

Titel

Minimierung von Rohstoff- und Prozesskosten bei Sicherung definierter optischer Eigenschaften AP-basierter heller Papiere

L. Hamann, G. Meinel

Inhalt

1	Zusammenfassung	2
2	Abstract	3
3	Einleitung	4
4	Material und Methoden	5
5	Schmutzpunktmessung (PTS-Methode 1)	7
6	Charakterisierung der AP-Sorten	9
7	Prozess Wäsche	11
8	Prozess Bleiche	13
9	Modellentwicklung AP-Stoff	15
10	Modellentwicklung Prozess	16
10.1	Flotation	16
10.2	Eindicken/Waschen/Cleanerung	20
10.3	Dispergierung/Zerfaserung	20
10.4	Bleiche (oxidativ/reduktiv)	22
10.5	Blattbildung (einlagig)	23
11	Validierung in Pilotanlage	24
12	Erfassung Ist-Zustand in Papierfabriken	26
13	Szenarienrechnungen	28
	Abkürzungen und Bezeichnungen	30

1 Zusammenfassung

Zielstellung	Ziel dieses Projektes war es, ein innovatives Software basiertes Bewertungs- und Prognoseverfahren (<i>ProductOptimizer-Tool</i>) zur Minimierung der Herstellkosten von hochwertigen hellen Neupapieren für grafische und nichtgrafische Anwendungen auf Basis von Altpapier zu entwickeln.
Ergebnisse	<p>Im Ergebnis des Forschungsvorhabens stehen zur Verfügung:</p> <ul style="list-style-type: none">• formelbasierte Simulationsmodule für alle wesentlichen Deinking-Prozesse• Referenzdaten zu allen für grafische Papiere relevanten Altpapiersorten• Industriell anwendbare Methoden zur Charakterisierung der Schmutzpunktbelastung sowie optischer Fasereigenschaften• numerische Zusammenhänge zwischen Kennwerten der eingesetzten Altpapierstoffe und resultierenden optischen Eigenschaften (auf Basis Laborblatt)
Schlussfolgerung	Im Rahmen von Testanwendungen wurde nachgewiesen, dass mittels des bereitgestellten Bewertungs- und Prognoseverfahrens effektiv Produkt- und Prozessoptimierungen durchgeführt werden können. Die Optimierungsergebnisse sind von den durch die Unternehmen eingesetzten Altpapierstoffen und den dort verfügbaren Prozessstufen abhängig und sind in der Regel nicht automatisch auf andere Unternehmen übertragbar.
Danksagung	Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens MF 090185 gewonnen, das im Programm zur "Förderung von Forschung und Entwicklung bei Wachstumsträgern in benachteiligten Regionen" mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über den Projektträger EuroNorm Gesellschaft für Qualitätssicherung und Technologie mbH aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Unser Dank gilt außerdem den beteiligten Firmen der Papierindustrie für die Unterstützung der Arbeiten.

2 Abstract

Aim The aim of this project was to develop an innovative software-based measurement and prediction procedure (*ProductOptimizer-Tool*) to minimize the manufacturing costs of high-quality bright papers for graphical and non graphical applications based on the usage of waste papers.

Results At the end of the research project the following results are available:

- formula-based simulation modules for all major deinking processes
- Reference data for all relevant grades of waste paper for graphic papers
- Industrially applicable methods for the characterization of specks content and optical fibre properties
- numerical relationships between material characteristics of recycled papers used and the resulting optical properties (based on labsheet)

Conclusions Test applications have demonstrated that the provided characterisation and prediction tools can support process and product optimisation effectively. The optimization results dependent on the company used recycled materials and process conditions and are usually not automatically negotiable to other companies.

Acknowledgement The research project IK-MF 090185 was funded by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi in the programme for the "Promotion of Research, Development and Innovation in disadvantaged areas" based on the decision of the German Parliament and carried out under the umbrella of Euro-Norm in Berlin. We would like to express our warm gratitude for this support.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

We would also like to express our thanks to the involved German companies for providing proper samples as well as for supporting project performance.

3 Einleitung

Ziel Die Herstellung von hellen Altpapier-basierten Papieren mit den spezifisch geforderten optischen Eigenschaften ist derzeit kaum Kosten deckend möglich. Es sind keine Werkzeuge zur Software gestützten gemeinsamen Optimierung von Rohstoffeintrag und Aufbereitungsprozess mit dem Ziel einer Gesamtkostenminimierung verfügbar. Besonders kritisch ist die fehlende Tool-Unterstützung im Hinblick auf strategische Entscheidungen für Prozessoptimierungen, Umbauten bzw. Neuinstallationen (Altpapieraufbereitungskonzepte) zu bewerten.

ProductOptimizer-Modul Das zu entwickelnde *ProductOptimizer*-Tool (**Abbildung 1**) bestehend aus

- AP-Datenbank
- Prozessmodulen der Stoffaufbereitung
- virtuellem Blattbildner (VLSF = Virtual Laboratory Handsheet Former)

ermöglicht die Nachbildung beliebig strukturierter Prozesse der Stoffaufbereitung bei der Erzeugung heller Papiere aus Altpapier.

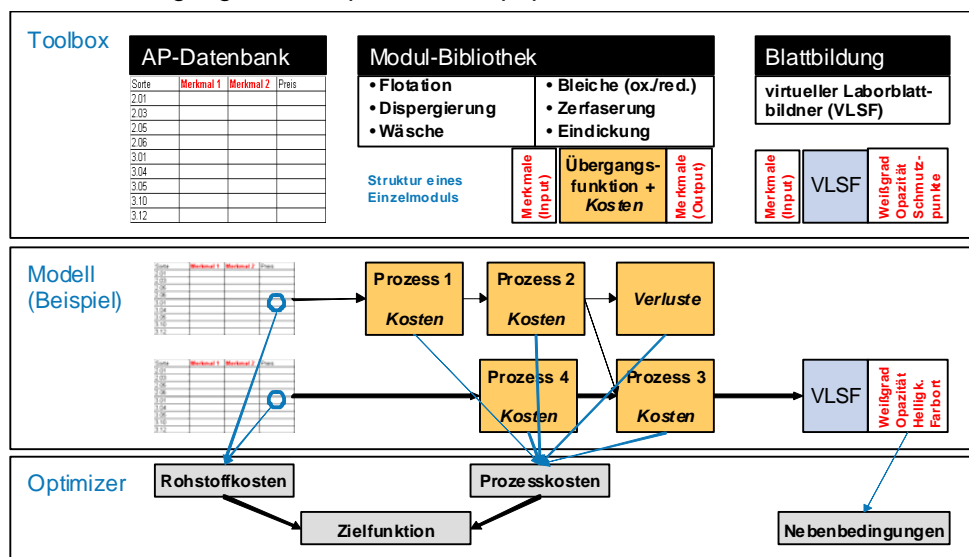


Abbildung 1: Softwarearchitektur des *ProductOptimizer*

Projekttablauf

Die Entwicklung des *ProductOptimizer*-Tools erfolgte in 3 Abschnitten:

- Experimentelle Phase: Ausbau von Messmethodiken; Charakterisierung der AP-Sorten; Durchführung von Wasch- und Bleichversuchen im Labormaßstab zur Vervollständigung der Datenbank
- Entwicklungsphase: Aufbau der AP-Datenbank und der Modul-Bibliothek;
- Validierphase: Überprüfung der Funktionalität des Tools im kleintechnischen Maßstab sowie im Rahmen von Testanwendungen bei zwei mittelständigen Papierherstellern

4 Material und Methoden

Modell-Altpapiere Folgende Altpapiere wurden im Rahmen der experimentellen Phase eingesetzt:

Tabelle 1:

<i>Abkürzung</i>	<i>Bezeichnung</i>	<i>Bemerkung</i>
LD	Laserdruck	Kopierpapier beidseitig mit Laserdrucker bedruckt
IJ	Inkjetdruck	Kopierpapier beidseitig mit Inkjetdrucker (Farbstoff basiert) bedruckt
SZ	Zeitung (Offsetdruck)	Tageszeitung „Sächsische Zeitung“ bedruckt und unbedruckt
KPu	Kopierpapier	Kopierpapier (unbedruckt)
MGP	Kopierpapier	massegefärbt
WS	Weißer Späne / Akten	Sorten 2.03.01 + 3.05
SC	SC-Papier	Unbedruckt
DIP	Deinkingware	Sorte 1.11

Zerfaserung Zellcheming-Standarddesintegrator, Volumen = 2l, Stoffmenge = 80 g , Temperatur 50 °C, pH-Wert (mit NaOH) = 10

Wäsche Rapid-Köthen-Blattbildner, Standardsieb, Variation Flächenmasse Faservlies zwischen 40 und 150 g/m² [1, 2,4]

Bleiche Labor-Beutelbleiche im Wasserbad, die Bleichmittelmenge wurde in jeweils 5 Stufen variiert, Nach Recherche von [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] wurden die in **Tabelle 2** zusammengefassten Prozessparameter verwendet

Tabelle 2: Parameter der Laborbleiche

Bleichmittel	Dosiermenge [%]*	NaOH [%]	Stoff-dichte [%]	Temp. [%]	Dauer [min]	Wasserglas [%]	Komplexbildner [%]
Peroxid	0...2,5	NaOH = 1,14*Peroxid ^(-0,63)	20	80	45	1,5	
Dithionit	0...1,5		5	80	60		0,3
FAS	0...1,0	= 0,5 * FAS	10	60	60		

* bezügl. Gesamtstoff otro

Messmethoden Die Stoffproben und Papiere wurden in ihren Komponenten gemäß **Tabelle 3** bewertet. Auf die PTS-Methode 1 (Schmutzpunkte) wird in Kapitel 5 näher eingegangen.

