

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 18288 N

Thema

Synergistische und antagonistische Effekte beim Deinken von Altpapiermischungen

Berichtszeitraum

01.07.2014 bis 30.06.2017

Forschungsvereinigung

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

Forschungsstelle(n)

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik

Darmstadt, 27.10.2017

Ort, Datum

S. Runte, Hans-J. Putz
S. Runte, Dr. H.-J. Putz

Name und Unterschrift aller Projektleiter der Forschungsstelle(n)

Zusammenfassung

Altpapier war 2016 mit 75 % der wichtigste Faserrohstoff der deutschen Papierindustrie. Für die Herstellung grafischer Papiere kommen bisher aufgrund optischer Qualitätsanforderungen nur Altpapiersorten in Frage, die aus grafischen Papieren bestehen. Dabei wird überwiegend die Altpapiersorte 1.11.00 eingesetzt. Bei dem zu verarbeitenden Rohstoff handelt es sich stets um eine Altpapiermischung in der auch Papierprodukte enthalten sein können, die als schwer oder nicht deinkbar eingestuft werden. In den letzten Jahren hat sich die Medienlandschaft drastisch verändert. Auffällig ist, dass besonders Druckprodukte basierend auf Inkjet zunehmen. Bisher liegen aus verschiedenen Projekten zur Deinkbarkeit Erfahrungen über das Deinkingverhalten von Druckerzeugnissen vor. Diese Erkenntnisse beziehen sich aber im Wesentlichen auf das Deinkingverhalten einzelner Druckprodukte unter Standardbedingungen, d. h. deinken eines zuvor beschleunigt gealterten Druckerzeugnisses nach INGEDE-Methode 11.

Ziel dieses Projektes ist neben der Untersuchung und Bewertung einzelner Druckprodukte bezüglich ihrer Deinkbarkeit auch die Erfassung des Einflusses verschiedener Alterungsarten und -zeiträumen. Des Weiteren wird das Deinkingverhalten in einer Altpapiermischung unter Zumischung von digitalen Druckprodukten untersucht und modelliert. Neben der Deinkbarkeit im einstufigen Deinkingprozess wurde für das Deinken der Druckprodukte und der Mischungen am PMV eine 2-Loop Methode entwickelt, die neben einer Dispergierstufe eine zweite Flotationsstufen aufweist.

Im Vergleich zwischen dem 1- und 2-stufigen Deinkingprozess im Labormaßstab wird gezeigt, dass der Endweißgrad der Offset-Coldset Zeitungen nach dem Deinken mittels der 2-Loop Methode leicht niedriger ist als nach dem einstufigen Prozess. Zum einen wird beim entwickelten Standard-2-Loop Prozess im Vergleich zum einstufigen Prozess mit einer verkürzten Flotationszeit in der ersten Flotationsstufe gearbeitet. Des Weiteren wird durch die Dispergierung ohne zusätzliche Bleichstufe der Weißgrad in dem Maße gesenkt, wie er durch die 2. Flotation wieder angehoben werden kann. Bei den weiteren untersuchten klassischen Druckprodukten liegt der Weißgrad nach dem Deinken mittels der 2-Loop Methode auf einem leicht höheren Niveau.

Der Indigo Testdruck besitzt insgesamt schon ein hohes Weißgrad und wird durch die Flotation mit beiden Methoden nur noch leicht gesteigert. Beim Trockentoner wird wie bei der Zeitung durch die Dispergierung der Weißgrad gesenkt und durch die 2. Flotation wieder angehoben. Der Endweißgrad liegt auf gleichem Niveau wie beim Deinken im einstufigen Deinkingprozess.

Bei einem der untersuchten pigmentbasierten Inkjet Testdruck, der bereits im einstufigen Flotationsversuch ein unüblich gutes Deinkingergebnis lieferte, wird ein deutlich höherer Endweißgrad durch das Deinken nach der 2-Loop Methode erreicht, da bei diesem Druckprodukt u. a. der Weißgrad durch die Dispergierung nicht beeinträchtigt wird. Bei einem weiteren pigmentbasierten Inkjet Testdruck wird der Weißgrad nur leicht gesteigert. Nach der 2-Loop Methode wird dieser zwar um weitere

zwei Punkte angehoben, jedoch verdoppelt sich dadurch auch die an sich schon schlechte Filtratverdunkelung.

Wie zu erwarten werden durch die Dispergierung und anschließende 2. Flotation bei der 2-Loop Methode die Schmutzpunkte im Vergleich zum einstufigen Prozess stärker reduziert. Dies wird vor allem bei Zeitungen und beim Indigo Testdruck deutlich. Dennoch liegen die Schmutzpunkte des Indigo Testdrucks im Vergleich zu den anderen deinkten Druckerzeugnissen auf einem höheren Niveau. Durch das Deinken wird nach beiden Methoden tendenziell gleich viel Asche ausgetragen. Lediglich beim Trockentoner Testdruck wird bei der 2-Loop Methode besonders durch die 2. Flotation um ca. 10 % mehr Asche ausgetragen.

Zur Ermittlung des Einflusses unterschiedlicher Alterungsvariationen in Abhängigkeit von der Alterungsdauer wurden die Deinkinguntersuchungen im 1- und 2-stufigen Prozess an einer Offset-Coldset Zeitung und verschiedenen digitalen Druckprodukten durchgeführt. Es zeigt sich deutlich, dass die beschleunigte Alterung für drei und sechs Tage im Trockenschrank bei 60 °C den erwarteten Einfluss auf die Weißgradentwicklung beim Deinken der Offset-Coldset Zeitung hat. Zum einen stellt sich ein geringerer Weißgrad des undeinkten Faserstoffs ein und des Weiteren wird die Weißgradsteigerung durch die Flotation reduziert. Dahingegen hat die Lagerung der Offset-Coldset Zeitung bei Normklima und im Kühlraum keinen signifikanten Einfluss auf die Weißgradentwicklung. Die Untersuchungen zur Alterung von Indigo, Trockentoner und Inkjet Testdruck zeigen, dass die Lagerart und -dauer keinen Einfluss auf das Deinkingergebnis haben. Wobei beim Trockentoner Testdruck die Lagerung im Vergleich zur ungealterten Probe einen positiven Einfluss auf das Deinkingergebnis zu haben scheint. Bei allen Versuchen zum Einfluss der Alterung zeigt sich, dass durch das Deinken im 1- und 2-stufigen Deinkingprozess die gleichen Trends erzielt werden.

Zur Bewertung der Deinkbarkeit von Altpapiermischungen wurde zunächst eine Mischung aus verschiedenen klassischen Druckprodukten zusammengestellt und untersucht. Dieser Mischung wurden verschiedene Anteile an Inkjet- und Indigo Testdruck hinzugefügt und die Deinkbarkeit im einstufigen Prozess sowie anhand der 2-Loop Methode untersucht. Für beide Methoden zeigt sich für alle Altpapiermischungen der gleiche Trend, wobei die optischen Eigenschaften tendenziell nach der 2-Loop Methode besser sind. Dabei wird der Weißgrad der Mischungen durch die Dispergierung reduziert und durch die 2. Flotation auf ein höheres Niveau als nach dem einstufigen Deinkingprozess gehoben. Durch die Zugabe von Inkjet Testdruck zur Referenzmischung sinkt der Weißgrad leicht und die Schmutzpunktfläche wird reduziert. Durch die Zugabe von Indigo Testdruck wird wie zu erwarten der Weißgrad der Mischung gesteigert und vor allem die Schmutzpunktfläche gesteigert. Das Deinken nach der 2-Loop Methode führt durch die Dispergierung und die nachfolgende Flotation zu signifikant weniger Schmutzpunkten im fertigen Faserstoff.

In diesem Projekt wird gezeigt, dass die Streu- und Absorptionskoeffizienten, die Farborte sowie die CIE-Weiße der Altpapiermischungen aus den Werten der Einzelprodukte modelliert werden können.

Abschließend wurden verschiedene Optimierungsversuche für die 2-Loop Methode durchgeführt. Durch das Integrieren und Nachschalten von Bleichstufen, wie sie in der Industrie üblich sind, konnten die optischen Eigenschaften am Beispiel von zwei Altpapiermischungen verbessert werden. Des Weiteren wird am Beispiel von Zeitungen und Indigo Testdruck gezeigt, dass das vor der Dispergierung bei der Entwässerung anfallende Eindickfiltrat, welches zum Herauswaschen und Verdünnen des dispergierten Faserstoffs für die 2. Flotation eingesetzt wird, keinen signifikanten Einfluss auf die optischen Eigenschaften hat.

Mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurde abgestimmt, dass innerhalb dieses Projektes keine Zielwerte für ein mögliches Bewertungsschema vorgeschlagen werden. Die zu untersuchenden Parameter sowie die Ziel- und Schwellenwerte sollen in Kooperation mit verschiedenen Vertretern aus der Papierindustrie und weiteren Forschungseinrichtungen ermittelt und anschließend dem European Paper Recycling Council (EPRC) vorgelegt werden.

Inhalt

Zusammenfassung	II
Inhalt.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	1
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Stand der bisherigen Forschung zum Deinken	4
1.2.1 Deinkbarkeit von Offset und Tiefdruck Druckerzeugnissen	5
1.2.2 Deinkbarkeit von Flexo Druckerzeugnissen.....	6
1.2.3 Deinkbarkeit von Inkjet Druckerzeugnissen	9
1.2.4 Deinkbarkeit von Toner Druckerzeugnissen	10
1.2.5 Zusammenfassung Deinkbarkeit von Einzelprodukten	13
2 Forschungsziel / Lösungsweg	14
2.1 Forschungsziel.....	14
2.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse	14
2.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse.....	15
2.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	15
2.2.1 Entwicklung eines 2-stufigen Aufbereitungsprozesses im Labormaßstab (Arbeitspaket 1)	16
2.2.2 Deinkingverhalten einzelner Druckobjekte (Arbeitspaket 2 + 3)	18
2.2.3 Untersuchung und Modellierung des Deinkingverhaltens von Altpapiermischungen (Arbeitspaket 4)	19
2.2.4 Ausarbeitung eines Bewertungsschemas (Arbeitspaket 5).....	19
2.2.5 Optimierung der Aufbereitung (Arbeitspaket 6).....	20
2.2.6 Bleiche	20
2.2.7 Personaleinsatz	21
3 Material und Methodik	22
3.1 Auswahl der Rohstoffe	22
3.1.1 Industriestoffproben	22
3.1.2 Druckprodukte	22
3.1.3 Flotationschemikalien	25
3.1.4 Bleichchemikalien	25
3.2 Versuchsdurchführung	25
3.2.1 1-Loop Methode.....	25

3.2.2 2-Loop Methode.....	26
3.2.3 Alterung	28
3.2.4 Entwässerung mittels Durchlaufzentrifuge bzw. Wäscheschleuder.....	28
3.2.5 Dispergierung	29
3.2.6 Flotation.....	29
3.2.7 Altpapiermischungen	29
3.2.8 Verwendete Normen.....	30
4 Ergebnisse und Diskussion	31
4.1 Entwicklung eines 2-stufigen Aufbereitungsprozesses im Labormaßstab.....	31
4.2 Deinkingverhalten einzelner Druckobjekte ohne Alterung.....	35
4.3 Einfluss der Alterung auf Deinkbarkeit	42
4.3.1 Alterungseinfluss beim Deinken nach INGEDE-Methode 11	42
4.3.2 Alterungseinfluss beim Deinken nach der 2-Loop Methode.....	46
4.4 Untersuchung des Deinkingverhaltens von Altpapiermischungen	53
4.4.1 Deinking der Einzelprodukte für die Modellierung von Altpapiermischungen	53
4.4.2 Deinking von Altpapiermischungen.....	54
4.4.3 Modellierung des Deinkingverhaltens von Altpapiermischungen	60
4.5 Optimierung der 2-Loop Methode	66
4.5.1 Substitution des Eindickfiltrats durch Frischwasser	66
4.5.2 Bleichversuche	69
4.5.3 Variation der Flotationsbedingungen	70
4.5.4 Optimierung der Zerfaserung.....	71
4.5.5 Optimierung der Dispergierung.....	71
4.6 Parameterauswahl für ein Bewertungsschema.....	71
5 Bedeutung der Forschungsergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen (KMU).....	74
5.1 Voraussichtlicher Nutzen der angestrebten Forschungsergebnisse	74
5.2 Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit.....	74
5.3 Aussagen zur voraussichtlichen Umsetzung der FuE-Ergebnisse	75
6 Ergebnistransfer	76
7 Danksagung	77
8 Literaturverzeichnis	78

Abkürzungsverzeichnis

a*	Farbort auf der rot – grün-Achse
AP	Arbeitspaket
AZP	aufgebessertes Zeitungsdruckpapier
b*	Farbort auf der gelb – blau-Achse
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow, Schwarz
DIP	Deinkingstoff
DP	deinkter Faserstoff
EF	Eindickfiltrat
EPRC	European Paper Recycling Council
FW	Frischwasser
gestr.	gestrichen
H'fr.	holzfrei
HLB-Wert	Hydophobic-lipophilic balance
HW	Handelsware
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
IE	Ink Elimination
INGEDE	International Association of the Deinking Industry
K	spez. Absorptionskoeffizient
k. A.	keine Angabe
k. M.	keine Messung
L*	Helligkeit
LWC	Light weight coated (leicht gestrichen)
M	Mischung
m _A	flächenbezogene Masse
MW	Mittelwert
MW-m.B.	Firmemittelwert mit Bleiche
MW-o.B.	Firmemittelwert ohne Bleiche
NaOH	Natriumhydroxid
Na ₂ SiO ₃	Wasserglas
Na ₂ S ₂ O ₄	Natriumdithionit
PMV	Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik
r. L.	relative Luftfeuchte
R	Reflexionsfaktor
S	spez. Streukoeffizient
SC	Super calendered (kalandriert)
SD	Stoffdichte
s/w	schwarz/weiß
ungestr.	ungestrichen
UP	undeinkter Faserstoff
Y	Hellbezugswert
ZDP	Zeitungsdruckpapier

1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

1.1 Ausgangssituation

Altpapier war 2016 mit 75 % der wichtigste Faserrohstoff der deutschen Papierindustrie [1]. Die Papierhersteller kaufen von Altpapierhändlern Altpapier ein, das zuvor gesammelt und aus dem in einer Trockensortierung unterschiedliche Altpapiersorten generiert wurden. Rund 76 % aller eingesetzten Altpapiersorten stammen aus der Kategorie der unteren Altpapiersorten. Für die Herstellung grafischer Papiere und Hygienepapiere kommen bisher aufgrund optischer Qualitätsanforderungen nur solche Altpapiersorten in Frage, die ausschließlich aus grafischen Papieren bestehen. Dabei wird überwiegend die Altpapiersorte 1.11.00 (Deinkingware) eingesetzt, deren Einsatzmenge 2016 bei ca. 3,14 Mio. t lag. Deinkingware wird durch Erfassung von Altpapier aus privaten Haushalten mit anschließender Negativsortierung, d. h. Entfernung nicht deinkbarer Altpapierbestandteile (Wellpappen, Kartonagen, gefärbte Papiere, etc.), generiert. Bei dem zu verarbeitenden Rohstoff handelt es sich stets um eine Altpapiermischung in der auch Papierprodukte enthalten sind, die als schwer oder nicht deinkbar eingestuft werden können, wie zum Beispiel Flexodruck, Inkjetdruck, Flüssigtonerdruck oder UV-Druckerzeugnisse.

In der Vergangenheit war der Anteil an schwer deinkbaren grafischen Papieren im Altpapier niedrig, da die Papiermenge, welche mit schwer zu deinkenden Drucktechniken erzeugt wurde, gering war. In den letzten Jahren hat sich aber im Zuge der Digitalisierung die Medienlandschaft drastisch verändert. Die Medien sind gerade bezüglich Informationsvermittlung und Werbung immer schnelllebiger, aktueller, ansprechender und personalisierter geworden. So erhalten beispielsweise Nutzer im Internet bei Amazon anhand ihrer letzten Einkäufe Empfehlungen für zukünftige Einkäufe. Aber auch bei den klassischen Printmedien wie Zeitungen und Illustrierten sind diese Veränderungen zu sehen. So sind bereits an Flughäfen aktuelle Tageszeitungen aus aller Welt verfügbar oder es können via Internet persönliche Fotoalben zusammengestellt und auf Knopfdruck bestellt werden. Da gerade die Schnelllebigkeit und Personalisierung bei den klassischen Medien kleine Auflagen und sehr flexible Druckprozesse erfordern, wachsen die Märkte für digitale Druckprozesse wie Inkjet- und Tonerdruck, denn diese Druckprozesse bewältigen den Spagat zwischen Kleinauflagen und Rentabilität und besitzen mittlerweile auch eine gute Druckqualität [2, 3, 4]. Auffällig ist, dass besonders Drucklösungen basierend auf Inkjet zunehmen. Solche Lösungen wurden bereits auf der Drupa Messe 2008 von Herstellern wie Hewlett Packard, Océ oder Kodak vorgestellt [5]. Im Gegensatz dazu nehmen die Anteile an Offset- und Tiefdruckprodukten am Printmarkt ab, wie in **Abbildung 1** zu sehen ist. Die mengenmäßige Auflage dieser klassischen Druckprodukte ist zwar momentan immer noch etwa siebenmal so hoch wie die von Digitaldruck, dieser Auflagenunterschied wird sich aber verändern. Es wird erwartet, dass 2020 die Auflage von Offset- und Tiefdruckerzeugnissen laut einer Prognose von Paul und Maess [3] nur noch etwa dreimal so hoch sein wird.

