

Schlussbericht

zu dem IGF-Vorhaben

Möglichkeiten und Grenzen der Verwertung von gemischtem Altpapier (1.02)

für die Herstellung grafischer Papiere

der Forschungsstelle(n)

Technische Universität Darmstadt,

Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik

Das IGF-Vorhaben 17 299 N der Forschungsvereinigung Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e.V. wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Darmstadt, 23.10.2014

Ort, Datum

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)



Kontakt:

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

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Motivation.....	1
2	Stand der Forschung.....	3
3	Zielstellung.....	4
4	Vorgehen.....	5
4.1	Teilprojekt 1.....	5
4.2	Teilprojekt 2.....	5
5	Experimentelle Arbeiten zum Teilprojekt 1.....	6
5.1	Versuchsvorbereitung.....	6
5.1.1	Recherche.....	6
5.1.2	Auswahl und Beschaffung der Verpackungsprodukte.....	8
5.1.3	Auswahl und Beschaffung der grafischen Papierprodukte.....	8
5.1.4	Mischungen.....	9
5.2	Versuchsdurchführung und –auswertung.....	12
5.3	Versuchsergebnisse und Diskussion.....	14
5.3.1	Mischungen vom Grundtyp 1.....	14
5.3.2	Mischungen vom Grundtyp 2.....	18
5.3.3	Fehlerbetrachtung.....	24
5.4	Überprüfung der Messmethoden für Melierfasern und Schmutzpunkte.....	26
5.4.1	Schmutzpunkte.....	26
5.4.2	Melierfasern.....	29
6	Modellierung Teilprojekt 1.....	33
6.1	Grundform der Modelle und Berechnungen.....	33
6.2	Ergebnisse und Diskussion.....	36
6.2.1	Hellbezugswert Y.....	36
6.2.2	Farbkoeffizienten a^* und b^*	38
6.2.3	Schmutzpunktfläche.....	39
6.3	Fazit.....	40

7	Experimentelle Arbeiten Teilprojekt 2	42
7.1	Optische Eigenschaften von Referenzproben	42
7.2	Versuche	43
7.2.1	Vorversuche zum Labordisperger	44
7.2.2	Hauptversuche	50
8	Abschätzung zur Nuancierung	68
9	Schlussfolgerungen zum Teilprojekt 2	73
10	Kostenbetrachtung	75
10.1	Bereiche mit Kostenveränderungen	75
10.2	Kostenvergleich für vereinfachte Szenarien	78
11	Zusammenfassung	81
11.1	Teilprojekt 1	81
11.2	Teilprojekt 2	82
12	Fazit und Ausblick	85
12.1	Teilprojekt 1	85
12.2	Teilprojekt 2	86
	Tabellenverzeichnis	III
	Abbildungsverzeichnis	V
	Literaturverzeichnis	VII
	Abkürzungsverzeichnis	VIII
A	Anhang	IX
A.1	Papierproben	IX
A.1.1	Teilprojekt 1	IX
A.1.2	Teilprojekt 2	XIII
A.2	Versuchsergebnisse	XVIII
A.3	Ergebnisse der Modellierung	XXXI
A.4	Technische Daten Disperger	XXXV

1 Hintergrund und Motivation

Altpapier war 2011 mit einem Anteil von 44,5 % der wichtigste Rohstoff der europäischen Papierindustrie [1]. Für die Herstellung grafischer Papiere und Hygienepapiere kommen aufgrund optischer Qualitätsanforderungen bisher allerdings nur Altpapiersorten in Frage, die aus nahezu ausschließlich grafischen Papieren bestehen und folglich fast keine Verpackungen enthalten. Im Wesentlichen ist dies die Altpapiersorte 1.11 (Deinkingware) nach DIN EN 643¹ [2]. Gemäß der Norm sollte diese Sorte einen maximalen Anteil von 1,5 % an nicht deinkbaren Papieren enthalten. Ergebnisse aus dem AiF-Projekt 15408 N [3] belegen aber, dass die Sorte in Deutschland durchschnittlich 6,3 % nicht deinkbare Papiere enthält und damit durchschnittlich nur zu 93 % aus grafischen Papieren besteht. Im gleichen Projekt wurde auch ermittelt, dass die Altpapiersorte 1.02 (Sortiertes gemischtes Altpapier) zu durchschnittlich 60 % und bis zu maximal 78 % aus grafischen Papieren besteht. Die Altpapiersorte 1.02 ist durchschnittlich preisgünstiger als die Sorte 1.11. Im Jahr 2011 wurde die Sorte 1.02 in Deutschland mit einem durchschnittlichen Preis von 78 – 84 €/t gehandelt, die Sorte 1.11 mit einem durchschnittlichen Preis von 107 – 127 €/t. Die Preise sind Mittelwerte aus den monatlichen Daten der Europäischen Wirtschaftsdienst GmbH [4] von Januar bis Dezember 2011.

Industrielle Anlagen zur Altpapierstoffaufbereitung für grafische Papiere sind in den vergangenen zwei Jahrzehnten stets erweitert worden, um möglichst vielen Anforderungen an schwankende Rohstoffeinträge gerecht zu werden und um möglichst viele Möglichkeiten zur Herstellung verschiedener Stoffqualitäten zu bieten. Für beispielsweise klassisches Standard-Zeitungsdruckpapier besteht eine typische Altpapieraufbereitungsanlage aus nacheinander Hochkonsistenzzerfaserung, Grobreinigung, Grobsortierung, 1. Flotation, Feinreinigung und Feinsortierung, Eindickung, Dispergierung, 2. Flotation, Eindickung und Stoffbevorratung (siehe Abbildung 1). Würde für Standard-Zeitungsdruckpapier nur Altpapier der Sorte 1.11 gemäß [2] eingesetzt, wäre die typische Aufbereitungsanlage für Standard-Zeitungsdruckpapier mit mehr Prozessstufen ausgestattet als eigentlich erforderlich.

¹ Seit 2014 gibt es eine neue Version der DIN EN 643, die DIN EN 643:2014-05: . Im Bearbeitungszeitraum der Projekts lag aber nur die Version DIN EN 643:2002-03 aus dem Jahre 2002 vor. Daher bezieht sich das Projekt nur auf die alte Version DIN EN 643:2002-02.

Auf Basis dieser Informationen wird vermutet, dass die Produktion einfacher grafischer Papiererzeugnisse, wie z. B. Standard-Zeitungsdruckpapier, mit Altpapier der Sorte 1.02 möglich ist. Sollte dies der Fall sein, könnten die Hersteller einfacher grafischer Papiere durch den Einsatz von Altpapier der Sorte 1.02 eine neue Rohstoffquelle erschließen und ggf. Rohstoffkosten einsparen.

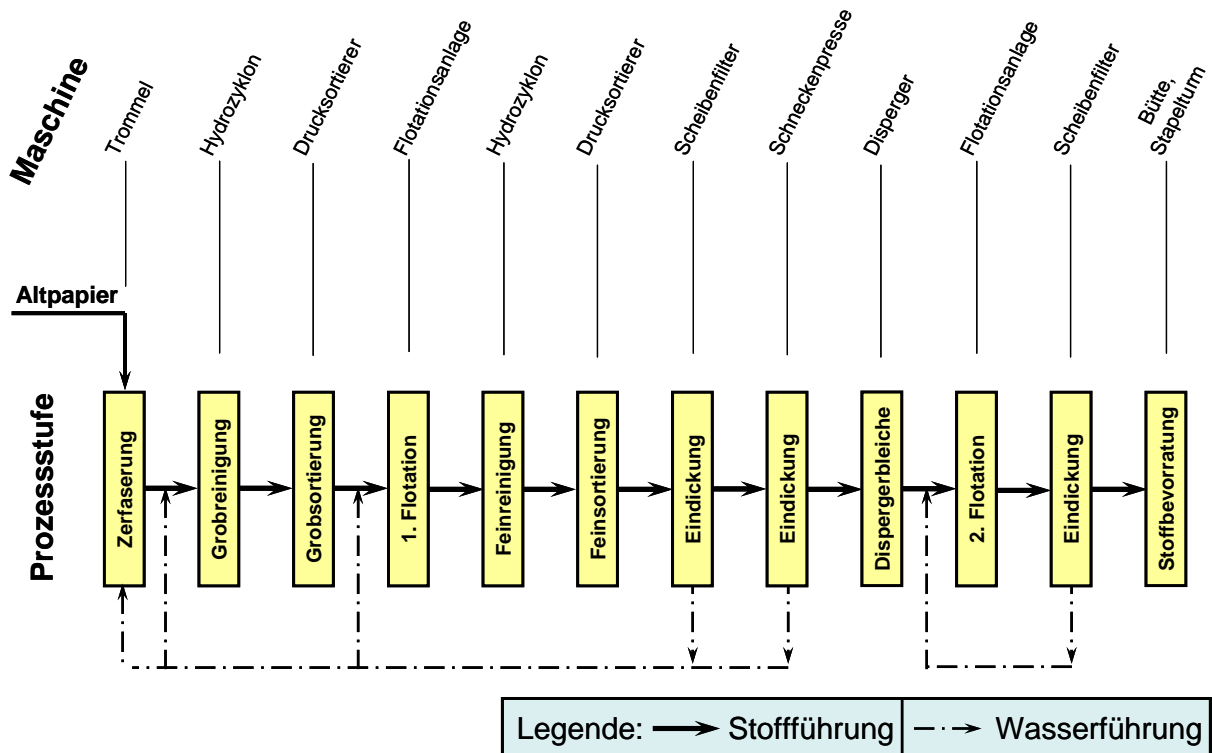


Abbildung 1: Fließschema einer typischen Altpapieraufbereitungsanlage zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier



2 Stand der Forschung

Eine Literaturrecherche zum Einsatz gemischten Altpapiers für die Herstellung grafischer Papiere und dem Einfluss nicht-grafischer Papiere auf die optischen Eigenschaften von Altpapierstoff liefert lediglich zwei Quellen.

Tschirner und Wang [5] untersuchen unter anderem die optischen Eigenschaften von Altpapierstoff aus 90 % grafischen Papieren und 10 % Wellpappenkartonagen. Durch eine Bleiche mit 2 % Wasserstoffperoxid kann für die betrachteten Mischungen eine Weißsteigerung in Höhe von 9 - 11 %-Punkten erzielt werden. Allerdings liegt das absolute Weißgradniveau mit 59 - 63 % niedriger als das Niveau einer ungebleichten Mischung aus rein grafischen Papieren (64 - 70 %).

In [6] wird der Einfluss verschiedener Verpackungsmaterialien auf die optischen Eigenschaften von Deinkingstoff untersucht. Es werden einstufige Labordeinkingversuche, halbertechnische Versuche mit zweistufiger Flotation und Dispergerbleiche und anschließende Laborbleichversuche durchgeführt.

Es wird gezeigt, dass durch die Zugabe von Verpackungsmaterialien zu einer grafischen Altpapiermischung, der Weißgrad des Deinkingstoffs gesenkt wird und eine Verschiebung des Farborts in Richtung rötlich-gelblich stattfindet. Eine Bleiche kann diese Effekte zum Teil kompensieren. Es wird außerdem qualitativ festgestellt, dass sich die Anzahl der Melierfasern mit steigendem Anteil an Verpackungen erhöht.

Die einstufigen Labordeinkingversuche ergeben, dass Wellpappe die optischen Eigenschaften des Deinkingstoffs stärker verschlechtert als Vollpappe. Bei Zugabe von Wellpappe zu einer grafischen Altpapiermischung reduziert sich der Weißgrad pro 1 % Wellpappe um 0,5 %-Punkte.



3 Zielstellung

Übergeordnetes Ziel des Projekts ist es, Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Altpapier der Sorte 1.02 zur Herstellung einfacher grafischer Papiere zu ermitteln. Dabei liegt der Fokus der Betrachtungen auf den optischen Eigenschaften der erzeugten Papiere. Um das Projektziel weiter einzugrenzen, soll nur ein Beispiel für ein einfaches grafisches Papier berücksichtigt werden. Als Beispiel wird Standard-Zeitungsdruckpapier gewählt, da es mit einem Anteil von 22 % an der deutschen Produktion grafischer Papiere (Jahr 2011) eine hohe Bedeutung aufweist [7].

Aus dem übergeordneten Ziel werden zwei Teilziele abgeleitet. Das erste Teilziel ist es, den Einfluss nicht-grafischer Papiere auf die optische Qualität von Deinkingstoff quantitativ und systematisch zu ermitteln.

Das zweite Teilziel besteht darin, folgende Hypothese zu prüfen: Durch einen typischen Aufbereitungsprozess für Standard-Zeitungsdruckpapier (siehe Abbildung 1) ist auch mit Altpapier der Sorte 1.02 Deinkingstoff erzeugbar, der sich für die Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier eignet.

Sollte sich die Hypothese bestätigen, ergibt sich ein drittes Teilziel: das Aufzeigen der notwendigen Prozessbedingungen und dem damit verbundenen finanziellen Aufwand.

4 Vorgehen

4.1 Teilprojekt 1

Folgender Lösungsweg wird zum Erreichen des Teilziels 1 gewählt.

Als erster Schritt wird eine Recherche zu den am häufigsten im Altpapier der Sorte 1.02 vorkommenden nicht-grafischen Papieren durchgeführt.

Auf Basis der Rechercheergebnisse wird eine Auswahl an zu untersuchenden nicht-grafischen Papieren getroffen. Von diesen nicht-grafischen Papierprodukten werden Proben beschafft. Die Proben werden in Mischungen mit grafischen Papieren einstufigen Deinkingversuchen unterzogen. Es werden Versuche mit unterschiedlichen Massenanteilen an nicht-grafischen Papieren durchgeführt. Einige Mischungen enthalten nur eine Sorte nicht-grafischer Papiere, weitere Mischungen werden so gewählt, dass sie verschiedene nicht-grafische Papierprodukte enthalten.

Die Versuchsergebnisse werden anschließend genutzt, um empirische Modelle der Deinkingstoffqualität zu erstellen.

4.2 Teilprojekt 2

Um das Teilziel 2 und ggf. das Teilziel 3 zu erreichen wird folgendermaßen vorgegangen.

Zuerst werden die notwendigen optischen Eigenschaften von Deinkingstoff, der zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier geeignet ist, ermittelt. Anschließend werden verschiedene Altpapiermischungen, die der Sorte 1.02 zuzuordnen sind, einem Laboraufbereitungsprozess unterzogen, welcher sich an einem typischen Aufbereitungsprozess für Standard-Zeitungsdruckpapier orientiert. Durch Variation von Prozessparametern werden für die Altpapiermischungen gute Prozesseinstellungen ermittelt. Am Ende wird eine Kostenbetrachtung vorgenommen.

5 Experimentelle Arbeiten zum Teilprojekt 1

Dieses Kapitel befasst sich mit den experimentellen Arbeiten zur Erfüllung des ersten Teilziels. Die Deinkingversuche werden vorbereitet, durchgeführt, ausgewertet und die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

5.1 Versuchsvorbereitung

Die Versuchsvorbereitung umfasst eine Recherche nicht-grafischer Papierprodukte im Altpapier der Sorte 1.02, die Auswahl und Beschaffung von Papierproben und die Zusammenstellung von Altpapiermischungen für die Versuche.

5.1.1 Recherche

Durch die Versuche in diesem Teil des Projekts soll der Einfluss verschiedener nicht-grafischer Papierprodukte auf die optischen Eigenschaften von Deinkingstoff untersucht werden. Es sind nur nicht-grafische Papierprodukte von Interesse, die auch in der Altpapiersorte 1.02 vorkommen. Außerdem kann nur eine begrenzte Menge an nicht-grafischen Papierprodukten betrachtet werden.

Um eine geeignete Auswahl treffen zu können, wird eine Recherche durchgeführt. Diese widmet sich drei Fragen:

- Welches sind die am häufigsten im Altpapier der Sorte 1.02 vorkommenden nicht-grafischen Papierprodukte?
- Welche Faserrohstoffe enthalten die häufigsten nicht-grafischen Papierprodukte?
- In welchen Verfahren werden sie üblicherweise bedruckt?

Die durch die Recherche gefundenen Quellen werden nachfolgend kurz zusammengefasst.

Weinert und Putz [3] zeigen, dass der Hauptanteil der nicht-grafischen Papierprodukte im Altpapier der Sorte 1.02 Verpackungen sind. Durchschnittlich sind enthalten: rund 60 % grafische Papiere, 15,5 % braune Wellpappen, 7,8 % weiß gedeckte Wellpappen, 5,8 % stark bedruckter Karton, 1,9 % grauer Karton, 1,7 % Verpackungspapiere, 1,0 % weißer Karton und rund 5 % papierfremde Bestandteile.

Aus [8] geht hervor, dass im Jahr 2009 in Deutschland 4.627.000 t Verpackungen aus Wellpappe und 2.031.000 t Verpackungen aus Karton und Vollpappe produziert wurden. Dies entspricht Anteilen von 70 % für Wellpappe und 30 % für Karton und Vollpappe.

Die Statistik des Verbandes FEFCO [9] gibt an, dass im Jahr 2009 in Deutschland 4.590.000 t Papier zur Wellpappenproduktion eingesetzt wurde. Davon waren 5,9 % weißer oder gefärbter Kraftliner, 14,4 % brauner Kraftliner, 38,4 % Testliner und 2,4 % andere Liner aus recyceltem Material. 36,6 % des Rohpapiers war Wellenstoff aus recyceltem Material, 2,3 % Fluting aus Halbzellstoff. Daraus ergibt sich, dass die Wellenpapiere für Wellpappe zu rund 95 % und die Deckenpapiere zu ca. zwei Dritteln aus Sekundärfasern bestehen

Nach einer Statistik von CEPI Cartonboard [10] wurden in Europa im Jahr 2009 hauptsächlich folgende Kartonsorten verkauft: ungefähr 500 t Solid Bleached Sulphate Board, 400 t Solid Unbleached Sulphate Board, 2.300 t Folding Boxboard und 3.700 t White Lined Chipboard. Folding Boxboard besteht aus Primärfasern und umfasst die Kartonsorten GC und UC nach DIN 19303 [11]. White Lined Chipboard besteht aus Sekundärfasern und umfasst die Kartonsorten GD, UD, GT und UT nach DIN 19303 [11]. Folglich betrug der Primärfaseranteil bei Karton ca. 55 %, der Sekundärfaseranteil ca. 45 %.

Der Marktanteil für Flexodruck betrug bei Wellpappe im Jahr 2004 80 % [12]. Bei Karton herrschte mit 80 % der Offsetdruck vor.

Zusammenfassend liefert die Recherche folgende Ergebnisse. Die wichtigsten nicht-grafischen Papierprodukte in Altpapier der Sorte 1.02 sind Wellpappenkisten und Verpackungskartons. Wellpappen gibt es hauptsächlich mit braunen, manchmal auch mit weißen Linern. Die Liner bestehen zu einem Drittel aus Primärfasern (Kraftliner) und zu zwei Dritteln aus Sekundärfasern (Testliner). Das Wellenpapier der Wellpappe besteht hauptsächlich aus Sekundärfasern. Das übliche Druckverfahren für Wellpappe ist Flexodruck.

Die wichtigsten Kartonsorten sind Folding Boxboard, welcher aus Primärfasern besteht, White Lined Chipboard, welcher aus Sekundärfasern besteht, und grauer Karton, welcher ebenfalls aus Sekundärfasern besteht. Das übliche Druckverfahren für diese Kartonsorten ist der Offsetdruck.

5.1.2 Auswahl und Beschaffung der Verpackungsprodukte

Auf Basis der Rechercheergebnisse werden folgende Verpackungsarten für die Versuche des Teilprojekts ausgewählt und Verpackungsproben direkt beim Hersteller bzw. Verarbeiter beschafft:

- braune Wellpappe mit Linern aus Primärfasern (Wellpappe braun primär),
- weiß gedeckte Wellpappe mit Linern aus Primärfasern (Wellpappe weiß primär),
- braune Wellpappe mit Linern aus Primär- und Sekundärfasern (Wellpappe braun primär und sekundär),
- weiß gedeckte Wellpappe mit Linern aus Primär- und Sekundärfasern (Wellpappe weiß primär und sekundär),
- braune Wellpappe mit Linern aus Sekundärfasern (Wellpappe braun sekundär),
- weiß gedeckte Wellpappe mit Linern aus Sekundärfasern (Wellpappe weiß sekundär),
- Graukarton,
- gestrichener Primärfaserkarton (Karton GC),
- gestrichener Sekundärfaserkarton (Karton GD),
- ungestrichener Sekundärfaserkarton (Karton UD).

Fotos der beschafften Verpackungsproben finden sich im Anhang A.1.1. Alle Wellpappenproben bestehen im Fluting aus Sekundärfasern und sind im Flexo-Verfahren bedruckt. Alle Kartons sind im Offset-Verfahren bedruckt.

5.1.3 Auswahl und Beschaffung der grafischen Papierprodukte

Die ausgewählten Verpackungsarten sollen in Mischungen mit grafischen Papierprodukten untersucht werden. Aufgrund der Datenlage aus [3] werden als grafische Papierprodukte Zeitungen, Illustrierte und und holzfreie, weiße Druckerzeugnisse (Büropapiere) ausgewählt. Es werden Papierproben beschafft und geschreddert. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Proben.

Tabelle 1: Grafische Papierproben

Art	gestrichen	Druckverfahren
Zeitungen	nein	Offsetdruck
Illustrierte 1	nein	Offsetdruck
Illustrierte 2	ja	Tiefdruck
Büropapiere	nein	Laserdruck, schwarz – weiß

5.1.4 Mischungen

Die Altpapiermischungen in diesem Teilprojekt sollen eine systematische Analyse des Einflusses von Verpackungsprodukten ermöglichen. Daher werden zwei Grundtypen von Mischungen gewählt. Der erste enthält grafische Papiere und verschiedene Verpackungsarten. Der zweite enthält neben den grafischen Papierprodukten nur eine Verpackungsart

Die Mischungen vom Grundtyp 1 weisen eine ähnliche Zusammensetzung wie Altpapier der Sorte 1.02 auf. Die Zusammenstellung der Mischungen wird auf Basis der Datenlage aus dem Projekt [3] vorgenommen und ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Zusammensetzungen der Mischung 1 (M 1) entspricht ungefähr der mittleren Zusammensetzung von gemischtem Altpapier. Die Mischung 2 (M 2) weist ungefähr den maximal ermittelten Anteil von grafischem Papier auf und die Mischung 3 (M 3) ungefähr den minimal ermittelten Anteil. Die Mischungen 4 und 5 (M 4, M 5) werden so gewählt, dass ihr Anteil an grafischen Papieren zwischen den Mischungen 1, 2 und 3 liegt.

Tabelle 2: Altpapiermischungen Grundtyp 1: prozentuale Anteile

	M 2	M 4	M 1	M 5	M 3
Zeitungen	25	20	15	15	10
ungestrichene Illustrierte	10	10	10	5	5
gestrichene Illustrierte	30	25	25	20	15
Büropapiere	10	10	5	5	5
Wellpappe braun	10	15	25	30	35
Wellpappe weiß gedeckt	10	5	10	10	15
stark farbig bedruckter Karton	5	10	5	10	10
Karton grau	0	5	5	5	5
Summe grafische Papiere	75	65	55	45	35
Summe Verpackungspapiere	25	35	45	55	65

Folgende der in den Abschnitten 5.1.2 und 5.1.3 beschriebenen Papierproben werden bei den Mischungen vom Grundtyp 1 verwendet:

- Zeitungen: Zeitungen,
- ungestrichene Illustrierte: Illustrierte 1,
- gestrichene Illustrierte: Illustrierte 2,
- Büropapiere: Büropapiere,
- Wellpappe braun: Wellpappe braun primär und sekundär,
- Wellpappe weiß gedeckt: Wellpappe weiß sekundär,
- Karton grau: Graukarton,
- stark farbig bedruckter Karton: jeweils zur Hälfte Karton GD und Karton GC.

Tabelle 3 zeigt die Altpapiermischungen vom Grundtyp 2. Durch die hohe Anzahl an Deinkingversuchen, die die Forschungsstelle bereits durchgeführt hat, ist bekannt, dass die

optischen Eigenschaften von Deinkingstoff aus rein grafischen Altpapiermischungen eine relativ große Bandbreite aufweisen. Um dies zu berücksichtigen, sind in den Mischungen vom Grundtyp 2 drei verschiedene grafische Ausgangsmischungen berücksichtigt. Die grafischen Ausgangsmischungen setzen sich zusammen aus den oben genannten Zeitungen und Illustrierten 1 und 2 in folgenden Verhältnissen:

- grafische Ausgangsmischung 1: Zeitungen 30 %, Illustrierte 1 35 %, Illustrierte 2 35 %,
- grafische Ausgangsmischung 2: Zeitungen 50 %, Illustrierte 1 25 %, Illustrierte 2 25 %,
- grafische Ausgangsmischung 3: Zeitungen 70 %, Illustrierte 1 15 %, Illustrierte 2 15 %.

Für jede der oben genannten Verpackungsarten werden Mischungsreihen aus den grafischen Ausgangsmischungen und den Verpackungen erstellt. Die Verpackungsanteile betragen 0, 3, 6 und 12 %. Dadurch können die Ergebnisse aus diesem Projekt leicht mit [6] verglichen werden. Es ergeben sich 93 Mischungen.

Tabelle 3: Altpapiermischungen Grundtyp 2: prozentuale Anteile der Verpackungen

Verpackungsart	grafische Ausgangsmischung Nr.		
	1	2	3
Wellpappe braun primär	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %
Wellpappe weiß primär	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %
Wellpappe braun primär und sekundär	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %
Wellpappe weiß primär und sekundär	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %
Wellpappe braun sekundär	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %
Wellpappe weiß sekundär	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %
Graukarton	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %
Karton GC	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %
Karton GD	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %
Karton UD	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %	3, 6, 12 %

5.2 Versuchsdurchführung und –auswertung

Es werden zwei Laboraufbereitungsmethoden einer einstufigen Flotation eingesetzt.

Die Methode 1 ist angelehnt an die *INGEDE Methode 11* [13]. Abgewichen von der *INGEDE Methode 11* wird nur dadurch, dass keine pH-Justierung nach der Zerfaserung vorgenommen wird. Es wird stattdessen immer die Standard-Rezeptur der Deinkingchemikalien eingesetzt. Die Flotationszelle *Voith Delta 25TM* wird verwendet. Alle Altpapiermischungen vom Grundtyp 1 werden mit dieser Methode doppelt untersucht. Und mit der reinen grafischen Ausgangsmischung Nr. 2 werden sieben Wiederholungsversuche zur Bewertung der Wiederholbarkeit durchgeführt.

Bei der Auswertung der Versuche mit der Methode 1 zeigt sich, dass der Deinkingstoff mit Verpackungen Stippen enthält (siehe Abschnitt 5.3.1). Um dies zu vermeiden, wird die zweite Aufbereitungsmethode entwickelt und bei den Mischungen vom Grundtyp 2 eingesetzt.

Die Methode 2 baut auf der Methode 1 auf und ist in Abbildung 2 dargestellt. Eine Änderung wird nur in der Zerfaserungsstufe vorgenommen. Um die einzelnen Verpackungsmaterialien zu homogenisieren, wird jede Verpackungssorte zunächst einzeln im Pulper ohne Chemikaliengabe zerfasert. Der so gewonnene Stoff wird den noch trockenen grafischen Papierprodukten zugegeben und die Mischung nach der *INGEDE Methode 11* zusammen zerfasert. Dieses Vorgehen sorgt dafür, dass bei fast allen Mischungen keine Stippen auftreten. Lediglich mit einer Verpackungsprobe (Wellpappe weiß primär) gibt es im Deinkingstoff noch Stippen.

Mit der Methode 2 werden alle Mischungen vom Grundtyp 2 einmal untersucht.

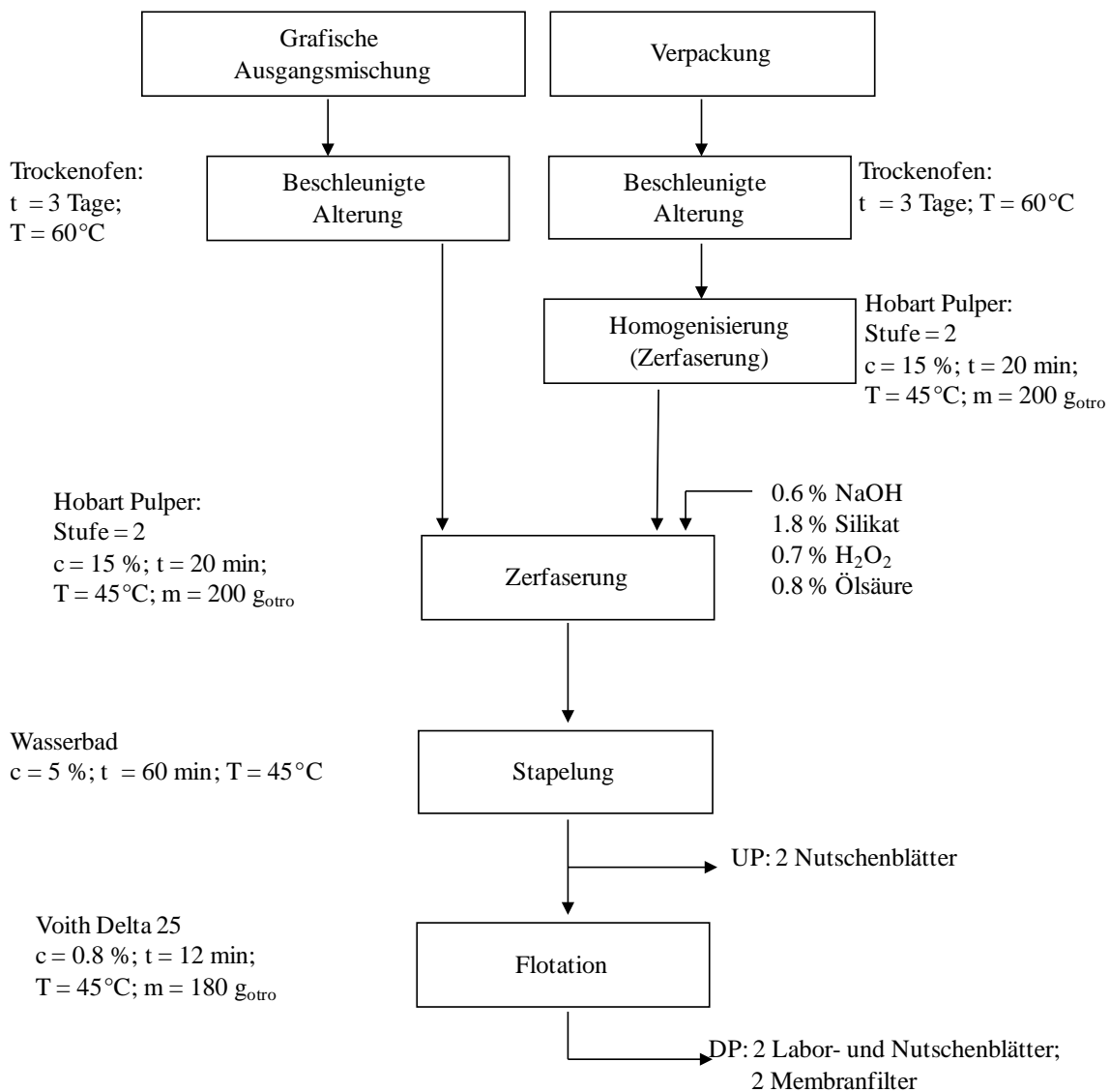


Abbildung 2: Aufbereitungsmethode 2

Die Auswertung der Versuche erfolgt anhand der gebildeten Nutschen- und Laborblätter sowie der Membranfilterproben. Folgende Parameter werden nach der *INGEDE Methode 2* [14] bestimmt:

- Hellbezugswert Y des deinkten Stoffs (Deinked Pulp - DP),
- L^* , a^* , b^* Farbkoeffizienten DP,
- Ink Elimination IE_{700} ,
- Filtratverdunkelung ΔY DP,

-
- Schmutzpunktfläche DP in zwei Kategorien: Schmutzpunkte größer als 50 µm und größer als 250 µm flächengleichem Kreisdurchmesser.

Zusätzlich erfolgt mit dem *DOMAS Melierfasertool* der *Papiertechnischen Stiftung* eine Melierfasermessung an den Laborblättern. Dabei werden jeweils Ober- und Siebseite eines Blatts analysiert und ein Mittelwert über zwei Blätter gebildet. Die Melierfaseranzahl und die Melierfaserlänge werden flächenbezogen bestimmt.

5.3 Versuchsergebnisse und Diskussion

5.3.1 Mischungen vom Grundtyp 1

Von den Ergebnissen der Flotationsversuche mit den Mischungen vom Grundtyp 1 (Aufbereitungsmethode 1) werden in diesem Abschnitt nur die wichtigsten gezeigt und diskutiert. Die vollständigen Ergebnisse finden sich im Anhang A.2.

Abbildung 3 zeigt für die Mittelwerte des Hellbezugswerts nach der Flotation aus den jeweils zwei Versuchen bei steigendem Verpackungsanteil. Bei diesen Versuchen wurden verschiedene Verpackungsarten eingesetzt. Wie zu erwarten sinkt der Hellbezugswert durch die Zugabe von Verpackungsmaterial ab. Dies wird dadurch erklärt, dass der Faserstoff der Verpackungen im Durchschnitt dunkler als der des eingesetzten grafischen Altpapiers ist.

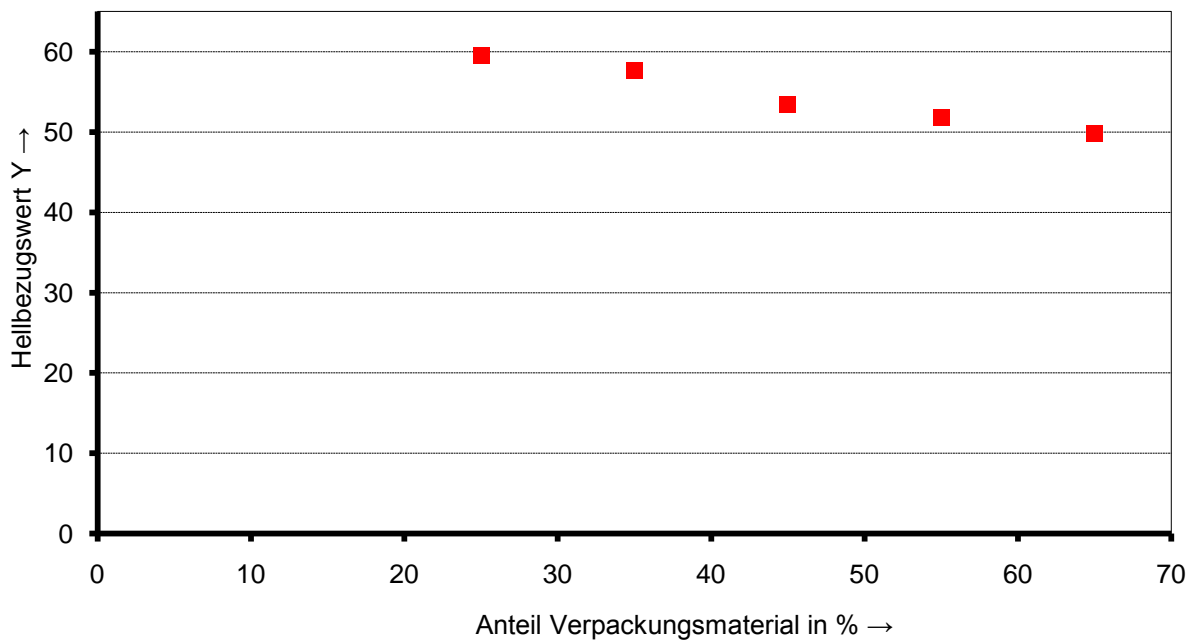


Abbildung 3: Hellbezugswert DP über dem Anteil an Verpackungsmaterial für die Mischungen vom Grundtyp 1

Der Farbort des Deinkingstoff verschiebt sich gemäß Abbildung 4 mit steigendem Verpackungsanteil in Richtung rötlich-gelblich. Ursache hierfür ist wahrscheinlich die Verpackungssorte Wellpappe, die einen braunen Farbton aufweist.