Tabelle 3: Kennwerte und zugeordnete Prüfmethode für grafische Altpapiere

Komponente	Eigenschaft	Maßeinheit	Erläuterung	Prüfmethode	Standard
Faserstoff	C_{Fib}	%	Anteil organische Bestandteile (Faserstoff) bezogen auf den Gesamtstoff		
	S_{Fib}	m^2/kg	spezifischer spektraler Lichtstreuoeffizient bei 457nm	PTS-Methode 2	
	k_{Fib}	m^2/kg	spezifischer spektraler Lichtabsorptionskoeffizient bei 457nm	PTS-Methode 2	
	LIG	%	Anteil Lignin bezogen auf den Faserstoff	NIR	
Anorganische Bestandteile (Füllstoff, Strich)	C_{Fill}	%	Anteil anorganische Bestandteile (Glührückstand 525°)	DIN 54730	
	S_{Fill}	m^2/kg	spezifischer spektraler Lichtstreuoeffizient bei 457nm	PTS-Methode 2	130
	k_{Fill}	m^2/kg	spezifischer spektraler Lichtabsorptionskoeffizient bei 457nm	PTS-Methode 2	0,5
Farbpigmente	C_{Ink}	%	Anteil Farbpigmente bezogen auf Gesamtfaserstoff (ERIC)	ISO 22754	
	ID	%	Grad der Farbablösung am Faserstoff (Ink Detachment)	Ingede Methode 5	
	IF	%	Free Ink	PTS-Methode 3	97%
	A_{Ink}	mm^2/m^2	spezifische Farbpigmentoberfläche (Gesamt)	PTS-Methode 2	
	KSP	%	Anteil der Farbpigmentoberfläche der kleinen Schmutzpunkte ($\varnothing < 50\mu m$)	PTS-Methode 1	
	GSP	%	Anteil der Farbpigmentoberfläche der großen Schmutzpunkte ($\varnothing > 50\mu m$)	PTS-Methode 1	
	S_{Ink}	m^2/kg	spezifischer spektraler Lichtstreuoeffizient bei 457nm	PTS-Methode 2	100
	k_{Ink}	m^2/kg	spezifischer spektraler Lichtabsorptionskoeffizient bei 457nm	PTS-Methode 2	8246
Preis	€/t		Marktanalyse		

PTS-Methode 2 Bezüglich der für den Weißgrad relevanten Wellenlänge von 457nm besitzen Faserstoffe, anorganische Bestandteile (z.B. Füllstoffe, Strichpigmente) sowie Farbpigmente unterschiedliche Lichtstreu- und Lichtabsorptionskoeffizienten. Für die letzteren Komponenten wurden die in **Tabelle 3** angegebenen festen Werte S_{Fill} , k_{Fill} , S_{Ink} , k_{Ink} angenommen [10,11]. Mit gemäß ISO 2469-1 gemessen Lichtstreu- bzw. Lichtabsorptionskoeffizienten s bzw. k des Blattes ergeben sich Lichtstreu- bzw. Lichtabsorptionskoeffizienten S_{Fib} bzw. k_{Fib} des Faserstoffes gemäß

$$S_{Fib} = \frac{s - C_{Fill}S_{Fill} - C_{Ink}S_{Ink}}{(1 - C_{Fill} - C_{Ink})} \quad (3-1)$$

$$k_{Fib} = \frac{k - C_{Fill}k_{Fill} - C_{Ink}k_{Ink}}{(1 - C_{Fill} - C_{Ink})}$$

Die Gewichtsanteile von Füllstoffen und Strichpartikel C_{Fill} bzw. Farbpigmenten C_{Ink} können mittels Glührückstand 525° bzw. ERIC (ISO 22754:2008, TAPPI T567 om-09) bestimmt werden.

PTS-Methode 3 Als freie Farbpigmente („Free Ink“) werden jene Farbpigmente bezeichnet, die in der Suspension weder an Fasern noch an Pigmenten haften. In den numerischen Modellen (Kapitel 10) wird diese Variable verwendet, um das Verhalten von Farbpigmenten im Zuge von Trennprozessen genauer zu beschreiben. Ein direktes Messverfahren ist zurzeit nicht bekannt. Auf Grund der geringen Haftung der Farbpigmente an den glatten Füllstoff- bzw. Strichoberflächen wird bei einem unbehandelten Altpapieren angenommen, dass 97% der Farbpigmente, die nicht an Fasern haften („Detached Ink“), auch tatsächlich frei beweglich sind. Durch Beobachtung der Abtrennraten anorganischer Bestandteile und Farbpigmente ist der Anteil freier Farbpigmente im weiteren Prozessverlauf berechenbar.

5 Schmutzpunktmessung (PTS-Methode 1)

Messmethode
Partikelgrößenverteilung
Schmutzpunkte

Große Schmutzpunkte (GSP, > 50 µm) werden mit einem Flachbrettscanner, kleine Schmutzpunkte (KSP, < 50 µm) mit einem hochauflösenden Mikroskop erfasst. Grundsätzlich haben Probenvorbereitung, die Bildaufnahme und die Bildverarbeitung einen entscheidenden Einfluss auf das Messergebnis.

Einfluss
Pixelerfassungsmethode

Durch die Art der im PTS-DOMAS-System integrierten Pixelerfassungsmethode „on blob pixel centres“ ergeben sich verfahrensbedingt zum Teil erhebliche Abweichungen von der realen Partikelgröße der Schmutzpunkte. Dieser Detektierungsfehler erhöht sich mit kleiner werdender Partikelgröße.

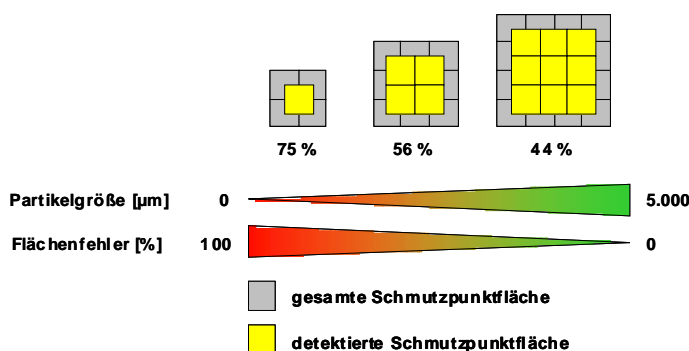


Abbildung 2: Gesamte zu detektierter Schmutzpunktfäche in Abhängigkeit der Partikelgröße

Es wurde eine Korrekturfunktion zur Schmutzpunktfäche erstellt. Es ergibt sich eine gute Übereinstimmung der Schmutzpunktfächen von Mikroskop und Scanner in der gemeinsamen Partikelgrößenklasse 50 – 100 µm (**Abbildung 3**).

Einfluss
Bildauflösung
DPI

Bei einer Scannerauflösung von 600 dpi sind nur Schmutzpunkte größer als 96 µm (= 2 Pixel in x- bzw. y-Richtung) tatsächlich erfassbar. Die für Deinkingprozesse sensitiven Partikelgrößen kleiner als 100 µm bleiben damit komplett unberücksichtigt. Aus diesem Grund empfiehlt sich eine Auflösung von 1200 dpi.

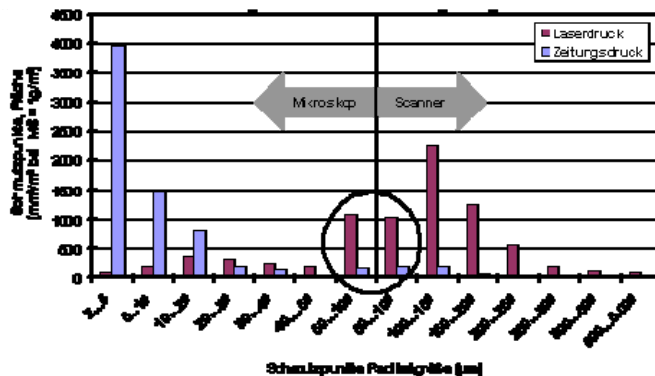


Abbildung 3: Spezifische Oberflächen der Schmutzpunkte für Laser- und Zeitungsdruckpapiere

**Einfluss
Mikroskop**

Zur Bewertung kleiner Schmutzpunkte wurden vergleichende Untersuchungen mit einem Licht- und einem Digitalmikroskop durchgeführt. Wegen der stark verbesserten Tiefenschärfe der Digitalmikroskope zerfallen größere Schmutzpunkte in mehrere kleiner Schmutzpunkte. Entsprechend erhöht sich die Gesamtoberfläche der kleinen Schmutzpunkte.

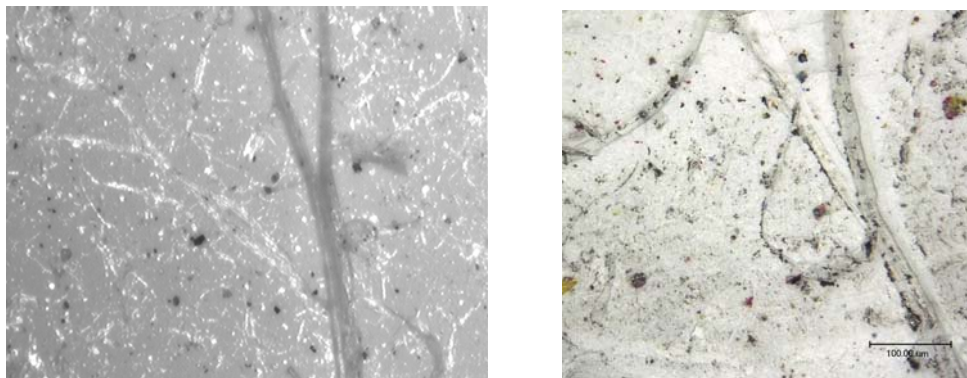


Abbildung 4: Aufnahmen von Schmutzpunkten mit einem Licht (links) und einem Digitalmikroskop (rechts)

**Einfluss
Bildverarbeitung**

Aufgenommene Digitalbilder können nachträglich mit geeigneter Software weiter verbessert werden. Die Funktion „Bild schärfen“ im Grafikprogramm IRFANVIEW ermöglicht eine deutlich bessere Detektierung der kleinsten Schmutzpunkte (< 5 µm).

Je kleiner ein Schmutzpunkt, desto geringer ist auch der Helligkeitsunterschied zum Hintergrund. Diese Problematik tritt insbesondere bei der mikroskopischen Erfassung bei Schmutzpunkten < 50 µm auf. Trotz umfangreicher Testreihen mit unterschiedlichen Bildanalytischen Softwareroutinen war es nicht möglich, eine allgemein gültige Schwellwertfestsetzung für die Schmutzpunktmessung zu definieren. Daher erfolgt die Schwellwertfestlegung zur Unterscheidung Schmutzpunkt – Hintergrund derzeit bei jeder Probe subjektiv.

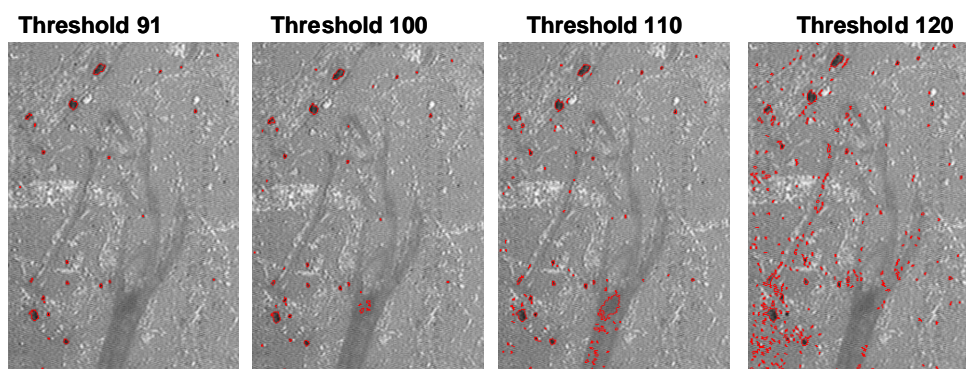


Abbildung 5: Detektierbare Schmutzpunkte (rot) bei unterschiedlichen Schwellwerten

6 Charakterisierung der AP-Sorten

Basispapierprodukte

In Basispapierprodukten (BPP) werden Papiere mit ähnlichen stofflichen Merkmalen zusammengefasst. Insbesondere die unteren Altpapiersorten (Gruppe 1) setzen sich aus mehreren deutlich unterschiedlichen BPP zusammen. Mittlere und bessere Altpapiere sind hingegen relativ sortenrein und können somit per se als Basispapierprodukt betrachtet werden.