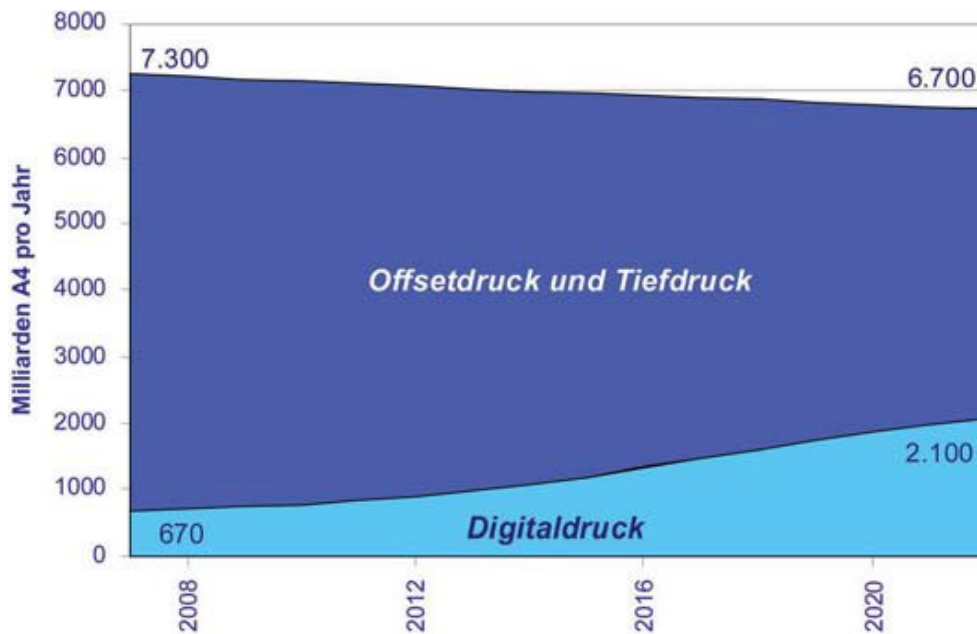


Abbildung 1: Entwicklung des Druckvolumens von Offset-, Tief- und Digitaldruck für Nordamerika und Westeuropa [3]

Zusätzlich zur Veränderung in der Medienlandschaft beeinflusst ein zunehmendes Risikobewusstsein in der Gesellschaft für negative Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen durch Bestandteile von Druckfarben diese Entwicklungen. So sind z. B. mineralöhlhaltige Offsetdruckfarben, die beispielsweise im Zeitungdruck verwendet werden, in Medien und Politik in den Fokus geraten. Diese Druckfarben enthalten Substanzen, die unter dem Verdacht stehen, dass sie kanzerogen wirken. Wasserbasierte Druckfarben wie wasserbasierte Flexodruckfarben hingegen enthalten keine solchen Substanzen und gelten daher als gesundheitlich bedenkenlos. Wasserbasierter Flexodruck würde rein unter dem Gesundheitsaspekt betrachtet im Zeitungdruck die bessere Alternative zum Offset darstellen, da mittlerweile auch das im Flexodruck erreichbare Druckbild für Zeitungdruck adäquat ist. Allerdings ist das Problem von wasserbasiertem Flexodruck die außerordentlich schlechte Deinkbarkeit, weswegen unter ökologischen Gesichtspunkten Flexodruck derzeit keine Alternative im Zeitungdruck darstellt. Mit der heutigen Deinkingtechnik sind mit Flexo bedruckte Zeitungen nicht deinkbar, würden demnach Zeitungen nur noch im wasserbasierten Flexodruck bedruckt werden, wären Zeitungen nicht mehr für die Herstellung neuer grafischer Papiere einsetzbar.

Aber auch bei der Altpapierzusammensetzung in der Deinkingware sind deutliche Veränderungen zu sehen, wie in **Abbildung 2** zu erkennen ist. Während der Anteil an Zeitungen im Altpapier 2008 nahezu genauso groß war wie 1996, stieg der Anteil an Illustrierten von 1996 bis 2008 um etwa 8 %-Punkte. Der Anteil an Katalogen hat sich hingegen halbiert [6, 7].

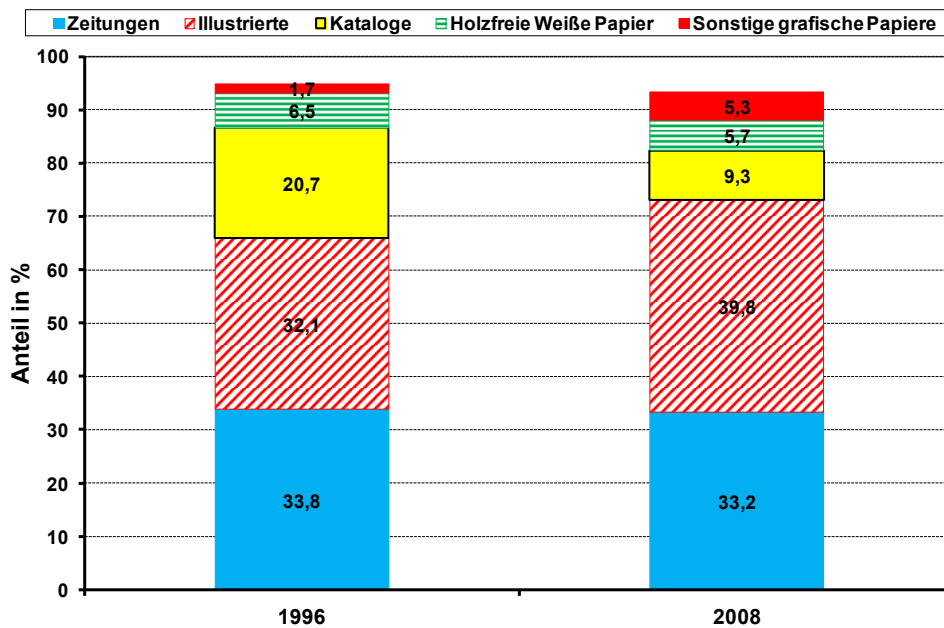


Abbildung 2: Zusammensetzung der grafischen Altpapiere in der Deinkingware [6]

Aus einem öffentlich geförderten BMBF-Projekt ist bekannt, dass nicht nur das applizierte Druckverfahren, sondern auch das eingesetzte Druckpapier einen Einfluss auf die beim Deinking erzielbare Faserstoffqualität haben kann [8]. Hier könnte die trockene Altpapiersortierung eingreifen, denn die Trennung in den Sortieranlagen wird auf Grund von genauerer und schnellerer Sensorik immer spezifischer und besser. Bei der Trockensortierung könnten somit Altpapiersorten generiert werden, mit denen besonders gute Deinkingstoffqualitäten erzielbar sind.

Bisher liegen aus den Arbeiten für die Internationale Forschungsgemeinschaft Deinking-Technik (INGEDE) bzw. dem öffentlich geförderten BMBF-Forschungsprojekt [9] zur Deinkbarkeit von Offsetdruck hinreichend Erfahrungen über das Deinkingverhalten von Druckerzeugnissen (z. B. Offsetzeitungen, Offset- und Tiefdruck-SC- bzw. -LWC-Druckerzeugnisse, Toner- oder Inkjetdrucke auf holzfreien Kopierpapieren) vor. Diese Erkenntnisse beziehen sich aber im Wesentlichen auf das Deinkingverhalten einzelner Druckprodukte unter Standardbedingungen, d. h. Deinken eines zuvor beschleunigt gealterten Druckerzeugnisses mit vorgegebener Chemikalienrezeptur nach INGEDE-Methode 11.

Im Umkehrschluss bedeutet das, dass die Vorgänge der Druckfarbentfernung in industriellen Deinkinganlagen, die ausnahmslos Altpapiermischungen aus unterschiedlichen Druckverfahren und Papierqualitäten verarbeiten, bisher nur unzureichend beschrieben werden können. Dies gilt grundsätzlich auch für Altpapiermischungen aus klassischen Offset- und Tiefdruckerzeugnissen, da diese in immer weiter gefächerten Mischungsverhältnissen an Zeitungen und Illustrierten auf SC- und LWC-Papieren vorliegen, die sich wechselseitig in ihrem Deinkingverhalten beeinflussen. Tendenziell ist bekannt, dass sich mit der Zumischung von Illustrierten zu Zeitungen das Deinkingergebnis hinsichtlich der optischen Eigenschaften von Deinkingstoff (DIP) verbessert. Ob dies allerdings immer lineare Zusammenhänge sind, die möglicherweise auch noch vom Druckverfahren bzw. der Papiersorte der

Illustrierten abhängen, und ob dies auch für illustrierten ähnliche Werbedrucksachen gilt, ist nicht bekannt. Insbesondere Werbedrucksachen, die meist vollflächig bedruckt sind und damit einen höheren Druckfarbeneintrag liefern als klassische Zeitungen oder Illustrierte, nehmen in der Deinkingware, der wichtigsten Altpapiersorte für Deinkinganwendungen (Sorte 1.11), ständig zu und verschieben dadurch zusätzlich das Verhältnis zwischen Faser- und Feinstoffmaterial (organische Stoffe), anorganischen Stoffen in Form von Füllstoffen und Pigmenten sowie den Druckfarben. Außerdem liegen keine Informationen über das Optimierungspotenzial beim Deinken entsprechender Mischungen vor. So könnten andere Chemikalienrezepturen zu besseren optischen DIP-Eigenschaften führen oder identische DIP-Qualitäten bei gleichzeitig geringeren Verlusten erzeugt werden.

1.2 Stand der bisherigen Forschung zum Deinken

Die bisher vorliegenden Forschungsergebnisse beziehen sich entweder auf das Deinkingverhalten einzelner Druckerzeugnisse (z. B. Offsetzeitungen) unter Standardbedingungen oder die Optimierung eines gesamten Altpapieraufbereitungsprozesses für einen bestimmten Altpapiereintrag. Hierbei wurden auch vereinzelt unterschiedliche Altpapiermischungen zusammengestellt, die sich meist an der Realität der industriellen Praxis orientierten, ohne allerdings eine systematische Variation des Mischungsverhältnisses der Druckerzeugnisse zu berücksichtigen.

Die Deinkbarkeit von Druckprodukten wird aber nicht nur vom applizierten Druckverfahren und den Druckfarbeneigenschaften beeinflusst, sondern auch durch das eingesetzte Papier. Untersuchungen haben beispielsweise gezeigt, dass sich Druckfarben von gestrichenen Papieren leichter ablösen lassen als von ungestrichenen [8, 10]. Die Frage, wie sich verschiedene Kombinationen aus unterschiedlichen Druckverfahren, Druckfarben und Papieren in einer Altpapiermischung verhalten, wurde bisher nicht systematisch untersucht. Wenn es bereits Einflüsse auf das Deinkingverhalten bei einzelnen Druckprodukten gibt, werden sich auch die verschiedenen Druckprodukte bzw. ihre Bestandteile gegenseitig bei der Druckfarbenablösung und bei der Druckfarbenentfernung beeinflussen.

Folgende Fragen können derzeit z. B. nicht beantwortet werden:

- Wie verhalten sich gut bzw. schlecht deinkbare Zeitungen in einer Mischung?
- Welchen Einfluss haben die prozentualen Zunahmen von digitalen Druckprodukten auf das Deinkingverhalten und die optischen Eigenschaften von Altpapiermischungen?
- Welchen Einfluss hat der Aschegehalt auf die Druckfarbenpartikelzerkleinerung während der Altpapierzerfaserung?

Diese Fragen bekommen aber im Hinblick auf steigende DIP-Qualitätsanforderungen und komplexere Altpapiermischungen, die immer mehr unterschiedliche Druckverfahren und Papiersorten enthalten, eine zentrale Bedeutung.

Neben den Rohstoffeigenschaften beeinflussen auch Prozessparameter und die Chemikalienrezeptur das Deinkingergebnis. Es ist bekannt, dass bei Offset-, Inkjet-

und Flexodruckprodukten kurze Zerfaserungszeiten für das Deinking besser sind als lange und der HLB-Wert (hydrophobic-lipophilic balance) von Tensiden entscheidend für die Wirkung beim Deinking ist. In der Literatur wird für nicht-ionische Tenside beim Einsatz im Deinking ein HLB-Wert zwischen neun und dreizehn empfohlen [11, 12]. Da Druckfarben verschiedener Druckverfahren und auch verschiedener Druckfarbenhersteller sich in ihrer Zusammensetzung unterscheiden, liegt es nahe, dass die Wirkung von Druckfarbensammlern und Tensiden bei verschiedenen Druckfarbentypen auch unterschiedlich ist.

1.2.1 Deinkbarkeit von Offset und Tiefdruck Druckerzeugnissen

Offset und Tiefdruck sind bisher die Druckverfahren mit dem höchsten Papierbedarf und damit den massenmäßig größten Druckproduktmengen. Aus diesem Grund wurde der industrielle Deinkingprozess auf die Druckfarbenentfernung von Offset- und Tiefdruckdruckfarben hin optimiert. Druckprodukte, die mit einem der beiden Druckverfahren bedruckt sind, bestehen in der Regel ein einstufiges Labordeinkingverfahren, das mit dem Deinkability Score des European Paper Recycling Council (EPRC) bewertet wird. Allgemein wird der Offsetdruck als etwas schwieriger deinkbar eingestuft. Die Datenbank der INGEDE zur Einstufung der Deinkbarkeit einzelner Druckprodukte, die im Rahmen des INGEDE Projektes 100 05 „Survey about the Recyclability of Printed Products“ aufgebaut wurde, zeigt, dass etwa 20 % der im Offset bedruckten Produkte den Deinkbarkeits-Test nicht bestehen, während es bei den im Tiefdruck bedruckten Druckprodukten nur etwa 10 % sind. [9, 13, 14].

Probleme beim Offsetdruck macht vor allem die Alterung der Druckfarbe. Hierbei werden durch oxidative Prozesse die Druckfarben stärker an die Fasern gebunden und lassen sich dadurch schlechter wieder ablösen. Beim anschließenden Deinking führt dies zu geringeren Helligkeitswerten und höheren Schmutzpunktflächen [8-10].

Offset und Tiefdruck Druckprodukte benötigen für ein gutes Deinkingergebnis ein alkalisches Milieu. Gerade bei Offsetdrucken unterstützt die Natronlauge die Ablösung der Druckfarben von den Fasern, ohne eine zu starke Fragmentierung der Farbpartikel hervorzurufen. Eine Verschiebung des pH-Werts in Richtung neutral verursacht eine schlechtere Druckfarbenablösung, was das Flotationsergebnis verschlechtert. Dies wird besonders in der Helligkeit des Faserstoffs bemerkbar, denn diese kann dann durch eine Flotation weniger stark gesteigert werden [8, 10, 15, 16, 17].

Neben den Bedingungen während des Deinking-Prozesses kann auch die Papierqualität die Deinkbarkeit der Einzelprodukte beeinflussen. Dies gilt sowohl für Tiefdruck als auch für Offsetdruck. Beispielsweise ist die Deinkbarkeit von Offset-Zeitungen deutlich schlechter als die von gestrichenen Offset-Illustrierten, wie die Untersuchungen des BMBF Projektes 01 RI 05162-66 „Verbesserung der Deinkbarkeit von Druckerzeugnissen durch Industriezweig übergreifende Strategien für ein nachhaltiges Altpapier-Recycling“ und des INGEDE Projektes 100 05 belegen [9, 14]. Aber auch im Offset oder Tiefdruck bedruckte SC-Papiere lassen sich schlechter deinken als im Offset oder Tiefdruck bedruckte LWC-Papiere [8, 9, 13, 18]. Und nicht nur die Papierqualität, sondern auch die Papierzusammensetzung spielt

eine Rolle bezüglich der Deinkbarkeit, wie Untersuchungen von Putz zur Deinkbarkeit von Offsetdruckerzeugnissen zeigen. Altpapierhaltige offsetbedruckte Papiere lassen sich besser deinken als altpapierfreie Papiere [8, 9].

Die meisten Untersuchungen zu Offset- und Tiefdruckprodukten wurden bisher nur an Einzelprodukten durchgeführt, weil für einen dauerhaft funktionierenden Recyclingkreislauf jedes Druckprodukt per se deinkbar sein muss. Diesen Ansatz verfolgt die INGEDE, weshalb sie bewusst in der Regel nur Einzelprodukte untersucht. Allerdings werden in Stoffaufbereitungsanlagen von Papierfabriken immer nur Altpapiermischungen behandelt. Das Ideal, dass nur eine Art von Druckprodukten in der Industrie deinkt wird, ist in der Praxis nicht realisierbar. Für den Betrieb einer Deinkinganlage wäre es somit wichtig, Kenntnisse über das Deinkingverhalten von Altpapiermischung zu haben. Grundsätzlich ist bekannt, dass eine Mischung aus Zeitungen und Illustrierten, die im Offset bzw. Tiefdruck bedruckt sind, deinkbar ist. Wie unterschiedliche Papierqualitäten und Druckfarben das Deinkingverhalten einer Mischung beeinflussen, ist allerdings bisher noch nicht systematisch untersucht worden.