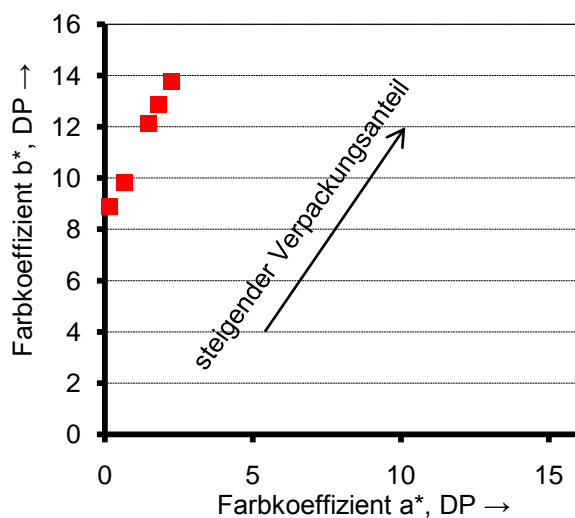


Abbildung 4: Farbort der Mischungen vom Grundtyp 1

Die Ink Elimination (siehe Abbildung 5) verschlechtert sich mit steigendem Verpackungsanteil. Die Ursache hierfür ist wahrscheinlich im Verpackungsprodukt Wellpappe zu suchen, da die eingesetzten Wellpappeproben im Flexoverfahren bedruckt sind.

Flexodruckfarben lassen sich durch eine Flotation schlechter entfernen als Offset- und Tiefdruckfarben sowie Trockentoner [15]. Die Druckfarbenpartikel werden schlechter durch den Flotationsschaum ausgetragen und verbleiben im Prozesswasser. Dadurch lässt sich auch die tendenziell steigende Filtratverdunkelung (siehe Abbildung 6) erklären. Bei der Filtratverdunkelung ist die relativ große Unsicherheit der Ergebnisse (siehe Abschnitt 5.3.3) zu berücksichtigen.

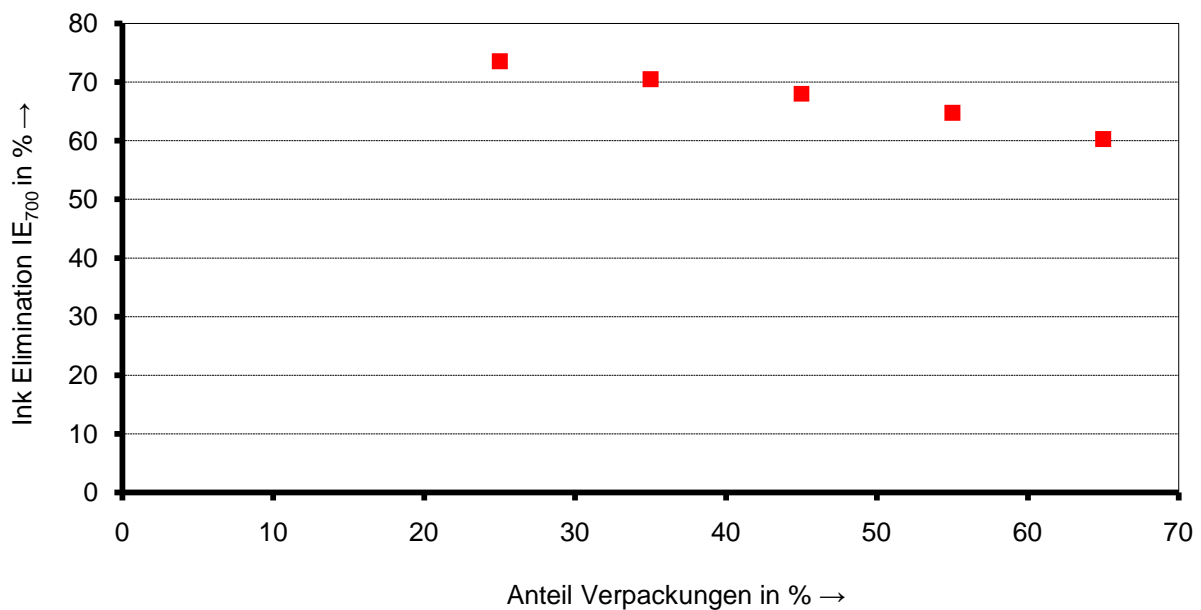


Abbildung 5: Ink Elimination der Mischungen vom Grundtyp 1

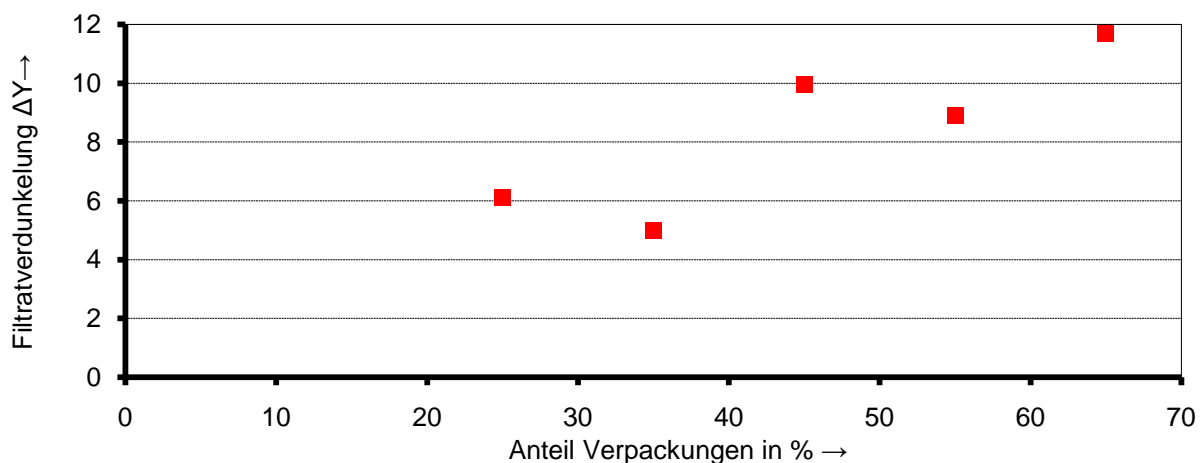


Abbildung 6: Filtratverdunkelung der Mischungen vom Grundtyp 1

Die Ergebnisse des Hellbezugswerts, der Farbkoeffizienten, der Ink Elimination und der Filtratverdunkelung sind folglich schlüssig und plausibel. Sie passen außerdem zu den Ergebnissen in [6].

Bei der Beurteilung der Schmutzpunkte gibt es hingegen ein Problem. Wie bereits oben erwähnt, sind im Deinkingstoff, und somit in den für die Messung hergestellten Blättern, Stippen enthalten. Es wird vermutet, dass die Stippen vom Messsystem *DOMAS* als Schmutzpunkte bewertet werden und dadurch die Analyse verfälscht wird. Durch eine Überprüfung des Messsystems in Abschnitt 5.4.1 kann diese Vermutung bestätigt werden. Die Ergebnisse der Schmutzpunktmessungen mit der Aufbereitungsmethode 1 sind somit aufgrund der Stippen zu verwerfen.

Um dieses Problem bei den Mischungen vom Grundtyp 2 zu umgehen, wird die Abschnitt 5.2 erläuterte Aufbereitungsmethode 2 entwickelt und auf diese angewendet.

Die Ergebnisse der Melierfasermessungen an den Mischungen vom Grundtyp 1 sind in Abbildung 7 dargestellt. Mit steigendem Anteil an Verpackungsmaterial sinkt die flächenbezogene Melierfaseranzahl. Zu erwarten wäre eigentlich, dass die Melierfaseranzahl mit dem Verpackungsanteil steigt. Denn Melierfasern sind ungebleichte oder gefärbte Fasern, die vor allem aus Verpackungsprodukten stammen. Erklären könnte man den Abfall der Melierfaseranzahl folgendermaßen: Mit steigenden Verpackungsanteilen wird der Faserstoff dunkler und erfährt eine Farbortverschiebung. Es könnte sein, dass gefärbte und ungebleichte Fasern vor diesem Hintergrund für das menschliche Auge weniger auffällig sind und daher nicht als Melierfasern hervortreten. Da das Messsystem für Melierfasern mit Schwellenwerten arbeitet, könnte es eine solche menschliche Wahrnehmung vielleicht simulieren.

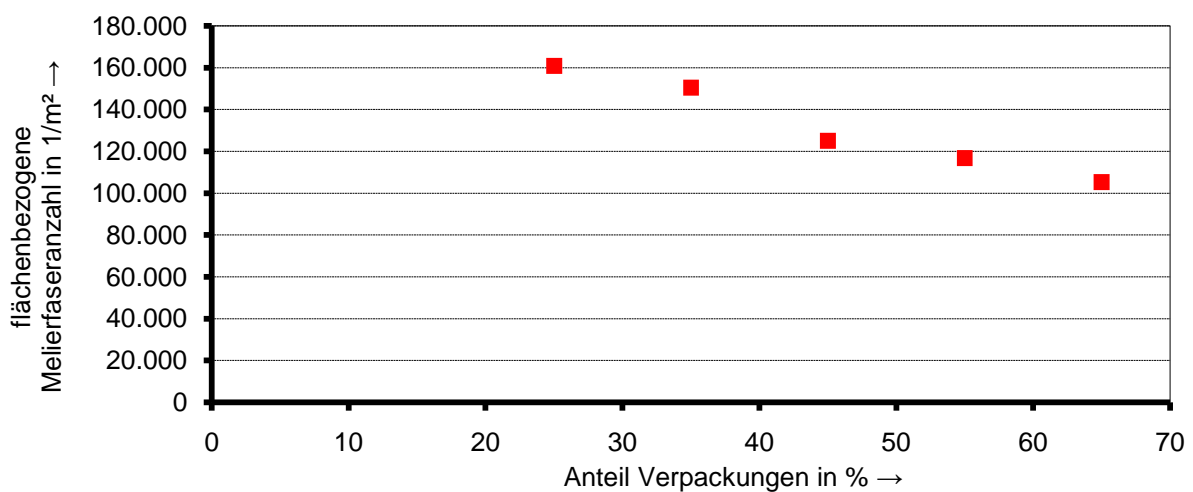



Abbildung 7: Flächenbezogene Melierfaseranzahl über dem Anteil an Verpackungsmaterial



Diese mögliche Erklärung wird in Abschnitt 5.4.2 überprüft. Es wird festgestellt, dass ein Mensch bei steigenden Anteilen ungebleichter und gefärbter Fasern zunächst einen Anstieg der Melierfaseranzahl später aber tatsächlich einen Abfall wahrnimmt. Das Messsystem für Melierfasern simuliert die menschliche Wahrnehmung für den Anwendungsfall dieses Projekts aber nicht mit ausreichender Qualität. Daher sind die Ergebnisse der Melierfasermessungen nicht zuverlässig und werden im übrigen Projekt von der Betrachtung ausgenommen.

5.3.2 Mischungen vom Grundtyp 2

Auch von den Ergebnissen der Flotationsversuche mit den Mischungen vom Grundtyp 2 (Aufbereitungsmethode 2) werden nachfolgend auch nur die wichtigsten gezeigt und diskutiert. Diese Mischungen enthalten jeweils nur eine Verpackungsart. Da die Ergebnisse der drei grafischen Ausgangsmischungen ähnlich ausfallen, werden an dieser Stelle beispielhaft nur die Ergebnisse der grafischen Ausgangsmischung 2 gezeigt. Die vollständigen Ergebnisse finden sich im Anhang A.2.

Die Abbildung 8, Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen den Hellbezugswert und die Farbkoeffizienten des flotierten Altpapierstoffs. Diese Ergebnisse werden nach der Modellierung im Abschnitt 6.2 im Detail betrachtet und Vergleiche zwischen den Verpackungsarten vorgenommen. An dieser Stelle wird daher nur grob auf die Ergebnisse eingegangen.

Übereinstimmend mit den Ergebnissen der Mischungen vom Grundtyp 1 (Abschnitt 5.3.1) wird der Hellbezugswert durch Zugabe von Verpackungen in der Tendenz leicht reduziert. Die Reduzierung fällt in Abhängigkeit von der Verpackungsart unterschiedlich stark aus. Auch der Farbort wird durch Zugabe von Verpackungen unterschiedlich stark verschoben.

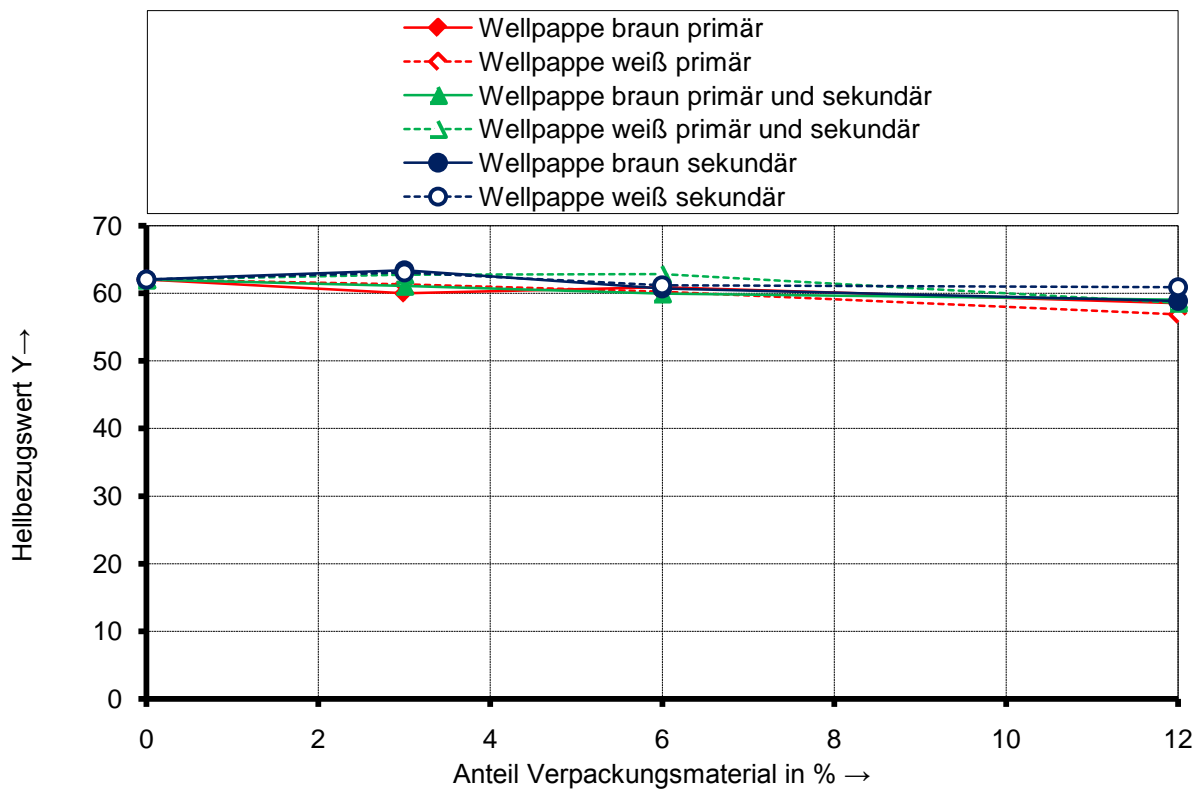


Abbildung 8: Hellbezugswert DP über dem Anteil an Verpackungsmaterial Wellpappe (grafische Ausgangsmischung 2)

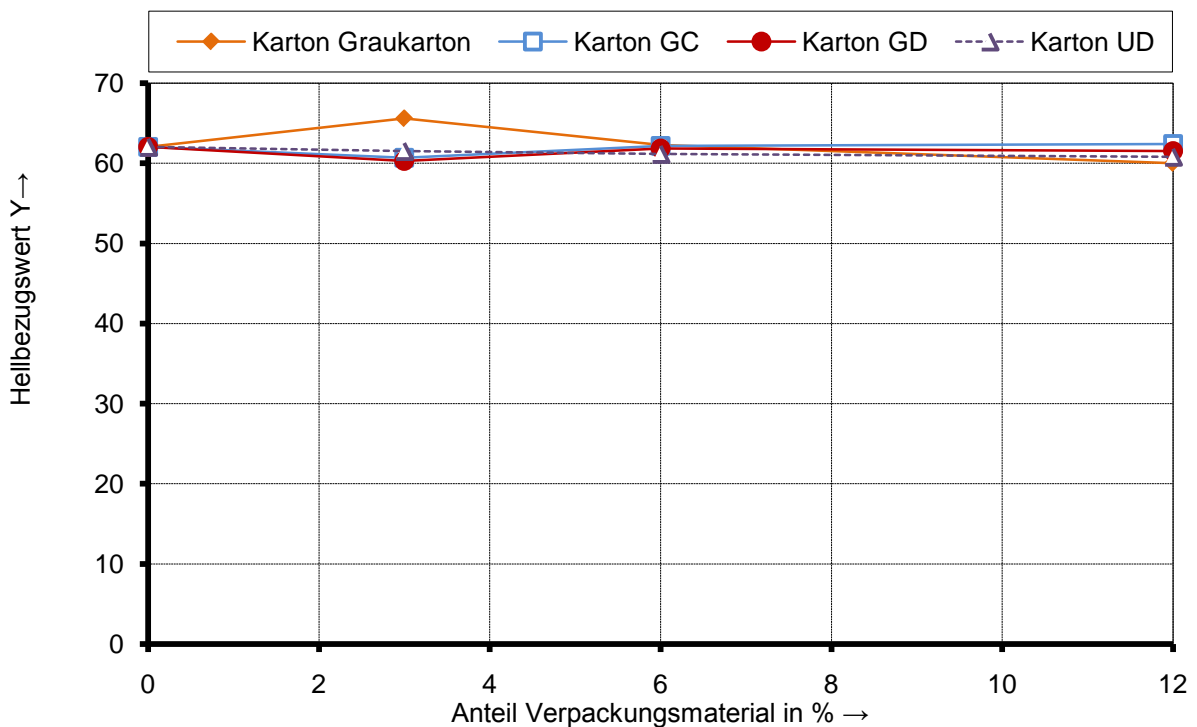


Abbildung 9: Hellbezugswert DP über dem Anteil an Verpackungsmaterial Karton (grafische Ausgangsmischung 2)

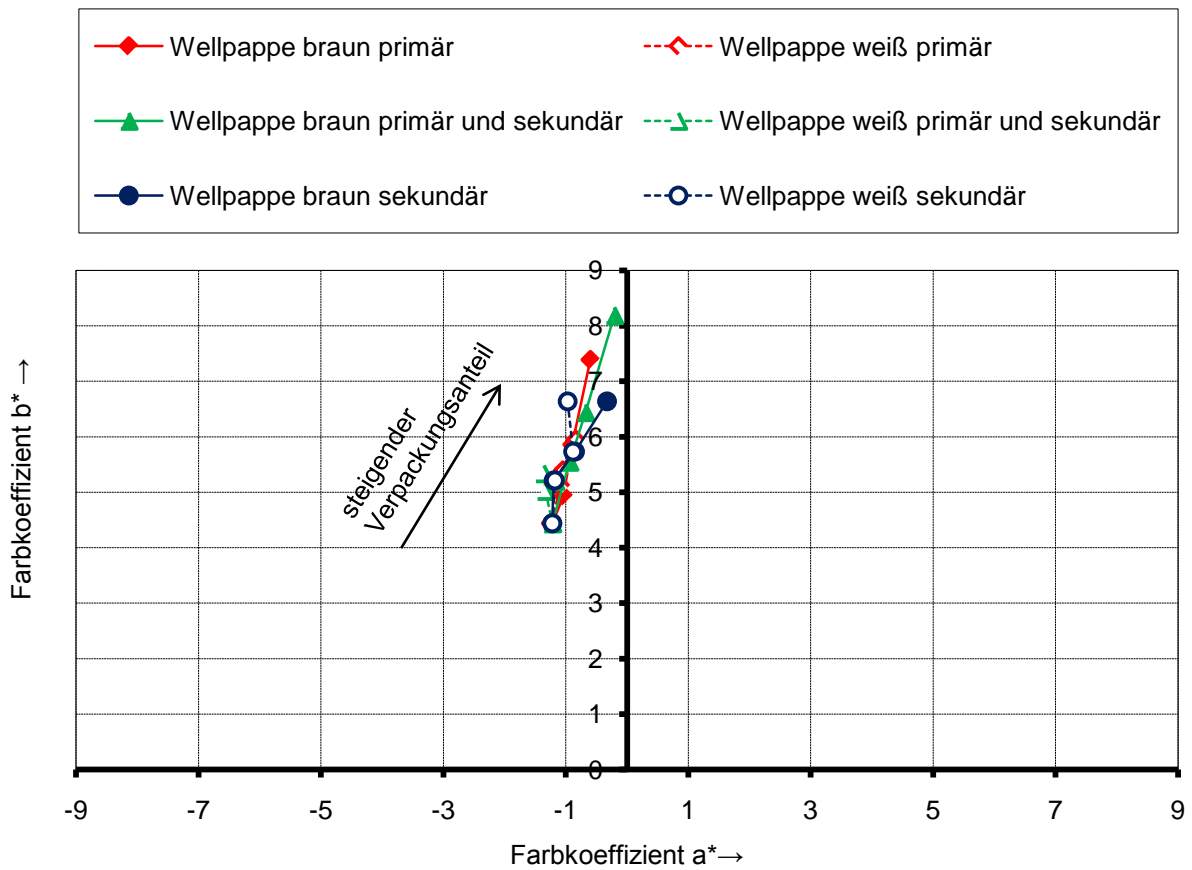


Abbildung 10: Farbort DP (grafische Ausgangsmischung 2, Wellpappe)

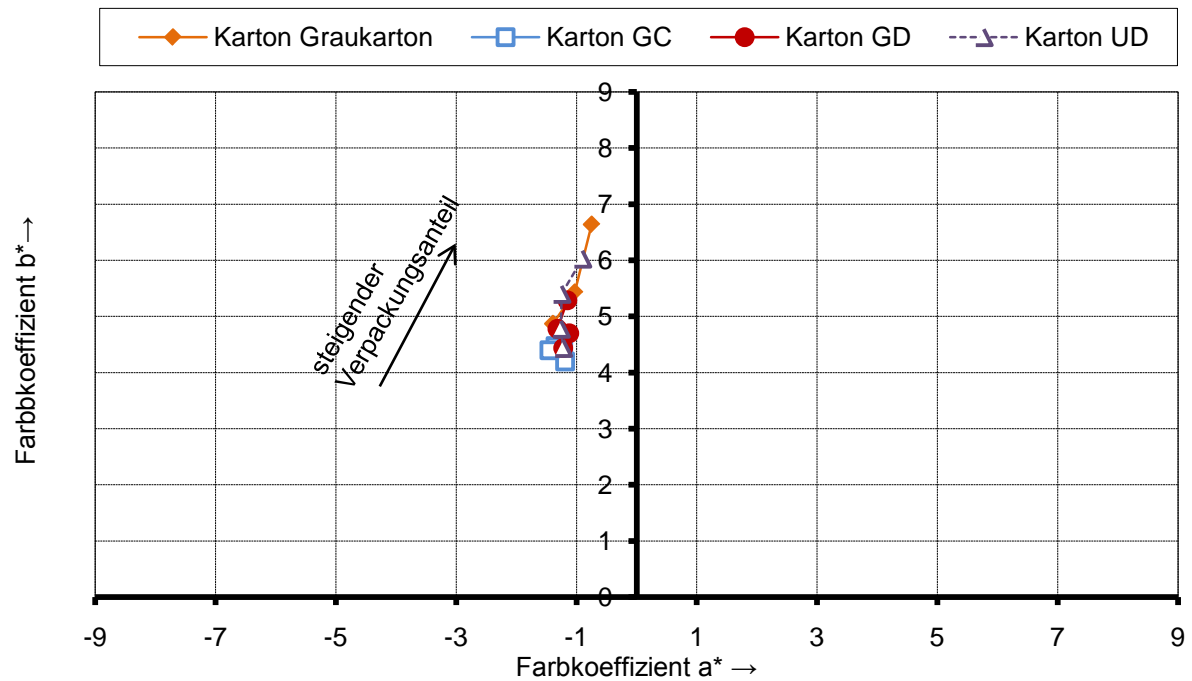


Abbildung 11: Farbort DP (grafische Ausgangsmischung 2, Karton)

Die Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen die Ink Elimination bei 700 nm, wobei zur besseren Erkennbarkeit der Nullpunkt unterdrückt ist. Zu beachten ist bei der Ink Elimination, dass die betrachteten Verpackungen zwei Quellen für Druckfarben enthalten können: die Druckfarbe auf der Verpackungsoberfläche und, wenn Sekundärfasern enthalten sind, Druckfarbe im Faserstoff, die beim vorangegangenen Recycling nicht entfernt wurde.

In Abbildung 12 und Abbildung 13 fällt auf, dass sich mit steigenden Verpackungsanteilen pro Verpackungsart nicht durchgängig steigende oder fallende Trends ergeben. Dies entspricht nicht den Erwartungen, denn pro Verpackungsart sollte sich eigentlich ein klarer Trend zeigen. Im nächsten Abschnitt (5.3.3) wird daher eine Fehlerbetrachtung vorgenommen. Diese zeigt, dass die durchgeführten Deinkingversuche nicht vernachlässigbaren Schwankungen unterliegen.

Tendenziell ist aber eine geringe Reduzierung der Ink Elimination bei Erhöhung des Verpackungsanteils zu beobachten. Dies bedeutet, dass Druckfarben etwas weniger gut entfernt werden. Diese Beobachtung kann auch bei den anderen beiden grafischen Ausgangsmischungen gemacht werden.

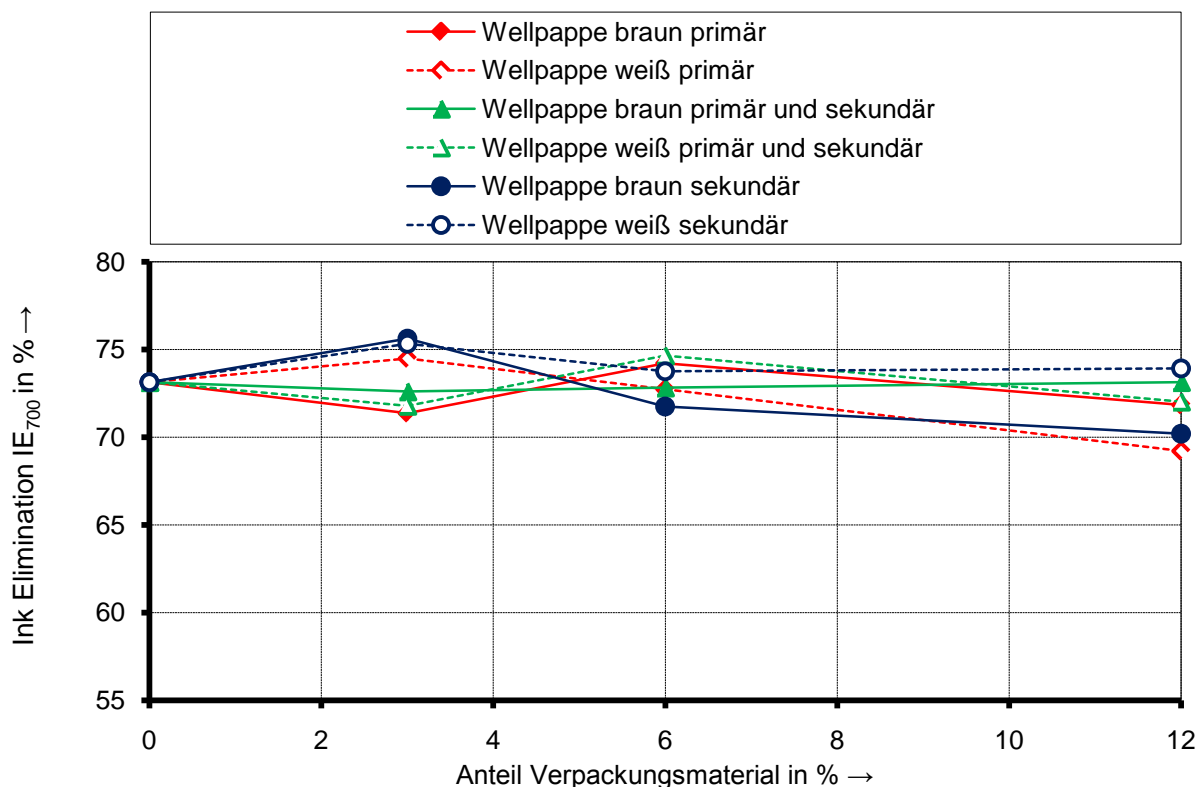


Abbildung 12: Ink Elimination bei 700 nm (grafische Ausgangsmischung 2, Wellpappe)

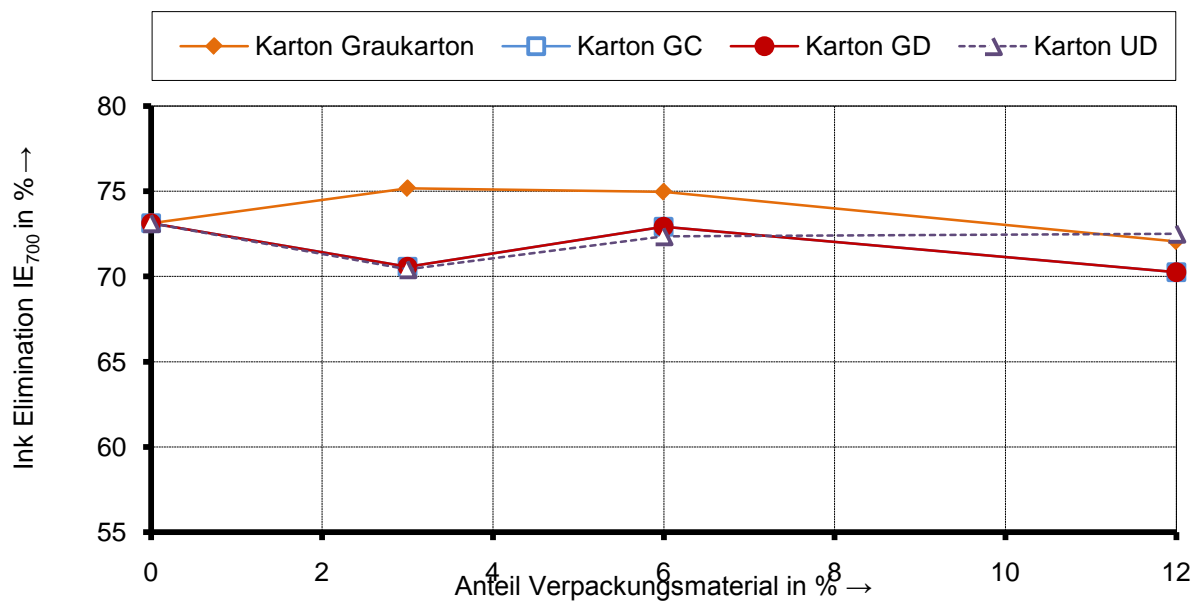


Abbildung 13: Ink Elimination bei 700 nm (grafische Ausgangsmischung 2, Karton)

Auch die Ergebnisse der Filtratverdunkelung unterliegen, wie in der Fehlerbetrachtung gezeigt (siehe Abschnitt 5.3.3), relativ großen Unsicherheiten. Zusammenfassend kann man aber sagen, dass bei den meisten Versuchen die Filtratverdunkelung unter einem Wert von 8 liegt (siehe Anhang A.2). Ansonsten lässt sich in den Ergebnissen keine Regelmäßigkeit erkennen. Laut dem *Deinkability-Score* der *INGEDE* [16] ist ein Druckprodukt dann deinkbar, wenn der Wert der Filtratverdunkelung unter 18 liegt. Als Ziel wird ein Wert von ≤ 6 angegeben. Bei keinem Versuch tritt eine Filtratverdunkelung auf, die nahe an oder über der Schwelle von 18 liegt. Als maximaler Wert tritt bei einem Versuch 12,6 auf. Viele Versuche bewegen sich im Bereich des Zielwerts von ≤ 6 und sind daher bezüglich der Filtratverdunkelung unkritisch.

In Abbildung 14 und Abbildung 15 sind Ergebnisse der Schmutzpunktmessungen dargestellt. Die Verpackungssorte Wellpappe weiß primär wurde von den Ergebnissen ausgenommen, weil trotz der Aufbereitungsmethode 2 Stippen auftreten. Auch die Ergebnisse der Schmutzpunktmessungen werden nach der Modellierung im Abschnitt 6.2 im Detail betrachtet und Vergleiche zwischen den Verpackungsprodukten vorgenommen. An dieser Stelle kann zusammenfassend Folgendes festgehalten werden:

Bei den Schmutzpunkten unterliegen die durchgeführten Versuche großen Unsicherheiten (siehe Abschnitt 5.3.3), sodass sich pro Verpackungsart nicht durchgängig steigende oder fallende Trends ergeben.

Bei allen Versuchen liegt aber die gesamte Schmutzpunktfläche der Schmutzpunkte $> 50 \mu\text{m}$ deutlich unter dem Zielwert des *Deinkability-Scores* von $\leq 600 \text{ mm}^2/\text{m}^2$. Auch bei den Schmutzpunkten ab $250 \mu\text{m}$ Durchmesser wird der Zielwert ($\leq 180 \text{ mm}^2/\text{m}^2$) bei keinem Versuch überschritten. Die Zugabe von Verpackungen beeinflusst die gemessene Schmutzpunktfläche tendenziell nur wenig. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass bei der Schmutzpunktmessung auch Faserbündel und Teile von Melierfasern mit erfasst werden. Dies wird bei der Überprüfung der Messmethode für die Schmutzpunkte (siehe Abschnitt 5.4.1) deutlich.