Tabelle 4: Basispapierprodukte

Bezeichnung	Bestandteil der AP-Sorte gemäß [12]	holzhaltig	holzfrei	gestrichen	ungestrichen	ungefärbt
					(masse)gefärbt	
Faltschachtel (Sekundär-FS)	1.03	x		x		x
Faltschachtel (Primär-FS; ungebleicht)	1.03		x	x		x
Faltschachtel (Primär-FS; gebleicht)	1.03	x		x		x
Kraftliner	1.05		x		x	x
Testliner	1.05	x			x	x
Zeitschriften/Illustrierte	1.06	x		x		x
Zeitungen (unbedruckt)	2.01	x			x	x
Zeitungen (bedruckt)	2.01	x			x	x
Weißer Späne mit leichtem Andruck	2.03	x		x		x
Büropapier Laserdruck	2.05		x		x	x
Büropapier Inkjet	2.05		x	x		x
Bunte Akten inkl. massengefärbte Papiere	2.06	x			x	x
Zeitschriften/Illustrierte holzfrei	2.08		x	x		x
weiße Späne mit leichtem Andruck, holzfrei	3.04		x	x		x
weiße Akten, holzfrei, gestrichen + ungestrichen	3.05		x	x	x	x
Holzfreies gestrichenes Papier, leichter Andruck	3.10		x	x		x
weißes holzhaltiges Papier	3.15	x		x	x	x
weißes, gestrichenes Papier, holzfrei	3.16		x	x		x
Weißer, ungestrichene Späne, holzfrei	3.18.01		x		x	x

Alle Basispapierprodukte wurden gemäß der Systematik in **Tabelle 3** einheitlich charakterisiert. Einen Ausschnitt der resultierenden Datenbank ist **Tabelle 5** zu entnehmen..

Tabelle 5: Datenbank Basispapierprodukte (Ausschnitt)

	Faserstoff				Asche (E25°C)			Farbpigmente								
	Anteil	s _{FB}	k _{FB}	Lignin	Anteil	s _{FA}	k _{FA}	Anteil (ERIC)	Ink Det.	Free Ink	Fläche	KSP (0..50)	GSP (≥100)	s _{ink}	k _{ink}	
	%	m2/kg	m2/kg	%	%	m2/kg	m2/kg	%	%	%	mm²/m²	%	%	m2/kg	m2/kg	
<i>reine AP-Sorten (BPP)</i>																
Faltschachtel (Sekundär-FS)	1.03	74,6%	35,17	14,23	11,00%	25,4%	130	0,5	0,026%	60%	97%	2843	46,5%	53,5%	100,00	8246,45
Faltschachtel (Primär-FS; ungebleicht)	1.03	92,1%	20,76	26,47	11,00%	7,9%	130	0,5	0,034%	60%	97%	4490	16,1%	83,9%	100,00	8246,45
Faltschachtel (Primär-FS; gebleicht)	1.03	83,3%	34,38	2,75	11,00%	16,7%	130	0,5	0,013%	60%	97%	1240	62,6%	37,4%	100,00	8246,45
Kraftliner	1.05	84,6%	27,69	28,01	15,00%	15,3%	130	0,5	0,030%	60%	97%	2000	85,0%	15,0%	100,00	8246,45
Testliner	1.05	84,7%	27,69	28,01	15,00%	15,3%	130	0,5	0,025%	60%	97%	2880	36,2%	63,8%	100,00	8246,45

Einfluss der Haupt-Druckverfahren

Die ausgewählten Druckverfahren führten bei annähernd vergleichbarer Druckfarbenmenge zu einer stark unterschiedlichen Fragmentierung der Druckfarben im Zuge der Altpapierzerfaserung (**Abbildung 6**). Die Mehrzahl der Inkjet-Farbpigmente ist kleiner als 2µm und somit auch als kleine Schmutzpunkte nicht detektierbar. Sie machen sich als Vergrauung des Papiers bemerkbar.

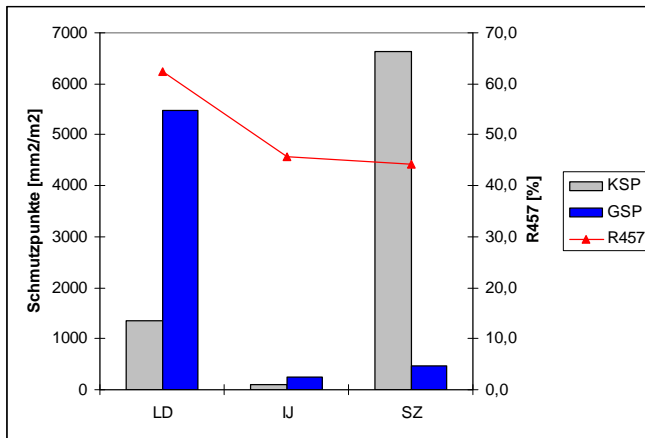


Abbildung 6: Beladung mit kleinen (KSP) und großen (GSP) Schmutzpunkten sowie Weißgrade grafischer Altpapiere der Sorten Laserdruck (LD), Inkjet (IJ) und Offset-Zeitungsdruck (SZ) bei gleicher Druckfarbenmenge

Schwankungsbreite der AP-Qualität

Die Altpapiersorte 1.11 (Deinkingware) ist der dominierende AP-Rohstoff zur Herstellung grafischer Papiere, der in seiner Zusammensetzung zeitlich deutlich schwanken kann. Mit der NIR-Technik steht eine Messmethode zur Verfügung, die Zusammensetzung der Deinkingware über einen längeren Zeitraum und mit hoher Auflösung zu kontrollieren (**Abbildung 7**). Damit war es möglich

- Schwankungsbreiten der Mengenanteile der BPP zu erfassen
- die Materialkennwerte der BPP und deren Einfluss auf die schwankende Qualität der Deinkingware zu validieren.

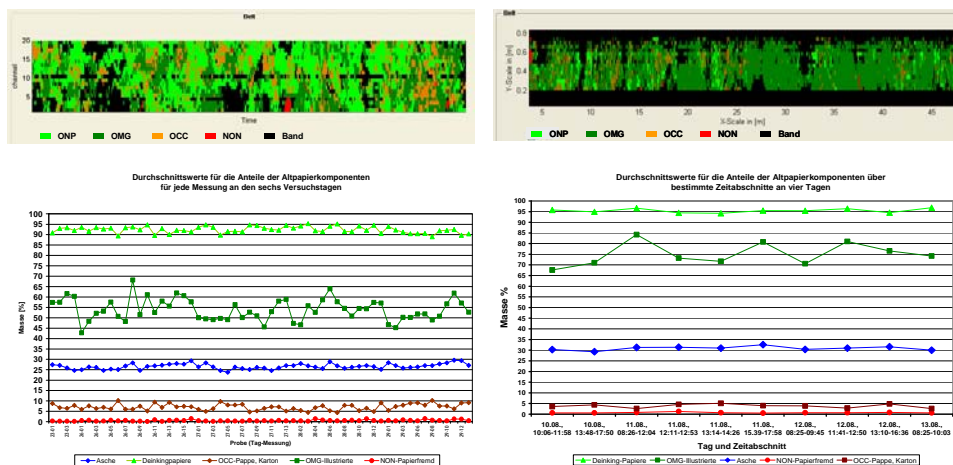


Abbildung 7: Zusammensetzung der Deinkingware in 2 untersuchten Papierfabriken auf dem Transportband (oben links/oben rechts) sowie zugehörige zeitliche Veränderungen über einen Zeitraum von 6 Tagen (unten links) bzw. 3 Tagen (unten rechts)

7 Prozess Wäsche

Vorgehensweise Es wurden Laborwäschen an mehreren Altpapierstoffen durchgeführt, die unterschiedlich stark mit Füllstoffen/Papierstrich und Schmutzpunkten beladen waren. Der Haupteinflussparameter auf das Waschergebnis ist die spezifische Flächenmasse des gebildeten Faservlieses im Waschaggregat.

Ascheaustrag

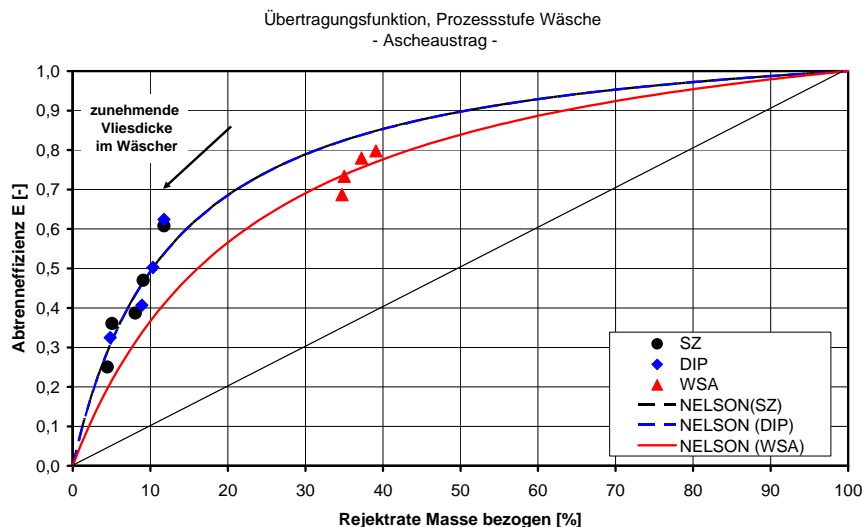


Abbildung 8: Abtrenneffizienz der Wäsche bezüglich Asche bei unterschiedlichen Rohstoffeinträgen in Abhängigkeit von der Rejektrate (durchgezogene Linien: Trendlinien gemäß NELSON-Modell)