1.2.2 Deinkbarkeit von Flexo Druckerzeugnissen

Schon Anfang der 1990er Jahre wurden viele Untersuchungen mit wasserbasierten Flexozeitungen durchgeführt, aber ein wirklicher Durchbruch, um Flexozeitungen mit Offsetzeitungen in der Mischung zu deinken, wurde nicht erreicht. Das Druckverfahren hat unter gesundheitlichen und produktionstechnischen Gesichtspunkten klare Vorteile gegenüber dem Offsetdruckverfahren, da die Flexodruckfarben wasserlöslich sind und keine leicht und mittelschwerflüchtige organischen Verbindungen enthalten. Bezüglich der Druckqualität und der Deinkbarkeit hat aber der Flexodruck gegenüber dem Offsetdruck Nachteile, wobei die Nachteile in der Druckqualität im Zeitungsdruck nur noch gering und fast vernachlässigbar sind. Der Nachteil im Deinking ist aber immer noch unverändert gegeben. Der bei der Reinigung der Druckmaschinen bestehende Vorteil, dass die Flexodruckfarben wasserlöslich sind, ist gerade beim Deinking ein gravierender Nachteil. Da die Deinkbarkeit tendenziell vergleichbar mit der von pigmentbasiertem Inkjetdruck ist, wird an dieser Stelle die Deinkbarkeit von Flexo Druckerzeugnissen weiter ausgeführt, auch wenn diese in diesem Projekt nicht mit untersucht werden. Bei der Zerkleinerung flexobedruckter Zeitung zerfallen die Flexodruckfarben im alkalischen Milieu in sehr kleine Farbpartikel, die anschließend mittels Flotation nicht aus der Suspension entfernbar sind, wie in **Abbildung 3** deutlich anhand des geringen Weißgrads, insbesondere unter den üblichen alkalischen Prozessbedingungen zu sehen ist.

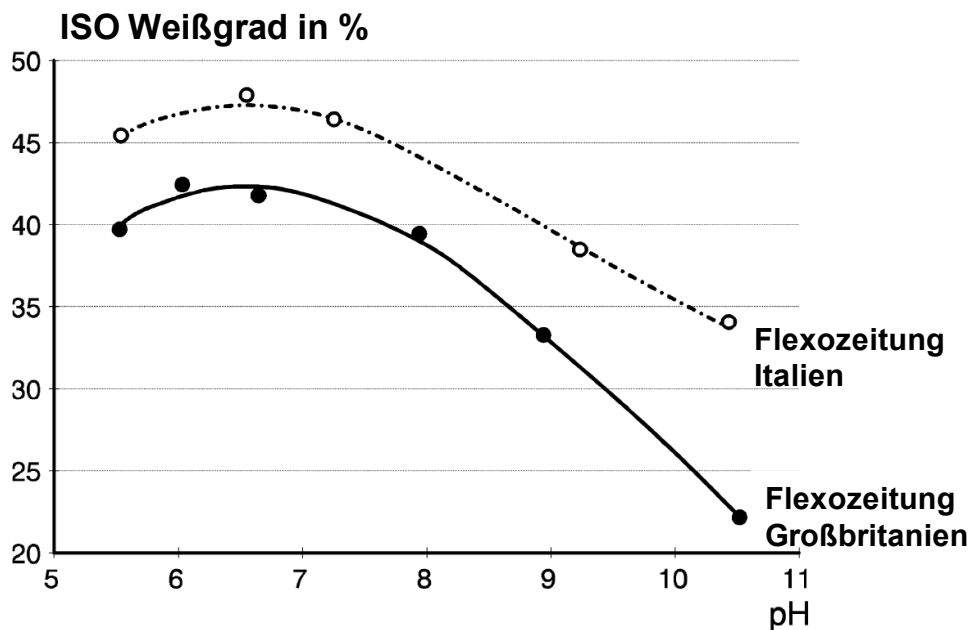


Abbildung 3: Weißgrad des deinkten Faserstoffs von Flexozeitungen in Abhängigkeit des pH-Wertes während der Flotation [19]

Der verstärkte Zerfall der Flexodruckfarben bei alkalischen Bedingungen liegt am Bindersystem, welches auf Akrylsäure basiert und sich bei alkalischen pH-Werten löst. Die Farbpartikel sind nach einer alkalischen Zerfaserung zu über 90 % kleiner als 10 µm [12, 15, 20, 21, 22, 23, 24, 25]. Begründet wird die schlechte Flotierbarkeit mit der geringen Kollisionswahrscheinlichkeit zwischen Luftblase und Farbpartikel auf Grund der geringen Druckfarbenpartikelgröße sowie mit der schlechten Anlagerungsneigung der Farbpartikel an Luftblasen, da die Partikel einen hydrophilen Oberflächencharakter besitzen [21, 23, 25, 26]. Viele Druckfarbenpartikel bleiben nach der Deinkingflotation im Faserstoff aber auch im Prozesswasser zurück. Dies drückt sich bei der Bewertung bezüglich der Deinkbarkeit von Flexo bedruckten Zeitungen in einer geringen Ink Elimination (IE), einer geringen Helligkeit der deinkten Faserstoffe und einer hohen Verdunkelung der Filtrats aus [14]. Es wird beschrieben, dass Calciumseife ungeeignet ist, um Flexodruckfarben aus Fasersuspensionen zu flotieren [12, 26]. Allerdings zeigen ebenfalls Untersuchungen, dass Standarddeinkingchemikalien reine Flexodruckfarbenpartikel, die in Wasser fein verteilt vorliegen, gut flotieren [26]. Die Fasern verhindern also ein effektives Sammeln und Flotieren mittels Standarddeinkingchemikalien [25, 26].

Das Deinkingverhalten wird aber auch von den im Prozesswasser enthaltenen Calcium-Ionen beeinflusst [20, 21]. Verschiedenen Untersuchungen zeigen, dass sich mit zunehmender Wasserhärte die Deinkbarkeit von Flexodruckfarben verschlechtert. Die abgelösten Farbpartikel scheinen sich durch die Calcium-Ionen wieder an die Fasern anzulagern und können dann auch bei einer Wäsche nicht vollständig entfernt werden [27, 28, 29, 30]. Diese Wiederanlagerung der abgelösten Farbpartikel kann aber mit Hilfe von Anti-Redeposition- und Anti-Scaling-Chemikalien stark reduziert werden. Als vielversprechende Chemikalien werden in der Literatur Polyacrylate und Carboxymethylcellulose genannt [20, 21, 25, 29, 30].

Aber auch die Zerfaserungszeit und die Zerfaserungs-Stoffdichte spielen eine Rolle. Mit abnehmender Zerfaserungszeit nimmt die Fragmentierung der Farbpartikel ab und die Entfernbarekeit zu [20, 25]. Ebenso zeigen Untersuchungen mittels Waschdeinking, dass sich Flexodruckfarben nach einer Zerfaserung im Niederkonsistenz-Bereich besser aus dem Faserstoff entfernen lassen als nach einer Hochkonsistenz-Zerfaserung [28, 31].

Da bei Flexozeitungen die Deinkingproblematik schon lange bekannt ist, wurden in der Vergangenheit einige Untersuchungen zum Verhalten von Flexozeitungen in Altpapiermischungen durchgeführt. Die Untersuchungen zeigen alle, dass sich mit zunehmendem Anteil an Flexozeitungen das Deinkingverhalten der Mischung unter Standardbedingung verschlechtert [21, 22, 24, 26, 32]. Die Verschlechterung scheint aber nicht linear vom Anteil an Flexozeitungen abzuhängen. Bei Untersuchungen von Galland und Vernac sowie von Rangamannar, Grube und Karneth ist ein asymptotisches Absinken des Weißgrads mit zunehmendem Anteil an Flexozeitungen zu erkennen, wie **Abbildung 4** zeigt [22, 24]. In der Annäherung der beiden Kurvenzüge dokumentiert sich der schlechtere Druckfarbenaustrag, der letztendlich auch in einem verringerten Weißegewinn durch die Flotation resultiert.

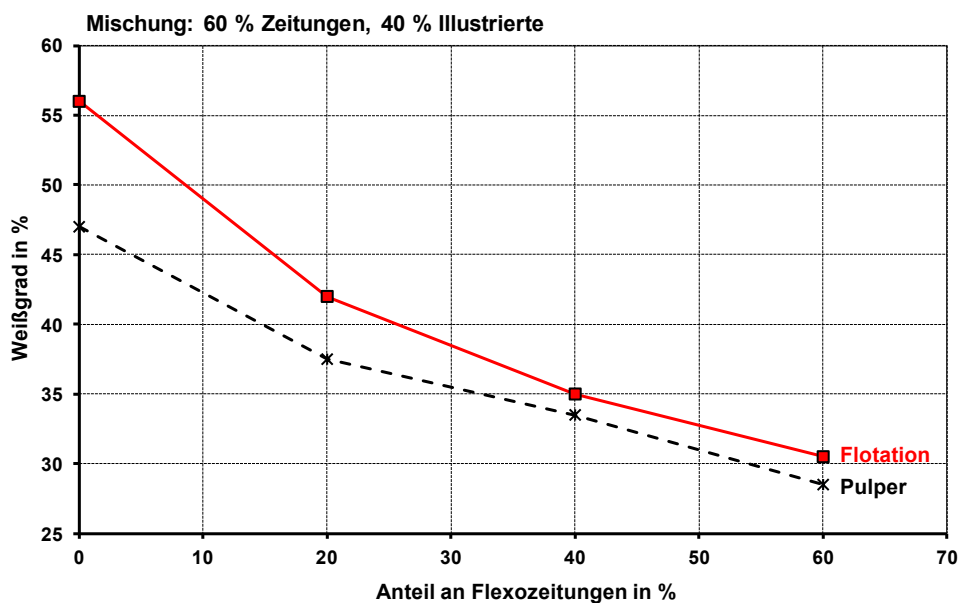


Abbildung 4: Entwicklung des Weißgrads des Faserstoffs nach der Zerfaserung und nach der Flotation in Abhängigkeit vom Anteil an Flexozeitungen [22]

Ortner, Witek und Fischer berichten, dass sich Flexodruckfarben im Prozesswasser anreichern und ab einer bestimmten Konzentration sogar die Flotation von Tief- und Offsetdruckfarben verschlechtern, da die Partikel wie ein Dispergiermittel wirken [23].

Allerdings wurde nie näher untersucht, was eine gezielte Veränderung der Basismischung aus Zeitungen und Illustrierten bewirkt. Da sich die abgelösten Flexofarbpartikel an Fasern, Füllstoffen und Pigmenten wieder anlagern, jedoch nicht klar ist, woran die Anlagerung bevorzugt stattfindet, könnte eine Erhöhung des Anteils an Illustrierten in der Altpapiermischung und somit eine Erhöhung des anorganischen Anteils zu einer Änderung des Deinkingverhalten der Gesamtmischung führen. Da die Füllstoffe und Pigmente mit Polymeren belegt sind und eine sehr große spezifische

Oberfläche besitzen, wäre eine größere Anlagerungsneigung der Flexofarbpartikel an Füllstoffe und Pigmente als an Fasern denkbar. Hinweise hierfür liefern Untersuchungen von Heise, Horng und Schriver. Sie beschreiben, dass sich durch Zugabe eines modifizierten Kaolins beim Aufbereitungsprozess Altpapiermischungen mit Anteilen von 25 - 30 % Flexozeitungen unter alkalischen Bedingungen deinken lassen [33].

1.2.3 Deinkbarkeit von Inkjet Druckerzeugnissen

Da sich Inkjet wegen seiner Flexibilität erst in den letzten Jahren zu einem geeigneten Druckverfahren für Druckerzeugnisse mit geringen Auflagen entwickelt hat, ist das Deinkingverhalten von Inkjet Druckerzeugnissen nur in Ansätzen untersucht. Gerade zum Deinkingverhalten in Altpapiermischungen gibt es kaum Erfahrungen. In der Literatur wird aber davon gesprochen, dass bereits geringe Mengen an Inkjet-Druckerzeugnissen zu Problemen in Deinkinganlagen führen können [4]. Zukünftig wird vor allem mit digitaler Personalisierung in Zeitungen und Illustrierten zu rechnen sein, da zunehmend konventionelle Druckmaschinen mit Inkjet-Eindruckmaschinen ausgerüstet werden [34].

Zum Deinkingverhalten von einzelnen Druckprodukten gibt es mehr Kenntnisse als zu Mischungen. Von farbstoffbasierten Inkjet-Druckfarben wird berichtet, dass sich diese nur schwer deinken lassen [35]. Druckprodukte, die mit farbstoffbasierten Inkjet-Druckfarben bedruckt sind, fallen in der Regel wegen der niedrigen Helligkeit des Faserstoffs, der geringen Ink Elimination und der hohen Filtratverdunkelung bei Deinkbarkeitsuntersuchungen durch [14]. Jedoch lassen sich einige farbstoffbasierte Druckfarben durch eine Bleiche aufhellen. Untersuchungen am Technischen Forschungszentrum VTT in Finnland zeigen, dass sich mit Hilfe von Laccasen farbstoffbasierte Inkjet-Druckfarben entfärben lassen. Die Studien belegen aber, dass die Wirkung vom Farbton und von der Papierzusammensetzung abhängig ist. Gerade bei holzhaltigen Papieren wie Zeitungsdruckpapier lassen sich die Farbstoffe wahrscheinlich auf Grund des Lignins nicht entfärben [36].

Pigmentbasierte Inkjet-Druckfarben zerfallen ähnlich wie Flexodruckfarben während der Zerkleinerung in kleine hydrophile Partikel, die sich mit Standarddeinkingchemikalien unter Standardbedingungen nicht flotieren lassen [4, 13, 35, 37, 38]. Durch die Flotation wird kaum eine Helligkeitszunahme erreicht. Außerdem gelangen bei der Entwässerung des Faserstoffs viele Farbpartikel ins Filtrat, was zu einer hohen Filtratverdunkelung führt [13, 37, 39]. Allerdings können andere Deinkingchemikalien die Deinkbarkeit von pigmentbasierten Inkjet-Druckprodukten deutlich verbessern. Beispielsweise reduziert die Kombination eines nicht-ionischen Tensids, das bei der Zerkleinerung dosiert wird, und eines anionischen Tensids bei der Flotation statt einer Ölsäure die Filtratverdunkelung und erhöht Helligkeit und Ink Elimination [35, 37, 40, 41, 42]. Auch zeigen Untersuchungen, dass geringere Scherkräfte bei der Zerkleinerung zu einer geringeren Fragmentierung der Inkjet-Druckfarben führen, wodurch sich die Flotierbarkeit der Farbpartikel verbessert [35, 40, 43]. Wie auch beim Offset- und Tiefdruck beeinflusst beim pigmentbasierten Inkjetdruck die Papiersorte, auf die gedruckt wird, das Deinkingverhalten [44, 35, 38, 40, 43, 45, 46, 47, 48, 49]. Wird das

für den Druck eingesetzte Papier beispielsweise mit einem speziellen Oberflächenstrich versehen sowie die Zerfaserungsbedingungen und die Chemikalienrezeptur bei der Flotation optimiert, so können einzelne Inkjet-Druckprodukte den Deinkingtest erfolgreich bestehen [40].

Über den Einfluss von Inkjet-Druckprodukten auf das Deinkingverhalten einer Altpapiermischung ist recht wenig bekannt. In der Literatur wird beschrieben, dass Inkjet-Druckprodukte in einer Altpapiermischung das Deinking-Ergebnis der Mischung verschlechtern. Die Helligkeitszunahme und der Weißegewinn wie auch die Ink-Elimination verringern sich [37, 44, 49, 50]. Ebenso nimmt die Filtratverdunkelung zu [44, 50]. Die gemessene Schmutzpunktfäche hingegen soll sich mit Anteilen von Inkjetdrucken reduzieren [37,44]. Dies kann aber an einer verschlechterten Detektierbarkeit von Schmutzpunkten durch eine Vergrauung des Gesamtstoffs liegen. Schmutzpunkte setzten sich optisch immer schlechter vom Faserstoff ab, je grauer bzw. dunkler der Faserstoff wird. Bezüglich der maximalen Menge an Inkjet-Produkten, die eine Altpapiermischung verträgt, so dass diese noch als deinkbar gilt, sind einige wenige Aussagen in der Literatur zu finden. Ben und Dorris sagen, dass Altpapiermischungen mit über 10 % Inkjet-Drucken von einem konventionellen Deinking-System nicht mehr zu handhaben sind. Hatfield schreibt, dass Altpapiermischungen mit bis zu 10 % noch deinkbar sind.

