % 1.05.01 16 % 1.04.00	-	Keine Klebewirkung	Störenden opt. Inhomogenitäten
Werk 3	Rückseite, Kraftliner Stoffauflauf PM4	84 % 1.05.01 16 % 1.04.00	Fixiermittel, Retentionsmittel	Keine Klebewirkung	Keine störenden opt. Inhomogenitäten
Werk 3	Testliner III Ableerbütte PM5	27 % 1.04.00 39 % 4.01.00 34 % 1.02.00	-	Keine Klebewirkung	Störenden opt. Inhomogenitäten
Werk 3	Decke, Testliner III Stoffauflauf, PM 5	27 % 1.04.00 39 % 4.01.00 34 % 1.02.00	Fixiermittel, Retentionsmittel	Keine Klebewirkung	Keine störenden opt. Inhomogenitäten
Werk 4	Vollpappe Grau Pulper Ableerbütte	Überwiegen d 1.04, 5% eigener Ausschuss	Polymin	Störende klebende Verunreinigungen	Störenden opt. Inhomogenitäten
Werk 4	Vollpappe Grau Maschinenbütte	Überwiegen d 1.04, 5%	Polymin	Keine störenden klebenden Verunreinigungen	Störenden opt. Inhomogenitäten

		eigener Ausschuss			
Werk 5	Testliner 130 g/m ² Stoffauflauf Langsieb, Maschine 3 Werk Süd	50 % Altpapier 3 % eigener nasser Ausschuss 47 % eigener trockener Ausschuss	FennoPol FennoSil Xelorex Entschäumer Entlüfter	Keine Klebe- wirkung	Keine störenden opt. Inhomogenitäten