Reduzierung Schmutzpunkte

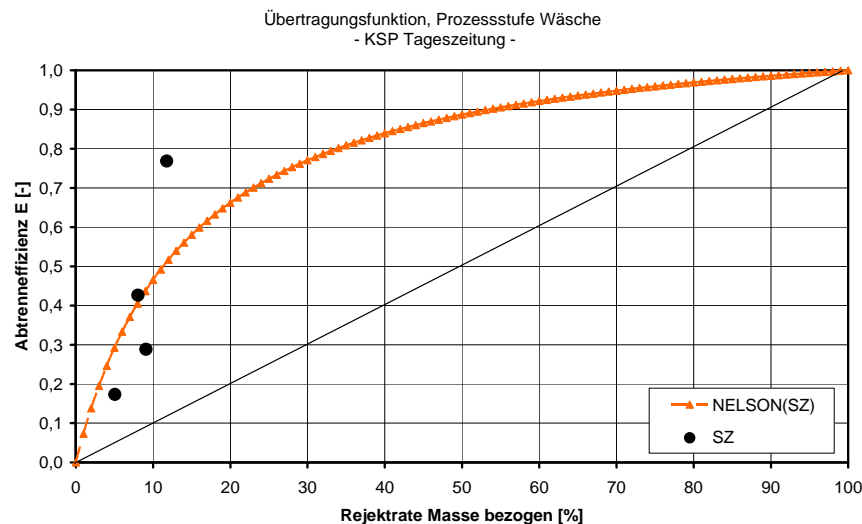


Abbildung 9: Abtrenneffizienz der Wäsche bezüglich kleiner Schmutzpunkte für Zeitungsaltpapier (Offsetdruck) in Abhängigkeit von der Rejektrate (durchgezogene Linie: Trendlinie gemäß NELSON-Modell)

**Ergebnisse der
Waschversuche**

- Eine bestmögliche Nachbildung von Waschprozessen, wie sie in Deinkinganlagen üblich sind, kann mit einem RAPID-KÖTHEN-Blattbildner erfolgen. Analog zur industriellen Praxis wird im RK-Blattbildner die abtrennende Wirkung des Faservlieses genutzt.
 - Mittels Wäsche wird Asche signifikant reduziert. Spezifische Einflüsse einzelner BPP wurden nicht beobachtet (**Abbildung 8**).
 - Kleine Schmutzpunkte (< 50 µm) werden im Ergebnis der Wäsche deutlich reduziert. Die Beladung mit großen Schmutzpunkten (> 50 µm) bleibt im Wesentlichen unverändert (**Abbildung 9**).
 - Die Waschversuche an bedrucktem Inkjetpapier führten zu keiner signifikanten Verringerung des Weißgrades. Ursache ist eine feste Anlagerung der sehr feinen Farbpigmente an den Altpapierfasern.
-

8 Prozess Bleiche

Vorgehensweise Es wurde primär der Einfluss der Bleichmittelmenge der oxidativen und reduktiven Bleiche als Hauptkostenfaktor in dieser Prozessstufe untersucht.

**Oxidative
Bleiche:
Weißgrad**

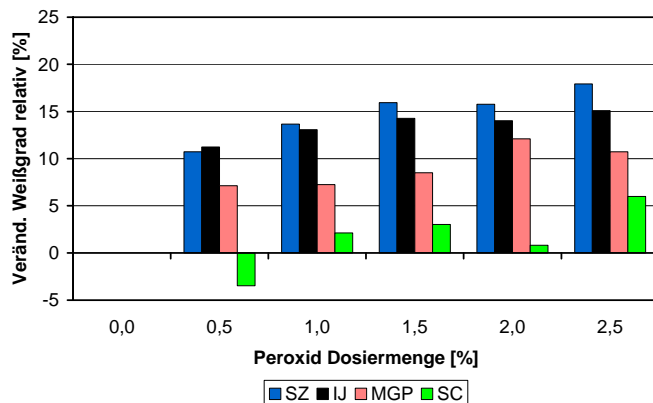


Abbildung 10: Veränderung Weißgrad in Abhängigkeit der Dosiermenge von Wasserstoffperoxid und bei unterschiedlichen BPP

**Reduktive
Bleiche:
Lichtabsorption
 K_{Fib}**

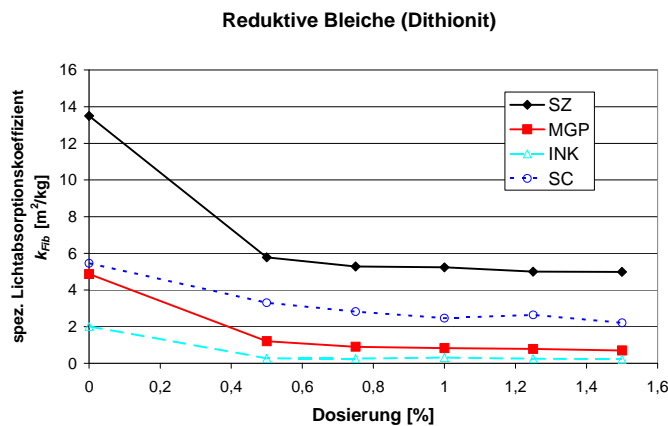


Abbildung 11: Veränderung des spezifischen Lichtabsorptionskoeffizienten (457 nm) der Faserstoffkomponente in Abhängigkeit der Dosiermenge von Dithionit und bei unterschiedlichen BPP

Kombibleichen

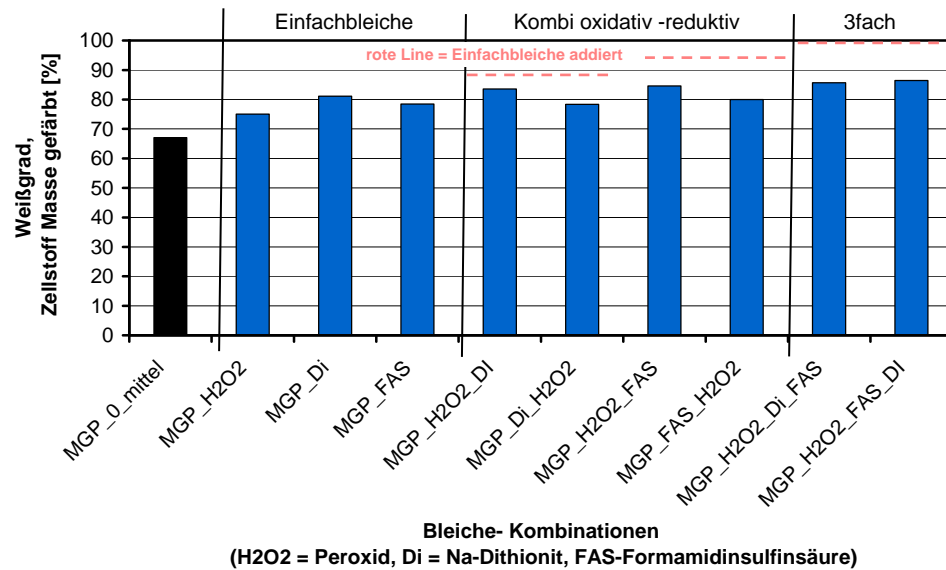


Abbildung 12: Weißgradänderung massegefärbter Papiere im Ergebnis einfacher und kombinierter Bleichen

Ergebnisse der Bleichversuche

- Ab einer Dosiermenge von 2% haben alle eingesetzten Bleichmittel keine signifikante Weißgrad steigernde Wirkung mehr (**Abbildung 10**)
- Die unmittelbare aufhellende Wirkung der Bleiche auf die Faserstoffkomponente wurde quantifiziert (**Abbildung 11**)
- Die Reihenfolge in Bleichsequenzen beeinflusst das Bleichergebnis. Eine oxidative Bleichstufe zu Beginn der Bleichsequenz ist vorteilhaft. Das Ergebnis einer Bleichsequenz bleibt unter dem Weißgrad bei einfacher Addition der Bleichwirkung der Einzelbleichen (**Abbildung 12**)

9 Modellentwicklung AP-Stoff

Datenstruktur

Die Datenstruktur für das Altpapiermodell wurde entsprechend **Tabelle 3** festgelegt und eine Datenbank der Basispapierprodukte erstellt.

Definition AP-Sorte

		g/m ²	s
Faltschachtel Duplex grau	1.03		
Faltschachtel Duplex braun	1.03		
Faltschachtel weißer Faserstoff	1.03		
Wellpappe braun	1.05	7	3%
Wellpappe weiß	1.05		
Zeitschriften	1.06	50	10%
Zeitungen (unbedruckt)	2.01		
Zeitungen (bedruckt)	2.01	43	10%
Weißer Späne mit leichtem Andruck, ohne Kleberücken	2.03		
Büropapier Laserdruck	2.05		
Büropapier Inkjet	2.05		
Bunte Akten inkl. massengefärbte Papiere	2.06		
Werbedruck hf	2.08		
weiße Späne mit leichtem Andruck, holzfrei	3.04		
weiße Akten, Holzfrei, gestrichen + ungestrichen	3.05		
Multidruck hf, gestrichen, leichter Andruck	3.10		
weißes gestrichenes und ungestrichenes Papier, hh	3.15		
weißes, gestrichenes Papier, holzfrei, ohne Kleberücken	3.16		
weiße ungestrichene Späne, holzfrei	3.18.01		
gesamt:		100	

Abbildung 13: Benutzeroberfläche zur Definition der Zusammensetzung einer AP-Sorte (hier 1.11 Deinkingware) aus den BPP

Die Definition der Zusammensetzung einer AP-Sorte aus den Basispapierprodukten erfolgt durch Angabe der jeweiligen spezifischen Flächengewichte (in g/m²) und der zugehörigen Streuung (in %).

Zusammensetzung der AP-Sorte aus BPP

	%	my	sigma	U1	U2	X	Y	ZI	ZZ
Faltschachtel Duplex grau	1.03	0.00%	0	0	0.0394367	0.21664834	1.37362259	0.25659733	0
Faltschachtel Duplex braun	1.03	0.00%	0	0	0.09409495	0.12203545	1.70324991	1.14254304	0
Faltschachtel weißer Faserstoff	1.03	0.00%	0	0	0.7748039	0.44513043	0.19801242	-1.28040408	0
Wellpappe braun	1.05	7.09%	7	0.21	0.09269973	0.72176989	0.67449516	0.44402408	7.09224595
Wellpappe weiß	1.05	0.00%	0	0	0.27693241	0.13895761	0.33000804	1.9595162	0
Zeitschriften	1.06	50.29%	50	5	0.23267914	0.49576769	0.12866304	1.17759989	50.6433152
Zeitungen (unbedruckt)	2.01	0.00%	0	0	0.99831663	0.91866478	0.41188467	-0.00436663	0
Zeitungen (bedruckt)	2.01	42.61%	43	4.3	0.25298629	0.48484418	0.02057822	1.26623079	42.9115135
Weißer Späne mit leichtem Andruck, ohne Kleberücken	2.03	0.00%	0	0	0.41742762	0.63024308	0.97819676	0.69854331	0
Büropapier Laserdruck	2.05	0.00%	0	0	0.69163128	0.38096798	-0.49142534	-1.27935021	0
Büropapier Inkjet	2.05	0.00%	0	0	0.95120817	0.90341529	0.42970233	-0.18602123	0
Bunte Akten inkl. massengefärbte Papiere	2.06	0.00%	0	0	0.03934158	0.93751733	0.57740422	0.1457087	0
Werbedruck hf	2.08	0.00%	0	0	0.36318963	0.20778176	-1.15710115	1.34296455	0
weiße Späne mit leichtem Andruck, holzfrei	3.04	0.00%	0	0	0.07177743	0.92184538	0.36309314	0.17583792	0
weiße Akten, Holzfrei, gestrichen + ungestrichen	3.05	0.00%	0	0	0.10685789	0.26276514	1.24433621	0.98876476	0
Multidruck hf, gestrichen, leichter Andruck	3.10	0.00%	0	0	0.93960075	0.36091992	1.32610725	-0.52890804	0
weißes gestrichenes und ungestrichenes Papier, hh	3.15	0.00%	0	0	0.39756819	0.91019848	-0.3470173	0.26031552	0
weißes, gestrichenes Papier, holzfrei, ohne Kleberücken	3.16	0.00%	0	0	0.65026869	0.94196549	-0.20274385	-0.28004597	0
weiße ungestrichene Späne, holzfrei	3.18.01	0.00%	0	0	0.37913393	0.26289754	-1.15249072	1.09412346	0
								100.696473	111.426988