Allerdings wurden bei allen Untersuchungen Inkjet-Druckprodukte zu einer fixen grafischen Altpapiermischung zugegeben, die Offset-Zeitungen und -Illustrierte und manchmal auch noch Tiefdruck-Illustrierte enthielt. Da von Ben und Dorris berichtet wird, dass sich pigmentbasierte Inkjet-Druckfarben ähnlich wie Flexodruckfarben verhalten [44], könnte auch hier eine Veränderung des Anteils an Illustrierten in der Altpapiermischung das Deinkingergebnis beeinflussen. Auch bei den Untersuchungen von pigmentbasiertem Inkjet gibt es Hinweise darauf, dass sich abgelöste Inkjet-Farbpartikel bevorzugt an Füllstoffe und Pigmente anlagern, denn Basilio und Sheppard beschreiben, dass sich modifiziertes Kaolin als Sammler für Inkjet-Partikel eignet [42].

Über das Alterungsverhalten von Inkjet-Druckprodukten ist noch weniger bekannt als über ihren Einfluss in Altpapiermischungen. Lediglich Ben und Dorris schreiben, dass sich das Fragmentierverhalten gealterter Inkjet-Druckfarben verschlechtert, dies aber bei weitem nicht so ausgeprägt ist wie bei Offsetdruckfarben [44].

1.2.4 Deinkbarkeit von Toner Druckerzeugnissen

Wie Inkjet haben sich auch die Tonerdruckverfahren stetig weiterentwickelt. Durch die Flexibilität und die gute Druckqualität wächst auch ihr Marktanteil stetig. Unter den Tonerdruckverfahren gibt es zwei Hauptverfahren: das Trockentonerverfahren und das Flüssigtonerverfahren. Zu beiden Verfahren gibt es einige Untersuchungen bezüglich des Deinkingverhaltens.

Im Trockentonerverfahren werden Farbpartikel mit einem Durchmesser von 10 bis 20 µm auf das Papier aufgebracht und mittels Temperatur und in manchen Fällen auch mit UV-Licht behandelt. Dabei vernetzen die Tonerpartikel untereinander, gehen aber

auch feste Bindungen mit den Papierfasern auf der Papieroberfläche ein. Außerdem verändert sich durch den Druckprozess der Benetzungscharakter der Tonerpartikel. Vor dem Verdrucken sind die Trockentonerpartikel stark hydrophob, weshalb sie sich leicht flotieren lassen. Nach dem Verdrucken besitzen die Partikel an der Oberfläche einen deutlich hydrophileren Charakter, der durch oxidative Reaktionen während des Druckprozesses hervorgerufen wird [51]. Generell lassen sich Trockentoner Druckprodukte gut deinken [52]. Da die Tonerpartikel aber auch feste Bindungen mit den Fasern eingehen, kann es vorkommen, dass sie sich schlechter von der Faseroberfläche ablösen lassen und sich große, dünne Druckfarbenpartikel während der Zerfaserung abtrennen, da die Tonerpartikel beim Druckprozess untereinander verschmelzen. Einen wesentlichen Einfluss auf die Schmutzpunktfläche üben die Bedingungen während der Zerfaserung aus. So bewirken höhere Stoffdichten während der Zerfaserung sowie Temperaturen deutlich unter 60 °C ein besseres Ablöse- und Fragmentierverhalten der Farbpartikel. Temperaturen um 60 °C oder höher hingegen sind kritisch, da es bei diesen Temperaturen zum Wiederaufschmelzen und -anlagern der Tonerpartikel kommen kann. Aber nicht nur die Zerfaserungsbedingungen beeinflussen das Fragmentierverhalten der Tonerpartikel, sondern auch die Tonerzusammensetzung, die Tonerschichtdicke, die Anwesenheit von Chemikalien und die Qualität des Prozesswassers [12, 53, 54, 55]. Dickere Tonerschichten lassen sich schlechter fragmentieren als dünne. Dünne Schichten aber sind schwerer von der Faseroberfläche ablösbar. Stark polare Chemikalien verursachen die Ablösung großer, scheibenförmiger Tonerpartikel, die schlechter mittels Flotation entfernbare sind [53]. Oberflächenaktive Substanzen im Prozesswasser können zu erhöhten Schmutzpunktflächen im deinkten Faserstoff führen [52]. Besonders viele Schmutzpunkte liefern UV-vernetzte Tonerdrucke, die sich negativ auf das Deinkingergebnis auswirken können.

Beim Flüssigtonerverfahren sind die Farbpartikel in einer Trägerflüssigkeit, in der Regel ein Mineralöl, dispergiert. Die Partikel besitzen Durchmesser unter 2 µm und sind damit deutlich kleiner als die Farbpartikel des Trockentonerverfahrens. Die Vernetzung und Fixierung der Farbpartikel geschieht beim Flüssigtonerverfahren wie beim Trockentonerverfahren über Wärme. Flüssigtoner nach dem INDIGO-Verfahren bereiten Probleme bei der Druckfarbenablösung und im Fragmentierverhalten, wobei vor allem das Fragmentierverhalten für das Deinking ungünstig ist. Diese Flüssigtoner-Produkte verursachen meist viele Schmutzpunkte und erhalten deshalb in der Regel keine positive Deinkbarkeitsbewertung des European Paper Recycling Council (EPRC) [14, 37, 46, 53, 56, 57, 58]. Das Fragmentierverhalten dieses Flüssigtoners kann durch die Papierqualität, auf die gedruckt wird, beeinflusst werden. So weisen ungestrichene Papiere nach dem Deinking mehr große Schmutzpunkte auf als gestrichene Papiere [40, 56, 59]. Auch die Deinkingchemikalien spielen eine Rolle beim Ergebnis der Aufbereitung. Mit geeigneter Chemikalienrezeptur lassen sich INDIGO Produkte in einem 2-stufigen Prozess deinken [40, 41]. Flüssigtoner (Trillium) der Firma Xeikon auf Polyester-Basis lassen sich hingegen gut deinken und erhalten eine positive Deinkbarkeitsbewertung des EPRC [60].

Zum Einfluss von Trocken- und Flüssigtonerprodukten auf das Deinkingergebnis einer Altpapiermischung gibt es nur einige wenige Untersuchungen. In einer Mischung verursachen diese Drucke eine Zunahme der Schmutzpunktfläche [37]. Untersuchungen von Bobu, Ciolacu und Cretu mit Trockentonerdrucken in Mischungen zeigen aber, dass die Zusammensetzung der Mischung einen starken Einfluss hat und sich Deinkingergebnisse auch nicht über eine lineare Mischungsregel aus den Messwerten der einzelnen Produkte vorhersagen lassen, wie **Abbildung 5** zeigt. Es ist zu sehen, dass einige Mischungen trotz geringerer Anteile an Trockentonerdrucken deutlich höhere Schmutzpunktflächen (3- bis 4-fache Flächen) als andere Mischungen liefern. Die Zusammensetzung der Mischungen M 1 bis M 5 sind in **Tabelle 1** zusammengefasst, wo die prozentualen Massenanteile in der Mischung angegeben sind [61].

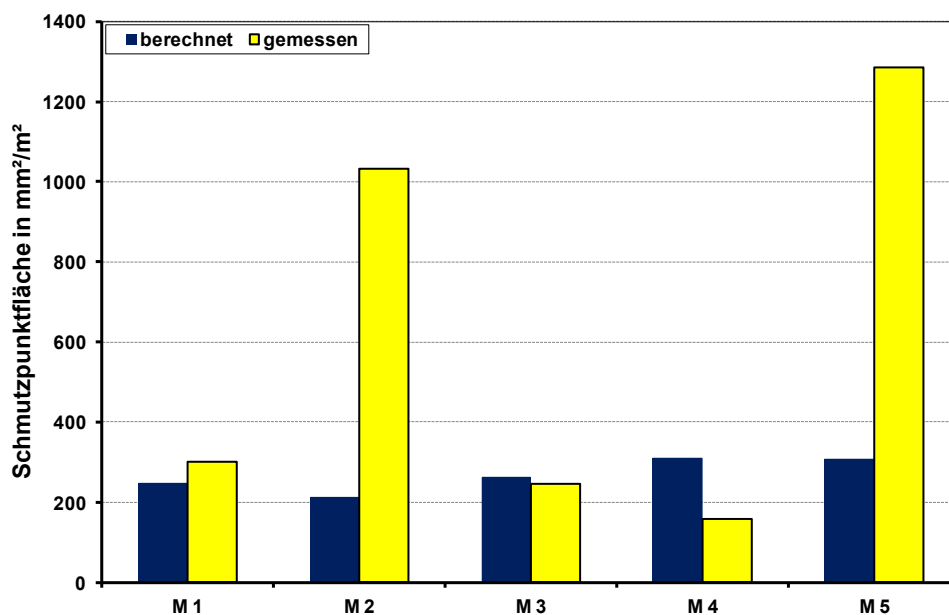


Abbildung 5: Berechnete und gemessene Schmutzpunktflächen in deinkten Laborblättern der von Bobu, Ciolacu und Cretu untersuchten Mischungen mit Trockentoner [61]

Tabelle 1: Zusammensetzung der untersuchten Altpapiermischungen in Prozent [61]

Mischung	Kopierpapier Trockentoner	Gestrichener Frischfaserkarton Offset + UV lackiert	Illustrierte LWC Offset	Zeitungen Offset
M 1	80	20	-	-
M 2	60	10	30	-
M 3	70	10	15	5
M 4	10	10	20	60
M 5	-	-	30	70

Untersuchungen zu Altpapiermischungen mit INDIGO-Drucken lassen darauf schließen, dass sich mit Hilfe eines dispergierenden Prozessschrittes und einer

nachgeschalteten zweiten Flotation auch höhere Anteile an INDIGO in einer Mischung aufbereiten lassen. Ayala, Carré und Fabry beschreiben bei ihren Deinkingversuchen, dass ihre untersuchte Altpapiermischung mit 30 % INDIGO nur knapp den gesteckten Zielwert für die Schmutzpunktfläche verfehlt [56].

Insgesamt wurde aber auch bei Tonerprodukten nie systematisch die Zusammensetzung der Altpapiermischung verändert, um deren Einfluss zu untersuchen. Da Tonerprodukte aber vor allem Probleme bei der Druckfarbenfragmentierung und somit den Schmutzpunkten verursachen, müsste die Altpapierzusammensetzung schon bei der Zerfaserung einen großen Einfluss spielen. Denn bei der Zerfaserung wirken Scherkräfte, die von der Viskosität der Suspension und somit wahrscheinlich vom Verhältnis Fasern zu Füllstoffen und Pigmenten abhängen. Eine Veränderung im Verhältnis zwischen gestrichenen und ungestrichenen Papieren müsste dann auch eine Veränderung in der Fragmentierung von Trocken- und Flüssigtonerpartikeln verursachen. Ebenso gibt es bisher keine Kenntnisse über das Alterungsverhalten von Tonerdruckprodukten.

1.2.5 Zusammenfassung Deinkbarkeit von Einzelprodukten

Die letzten Kapitel haben ausführlich gezeigt, dass die Deinkbarkeit von Einzelprodukten hauptsächlich vom eingesetzten Druckverfahren abhängig ist. Alles in allem zeigt die folgende Abbildung eine Übersicht über die Deinkbarkeit verschiedener Druckfarben. Deutlich wird, dass die öl- bzw. lösemittelbasierten Druckfarben wie Offset (mineralölbasiert) oder Tiefdruck insgesamt gut für das Flotationsdeinking geeignet sind. Wasserbasierte sowie vernetzte Druckfarben wie Flexo oder Flüssigtoner lassen sich hingegen schlechter deinken.

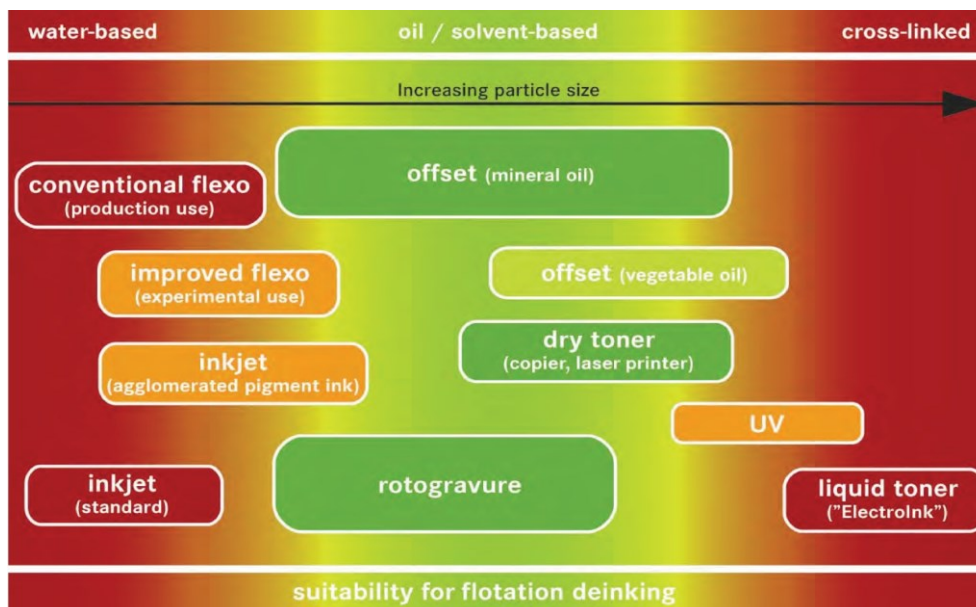


Abbildung 6: Deinkbarkeit verschiedener Druckfarben / Druckverfahren [52]

Abschließend muss nochmal erwähnt werden, dass neben der Druckfarbe auch das zu bedruckende Papier einen signifikanten Einfluss auf das Deinkingergebnis haben kann. Eine ausführliche Zusammenfassung hat Faul 2014 in München vorgestellt [52], auf dessen Ergebnisse an dieser Stelle verwiesen werden soll.

2 Forschungsziel / Lösungsweg

2.1 Forschungsziel

Die Projektziele sind im Wesentlichen die Untersuchung und Bewertung einzelner Druckprodukte sowie deren Untersuchung und Modellierung des Deinkingverhaltens in einer Altpapiermischung wie auch die Detektion von Problemen und die Entwicklung von Lösungsmöglichkeiten bei der Aufbereitung schwer zu deinkender Altpapiermischungen. Dafür wird zunächst ein 2-Loop Deinkingprozess am PMV entwickelt.

Zu Beginn der Untersuchungen wird dann das Deinkingverhalten einzelner ausgewählter Druckerzeugnisse im 1- und 2-stufigen Deinkingprozess analysiert. Neben klassischen Druckerzeugnissen wie Offset-Coldset Tageszeitungen mit mineralöhlhaltigen Druckfarben, Offset-Heatset und Tiefdruck Illustrierte und Offset-Heatset Werbeprospekte werden gerade auch digitale Druckerzeugnisse wie Inkjet-, Flüssigtoner- und Trockentonerdrucke untersucht. Ergänzend wird in dieser Bestandsaufnahme für alle Druckerzeugnisse der Einfluss der Alterung auf die Deinkbarkeit der Druckobjekte mit betrachtet.

Anschließend wird der Einfluss einzelner Druckprodukte auf das Deinkingverhalten einer Altpapiermischung beschrieben. Hierfür werden systematisch Mischungen verschiedener Druckobjekte hergestellt und deinkt. Dabei wird zunächst mit Altpapiermischungen begonnen, die ausschließlich aus klassischen Druckerzeugnissen zusammengestellt sind. Zu ausgewählten Mischungen aus klassischen Produkten werden gezielt digitale Druckerzeugnisse, die als schwieriger zu deinken gelten, zugemischt.

Anhand der Ergebnisse zum Deinkingverhalten der Einzelprodukte und der Mischungen werden Modelle entwickelt, die das Verhalten einzelner Druckprodukte in Altpapiermischungen beschreiben. Ebenso wird ein Bewertungsschema erarbeitet, anhand dessen das Deinkingergebnis einer Altpapiermischung eingestuft werden kann. So können Druckerzeugnisse und Altpapierzusammensetzungen ermittelt werden, die einen überproportional negativen oder positiven Einfluss auf das Deinkingergebnis ausüben.

Nach der Beschreibung des Einflusses einzelner Druckprodukte auf das Deinkingergebnis einer Altpapiermischung und der Bewertung der Deinkingergebnisse werden für ausgewählte problematische Altpapiermischungen geeignete Prozessschritte und Aufbereitungsbedingungen detektiert, um Korrekturmöglichkeiten in der Stoffaufbereitung aufzuzeigen.

2.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Das Projekt wird erstmals systematische Erkenntnisse über den Einfluss einzelner Druckerzeugnisse in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Altpapiermischung auf die Deinkingstoffqualität liefern. Gleichzeitig wird das Alterungsverhalten von Digitaldrucken ermittelt. Darüber hinaus wird gezeigt, welche Prozessschritte bei problematischen Altpapiermischungen für eine erfolgreiche Aufbereitung besonders wichtig sind und wie die Prozessbedingungen geeignet zu ändern sind.

Damit lässt sich einerseits ableiten, welche Altpapiermischungen sich in Bezug auf die Deinkingstoffqualität für das Deinken und somit für den Einsatz in höherwertigen grafischen Produkten auf Altpapierbasis besonders gut eignen. Andererseits geben die besonders schlechten Deinkingergebnisse Aufschluss darüber, welche Druckerzeugnisse bzw. Druckverfahren aus Altpapiermischungen, die zum Deinken eingesetzt werden sollen, ferngehalten werden sollten.