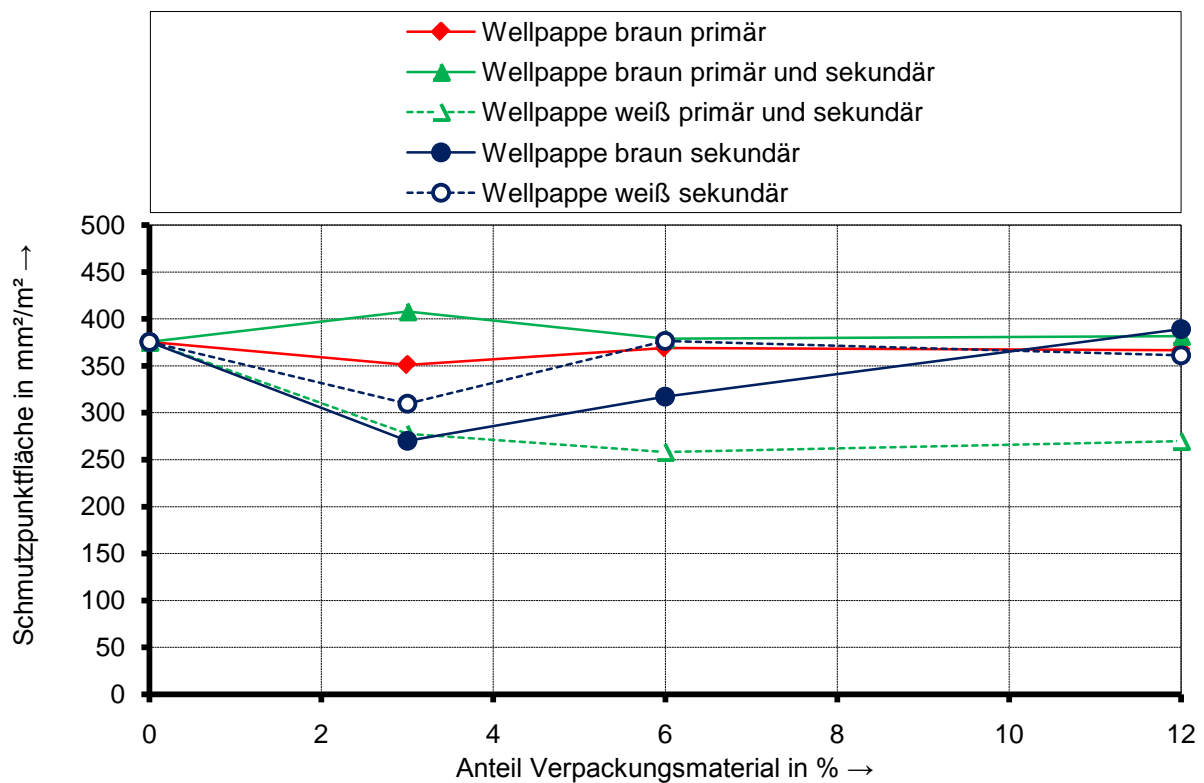


Abbildung 14: Flächenbezogene Schmutzpunktfläche DP der Schmutzpunkte größer $50 \mu\text{m}$ über dem Anteil an Verpackungsmaterial Wellpappe (grafische Ausgangsmischung 2)

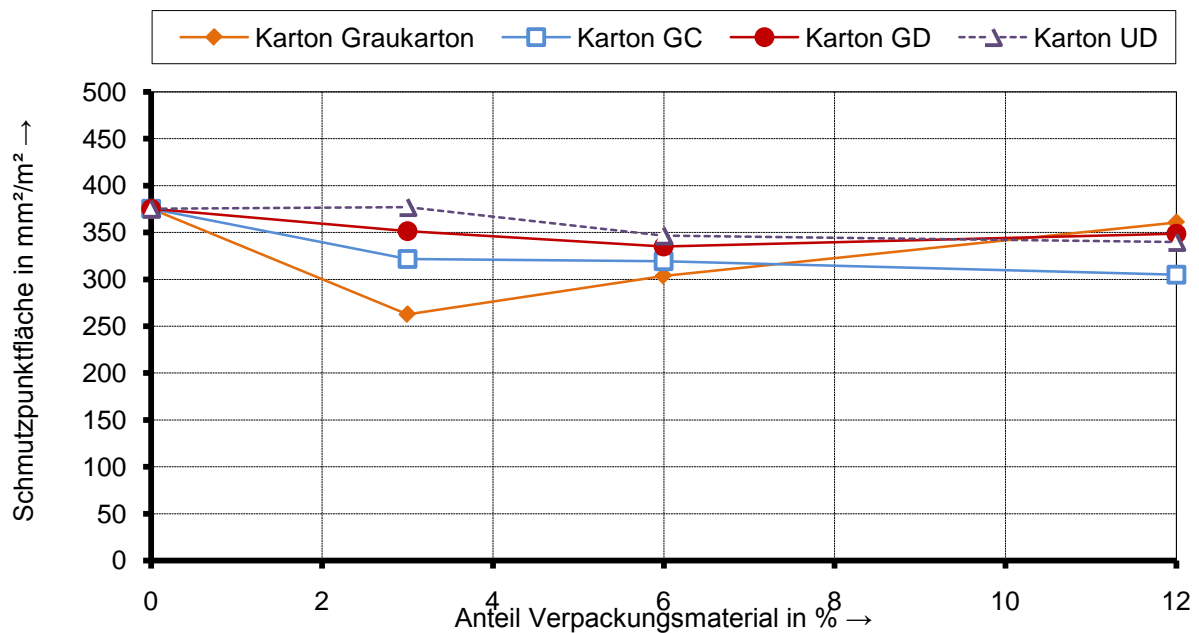


Abbildung 15: Flächenbezogene Schmutzpunktfläche DP der Schmutzpunkte größer 50 μm über dem Anteil an Verpackungsmaterial Karton (grafische Ausgangsmischung 2)

5.3.3 Fehlerbetrachtung

Aufgrund des hohen Aufwands für die Flotationsversuche können nicht alle Versuche dieses Teilprojekts mehrfach wiederholt werden. Somit kann nicht für alle Versuchspunkte eine statistische Fehlerrechnung durchgeführt werden. Um trotzdem eine grobe Abschätzung über die Größe möglicher Unsicherheiten der Versuche treffen zu können, wird der Versuch mit der reinen grafischen Ausgangsmischung 2 insgesamt sieben Mal durchgeführt. Für jeden Parameter wird die doppelte Standardabweichung 2σ , die einer 95-prozentigen Wahrscheinlichkeit der Realisierungen entspricht, berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 und Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 4: Hellbezugswert und L*, a*, b* Farbkoeffizienten der Versuche mit der grafischen Ausgangsmischung 2

Versuch Nr.	Y	L*	a*	b*
1	62,05	82,94	-1,22	4,44
2	60,26	81,98	-0,93	5,06
3	60,99	82,37	-1,08	4,90
4	61,67	82,74	-1,17	5,17
5	61,56	82,68	-1,24	4,56
6	62,03	82,93	-1,26	5,16
7	62,17	83,00	-1,13	5,31
2σ	1,38	0,74	0,23	0,66

Tabelle 5: Ink Elimination, Filtratverdunkelung, und Schmutzpunktfläche der Versuche mit der grafischen Ausgangsmischung 2

Versuch Nr.	IE ₇₀₀ in %	ΔY	Schmutzpunktfläche > 50 μm in mm ² /m ²	Schmutzpunktfläche > 250 μm in mm ² /m ²
1	73,1	3,65	375	48
2	71,0	5,28	339	38
3	73,2	3,66	341	38
4	73,7	3,93	349	38
5	71,9	3,89	631	109
6	72,1	3,84	310	33
7	74,8	1,04	288	40
2σ	2,5	2,53	232	54

Die Ergebnisse zeigen, dass die Parameter der Flotationsversuche teilweise erheblichen Schwankungen unterliegen. Beispielsweise ist bei der Schmutzpunktfläche und der Filtratverdunkelung die Unsicherheit der Versuchsergebnisse besonders groß. Es liegt damit eine Erklärung dafür vor, dass die in den vorangegangenen Abschnitten gezeigten Ergebnisse nicht immer eindeutige Trends aufweisen.

Die Ursachen für die Schwankungen könnten in der Versuchsdurchführung oder der Analyse zu finden sein. Mit langjähriger Erfahrung der projektdurchführenden Stelle in der

Anwendung der Analysemethoden ist aber bekannt, dass die Analyseungenauigkeit im Vergleich zu Ungenauigkeiten bei der Versuchsdurchführung vernachlässigbar ist.

Folgende Unsicherheiten bei der Versuchsdurchführung könnten einen relevanten Einfluss auf die Ergebnisse haben:

- Druckfarbengehalt der eingebrachten Altpapiermischung,
- relative Anteile der Altpapiermischungsbestandteile,
- Ausbeute bei der Flotation,
- Probenahme aus dem Altpapierstoff zur Herstellung von Blättern.

5.4 Überprüfung der Messmethoden für Melierfasern und Schmutzpunkte

Schmutzpunkte und Melierfasern sind Bestandteile von Faserstoffen, die im gebildeten Blatt optische Inhomogenitäten verursachen. Dadurch wirken Sie auf den Betrachter störend. Die Qualität grafischer Papiere sinkt mit steigender Anzahl an Schmutzpunkten und Melierfasern. Die Methoden, die in diesem Projekt zur Messung von Schmutzpunkten und Melierfasern zum Einsatz kommen, basieren auf bildanalytischen Messungen. Es steht das weit verbreitete Messsystem *DOMAS* der *Papiertechnischen Stiftung* mit Paketen zur Schmutzpunkt- und zur Melierfaserbestimmung zur Verfügung. Die Eignung dieser Methoden für dieses Projekt wird im Folgenden überprüft.

5.4.1 Schmutzpunkte

Wie in Abschnitt 5.3.1 beschrieben weisen einige der in diesem Teilprojekt gebildeten Blätter Stippen auf. Es stellt sich daher die Frage, ob Stippen in der Schmutzpunktmessung berücksichtigt werden oder nicht.

Zur Beantwortung dieser Frage werden einzelne Laborblätter mit Stippen mit dem *DOMAS*-System vertieft analysiert. Dazu werden zum einen mit dem Scanner des Systems Farbbilder aufgenommen und zum anderen Analysebilder der Software, die üblicherweise nach einer Messung verworfen werden, gespeichert. Diese Bilder werden pro Blatt miteinander verglichen.

Abbildung 16 zeigt für einen Ausschnitt eines Laborblatts mit Stippen das Farbbild und das Analysebild. Im Analysebild ist durch rote Umrandung markiert, welche Bereiche das System

als Schmutzpunkte wertet. Man erkennt, dass Teile der Stippen von dem System als Schmutzpunkt gewertet werden.

Beim Vergleich der Analyse- und Farbbilder wird noch eine weitere Erkenntnis gewonnen. Nicht nur Stippen werden als Schmutzpunkte gewertet, sondern auch kleine Faserbündel und Teile von dunklen Melierfasern. Dies wird durch Abbildung 17 und Abbildung 18 verdeutlicht.

Man kann daher zusammenfassend sagen, dass die Methode der Schmutzpunktmessung neben Schmutzpunkten durch Druckfarben auch andere optische Inhomogenitäten, wie z. B. Stippen, Faserbündel und Teile von Melierfasern, erfasst.

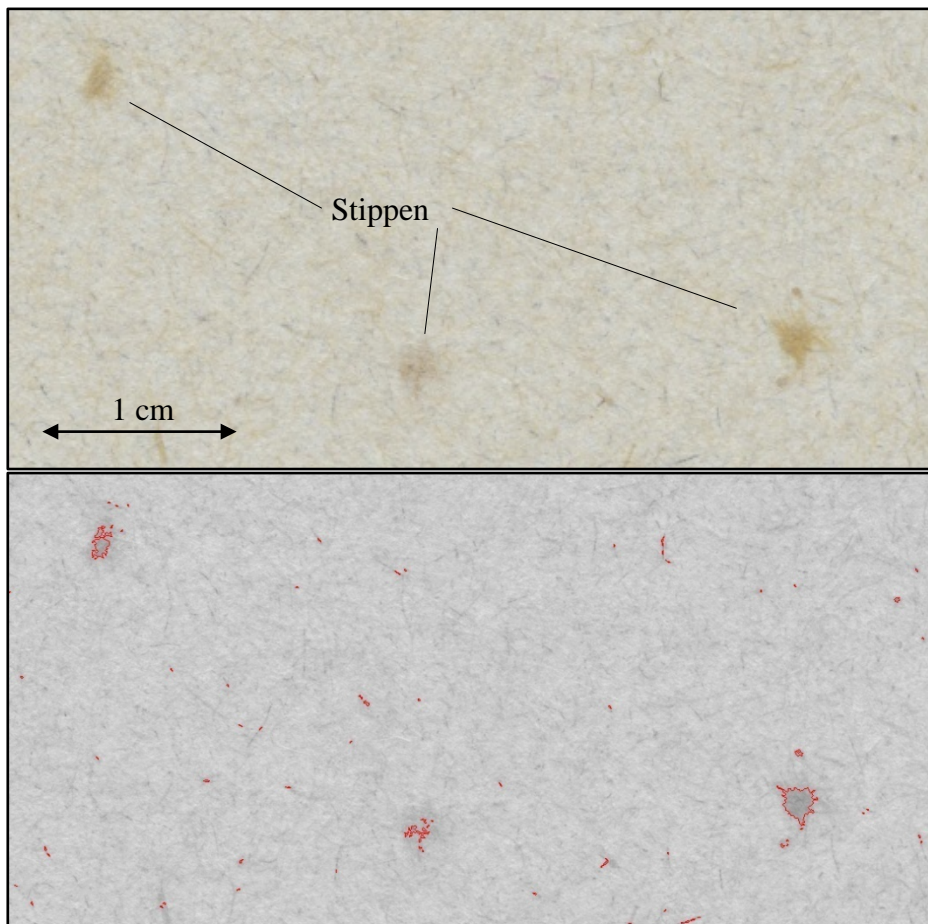


Abbildung 16: Ausschnitt eines Farbbilds mit Stippen (oben) und Analysebild der Schmutzpunktmessung (unten) für ein Laborblatt mit 12 % Wellpappe braun primär

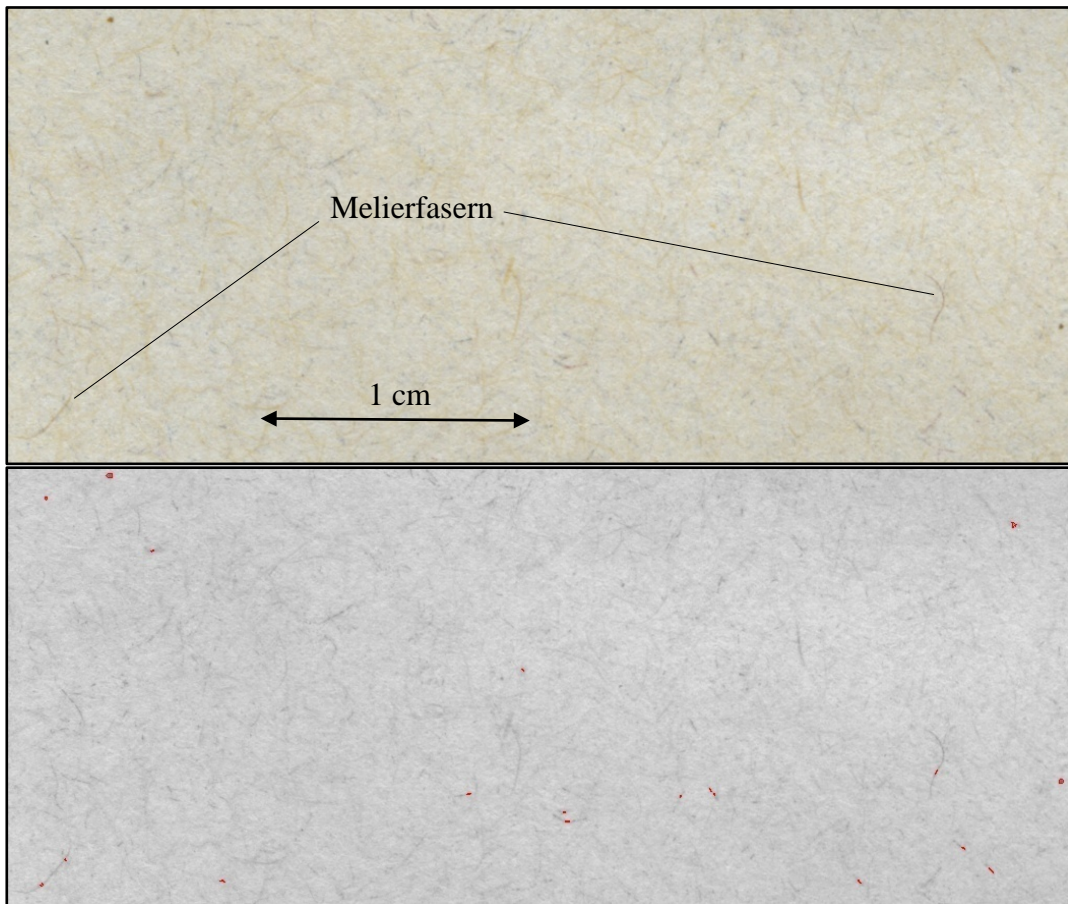


Abbildung 17: Ausschnitt eines Farbbilds mit Melierfasern (oben) und Analysebild der Schmutzpunktmessung (unten) für ein Laborblatt mit 12 % Wellpappe braun primär

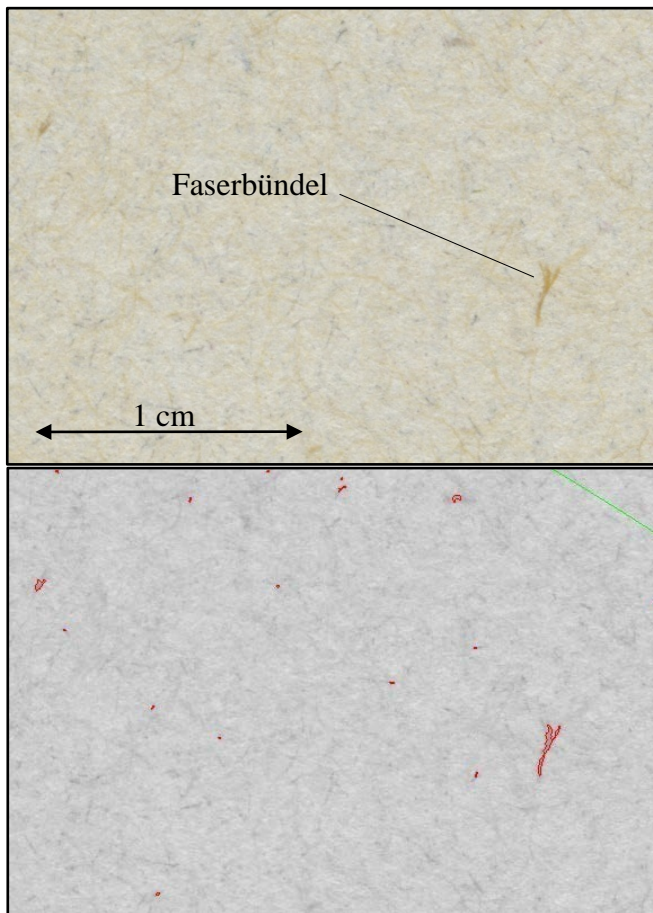


Abbildung 18: Ausschnitt eines Farbbilds mit Faserbündel (oben) und Analysebild der Schmutzpunktmessung (unten) für ein Laborblatt mit 12 % Wellpappe braun primär

5.4.2 Melierfasern

In Abschnitt 5.3.1 kommen Zweifel an der Messmethode der Melierfasern auf. Der Hersteller des Messsystems empfiehlt, die Methode mit manuell zu analysierenden Mikroskopbildern zu überprüfen. Dazu wird folgendermaßen vorgegangen.

Zuerst werden Mischungen trockener Faserrohstoffe erstellt. Die verwendeten Mischungen sind

- gebleichter Kiefersulfatzellstoff mit ungebleichtem Kiefersulfatzellstoff in den Anteilen 0, 1, 3, 6, 12, 20, 25, 30, 35 %,
- Standard-Zeitungsdruckpapier mit ungebleichtem Kiefersulfatzellstoff in den Anteilen 0, 1, 3, 6, 12, 20, 25, 30, 35 %,

- Standard-Zeitungsdruckpapier mit brauner Wellpappe in den Anteilen 0, 1, 3, 6, 12, 20, 25, 30, 35 %.

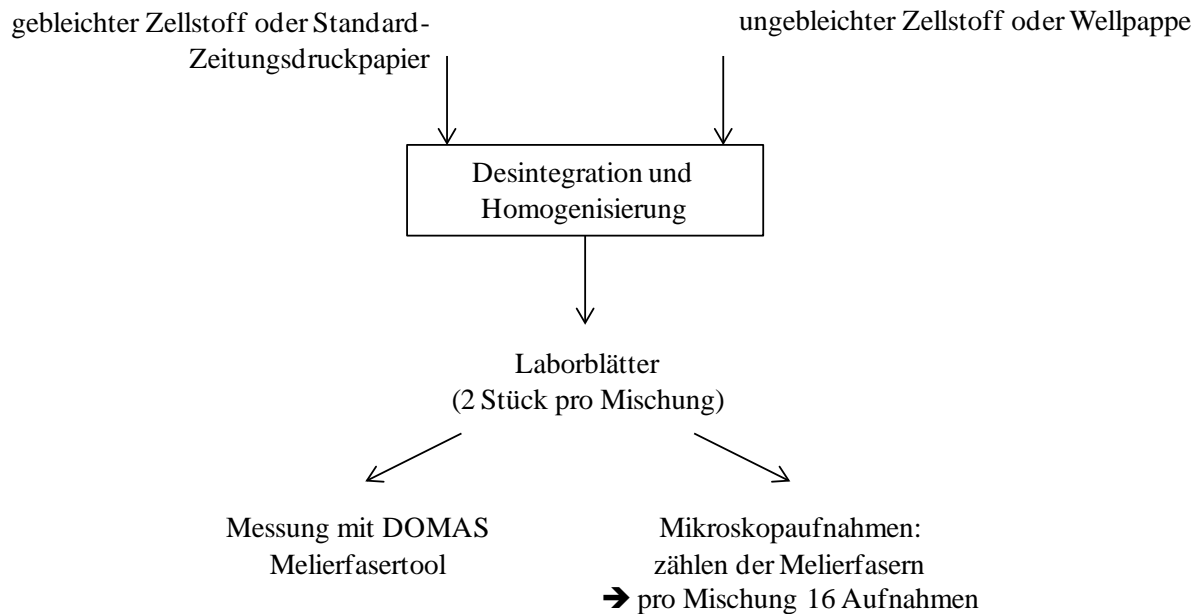


Abbildung 19: Aufbereitungsschema zur Überprüfung der Melierfasermessungen

Es folgt pro Mischung eine Desintegration und Homogenisierung im Standarddesintegrator (siehe Abbildung 19). Anschließend werden pro Mischung zwei Laborblätter gebildet. Diese werden mit dem *DOMAS*-System, wie in Abschnitt 5.2 beschrieben, analysiert. Zusätzlich werden pro Laborblatt 8 Aufnahmen mit einem Mikroskop gemacht. Pro Mikroskopaufnahme wird eine Fläche von 1,261 cm² auf DIN A4-Größe vergrößert, betrachtet und alle Melierfasern größer als 0,5 mm manuell markiert und gezählt.

Für das *DOMAS*-System wird aus vier Einzelmesswerten, die jeweils an einer Fläche von 56,20 cm² bestimmt werden, ein Mittelwert gebildet und durch die analysierte Fläche geteilt. Bei den händischen Messungen wird aus den 16 Einzelmesswerten ein Mittelwert gebildet und durch die analysierte Fläche geteilt.

Die Ergebnisse der Überprüfung sind in Abbildung 20 dargestellt. Aufgetragen ist die Melierfaseranzahl pro Einheitsfläche über dem Anteil an braunem bzw. ungebleichtem Fasermaterial. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten der Stichproben.

Bei einem idealen Messsystem würden die Punkte der manuellen Messungen, welche die Wahrnehmung eines Menschen widerspiegelt, genau über den Punkten des Messsystems

liegen. Dies ist bei den Ergebnissen nicht so. Bei den Mischungen aus gebleichtem und ungebleichtem Zellstoff lässt sich zwar ein ähnlicher Verlauf der manuellen Messungen und denen des Systems feststellen, bei den Mischungen mit Standard-Zeitungsdruckpapier aber nicht. Die Mischungen mit Standard-Zeitungsdruckpapier entsprechen eher den in diesem Projekt untersuchten Altpapiermischungen.

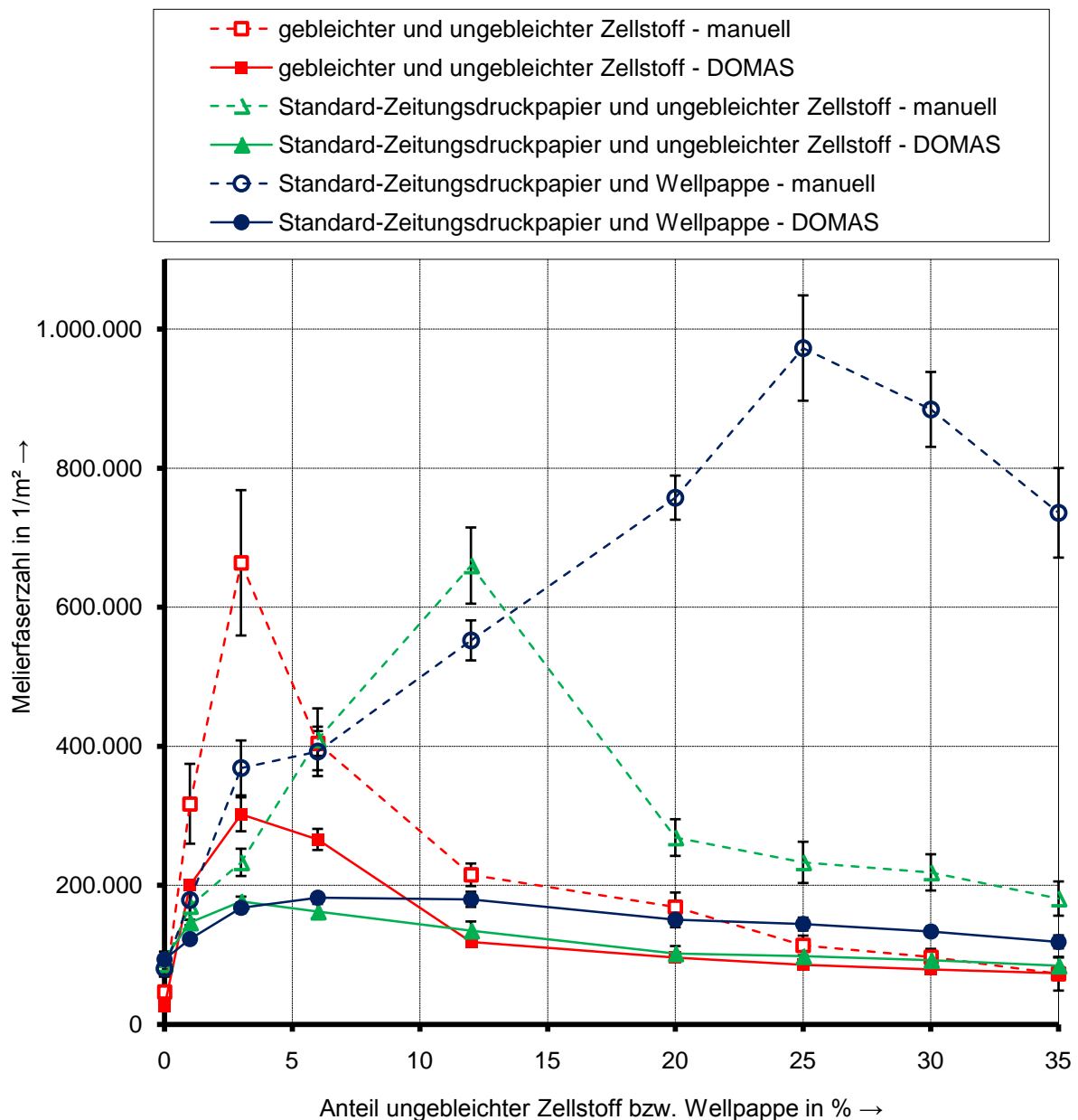



Abbildung 20: Melierfaseranzahl mit dem *DOMAS* Melierfasertool und manuell gemessen

Daher wird folgender Schluss gezogen: Die *DOMAS*-Methode der Anzahlbestimmung der Melierfasern liefert für dieses Projekt keine aussagekräftigen Ergebnisse.



Die Methode gibt neben einer Melierfaseranzahl auch eine gesamte Melierfaserlänge aus. Es wäre nun wichtig zu überprüfen, ob bei der Melierfaserlänge ein besserer Zusammenhang zwischen menschlicher Wahrnehmung und Messung besteht. Eine manuelle Bestimmung der Melierfaserlänge ist aber sehr aufwendig und kann im Rahmen dieses Projekts nicht durchgeführt werden. Ohne diese Überprüfung sind die Messwerte der Melierfaserlänge für dieses Projekt wertlos. Sie werden somit in diesem Bericht nicht weiter diskutiert.

6 Modellierung Teilprojekt 1

Die Ergebnisse der experimentellen Arbeiten aus dem Teilprojekt 1 sollen genutzt werden, um den Einfluss von Verpackungspapieren auf das Deinkingergebnis einer grafischen Altpapiermischung zu modellieren. Betrachtet werden nur die optischen Eigenschaften des Deinkingstoffs. Der Einfachheit halber beschreibt jedes Modell nur den Einfluss einer einzelnen Verpackungsproduktsorte.

Es wird zuerst das Vorgehen bei der Modellierung beschrieben und im Anschluss die wichtigsten Ergebnisse gezeigt und diskutiert.

6.1 Grundform der Modelle und Berechnungen

Man betrachte zwei Faserstoffe A und B, die unterschiedliche optische Eigenschaften aufweisen. Diese Faserstoffe werden in einem bestimmten Massenverhältnis gemischt. Ein einfaches Modell der optischen Eigenschaften dieser Mischung ist in Abbildung 21 gezeigt. Es wird angenommen, dass sich die optische Eigenschaft Z und der Anteil des Faserstoffs A in der Mischung linear verhalten.

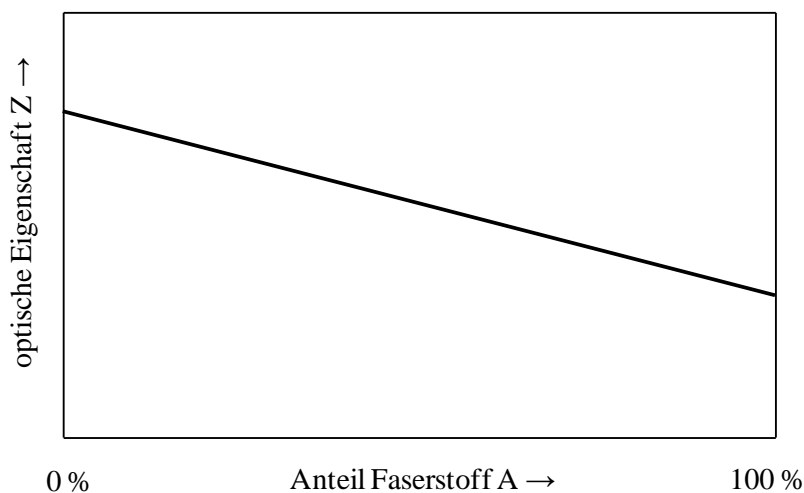


Abbildung 21: Modell der Mischung von zwei Faserstoffen

Der Zusammenhang wird durch folgende Geradengleichung beschrieben

$$Z = c \cdot x + d . \quad (6.1)$$

Dabei ist Z die zu betrachtende optische Eigenschaft des Faserstoffgemischs, x der Massenanteil des Faserstoffs A, d der Wert der optischen Eigenschaft Z des Faserstoffs B und c eine Konstante, die die Steigung der Geraden angibt. Diese Konstante beschreibt die Veränderung der optischen Eigenschaft Z pro Zugabe einer Einheitsmenge des Faserstoffs A. Dass das Modell die Ergebnisse im Teilprojekt 1 gut beschreibt, wird anhand der Abbildung 22 deutlich. Sie zeigt die Ergebnisse der Versuche mit den Mischungen vom Grundtyp 2 für das Beispielverpackungsprodukt Wellpappe braun primär und sekundär. Eingetragen sind jeweils die Messpunkte bei den drei grafischen Ausgangsmischungen. Die Messpunkte sind durch gestrichelte Linien verbunden. Es ergeben sich annähernd lineare Verläufe. Für alle anderen Verpackungsprodukte weisen die Messergebnisse ähnliche Verläufe auf.

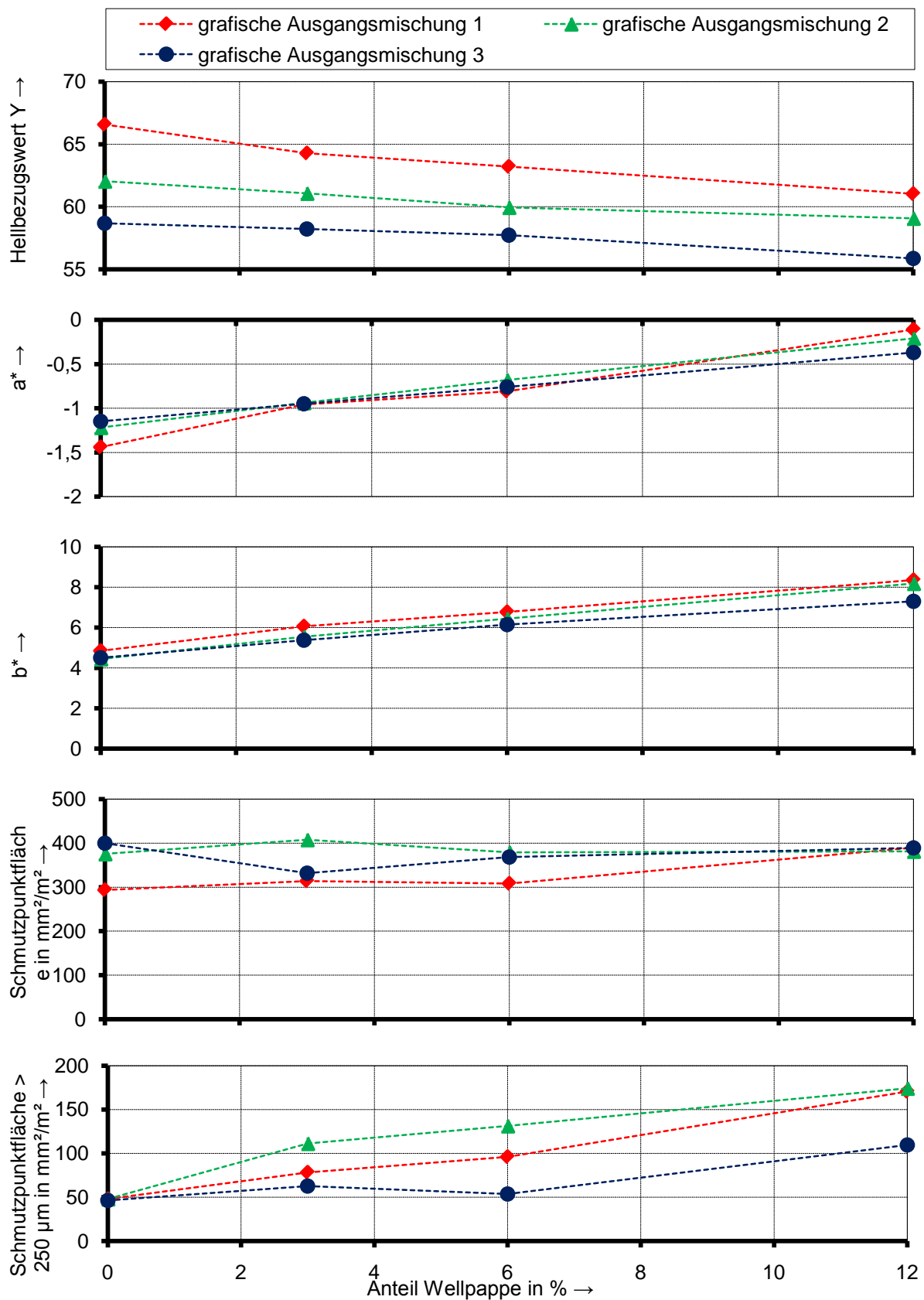


Abbildung 22: Optische Eigenschaften der Mischungen mit der Verpackungssorte Wellpappe braun primär und sekundär

Durch lineare Regression mit der Methode der minimalen Fehlerquadrate wird pro Verpackungsorte, grafischer Ausgangsmischung und betrachteter optischer Eigenschaft eine Geradengleichung bestimmt:

$$Z = c_{VS,G} \cdot x_V + d_{VS,G} \quad (6.2)$$

Dabei ist $c_{VS,G}$ die Steigung bei der Verpackungsorte VS und der Ausgangsmischung G, x_V der Massenanteil der Verpackungsorte und $d_{VS,G}$ der durch die Regression geschätzte Wert der optischen Eigenschaft Z der reinen grafischen Ausgangsmischung G.

Betrachtet man die Steigungen einer Verpackungsorte bei den unterschiedlichen grafischen Ausgangsmischungen, fällt auf, dass diese sich nicht wesentlich unterscheiden (siehe Abbildung 22). Daher wird pro Verpackungsorte ein vereinfachtes Modell berechnet, welches alle Ausgangsmischungen umfasst. Das Modell hat die Form:

$$Z = \bar{c}_{VS} \cdot x_V + \bar{d}_G \quad (6.3)$$

Dabei ist \bar{c}_{VS} der Mittelwert aus den für die drei Ausgangsmischung berechneten Steigungen und \bar{d}_G wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$\bar{d}_G = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{i,G} \quad (6.4)$$

n ist die Anzahl der betrachteten Verpackungsorten und gleich 10. \bar{d}_G ist damit der mittlere geschätzte Wert der optischen Eigenschaft Z der reinen grafischen Ausgangsmischung G.