Resultierende Kennwerte der AP-Sorte

Output		Faserstoff				Asche (625°C)			Farbpigmente						Preis	
mA	Anteil	S _{FA}	k _{FA}	Lignin	Anteil	S _{AA}	k _{AA}	Anteil (ERIC)	Ink Det.	Free Ink	Fläche	KSP (0..50)	GSP (2100)	S _{PK}	k _{PK}	Preis
g/m ²	%	m ² /kg	m ² /kg	%	%	m ² /kg	m ² /kg	%	%	%	mm ² /m ²	%	%	m ² /kg	m ² /kg	€/m ²
100.00	76.97%	66.24	11.13	22.78%	23.03%	155.57	0.50	0.11%	75.09%	97.00%	6366.82	89.78%	10.22%	100.00	8246.45	

Abbildung 14: Realisierung der Kennwerte einer AP-Sorte

Realisierung einer AP-Sorte

Unter Anwendung eines Zufallszahlengenerators (BOX-MULLER-Methode) werden gemäß vorgegebener Mittelwerte und Streuungen eine zufällige Realisierung der Zusammensetzung einer AP-Sorte und schließlich der zugehörige Vektor der Kennwerte berechnet (**Abbildung 14**).

10 Modellentwicklung Prozess

10.1 Flotation

**Prozess-
parameter**

Rejektrate (massegewichtet) R_W , d.h. im Gutstoff:

$$m_{A,G} = (1 - R_W) \cdot m_A \quad (10-1)$$

$$m_{A,F} = R_W \cdot m_A \quad (10-2)$$

**Resultierende
Masseanteile der
organischen und
anorganischen
Faserstoff-
bestandteile**

Die Berechnung der Masseanteile erfolgt mittels des Ansatzes von NELSON bei Annahme eines Mixed-Flow-Verhaltens der Komponenten bei der Flotation. Für den Masseanteil der organischen Anteile im Flotat und im Gutstoff gilt für die Effizienz E_{Fib} bzw. E_{Ash} der Abtrennung der organischen bzw. anorganischen Faserstoffbestandteile

$$E_{Fib} = \frac{R_W}{1 - Q_{Fib} + Q_{Fib} \cdot R_W} \quad (10-3)$$

$$E_{Ash} = \frac{R_W}{1 - Q_{Ash} + Q_{Ash} \cdot R_W} \quad (10-4)$$

Dabei sind Q_{Fib} und Q_{Ash} die sogenannten NELSON-Quotienten. Es folgen daraus die Masseanteile der organischen bzw. anorganischen Faserstoffbestandteile im Flotat und im Gutstoff

$$c_{Fib,F} = \frac{c_{Fib} \cdot E_{Fib}}{c_{Fib} \cdot E_{Fib} + c_{Ash} \cdot E_{Ash}} \quad (10-5)$$

$$c_{Ash,F} = \frac{c_{Ash} \cdot E_{Ash}}{c_{Fib} \cdot E_{Fib} + c_{Ash} \cdot E_{Ash}} \quad (10-6)$$

$$c_{Fib,G} = \frac{c_{Fib} \cdot (1 - E_{Fib})}{c_{Fib} \cdot (1 - E_{Fib}) + c_{ASH} \cdot (1 - E_{ASH})} \quad (10-7)$$

$$c_{Ash,G} = \frac{c_{Ash} \cdot (1 - E_{Ash})}{c_{Fib} \cdot (1 - E_{Fib}) + c_{ASH} \cdot (1 - E_{ASH})} \quad (10-8)$$

Resultierende spezifische Oberflächen der Farbpigmente

Für kleine und große ungebundenen Farbpigmente kann analog zu (10-3) bei gegebenem Nelson-Quotienten Q_{KSP} bzw. Q_{GSP} die Effizienz E_{Ink} der Abtrennung angegeben werden.

$$E_{KSP/GSP} = \frac{R_W}{1 - Q_{KSP/GSP} + Q_{KSP/GSP} \cdot R_W} \tag{10-9}$$

Es folgen daraus die spezifischen Oberflächen in Gutstoff und Flotat.

Tabelle 6:

	Flotat	Gutstoff
Freie Kleine Schmutzpunkte	$A_{1,F,KSP} = ID \cdot IF \cdot A_{Ink} \cdot KSP \cdot E_{KSP}$	$A_{1,G,KSP} = ID \cdot IF \cdot A_{Ink} \cdot KSP \cdot (1 - E_{KSP})$
Freie Große Schmutzpunkte	$A_{1,F,GSP} = ID \cdot IF \cdot A_{Ink} \cdot GSP \cdot E_{GSP}$	$A_{1,G,GSP} = ID \cdot IF \cdot A_{Ink} \cdot GSP \cdot (1 - E_{GSP})$
Freie Schmutzpunkte (gesamt)	$A_{1,F} = A_{1,F,KSP} + A_{1,F,GSP}$	$A_{1,G} = A_{1,G,KSP} + A_{1,G,GSP}$

Für die gebundenen Farbpigmente ergeben sich die spezifischen Oberflächen in Flotat und Gutstoff aus den Trenneffizienzen für Asche und Faserstoff

Tabelle 7:

	Flotat	Gutstoff
Filler Attached Ink	$A_{2,F} = A_{Ink} \cdot ID \cdot (1 - IF) \cdot E_{Ash}$	$A_{2,G} = A_{Ink} \cdot ID \cdot (1 - IF) \cdot (1 - E_{Ash})$
Fibre Attached Ink	$A_{3,F} = A_{Ink} \cdot ID \cdot IF \cdot E_{Fib}$	$A_{3,G} = A_{Ink} \cdot ID \cdot IF \cdot (1 - E_{Fib})$

Für die spezifische Oberfläche A_{Ink} der Farbpigmente in Flotat und Gutstoff gilt damit

$$A_{Ink,F} = \frac{A_{1,F} + A_{2,F} + A_{3,F}}{R_W}$$

$$A_{Ink,G} = \frac{A_{1,G} + A_{2,G} + A_{3,G}}{1 - R_W} \tag{10-10}$$

**Resultierende
Kennwerte ID und
 IF**

Für den Kennwert ID folgt

$$ID_F = \frac{A_{1,F} + A_{2,F}}{A_{1,F} + A_{2,F} + A_{3,F}}$$
$$ID_G = \frac{A_{1,G} + A_{2,G}}{A_{1,G} + A_{2,G} + A_{3,G}} \quad (10-11)$$

Für den Kennwert IF ergibt sich

$$IF_F = \frac{A_{1,F}}{A_{1,F} + A_{2,F}}$$
$$IF_G = \frac{A_{1,G}}{A_{1,G} + A_{2,G}} \quad (10-12)$$

**Resultierende
Masseanteile der
Farbpigment-
Größenklassen**

Für die „Filler attached ink“ bzw. „Fibre attached ink“ sind keine Veränderungen bezüglich der Masseanteile KSP und GSP zu erwarten. Die zugehörigen Trenneffizienzen sind also 0. Für die entsprechenden spezifischen Oberflächen der einzelnen Größenklassen gilt mit den Bezeichnungen aus

Tabelle 8:

	Flotat		Gutstoff	
	KSP	GSP	KSP	GSP
Filler Attached Ink	$A_{2,F,KSP} = KSP \cdot A_{2,F}$	$A_{2,F,GSP} = GSP \cdot A_{2,F}$	$A_{2,G,KSP} = KSP \cdot A_{2,G}$	$A_{2,G,GSP} = GSP \cdot A_{2,G}$
Fibre Attached Ink	$A_{3,F,KSP} = KSP \cdot A_{3,F}$	$A_{3,F,GSP} = GSP \cdot A_{3,F}$	$A_{3,G,KSP} = KSP \cdot A_{3,G}$	$A_{3,G,GSP} = GSP \cdot A_{3,G}$

Damit gilt für KSP und GSP in Flotat und Gutstoff

$$KSP_F = \frac{A_{1,F,KSP} + A_{2,F,KSP} + A_{3,F,KSP}}{A_{1,F} + A_{2,F} + A_{3,F}} \quad (10-13)$$

$$KSP_G = \frac{A_{1,G,KSP} + A_{2,G,KSP} + A_{3,G,KSP}}{A_{1,G} + A_{2,G} + A_{3,G}} \quad (10-14)$$

$$GSP_F = \frac{A_{1,F,GSP} + A_{2,F,GSP} + A_{3,F,GSP}}{A_{1,F} + A_{2,F} + A_{3,F}} \quad (10-15)$$

$$GSP_G = \frac{A_{1,G,GSP} + A_{2,G,GSP} + A_{3,G,GSP}}{A_{1,G} + A_{2,G} + A_{3,G}} \quad (10-16)$$

**spezifische
Lichtstreu- bzw.
Lichtabsorptions
koeffizienten**

Für die spezifischen Lichtstreu- bzw. Lichtabsorptionskoeffizienten s_{Ink} , s_{Fill} , s_{Fib} , k_{Ink} , k_{Fill} , k_{Fib} wird angenommen, dass sie im Zuge der Flotation konstant bleiben, sofern dem Prozess keine Bleichmittel oder sonstige den Farbort verändernde Chemikalien zugesetzt werden.

10.2 Eindicken/Waschen/Cleanerung

Eindicken, Waschen und Cleanerung können wie die Flotation als Trennprozesse betrachtet und durch einen analogen Kalkül numerisch modelliert werden. Es bleibt dabei unbenommen, dass alle Prozesse sowohl technologisch als auch in ihrer Zielstellung unterschiedlich sind. Während im Zuge von Flotation, Wäsche und Cleanerung eine Trennung verschiedener Feststoffkomponenten beabsichtigt ist, zielt das Eindicken auf eine Trennung der festen von der flüssigen Phase. Aber auch im letzteren Fall gelangen Feststoffe (Füll- und Feinstoffe, Farbpigmente) in das Filtrat. Gegenstand der Modelle für Wäsche und Eindicken ist deshalb wie bei der Flotation „nur“ die Trennung der Feststoffe.