2.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Der innovative Beitrag des Vorhabens besteht darin, synergistische und antagonistische Effekte einzelner Druckprodukte auf das Deinking von Altpapiermischungen systematisch zu erfassen. Hierfür werden die Altpapiermischungen und die einzelnen Druckprodukte nicht nur im 1-stufigen, sondern auch in einem, in diesem Projekt entwickelten, 2-stufigen Prozess aufbereitet. Das Deinkingverhalten der Mischung wird dann mit einem Bewertungsschema eingestuft, welches nicht nur optische, sondern auch andere physikalische Suspensionseigenschaften berücksichtigt.

Anhand der Deinkingergebnisse und der Einstufung in das Bewertungsschema können bei schwierig zu deinkenden Altpapiermischungen Rückschlüsse auf ungeeignete Bedingungen einzelner Aufbereitungsprozesse gezogen und mögliche Änderungen der Betriebsbedingungen abgeleitet werden. Diese werden dann in separaten Versuchsreihen genauer betrachtet und optimiert.

Außerdem lassen sich durch die Modellierung des Einflusses einzelner Druckprodukte auf das Deinkingverhalten einer Altpapiermischung Schlüsse auf eine besonders günstige Zusammensetzung ziehen, die sich für die Erzeugung von höherwertigen grafischen Produkten auf Altpapierbasis nutzen lassen. Diese Kenntnisse liefern die Voraussetzung für das Betreiben von Altpapiersortieranlagen und für die Entwicklung von Sortierverfahren in der Trockensortierung bzw. deren Optimierung, um für das Deinking optimierte Altpapierqualitäten gezielt zu erzeugen. Solche neuen Altpapierqualitäten können altpapierverarbeitende Papierfabriken für die Produktion hochwertiger grafischer Produkte nutzen, um teure andere Rohstoffe wie gebleichten Zellstoff zu ersetzen oder ihre Produktpalette zu erweitern. Die Ergebnisse des Projektes können ggf. auch in Standards zur Spezifikation von Altpapiersorten einfließen (z. B. EN 643).

2.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Große Bewegungen und zunehmende Schnelllebigkeit in der Medienlandschaft bedingt durch ein rasantes Wachstum digitaler Medien verändern die Marktanteile der gedruckten Papierprodukte. Bei der klassischen Zeitung sind enorme Stückzahl-einbußen zu verzeichnen während die Menge der Werbeprospekte zunimmt. Außerdem fördert die Schnelllebigkeit, dass die Auflagen mancher Druckprodukte verringert werden und Werbung personalisiert an potenzielle Kunden verteilt wird. Gerade für Druckprodukte mit geringer Stückzahl oder personalisierte Werbeflyer eignen sich digitale Druckverfahren. Dies führt dazu, dass sich die Altpapierzusammensetzung in Bezug auf grafische Druckprodukte in den nächsten Jahren immer weiter verändern wird.

Allerdings sind die Kenntnisse, wie sich verschiedene Druckprodukte in Altpapiermischungen im Deinkingverhalten gegenseitig beeinflussen recht gering, da dies bisher noch nicht systematisch untersucht wurde. Mit Kenntnis über den Einfluss der Zusammensetzung einer Altpapiermischung auf das Deinkingergebnis lassen sich Rückschlüsse auf besonders günstige bzw. besonders ungünstige Zusammensetzungen ziehen. Diese Kenntnisse liefern dann Grundlagen für die trockene Sortierung von Altpapier. Da in den letzten Jahren die Sensorik für die trockene Altpapiersortierung immer feinfühlicher wurde, könnten dann Sortierbetriebe Altpapiersorten mit besonders guten Deinkingeigenschaften für den Markt generieren. Dies stellt die Basis für eine Erhöhung des Altpapieranteils in höherwertigen grafischen Papieren auf Altpapierbasis dar, was einer stärkeren Ressourcenschonung gerecht werden würde.

Um aber Wissen über das Deinkingverhalten im gesamten Aufbereitungsprozess zu erhalten, genügt es nicht Altpapiermischungen nur in einem 1-stufigen Laborprozess zu untersuchen, da in der industriellen Stoffaufbereitung nach der ersten Flotation häufig eine Dispergierung und eine zweite Flotation nachgeschaltet sind. Da es aber noch keinen standardisierten 2-stufigen Laborprozess gibt, muss dieser zunächst entwickelt werden. Grundlage hierfür liefern die Ergebnisse der INGEDE Projekte 108 06 „Simulation of the 2nd Process Loop for Laboratory Deinking Trials“ und 130 09 „Process oriented deinking of prints with cohesive and cross-linked inks in laboratory scale“ [62, 63].

2.2.1 Entwicklung eines 2-stufigen Aufbereitungsprozesses im Labormaßstab (Arbeitspaket 1)

Industrielle Stoffaufbereitungsanlagen für grafisches Papier auf Altpapierbasis besitzen in der Regel in ihrer Stoffaufbereitung nach der Zerkleinerung und ersten Flotation eine Eindickung, eine Dispergierung und eine zweite Flotation. Die INGEDE-Methode 11, welche standardmäßig zur Untersuchung der Deinkbarkeit einzelner Druckprodukte angewandt wird und in **Abbildung 7** schematisch dargestellt ist, endet aber nach der ersten Flotation. Die weiteren Prozessschritte wie Entwässerung, Dispergierung und zweite Flotation werden bei dieser Methode nicht betrachtet. Bekannt ist, dass die Dispergierung jedoch vor allem bei Flüssigtonerdruckprodukten und UV-Druckprodukten einen erheblichen Einfluss auf die Schmutzpunktfläche hat [59, 64, 65, 66]. Dabei wird die Dispergierung selbst sehr stark von der Suspensionsrheologie und somit wahrscheinlich auch von der Altpapierzusammensetzung beeinflusst.

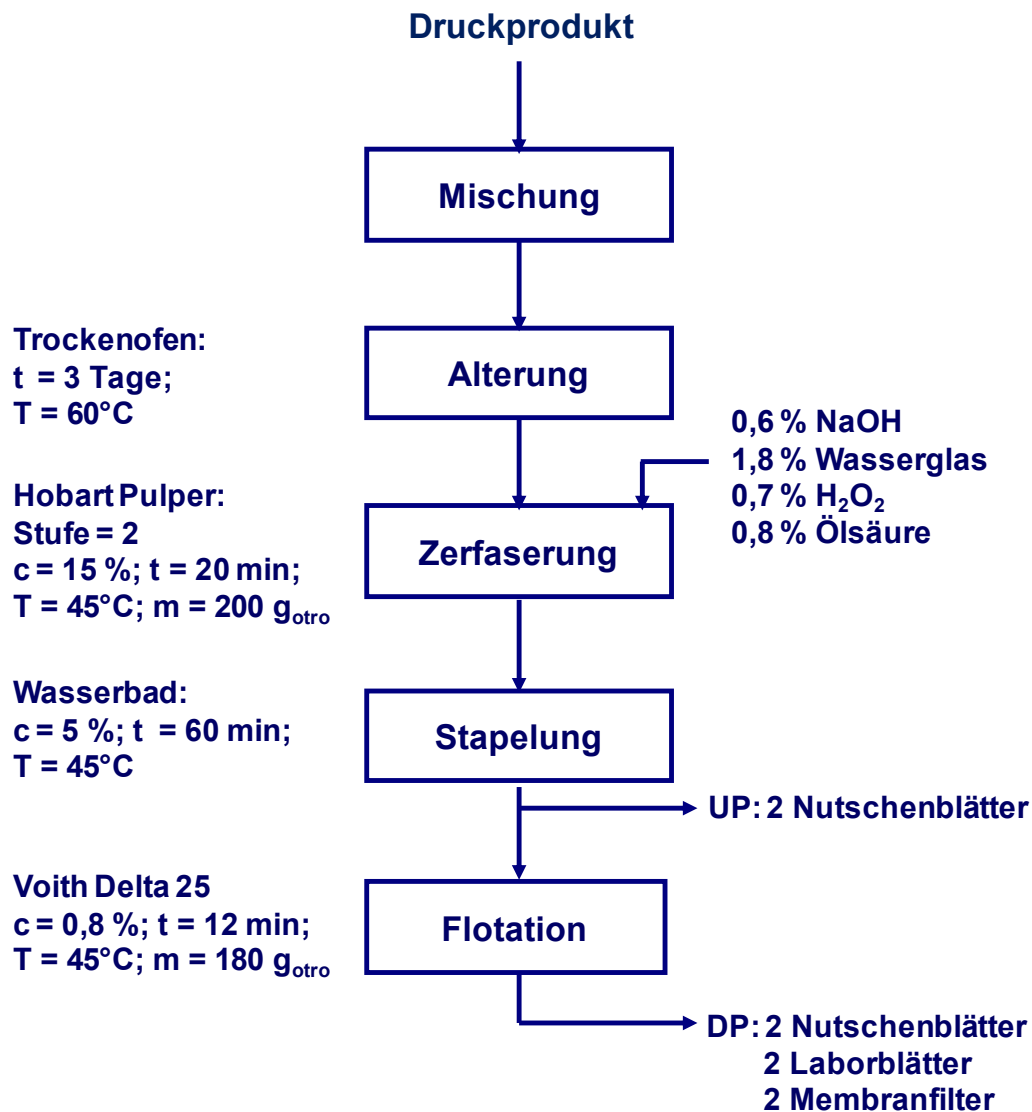


Abbildung 7: Aufbereitungsschema nach INGEDE-Methode 11

Da industrielle Aufbereitungsanlagen in der Regel mit Dispergierung und zweiter Flotation ausgestattet sind, ist es wichtig das Verhalten von Altpapiermischungen auch im Labor in einem 2-stufigen Prozess zu untersuchen. In dieser 2-Loop Methode werden nach der Aufbereitung entsprechend INGEDE-Methode 11 für den einstufigen Prozess zusätzlich ein Entwässerungsschritt, ein Dispergierprozess und eine zweite Flotation nachgeschaltet.

Da es für die Eindickung, Dispergierung und zweite Flotation keine standardisierten Einstellungen gibt, müssen diese in Versuchen zunächst festgelegt werden. Hierfür werden vier repräsentative Industrieproben vor und nach der ersten Flotation, der Dispergierung und der zweiten Flotation gezogen und im Labor untersucht. Die Proben vor der ersten Flotation, der Dispergierung und der zweiten Flotation werden dann im Labor mit dem Ziel flotierrt bzw. dispergiert, ein mit der industriellen Praxis vergleichbares Niveau bezüglich der optischen Eigenschaften wie Schmutzpunktfläche und Weißgrad zu erzielen. Als Labordisperger wird ein Scheibendisperger (Cavimix 1031) der Firma Cavitron und als Flotationszelle die PTS-Zelle eingesetzt. Bei der Labordispergierung werden die Verweilzeit und die Drehzahl und bei der

Flotation die Flotationsdauer angepasst. Als Druckfarbensammler werden für die erste Flotation die Deinkingchemikalien entsprechend der INGEDE-Methode 11 und für die zweite Flotation Natriumhydroxid und Ölsäure hinzugegeben.

Anhand der Untersuchungsergebnisse werden die Einstellungen für die erste Flotation, die Dispergierung und die zweite Flotation für den Laborprozess festgelegt. Das erarbeitete 2-stufige Verfahren bildet dann die Grundlage für die folgenden Untersuchungen.

2.2.2 Deinkingverhalten einzelner Druckobjekte (Arbeitspaket 2 + 3)

Bevor verschiedene Altpapiermischungen untersucht werden, ist es notwendig zunächst das Deinkingverhalten der einzelnen Druckprodukte, aus denen die Mischungen bestehen, für sich zu prüfen. Untersucht werden neben klassisch bedruckten Druckprodukten vor allem auch digital bedruckte Druckprodukte. Die Ergebnisse des Verhaltens der einzelnen Produkte bilden dann die Grundlage für die Beschreibung des Verhaltens von Mischungen.

Als klassische Druckprodukte werden Offset-Coldset Zeitungen, Offset-Heatset Werbeprospekte, Offset-Heatset Illustrierte und Tiefdruck Illustrierte organisiert und untersucht. Zur Bewertung der Deinkbarkeit von digitalen Druckprodukten werden Inkjet-Testdrucke sowie mit Flüssig- und Trockentoner bedruckte Testdrucke geprüft. Zur Bewertung der eingesetzten Druckprodukte werden die Produkte zunächst ungealtert im 1-stufigen Deinkingprozess gemäß INGEDE-Methode 11 sowie im 2-stufigen Prozess auf ihre Deinkbarkeit getestet.

Da das Wissen bezüglich des Alterungsverhaltens gerade bei digitalen Druckprodukten weitgehend fehlt, werden ausgewählte Druckprodukte nach diversen Alterungsbedingungen und -zeiten auf ihr Verhalten im 1- und 2-stufigen Deinkingprozess untersucht. Als Alterungsbedingungen werden die natürliche Alterung unter kontrollierten klimatischen Bedingungen (23 °C, 50 % relative Luftfeuchtigkeit) und die beschleunigte Alterung bei 60 °C betrachtet. Da die INGEDE-Methode 11 eine beschleunigte Alterung über 3 Tage vorschreibt und eine zurückgezogene DIN-Norm 6 Tage enthielt, werden bei der beschleunigten Alterung sowohl 3 Tage als auch 6 Tage betrachtet. Des Weiteren wird auch das Deinkingverhalten nach einer 1- und 3-monatigen natürlichen Alterung bei 23 °C und 50 % relative Luftfeuchtigkeit geprüft und vergleichend bewertet. Als Zusatzversuch wird eine 3- und 8-monatige Alterung der Druckprodukte im Kühlraum bei 4 °C untersucht. Somit kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob wie allgemein angenommen wird, die Lagerung im Kühlraum die Deinkbarkeit nicht beeinflusst.

Bei allen Untersuchungen werden neben den optischen Eigenschaften auch die anorganischen Anteile der Stoffsuspensionen und die Verluste mit betrachtet. Zusammen mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurde beschlossen, dass auf die Messung des Schaumverhaltens und der Viskosität in diesen und den weiteren Arbeitspaketen verzichtet wird. Dafür wurde eine größere Menge an Druckprodukten in diesem Arbeitspaket sowohl auf die Deinkbarkeit im 1-stufigen Deinkingprozess als auch im 2-stufigen Deinkingprozess untersucht.

2.2.3 Untersuchung und Modellierung des Deinkingverhaltens von Altpapiermischungen (Arbeitspaket 4)

Da der Bedarf an höherwertigen grafischen Papierprodukten auf Altpapierbasis durch den geringeren Energiebedarf in der Stoffaufbereitung und die Schonung forstwirtschaftlicher Ressourcen immer mehr an Bedeutung gewinnt und auch weiter gewinnen wird, sind für die Gestaltung einer aus Recycling-Gesichtspunkten sinnvollen und effektiven Kreislaufwirtschaft die Kenntnisse des Deinkingverhaltens von Altpapiermischungen überaus wichtig. Um hier aus Sicht der trockenen Altpapier-sortierung und der Papiererzeugung eine konstruktive Diskussion mit allen Beteiligten der Wertschöpfungskette zu führen, aber auch eigene Produktionsgepflogenheiten hinterfragen zu können, sind gerade Kenntnisse über die Einflüsse einzelner Druckprodukte auf das Deinking- und Aufbereitungsverhalten einer Altpapiermischung nötig. Dabei sind nicht nur der Einfluss der Druck- bzw. Veredelungsverfahren zu betrachten, sondern auch die Zusammensetzung und Art der Papiere, denn auch das Papier beeinflusst das Deinkingverhalten, wie die Untersuchungen des BMBF Projektes 01 RI 05162-66 zu Offset-Produkten zeigten.

Die Kenntnisse zum Verhalten einzelner Druckprodukte in einer Altpapiermischung sind recht gering. Aus diesem Grund werden neben den Einflüssen von digitalen Druckprodukten auch die Einflüsse von klassisch bedruckten Druckerzeugnissen untersucht. Dabei sollen gerade Zukunftstrends bezüglich der Zusammensetzung betrachtet werden. Als Ausgangspunkt wird eine vereinfachte Mischung aus Offset-Coldset Zeitungen, Tiefdruck Illustrierten sowie Offset-Heatset Zeitschriften und Werbeprospekten gewählt, die sich in der Zusammensetzung an Deinkingware (1.11) aus dem Jahr 2010 anlehnt. Von der Mischung wird ein Teil der klassischen Produkte durch verschiedene Anteile an digitalen Druckerzeugnissen ersetzt. Die Deinkbarkeitsbewertung aller Mischungen wird im 1-stufigen Prozess anhand der INGEDE-Methode 11 sowie nach der 2-Loop Methode jeweils mit einer beschleunigten Alterung von 3 Tagen durchgeführt. Es werden die optischen Eigenschaften, die anorganischen Anteile der Faserstoffe sowie die Faserausbeute betrachtet. Bei der 2-Loop Methode werden zusätzlich die optischen Eigenschaften nach der ersten Flotation und nach der Dispergierung untersucht.

Mit Hilfe der Messergebnisse sollen Modelle entwickelt werden, die das Deinkingverhalten der Altpapiermischung in Abhängigkeit von der Altpapierzusammensetzung auf Basis des Verhaltens der einzelnen Druckprodukte beschreiben.