6.2 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Ergebnisse der Modellierung vorgestellt und diskutiert. Die vollständigen Ergebnisse sind im Anhang A.3 aufgelistet.

6.2.1 Hellbezugswert Y

Der Hellbezugswert von Altpapier nach der einstufigen Flotation hängt von vielen Faktoren ab. Folgende Eigenschaften des unflotierten Faserstoffs haben einen Einfluss:

- Helligkeit des Fasermaterials,
- Art und Menge der im Faserstoff enthaltenen Druckfarben.

In der Tabelle 6 sind die mittleren Steigungen des Hellbezugswerts Y nach der einstufigen Flotation dargestellt. Sie bilden den Einfluss der Verpackungen ab. Die Kartonproben GC und GD, welche beide gestrichen sind, beeinflussen den Hellbezugswert des Deinkingstoffs fast nicht. Alle anderen Verpackungen reduzieren den Hellbezugswert.

Tabelle 6: Mittlere Steigungen des Hellbezugswerts Y

Verpackungsart	\bar{c}_{VS} in 1/%
Wellpappe braun primär	-0,28
Wellpappe weiß primär	-0,46
Wellpappe braun primär und sekundär	-0,31
Wellpappe weiß primär und sekundär	-0,29
Wellpappe braun sekundär	-0,33
Wellpappe weiß sekundär	-0,10
Graukarton	-0,23
Karton GC	0,07
Karton GD	-0,06
Karton UD	-0,14

Die braunen Wellpappen haben ähnliche mittlere Steigungen von ca. -0,3 pro 1 % Verpackung. Sie weisen einen sehr geringen Bedruckungsgrad auf, sodass folglich hauptsächlich die dunklere Färbung des Faserstoffs die Reduzierung des Hellbezugswerts bewirkt.

Die weiß gedeckten Wellpappen unterscheiden sich relativ stark. Der Grund hierfür könnte in den Unterschieden der Bedruckung liegen. Flexo-Druckfarben, mit welchen die Proben bedruckt sind, lassen sich durch eine Flotation weniger gut als Offset- und Tiefdruckfarben entfernen [15]. Es wird vermutet: Je großflächiger und dunkler die weiß gedeckten Wellpappen bedruckt sind, desto größer fällt die Reduzierung des Hellbezugswerts aus. Dies wird durch die Ergebnisse in Tabelle 6 bestätigt.

In Tabelle 7 sind die geschätzten Mittelwerte des Hellbezugswerts der reinen grafischen Ausgangsmischungen aufgeführt.

Tabelle 7: Geschätzte Mittelwerte des Hellbezugswerts der grafischen Ausgangsmischungen

grafische Ausgangsmischung Nr.	\bar{d}_G
1	66,20
2	62,34
3	58,86

6.2.2 Farbkoeffizienten a* und b*

Tabelle 8 und Tabelle 9 zeigen den Einfluss der Verpackungen auf die Farbkoeffizienten des Deinkingstoffs im L*,a*,b*-Farbraum. Der a*-Wert, der bei den grafischen Ausgangsmischungen im schwach grünen Bereich liegt, wird durch die Verpackungen nur sehr wenig beeinflusst, wobei im Vergleich zu den anderen Verpackungen die braunen Wellpappen den größten Einfluss haben. Der b*-Wert wird durch die gestrichenen Kartons nahezu nicht beeinflusst, durch die anderen Verpackung aber in Richtung stärker gelblich verschoben. Hierbei haben auch wieder die braunen Wellpappen den im Mittel größten Einfluss. Dies lässt sich durch den braunen Farbton der Wellpappen erklären.

Tabelle 8: Mittlere Steigungen der Farbkoeffizienten a* und b*

Verpackungsart	\bar{c}_{VS} für a* in 1/%	\bar{c}_{VS} für b* in 1/%
Wellpappe braun primär	0,06	0,23
Wellpappe weiß primär	0,04	0,10
Wellpappe braun primär und sekundär	0,08	0,27
Wellpappe weiß primär und sekundär	0,01	0,05
Wellpappe braun sekundär	0,08	0,20
Wellpappe weiß sekundär	0,02	0,16
Graukarton	0,04	0,15
Karton GC	-0,01	-0,01
Karton GD	0,00	0,05
Karton UD	0,05	0,11

Tabelle 9: Geschätzte Mittelwerte der Farbkoeffizienten a^* und b^* der grafischen Ausgangsmischungen

grafische Ausgangsmischung Nr.	\bar{d}_G für a^*	\bar{d}_G für b^*
1	-1,43	4,82
2	-1,25	4,52
3	-1,15	4,68

6.2.3 Schmutzpunktfläche

Bei den Ergebnissen der Modellierung der Schmutzpunktfläche (siehe Tabelle 10 und Tabelle 11) ist zu berücksichtigen, dass die Messung der Schmutzpunktfläche neben Schmutzpunkten durch Druckfarben auch andere optische Inhomogenitäten, wie Faserbündel und Teile von Melierfasern, umfasst. Die Schmutzpunktfläche der Wellpappe weiß primär wird nicht betrachtet, weil der Deinkingstoff nicht frei von Stippen ist.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Verpackungen die Schmutzpunktfläche der Schmutzpunkte größer $50\ \mu\text{m}$ nur wenig beeinflussen. Die Kartons, bis auf den Graukarton, bewirken eine geringe Reduzierung der Schmutzpunktfläche. Bei den Wellpappen zeigt sich, außer bei der Wellpappe weiß primär und sekundär, eine geringe Erhöhung der Schmutzpunktfläche.

Tabelle 10: Mittlere Steigungen der Schmutzpunktfläche

Verpackungsart	\bar{c}_{VS} der Schmutzpunkte > 50 μm in $\text{mm}^2/\text{m}^2/\%$	\bar{c}_{VS} der Schmutzpunkte > 250 μm in $\text{mm}^2/\text{m}^2/\%$
Wellpappe braun primär	1	5
Wellpappe weiß primär	-	-
Wellpappe braun primär und sekundär	3	5
Wellpappe weiß primär und sekundär	-2	2
Wellpappe braun sekundär	3	5
Wellpappe weiß sekundär	2	4
Graukarton	6	9
Karton GC	-4	-1
Karton GD	-2	1
Karton UD	-1	2

Tabelle 11: Geschätzte Mittelwerte der Schmutzpunktfläche der grafischen Ausgangsmischungen

grafische Ausgangsmischung Nr.	\bar{d}_G der Schmutzpunkte > 50 μm in mm^2/m^2	\bar{d}_G der Schmutzpunkte > 250 μm in mm^2/m^2
1	290	61
2	348	46
3	380	42

6.3 Fazit

Nach der Modellierung können die Ergebnisse der experimentellen Arbeit des Teilprojekts 1 differenziert beurteilt werden. Es wird aufgezeigt, wie die optische Qualität von Deinkingstoff durch Zugabe von nicht-grafischen Papieren beeinflusst wird. Vor allem die untersuchten braunen Wellpappenprodukte führen zu einer stärkeren Gelbfärbung des Deinkingstoffs. Die untersuchten Kartonsorten GC und GD verändern die optischen Eigenschaften des Deinkingstoffs nahezu nicht. Alle Verpackungen außer den Kartons GC und GD bewirken eine Reduzierung des Hellbezugswerts nach der Flotation und verschlechtern somit die

Qualität des Deinkingstoffs. Bezüglich der Schmutzpunkte ist der Einsatz der untersuchten Verpackungen unkritisch.

Bei Betrachtung der absoluten Werte der optischen Eigenschaften des Deinkingstoffs ist Folgendes unbedingt zu berücksichtigen: Die angewendete Labormethode zur einstufigen Flotation liefert zwar in der Tendenz vergleichbare Ergebnisse wie bei einer Flotation in der Industrie. Bei der Labormethode wird aber für jeden Versuch Frischwasser eingesetzt. In einer industriellen Flotation wird mit Prozesswasser gearbeitet. Je nach Beschaffenheit dieses Wassers ergeben sich unterschiedliche Flotationsergebnisse [17]. Daher weichen die absoluten Versuchsergebnisse dieses Teilprojekts von industriellen Flotationsergebnissen ab. Folglich können auch die erstellten Modelle nicht zur Vorhersage der absoluten Werte der optischen Eigenschaften von Deinkingstoff aus einer industriellen Flotation angewendet werden.

Auch für eine Laborflotation gelten die Modelle nur für grafische Ausgangsmischungen, deren optische Eigenschaften nach der Flotation in den in diesem Projekt untersuchten Bereichen liegen. Diese Bereiche sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Außerdem gelten die Modelle nur für die untersuchten Verpackungsproben und nicht für beliebige Verpackungsprodukte.

Tabelle 12: Gültigkeitsbereiche der Modelle

optische Eigenschaft DP der grafischen Ausgangsmischung	obere Grenze Gültigkeitsbereich	untere Grenze Gültigkeitsbereich
Hellbezugswert Y	66	59
a*	-1,2	-1,4
b*	4,9	4,4
Schmutzpunktfläche > 50 μm in mm^2/m^2	400	300
Schmutzpunktfläche > 250 μm in mm^2/m^2	60	40

7 Experimentelle Arbeiten Teilprojekt 2

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den experimentellen Arbeiten zum Teilprojekt 2. Es soll geprüft werden, ob durch einen typischen Aufbereitungsprozess für Standard-Zeitungsdruckpapier auch mit Altpapier der Sorte 1.02 Deinkingstoff erzeugbar ist, der sich für die Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier eignet.

Wie auch im Teilprojekt 1 werden Versuche vorbereitet, durchgeführt, ausgewertet und die Ergebnisse betrachtet und diskutiert. In Vorversuchen wird zuerst die Dispergierung mit einem Labordisperger untersucht. In den danach folgenden Hauptversuchen wird ein typischer Gesamtprozess zur Aufbereitung von Standard-Zeitungsdruckpapier betrachtet.

Außerdem werden die optischen Eigenschaften von Referenzproben bestimmt.

7.1 Optische Eigenschaften von Referenzproben

Als Grundlage für die Diskussion der Versuchsergebnisse dieses Teilprojekts ist es notwendig, die optischen Eigenschaften von Deinkingstoff, der zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier geeignet ist, zu ermitteln.

Dazu wird folgendermaßen vorgegangen: Zuerst werden Referenzproben von 13 in Deutschland im Handel erhältlichen Standard-Zeitungsdruckpapieren direkt beim Hersteller beschafft. Diese Proben werden der in Abbildung 23 gezeigten Aufbereitung unterzogen, damit die Proben in einer für die Messungen geeigneten Form vorliegen. An den gebildeten Blättern werden nach der *INGEDE Methode 2* folgende Parameter bestimmt:

- Hellbezugswert Y ,
- L^* , a^* , b^* Farbkoeffizienten,
- Schmutzpunktfläche DP in zwei Kategorien: Schmutzpunkte größer als $50\ \mu\text{m}$ und größer als $250\ \mu\text{m}$ flächengleichem Kreisdurchmesser.

Zusätzlich erfolgt mit dem *DOMAS Melierfasertool* der *Papiertechnischen Stiftung* wie im Teilprojekt 1 eine Melierfasermessung. Diese Messungen werden aus den in Abschnitt 5.4.2 genannten Gründen aber nicht weiter betrachtet.

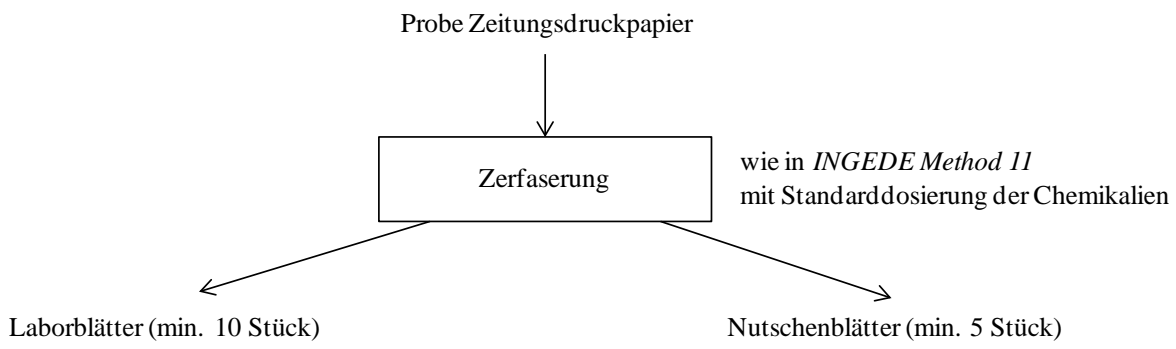


Abbildung 23: Aufbereitungsschema der Referenzproben

Die Parameter der einzelnen Referenzproben finden sich vollständig im Anhang A.2. Tabelle 13 zeigt die statistische Auswertung der wichtigsten Ergebnisse. Beim Hellbezugswert und den Farbkoeffizienten liegen die Referenzproben in einem relativ engen Bereich. Bei der Schmutzpunktfläche tritt eine relativ große Streuung auf.

Die Daten Y , a^* und b^* der Referenzproben liegen außerdem in einem Bereich, in dem auch 97 im Jahr 2003 untersuchte Zeitungsdruckpapiere liegen (siehe [18]). Sie sind also repräsentativ.

Tabelle 13: Statistische Auswertung der Parameter der Referenzproben

	Y	a*	b*	Schmutzpunktfläche > 50 μm in mm^2/m^2	Schmutzpunktfläche > 250 μm in mm^2/m^2
Mittelwert	63,1	-0,54	6,08	118	42
Standardabweichung	1,2	0,25	0,50	41	19
Maximalwert	64,9	-0,19	6,93	195	81
Minimalwert	60,8	-0,95	5,25	73	20

7.2 Versuche

Die wichtigsten Prozessstufen zur Aufbereitung von Altpapierstoff für Standard-Zeitungsdruckpapier sind nacheinander:

- 1. Flotation,
- Dispergierung mit Dispergerbleiche,
- 2. Flotation.

Hauptsächlich diese Prozessstufen beeinflussen die optischen Eigenschaften des Altpapierstoffs.

Im Rahmen dieses Projekts können zur Erzeugung von Deinkingstoff weder industrielle noch halbtechnische Aufbereitungsprozesse sondern lediglich Laboraufbereitungsprozesse eingesetzt werden. Für die Flotation gibt es standardisierte Laboraufbereitungsprozesse (*INGEDE Methode 11* [13]). Für eine Dispergierung mit Dispergerbleiche gibt es keine standardisierte Methode. Es ist im Labor sinnvoller die Dispergierung und die Bleiche separat zu betrachten. Denn eine reine Bleiche ist im Labormaßstab sehr einfach nachzustellen. Für die Dispergierung steht ein Labordisperger zur Verfügung (siehe nächster Abschnitt).

Wie dieser Disperger betrieben werden muss, damit die Ergebnisse aus dem Labor mit industriellem Altpapierstoff vergleichbar sind, ist unbekannt. Dieser Frage widmen sich die im nächsten Abschnitt beschriebenen Vorversuche. Anschließend wird in den Hauptversuchen ein Gesamtprozess mit 1. Flotation, Dispergierung, 2. Flotation und Bleiche betrachtet.

7.2.1 Vorversuche zum Labordisperger

Für dieses Projekt wurde ein Labordisperger vom Typ *CAVIMIX 1031* der *Firma Hagen & Funke GmbH* angeschafft. Abbildung 24 zeigt den Disperger. Im Anhang A.4 sind seine technischen Daten aufgeführt. Im Gegensatz zu industriell eingesetzten Dispergern wird der Labordisperger nicht kontinuierlich betrieben sondern im Batch. Es liegen keine Informationen darüber vor, welche Prozessparameter eingestellt werden müssen, um Dispergierergebnisse ähnlich einer industriellen Dispergierung zu erhalten. Diese Informationen werden durch die Versuche gewonnen.



Abbildung 24: Labordisperser CAVIMIX 1031 der Firma Hagen & Funke GmbH

7.2.1.1 Versuchsvorbereitung, -durchführung und -auswertung

Es werden fünf Altpapierstoffe besorgt, deren Eigenschaften in Tabelle 14 aufgelistet sind.

Tabelle 14: Altpapierstoffe für die Dispergierversuche

Bezeichnung	Beschreibung
Stoff A	Laborstoff aus 50 % Feinpapier mit Indigo bedruckt und 50 % Kopierpapier aus Sekundärfasern (Weiße ISO 70) zerkleinert wie in <i>INGEDE Methode 11</i>
Stoff B	industrieller Stoff vor der Dispergierung aus einer Stoffaufbereitung für Magazinpapier
Stoff C	industrieller Stoff nach der Dispergierung aus einer Stoffaufbereitung für Magazinpapier
Stoff D	industrieller Stoff vor der Dispergierung aus einer Stoffaufbereitung für Tissuepapier
Stoff E	industrieller Stoff nach der Dispergierung aus einer Stoffaufbereitung für Tissuepapier

Der Altpapierstoff A dient als Ausgangsstoff für eine Reihe von 10 Dispergierversuchen mit unterschiedlichen Prozessparametern. Der große Anteil an Indigodruck im Stoff A wird

gewählt, weil Indigodruck viele Schmutzpunkte verursacht. Die Dispergierwirkung kann dadurch später leicht beurteilt werden. Bei der Dispergierung wird eine Stoffmenge von 150 g_{otro} eingesetzt. Die Drehzahl, die Stoffdichte und die Behandlungsdauer werden in einem statistischen, vollfaktoriellen Versuchsplan variiert (siehe Tabelle 15). Zur Auswertung der Versuche werden jeweils fünf Laborblätter gebildet und deren Schmutzpunktfläche nach der *INGEDE Methode 2* [14] bestimmt. Anschließend erfolgt eine statistische Auswertung der Versuche, die zeigt, unter welchen Dispergierbedingungen gute Ergebnisse erzielt werden können.

Tabelle 15: Versuchsmatrix für die Dispergierbehandlung des Stoffs A

Versuch Nr.	Drehzahl in 1/Minute	Stoffdichte in %	Behandlungsdauer in Minuten
0	ohne Dispergierung	-	-
1	1800	30	1
2	1800	30	2
3	1800	20	2
4	1800	20	1
5	1440	20	2
6	1620	25	1,5
7	1440	30	2
8	1440	20	1
9	1620	25	1,5
10	1440	30	1

Zwei gute Dispergiereinstellungen (siehe Tabelle 16), werden gewählt, um die Altpapierstoffe B und D zu behandeln. Es wird ebenfalls eine Stoffmenge von 150 g_{otro} eingesetzt. Pro Versuch und auch für die Stoffe C und E werden fünf Laborblätter gebildet und deren Schmutzpunktfläche nach der *INGEDE Methode 2* [14] bestimmt.

Tabelle 16: Dispergiereinstellungen für die Stoffe B und D

Einstellung Nr.	Drehzahl in 1/Minute	Stoffdichte in %	Behandlungsdauer in Minuten
11	1440	25	2
12	1800	25	1

7.2.1.2 Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 17 zeigt die Ergebnisse der Dispergierung des Stoffs A und Abbildung 25 die dazugehörige statistische Auswertung. Eine gute Dispergierung liegt dann vor, wenn die Schmutzpunktfläche nach der Dispergierung verhältnismäßig klein ist. Die Ergebnisse zeigen, dass die Dispergierwirkung mit steigender Drehzahl, steigender Stoffdichte und steigender Behandlungsdauer verstärkt wird. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Dispergierwirkung von der aufgewendeten Energie abhängt. Je mehr Energie pro Menge Faserstoff aufgewendet wird, desto besser ist die Dispergierwirkung.

Tabelle 17: Ergebnisse der Dispergierung des Stoffs A

Versuch Nr.	Drehzahl in 1/Minute	Stoffdichte in %	Behandlungsdauer in Minuten	Schmutzpunktfläche > 50 µm in mm²/m²
0	ohne Dispergierung			12290
1	1800	30	1	4805
2	1800	30	2	1691
3	1800	20	2	5450
4	1800	20	1	6634
5	1440	20	2	9478
6	1620	25	1,5	7063
7	1440	30	2	4805
8	1440	20	1	9815
9	1620	25	1,5	7160
10	1440	30	1	5954

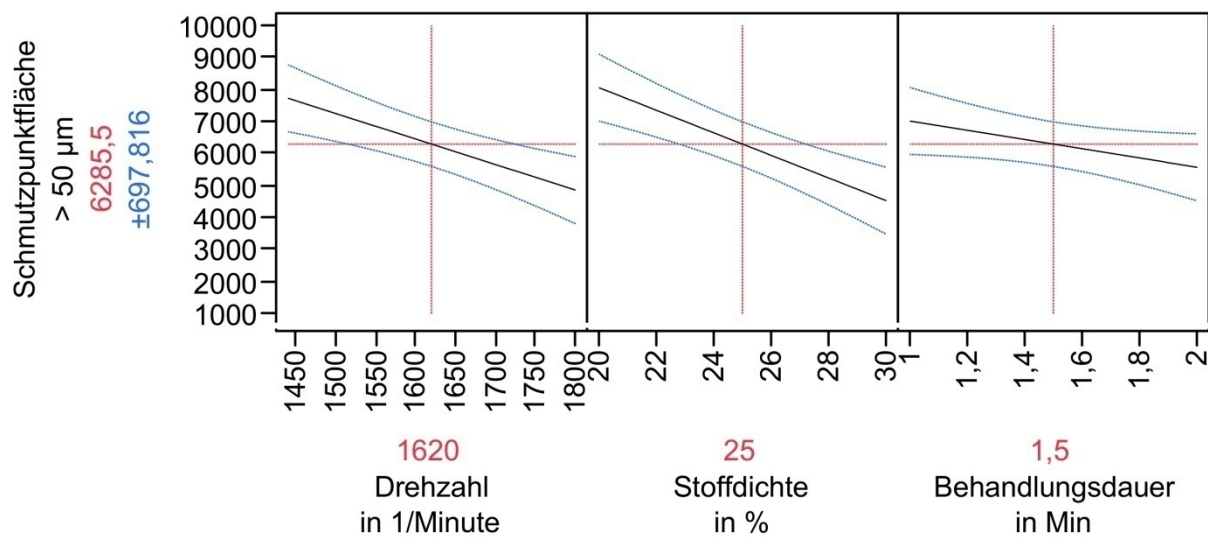


Abbildung 25: Analysediagramm der statistischen Versuchsauswertung

Bei den Versuchen fällt aber auch auf, dass der Faserstoff mit einer Stoffdichte von 30 % im Labor schlecht zu handhaben ist. Daher ist eine Stoffdichte von 30 % für weitere Laborversuche nicht gut geeignet. Eine relativ gute Dispergierwirkung bei akzeptabler Handhabbarkeit kann bei folgenden Bedingungen realisiert werden:

- Drehzahl 1440 1/Minute, 25 % Stoffdichte, 2 Minuten,
- Drehzahl 1800 1/Minute, 25 % Stoffdichte, 1 Minute.

Die Ergebnisse der Stoffe B und D, die mit diesen Einstellungen behandelt wurden, sind in Abbildung 26 und Abbildung 27 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Ergebnisse der beiden Einstellungen keine großen Unterschiede aufweisen. Beim Stoff für Magazinpapier erhält man durch die Labordispergierung Ergebnisse, die nahezu identisch mit der industriellen Dispergierung sind. Bei dem Stoff für Tissuepapier sind die Ergebnisse im Bereich der großen Schmutzpunkte etwas weniger gut. Da Altpapierstoff für Standard-Zeitungsdruckpapier einem Stoff für Magazinpapier aber ähnlicher ist als einem Stoff für Tissuepapier, kann für dieses Projekt gefolgert werden, dass mit den Dispergiereinstellungen 11 und 12 eine industrielle Dispergierung gut abgebildet wird.

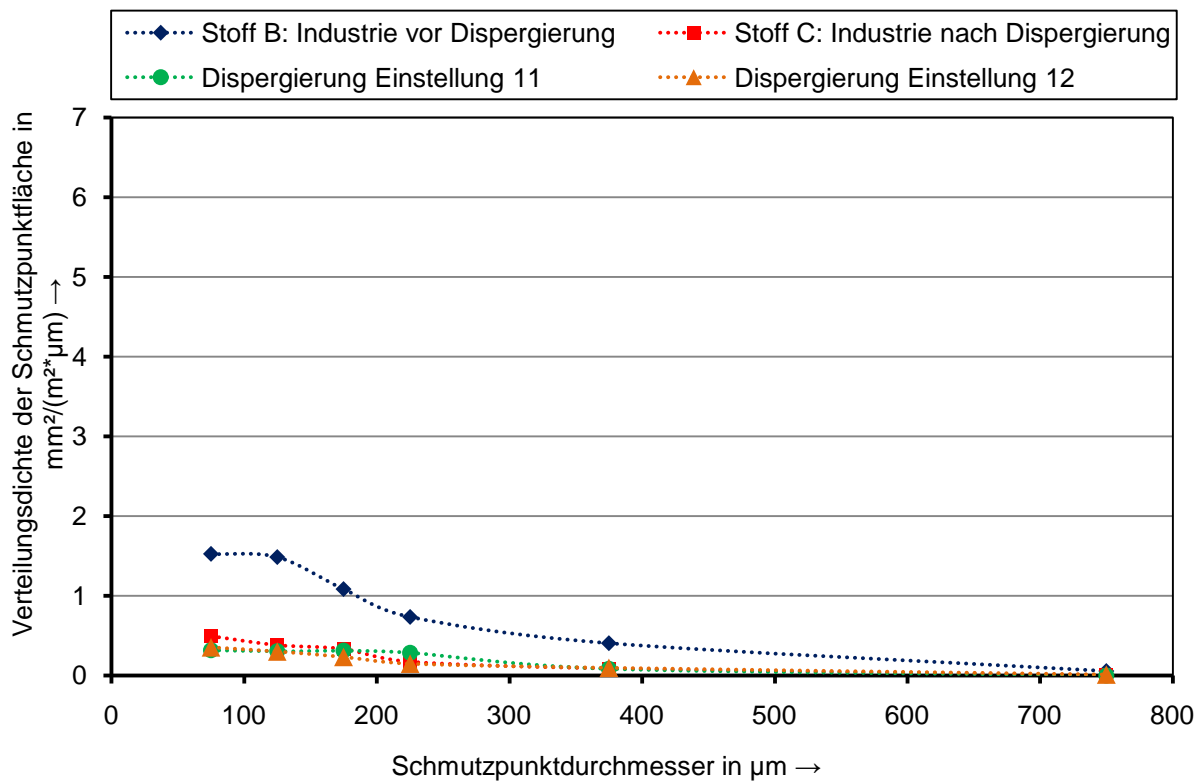


Abbildung 26: Ergebnisse der Dispergierung des Altpapierstoffs für Magazinpapier (Stoff B)

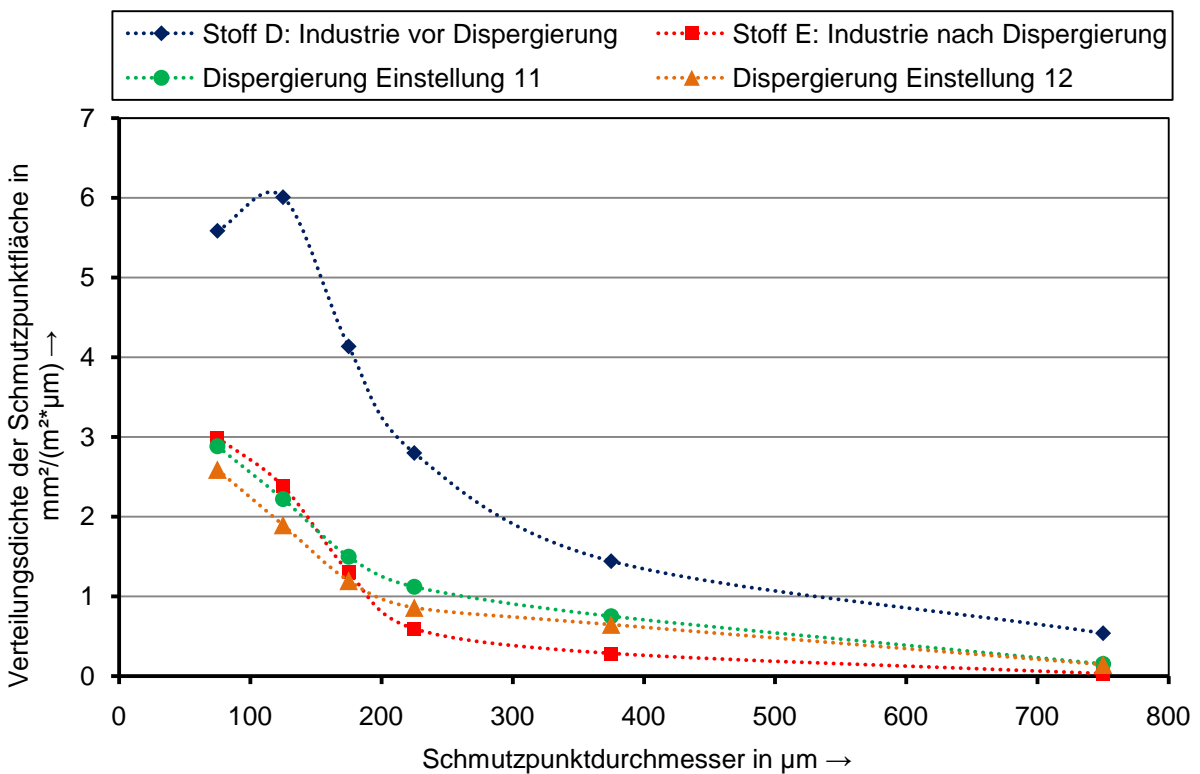


Abbildung 27: Ergebnisse der Dispergierung des Altpapierstoffs für Tissuepapier (Stoff D)

7.2.2 Hauptversuche

Nach den Vorversuchen zur Dispergierung kann nun in den Hauptversuchen ein typischer Gesamtprozess zur Aufbereitung von Altpapierstoff für Standard-Zeitungsdruckpapier auf gemischtes Altpapier angewendet werden.

Dazu werden als Versuchsvorbereitung zuerst verschiedene Modellmischungen von gemischtem Altpapier gewählt, Papierproben beschafft und die Versuche geplant. Nach der Durchführung und Auswertung der Versuche erfolgt die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse.

7.2.2.1 Altpapiermischungen

Der Einsatz von gemischtem Altpapier aus der Altpapiersammlung oder Sortierung ist in Laborversuchen schwierig. Das Altpapier ist üblicherweise verunreinigt und die genaue Zusammensetzung nicht bekannt. Aus diesen Gründen werden für die Versuche, wie auch im Teilprojekt 1, Altpapiermodellmischungen aus unbenutzten Papierprodukten zusammen gestellt. Diese Mischungen sind in Tabelle 18 beschrieben und die Begründung für die Auswahl der Mischungen M 1 und M 2 ist die gleiche wie im Teilprojekt 1 (siehe Abschnitt 5.1.4). Zusätzlich zu den Mischungen M 1 und M 2, die durch die Zusammensetzung gemischtem Altpapier zuzuordnen sind, wird noch eine Mischung aus rein grafischen Papieren gewählt. Diese dient als Vergleichsmischung. Die Zusammensetzung der grafischen Mischung orientiert sich an Ergebnissen aus [3] und entspricht den mittleren Anteilen grafischer Papiere in Altpapier der Sorte 1.11.

Tabelle 18: Altpapiermischungen des Teilprojekts 2: prozentuale Anteile

	M 2	M 1	graf. M
Zeitungen	25	15	35
ungestrichene Illustrierte	10	10	10
gestrichene Illustrierte	30	25	45
Büropapiere	10	5	10
Wellpappe braun	10	25	-
Wellpappe weiß gedeckt	10	10	-
stark farbig bedruckter Karton	5	5	-
Karton grau	0	5	-
Summe grafische Papiere	75	55	100
Summe Verpackungspapiere	25	45	0

7.2.2.2 Papierproben

Für Versuche werden die in Tabelle 19 gelisteten Papierproben verwendet. Es liegen zwei verschiedene Sätze dieser Papierproben vor. Die Sätze unterscheiden sich dadurch voneinander, dass die Proben von unterschiedlichen Herstellern stammen. Abbildungen der Proben finden sich im Anhang A.1.2.

Tabelle 19: Papierproben des Teilprojekts 2

Art	Druckverfahren	Veredelung
Wellpappe braun primär und sekundär	Flexo	-
Wellpappe weiß sekundär	Flexo	-
Graukarton	Offset bzw. unbedruckt	-
Karton GC	Offset	-
Karton GD	Offset	-
Zeitung	Offset	-
Illustrierte 1	Offset	gestrichen
Illustrierte 2	Tiefdruck	ungestrichen
Büropapiere	Trockentoner	-

7.2.2.3 Versuchsplanung

Der in diesem Teilprojekt angewendete Gesamtprozess zur Aufbereitung der Altpapiermischungen soll der Aufbereitung von Altpapier für Standard-Zeitungsdruckpapier möglichst ähnlich sein. Im Labor sind daher folgende Prozessschritte notwendig:

- Zerfaserung,
- Stapelung und 1. Flotation,
- Eindickung,
- Dispergierung,
- Stapelung und 2. Flotation,
- Eindickung,
- Bleiche.

Die Hypothese, dass sich aus gemischtem Altpapier Deinkingstoff zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier erzeugen lässt, kann überhaupt nur dann bestätigt werden, wenn diese Prozesse bei geeigneten Prozessparametern betrieben werden. Daher werden im Folgenden Prozessparameter für die Versuche gewählt.

Die Prozessschritte Zerfaserung, 1. Flotation, Dispergierung und 2. Flotation beeinflussen vor allem die Schmutzpunktfracht durch Druckfarben. Im ersten Teilprojekt hat sich gezeigt, dass Schmutzpunkte durch Druckfarben bei gemischtem Altpapier nicht problematischer als bei grafischem Altpapier sind. Die in den Vorversuchen ermittelten guten Dispergiereinstellung (siehe Abschnitt 7.2.1.2) werden daher für die Hauptversuche übernommen. Die in der *INGEDE Methode 11* [13] beschriebenen Prozessparameter für Zerfaserung und Flotation sind vermutlich auch für gemischtes Altpapier geeignet. Ebenso wird die Standard-Dosierung der Deinkingchemikalien, die in der Methode genannt ist, gewählt. Denn bei den Versuchen mit gemischtem Altpapier im Teilprojekt 1 (Mischungen vom Grundtyp 1) lagen die pH-Werte in den für die Standard-Chemikaliendosierung zulässigen Bereichen (siehe Anhang A.2).

Für die zwei Prozessschritte der Eindickung wird eine Eindickung mit einer Wäscheschleuder gewählt. Dies ist ein seit langem erprobtes Verfahren mit einer hohen Wiederholbarkeit.

Das Teilprojekt 1 hat gezeigt, dass der Einsatz von gemischtem Altpapier für Deinkingstoff gegenüber grafischem Altpapier vor allem zu einer starken Reduzierung des Hellbezugswerts und einer Verschiebung des Farborts führt. Daraus wird geschlossen, dass der Prozessschritt Bleiche einen sehr großen Einfluss auf die optische Qualität des Stoffs aus gemischtem Altpapier hat. Üblicherweise wird bei Altpapier ligninerhaltend gebleicht [15]. Am häufigsten ist die oxidative Bleiche mit Wasserstoffperoxid und die reduktive Bleiche mit Natriumdithionit [15]. Diese beiden Bleichverfahren werden auch für die Versuche in diesem Kapitel gewählt. Festzulegen sind noch die Bleichmittelkonzentrationen. Da die absolute Wirkung der Bleichmittel nicht bekannt ist, sollen Bleichkurven mit steigenden Konzentrationen aufgenommen werden.

Bei einer Konzentration von mehr als 2 % Natriumdithionit treten Korrosionsprobleme in Anlagen auf. Daher werden für die reduktiven Versuche maximal 2 % Natriumdithionit eingesetzt.