Prozessparameter

R_w : Rejektrate (Siebdurchfall)

Cleanerstufen

Effizienz [13]

$$E = 1 - \exp\left(-\left(\frac{D}{D_{50}} - 0,115\right)^3\right) \quad (10-17)$$

Durchmesser) [13]

$$D_{50} = c_{Cleaner} \sqrt{\frac{\mu}{\Delta p} (1 - R_w) \cdot \exp(kC^n)} \quad (10-18)$$

10.3 Dispergierung/Zerfaserung

Prozessparameter

SDE : Spezifische Dispergierenergie (in kWh/t)

Kleine und Große Schmutzpunkte

Im Zuge der Dispergierung werden u.a. große Schmutzpunkte zerkleinert. Entsprechend findet eine Umverteilung der Anteile zwischen kleinen und großen Schmutzpunkten statt. Die Dynamik kann (in Anlehnung an Zerkleinerungsmodelle für die Mahlung [14]) wie folgt beschrieben werden

$$\begin{aligned} KSP &= KSP_0 + GSP \cdot (1 - q_1^{SDE}) \\ GSP &= GSP_0 \cdot q_1^{SDE} \end{aligned} \quad (10-19)$$

Dabei kennzeichnet q_1 den Anteil der großen Schmutzpunkte die je Energieeinheit nicht zerkleinert werden. Es ist also q_1 ein Maß für die Dispergierresistenz des Farbpigmente. Der Index 0 kennzeichnet die Kennwerte vor der Dispergierung. Die spezifische Oberfläche der Farbpigmente wird als konstant angenommen.

Inkdetachment und Free Inks

Die Dispergierung fördert die Druckfarbenablösung. Deren Dynamik kann analog zu (10-19) durch eine Intensität q_2 beschrieben werden.

$$ID = ID_0 + (1 - ID_0) \cdot (1 - q_2^{SDE}) \quad (10-20)$$

Ile abgelösten Farbpigmente sich nicht wieder anlagern, d.h. in „Free Ink“ übergehen, gilt für den Kennwert IF

$$IF = \frac{IF_0 \cdot ID_0 + ID - ID_0}{ID} \quad (10-21)$$

Lichtstreuoeffizient

Ein weiterer ebenfalls mit der Intensität der Dispergierung eng in Zusammenhang stehender Parameter q_3 beschreibt die Reduzierung des spezifischen Lichtstreuoeffizienten der Faserkomponente.

$$S_{Fib} = S_{Fib,0} \cdot EXP(q_3 \cdot SDE) \quad (10-22)$$

Zerfaserung als „spezielle“ Dispergierung

Dispergierung und Zerfaserung sind technologisch unterschiedliche Prozesse. Der Eingangsstoff der Dispergierung ist eine wässrige Suspension mit einer Konsistenz von 25-40%. Bei der Zerfaserung wird am Eingang quasi trockener Faserstoff verwendet, der im Zuge der Auflösung auf eine Konsistenz von unter 20% verdünnt wird.

Als Eingangsstoff aller Modelle wird ein unter „Standardbedingungen“ zerfaserter (und gereinigter) Altpapierstoff angenommen. Die Nachbildung der Wirkung höherer spezifischer Energieeinträge (durch Erhöhung der Zerfaserungsdauer bzw. der Volumenenergie) erfolgt im Prozessmodell durch Anwendung einer Dispergerstufe auf den Eingangsstoff. Energieeintrag SDE sowie die Intensitäten q_1 und q_2 sind entsprechend anzupassen.

10.4 Bleiche (oxidativ/reduktiv)

Prozessparameter $H_2O_2/Di/FAS$: Typ der Bleiche (oxidative Bleiche mit Wasserstoffperoxid/reduktive Bleiche mit Dithionit/reduktive Bleiche mit Formamidinsulfinsäure)
 c : Einsatz Bleichchemikalie (Angaben in % bezogen auf Faserstoffmenge).
 Weitere Prozessparameter (Temperatur, pH-Wert, Konsistenz) werden als optimal vorausgesetzt.

Als wesentlicher Effekt der Bleiche wird die Reduzierung des spezifischen Lichtabsorptionskoeffizienten der Faserkomponente angenommen. Das experimentell beobachtete Bleichverhalten bei variierendem Einsatz c der Bleichchemikalie kann am ehesten durch folgendes Modell approximiert werden

$$k_{Fib} = k_{Fib,0} - (k_{Fib,0} - k_{Min}) * EXP(f_1 * c) \quad (10-23)$$

Dabei sind

k_{Min} : erreichbarer Grenzwert (Minimum) des Lichtabsorptionskoeffizienten der Faserkomponente

f_1 : Rate der Reduzierung des Lichtabsorptionskoeffizienten

Grenzwert des Lichtabsorptionskoeffizienten Der Grenzwert für den erreichbaren spezifischen Lichtabsorptionskoeffizienten ist eine Funktion noch vorhandenen chromophoren Gruppen des Lignins und der (Masse-) Farbstoffe in der Faserwand. Auf Grund der komplexen chemischen Wechselwirkungen und der mannigfaltigen Einflüsse wird ersatzweise folgende vereinfachte Gleichung angenommen

$$k_{Min} = f_2 \cdot LIG + f_3 \cdot k_{Fib,0} \quad (10-24)$$

Ligninabbau Im Zuge der oxidativen Bleiche mit Wasserstoffperoxid wird Lignin abgebaut. Als Modell für den Ligninabbau LIG_{red} (in g/m₂) wird folgender Ansatz verwendet:

$$LIG_{red} = m_A \cdot c_{Fib} \cdot LIG \cdot c \quad (10-25)$$

10.5 Blattbildung (einlagig)

s und k des Laborblattes

Die Bedingungen der Blattbildung entsprechen denen des RK-Blattbildners. Entsprechend dem KUBELKA-MUNK-Kalkül können der spezifische Lichtstreu- bzw. der spezifische Lichtabsorptionskoeffizient des Laborblattes (bei 457 nm) aus den Kennwerten der Suspension gemäß

$$S = C_{Fib} \cdot S_{Fib} + C_{Fill} \cdot S_{Fill} + C_{Ink} \cdot S_{Ink} \quad (10-26)$$

$$k = C_{Fib} \cdot K_{Fib} + C_{Fill} \cdot K_{Fill} + C_{Ink} \cdot K_{Ink} \quad (10-27)$$

berechnet werden.

Reflexions- und Transmissionsfaktoren (bei 457nm ohne UV)

$$R_{\infty} = 1 + \frac{k}{s} - \sqrt{\left(\frac{k}{s}\right)^2 + 2\left(\frac{k}{s}\right)} \quad (10-28)$$

$$R_0 = \frac{\text{EXP}\left(s \cdot b \cdot \left(\frac{1}{R_{\infty}} - R_{\infty}\right)\right) - 1}{\frac{1}{R_{\infty}} \cdot \text{EXP}\left(s \cdot b \cdot \left(\frac{1}{R_{\infty}} - R_{\infty}\right)\right) - R_{\infty}} \quad (10-29)$$

$$T_0 = \sqrt{(R_{\infty} - R_0) \left(\frac{1}{R_{\infty}} - R_0\right)} \quad (10-30)$$

11 Validierung in Pilotanlage

Testfall

Mittels Simulation soll entschieden werden, ob eine Dispergierung im Teilstrom vorteilhafter ist als eine Dispergierung im Vollstrom. Zur Charakterisierung des Ist-Zustandes (Variante 1) wurde ein Standard-Deinking-Prozess nachgebildet (**Abbildung 15**). Eine Wäsche soll unmittelbar nach der Sortierung eingefügt werden. (Variante 2) Das Filtrat bleibt unbehandelt und wird nach der Dispergierung des Gutstoffes wieder zugegeben (**Abbildung 16**).

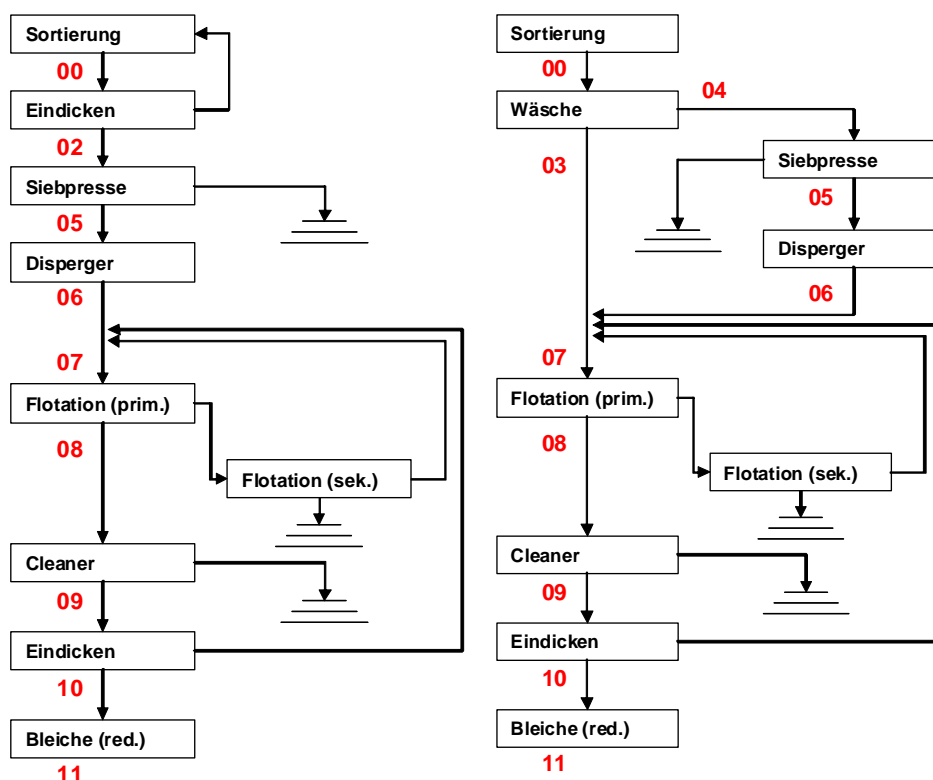


Abbildung 15: Deinking mit Dispergierung im Vollstrom (Variante 1)

Abbildung 16: Deinking mit Dispergierung im Teilstrom (Variante 2)

Simulationsgestützte Schlussfolgerungen

Ein simulativer Vergleich der beiden Schaltungsvarianten ergab folgende Trends:

1. Im Rahmen der Teilstromlösung sind die Ascheverluste geringer.
2. Die spezifischen Schmutzpunktoberflächen differieren nur gering.
3. Der Weißgrad im Ergebnis von Variante 2 ist tendenziell höher.

Experimentelle Ergebnisse

Durch einen Versuch im Technikumsmaßstab konnten alle Prognosen im Wesentlichen bestätigt werden (**Abbildung 17**). Leichte Abweichungen wurden für den Weißgrad festgestellt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Rahmen der Simulation Stoffrückführungen (Kreisläufe der Flotation und der Eindickung) unberücksichtigt bleiben mussten.