2.2.4 Ausarbeitung eines Bewertungsschemas (Arbeitspaket 5)

Um die Deinkingergebnisse der Altpapiermischungen besser einschätzen und beurteilen zu können, soll ein Bewertungsschema ausgearbeitet werden, welches das Deinking- und Aufbereitungsverhalten einer Altpapiermischung im Deinkingprozess bewertet. Ausgangspunkt sind die Bewertungskriterien Hellbezugswert, Farbort, Ink Elimination, Schmutzpunktfläche und Filtratverdunkelung entsprechend der Deinkability Scorecard für die Bewertung einzelner grafischer Produkte. Bei der Bewertung einer Altpapiermischung müssen allerdings andere Zielwerte wie im

Deinkability Score gewählt werden, da die Zielwerte des Deinkability Score nicht den Zielwerten von DIP Stoff der Industrie entsprechen, sondern nur auf die Bewertung von einzelnen Druckprodukten ausgelegt sind. Hierfür werden zum Vergleich mit den in diesem Projekt generierten Ergebnissen aus fünf Deinkinganlagen Stoffproben nach der Zerfaserung und vom Fertigstoff organisiert und untersucht.

Insgesamt soll das Bewertungsschema für Altpapiermischungen Indizien liefern, welche Prozesse der Stoffaufbereitung Probleme mit einer Altpapiermischung haben. Ist das Bewertungsschema erarbeitet, sind die Altpapiermischungen entsprechend einzustufen und Möglichkeiten für eine verbesserte Aufbereitung aufzuzeigen.

2.2.5 Optimierung der Aufbereitung (Arbeitspaket 6)

Die detektierten Probleme bei der Stoffaufbereitung und die erarbeiteten Möglichkeiten für eine verbesserte Aufbereitung einer Altpapiermischung sollen genutzt werden, um den 2-stufigen Deinkingprozess in den Prozesseinstellungen zu optimieren. Dabei werden kritische Altpapiermischungen ausgewählt und im 2-stufigen Prozess behandelt. Die optimierten Bedingungen der isoliert betrachteten Prozessschritte werden dann in den gesamten 2-stufigen Prozess eingebunden und die Auswirkung auf die gesamte Aufbereitung und die Bewertung entsprechend dem Bewertungsschema überprüft. Zusammen mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurde besprochen, dass es ausreichend ist das Bleichpotenzial in der 2-Loop Methode zu prüfen.

Zusätzlich werden Versuche durchgeführt, bei denen anstelle des Eindickfiltrats Frischwasser zum Auswaschen und Verdünnen des dispergierten Stoffs für die 2. Flotation eingesetzt wird, um eventuelle Verschleppungen durch das Eindickfiltrat zu detektieren.

2.2.6 Bleiche

Zur Optimierung der 2-Loop Methode werden dem Aufbereitungsprozess eine oxidative Bleiche zwischengeschaltet und eine reduktive Bleiche nachgeschaltet (**Abbildung 8**). Bei der oxidativen Bleiche (Peroxid) werden die Bleichchemikalien (s. Kapitel 3.1.4) dem Faserstoff bei einer Stoffdichte von 12 % zudosiert (Reihenfolge: Natriumhydroxid, Wasserglas, Wasserstoffperoxid) und ca. 2 min per Hand kräftig durchgeknetet. Nach einer Lagerung des Faserstoffs von 60 Minuten im Wasserbad bei 70 °C wird der Restperoxidgehalt gemessen. Bei der reduktiven Bleiche (Dithionit) wird der deinkte Faserstoff zunächst entwässert und anschließend 10 g_{otro} in einem Beutel für ca. 30 min auf 70 °C temperiert. Zum Einstellen der Stoffdichte von 3,5 % wird dem Beutel temperiertes Prozesswasser hinzugefügt. Der Stoff wird dann per Hand durchgeknetet und durch Zugabe von Schwefelsäure ein pH-Wert von 6,0 – 6,5 eingestellt. Die Bleichchemikalie (s. Kapitel 3.1.4) werden dem Faserstoff hinzugegeben und für fünf Minuten in einem luftdichtverschlossenen Becher gerührt. Anschließend wird der Faserstoff für 60 Minuten bei 90 °C im Wasserbad gelagert.

Zur Bewertung der Bleichwirkung werden nach der Lagerung von den gebleichten Faserstoffen Nutschenblätter gebildet und der Weißgrad und der Farbort ($L^*a^*b^*$) bei der Einstellung C/2°/0 UVEX ermittelt.

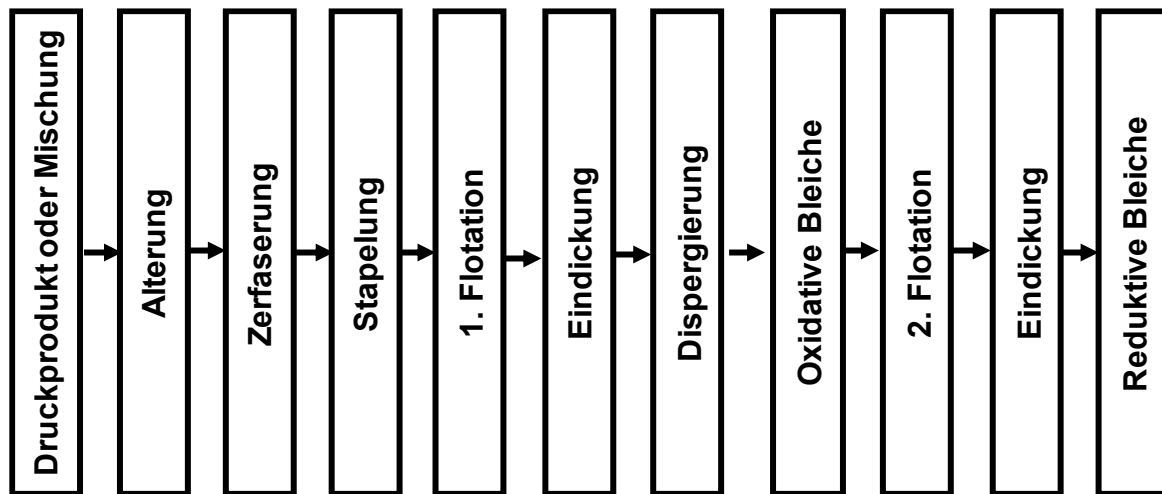


Abbildung 8: 2-Loop-Prozess mit oxidativer und reduktiver Bleiche

2.2.7 Personaleinsatz

Für die Entwicklung des 2-stufigen Aufbereitungsprozesses, die Entwicklung der Versuchspläne sowie die Auswertung der Versuche und die Modellierung ist der wissenschaftliche Mitarbeiter zuständig, dem auch die wissenschaftliche Leitung unterliegt. Das routinemäßige Durchführen der komplexen Laborversuche im 1- und 2-stufigen Aufbereitungsprozess sowie das Vermessen der erforderlichen Kenngrößen unterliegt erfahrenem Laborpersonal, welches damit den wissenschaftlichen Mitarbeiter unterstützt. Für Hilfstätigkeiten im Labor und bei der Auswertung ist eine studentische Hilfskraft vorgesehen.

Die geleistete Arbeit des wissenschaftlich-technischen Personals (A.1, HPA A) von insgesamt 18 Personenmonaten über die gesamte Laufzeit des Vorhabens entsprach im vollen Umfang dem bewilligten Antrag (einschließlich des Änderungsvertrags vom 07.07.2016) und war für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen. Gleiches gilt für die geleistete Arbeit des übrigen Fachpersonals und der Hilfskräfte sowie für die Ausgaben von 31.371,97 Euro für die Gerätebeschaffung (CEPA-Laboratoriums-Schleuder LS inkl. Zubehör).

3 Material und Methodik

Im folgenden Kapitel werden zunächst die in diesem Projekt eingesetzten Rohstoffe (Altpapierstoff, Druckmuster, Flotations- und Bleichchemikalien) beschrieben, bevor auf die Versuchsdurchführung (Deinking im 1-Loop- und 2-Loop-Prozess, Alterung, Entwässerung mittels Durchlaufzentrifuge bzw. Wäscheschleuder, Dispergierung, Flotation, Bleiche) eingegangen wird.

3.1 Auswahl der Rohstoffe

3.1.1 Industriestoffproben

Um für die einzelnen Prozesse bei der Entwicklung der 2-Loop-Methode vergleichbare Ergebnisse zwischen den Laborprozessen und der Industrie zu erzielen (Arbeitspaket 1), wurden aus vier Papierfabriken Faserstoffe jeweils am Ein- und Auslauf der Dispergierung, sowie vor und nach der 1. und 2. Flotation gezogen. Dazu wurden Papierfabriken untersucht die Zeitungsdruckpapier, Kopierpapier, grafisches Publikationspapier und SC-Papier erzeugen. Die ermittelten Daten werden bei der Entwicklung der 2-Loop Methode in Kapitel 4.1 dargestellt.

Des Weiteren wurde aus fünf Papierfabriken für grafische Produkte Faserstoff nach der Zerfaserung und vom Stoffauflauf gezogen. Von diesen Faserstoffen wurden die optischen Eigenschaften im Rahmen der Ausarbeitung des Bewertungsschemas (Arbeitspaket 5) untersucht. Zusätzliche Informationen zu den Stoffaufbereitungen, in denen jeweils 2-stufig flotiert wird, sind in **Tabelle 2** aufgelistet.

Tabelle 2: Informationen zur Stoffaufbereitung der Industrieproben

Firma	A	B	C	D	E
Altpapier-eintrag	1.11.00 + Remittenden	1.11.00 + 2.01.00	1.11.00	1.11.00	1.11.00
Peroxid (100 %ig)	0,3 %	0	0	0,6 %	3,2 %
Dithionit (HW)	0,6 %	0	k. A.	0	0,6 %

3.1.2 Druckprodukte

Für die Deinkinguntersuchungen wurden Druckmuster organisiert, die in diesem Projekt auf ihr Deinkingverhalten, den Einfluss der Alterung auf das Deinkingergebnis sowie deren Deinkingverhalten in Altpapiermischungen untersucht wurden. Dafür wurden an klassischen Druckprodukten zwei verschiedene Offset Coldset bedruckte Tageszeitungen, ein Offset-Heatset bedruckter Werbeprospekt sowie eine Offset-Heatset und Tiefdruck bedruckte Illustrierte organisiert. An digitalen Druckmustern wurden zwei unterschiedliche Indigo Testdrucke, zwei verschiedene pigmentbasierte Inkjet Testdrucke und ein Trockentoner Testdruck untersucht. Eine Zusammenfassung der eingesetzten Druckmuster unter Angabe der wichtigsten Grundinformationen ist in **Tabelle 3** aufgelistet. Auf Grund der Vielfältigkeit der organisierten Produkte und der

zeitlichen Abfolge im Projekt wurden nicht alle Druckprodukt für die Bearbeitung jedes Arbeitspakets verwendet. Um eine vorzeitige Alterung zu vermeiden, wurden die Druckprodukte im Kühlraum gelagert.

Tabelle 3: Übersicht und Grundinformationen der eingesetzten Druckprodukte

Produkt + Druck- verfahren	Roh- papier	Druck- farbe	Druck	Druck- datum	m_A in g/m²	Einsatz Arbeits- paket
Zeitung / Offset- Coldset_1	ZDP	CMYK	zweiseitig	Okt. 2016	44	2, 3+6
Zeitung / Offset- Coldset_2	ZDP	CMYK	zweiseitig	Feb. 2016	44	2, 4+6
Werbe- prospekt / Offset	AZP	CMYK	zweiseitig	Feb. 2016	47	2, 4+6
Illustrierte / Offset	LWC- Papier	CMYK	zweiseitig	Feb. 2016	55	2, 4+6
Illustrierte / Tiefdruck	SC- Papier	CMYK	zweiseitig	Feb. 2016	45	2, 4+6
Testdruck / Indigo_1	H'fr., gestr.	CMYK+ Grau	einseitig	Nov. 2016	135	2+3
Testdruck / Indigo_2	H'fr., gestr.	CMYK	zweiseitig	Jan. 2016	200	4+6
Testdruck / Trocken- toner	H'fr., ungestr.	s/w	zweiseitig	Nov. 2016	81	2+3
Testdruck / Inkjet_1	H'fr., ungestr.	CMYK, Pigment	zweiseitig	Nov. 2016	83	2+3
Testdruck / Inkjet_2	H'fr., ungestr.	CMYK, Pigment	zweiseitig	k. A.	94	2, 4+6

Um einen besseren Überblick über die eingesetzten Druckprodukte zu erhalten, wurden Fotos von diesen Produkten in **Tabelle 4** zusammengefasst. Weitere Details zum Druck (einseitig/zweiseitig, ...) sind in der vorherigen Tabelle aufgeführt. Bei den Versuchen ist darauf geachtet worden, dass bei jedem Versuch der gleiche Teil eines

Druckprodukt verwendet wurde. So werden zum Beispiel beim Deinking von Zeitungen Einflüsse auf den Weißgrad, durch den Einsatz von unterschiedlich bedruckten Flächen, vermieden.

Tabelle 4: Fotos der eingesetzten Druckprodukte

 <p>Zeitung / Offset-Coldset_1</p>	 <p>Zeitung / Offset-Coldset_2</p>	 <p>Werbeprospekt / Offset-Heatset</p>	 <p>Illustrierte / Offset-Heatset</p>
 <p>Illustrierte / Tiefdruck</p>	 <p>Testdruck / Indigo_1</p>	 <p>Testdruck / Indigo_2</p>	 <p>Testdruck / Trockentoner</p>
 <p>Testdruck / Inkjet_1, pigmentbasiert</p>	 <p>Testdruck / Inkjet_2, pigmentbasiert</p>		

Wie in Kapitel 1 (Stand der bisherigen Forschung zum Deinking) beschrieben, ist das Deinkingverhalten von Druckerzeugnissen von dem Druckverfahren, der Druckfarbe und dem zu bedruckenden Rohpapier abhängig. Somit sind die innerhalb dieses Projekts generierten Ergebnisse nur für die in diesem Projekt eingesetzten Druckerzeugnisse und Altpapiermischungen gültig.

3.1.3 Flotationschemikalien

Zur Bewertung der Deinkbarkeit nach der INGEDE-Methode 11 [67], der DIN SPEC 55700 [68] sowie für die erste Flotationsstufe der in diesem Projekt neu entwickelten 2-Loop-Methode werden die Flotationschemikalien bei der Zerkleinerung des Druckproduktes in den Prozess eingetragen. Für die Versuche wird, wenn bei der Ergebnisdarstellung nicht anderweitig dokumentiert, die im Folgenden angegebene Standard-Deinkingrezeptur angewendet, die jeweils auf die eingesetzte Papiermenge in g_{otro} bezogen ist.

- 0,6 % Natriumhydroxid (100 %ig)
- 1,8 % Wasserglas (HW)
- 0,7 % Wasserstoffperoxid (100 %ig)
- 0,8 % Ölsäure (HW)

Für die zweite Flotation der 2-Loop-Methode wird die im Folgenden angegebene Rezeptur verwendet, die jeweils auf die eingesetzte Feststoffmenge in g_{otro} bezogen ist.

- 0,2 % Natriumhydroxid (100 %ig)
- 0,3 % Ölsäure (HW Einsatz in AP 2 und 3), 0,4 % (HW Einsatz in AP 4 und 6)

3.1.4 Bleichchemikalien

Zur Untersuchung der Bleiche wurden eine oxidative (Peroxid) und eine reduktive (Dithionit) Bleiche durchgeführt. Die Rezepturen für die Bleichchemikalien sind in **Tabelle 5** dargestellt und werden jeweils auf die eingesetzte Feststoffmenge in g_{otro} bezogen.

Tabelle 5: Bleichchemikalienmengen für die oxidative und reduktive Bleiche

	Oxidativ	Reduktiv
Wasserstoffperoxid (H_2O_2) in %	0,6 (100 %ig)	-
Wasserglas (Na_2SiO_3) in %	0,5	-
Natriumhydroxid (NaOH) in %	0,4 (100 %ig)	-
Natriumdithionit ($Na_2S_2O_4$) in %	-	0,3

3.2 Versuchsdurchführung

In diesem Unterkapitel werden zunächst die für die Bewertung der Deinkbarkeit eingesetzten Methoden (1-Loop und 2-Loop Methode) beschrieben. Zusätzlich werden die wichtigsten Prozessstufen beider Methoden näher erläutert.

3.2.1 1-Loop Methode

Zur Bewertung des Deinkingverhaltens im 1-stufigen Prozess wurden die Druckprodukte in Anlehnung an die DIN SPEC 55700 [68] und die INGEDE-

Methode 11 [67] untersucht. Bei den Versuchen zur Bewertung des Deinkingverhaltens von einzelnen Druckprodukten (Arbeitspaket 2) sowie dem Einfluss der Alterung auf das Deinkingverhalten (Arbeitspaket 3) wurde die Zerfaserung entsprechend der DIN SPEC 55700 bei einer Faserstoffdichte von 12 % durchgeführt. Dies entspricht dem Faserstoffeintrag bei der 2-Loop-Methode. Bei den Untersuchungen der Altpapiermischungen (Arbeitspaket 4) wurde entsprechend der INGEDE-Methode 11 von 2012 die Feststoffdichte von 15 % zur Zerfaserung eingesetzt.