Bei den oxidativen Versuchen wird das Wasserstoffperoxid mit maximal 10 % dosiert. Zusätzlich muss eine passende Konzentration an Natriumhydroxid festgelegt werden. Auf Basis von Daten aus der Literatur (siehe [19]) wird eine Natriumhydroxidkonzentration von 2/3 der Wasserstoffperoxidkonzentration eingesetzt.

7.2.2.4 Versuchsdurchführung und -auswertung

Für die Versuchsdurchführung wird die im Teilprojekt 1 beschriebene Aufbereitungsmethode 2 (siehe Abschnitt 5.2) um die Prozessschritte Eindickung, Dispergierung, 2. Flotation, 2. Eindickung und Bleiche erweitert. Die Aufbereitungsmethode wird in fünf Abschnitte unterteilt.

Im ersten Abschnitt, dargestellt in Abbildung 28, werden die Altpapierproben durch eine beschleunigte Alterung für die anschließende Aufbereitung vorbereitet. Die Verpackungsproben werden, wie im Teilprojekt 1, zusätzlich durch Desintegration homogenisiert.

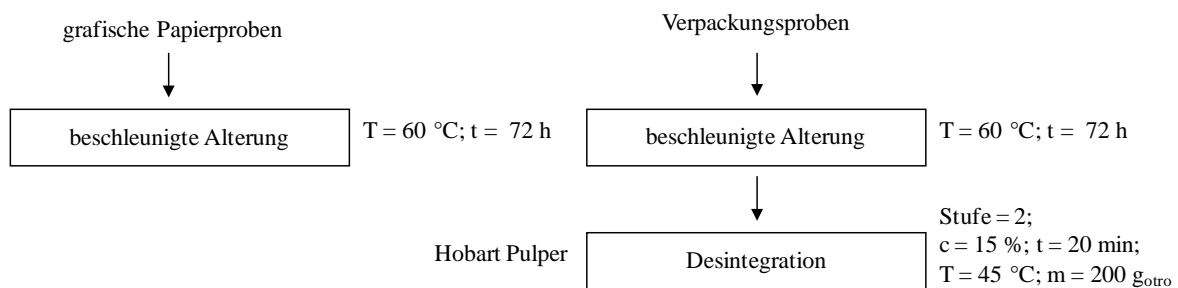


Abbildung 28: Vorbereitung der Altpapierproben

Im zweiten Abschnitt erfolgt die Erzeugung des Altpapierstoffs nach den in Kapitel 7.2.2.1 beschriebenen Zusammensetzungen und die erste Flotation. Dieser Prozessabschnitt wird pro Altpapiermischung für jeweils zwei Stoffportionen durchgeführt. Dies ist notwendig, damit für die nächsten Aufbereitungsschritte eine ausreichende Menge an Stoff vorliegt.

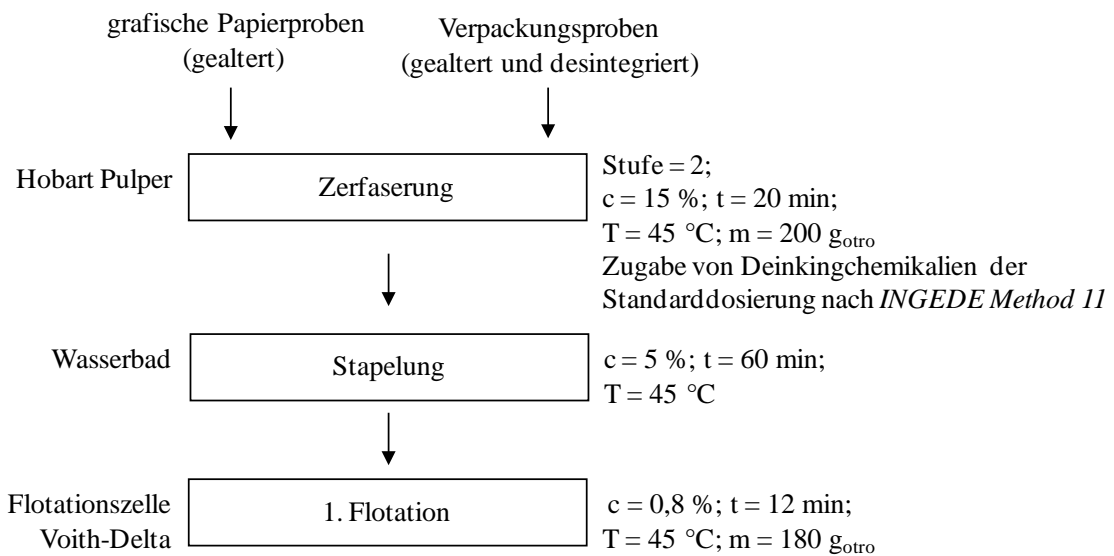


Abbildung 29: Zweiter Aufbereitungsabschnitt mit 1. Flotation

Anschließend wird im dritten Abschnitt (siehe Abbildung 30) eine Stoffsammlung und die erste Eindickung vorgenommen. Die Eindickung erfolgt in einem textilen Stoffsack in einer Wäscheschleuder bei einer Drehzahl von 2800 1/Minute.

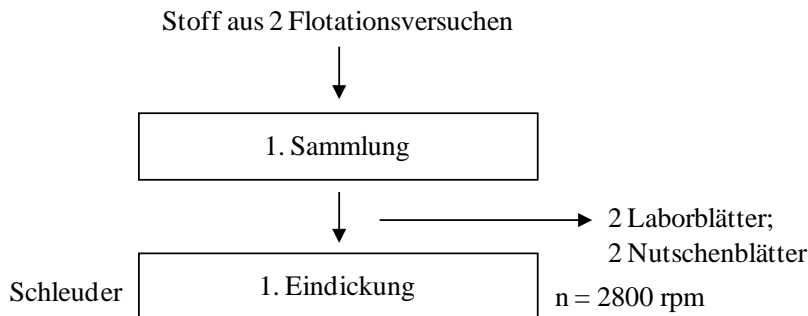


Abbildung 30: Dritter Abschnitt: Sammlung und Eindickung

Im vierten Abschnitt (siehe Abbildung 31) wird der eingedickte Stoff dispergiert. Anders als in den Vorversuchen werden aus praktischen Gründen nur jeweils $100 \text{ g}_{\text{otro}}$ Altpapierstoff anstatt $150 \text{ g}_{\text{otro}}$ behandelt und daher die Behandlungsdauer entsprechend verkürzt. Damit genügend Stoff für die weiteren Prozessschritte vorliegt, werden zwei Stoffportionen behandelt. Die Deinkingchemikalien für die zweite Flotation werden zur guten Durchmischung bereits bei der Dispergierung zugegeben.

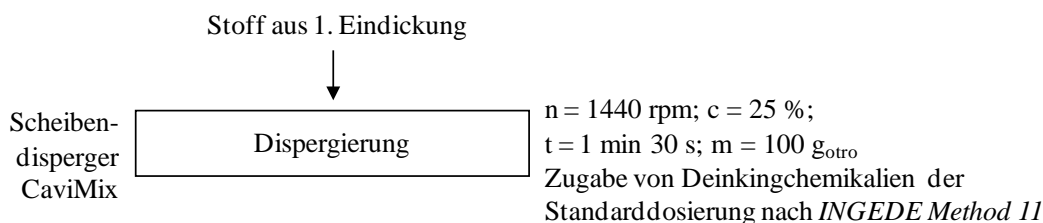


Abbildung 31: Vierter Abschnitt: Dispergierung

Im letzten Abschnitt der Aufbereitungsmethode, dargestellt in Abbildung 32, wird der dispergierte Stoff der zweiten Flotation unterzogen. Nach einer weiteren Eindickung werden verschiedene Bleichversuche durchgeführt. Es wird entweder oxidativ oder reduktiv gebleicht. Dabei werden die Bleichmittelkonzentration variiert.

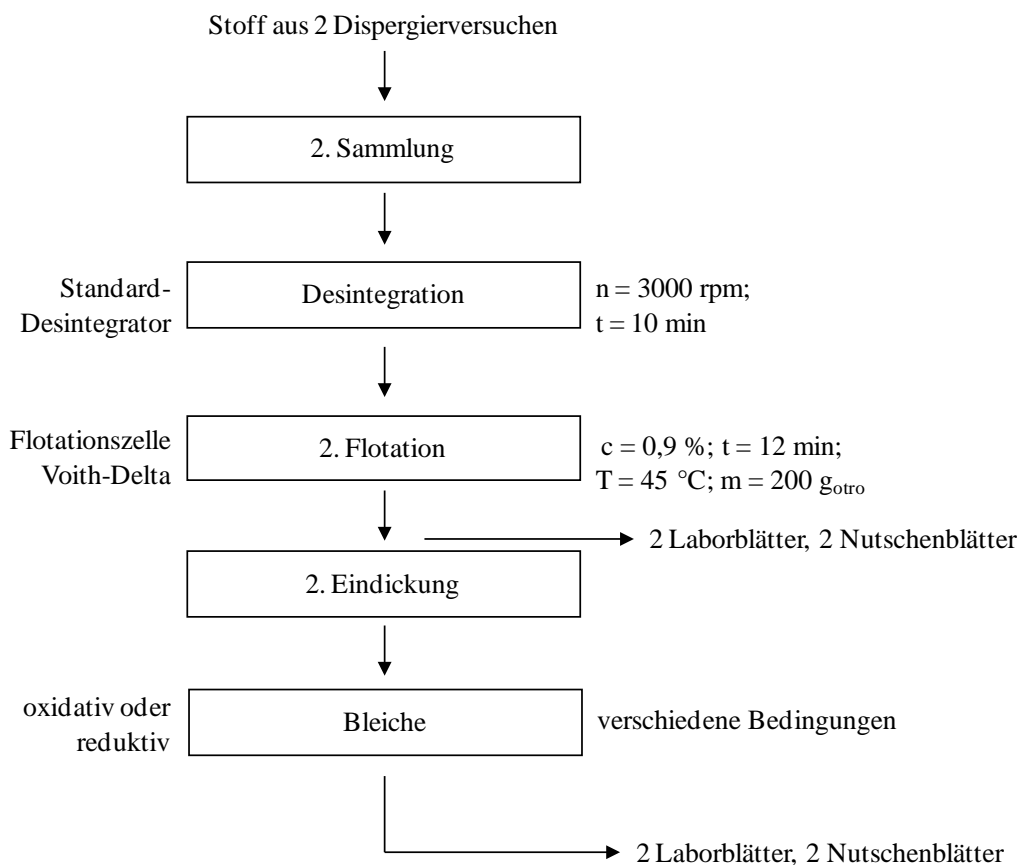


Abbildung 32: Fünfter Abschnitt: 2. Flotation und Bleiche

Die in Tabelle 20 aufgeführten Prozessbedingungen werden für die oxidative und reduktive Bleiche jeweils konstant gehalten. Tabelle 21 listet diejenigen Prozessparameter, die in den Bleichversuchen variiert werden. Die Einsatzmengen von Wasserstoffperoxid (H₂O₂), Natronlauge (NaOH) und Natriumsilikat beziehen sich auf eine 100-prozentige

Chemikalienkonzentration. Bei Dithionit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) ist die Konzentration der Handelsware (HW) angegeben.

Tabelle 20: Konstante Prozessbedingungen der Bleichversuche

	oxidativ	reduktiv
Stoffdichte in %	12	3,5
Stoffmenge in g_{otro}	15	15
Temperatur in °C	70	70
Konzentration Natriumsilikat in %	2	-
Reaktionszeit in Minuten	60	60
pH-Wert		6,5

Tabelle 21: Variierte Prozessbedingungen der Bleichversuche

		M 2	M 1	graf. M
oxidativ	H_2O_2 (100 %-ig) in %	1; 2; 5	1; 2; 5; 8; 10	1; 2; 5
	NaOH (100 %-ig) in %	0,7; 1,3; 3,3	0,7; 1,3; 3,3; 5,3; 6,7	0,7; 1,3; 3,3
reduktiv	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (HW) in %	-	0,5; 1; 2	-

Die Auswertung der Versuche erfolgt zum einen durch die Analyse der gebildeten Blätter. Diese werden mit dem bloßen Auge betrachtet und außerdem nach der *INGEDE Methode 2* [14] folgende Parameter bestimmt:

- Hellbezugswert Y,
- L^* , a^* , b^* Farbkoeffizienten,
- Schmutzpunktfläche DP in zwei Kategorien: Schmutzpunkte größer als $50 \mu\text{m}$ und größer als $250 \mu\text{m}$ flächengleichem Kreisdurchmesser.

Dadurch können die optischen Eigenschaften des Altpapierstoffs beurteilt werden.

Außerdem wird vor und nach den Bleichversuchen das Prozesswasser hinsichtlich des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) analysiert, um negative Effekte der Bleiche auf das Prozesswasser abschätzen zu können. Während der Flotationsversuche wird außerdem das Schaumbild beobachtet.

7.2.2.5 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Abschnitt werden zuerst die wichtigsten Ergebnisse der optischen Eigenschaften des Altpapierstoffs gezeigt und diskutiert. Anschließend werden die Ergebnisse der CSB-Messungen zur Bleiche und die Schaumbilder der Flotationsversuche betrachtet. Die vollständigen Ergebnisse finden sich tabellarisch im Anhang A.2.

Abbildung 33 zeigt für die Mischung 1 die Ergebnisse des Hellbezugswerts der Bleichversuche. Mit a gekennzeichnet sind die Versuche mit dem ersten Satz Papierproben, mit b diejenigen mit dem zweiten Satz Papierproben. Die Mischung 1 weist ungefähr die mittlere Zusammensetzung von gemischtem Altpapier auf. Ebenfalls in der Abbildung aufgetragen sind Mittel-, Minimal- und Maximalwert des Hellbezugswerts der Referenzproben (Standard-Zeitungsdruckpapiere).

Die Abbildung verdeutlicht, dass der Hellbezugswert von Standard-Zeitungsdruckpapier mit dem untersuchten gemischtem Altpapier mittlerer Zusammensetzung nicht ohne eine Bleiche zu erzielen ist. Außerdem ist die oxidative Bleiche bei beiden Sätzen von Papierproben deutlich wirksamer als die reduktive Bleiche. Die Ergebnisse der Probensätze a und b weichen trotz gleicher Mischungsverhältnisse der Papierprodukte voneinander ab. Es ist daher davon auszugehen, dass sich beim Einsatz wieder anderer Papierproben weitere Unterschiede zeigen werden. Die Ergebnisse können also nicht für durchschnittliches gemischtes Altpapier verallgemeinert werden.

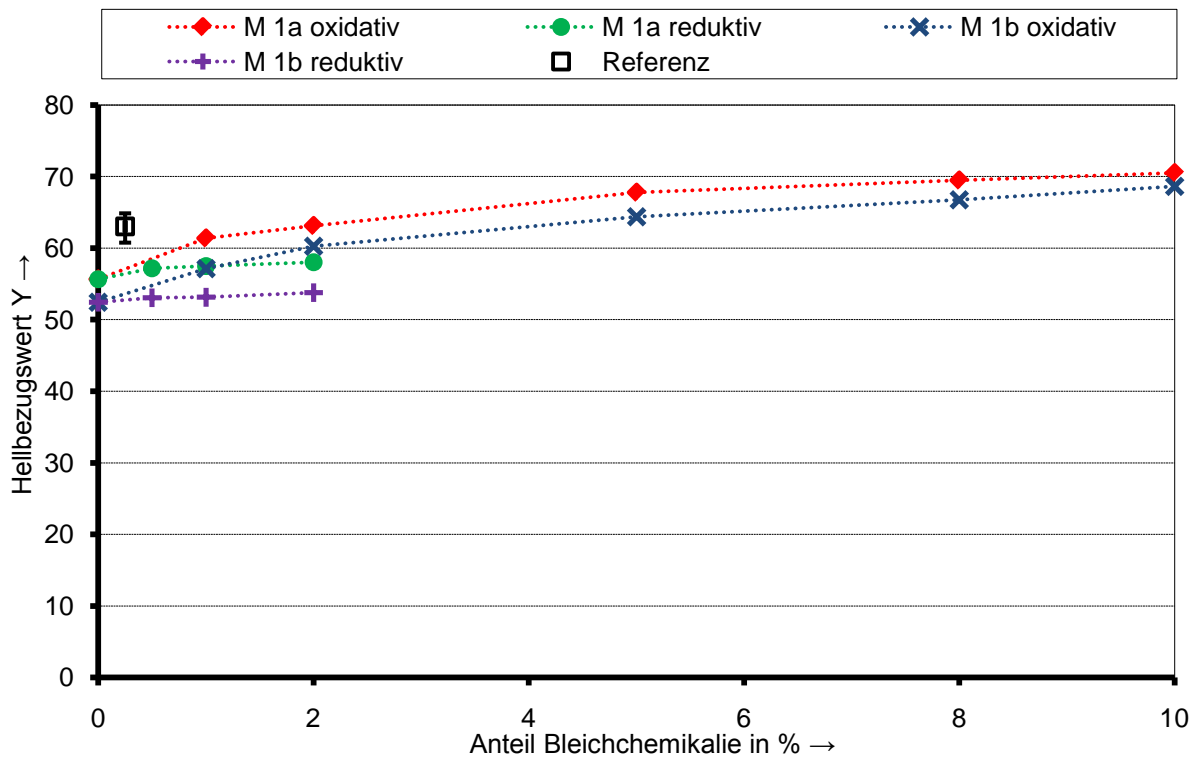


Abbildung 33: Hellbezugswert der Mischung 1 mit unterschiedlichen Bleichmitteln

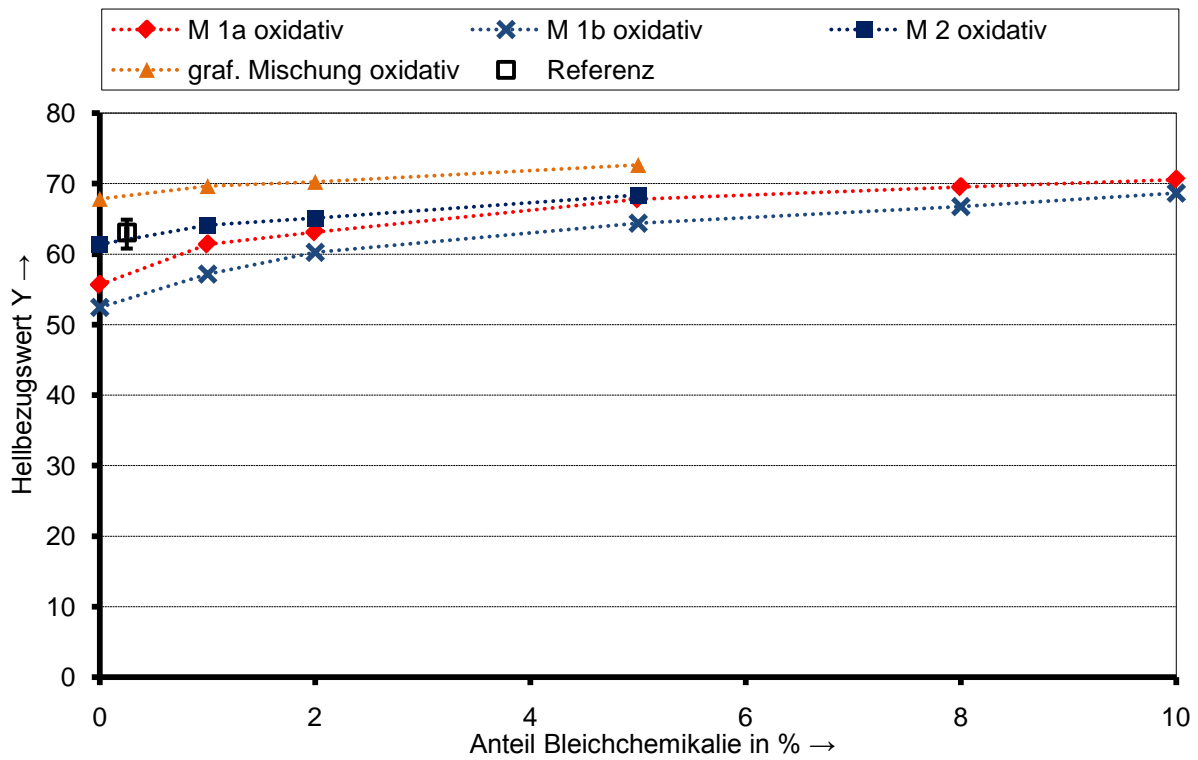


Abbildung 34: Hellbezugswert der verschiedenen Altpapermischungen bei oxidativer Bleiche

In Abbildung 34 ist wieder der Hellbezugswert der Bleichversuche aufgetragen. In diesem Fall aber nur für die oxidative Bleiche, dafür aber für alle untersuchten Mischungen. Die Mischung 2, welche einen Anteil an grafischen Papieren von 75 % aufweist, liegt bereits ohne Bleiche im Bereich von Standard-Zeitungsdruckpapier. Die rein grafische Mischung erzielt deutlich höhere Ergebnisse als die Referenz.

Beim Hellbezugswert kann also mit gemischtem Altpapier der Bereich von Standard-Zeitungsdruckpapier erreicht werden.

Anders verhält es sich beim Farbort, welcher in Abbildung 35 dargestellt ist. Auch in dieser Abbildung ist der Mittel-, Minimal- und Maximalwert der Referenzproben verzeichnet. Obwohl die Bleiche bei den gemischten Altpapiermischungen den Farbort in Richtung der Referenzproben verschiebt, kann der Referenzbereich nicht erreicht werden. Besonders beim b^* -Wert der Mischung 1 ist die Abweichung größer als 7 Punkte. Dies ist ein sehr deutlicher Unterschied. Allerdings weicht auch bei der rein grafischen Mischung der Farbort von dem der Referenzproben ab.

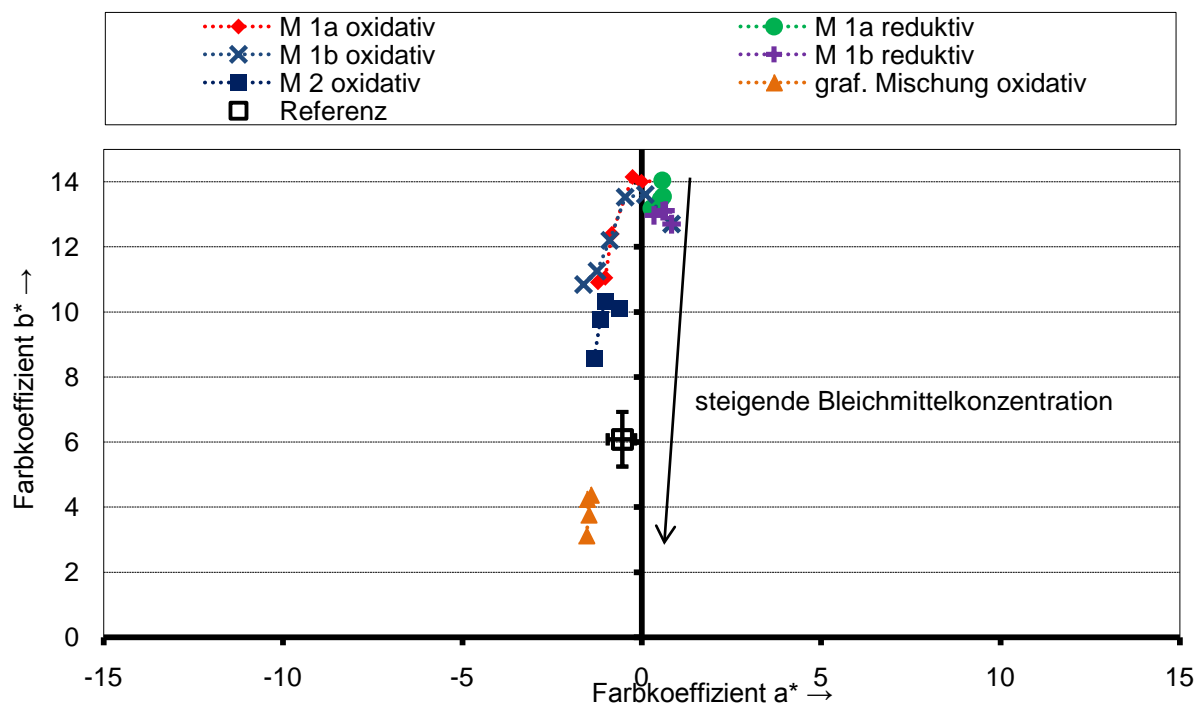


Abbildung 35: Farbort der Altpapiermischungen mit unterschiedlichen Bleichmitteln

Als letzte optische Eigenschaft der Deinkingstoffe wird die Schmutzpunktfläche der Schmutzpunkte größer als 50 μm betrachtet (siehe Abbildung 36). Hierbei ist wie bei den Versuchen im Teilprojekt 1 zu berücksichtigen, dass die Messung der Schmutzpunktfläche

neben Schmutzpunkten durch Druckfarben auch andere optische Inhomogenitäten wie Teile von Melierfasern oder Faserbündel umfasst. Hierdurch lässt es sich erklären, dass die gemessene Schmutzpunktfläche bei steigender Bleichmitteldosierung abnimmt. Ginge man von Schmutzpunkten, die allein durch Druckfarben verursacht werden, aus, sollte die Schmutzpunktfläche durch die Bleiche unbeeinflusst bleiben. Da Melierfasern und dunkle Faserbündel durch die Bleiche aber aufgehellt werden, nimmt die gemessene Schmutzpunktfläche ab.

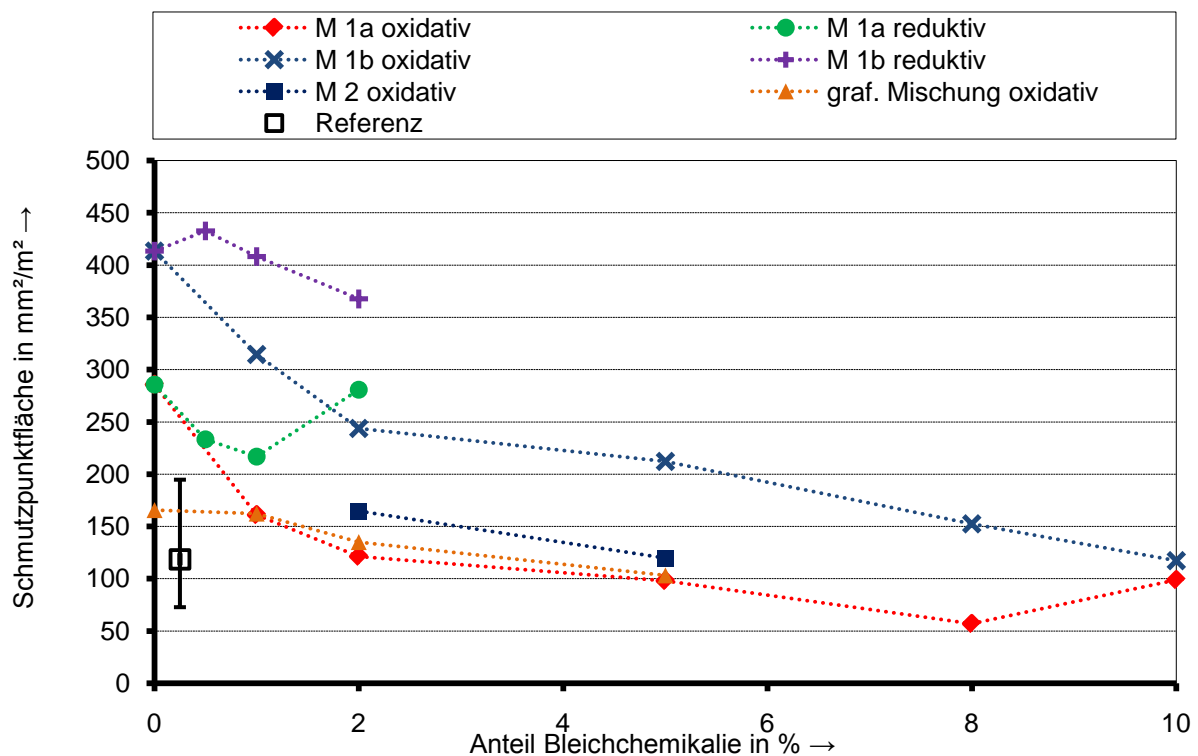


Abbildung 36: Flächenbezogene Schmutzpunktfläche DP der Schmutzpunkte größer 50 μm mit unterschiedlichen Bleichmitteln

Wie in den vorangegangenen Abbildungen ist zur Orientierung auch in Abbildung 36 der Bereich der Referenzproben eingetragen. Ein direkter Vergleich der Schmutzpunktfläche der gemischten Altpapiermischungen mit den Referenzproben ist aber wenig sinnvoll. Denn die Art der optischen Inhomogenitäten, und damit deren störende Wirkung, ist unterschiedlich. Dies lässt sich gut in Abbildung 37 erkennen. Das linke Teilbild ist ein Ausschnitt eines Laborblatts der Mischung 1a nach der zweiprozentigen oxidativen Bleiche, das rechte Teilbild ein Ausschnitt eines Laborblatts aus Standard-Zeitungsdruckpapier. Obwohl beide Proben eine ähnliche gemessene Gesamtschmutzpunktfläche aufweisen, ist der visuelle Eindruck der optischen Inhomogenitäten verschieden. Das Laborblatt aus gemischtem Altpapier wirkt

gröber, weniger homogen. Es kann an dieser Stelle nicht abgeschätzt werden, ob ein Abnehmer von Standard-Zeitungsdruckpapier den anderen visuellen Eindruck akzeptieren würde. Weitere Bildaufnahmen von Laborblättern sind im Anhang A.2 abgebildet.

Man kann zusammenfassend sagen, dass alle in den Versuchen gebildeten Laborblätter einen anderen visuellen Eindruck aufweisen als diejenigen der Referenzproben. Bei der rein grafischen Mischung gibt es aber deutlich weniger große Schmutzpunkte als bei den Referenzproben.

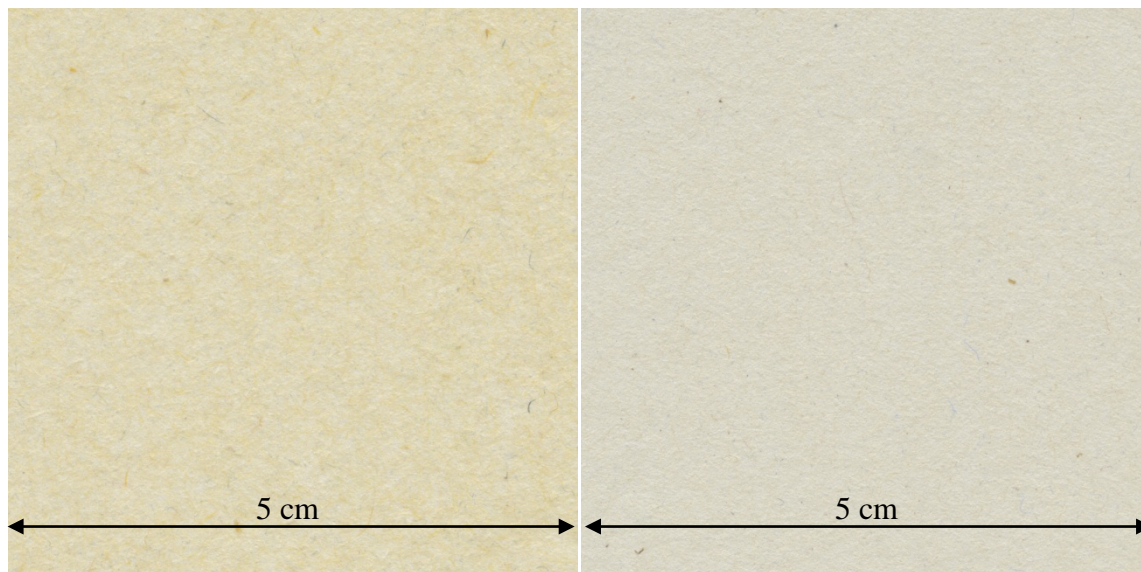


Abbildung 37: Bildaufnahmen von Laborblättern: M 1a nach oxidativer Bleiche mit 2 % Wasserstoffperoxid (links, Schmutzpunktfläche $121 \text{ mm}^2/\text{m}^2$) und ein Standard-Zeitungsdruckpapier (rechts, Schmutzpunktfläche $124 \text{ mm}^2/\text{m}^2$)

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der optischen Eigenschaften wird in Tabelle 22 gegeben.

Tabelle 22: Zusammenfassung der Ergebnisse der optischen Eigenschaften

Mischung	Hellbezugswert Y	Farbkoeffizienten	Schmutzpunkte und optische Inhomogenitäten
M 1a	Bereich der Referenz nach Bleiche mit 1 % Wasserstoffperoxid erreicht	bei Bleiche mit 1 % Wasserstoffperoxid ca. +7 Punkte im b*-Wert von Referenz entfernt	anderer visueller Eindruck als bei Referenz
M 1b	Bereich der Referenz nach Bleiche mit zwischen 2 und 5% Wasserstoffperoxid erreichbar	bei Bleiche mit 5 % Wasserstoffperoxid ca. +5 Punkte im b*-Wert von Referenz entfernt	anderer visueller Eindruck als bei Referenz
M 2	Bereich der Referenz ohne Bleiche erreicht	ohne Bleiche ca. +3 Punkte im b*-Wert von Referenz entfernt	anderer visueller Eindruck als bei Referenz
graf. M	Bereich der Referenz ohne Bleiche deutlich überschritten	ohne Bleiche ca. -1 Punkt im b*-Wert von Referenz entfernt	anderer visueller Eindruck als bei Referenz; deutlich weniger große Schmutzpunkte

Nach der Diskussion der optischen Eigenschaften werden nun die Ergebnisse zum CSB-Wert des Prozesswassers nach den Bleichversuchen betrachtet. Sie sind in Abbildung 38 bezogen auf die ofentrockene Stoffmenge dargestellt. Vergleicht man die Abbildung mit den Abbildungen zum Hellbezugswert (Abbildung 33 und Abbildung 34), wird deutlich, dass die CSB-Belastung des Prozesswassers mit steigender Bleichwirkung wie zu erwarten ansteigt. Es ist zu beachten, dass in den Versuchen mit Frischwasser gearbeitet wurde. Dies bedeutet, dass nach der 2. Eindickung die Verdünnung des Deinkingstoffs auf die Stoffdichte für die Bleiche mit frischem Wasser erfolgt ist. Der Hauptanteil der gemessenen CSB-Belastung resultiert also direkt aus der Bleiche. In einem industriellen Prozess mit Prozesswasser, welches im Kreislauf geführt wird, würde sich die CSB-Belastung anreichern.