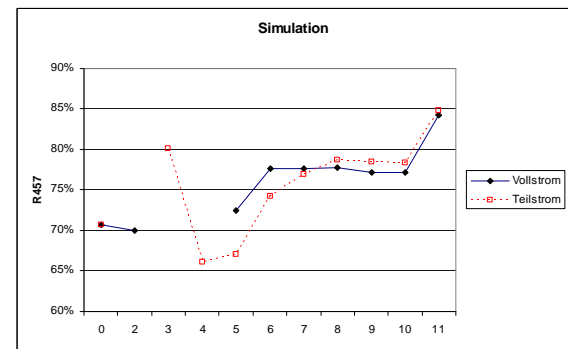
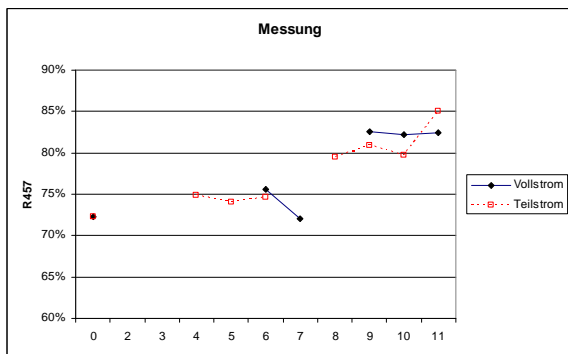
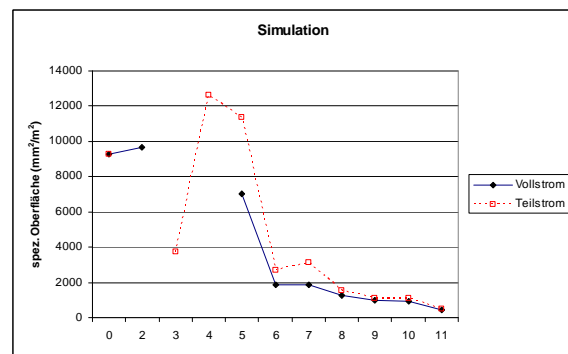
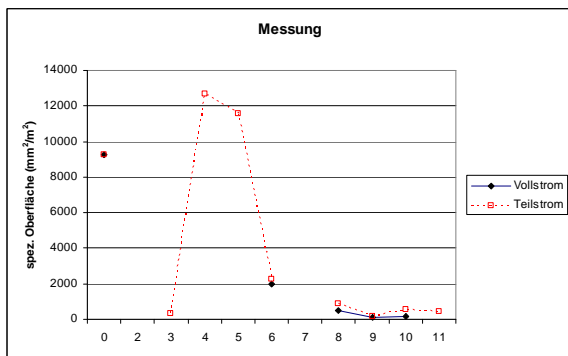
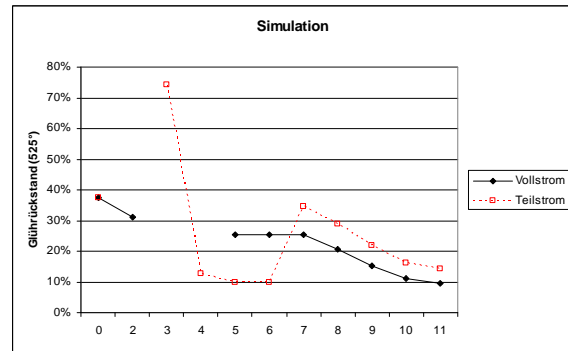
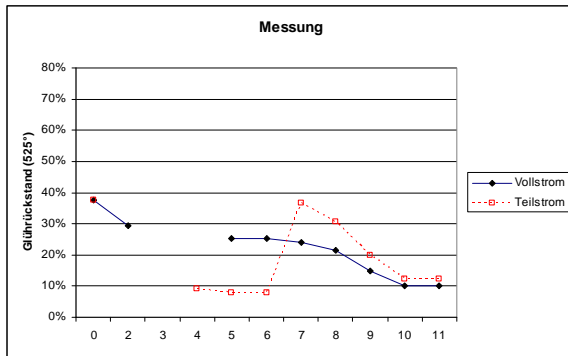


Abbildung 17: Vergleich der gemessenen und simulativen Ergebnisse für Glührückstand (525°C), spezifische Schmutzpunkte und Weißgrad entlang der Prozesskette für beide Varianten

12 Erfassung Ist-Zustand in Papierfabriken

Umsetzung

Es wurde 2 kleinere Papierfabriken (KMU) vollumfänglich von Anfang bis Ende der Stoffaufbereitung erprobt. Dabei wurden alle für die optischen Eigenschaften des Fertigstoffes relevanten Prozessstufen (Flotation, Dispergierung, Bleiche, Eindickung/Wäsche) einbezogen. In einer der beiden Papierfabriken wurden zusätzlich zur Standardproduktion 2 weitere Produktionsorten vollumfänglich bewertet. In diesem Werk war es auch möglich, im realen Prozess eine kurzzeitige Variation von Disperger-Energieeintrag und Bleichmittelmenge durchzuführen. Die zur Modellierung notwendigen Prozessdaten (Energieeinträge, Temperaturen, Dosiermengen der Additive, Rejektraten) wurden dokumentiert, werden jedoch aus Gründen des Betriebsgeheimnisses im Bericht nicht explizit genannt.

Papierfabrik A

Der Weißgrad stieg bis zum Fertigstoff deutlich an, bedingt durch die signifikante Reduzierung der großen und kleinen Schmutzpunkte. Der Aschegehalt reduzierte sich vom Altpapiereintrag bis zum Fertigstoff um mehr als 50 % relativ. Zusammen mit dem unvermeidbaren Faserverlust musste die Papierfabrik ca. 20 % Reststoffe entsorgen, bezogen auf den Gesamtaltpapiereinsatz.

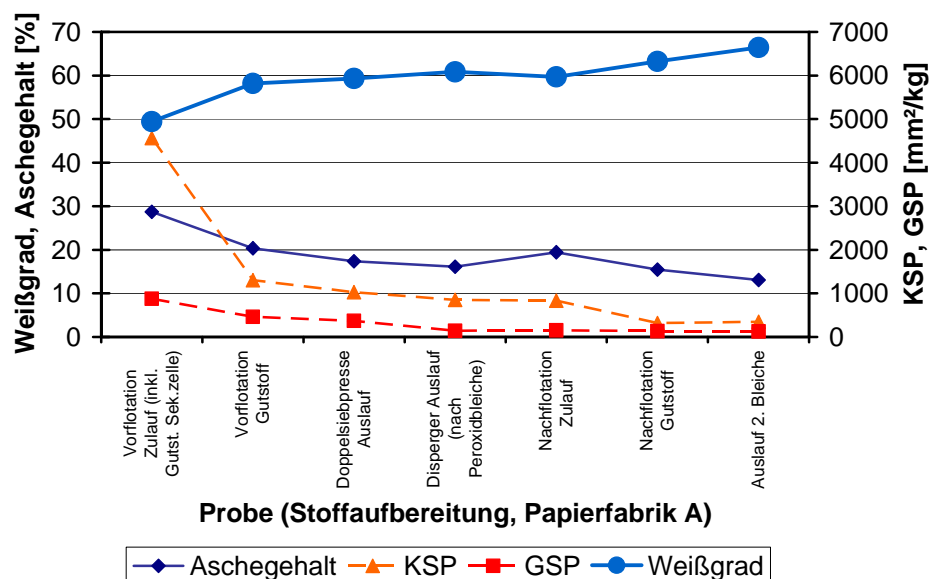


Abbildung 18: Entwicklung für optische Papiereigenschaften relevanter Suspensionskennwerte entlang der Stoffaufbereitung in Papierfabrik A

Papierfabrik B

Im Werk B wird u.a. höherwertiges Altpapier zur Herstellung von Druckpapier mit einem Endweißgrad größer 70 eingesetzt. Auch hier erfolgte in der Flotation eine signifikante Schmutzpunktreduzierung. Die Bleichwirkung war in diesem Werk gering, die Dosiermenge der Bleichadditive und die Verweilzeiten waren niedrig. Die Stoffverdünnung bis zum Stoffauflauf reduzierte den Weißgrad.

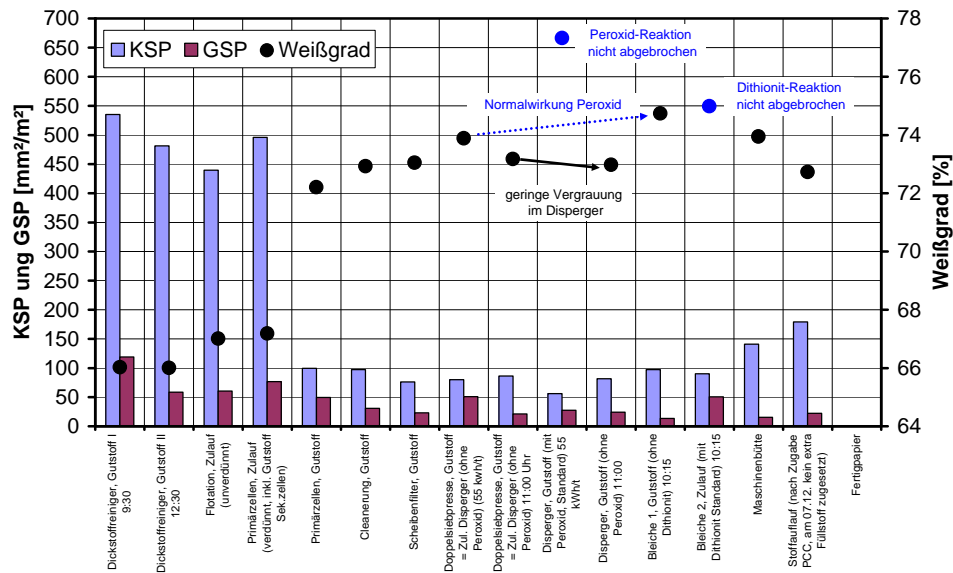


Abbildung 19: Entwicklung für optische Papiereigenschaften relevanter Suspensionskennwerte entlang der Stoffaufbereitung in Papierfabrik B

Bei der Untersuchung von je 100 % gestrichenen (Zeitschriften) und ungestrichenen Altpapieren (Zeitungen) zeigte sich, dass beide Sorten rein quantitativ mit einer vergleichbaren Schmutzpunktmenge beladen waren. Die Schmutzpunktfläche der großen Schmutzpunkte (> 50 µm) lag bei ca. 720 mm²/g und bei den kleinen Schmutzpunkten (< 50 µm) wurden ca. 5.000 mm²/g gemessen. Die Schmutzpunkt-Mittelwerte aus weiteren Deinkinganlagen lagen ebenfalls in dieser Größenordnung. Der Aschegehalt betrug bei 100 % Zeitungen 10 % und bei 100 % Zeitschriften bei ca. 30 %. Diese Ergebnisse liegen in Einklang mit Schlussfolgerungen von Carre [15].