3.2.2 2-Loop Methode

Beim bisherigen Stand der Technik werden im Labormaßstab grafische Produkte vorrangig anhand der INGEDE-Methode 11 [67] auf ihr Deinkingverhalten hin untersucht. Dabei werden die Druckprodukte nach der Zerfaserung einmal flotiert und der deinkte Stoff ausgewertet. Da in der heutigen Zeit die meisten industriellen Stoffaufbereitungsanlagen für die Herstellung von grafischem Papier auf Altpapierbasis nach der Zerfaserung und ersten Flotation eine Eindickung, eine Dispergierung und eine zweite Flotation aufweisen, werden diese weiteren Prozessschritte in der neu entwickelten 2-Loop Labormethode mit betrachtet. Durch diese Methode soll besonders das Verhalten von Altpapiermischungen im Labormaßstab in Anlehnung an die industrielle Praxis untersucht werden.

Das Grundprinzip der 2-Loop Methode folgt dem der INGEDE-Methode 11. Zunächst wird das Druckprodukt beschleunigt gealtert und anschließend für 20 min unter Zugabe der in Kapitel 0 beschriebenen Chemikalien zerfasert. Abweichend zur INGEDE-Methode 11 wird die Zerfaserung bei einer Faserstoffdichte von 12 % (entsprechend der DIN SPEC 55700) durchgeführt. Nach einer einstündigen Lagerung im Wasserbad wird der Faserstoff das erste Mal flotiert. Abweichend von der INGEDE-Methode 11 wird bei der ersten Flotation der 2-Loop Methode für 6 Minuten anstelle von 12 Minuten flotiert. Der flotierte Stoff wird anschließend mittels einer Durchlaufzentrifuge entwässert und in einem Labordisperger dispergiert. Unter Zugabe des in der Eindickung aufgefangenen Eindickfiltrats wird der dispergierte Stoff wieder verdünnt und unter Zugabe von Natriumhydroxid und Ölsäure ein weiteres Mal für 4 Minuten flotiert. Zur Messung des Weißgrads, des Hellbezugswerts sowie der $L^*a^*b^*$ -Werte werden 4 g otro Faserstoff mit gefiltertem Wasser auf 1 Liter aufgefüllt und anschließend abgenutscht. Es erfolgen jeweils vier Messungen an den Sieb- und Oberseiten der zwei Nutschenblätter, woraufhin der Mittelwert aus den 16 Einzelmesswerten gebildet wird. Die Schmutzpunktanalyse erfolgt an den beiden Laborblättern jeweils an der Sieb- und Oberseite, sodass ein Mittelwert aus vier Messungen gebildet wird. Für die Membranfilter werden 100 ml des Filtrats entwässert und anschließend optisch ausgewertet.

Das Aufbereitungsschema des 2-stufigen Laborprozesses, inklusive der Prozessparameter und der Stellen, an denen Faserstoff für die Auswertung entnommen wird, ist in **Abbildung 9** dargestellt. Die Entwicklung sowie die Ermittlung der Prozesseinstellungen für die 2-Loop Methode werden in Kapitel 4.1 (Entwicklung eines 2-stufigen Aufbereitungsprozesses im Labormaßstab) ausführlich beschrieben.

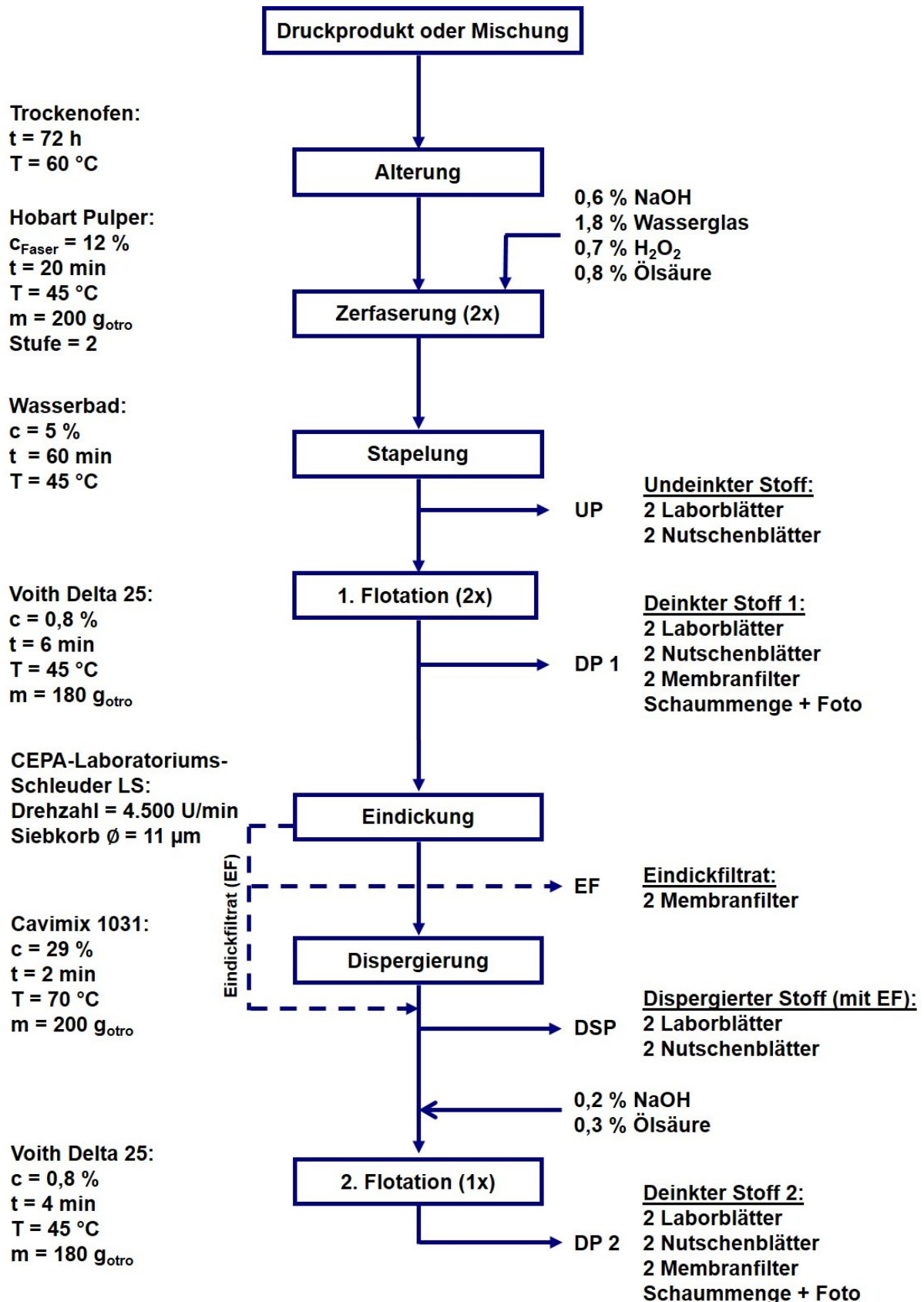


Abbildung 9: Aufbereitungsschema der 2-Loop Methode

3.2.3 Alterung

Im Allgemeinen werden Druckprodukte für die INGEDE-Methode sowie für die 2-Loop Methode zunächst für drei Tage beschleunigt gealtert. In diesem Projekt soll für ausgewählte Druckprodukte der Einfluss verschiedener Alterungsmöglichkeiten bei Variation der Alterungsdauer untersucht werden. Dafür wird zusätzlich zu den ungealterten Produkten (Referenzprodukte) die Alterung bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten nach 3 und 6 Tagen sowie nach 4, 12 und 40 Wochen untersucht. Die Lagerungen erfolgen im Trockenschrank bei 60 °C, im Kühlraum bei 4 °C und im Klimaraum bei Normklima von 23 °C und 50 % relative Luftfeuchte (r. L.).

3.2.4 Entwässerung mittels Durchlaufzentrifuge bzw. Wäscheschleuder

Bei der 2-Loop Methode muss der gesamte Feststoff nach der 1. Flotation zunächst für die anschließende Dispergierung entwässert werden. Dies wird mittels der durch dieses Projekt finanzierten Durchlaufzentrifuge "CEPA-Laboratoriums-Schleuder LS" durchgeführt, von der in **Abbildung 10** ein Schnittbild zu sehen ist. Der flotierte Stoff mit einer Stoffdichte von ca. 0,8 % wird zur Entwässerung mittels einer Pumpe in die Zentrifugentrommel befördert (Position 1). Abweichend zur Abbildung 10 wurde der Trichter durch eine Schlauchkupplung am Einlaufrohr ersetzt, sodass der Faserstoff mit einem Fördervolumen von bis zu 10 l/min in die Zentrifugentrommel gepumpt werden kann. In der Trommel ist ein Filterbeutel (Art.-Nr.: 240-48506) mit einer Maschenweite von 11 µm eingesetzt, welches den Stoff bei der Entwässerung zurückhält (Position 2). Über das Auslaufrohr wird das entwässerte Eindickfiltrat aufgefangen (Position 3). Die Durchlaufzentrifuge wird während des Entwässerungsvorgangs mit einer maximalen Drehzahl von 4.500 U/min betrieben.

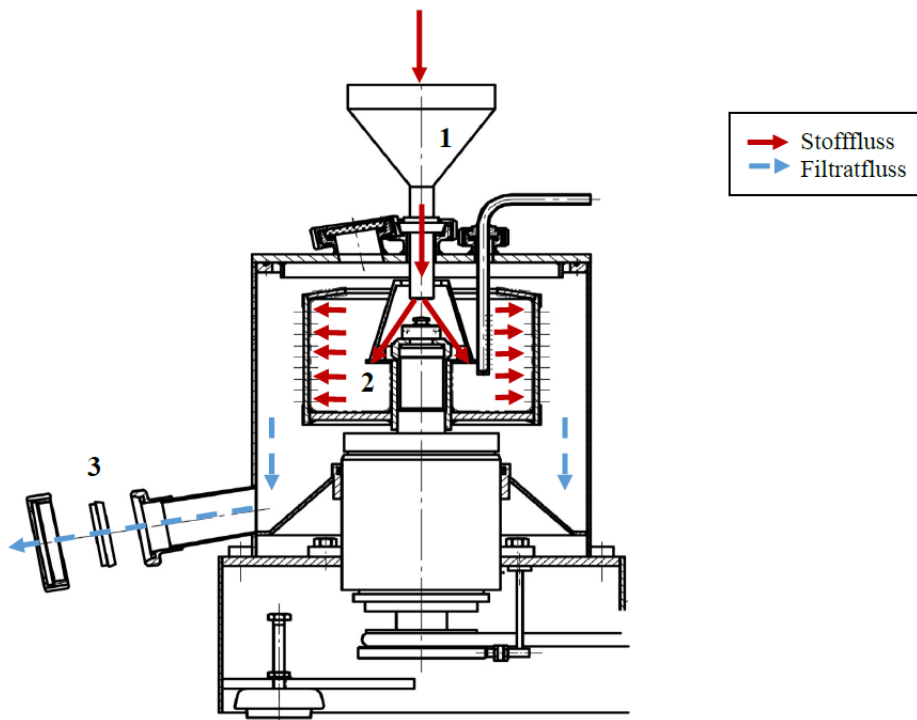


Abbildung 10: Schnittbild der verwendeten Durchlaufzentrifuge der Firma CEPA

Auf Grund mehrerer technischer Probleme und einer längeren Reparaturzeit konnte die Durchlaufzentrifuge für einen längeren Zeitraum nicht genutzt werden. Aus diesem Grund wurde die Entwässerung bei den Versuchen zu den Altpapiermischungen (Kapitel 4.4) und zur Optimierung des Prozesses durch Bleichsequenzen (Kapitel 4.5) vollständig mittels der oneConcept Wäscheschleuder (Modellnummer MNW3-WS-3500-SS-V3) durchgeführt. Eine ausführliche Beschreibung der Konzeption der Entwässerungsvorrichtung kann in der Arbeit von Wali [69] nachgelesen werden. Bei der Ergebnisdarstellung (Kapitel 4) wird entsprechend dokumentiert, welches Aggregat für die Entwässerung eingesetzt wurde.

3.2.5 Dispergierung

Die Dispergierung erfolgt mittels dem Labordisperger Cavimix 1031 für 2 Minuten bei 70 °C. Eingesetzt werden 215 g_{otro} bei einer Stoffdichte von 29 %.

3.2.6 Flotation

Die Flotationen nach der INGEDE-Methode 11 und der 2-Loop Methode werden mittels der Voith Delta-Laborflotationszelle bei einer Stoffdichte von 0,8 % durchgeführt. Dafür werden 180 g_{otro} zerfaserter Faserstoff bei 45 °C flотиert. Die Deinkingchemikalien (s. Kapitel 0) werden dem Faserstoff bei der vorherigen Zerfaserung hinzugegeben. Für die INGEDE-Methode 11 beträgt die Flotationsdauer 12 Minuten, wohingegen bei der 2-Loop Methode zunächst für 6 Minuten (1. Flotation) und im weiteren Prozess für 4 Minuten (2. Flotation) flотиert wird. Die Messungen der optischen Eigenschaften (Weißgrad und Farbort) werden an Nutschenblättern bei der Einstellung C/2°/0 UVEX durchgeführt.

3.2.7 Altpapiermischungen

Als Ausgangspunkt für die Bewertung der Deinkbarkeit von Altpapiermischungen wird zunächst eine vereinfachte Mischung aus Offset-Coldset Zeitungen, Tiefdruck Illustrierten sowie Offset-Heatset Zeitschriften und Werbeprospekten gewählt. Von der Mischung werden ein Teil der klassischen Produkte durch verschiedene Anteile an digitalen Druckerzeugnissen ersetzt (**Tabelle 6**). Die Deinkbarkeitsbewertung aller fünf Mischungen wird im 1- und 2-stufigen Deinkingprozess durchgeführt.

Tabelle 6: Variation der Anteile in % der Druckprodukte in den Altpapiermischungen

	Offset- Zeitung_2	Offset- Werbe- prospekt	Offset- Illustrierte	Tiefdruck- Illustrierte	Inkjet- Test- druck_2	Indigo- Test- druck_2
Referenz	40	10	30	20	0	0
Mischung 1	30	10	30	20	10	0
Mischung 2	10	10	30	20	30	0
Mischung 3	40	10	0	20	0	30
Mischung 4	25	5	5	5	30	30

Bei der Ergebnisdarstellung (Kapitel 4) werden die Mischungen wie folgt benannt:

- Referenz - MIX Referenz
- Mischung 1 - MIX 10 % Inkjet
- Mischung 2 - MIX 30 % Inkjet
- Mischung 3 - MIX 30 % Indigo
- Mischung 4 - MIX 30 % Inkjet + 30 % Indigo

3.2.8 Verwendete Normen

In dieser Arbeit wurden die in der folgenden Tabelle aufgelisteten Parameter auf Grundlage der dazu angegebenen Normen gemessen. Bei Abweichungen zur Norm ist dies bei der Ergebnisdarstellung entsprechend angegeben.

Tabelle 7: Normen zu gemessenen papiertechnologischen Eigenschaften

Parameter	Norm
Aschebestimmung bei 525 °C	ISO 1762:2001
Faserstoffe – Nassaufschlagen im Labor	ISO 5263-2:2004
Halbstoffe - Bestimmung der Stoffdichte	DIN EN ISO 4119; 05/1996
Laborblattbildung für physikalische Prüfungen	DIN EN ISO 5269-2; 10/2000
Deinking	INGEDE-Methode 11 und DIN SPEC 55700
Bestimmung optischer Eigenschaften von Deinkingstoffen und Filtraten	INGEDE-Methode 2
Papier, Pappe und Faserstoff – Bestimmung des Trockengehaltes – Wärmeschränkverfahren	DIN EN ISO 638; 01/2009
Normklima für die Vorbehandlung und Prüfung und Verfahren zur Überwachung des Klimas und der Probenvorbehandlung	DIN EN 20187; 11/1993
Herstellung von Probeblättern und Filtraten aus Deinkingstoff für die Bestimmung optischer Eigenschaften	INGEDE-Methode 1

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Entwicklung eines 2-stufigen Aufbereitungsprozesses im Labormaßstab

Zur Entwicklung des Aufbereitungsprozesses für den 2-stufigen Deinkingprozess, der die aktuelle industrielle Stoffaufbereitung von grafischen Druckerzeugnissen widerspiegelt, wurden in vier Papierfabriken Faserstoffproben vor und nach der ersten und zweiten Flotation sowie am Ein- und Auslauf der Dispergierung gezogen. Von diesen Faserstoffproben wurden die optischen Eigenschaften sowie die Aschegehalte bestimmt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in **Tabelle 8** aufgelistet.