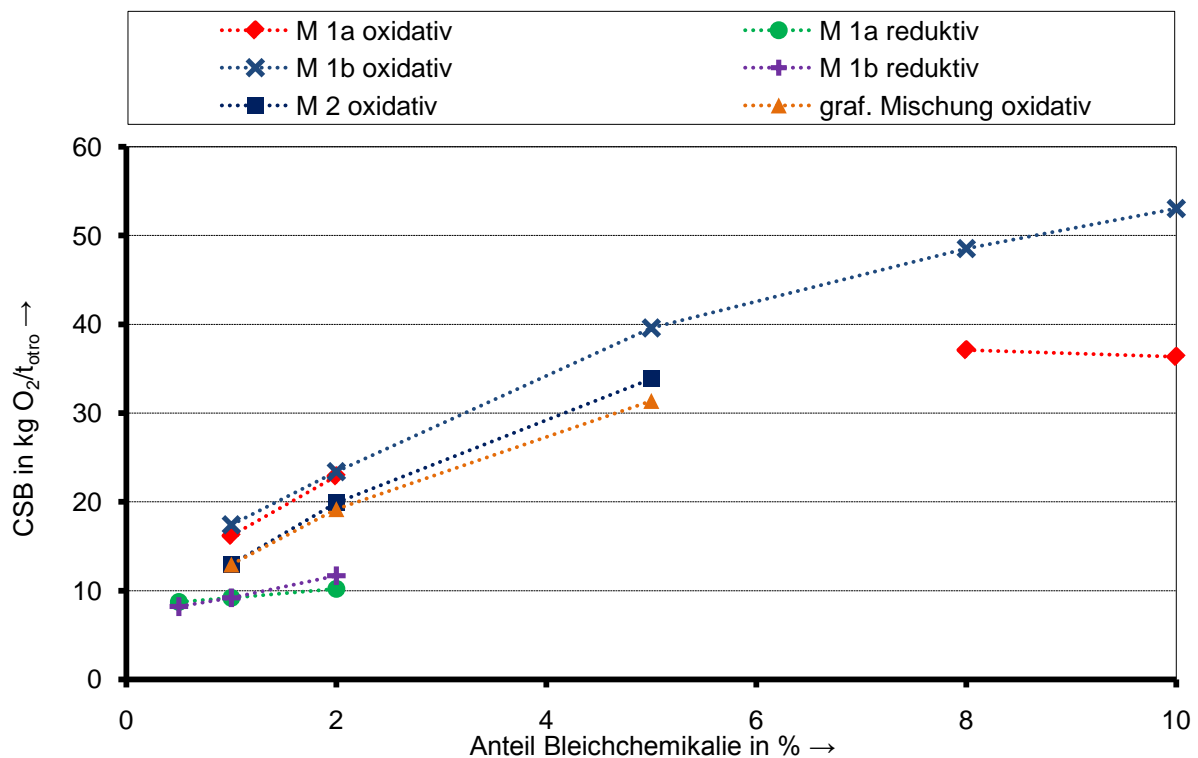


Abbildung 38: CSB-Werte des Prozesswassers in Abhängigkeit von der Bleichmittelkonzentration

Die Beobachtung des Schaumbilds ergibt, dass sich bei der ersten Flotationen der Mischung 1a im Vergleich zur rein grafischen Mischung nur wenig Schaum bildet. Dies wird durch die Abbildung 39 verdeutlicht, die Bildaufnahmen während der Flotationsversuche zeigt. Man erkennt aber auch, dass bei der Mischung 1b im Schaumbild keine großen Abweichungen gegenüber der rein grafischen Mischung auftreten.

Laut [15] hängt das Schaumverhalten während der Flotation hauptsächlich vom Altpapier ab und nicht von der Dosierung der üblichen Deinkingchemikalien. Insbesondere gestrichene Papiere im Altpapier enthalten im Strich Tenside, die zu verstärkter Schaumbildung führen [15].

Die Informationen aus den Versuchen und aus der Literatur lassen also darauf schließen, dass es in einer industriellen Stoffaufbereitung beim Einsatz einer anderen Altpapiersorte zu verändertem Schaumverhalten kommen kann. Diese Tatsache muss dann ggf. durch Anpassung des Prozesses berücksichtigt werden.



Abbildung 39: Bildaufnahmen des Schaums bei der ersten Flotation der graf. M (oben), M 1a (Mitte) und M 1b (unten)

7.2.2.6 Fehlerbetrachtung

Die in diesem Teilprojekt durchgeführten Hauptversuche sind noch deutlich aufwendiger als diejenigen im ersten Teilprojekt. Aus zeitlichen Gründen sind daher Wiederholungsversuche nicht durchführbar. Stattdessen wird in diesem Abschnitt eine kurze Betrachtung zu möglichen Fehlern vorgenommen. Es wird nur auf die optischen Eigenschaften Hellbezugswert und Farbkoeffizienten eingegangen. Denn wie gezeigt wurde, sind die Daten der Schmutzpunktflächen für den Vergleich des erzeugten Deinkingstoff mit Standard-Zeitungsdruckpapier nicht relevant.

Die Prozessschritte 1. Flotation (mit Zerfaserung), Dispergierung, 2. Flotation und Bleiche beeinflussen die optischen Eigenschaften des Deinkingstoffs. Somit ist die Größenordnung möglicher statistischer Streuungen bei diesen Prozessschritten interessant.

Im Teilprojekt 1 liefert die Fehlerbetrachtung der DP-Werte der Flotationsversuche, dass die doppelte Standardabweichung (95-prozentige Wahrscheinlichkeit der Realisierungen) für den Hellbezugswert Y 1,38 beträgt und für die Farbkoeffizienten a^* und b^* 0,23 bzw. 0,66 (siehe Abschnitt 5.3.3).

In diesem Teilprojekt wird bei dem Prozessschritt 1. Flotation der Stoff in zwei Portionen flotiert und anschließend vermischt. Bei einer Wiederholung des Prozessschritts wäre daher zu erwarten, dass die Streuung merklich geringer als bei den Versuchen im Teilprojekt 1 ausfällt.

Auch der Prozessschritt Dispergierung wird an zwei Stoffportionen durchgeführt, die ebenfalls anschließend vermischt werden. Es ist außerdem zu erwarten, dass es bei den Dispergierversuchen weniger mögliche Fehlerquellen als bei den Flotationsversuchen gibt. Denn der Prozess umfasst zum einen wesentlich weniger Teilschritte. Zum anderen hängen diese Teilschritte, anders als z. B. der Überlauf bei Flotationsversuchen, kaum von der durchführenden Person ab. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass der Prozessschritt Dispergierung eine hohe Wiederholgenauigkeit hat.

Der Prozessschritt 2. Flotation erfolgt nur an einer Stoffportion. Da der Stoff an zu diesem Punkt im Gesamtprozess aber nur noch mit verhältnismäßig wenig Druckfarbe belastet ist,

wirken sich statistische Schwankung bei der Durchführung der Versuche wahrscheinlich weniger stark aus als bei einer Flotation direkt nach der Zerfaserung.

Betrachtet man die nacheinanderfolgenden Prozessschritte 1. Flotation, Dispergierung und 2. Flotation als Gesamtversuch, liegt die Streubreite vermutlich in einem ähnlichen Bereich wie bei den Flotationsversuchen im ersten Teilprojekt (doppelte Standardabweichung für den Hellbezugswert Y : 1,38; für die Farbkoeffizienten a^* und b^* : 0,23 bzw. 0,66 (siehe Abschnitt 5.3.3)).

Zum letzten Prozessschritt, der Bleiche, wurden im Labor der durchführenden Forschungsstelle bereits zahlreiche Versuche durchgeführt. Die Wiederholgenauigkeit der Versuche ist hoch. Die Streubreite der Bleichversuche wird daher vernachlässigt.

Die Fehlerbetrachtung zeigt, dass die im vorangegangenen Abschnitt präsentierten Ergebnisse sehr wahrscheinlich signifikant und somit aussagekräftig sind.

8 Abschätzung zur Nuancierung

Wie im Abschnitt 7.2.2.5 gezeigt, ist der in den Hauptversuchen erzeugte Deinkingstoff aus gemischtem Altpapier nicht zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier geeignet. Dies liegt hauptsächlich daran, dass der Farbort des Stoffs sich von dem üblichen Farbort bei Standard-Zeitungsdruckpapier unterscheidet. Aus dem projektbegleitenden Ausschuss ist bekannt, dass bei der Herstellung von Deinkingstoff für Standard-Zeitungsdruckpapier oftmals Nuancierfarben zur Einstellung des gewünschten Farborts eingesetzt werden. Denn wie man bei den Ergebnissen der rein grafischen Mischung sieht, ist der enge Farbbereich für Standard-Zeitungsdruckpapier auch nicht unbedingt mit grafischem Altpapier zu erzielen. Im Folgenden wird daher grob abgeschätzt, ob durch den Einsatz von Nuancierfarben mit den untersuchten gemischten Altpapiermischungen die Qualität für Standard-Zeitungsdruckpapier erreicht werden kann.

Da das Projekt einen begrenzten zeitlichen Umfang hat, sind keine experimentellen Untersuchungen mit Farbstoffen mehr möglich. Von einem Hersteller von Deinkingstoff für Standard-Zeitungsdruckpapier liegen aber Daten aus Färbeversuchen mit unterschiedlichen Farbstoffen an zwei verschiedenen Altpapierstoffen vor. Diese Daten sind in Tabelle 23 zusammengefasst. Die berechneten Mittelwerte gelten bis zu einer maximalen Farbstoffzugabe von $100 \text{ g/t}_{\text{otro}}$. Die Farbstoffe werden von der Firma *BASF SE* angeboten, sind basisch und werden vorwiegend für holzhaltige oder Recycling-Papierqualitäten eingesetzt [20].

Tabelle 23: Zusammenfassung der vorliegenden Daten aus Färbeversuchen (Lichtart D65, 10°-Beobachter, Kantenfilter 420 nm, Dosierungsbereich der Farbstoffe bis 100 g/totro)

Modell- stoff Nr.	Y	a*	b*	Farbstoff	mittlere Veränderung des Farbeindrucks pro Zugabe von 10 g Farbstoff/t _{otro}		
					ΔY	Δa^*	Δb^*
1	79,1	-0,60	4,67	<i>Basazol® Blau 15 L</i>	-1,13	-0,01	-0,96
				<i>Basazol® Grün 20 L</i>	-0,45	-0,64	-0,45
				<i>Basazol® Rot 67 L</i>	-0,27	0,59	-0,41
				<i>Basazol® Gelb C 50</i>	0,08	-0,09	0,12
2	77,1	-0,83	5,92	<i>Basazol® Blau 15 L</i>	-1,05	-0,10	-0,99
				<i>Basazol® Grün 20 L</i>	-0,63	-0,66	-0,25
				<i>Basazol® Rot 67 L</i>	-0,27	0,54	-0,38
				<i>Basazol® Gelb C 50</i>	-0,02	-0,08	0,14

In Tabelle 24 sind die relevanten Messdaten zur oxidativen Bleiche der untersuchten gemischten Altpapiermischungen gelistet und in Tabelle 25 die relevanten Daten der Referenzproben. Der Farbkoeffizient a^* liegt bei den Stoffen aus gemischtem Altpapier entweder im Bereich der Referenzproben oder relativ nahe daran. Große Unterschiede gibt es beim Farbkoeffizient b^* . Eine Nuancierung des Stoffs aus gemischtem Altpapier mit dem Farbstoff *Basazol® Blau 15 L* ist daher am sinnvollsten. Dieser Farbstoff verändert bei den Modellstoffen den a^* -Wert nur sehr gering und den b^* -Wert um ca. einen Punkt pro Zugabe von 10 g/t_{otro}.

Tabelle 24: Hellbezugswert und Farbkoeffizienten der gemischten Altpapiermischungen mit oxidativer Bleiche (Lichtart D65, 10°-Beobachter, Kantenfilter 420 nm)

Mischung	Konzentration H ₂ O ₂ in %	Y	a*	b*
M 1a	0	55,8	0,59	14,00
	1	61,3	0,04	14,02
	2	63,1	-0,20	14,10
	5	67,7	-0,75	12,32
	8	69,5	-0,93	11,12
	10	70,5	-1,16	10,82
M 1b	0	52,3	0,81	13,20
	1	57,2	0,09	13,62
	2	60,3	-0,43	13,49
	5	64,2	-0,90	12,21
	8	67,0	-1,17	11,17
	10	68,8	-1,56	10,60
M 2	0	60,9	0,51	9,80
	1	63,6	0,18	10,05
	2	64,6	-0,04	9,55
	5	68,1	-0,29	8,40

Tabelle 25: Hellbezugswert und Farbkoeffizienten der Referenzproben (Lichtart D65, 10°-Beobachter, Kantenfilter 420 nm)

	Y	a*	b*
Mittelwert	63,1	-0,49	6,27
Maximalwert	64,9	-0,08	7,00
Minimalwert	61,0	-0,99	5,34

Folgende Berechnung werden angestellt: Als Zielwert für die Nuancierung wird der maximale b^* -Wert der Referenz, 7, gewählt. Für alle Versuche aus Tabelle 24 wird der Farbstoffbedarf zum Erreichen dieses Zielwerts berechnet. Dabei kommen die Farbstoffdaten des Modellstoff Nr. 2 zum Einsatz, da die optischen Eigenschaften dieses Stoffs näher an den untersuchten Stoffen liegen. Anschließend wird ermittelt, wie die Zugabe der notwendigen Farbstoffmenge den Hellbezugswert Y und den Farbkoeffizient a^* verändert.

Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle 26 dargestellt. Es ist unbedingt zu beachten, dass diese Ergebnisse die Nuancierwirkung nur sehr grob abschätzen. Denn die gegebenen Nuancierdaten wurden an Stoffen bestimmt, die sich optisch erheblich von den untersuchten Stoffen unterscheiden.

Rot markiert sind in der Tabelle diejenigen Szenarien, in welchen trotz der Reduzierung des Hellbezugswerts durch den Farbstoff gerade den Hellbezugsbereich der Referenzproben noch bzw. annähernd erreicht wird. Abweichungen im Farbort a^* könnten ggf. wahrscheinlich durch eine geringe Zugabe des Farbstoffs *Basazol® Rot 67 L* rot ausgeglichen werden. Gemeinsam ist allen rot markierten Szenarien, dass eine Bleiche notwendig ist.

Tabelle 26: Abschätzung der Nuancierwirkung des Farbstoffs *Basazol® Blau 15 L* auf den Hellbezugswert und Farbort der gemischten Altpapiermischungen

Mischung	Konzentration H ₂ O ₂ in %	Y	a*	b*	Farbstoffbedarf in 10 g/t _{otro}
M 1a	0	48	-0,1	7,0	7
	1	54	-0,7	7,0	7
	2	56	-0,9	7,0	7
	5	62	-1,3	7,0	5
	8	65	-1,3	7,0	4
	10	66	-1,2	7,0	4
M 1b	0	46	0,2	7,0	6
	1	50	-0,6	7,0	7
	2	53	-1,1	7,0	7
	5	59	-1,4	7,0	5
	8	63	-1,6	7,0	4
	10	65	-1,9	7,0	4
M 2	0	58	0,2	7,0	3
	1	60	-0,1	7,0	3
	2	62	-0,3	7,0	3
	5	67	-0,4	7,0	1

9 Schlussfolgerungen zum Teilprojekt 2

Die experimentellen Arbeiten des Kapitels 7 und die anschließende Abschätzung zur Nuancierung erlauben nun eine Prüfung der zu Beginn des Projekts formulierten Hypothese:

„Durch einen typischen Aufbereitungsprozess für Standard-Zeitungsdruckpapier ist auch mit Altpapier der Sorte 1.02 Deinkingstoff erzeugbar, der sich für die Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier eignet.“ (Auszug Kapitel 3)

Die durchgeführten Versuche beinhalteten bis auf eine Farbnuancierung alle im Hinblick auf die optischen Eigenschaften relevanten Prozessschritte für Deinkingstoff zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier. Es wurden Altpapiermischungen aus bekannten Papierprodukten aufbereitet, wobei eine mittlere Zusammensetzung von Altpapier der Sorte 1.02 und eine Zusammensetzung mit einem relativ hohen Anteil an grafischen Papieren (75 %) betrachtet wurde.

Der Referenzbereich für Deinkingstoff zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier wurde durch die Untersuchung von 13 Standard-Zeitungsdruckpapieren ermittelt. Es liegen Daten zum Hellbezugswert Y , den Farbkoeffizienten a^* und b^* und zur flächenbezogenen Schmutzpunktfläche vor.

Ein Vergleich der untersuchten Altpapiermischungen der Sorte 1.02 mit den Referenzdaten zeigt: Beim Hellbezugswert Y wurde die Qualität der Referenzproben erreicht. Beim Farbkoeffizienten b^* konnte in keinem Versuch der Bereich der Referenzproben getroffen werden. Bei den flächenbezogenen Schmutzpunktflächen ist ein Vergleich der Messdaten nicht sinnvoll. Denn die Referenzproben weisen hauptsächlich Schmutzpunkte aus Druckfarbenteilchen auf, wohingegen die untersuchten Proben aus dem gemischten Altpapier eher auffallende Melierfasern, Faserbündel und allgemein einen weniger homogenen optischen Eindruck aufweisen.

Auf Basis der Abschätzung zur Nuancierung lässt sich vermuten, dass durch eine Nuancierung bei allen untersuchten Altpapiermischungen die Abweichungen beim Farbkoeffizient b^* ausgeglichen werden können. Allerdings wäre es in diesem Fall erforderlich, die Stoffe mit Wasserstoffperoxid zu bleichen, um den notwendigen Bereich des

Hellbezugswerts Y nicht zu unterschreiten. Dabei wäre für die Nachbleiche mit Peroxiddosierungen von ungefähr 5 (M 1a), bzw. 8 (M 1b) oder 2 % (M 2) und zusätzlich den dazu notwendigen Mengen an Natronlauge zu rechnen.

Fabriken zur Aufbereitung von Deinkingstoff für Standard-Zeitungsdruckpapier verfügen üblicherweise nur über eine Dispergerbleiche und keinen Bleichturm. Dabei werden die Bleichchemikalien nach der Eindickung und vor der Dispergierung zugegeben. Je höher die Konzentration der Bleichchemikalien, desto stärker wird der Stoff dabei verdünnt. Eine Verdünnung verschlechtert die Dispergierwirkung (siehe auch Abschnitt 7.2.1). Die maximal mögliche Stoffdichte nach der Eindickung ist technisch begrenzt. Diese Grenze hängt unter anderem von der Ausstattung der Fabrik ab. Der Verdünnung durch die Bleichchemikalien kann also nur in begrenztem Maße entgegen gewirkt werden. Andererseits haben die Versuche in diesem Projekt gezeigt, dass das untersuchte gemischte Altpapier eher wenig Schmutzpunkte durch Druckfarben verursacht. Eine verschlechterte Dispergierwirkung ist daher vermutlich bis zu einem gewissen Grad tolerierbar.

Die Hypothese lässt sich aus den genannten Gründen also nicht eindeutig bestätigen oder verwerfen. Eine Bestätigung könnte unter den folgenden Annahmen erfolgen:

- Eine Nuancierung, die in etwa der abgeschätzten Wirkung entspricht, ist in der industriellen Praxis möglich.
- Die Unterschiede beim Eindruck der visuellen Inhomogenitäten sind nicht relevant.
- In einer industriellen Dispergerbleiche wird die Dispergierwirkung durch die Zumischung der Bleichchemikalien in flüssiger Form nicht übermäßig verschlechtert.

10 Kostenbetrachtung

Für die Kostenbetrachtung in diesem Kapitel wird davon ausgegangen, dass sich mit den untersuchten Altpapiermischungen der Sorte 1.02 Deinkingstoff zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier erzeugen lässt. Es kann also im Vergleich zum Stand der Praxis, dem Einsatz von grafischem Altpapier der Sorte 1.11, von reduzierten Kosten beim Rohstoffeinkauf ausgegangen werden. Demgegenüber stehen erhöhte Kosten für Chemikalien und in anderen Bereichen.

Im ersten Abschnitt des Kapitels werden die Bereiche betrachtet, in denen mit veränderten Kosten gegenüber dem Stand der Praxis zu rechnen ist. Anschließend wird für vereinfachte Szenarien ein Vergleich bei Rohstoff- und Chemikalienkosten vorgenommen.

10.1 Bereiche mit Kostenveränderungen

Tabelle 27 gibt einen Überblick über die Bereiche, in denen mit veränderten Kosten zu rechnen ist. Die Bereiche werden nachfolgend im Detail beleuchtet.

Die Preise für Altpapierballen der Sorte 1.02 lagen im Jahr 2013 zwischen 24 und 37 € Deinkingware der Sorte 1.11 wurde mit 63 bis 77 € gehandelt. Dadurch ergibt sich eine mittlere Preisdifferenz zwischen den Sorten von ca. 40 €. Die genannten Preise sind Mittelwerte aus den monatlichen Daten der Europäischen Wirtschaftsdienst GmbH [4] im Jahr 2013.

Bei den Prozesschemikalien entstehen vor allem durch eine Bleiche zusätzliche Kosten. Geht man von einer oxidativen Bleiche aus, werden Wasserstoffperoxid, Natronlauge und Natriumsilikat zusätzlich oder in größeren Mengen benötigt. Laut Angaben von Lieferanten können für den Einsatz in der Papierindustrie bei entsprechenden Bestellmengen im Juni 2014 folgende Preise angesetzt werden:

- Wasserstoffperoxid: 590 bis 1.250 €/t,
- Natriumsilikat: 412 €/t.

Die Preise von 50-prozentiger Natronlauge unterliegen großen Schwankungen. Ein mittlerer Preis über den Zeitraum 3. Quartal 2013 bis Ende 2. Quartal 2014 lag zwischen 368 und 413 €/t bezogen auf eine Konzentration von 100 %. Dies ergibt sich aus Quartalszahlen der Europäischen Wirtschaftsdienst GmbH [4].

Auch Kosten für Nuancierfarbstoffe fallen an. Für die im Kapitel 8 genannten Farbstoffe der Sorte *Basazol*® liegen die Kosten in einem Bereich von 3000 bis 4000 €/t. Allerdings werden nur sehr geringe Mengen Farbstoff benötigt.

Sollte das Schaumverhalten bei der Flotation des Stoffs aus gemischtem Altpapier zu gering sein, sind ggf. schaumerzeugende Chemikalien einzusetzen.

Tabelle 27: Übersicht über die Bereiche mit veränderten Kosten

Bereich	Vorteil	Nachteil	Bemerkungen
Rohstoff Altpapier	✓		Sorte 1.02 im Durchschnitt günstiger als Sorte 1.11
Prozesschemikalien		✓	(erhöhter) Bedarf an Chemikalien für die Bleiche und ggf. zur Schaumbildung bei der Flotation
Energie		✓	erhöhter Energiebedarf für die Zerfaserung
Rohstoffausbeute			geringerer Ascheanteil, erhöhter Anteil papierfremder Stoffe
Prozesswasser		✓	Verfärbung durch wasserlösliche Flexodruckfarben, steigender CSB durch Verpackungsprodukte und Bleiche
Abwasser		✓	erhöhter Reinigungsaufwand durch steigende Prozesswasserbelastung
Rejekte		✓	erhöhte Rejektmenge durch höheren Anteil an papierfremden Stoffen im Rohstoff Altpapier
Deinkingschlämme	✓		reduzierte Menge wegen geringerem Ascheanteil
Runability der Papiermaschine		✓	steigende Belastung durch Stickys erhöht die Abrisswahrscheinlichkeit bei der Papierproduktion

Die Zerfaserung von Altpapier mit höheren Anteilen an Verpackungspapier benötigt mehr Energie. Denn oftmals sind Verpackungspapiere nassfest ausgerüstet und somit schwerer zu

zerfasern. Bei den in diesem Projekt durchgeführten Versuchen gab es beispielsweise bei einigen Wellpappenprodukten Probleme mit Stippen. Je mehr Stippen nach der üblichen Zerfaserungsbehandlung einer Altpapierstoffaufbereitung für Standard-Zeitungsdruckpapier noch vorhanden sind, desto mehr Energie muss in der anschließenden Entstippung aufgewendet werden.

Die Rohstoffausbeute des Gesamtprozesses wird in mehrfacher Hinsicht beeinflusst. Altpapier der Sorte 1.02 weist durchschnittlich einen geringeren Aschegehalt als Altpapier der Sorte 1.11 auf. Mittelwerte aus [3] liegen bei 21 % für die Sorte 1.02 und bei 24 % für die Sorte 1.11. Da bei einer Flotation Fein- und Füllstoffe bevorzugt ausgetragen werden, erhöht sich beim Einsatz von Altpapier der Sorte 1.02 die durchschnittliche Ausbeute bei der Flotation. Andererseits enthält die Sorte 1.02, lose gehandelt, durchschnittlich 1,2 % papierfremde Stoffe im Vergleich zu 0,5 % bei der Sorte 1.11 (lose gehandelt) [3]. Die papierfremden Stoffe werden in der Aufbereitung durch die Reinigung abgetrennt, wodurch sich an dieser Stelle die Ausbeute verringert.

Der höhere Anteil an papierfremden Stoffen erzeugt außerdem mehr Rejekte. Bei der Flotation fällt durch den geringeren Aschegehalt des gemischten Altpapiers aber weniger Deinkingschlamm an.

Der Reinigungsaufwand für das Abwasser steigt durch den Einsatz von Verpackungsmaterial an. Viele Verpackungen enthalten Stärke, welche sich im Wasser löst [15]. CSB-Werte verschiedener Altpapiersorten wurden in [3] am Weißband-Filtrat einer Suspension (aus Altpapier und Frisch- bzw. Leitungswasser) bestimmt. Altpapier der Sorte 1.02 hatte durchschnittlich einen CSB von $26 \text{ kg O}_2/t_{\text{otro}}$, Altpapier der Sorte 1.11 nur einen von $8 \text{ kg O}_2/t_{\text{otro}}$. Der CSB wird durch eine Bleiche zusätzlich erhöht (siehe Abschnitt 7.2.2.5). Abwasserreinigungsanlagen von Papierfabriken haben begrenzte Abbauleistungen. Sollte eine Abwasserreinigungsanlage bereits bei Altpapier der Sorte 1.11 nahe an ihrer maximalen Kapazität arbeiten, wäre der Einsatz von Altpapier der Sorte 1.02 ggf. überhaupt nicht möglich, da die erforderliche zusätzliche Abbauleistung nicht mehr erbracht werden könnte. Die verfügbare Abbauleistung der Abwasserreinigungsanlage könnte also beim Einsatz von Altpapier der Sorte 1.02 zu starken Einschränkungen führen, selbst wenn die Aufbereitung technisch möglich wäre.

Neben den Problemen beim Abwasser wird durch Verpackungen mit Flexo-Bedruckung zusätzlich noch das Prozesswasser eingefärbt (siehe Abschnitt 5.3.1 und [15]).

Altpapier der Sorte 1.02 ist im Durchschnitt höher mit Klebstoffapplikationen belastet als Altpapier der Sorte 1.11. [3] gibt folgende Daten zum Makro-Sticky-Gehalt:

- Altpapier der Sorte 1.02: 21.000 mm²/kg,
- Altpapier der Sorte 1.11: 13.200 mm²/kg.

Stickys können zu Abrissen bei der Papierherstellung führen und damit zu Produktionsausfällen. Außerdem können sie Defekte im Papier verursachen und dadurch die Papierqualität mindern. Der Einsatz von Altpapier der Sorte 1.02 kann folglich die Wahrscheinlichkeit für Abrisse in der Papiermaschine und Defekte im Papier erhöhen.

10.2 Kostenvergleich für vereinfachte Szenarien

Die meisten der im vorangegangenen Abschnitt genannten Kostenveränderungen sind nur schwer und aufwendig zu ermitteln. Da der zeitliche Aufwand für dieses Projekt begrenzt ist, können nur zwei sehr vereinfachte Szenarien betrachtet werden:

- Szenario 1: Ein Altpapier der Sorte 1.02 mit einem hohen Anteil an grafischem Papier wird eingesetzt. Das Altpapier ist genauso beschaffen wie die im Kapitel 7.2.2 eingesetzte Mischung 2.
- Szenario 2: Ein Altpapier der Sorte 1.02 mit einem mittleren Anteil an grafischem Papier wird eingesetzt. Das Altpapier ist genauso beschaffen wie die im Kapitel 7.2.2 eingesetzte Mischung 1a.

Gegenüber dem Stand der Praxis, dem Einsatz von grafischem Altpapier der Sorte 1.11, werden nur folgende Veränderungen angenommen: reduzierte Rohstoffkosten und erhöhte Chemikalienkosten. Die erhöhten Chemikalienkosten ergeben sich aus der notwendigen oxidativen Bleiche der gemischten Altpapierstoffe (siehe Kapitel 9). Es wird angenommen, dass der Stoff aus der Sorte 1.11 nicht gebleicht und nuanciert werden muss. Alle anderen Kostenbereiche, wie beispielsweise die Ausbeute, Rejektmenge oder Prozesswasserqualität, bleiben unbeeinflusst.

Tabelle 28 zeigt die Bilanz für das Szenario 1. Bei der Rohstoffkosteneinsparung wird mit dem mittleren Preisunterschied zwischen Altpapier der Sorten 1.02 und 1.11 gerechnet

(40 €/t, siehe Abschnitt 10.1). Als mittlerer Preis für Natronlauge wird auf Basis der im Abschnitt 10.1 genannten Daten 400 €/t bezogen auf eine Konzentration von 100 % festgelegt, als mittlerer Preis für Wasserstoffperoxid 800 €/t bezogen auf eine Konzentration von 100 % und als mittlerer Preis für den Farbstoff *Basazol® Blau 15 L* 4000 €/t.

Gemäß der Abschätzung im Kapitel 8, werden folgende notwendige Mengen für die Prozesschemikalien berücksichtigt:

- Wasserstoffperoxid: 2 %,
- Natronlauge: 1,3 %,
- Natriumsilikat: 2 %,
- Farbstoff *Basazol® Blau 15 L* 0,003 %.

In Summe ergibt sich in Tabelle 28 eine Bilanz von -11 €/t. Die Kosteneinsparungen beim Rohstoff sind folglich höher als die Kostenerhöhungen durch die zusätzlich erforderlichen Chemikalien.

Tabelle 28: Kostenbilanz für das Szenario 1

Posten	Kosteneinsparung in €pro Tonne otro Deinkingstoff	Kostenerhöhung in €pro Tonne otro Deinkingstoff
Rohstoff Altpapier	-40	
Wasserstoffperoxid		16
Natronlauge		5
Natriumsilikat		8
Farbstoff		vernachlässigbar
Summe	-11	

Tabelle 29 zeigt die Kostenbilanz für das Szenario 2. In diesem Szenario werden größere Mengen an Prozesschemikalien benötigt. Aus der Abschätzung im Kapitel 8 folgt:

- Wasserstoffperoxid: 5 %,
- Natronlauge: 3,3 %,
- Natriumsilikat: 2 %,
- Farbstoff *Basazol® Blau 15 L* 0,005 %.

Tabelle 29: Kostenbilanz für das Szenario 2

Posten	Kosteneinsparung in € pro Tonne otro Deinkingstoff	Kostenerhöhung in € pro Tonne otro Deinkingstoff
Rohstoff Altpapier	-40	
Wasserstoffperoxid		40
Natronlauge		13
Natriumsilikat		8
Farbstoff		vernachlässigbar
Summe		+ 21

In Summe ergibt sich für das Szenario 2 eine Kostenerhöhung von +21 €/t. Die Kosten für die zusätzlichen Chemikalien sind also deutlich höher als die Einsparungen beim Rohstoff.

Bereits die Gegenüberstellung der Chemikalien- und Rohstoffkosten zeigt, dass eine Herstellung von Deinkingstoff für Standard-Zeitungsdruckpapier mit dem gemischtem Altpapier einer mittleren Zusammensetzung (M 1a) sehr wahrscheinlich nicht wirtschaftlich ist.

11 Zusammenfassung

Übergeordnetes Ziel des vorliegenden Projekts war es, Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Altpapier der Sorte 1.02 zur Herstellung einfacher grafischer Papiere zu ermitteln. Dies sollte hauptsächlich unter Betrachtung der optischen Eigenschaften der erzeugten Papiere und im Hinblick auf die grafische Papiersorte Standard-Zeitungsdruckpapier erfolgen.

Das Projekt wurde in zwei Teilprojekte unterteilt.

11.1 Teilprojekt 1

Im ersten Teilprojekt wurde der Einfluss nicht-grafischer Papiere auf die optischen Eigenschaften von Deinkingstoff systematisch ermittelt. Dazu wurden Proben von 10 Verpackungspapierprodukten in Mischungen mit grafischen Papierprodukten einstufigen Deinkingversuchen unterzogen. Die Versuchsergebnisse wurden genutzt, um empirische Modelle zu erstellen. Die Modelle beschreiben den Einfluss einzelner Verpackungspapierprodukte auf die Deinkingstoffqualität.

Es wurde gezeigt, dass die Zugabe von Verpackungspapierprodukten zu grafischen Altpapiermischungen die optische Qualität des Deinkingstoffs meist verschlechtert. Durchschnittlich kommt es zu einer Reduzierung des Hellbezugswerts und der Ink Elimination sowie zu einer Verschiebung der Farbkoeffizienten in Richtung rötlich-gelblich. Die Verschiebung in Richtung gelblich ist dabei deutlich stärker als die in Richtung rötlich. Das Prozesswasser wird durch eine steigende Filtratverdunkelung belastet. Auf die Messwerte der Schmutzpunktfläche haben die Verpackungen aber nahezu keinen Einfluss.

Die Modellierung ergibt, dass der Karton aus Frischfasern (Karton GC) die optische Qualität des Deinkingstoffs nahezu nicht verändert und auch der gestrichene graue Karton (Karton GD) nur einen sehr geringen Einfluss hat.

Die untersuchten braunen Wellpappen reduzieren den Hellbezugswert um durchschnittlich $-0,3$ Punkte pro Zugabe von einem Prozent Wellpappe und verschieben den Farbkoeffizienten b^* um ca. $0,23$ Punkte in Richtung gelblich.

Die weiß gedeckten Wellpappen verschlechtern ebenfalls den Hellbezugswert (zwischen -0,46 und -0,10 pro Zugabe von 1 %) und verschieben den Farbkoeffizienten b^* in Richtung gelblich (zwischen 0,05 und 0,16 pro Zugabe von 1 %).

Durch die ungestrichenen grauen Kartons wird pro Zugabe von 1 % der Hellbezugswert um -0,23 bzw. -0,14 Punkte reduziert und der Farbkoeffizient b^* um 0,15 bzw. 0,11 Punkte verschoben.

11.2 Teilprojekt 2

Im zweiten Teilprojekt wurden drei Altpapiermischungen, die der Sorte 1.02 zuzuordnen sind, einem Laboraufbereitungsprozess unterzogen, der sich an einem typischen Aufbereitungsprozess für Standard-Zeitungsdruckpapier orientiert. Es sollte dadurch folgende Hypothese geprüft werden:

„Durch einen typischen Aufbereitungsprozess für Standard-Zeitungsdruckpapier ist mit Altpapier der Sorte 1.02 Deinkingstoff erzeugbar, der sich für die Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier eignet.“

Der Laboraufbereitungsprozess enthält die Prozessschritte: Zerfaserung, Stapelung und 1. Flotation, Eindickung, Dispergierung, Stapelung und 2. Flotation, Eindickung und Bleiche. Neben der Aufbereitung der drei Altpapiermischungen wurden die optischen Eigenschaften von Deinkingstoff, der zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier geeignet ist, an 13 Standard-Zeitungsdruckpapieren ermittelt.

Ein Vergleich dieser Referenzwerte mit den Ergebnissen der Versuche zeigt, dass die Messdaten zur Schmutzpunktfläche nicht vergleichbar sind. Denn die Blätter aus dem erzeugten Deinkingstoff rufen einen anderen visuellen Eindruck als Standard-Zeitungsdruckpapier hervor. Insbesondere sind Faserbündel sowie Melierfasern sichtbar und insgesamt wirken die Blätter gröber und weniger homogen. Ob diese Tatsache ein Ausschlusskriterium für die Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier ist, kann im Rahmen des Projekts nicht beantwortet werden.

Der Vergleich beim Hellbezugswert liefert folgende Ergebnisse: Die untersuchte Altpapiermischung mit dem 25-prozentigen Verpackungsanteil erreicht ohne Bleiche den

Bereich der Standard-Zeitungsdruckpapiere. Bei den beiden Mischungen mit 45 % Verpackungen ist eine Bleiche mit 1 bzw. zwischen 2 und 5 % Wasserstoffperoxid notwendig.


Beim Farbkoeffizienten a^* liegen die Altpapiermischungen mit und ohne Bleiche entweder im Bereich der Referenzproben oder relativ nahe daran. Beim Farbkoeffizienten b^* liegt die Mischung mit 25 % Verpackungen +3 Punkte vom Bereich der Standard-Zeitungsdruckpapiere entfernt. Die Mischungen mit 45 % Verpackungen weichen ohne Bleiche sogar um +7 Punkte, mit Bleiche zwischen +7 und +4 Punkten von der Referenz ab. Der aus den drei Altpapiermischungen hergestellte Deinkingstoff ist folglich nicht zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier geeignet.