13 Szenarienrechnungen

Ausgangssituation Papierfabrik A Die in der Papierfabrik A eingesetzte Deinkingware setzt sich aus etwa 50% Zeitungen (ONP) und 50% Zeitschriften/Illustrierte (OMG) zusammen. Ziel einer Simulation war es, Konsequenzen einer Erhöhung des Anteils ONP abzuschätzen, wobei alle Prozessparameter konstant gelassen wurden.

Ergebnisse für Papierfabrik A

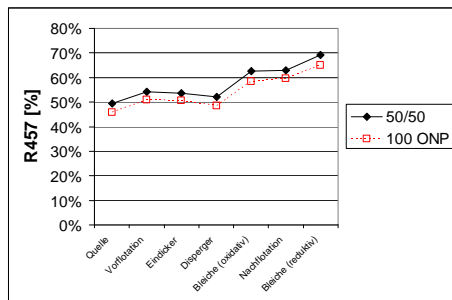


Abbildung 20: Gegenüberstellung der Entwicklung des Weißgrades R457 entlang der Prozesskette

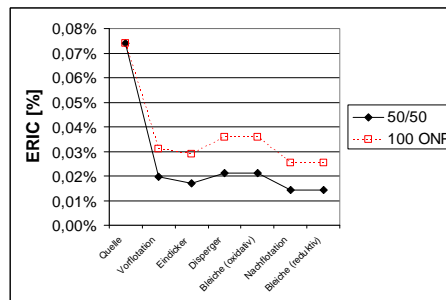


Abbildung 21: Gegenüberstellung der Entwicklung der Farbpigmentmenge ERIC entlang der Prozesskette

Die Simulationsergebnisse lassen folgende Effekte erwarten:

- Der bereits im Rohstoff geringere Weißgrad wird entlang der gesamten Prozesskette nicht kompensiert
- Bei gleicher Schmutzpunktbelastung am Eingang erhöht sich die spezifische Oberfläche im Endprodukt.
- Es verringern sich die Rohstoffverluste.

Diese Prognosen decken sich mit Ergebnissen in [16].

Ausgangssituation Papierfabrik B Im Unterschied zu Papierfabrik A wurde die Deinking-Stufe in Papierfabrik B als 1-Loop-Prozess in der Reihenfolge Flotation(F) - Eindickung(E) - Dispergierung(D) - oxidative Bleiche(Ox) - reduktive Bleiche(Red) ausgelegt. Mittels einer Simulation sollte untersucht werden, ob eine Reihenfolge E-D-Ox-F-Red, d.h. eine Verschiebung der Flotation zwischen die Stufen der oxidativen und reduktiven Bleiche für den Endweißgrad vorteilhaft ist. Auch bei dieser Simulation wurde angenommen, dass die Prozessparameter der einzelnen Stufen konstant bleiben.

Ergebnisse für Papierfabrik B

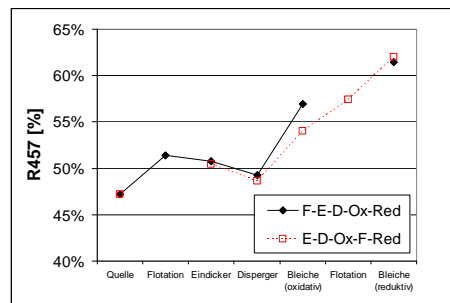


Abbildung 22: Gegenüberstellung der Entwicklung des Weißgrades R457 entlang der Prozesskette

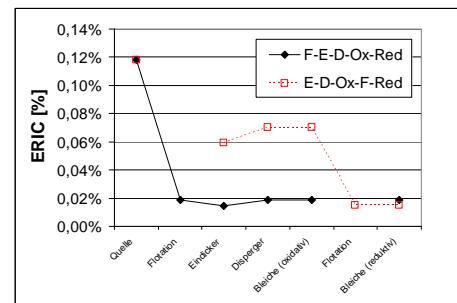


Abbildung 23: Gegenüberstellung der Entwicklung der Farbpigmentmenge ERIC entlang der Prozesskette

Die Simulation der Prozessumstellung in Papierfabrik B ergab

- Es ist eine um ca. 0,5% höhere Endweiße zu erwarten
- Dies ist in erster Linie auf eine Verringerung der Schmutzpunktoberfläche im Endprodukt um 20% zurückzuführen.

Auch dies Ergebnisse decken sich mit Ergebnissen [17], wo beispielsweise für die Sorte 3.05 (Weiße Akten, holzfrei) dasselbe Verhalten beobachtet werden konnte.

Abkürzungen und Bezeichnungen

A_{Ink}	spezifischen Gesamtoberfläche der Farbpigmente
ASH_{525}	Glührückstand bei 525°C
BPP	Basispapierprodukte
C_{Di}	Einsatz Dithionit bei der reduktiven Bleiche (bezogen auf Gesamtfaserstoff)
C_{FAS}	Einsatz Formamidinsulfinsäure bei der reduktiven Bleiche (bezogen auf Gesamtfaserstoff)
C_{Fib}	Masseanteil der Faserbestandteile am Gesamtfaserstoff
C_{Fill}	Masseanteil der anorganischen Bestandteile (ohne Farbpigmente) am Gesamtfaserstoff
$C_{H_2O_2}$	Einsatz Wasserstoffperoxid bei der oxidativen Bleiche (bezogen auf Gesamtfaserstoff)
C_{Ink}	Masseanteil der Farbpigmente am Gesamtfaserstoff (ERIC)
D_{Ink}	Kreis äquivalenter Durchmesser
E	Effizienz der Abtrennung einer Feststoffkomponente
GSP	(Masse-)Anteil der großen Schmutzpunkte an Gesamtfarbpigmenten
ID	Ink Detachment
IF	Free Ink
k_{Fib}	Spezifischer Lichtabsorptionskoeffizient der organischen Bestandteile bei 457 nm
k_{Fill}	Spezifischer Lichtabsorptionskoeffizient der anorganischen Bestandteile bei 457 nm
k_{Ink}	Spezifischer Lichtabsorptionskoeffizient der Farbpigmente bei 457 nm
KSP	(Masse-)Anteil der kleinen Schmutzpunkte an Gesamtfarbpigmenten
LIG	Anteil Lignin bezogen auf den organischen Faserstoffanteil
m_A	spezifische Flächengewicht (otro)
Q	NELSON-Quotient eines Trennprozesses für eine Feststoffkomponente
R_{∞}	Reflexionsfaktor über Stapel bei 457 nm
R_0	Reflexionsfaktor über schwarz bei 457 nm
R_w	Rejektrate bzw. Siebdurchfall (massegewichtet) im Zuge eines Trennprozesses
SDE	Spezifische Dispergierenergie
S_{Fib}	Spezifischer Lichtstreuoeffizient der organischen Bestandteile bei 457 nm
S_{Fill}	Spezifischer Lichtstreuoeffizient der anorganischen Bestandteile bei 457 nm
S_{Ink}	Spezifischer Lichtstreuoeffizient der Farbpigmente bei 457 nm
T	Transparenz

Ansprechpartner für weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Lutz Hamann

Tel. 03529 / 551-657

lutz.hamann@ptspaper.de

Dr. Gert Meinel

Tel. 03529 / 551-630

gert.meinel@ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung PTS

Pirnaer Straße 37

01809 Heidenau

Tel. 03529 / 551-60

Fax 03529 / 551-899

e-Mail: info@ptspaper.de

www.ptspaper.de

Literaturverzeichnis

- 1 LINCK, E., MAYR, H. und SIEWERT, W.H.
Der Vario-Split, eine Maschine zur Verbesserung von AP-Stoffen.
Escher-Wyss Papiertechnik, Ravevensburg 1981
- 2 BÜRGER, G.
Abtrennung von Fein- und Füllstoffen bei der Herstellung von LWC-Papiere.
Das Papier, Nr. 5/1993
- 3 RHEINHOLDT, B.
Auswahl und Optimierung von Bleichverfahren für Sekundärfaserstoffe unter besonderer Berücksichtigung ihrer Integration in Stoffaufbereitungssysteme .
Dissertation, Universität Hamburg, Fachbereich Biologie Hamburg 2003
- 4 HÖKE, U. und SCHABEL, S.
Papermaking Science and Technology - Recycled Fiber and Deinking.
Paper Engineers Association, Finland 2010
- 5 MAGNIN-SERIEYS, L.
Bleaching of Deinked Pulp.
9th Advanced Training Course Deining, Centre Technique du Papier, Grenoble 2009
- 6 GEHR, V. und BORSCHKE, D.
Bleiche als integrierter Systembaustein moderner Deinkinganlagen.
Wochenblatt für Papierfabrikation, Nr. 21/1996, S. 929-935
- 7 LEDUC, C., ETC.
Bleaching of Deinked Pulp – Efficiency and Limitation.
Progress in paper Recycling, No. 19, 2010
- 8 ERHARD, K. und LEONHARDT, W.
Verbesserung der Deinstoffqualität aus Büroaltpapieren durch Maßnahmen zur Entfernung von Wasser basierenden Inkjet-Druckfarben aus Stoffauspension und Kreislaufwasser.
PTS-Forschungsbericht, München, 2004
- 9 STRAUSS, J.
Optimierung der Rezyklierbarkeit von Massegefärbten Druckpapieren
PTS-Abschlussbericht, München, 2005
- 10 PAULER N.:
Optische Eigenschaften von Papier.
AB Lorentzen & Wettre, Kista, 1998.
- 11 JORDAN B., O'NEILL M.:
The Kubelka-Munk Absorption Coefficients of Several Carbon Blacks and Water-based Printing Inks.
J. Pulp Paper Sc., Nr.12/1994.
- 12 N.N.:
Altpapier – Liste der europäischen (CEPI/B.I.R.) Standardsorten und ihre Qualitäten (Juli 2000)
- 13 SAIN ARMAND J.F., PERRIN B., BERNARD E.:
Modellierung und Dimensionierung von Cleanern – Eine vergleichende Untersuchung zur Abscheidung von Schmutzpunkten aus deinktem Altpapierstoff.
Wochenblatt für Papierfabrikation, Nr. 8/1992, 295-302

- 14 MEINL G.:
Gezielte Einstellung der Mahlungsbedingungen in der Gemischtmahlung von Zellstoffen durch ein Simulationswerkzeug.
http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/IW_070061.pdf
- 15 CARRE, B.:
Deinking of Wood containing recovered papers.
10th Advanced training Course on deinking Technology, Grenoble 2011
- 16 CARRE B.:
Deinking of Wood Containing Recovered Papers.
9th CTP/PTS Advanced Training Course on Deinking Technology, Grenoble, 3.-5.6.2009.
- 17 BLASIUS, K.:
Faserstoffspezifische Steuerung der Flächenmasse weißer Decklagen von Testlinern zur Reduzierung der Faserstoffkosten.
PTS-Forschungsbericht, IW 073007, Heidenau 2009.