Daher wird anhand von bereitgestellten Daten grob abgeschätzt, wie eine mögliche Nuancierung den Farbton des Deinkingstoffs verändern kann. Die Abschätzung lässt vermuten, dass durch eine Nuancierung mit einem blauen Farbstoff ein für Standard-Zeitungsdruckpapier akzeptabler Farbton erzielt werden kann. Da der blaue Farbstoff auch den Hellbezugswert des Deinkingstoffs reduzieren würde, wäre eine stärkere Bleiche erforderlich. Es wären gemäß der Abschätzung Peroxiddosierungen von ungefähr 2 % bei der Altpapiermischung mit 25% Verpackungen und ungefähr 5 bzw. 8 % bei den Mischungen mit 45 % Verpackungen notwendig.

Ob in der industriellen Praxis eine Dispergerbleiche mit solch hohen Bleichmitteldosierungen umsetzbar wäre, ist unklar.

Die Ergebnisse des zweiten Teilprojekts erlauben aus den verschiedenen oben genannten Gründen keine eindeutige Bestätigung oder Widerlegung der aufgestellten Hypothese.

Trotzdem wird zum Schluss des Teilprojekts 2 eine Kostenbetrachtung vorgenommen. Dabei wird angenommen, dass die Hypothese in der Praxis bestätigt werden könnte. Es werden Bereiche einer Altpapierstoffaufbereitung aufgeführt, in welchen mit veränderten Kosten zu rechnen wäre, sollte Altpapier der Sorte 1.02 anstelle der Sorte 1.11 eingesetzt werden. Anschließend werden für die untersuchten Altpapiermischungen und Altpapier der Sorte 1.11 die Rohstoff- und Chemikalienkosten verglichen. Bei der Mischung mit 25 % Verpackungen ergeben sich in Summe ungefähr Einsparungen in Höhe von -11 €/t gegenüber dem Einsatz



von Altpapier der Sorte 1.11. Bei einer der Mischungen mit 45 % Verpackungen entsteht eine Bilanzsumme von ca. +20 €t zusätzlicher Chemikalienkosten.

12 Fazit und Ausblick

12.1 Teilprojekt 1

Das Ziel des ersten Teilprojekts, den Einfluss nicht-grafischer Papiere auf die optische Qualität von Deinkingstoff quantitativ und systematisch zu ermitteln, wurde erreicht. Dadurch kann nun die Qualität von Altpapier zur Aufbereitung von Deinkingstoff für grafische Papiere (Deinkingware) tiefergehend beurteilt werden.

Von den 10 untersuchten Verpackungspapierprodukten können zwei Produkte als unkritisch für die Deinkingware betrachtet werden. Dies sind die gestrichenen Kartons GC und GD.

Dabei entspricht das Ergebnis beim Karton GC (Primärfasern) voll den Erwartungen. Beim Karton GD (Sekundärfasern) sollte zur Sicherheit nicht von dem untersuchten Verpackungprodukt auf den allgemeinen Einfluss von gestrichenen Sekundärfaserkartons geschlossen werden. Weiterführende Versuche mit einer größeren Anzahl an gestrichenen Kartonprodukten könnten zeigen, ob der in diesem Projekt untersuchte Karton GD repräsentativ ist.

Die drei untersuchten braunen Wellpappe wirken sich am störendsten in Deinkingware aus. Ihr Einfluss auf den Hellbezugswert und die Farbkoeffizienten a^* und b^* ist durchschnittlich am größten. Es wird daraus geschlossen, dass diese Produktsorte soweit wie möglich aus der Deinkingware fern gehalten werden sollte.

Nicht so schädlich wie die braunen Wellpappen waren die beiden untersuchten ungestrichenen Sekundärfaserkartons. Wie bei dem gestrichenen Sekundärfaserkarton sollte aber auch hier noch keine Verallgemeinerung vorgenommen werden. Erst mit einer größeren Anzahl an untersuchten Verpackungprodukten könnte die störende Wirkung der Kartons genauer beziffert werden.

Das gleiche Fazit wird auch bei den weiß gedeckten Wellpappen gezogen. Denn alle drei untersuchten weiß gedeckten Wellpappen haben zwar einen störenden Einfluss auf die Deinkingstoffqualität, die Höhe des Einflusses weist aber keine eindeutige Tendenz auf.

12.2 Teilprojekt 2

Das Ziel des Teilprojekts 2, die Prüfung der anfangs formulierten Hypothese, dass sich mit Altpapier der Sorte 1.02 Deinkingstoff zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier erzeugen lässt, konnte nicht erreicht werden.

Zur eindeutigen Klärung des Sachverhalts müssten Antworten auf folgende Fragen gefunden werden:

- (1) Sind die Unterschiede bei den optischen Inhomogenitäten zwischen dem erzeugten Deinkingstoff und Standard-Zeitungsdruckpapier relevant?
- (2) Welchen quantitativen Einfluss auf die optischen Eigenschaften des Deinkingstoffs hat eine Nuancierung mit einem blauen Farbstoff in der Praxis?
- (3) In welcher Höhe verschlechtert sich bei einer Dispergerbleiche die Dispergierwirkung durch die Zumischung von Chemikalien für die Bleiche in flüssiger Form?

Die Frage Nr. 1 könnte durch eine Befragung von Abnehmern von Standard-Zeitungsdruckpapier beantwortet werden.

Zur Beantwortung der Fragen Nr. 2 und 3 würden sich Versuche in einem größeren Maßstab, z. B. halbertechnisch, anbieten. Bei diesen Versuchen sollten aber nur Altpapiermischungen mit einem für die Sorte 1.02 relativ geringen Anteil an Verpackungspapieren (z. B. 25 %) betrachtet werden. Denn wie in der Kostenbetrachtung gezeigt, wären wahrscheinlich bei mittleren bis hohen Anteilen an Verpackungspapieren die Kosten für Chemikalien zur Bleiche deutlich höher als eventuelle Einsparungen beim Rohstoff. Der Einsatz von gemischtem Altpapier anstelle von Altpapier der Sorte 1.11 wäre dann nicht wirtschaftlich.

Zusammenfassend kann man sagen, dass im Rahmen dieses Projekts drei Grenzen des Einsatzes von Altpapier der Sorte 1.02 zur Herstellung einfacher grafischer Papiere herausgearbeitet wurden. Diese liegen beim Hellbezugswert, beim Farbkoeffizienten b^* und bei den optischen Inhomogenitäten des Deinkingstoffs.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grafische Papierproben	9
Tabelle 2: Altpapiermischungen Grundtyp 1: prozentuale Anteile.....	10
Tabelle 3: Altpapiermischungen Grundtyp 2: prozentuale Anteile der Verpackungen	11
Tabelle 4: Hellbezugswert und L^* , a^* , b^* Farbkoeffizienten der Versuche mit der grafischen Ausgangsmischung 2.....	25
Tabelle 5: Ink Elimination, Filtratverdunkelung, und Schmutzpunktfläche der Versuche mit der grafischen Ausgangsmischung 2	25
Tabelle 6: Mittlere Steigungen des Hellbezugswerts Y	37
Tabelle 7: Geschätzte Mittelwerte des Hellbezugswerts der grafischen Ausgangsmischungen.....	38
Tabelle 8: Mittlere Steigungen der Farbkoeffizienten a^* und b^*	38
Tabelle 9: Geschätzte Mittelwerte der Farbkoeffizienten a^* und b^* der grafischen Ausgangsmischungen	39
Tabelle 10: Mittlere Steigungen der Schmutzpunktfläche	40
Tabelle 11: Geschätzte Mittelwerte der Schmutzpunktfläche der grafischen Ausgangsmischungen	40
Tabelle 12: Gültigkeitsbereiche der Modelle	41
Tabelle 13: Statistische Auswertung der Parameter der Referenzproben	43
Tabelle 14: Altpapierstoffe für die Dispergierversuche	45
Tabelle 15: Versuchsmatrix für die Dispergierbehandlung des Stoffs A.....	46
Tabelle 16: Dispergiereinstellungen für die Stoffe B und D.....	47
Tabelle 17: Ergebnisse der Dispergierung des Stoffs A	47
Tabelle 18: Altpapiermischungen des Teilprojekts 2: prozentuale Anteile	51
Tabelle 19: Papierproben des Teilprojekts 2.....	52
Tabelle 20: Konstante Prozessbedingungen der Bleichversuche	57
Tabelle 21: Variierte Prozessbedingungen der Bleichversuche	57
Tabelle 22: Zusammenfassung der Ergebnisse der optischen Eigenschaften	63

Tabelle 23: Zusammenfassung der vorliegenden Daten aus Färbeversuchen (Lichtart D65, 10°-Beobachter, Kantenfilter 420 nm, Dosierungsbereich der Farbstoffe bis 100 g/totro)	69
Tabelle 24: Hellbezugswert und Farbkoeffizienten der gemischten Altpapiermischungen mit oxidativer Bleiche (Lichtart D65, 10°-Beobachter, Kantenfilter 420 nm)	70
Tabelle 25: Hellbezugswert und Farbkoeffizienten der Referenzproben (Lichtart D65, 10°-Beobachter, Kantenfilter 420 nm)	70
Tabelle 26: Abschätzung der Nuancierwirkung des Farbstoffs <i>Basazol® Blau 15 L</i> auf den Hellbezugswert und Farbort der gemischten Altpapiermischungen	72
Tabelle 27: Übersicht über die Bereiche mit veränderten Kosten.....	76
Tabelle 28: Kostenbilanz für das Szenario 1	79
Tabelle 29: Kostenbilanz für das Szenario 2.....	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fließschema einer typischen Altpapieraufbereitungsanlage zur Herstellung von Standard-Zeitungsdruckpapier	2
Abbildung 2: Aufbereitungsmethode 2	13
Abbildung 3: Hellbezugswert DP über dem Anteil an Verpackungsmaterial für die Mischungen vom Grundtyp 1	15
Abbildung 4: Farbort der Mischungen vom Grundtyp 1	15
Abbildung 5: Ink Elimination der Mischungen vom Grundtyp 1	16
Abbildung 6: Filtratverdunkelung der Mischungen vom Grundtyp 1	16
Abbildung 7: Flächenbezogene Melierfaseranzahl über dem Anteil an Verpackungsmaterial	17
Abbildung 8: Hellbezugswert DP über dem Anteil an Verpackungsmaterial Wellpappe (grafische Ausgangsmischung 2)	19
Abbildung 9: Hellbezugswert DP über dem Anteil an Verpackungsmaterial Karton (grafische Ausgangsmischung 2)	19
Abbildung 10: Farbort DP (grafische Ausgangsmischung 2, Wellpappe)	20
Abbildung 11: Farbort DP (grafische Ausgangsmischung 2, Karton)	20
Abbildung 12: Ink Elimination bei 700 nm (grafische Ausgangsmischung 2, Wellpappe)	21
Abbildung 13: Ink Elimination bei 700 nm (grafische Ausgangsmischung 2, Karton)	22
Abbildung 14: Flächenbezogene Schmutzpunktfläche DP der Schmutzpunkte größer 50 µm über dem Anteil an Verpackungsmaterial Wellpappe (grafische Ausgangsmischung 2)	23
Abbildung 15: Flächenbezogene Schmutzpunktfläche DP der Schmutzpunkte größer 50 µm über dem Anteil an Verpackungsmaterial Karton (grafische Ausgangsmischung 2) ..	24
Abbildung 16: Ausschnitt eines Farbbilds mit Stippen (oben) und Analysebild der Schmutzpunktmessung (unten) für ein Laborblatt mit 12 % Wellpappe braun primär	27
Abbildung 17: Ausschnitt eines Farbbilds mit Melierfasern (oben) und Analysebild der Schmutzpunktmessung (unten) für ein Laborblatt mit 12 % Wellpappe braun primär	28
Abbildung 18: Ausschnitt eines Farbbilds mit Faserbündel (oben) und Analysebild der Schmutzpunktmessung (unten) für ein Laborblatt mit 12 % Wellpappe braun primär	29
Abbildung 19: Aufbereitungsschema zur Überprüfung der Melierfasermessungen	30
Abbildung 20: Melierfaseranzahl mit dem <i>DOMAS</i> Melierfasertool und manuell gemessen.	31

Abbildung 21: Modell der Mischung von zwei Faserstoffen.....	33
Abbildung 22: Optische Eigenschaften der Mischungen mit der Verpackungssorte Wellpappe braun primär und sekundär	35
Abbildung 23: Aufbereitungsschema der Referenzproben	43
Abbildung 24: Labordisperger <i>CAVIMIX 1031</i> der <i>Firma Hagen & Funke GmbH</i>	45
Abbildung 25: Analysediagramm der statistischen Versuchsauswertung	48
Abbildung 26: Ergebnisse der Dispergierung des Altpapierstoffs für Magazinpapier (Stoff B).....	49
Abbildung 27: Ergebnisse der Dispergierung des Altpapierstoffs für Tissuepapier (Stoff D)	49
Abbildung 28: Vorbereitung der Altpapierproben	54
Abbildung 29: Zweiter Aufbereitungsabschnitt mit 1. Flotation	55
Abbildung 30: Dritter Abschnitt: Sammlung und Eindickung.....	55
Abbildung 31: Vierter Abschnitt: Dispergierung.....	56
Abbildung 32: Fünfter Abschnitt: 2. Flotation und Bleiche.....	56
Abbildung 33: Hellbezugswert der Mischung 1 mit unterschiedlichen Bleichmitteln	59
Abbildung 34: Hellbezugswert der verschiedenen Altpapiermischungen bei oxidativer Bleiche	59
Abbildung 35: Farbort der Altpapiermischungen mit unterschiedlichen Bleichmitteln	60
Abbildung 36: Flächenbezogene Schmutzpunktfläche DP der Schmutzpunkte größer 50 μm mit unterschiedlichen Bleichmitteln.....	61
Abbildung 37: Bildaufnahmen von Laborblättern: M 1a nach oxidativer Bleiche mit 2 % Wasserstoffperoxid (links, Schmutzpunktfläche 121 mm^2/m^2) und ein Standard- Zeitungsdruckpapier (rechts, Schmutzpunktfläche 124 mm^2/m^2)	62
Abbildung 38: CSB-Werte des Prozesswassers in Abhängigkeit von der Bleichmittelkonzentration	64
Abbildung 39: Bildaufnahmen des Schaums bei der ersten Flotation der graf. M (oben), M 1a (Mitte) und M 1b (unten).....	65

Literaturverzeichnis

1. Key Statistics European Pulp and Paper Industry 2011. - Brüssel, cepi confederation of european paper industries, 2012
2. Norm: DIN EN 643. - März 2002. Papier und Pappe - Europäische Liste der Standardsorten für Altpapier und Pappe.
3. **Weinert, S. ; Putz, H.-J.:** Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen: Abschlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 15408N. - 111 S. - Darmstadt, Technische Universität, F. P. u. M. Verfahrenstechnik, Bericht, 2010
4. EUWID Papier und Zellstoff Jahrgang 2011. - In: - (2011) - S.
5. **Tschirner, U. ; Wang, D.:** Hydrogen Peroxide Bleaching of Mixed Recycled Fiber. - In: Progress in Paper Recycling. - (1998)November. - S. 15-22
6. **Renner, K. ; Putz, H.-J. ; Göttching, L.:** Einfluss von Kartonanteilen auf die optischen Eigenschaften von Deinkingstoff (Kartoneinfluss): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben INGEDE 6198. - 52 S. - Darmstadt, Technische Universität, I. f. Papierfabrikation, Bericht, 2000
7. **N.N.:** Papier 2012 - Ein Leistungsbericht. - 111 S. - Bonn, Verband Deutscher Papierfabriken e.V., 2012
8. Zahlen und Fakten Ausgabe 2011. - Darmstadt, Verband der Wellpappen-Industrie e. V. , 2011
9. Annual Statistics 2009. - Brüssel, FEFCO - European Federation of Corrugated Board Manufacturers, 2010
10. CEPI CARTONBOARD STATISTICS FOR WEBSITE AND PRESENTATIONS JULY 2013. - Zürich, CEPI Cartonboard, 2013
11. Norm: DIN 19303. - März 2011. Karton – Begriffe und Sorteneinteilungen.
12. **Fiedler, D. ; Kleebauer, M.:** Optimierung von gestrichenen Verpackungspapieren für den Flexodruck: PTS-Forschungsbericht IGF 14761. - 24 S. - Heidenau, Papiertechnische Stiftung, Bericht, 2007
13. Prüfmethode: INGEDE-Methode 11. - (INGEDE e.V.). - 2012. Assessment of Print Product Recyclability - Deinking Test.
14. Prüfmethode: INGEDE-Methode 2. - (INGEDE e.V.). - 2011. Measurement of optical characteristics of pulps and filtrates from deinking processes.
15. **Höke, U. ; Schabel, S.:** Recycled Fibre and Deinking. - Helsinki: Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy, 2009. - 671 S.
16. Prüfmethode: ERPC/005/09. - (European Recovered Paper Council). - 2009. Assessment of Print Product Recyclability - Deinkability Score.
17. **Voß, D. ; Schabel, S. ; Hanecker, E. ; Virdhe, A.:** Deinking Potential von Altpapier in Abhängigkeit von der Wasserqualität = Deinking Potential of Recovered Paper depending of Water Circuit Quality. - In: PTS-CTP Deinking Symposium, München, April, 24-26. - 2012. - S. 181-198.
18. Newshade 2003 - Ifra Special Report 1.11.2. - 15 S. - Darmstadt, Ifra, 2004
19. **Süss, H. U.:** Pulp Bleaching Today. - Berlin, New York: de Gruyter, 2010. - 305 S. - ISBN 978-3-11-020737-8
20. BASF SE --URL:
http://worldaccount.basf.com/wa/EU~de_DE/Catalog/Paper/pi/BASF/Brand/basic_dy es - (Stand: 30.06.2014)



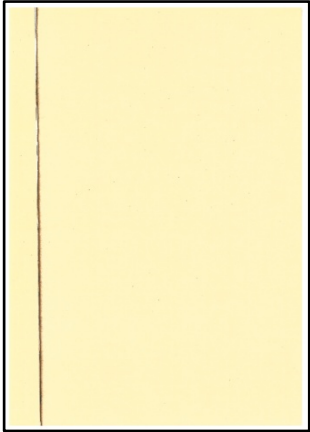
Abkürzungsverzeichnis

min.	mindestens
graf.	grafisch
Nr.	Nummer

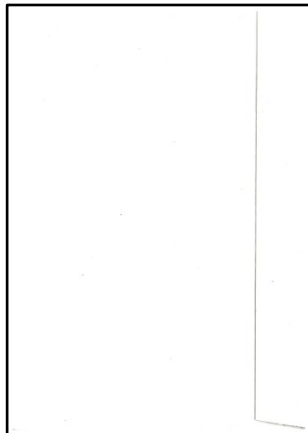
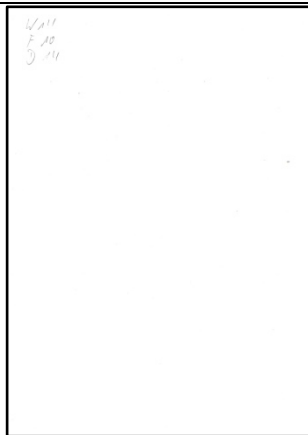
A Anhang

A.1 Papierproben

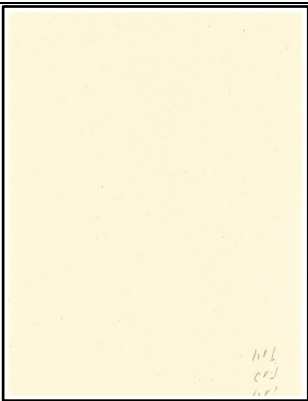
A.1.1 Teilprojekt 1

Verpackungs- art	Seite 1	Seite 2
Wellpappe braun primär		
Wellpappe weiß primär		
Wellpappe braun primär und sekundär		

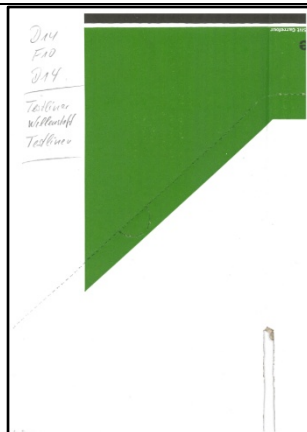
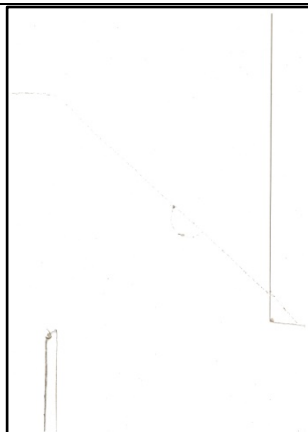
Wellpappe
weiß primär
und sekundär



Wellpappe
braun
sekundär



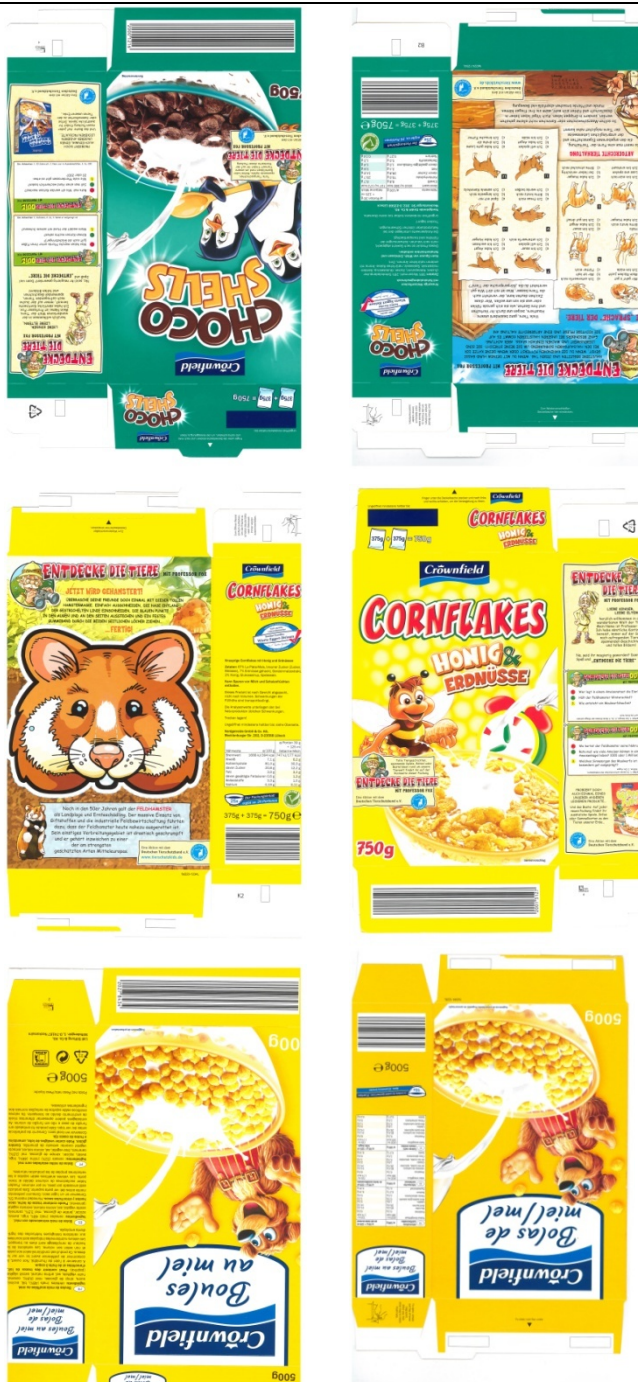
Wellpappe
weiß
sekundär



Graukarton



Karton GC





Karton GD



Karton UD



A .1.2 Teilprojekt 2

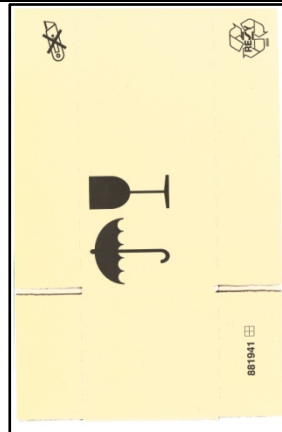
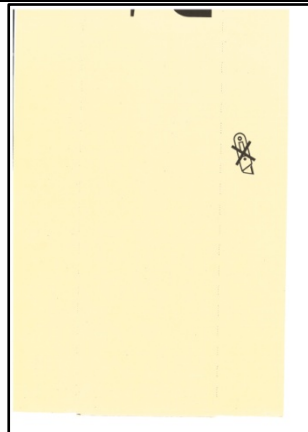
A.1.2.1 Papierprodukte 1

Papierprodukt-
sorte

Seite 1

Seite 2

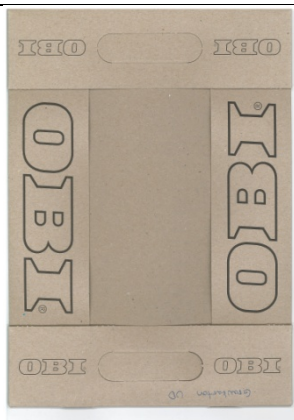
Wellpappe
braun primär
und sekundär



Wellpappe
weiß sekundär



Graukarton



Karton GC



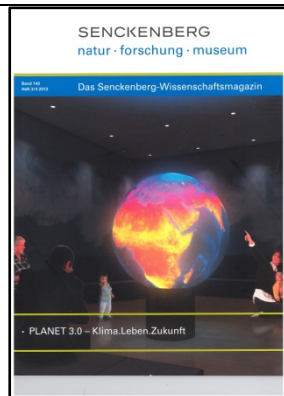
Karton GD



Zeitung



Illustrierte 1



Illustrierte 2



Büropapier



leer

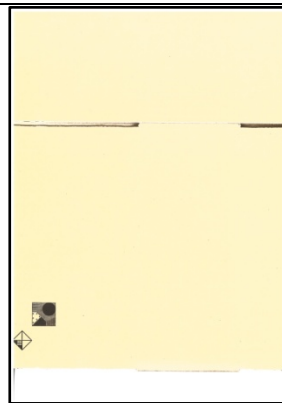
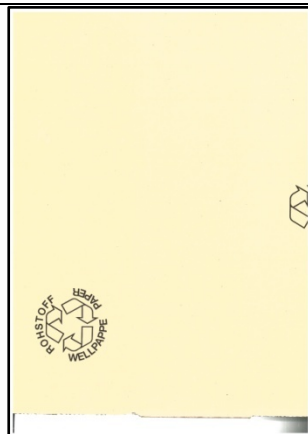
A.1.2.2 Papierprodukte 2

Papierprodukt-
sorte

Seite 1

Seite 2

Wellpappe
braun primär
und sekundär



Wellpappe
weiß sekundär



Graukarton

Karton GC

Karton GD



Zeitung



Illustrierte 1



A Anhang

Illustrierte 2



Büropapier



leer



A.2 Versuchsergebnisse

Teilprojekt 1, Aufbereitungsmethode 1, Mischungen Grundtyp 1: optische Eigenschaften

Mischung Nr.	Versuchsnr.	Verpackungsanteil in %	Y	L*	a*	b*	IE ₇₀₀ in %	ΔY	Meliefaseranzahl in 1/m ²	Meliefaserlänge in m/m ²
1	1	45	54,0	78,5	1,45	11,95	67,8	9,2	124106	128
1	2	45	52,8	77,8	1,49	12,35	66,2	10,8	126019	134
2	1	25	59,4	81,5	0,19	8,89	73,2	6,3	161160	183
2	2	25	59,7	81,7	0,13	8,87	73,9	6,1	161649	188
3	1	65	49,2	75,6	2,33	14,18	60,1	10,5	107736	108
3	2	65	50,4	76,3	2,19	13,35	60,5	13,0	102799	106
4	1	35	57,6	80,5	0,66	9,71	70,9	3,5	147192	163
4	2	35	57,8	80,6	0,64	9,99	70,3	6,6	153686	171
5	1	55	51,7	77,1	1,79	12,83	66,0	7,8	116099	121
5	2	55	51,8	77,2	1,80	12,91	63,5	10,1	117255	121

Teilprojekt 1, Aufbereitungsmethode 1, Mischungen Grundtyp 1: sonstige Werte

Mischung Nr.	Versuchsnr.	Verpackungs- anteil in %	Gesamtasche- anteil UP in %	pH-Wert nach Zerfaserung	pH-Wert in Flotationszelle	Gesamt- ausbeute in %	Faser- ausbeute in %
1	1	45	23,4	9,8	8,8	63,5	77,2
1	2	45	21,4	9,7	8,7	62,8	74,7
2	1	25	24,6	9,7	8,8	61,8	76,0
2	2	25	23,8	9,8	8,8	64,5	77,6
3	1	65	19,1	9,7	8,6	65,2	76,5
3	2	65	20,2	9,7	8,4	60,6	71,6
4	1	35	22,9	9,8	8,5	63,5	76,2
4	2	35	23,8	9,8	8,2	64,2	77,5
5	1	55	20,2	9,8	7,8	63,6	74,6
5	2	55	20,4	9,7	8,7	64,1	75,2

Teilprojekt 1, Aufbereitungsmethode 2, Mischungen vom Grundtyp 2: optische Eigenschaften

Grafische Ausgangsmischung 1 (Zeitungen 30 %, Illustrierte 70 %):

Verpackungsproduktsorte	Verpackungs- anteil in %	Y	L*	a*	b*	IE ₇₀₀ in %	ΔY	Schmutz- punktfläche > 50 μm in mm ² /m ²	Schmutz- punktfläche > 250 μm in mm ² /m ²	Meliefaser- anzahl in 1/m ²	Meliefaser- länge in m/m ²
keine	0	66,6	83,5	-1,44	4,85	78,2	1,7	294	48	103066	109
Wellpappe braun primär	3	65,1	85,3	-1,22	5,45	76,8	4,1	242	54	198880	247
Wellpappe braun primär	6	65,0	84,5	-0,91	5,94	77,6	3,9	323	113	191986	230
Wellpappe braun primär	12	62,7	84,5	-0,65	7,48	74,3	2,2	341	151	171079	190
Wellpappe weiß primär	3	64,2	83,3	-1,22	5,09	76,1	2,1	408	136	169122	190
Wellpappe weiß primär	6	62,8	84,1	-1,02	5,52	76,7	2,7	519	262	164229	183
Wellpappe weiß primär	12	59,7	83,3	-0,87	5,71	75,1	11,0	563	278	137539	143
Wellpappe braun primär und sekundär	3	64,3	81,7	-0,96	6,06	75,7	4,1	314	78	177974	214
Wellpappe braun primär und sekundär	6	63,2	84,1	-0,81	6,77	75,3	5,1	308	96	183907	219
Wellpappe braun primär und sekundär	12	61,0	83,6	-0,11	8,36	75,1	4,4	390	170	170501	194
Wellpappe weiß primär und sekundär	3	65,1	82,4	-1,37	4,78	78,6	7,0	238	39	159158	185
Wellpappe weiß primär und sekundär	6	64,6	84,5	-1,43	5,14	79,9	3,7	273	61	152530	176
Wellpappe weiß primär und sekundär	12	62,1	83,0	-1,48	5,08	73,5	6,1	300	108	182644	213
Wellpappe braun sekundär	3	65,9	84,9	-1,25	5,57	77,1	2,1	257	72	137539	163
Wellpappe braun sekundär	6	63,7	83,8	-0,91	6,19	74,8	5,5	316	83	158820	189
Wellpappe braun sekundär	12	62,2	83,0	-0,45	7,23	74,8	7,6	342	124	171488	203
Wellpappe weiß sekundär	3	66,4	85,2	-1,41	5,18	77,4	7,7	288	57	124871	143
Wellpappe weiß sekundär	6	66,3	85,1	-1,24	5,57	79,1	5,3	312	79	156115	187
Wellpappe weiß sekundär	12	64,4	84,2	-1,14	6,62	77,0	8,9	348	115	176186	213
Graukarton	3	62,8	83,4	-1,02	5,09	75,0	1,6	325	65	118163	131
Graukarton	6	64,4	84,2	-1,24	5,44	75,8	4,0	327	105	142788	171
Graukarton	12	62,8	83,4	-0,90	6,31	73,8	3,8	393	168	161186	196
Karton GC	3	66,9	85,5	-1,50	4,86	77,4	8,1	233	33	75193	74
Karton GC	6	65,2	84,6	-1,38	4,58	75,6	4,6	251	44	125227	131
Karton GC	12	67,8	85,9	-1,62	4,56	78,5	2,9	189	24	123945	130
Karton GD	3	65,0	84,5	-1,37	4,60	75,2	4,0	371	93	155673	168
Karton GD	6	64,4	84,2	-1,41	4,99	73,1	8,5	283	66	138755	154
Karton GD	12	64,0	84,0	-1,41	5,23	72,8	6,1	281	83	153316	175
Karton UD	3	64,8	84,4	-1,45	4,84	73,5	4,5	296	48	149514	169
Karton UD	6	63,5	83,7	-1,13	5,32	73,1	6,2	296	80	154567	181
Karton UD	12	64,3	84,1	-0,20	6,07	75,2	7,2	301	97	162378	193

Teilprojekt 1, Aufbereitungsmethode 2, Mischungen vom Grundtyp 2: optische Eigenschaften

Grafische Ausgangsmischung 2 (Zeitungen 50 %, Illustrierte 50 %):

Verpackungsproduktsorte	Verpackungs- anteil in %	Y	L*	a*	b*	IE ₇₀₀ in %	ΔY	Schmutz- punktfläche > 50 μm in mm ² /m ²	Schmutz- punktfläche > 250 μm in mm ² /m ²	Meliefaser- anzahl in 1/m ²	Meliefaser- länge in m/m ²
keine	0	62,1	82,9	-1,22	4,44	73,1	1,4	375	48	182644	189
Wellpappe braun primär	3	60,0	81,8	-1,04	4,93	71,4	3,8	351	73	232732	260
Wellpappe braun primär	6	60,9	82,3	-0,90	5,86	74,2	1,8	369	92	193409	220
Wellpappe braun primär	12	58,5	81,0	-0,60	7,39	71,8	4,5	366	116	158935	175
Wellpappe weiß primär	3	61,4	82,6	-1,06	5,11	74,5	5,6	358	97	163695	181
Wellpappe weiß primär	6	60,2	82,0	-1,03	5,40	72,7	5,0	401	112	171657	186
Wellpappe weiß primär	12	56,9	80,1	-0,82	5,95	69,2	5,2	716	399	150573	153
Wellpappe braun primär und sekundär	3	61,1	82,4	-0,94	5,55	72,6	2,9	408	111	188160	217
Wellpappe braun primär und sekundär	6	60,0	81,8	-0,68	6,44	72,8	3,2	379	131	177306	203
Wellpappe braun primär und sekundär	12	59,1	81,3	-0,21	8,19	73,1	7,3	381	174	160893	182
Wellpappe weiß primär und sekundär	3	62,8	83,3	-1,33	5,02	71,8	2,0	277	50	148882	167
Wellpappe weiß primär und sekundär	6	62,9	83,4	-1,36	5,34	74,7	2,5	258	62	146970	165
Wellpappe weiß primär und sekundär	12	58,6	81,1	-1,17	5,20	72,0	3,4	270	69	161604	181
Wellpappe braun sekundär	3	63,4	83,7	-1,20	5,80	75,6	5,5	270	59	132735	151
Wellpappe braun sekundär	6	60,7	82,2	-0,85	6,37	71,8	6,1	317	80	146560	170
Wellpappe braun sekundär	12	58,9	81,2	-0,33	7,22	70,2	12,6	389	125	161862	189
Wellpappe weiß sekundär	3	63,1	83,5	-1,18	5,21	75,3	2,9	309	49	117949	130
Wellpappe weiß sekundär	6	61,2	82,5	-0,88	5,73	73,8	4,1	377	84	141792	165
Wellpappe weiß sekundär	12	60,9	82,3	-0,97	6,64	73,9	6,0	361	97	165919	194
Graukarton	3	65,6	84,8	-1,39	4,87	75,2	4,5	263	57	118367	141
Graukarton	6	62,3	83,1	-1,03	5,43	75,0	5,5	304	94	131863	155
Graukarton	12	60,0	81,8	-0,75	6,64	72,1	4,7	361	143	143642	168
Karton GC	3	60,7	82,2	-1,19	4,20	70,6	4,4	322	38	171648	174
Karton GC	6	62,2	83,0	-1,35	4,47	72,9	3,7	319	41	162574	169
Karton GC	12	62,4	83,1	-1,45	4,40	70,3	4,4	305	34	151133	156
Karton GD	3	60,3	82,0	-1,12	4,70	68,9	4,0	351	57	190369	197
Karton GD	6	61,8	82,8	-1,32	4,78	70,4	4,4	335	56	183125	193
Karton GD	12	61,5	82,7	-1,15	5,29	72,6	3,8	349	70	154336	172
Karton UD	3	61,5	82,7	-1,26	4,78	70,4	3,3	377	73	179121	193
Karton UD	6	61,2	82,5	-1,25	5,40	72,4	5,8	347	77	151685	169
Karton UD	12	60,8	82,3	-0,90	6,03	72,5	6,8	340	84	157449	180

Teilprojekt 1, Aufbereitungsmethode 2, Mischungen vom Grundtyp 2: optische Eigenschaften

Grafische Ausgangsmischung 3 (Zeitungen 70 %, Illustrierte 30 %):

Verpackungsproduktsorte	Verpackungs- anteil in %	Y	L*	a*	b*	IE ₇₀₀ in %	ΔY	Schmutz- punktfläche > 50 μm in mm ² /m ²	Schmutz- punktfläche > 250 μm in mm ² /m ²	Meliefaser- anzahl in 1/m ²	Meliefaser- länge in m/m ²
keine	0	58,7	81,1	-1,15	4,50	70,9	1,6	400	46	186915	185
Wellpappe braun primär	3	58,3	80,9	-1,17	4,95	69,7	2,9	477	86	233310	253
Wellpappe braun primär	6	56,5	79,9	-0,96	5,65	71,0	3,6	426	83	214182	232
Wellpappe braun primär	12	55,6	79,4	-0,60	7,00	71,3	2,7	397	113	158357	169
Wellpappe weiß primär	3	58,2	80,8	-0,99	5,05	72,6	3,4	456	89	177173	188
Wellpappe weiß primär	6	56,5	79,9	-0,91	5,23	71,3	2,7	457	118	174371	178
Wellpappe weiß primär	12	54,1	78,5	-0,67	5,78	69,8	5,0	517	214	161649	158
Wellpappe braun primär und sekundär	3	58,2	80,9	-0,95	5,38	69,4	3,1	332	63	197501	216
Wellpappe braun primär und sekundär	6	57,7	80,6	-0,76	6,15	71,7	3,4	368	54	180331	202
Wellpappe braun primär und sekundär	12	55,9	79,6	-0,37	7,30	69,9	8,4	389	110	157690	176
Wellpappe weiß primär und sekundär	3	59,7	81,7	-1,17	5,12	73,3	4,0	317	40	142655	150
Wellpappe weiß primär und sekundär	6	57,7	80,6	-1,07	5,20	73,2	3,2	280	62	165919	172
Wellpappe weiß primär und sekundär	12	56,7	80,0	-0,95	5,56	71,1	7,5	325	78	144256	157
Wellpappe braun sekundär	3	59,4	81,5	-0,99	5,71	72,9	4,5	310	48	124355	137
Wellpappe braun sekundär	6	58,3	80,9	-0,73	6,44	71,8	10,9	333	76	138251	156
Wellpappe braun sekundär	12	55,9	79,5	-0,28	6,98	70,0	9,3	391	109	154532	174
Wellpappe weiß sekundär	3	59,2	81,4	-1,01	5,76	72,7	6,6	342	49	116971	128
Wellpappe weiß sekundär	6	58,4	81,0	-0,77	5,86	72,5	3,8	377	70	138162	154
Wellpappe weiß sekundär	12	59,0	81,3	-0,90	6,52	73,3	7,5	373	96	156542	180
Graukarton	3	58,7	81,1	-1,02	5,34	71,6	4,4	325	63	118163	127
Graukarton	6	57,9	80,7	-0,88	5,65	70,6	3,2	294	71	124390	139
Graukarton	12	56,5	79,9	-0,67	6,38	70,1	6,2	503	254	136679	157
Karton GC	3	58,6	81,1	-1,08	5,07	70,9	3,0	299	35	91313	88
Karton GC	6	58,5	81,0	-1,20	4,72	70,0	4,0	320	34	131205	130
Karton GC	12	59,2	81,4	-1,11	4,51	68,9	3,0	384	45	186060	189
Karton GD	3	57,5	80,5	-1,17	4,46	66,8	4,1	454	64	359936	350
Karton GD	6	57,6	80,5	-1,03	4,68	68,4	4,0	531	83	283545	281
Karton GD	12	58,6	81,1	-1,11	5,11	69,8	5,6	386	55	172645	184
Karton UD	3	59,0	81,3	-1,12	5,49	71,2	4,7	329	47	135351	140
Karton UD	6	58,5	81,0	-0,97	5,69	71,0	5,7	361	59	139443	150
Karton UD	12	57,2	80,3	-0,93	5,66	69,2	7,0	366	86	199209	208

Teilprojekt 1, Aufbereitungsmethode 2, Mischungen vom Grundtyp 2: sonstige Werte

Grafische Ausgangsmischung 1 (Zeitungen 30 %, Illustrierte 70 %):

Verpackungsproduktsorte	Verpackungsanteil in %	Gesamtascheanteil UP in %	pH-Wert nach Zerkfaserung	pH-Wert in Flotationszelle	Gesamtausbeute in %	Faserausbeute in %
keine	0	29,2	10,1	9,1	58,6	74,5
Wellpappe braun primär	3	30,8	10,3	9,3	58,1	75,1
Wellpappe braun primär	6	28,6	9,9	9,0	62,5	77,9
Wellpappe braun primär	12	29,4	10,1	9,2	58,7	73,7
Wellpappe weiß primär	3	29,4	10,0	9,2	58,6	73,8
Wellpappe weiß primär	6	28,3	9,9	9,0	58,1	72,6
Wellpappe weiß primär	12	28,6	9,9	9,1	56,7	72,9
Wellpappe braun primär und sekundär	3	29,8	9,9	9,2	56,7	72,9
Wellpappe braun primär und sekundär	6	29,6	10,0	9,1	56,8	71,9
Wellpappe braun primär und sekundär	12	28,1	10,1	9,2	56,0	70,6
Wellpappe weiß primär und sekundär	3	26,1	10,0	9,1	64,1	76,2
Wellpappe weiß primär und sekundär	6	26,6	9,8	8,8	63,8	77,4
Wellpappe weiß primär und sekundär	12	28,8	10,0	9,1	59,0	74,4
Wellpappe braun sekundär	3	29,4	9,8	8,9	59,7	74,7
Wellpappe braun sekundär	6	28,8	9,7	8,8	59,0	73,5
Wellpappe braun sekundär	12	27,1	9,9	9,0	58,6	72,4
Wellpappe weiß sekundär	3	27,3	9,9	8,5	61,3	73,6
Wellpappe weiß sekundär	6	28,7	10,0	8,9	61,8	75,4
Wellpappe weiß sekundär	12	27,8	10,0	8,9	59,7	73,0
Graukarton	3	23,0	9,8	8,7	61,4	70,7
Graukarton	6	30,3	9,7	9,6	58,6	73,2
Graukarton	12	28,3	9,7	8,6	59,3	73,7
Karton GC	3	30,1	9,9	8,8	61,1	74,7
Karton GC	6	30,4	10,1	9,2	55,4	71,3
Karton GC	12	30,8	8,9	8,1	59,6	75,0
Karton GD	3	31,4	9,7	8,6	52,3	68,7
Karton GD	6	32,8	10,2	9,4	55,3	71,6
Karton GD	12	32,5	10,1	9,3	51,4	68,7
Karton UD	3	32,4	10,1	8,6	57,7	74,2
Karton UD	6	31,5	9,9	7,2	56,4	73,5
Karton UD	12	29,6	9,9	9,0	59,2	73,9

Teilprojekt 1, Aufbereitungsmethode 2, Mischungen vom Grundtyp 2: sonstige Werte

Grafische Ausgangsmischung 2 (Zeitungen 50 %, Illustrierte 50 %):

Verpackungsproduktsorte	Verpackungsanteil in %	Gesamtascheanteil UP in %	pH-Wert nach Zerkleinerung	pH-Wert in Flotationszelle	Gesamtausbeute in %	Faserausbeute in %
keine	0	28,0	10,0	8,8	54,9	69,9
Wellpappe braun primär	3	27,1	9,9	9,0	60,3	74,5
Wellpappe braun primär	6	26,7	9,9	9,0	56,8	70,6
Wellpappe braun primär	12	25,5	9,9	9,0	56,9	69,7
Wellpappe weiß primär	3	25,9	9,8	9,0	58,8	71,7
Wellpappe weiß primär	6	26,0	9,9	9,1	62,9	77,0
Wellpappe weiß primär	12	24,8	9,9	9,2	57,8	70,5
Wellpappe braun primär und sekundär	3	27,5	9,9	9,1	56,8	71,7
Wellpappe braun primär und sekundär	6	25,8	9,9	9,1	55,6	69,4
Wellpappe braun primär und sekundär	12	23,2	9,8	8,8	60,3	71,4
Wellpappe weiß primär und sekundär	3	31,0	9,8	8,9	58,7	75,8
Wellpappe weiß primär und sekundär	6	24,0	9,6	8,7	62,8	74,0
Wellpappe weiß primär und sekundär	12	23,9	9,8	8,9	60,6	72,9
Wellpappe braun sekundär	3	24,3	9,6	8,7	60,3	71,9
Wellpappe braun sekundär	6	24,4	9,6	8,7	61,1	72,3
Wellpappe braun sekundär	12	23,7	9,7	8,4	63,5	75,8
Wellpappe weiß sekundär	3	23,3	9,7	8,0	60,5	70,8
Wellpappe weiß sekundär	6	24,0	9,5	8,4	55,1	66,5
Wellpappe weiß sekundär	12	23,1	9,8	8,7	58,9	69,9
Graukarton	3	28,7	9,7	8,6	63,5	76,9
Graukarton	6	24,6	9,6	8,6	58,5	69,4
Graukarton	12	23,6	9,7	8,2	60,1	71,4
Karton GC	3	27,6	10,1	9,2	55,8	69,9
Karton GC	6	28,1	9,2	8,2	57,6	71,7
Karton GC	12	26,2	10,0	9,1	59,7	72,7
Karton GD	3	28,7	10,0	9,1	53,5	68,5
Karton GD	6	29,3	10,3	9,5	56,0	70,2
Karton GD	12	28,8	10,3	9,3	52,6	67,0
Karton UD	3	28,8	10,1	7,4	56,7	71,5
Karton UD	6	25,6	10,0	9,0	54,7	66,9
Karton UD	12	25,9	10,1	9,1	56,7	69,8

Teilprojekt 1, Aufbereitungsmethode 2, Mischungen vom Grundtyp 2: sonstige Werte

Grafische Ausgangsmischung 3 (Zeitungen 70 %, Illustrierte 30 %):

Verpackungsproduktsorte	Verpackungsanteil in %	Gesamtascheanteil UP in %	pH-Wert nach Zerkleinerung	pH-Wert in Flotationszelle	Gesamtausbeute in %	Faserausbeute in %
keine	0	23,0	9,8	8,4	56,6	67,8
Wellpappe braun primär	3	23,5	10,0	9,5	60,2	71,7
Wellpappe braun primär	6	21,9	9,6	8,9	59,7	70,1
Wellpappe braun primär	12	21,1	9,8	8,9	58,4	68,8
Wellpappe weiß primär	3	22,5	9,8	9,0	56,2	66,8
Wellpappe weiß primär	6	22,6	9,9	9,1	58,0	69,1
Wellpappe weiß primär	12	19,3	9,8	8,9	59,1	67,9
Wellpappe braun primär und sekundär	3	22,5	9,7	8,9	59,2	69,4
Wellpappe braun primär und sekundär	6	21,8	9,8	8,9	57,2	67,2
Wellpappe braun primär und sekundär	12	21,5	9,8	8,9	59,3	69,3
Wellpappe weiß primär und sekundär	3	20,4	9,6	8,7	60,3	69,9
Wellpappe weiß primär und sekundär	6	19,8	9,5	8,6	61,3	69,8
Wellpappe weiß primär und sekundär	12	19,2	9,7	8,8	61,2	70,3
Wellpappe braun sekundär	3	19,4	9,4	8,5	54,2	61,4
Wellpappe braun sekundär	6	19,6	9,5	8,6	52,3	59,7
Wellpappe braun sekundär	12	17,5	9,4	7,7	58,1	65,3
Wellpappe weiß sekundär	3	19,1	9,6	8,6	60,6	68,8
Wellpappe weiß sekundär	6	19,3	9,4	8,3	57,3	65,9
Wellpappe weiß sekundär	12	19,1	9,5	8,4	60,1	68,6
Graukarton	3	19,3	9,6	8,3	59,2	67,2
Graukarton	6	19,2	9,3	8,3	59,1	67,5
Graukarton	12	19,1	9,4	7,2	60,2	69,3
Karton GC	3	20,0	9,4	8,2	59,0	67,9
Karton GC	6	21,2	9,6	8,5	56,7	66,5
Karton GC	12	23,7	9,9	9,1	56,3	68,3
Karton GD	3	25,5	10,1	9,2	55,3	67,6
Karton GD	6	25,8	10,1	9,3	50,5	62,8
Karton GD	12	25,0	10,2	9,2	52,3	64,0
Karton UD	3	21,6	9,8	8,7	57,7	67,7
Karton UD	6	20,8	9,7	8,8	58,1	67,8
Karton UD	12	21,6	9,9	8,9	56,5	66,5

Teilprojekt 2, Referenzproben: optische Eigenschaften

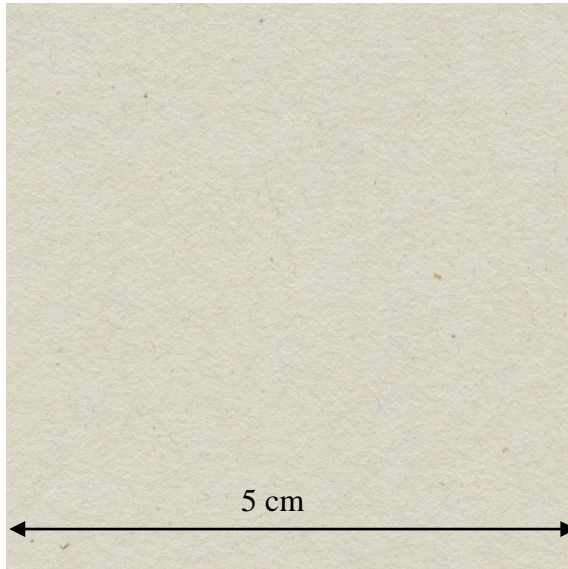
Probe Nr.	Y	L*	a*	b*	Schmutzpunktfläche > 50 µm in mm ² /m ²	Schmutzpunktfläche > 250 µm in mm ² /m ²	Meliefaseranzahl in 1/m ²	Meliefaserlänge in m/m ²
1	63,3	83,6	-0,67	5,61	73	22	95942	120
2	64,8	84,4	-0,64	5,59	74	20	80837	96
3	61,8	82,8	-0,34	6,27	195	81	146228	190
4	62,8	83,3	-0,37	6,32	156	59	133864	172
5	63,3	83,6	-0,45	6,80	76	23	56086	56
6	62,8	83,4	-0,61	6,15	171	46	77298	84
7	64,4	84,2	-0,95	6,01	76	21	71284	83
8	63,1	83,5	-0,86	6,93	124	32	73959	80
9	63,2	83,5	-0,91	5,25	110	50	107554	140
10	60,8	82,3	-0,37	5,51	109	43	126003	163
11	62,5	83,2	-0,40	5,89	140	58	92772	115
12	64,9	84,4	-0,33	6,45	148	58	65300	74
13	62,1	83,0	-0,19	6,31	88	30	77991	85

Teilprojekt 2, Hauptversuche: optische Eigenschaften

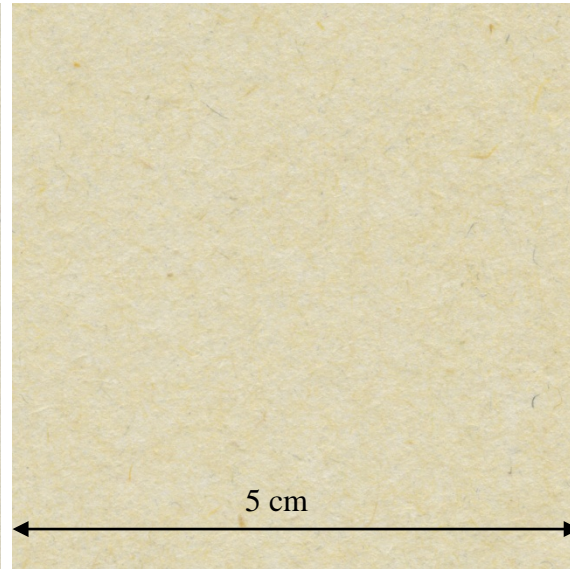
Mischung Nr.	Versuch	Verpackungs- anteil in %	Y	L*	a*	b*	IE ₇₀₀ in %	Schmutzpunktfläche > 50 µm in mm ² /m ²	Schmutzpunktfläche > 250 µm in mm ² /m ²
M 1a	1. Flotation	45	51,3	76,9	1,00	11,94	58,8	- wg. Stippen	- wg. Stippen
M 1a	2. Flotation	45	55,7	79,4	0,57	14,04	25,5	285	
M 1a	Bleiche reduktiv 0,5 %	45	57,2	80,3	0,59	13,55	-	233	116
M 1a	Bleiche reduktiv 1 %	45	57,5	80,5	0,53	13,46	-	217	106
M 1a	Bleiche reduktiv 2 %	45	58,1	80,8	0,27	13,19	-	281	169
M 1a	Bleiche oxidativ 1 %	45	61,4	82,6	-0,01	14,00	-	161	83
M 1a	Bleiche oxidativ 2 %	45	63,1	83,5	-0,26	14,15	-	121	58
M 1a	Bleiche oxidativ 5 %	45	67,8	85,9	-0,84	12,40	-	98	42
M 1a	Bleiche oxidativ 8 %	45	69,5	86,8	-1,02	11,05	-	57	19
M 1a	Bleiche oxidativ 10 %	45	70,6	87,3	-1,22	10,91	-	99	61
M1b	1. Flotation	45						- wg. Stippen	- wg. Stippen
M1b	2. Flotation	45	52,5	77,6	0,83	12,70		413	204
M1b	Bleiche reduktiv 0,5 %	45	53,1	78,0	0,66	13,12	-	433	242
M1b	Bleiche reduktiv 1 %	45	53,2	77,9	0,59	13,10	-	408	210
M1b	Bleiche reduktiv 2 %	45	53,8	78,4	0,34	12,97	-	367	172
M1b	Bleiche oxidativ 1 %	45	57,2	80,3	0,10	13,61	-	314	167
M1b	Bleiche oxidativ 2 %	45	60,3	82,0	-0,46	13,53	-	244	132
M1b	Bleiche oxidativ 5 %	45	64,4	84,2	-0,89	12,20	-	212	135
M1b	Bleiche oxidativ 8 %	45	66,8	85,4	-1,25	11,26	-	152	85
M1b	Bleiche oxidativ 10 %	45	68,7	86,3	-1,62	10,84	-	117	71
M2	1. Flotation	25	57,5	80,5	-0,22	8,74	66,1	- wg. Stippen	- wg. Stippen
M2	2. Flotation	25	61,4	82,6	-0,61	10,11	20,3	- wg. Stippen	- wg. Stippen
M2	Bleiche oxidativ 1 %	25	64,1	84,0	-1,01	10,31	-	- wg. Stippen	- wg. Stippen
M2	Bleiche oxidativ 2 %	25	65,1	84,5	-1,15	9,77	-	165	67
M2	Bleiche oxidativ 5 %	25	68,4	86,2	-1,33	8,56	-	120	40
graf. M	1. Flotation	0	64,0	84,0	-0,89	4,12	49,6	712	131
graf. M	2. Flotation	0	67,9	85,9	-1,42	4,38	20,3	165	13
graf. M	Bleiche oxidativ 1 %	0	69,7	86,8	-1,52	4,25	-	162	26
graf. M	Bleiche oxidativ 2 %	0	70,2	87,1	-1,48	3,77	-	135	16
graf. M	Bleiche oxidativ 5 %	0	72,7	88,3	-1,54	3,13	-	103	14

Teilprojekt 2, Hauptversuche: sonstige Werte

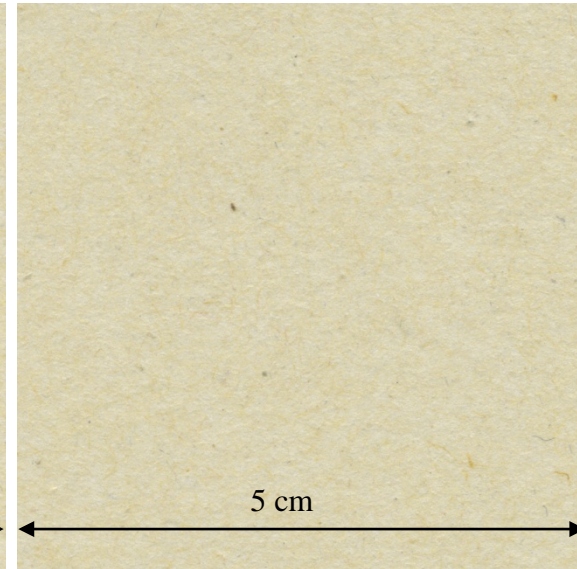
Mischung Nr.	Versuch	Verpackungs- anteil in %	pH-Wert nach Zerfaserung	pH-Wert in Flotationszelle	Gesamt- ausbeute in %	CSB in kg O ₂ /t _{otro}
M 1a	1. Flotation 1	45	10,1	9,3	53,2	-
M 1a	1. Flotation 2	45	10,1	9,3	53,9	-
M 1a	2. Flotation	45	-	9,4	92,8	-
M 1a	Bleiche reduktiv 0,5 %	45	-	-	-	8,7
M 1a	Bleiche reduktiv 1 %	45	-	-	-	9,2
M 1a	Bleiche reduktiv 2 %	45	-	-	-	10,2
M 1a	Bleiche oxidativ 1 %	45	-	-	-	16,2
M 1a	Bleiche oxidativ 2 %	45	-	-	-	22,9
M 1a	Bleiche oxidativ 5 %	45	-	-	-	59,5
M 1a	Bleiche oxidativ 8 %	45	-	-	-	37,1
M 1a	Bleiche oxidativ 10 %	45	-	-	-	36,4
M1b	1. Flotation 1	45	10,1	9,2	55,3	-
M1b	1. Flotation 2	45	10,1	9,2	55,7	-
M1b	2. Flotation	45	-	8,8	91,9	-
M1b	Bleiche reduktiv 0,5 %	45	-	-	-	8,2
M1b	Bleiche reduktiv 1 %	45	-	-	-	9,2
M1b	Bleiche reduktiv 2 %	45	-	-	-	11,7
M1b	Bleiche oxidativ 1 %	45	-	-	-	17,4
M1b	Bleiche oxidativ 2 %	45	-	-	-	23,4
M1b	Bleiche oxidativ 5 %	45	-	-	-	39,6
M1b	Bleiche oxidativ 8 %	45	-	-	-	48,6
M1b	Bleiche oxidativ 10 %	45	-	-	-	53,0
M2	1. Flotation 1	25	10,3	9,3	50,3	-
M2	1. Flotation 2	25	10,2	8,9	47,2	-
M2	2. Flotation	25	-	9,2	91,3	-
M2	Bleiche oxidativ 1 %	25	-	-	-	12,9
M2	Bleiche oxidativ 2 %	25	-	-	-	19,9
M2	Bleiche oxidativ 5 %	25	-	-	-	33,9
graf. M	1. Flotation 1	0	10,0	9,7	38,0	-
graf. M	1. Flotation 2	0	9,8	9,3	41,0	-
graf. M	2. Flotation	0	-	9,4	88,9	-
graf. M	Bleiche oxidativ 1 %	0	-	-	-	12,9
graf. M	Bleiche oxidativ 2 %	0	-	-	-	19,2
graf. M	Bleiche oxidativ 5 %	0	-	-	-	31,4



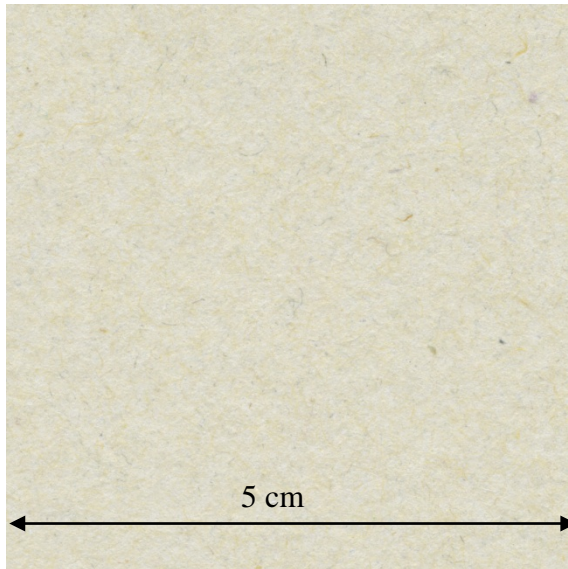
Standard-Zeitungsdruckpapier



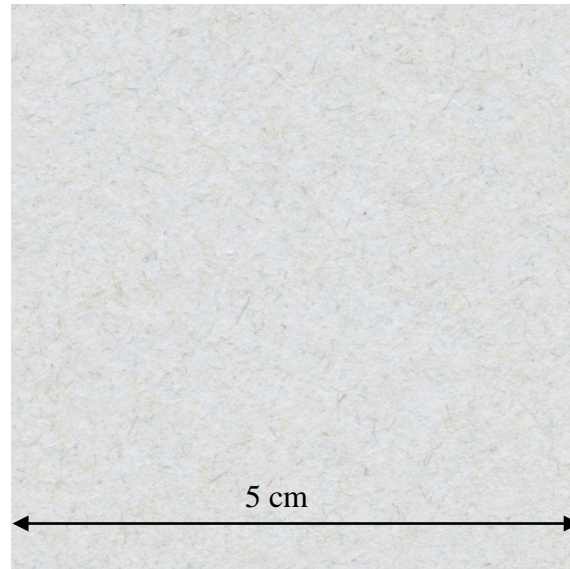
M 1a nach Bleiche mit 2 % Peroxid



M 1b nach Bleiche mit 2 % Peroxid



M 2 nach Bleiche mit 2 % Peroxid



graf. M nach 2. Flotation



A.3 Ergebnisse der Modellierung

Hellbezugswert Y:

Verpackungsprodukt	grafische Ausgangsmischung 1			grafische Ausgangsmischung 2			grafische Ausgangsmischung 3		
	$c_{vs,1}$ in 1/%	d_1	R^2	$c_{vs,2}$ in 1/%	d_2	R^2	$c_{vs,3}$ in 1/%	d_3	R^2
Wellpappe braun primär	-0,31	66,45	0,96	-0,25	61,71	0,77	-0,27	58,72	0,92
Wellpappe weiß primär	-0,56	66,22	0,99	-0,44	62,44	0,97	-0,40	58,95	0,98
Wellpappe braun primär und sekundär	-0,44	66,09	0,96	-0,25	61,84	0,95	-0,24	58,87	0,97
Wellpappe weiß primär und sekundär	-0,36	66,46	0,99	-0,31	63,18	0,62	-0,21	59,27	0,70
Wellpappe braun sekundär	-0,39	66,60	0,95	-0,32	62,96	0,73	-0,27	59,46	0,79
Wellpappe weiß sekundär	-0,19	66,89	0,86	-0,14	62,53	0,51	0,01	58,77	0,03
Graukarton	-0,23	65,40	0,46	-0,28	63,93	0,37	-0,19	58,96	0,94
Karton GC	0,08	66,18	0,15	0,07	61,46	0,22	0,04	58,51	0,59
Karton GD	-0,20	66,00	0,78	0,00	61,41	0,00	0,01	58,02	0,01
Karton UD	-0,17	65,71	0,48	-0,10	61,91	0,93	-0,14	59,04	0,81

a*:

Verpackungsprodukt	grafische Ausgangsmischung 1			grafische Ausgangsmischung 2			grafische Ausgangsmischung 3		
	$c_{vs,1}$ in 1/%	d_1	R^2	$c_{vs,2}$ in 1/%	d_2	R^2	$c_{vs,3}$ in 1/%	d_3	R^2
Wellpappe braun primär	0,07	-1,40	0,97	0,05	-1,21	1,00	0,05	-1,23	0,92
Wellpappe weiß primär	0,05	-1,38	0,93	0,03	-1,20	0,97	0,04	-1,13	0,99
Wellpappe braun primär und sekundär	0,11	-1,39	0,98	0,08	-1,20	1,00	0,06	-1,15	1,00
Wellpappe weiß primär und sekundär	-0,01	-1,41	0,33	0,01	-1,30	0,12	0,02	-1,18	0,90
Wellpappe braun sekundär	0,08	-1,46	0,99	0,08	-1,32	0,95	0,07	-1,18	1,00
Wellpappe weiß sekundär	0,03	-1,45	0,93	0,02	-1,19	0,54	0,02	-1,07	0,45
Graukarton	0,04	-1,34	0,60	0,05	-1,34	0,77	0,04	-1,14	1,00
Karton GC	-0,01	-1,42	0,43	-0,02	-1,19	0,86	0,00	-1,14	0,01
Karton GD	0,00	-1,41	0,02	0,00	-1,21	0,02	0,01	-1,14	0,18
Karton UD	0,11	-1,63	0,91	0,03	-1,31	0,71	0,02	-1,15	0,86

b*:

Verpackungsprodukt	grafische Ausgangsmischung 1			grafische Ausgangsmischung 2			grafische Ausgangsmischung 3		
	$c_{VS,1}$ in 1/%	d_1	R^2	$c_{VS,2}$ in 1/%	d_2	R^2	$c_{VS,3}$ in 1/%	d_3	R^2
Wellpappe braun primär	0,22	4,78	0,99	0,25	4,33	0,99	0,21	4,41	0,99
Wellpappe weiß primär	0,07	4,91	0,91	0,12	4,60	0,95	0,10	4,61	0,96
Wellpappe braun primär und sekundär	0,28	5,02	0,99	0,31	4,53	1,00	0,23	4,62	0,99
Wellpappe weiß primär und sekundär	0,02	4,75	0,46	0,06	4,70	0,55	0,08	4,68	0,86
Wellpappe braun sekundär	0,20	4,93	0,99	0,22	4,81	0,91	0,20	4,88	0,88
Wellpappe weiß sekundär	0,15	4,77	0,99	0,18	4,57	0,98	0,15	4,87	0,83
Graukarton	0,12	4,77	0,99	0,19	4,37	1,00	0,15	4,69	0,95
Karton GC	-0,03	4,86	0,74	0,00	4,36	0,02	-0,01	4,77	0,07
Karton GD	0,04	4,70	0,64	0,07	4,44	0,98	0,06	4,40	0,90
Karton UD	0,11	4,70	0,94	0,14	4,45	0,98	0,08	4,90	0,56

Schmutzpunktfäche der Schmutzpunkte >50 µm:

Verpackungsprodukt	grafische Ausgangsmischung 1			grafische Ausgangsmischung 2			grafische Ausgangsmischung 3		
	$c_{VS,1}$ in mm ² /m ² /%	d_1 in mm ² /m ²	R^2	$c_{VS,2}$ in mm ² /m ² /%	d_2 in mm ² /m ²	R^2	$c_{VS,3}$ in mm ² /m ² /%	d_3 in mm ² /m ²	R^2
Wellpappe braun primär	6	269	0,47	0	366	0,00	-2	437	0,10
Wellpappe weiß primär									
Wellpappe braun primär und sekundär	8	285	0,86	0	388	0,02	1	369	0,01
Wellpappe weiß primär und sekundär	2	266	0,13	-7	334	0,49	-5	358	0,28
Wellpappe braun sekundär	5	274	0,59	4	319	0,11	1	352	0,02
Wellpappe weiß sekundär	5	284	0,90	1	352	0,01	-1	378	0,03
Graukarton	8	293	0,95	1	319	0,02	10	328	0,30
Karton GC	-8	282	0,81	-5	357	0,70	1	347	0,01
Karton GD	-3	325	0,16	-2	363	0,37	-2	451	0,01
Karton UD	1	293	0,98	-3	377	0,80	-1	371	0,05

Schmutzpunktfäche der Schmutzpunkte >250 µm:

Verpackungsproduktsorte	grafische Ausgangsmischung 1			grafische Ausgangsmischung 2			grafische Ausgangsmischung 3		
	$c_{VS,1}$ in mm ² /m ² /%	d_1 in mm ² /m ²	R ²	$c_{VS,2}$ in mm ² /m ² /%	d_2 in mm ² /m ²	R ²	$c_{VS,3}$ in mm ² /m ² /%	d_3 in mm ² /m ²	R ²
Wellpappe braun primär	3	56	0,35	6	53	0,97	5	56	0,84
Wellpappe weiß primär									
Wellpappe braun primär und sekundär	0	69	0,00	10	65	0,91	5	42	0,82
Wellpappe weiß primär und sekundär	2	44	0,53	2	47	0,93	3	40	0,84
Wellpappe braun sekundär	2	59	0,48	7	43	0,98	6	40	0,95
Wellpappe weiß sekundär	2	53	0,51	5	46	0,87	4	42	0,96
Graukarton	2	62	0,18	8	42	0,97	18	16	0,85
Karton GC	-1	44	0,33	-1	45	0,69	0	40	0,00
Karton GD	2	63	0,25	2	49	0,92	1	59	0,04
Karton UD	1	52	0,19	3	57	0,75	4	41	0,93

A.4 Technische Daten Disperger

Typ: CAVIMIX 1031

Hersteller: Hagen & Funke GmbH

1. Rotor-/Statorsystem:	1.1 Rotor	3 Flügel
	1.2 Stator	3 Stufen
	1.3 Ohne Strömungsleitkegel	
2. Produktraum:	2.1 Nettovolumen	min. 2,5 l
	2.2 Bruttovolumen	ca. 5 l
	2.3 Behältermaße	ca. Ø 210 x 300 mm
	2.4 Doppelmantel für Heisswasser an Statorträger	
	2.5 Deckel	mit
	2.7 Behälteranschlüsse:	
	2.7.1 Auslassventil	ohne
	2.7.2 Restentleerung	1 x R ½“ mit Kugelhahn R ½“
	2.7.3 Sonstiges	Trichter für Befüllung Eingriffschutzgitter Sicherheitsschalter an Behälter
3. Auslegungsdaten:	3.1 max. Behälterinnendruck:	drucklos
	3.2 min. Behälterinnendruck:	
	3.3 max. Temperatur:	100°C
4. Werkstoffe:	4.1 produktberührte Metallteile:	1.4571 (V4A)
	4.2 O-Ringe:	Viton
	4.3 Lagerstuhl:	GG 26 grün lackiert, RAL 6011
	4.4 Welle:	C45 Wellenstahl
	4.5 Grundrahmen:	1.4301 (V2A)
5. Wellenabdichtung:	5.1 Hochleistungs-Radialwellenabdichtung auf PTFE/Graphit-Basis	
	5.2 Wellenschonhülse keramikbeschichtet mit PTFE-Versiegelung Fettkammer-Schmierung	
6. Antrieb:	6.1 Riementrieb für 1.800 min ⁻¹ bei 50 Hz	
	6.2 Motor 7,5 kW, 400 V, 50 Hz, 1.500 min ⁻¹ Bauform IMV1, IP 55, mit Kaltleiterfühler, für FU-Betrieb	
7. Zubehör:	7.1 Frequenzumformer zur stufenlosen Drehzahlverstellung Schutzart IP 55 verkabelt auf Stecker CEE 32 Ampere	