Tabelle 8: Referenzierung der Industrieproben

	Parameter	Einheit	1. Flotation		Dispergierung		2. Flotation	
			Zulauf	Gutstoff	Zulauf	Auslauf	Zulauf	Gutstoff
Zeitungsdruckpapier	Aschegehalt (525 °C)	%	k. M.	k. M.	k. M.	k. M.	25,1	17,7
	Weißgrad R ₄₅₇	%	45,2	51,9	53,5	52,9	51,2	56,5
	Schmutzpunkte Anzahl	Anzahl/m ²	71.349	27.599	47.790	19.104	23.340	45.667
	Schmutzpunktfläche Gesamt	mm ² /m ²	1.019	345	881	254	248	570
	Schmutzpunktfläche > 250 µm	mm ² /m ²	455	121	403	96	60	192
Kopierpapier	Aschegehalt (525 °C)	%	23,5	10,0	11,5	12,0	10,0	7,9
	Weißgrad R ₄₅₇	%	42,1	52,9	53,3	54,6	53,5	56,9
	Schmutzpunkte Anzahl	Anzahl/m ²	51.571	59.455	34.188	14.646	10.706	9.681
	Schmutzpunktfläche Gesamt	mm ² /m ²	593	750	400	300	147	124
	Schmutzpunktfläche > 250 µm	mm ² /m ²	174	265	124	187	59	46
grafisches Publikationspapier	Aschegehalt (525 °C)	%	33,9	21,0	17,1	19,1	24,3	16,3
	Weißgrad R ₄₅₇	%	46,2	59,1	60,2	63,6	59,9	62,5
	Schmutzpunkte Anzahl	Anzahl/m ²	66.284	62.167	25.094	12.809	37.094	21.249
	Schmutzpunktfläche Gesamt	mm ² /m ²	745	967	296	144	907	317
	Schmutzpunktfläche > 250 µm	mm ² /m ²	226	416	82	31	590	136
SC-Papier	Aschegehalt (525 °C)	%	38,2	33,8	22,3	22,9	29,4	27,2
	Weißgrad R ₄₅₇	%	49,4	59,3	56,2	60,4	58,3	64,7
	Schmutzpunkte Anzahl	Anzahl/m ²	34.514	27.795	21.859	7.395	9.563	6.563
	Schmutzpunktfläche Gesamt	mm ² /m ²	473	439	287	97	111	127
	Schmutzpunktfläche > 250 µm	mm ² /m ²	191	202	99	37	37	72

Ziel des Arbeitspakets war es, in den Laborprozessen mit der Industrie vergleichbare Ergebnisse für die Einzelaggregate zu erzielen. Um den Versuchsaufwand handhabbar zu halten und die Vergleichbarkeit mit den bestehenden Labormethoden zu gewährleisten, wurden die Standardbedingungen eingehalten und zunächst die Behandlungszeit und Stoffdichte bei der Flotation variiert. Somit wurde in der 1. und 2. Flotation über 2, 4 und 8 Minuten bei 0,8 – 1,7 % Stoffdichte flотиert sowie 1, 2 und 4 Minuten dispergiert.

Die Untersuchungen zur 1. Flotation im Labormaßstab zeigen, dass die industrielle Weißgradsteigerung bei dem Faserstoff für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier nach ca. 3 Minuten, bei den Faserstoffen für die Herstellung von höherwertigen Altpapierqualitäten nach ca. 8 Minuten flотieren erreicht wird. Deutlich wird, dass der Aschegehalt und vor allem die Ausbeute mit steigender Flotationszeit signifikant sinken. Aus diesem Grund wurde zusammen mit dem projektbegleitenden Ausschuss ein Kompromiss zwischen Weißgrad und Ausbeute geschlossen und die Flotationszeit für die erste Flotation auf 6 Minuten festgelegt. Zur Veranschaulichung sind in **Abbildung 11** die Entwicklungen des Weißgrads, des Aschegehalts und der Ausbeute des Zeitungsdruckpapiers (Stoffdichte Flotation: 0,8 %) und des grafischen Publikationspapiers (Stoffdichte Flotation: 1,5 %) dargestellt. Die Ergebnisse der weiteren Faserstoffe sind im Anhang in Tabelle A.1 zusammengefasst.

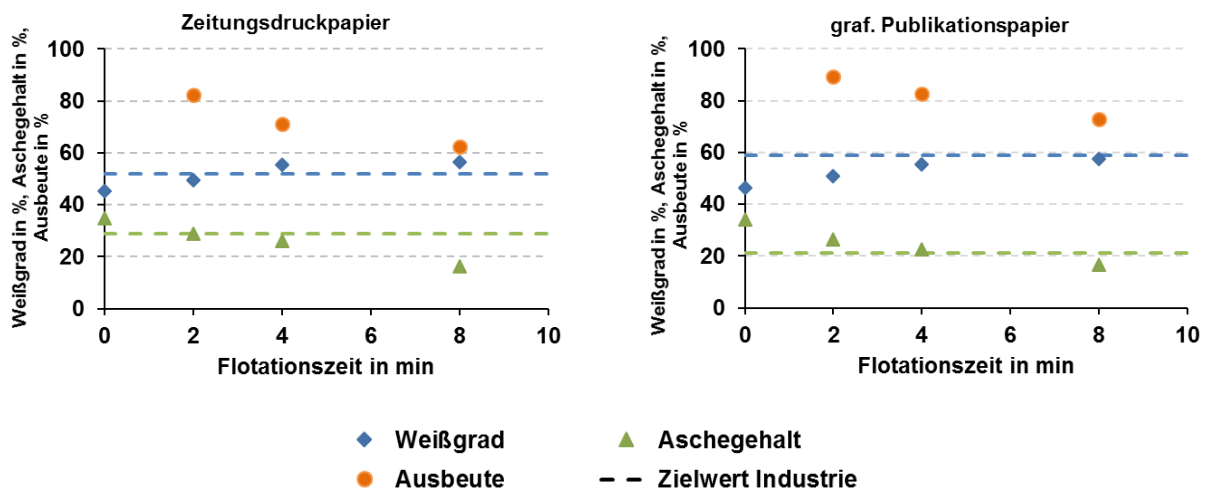


Abbildung 11: Auswirkung der Flotationszeit im Labor auf die 1. Flotation

Für die Untersuchung der optimalen Dispergierzeit wurden die Anzahl der Schmutzpunkte sowie die Schmutzpunktf lächen der Faserstoffe ausgewertet. In **Abbildung 12** sind diese beispielhaft für das Zeitungsdruckpapier und das grafische Publikationspapier dargestellt. Die Ergebnisse der weiteren Faserstoffe sind im Anhang in Tabelle A.2 zusammengefasst. Es zeigt sich zusammenfassend, dass bei den vier untersuchten Faserstoffen nach ca. 2 Minuten Dispergierung eine Schmutzpunktreduzierung ähnlich der Industrie erreicht wird.

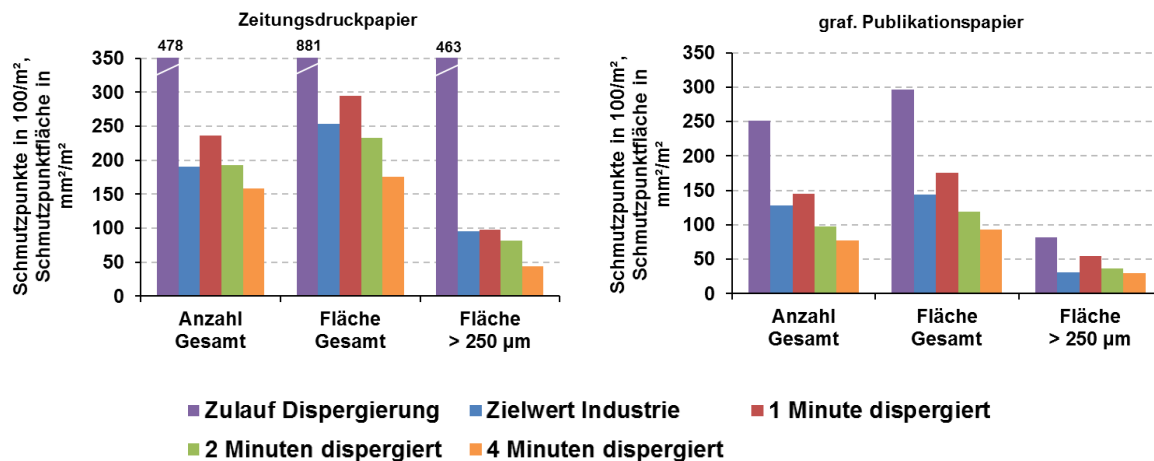


Abbildung 12: Auswirkung der Dispergierzeit im Labor (SD: 24 %)

Aus verfahrenstechnischen Gründen ist es sinnvoll, die Stoffdichte während der Dispergierung zu erhöhen, damit für die anschließende 2. Flotation mit einem Dispergieransatz ausreichend Stoff zur Verfügung steht. Dafür wurden Vergleichsversuche bei einer Stoffdichte von 29 % im Disperger bei einer Dispergierzeit von 1 und 4 Minuten durchgeführt. Da die Ergebnisse mit denen bei einer Stoffdichte von 24 % vergleichbar sind, wurde für die 2-Loop Methode eine Dispergierstoffdichte von 29 % festgelegt. Die gemessenen Schmutzpunkte und der Weißgrad sind in **Tabelle 9** gegenübergestellt.

Tabelle 9: Einfluss der Stoffdichte auf die Dispergierung im Labormaßstab

Dispergierzeit in Minuten	1		4	
	24	29	24	29
Weißgrad in %	58,5	59,4	57,5	57,2
Hellbezugswert Y	65,3	66,0	63,6	63,8
Schmutzpunktanzahl in Anzahl/m ²	14.508	14.747	7.712	9.061
Schmutzpunktfläche Gesamt in mm ² /m ²	176	165	93	111
Schmutzpunktfläche > 250 µm in mm ² /m ²	54	42	30	35

Zur Bestimmung der Flotationszeit für die 2. Flotation sind ausgewählte Parameter in **Abbildung 13** dargestellt. Es wird deutlich, dass der in der Industrie gemessene Weißgrad im Labormaßstab nach einer ca. 8-minütigen Flotation erreicht wird. Jedoch wird auch hier die Ausbeute mit steigender Flotationszeit signifikant reduziert. Für die 2. Flotation wurde somit eine Dauer von 4 Minuten festgelegt. Die Ergebnisse der weiteren Faserstoffe sind im Anhang in Tabelle A.3 zusammengefasst.

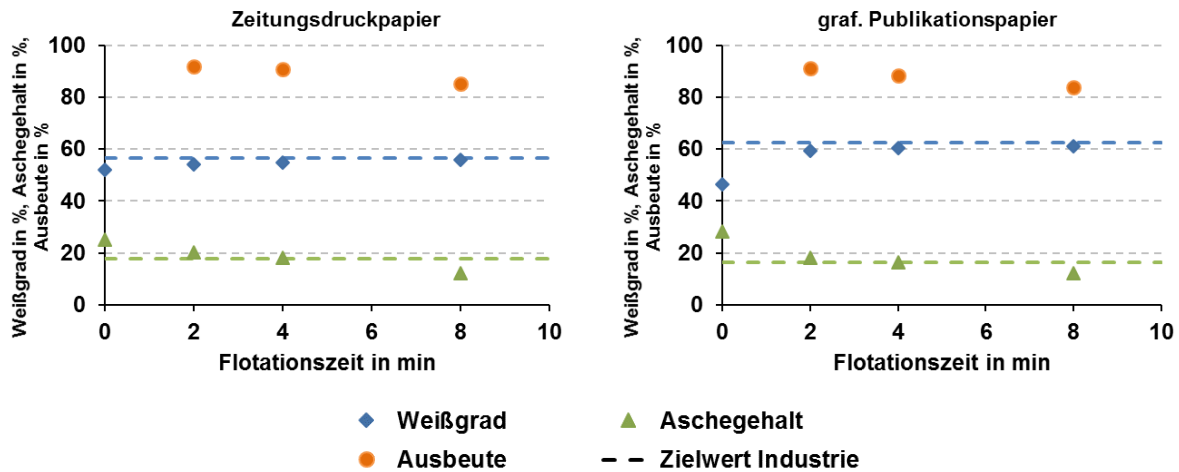


Abbildung 13: Auswirkung der Flotationszeit im Labor auf die 2. Flotation (SD: 0,8 %)

Für beide Flotationsstufen wurden die Flotationen neben der Standardstoffdichte von 0,8 % zusätzlich bei ca. 1,6 % durchgeführt. Wie im Anhang in Tabelle A.1 und A.3 am Beispiel für SC-Papier zu erkennen, wird durch die höhere Stoffdichte weniger Asche ausgetragen und die Faserausbeute gesteigert, jedoch wird ein um ca. 2 %-Punkte geringerer Weißgrad erreicht.

Abschließend wurde die neu entwickelte 2-Loop Methode mit einer weiteren Industrieanlage für SC-Papier verglichen (**Tabelle 10**). Der Weißgrad liegt dabei im Labormaßstab leicht unterhalb des Weißgrads der Industrieproben. Zum einen könnte der Weißgrad durch eine längere Flotationszeit gesteigert werden. Des Weiteren muss beachtet werden, dass in der Industrie während der Dispergierung teilweise gebleicht wird, wodurch der Endweißgrad des Papiers erhöht wird. Die Schmutzpunktzahl und -flächen sind bei den hier vorgestellten Industrie- und Laborergebnissen vergleichbar, wobei die großen Schmutzpunkte (> 250 µm flächengleichem Kreisdurchmesser) scheinbar durch den Labordisperger stärker zerkleinert werden. Insgesamt ist zu erkennen, dass im Vergleich zur Industrie im Laborprozess deutlich mehr Asche ausgetragen wird.

Tabelle 10: Validierung 2-Loop Aufbereitungsprozess mit Industrieprobe

Parameter	Einheit	Industrieprobe	Laborprobe
Weißgrad R ₄₅₇	%	64,7	62,2
Y-Wert	-	71,6	70,7
Schmutzpunktzahl	Anzahl/m ²	6.950	7.160
Schmutzpunktfläche Gesamt	mm ² /m ²	126	99
Schmutzpunktfläche > 250 µm	mm ² /m ²	71	38
Aschegehalt	%	27,2	10

Für den Verfahrensablauf des neu entwickelten 2-Loop Aufbereitungsprozesses wird an dieser Stelle auf Kapitel 3.2.2 (2-Loop Methode) verwiesen, in dem das Aufbereitungsschema ausführlich beschrieben ist.

4.2 Deinkingverhalten einzelner Druckobjekte ohne Alterung

Zur Bewertung der Deinkbarkeit verschiedener Druckprodukte werden in diesem Kapitel ausgewählte Produkte im 1-stufigen Deinkingprozess gemäß der INGEDE-Methode 11 sowie der neu entwickelten 2-Loop Methode untersucht und bewertet. Zusätzlich erfolgt die Auswertung der Deinkingergebnisse des 1-stufigen Prozesses nach der EPRC Deinkability Scorecard. Wie schon in Kapitel 3.2.1 beschrieben, erfolgte die Zerfaserung im 1-stufigen Deinkingprozess bei der Feststoffdichte von 15 % und nach der 2-Loop Methode bei der Faserstoffdichte von 12 %. Bei der Zerfaserung des Offset-Heatset Werbedrucks, der Trockentoner- und der Inkjet-Probe wurde die gesamte Deinkingchemikalienrezeptur eingesetzt. Auf Grund des pH-Wertes nach der Zerfaserung (vgl. INGEDE-Methode 11), wurde bei der Zeitung, der Offset-Heatset Illustrierten und der Tiefdruck Illustrierten die halbe Natronlaugen- und Wasserglasmenge bei der Zerfaserung verwendet. An dieser Stelle soll auch nochmals erwähnt werden, dass die Flotationszeit im 1-stufigen Deinkingprozess mit 12 Minuten höher ist als die Flotationszeit der 2-Loop Methode mit 6 Minuten (1. Flotation) und 4 Minuten (2. Flotation).

In **Abbildung 14** sind für ausgewählte Druckprodukte zum einen der Weißgrad nach der 1. Flotation für die Deinkbarkeitsuntersuchungen im 1-stufigen Deinkingprozess sowie für den 2-stufigen Deinkingprozess nach der 2. Flotation dargestellt. Des Weiteren sind die jeweiligen Weißgradsteigerungen im Vergleich zum undeinkten Fasererstoff in den Balken mit angegeben. Eine ausführlichere Darstellung der Weißgradentwicklung nach den jeweiligen Prozessschritten (Disperger etc.) folgt im weiteren Verlauf dieses Kapitels. Insgesamt wird in der Abbildung deutlich, dass durch das Deinken der Weißgrad der Offset-Coldset Zeitungen zwischen 9 % und 15 % ansteigt. Durch das Deinken mittels der 2-Loop Methode liegt der Endweißgrad zwar zwei bis vier Prozentpunkte unterhalb des Weißgrads der 1-stufigen Deinkingergebnisse, jedoch zeigt zum Beispiel die Weißgraderhöhung der Offset Coldset – Zeitung_2, dass durch das Deinken bei beiden Methoden gleich viel Weiße gewonnen werden kann. Bei dem Offset Werbedruck ist zu erkennen, dass auch hier die Weißgradsteigerung bei beiden Deinkingmethoden mit 21 - 22 %-Punkten auf gleichem Niveau liegen, der Endweißgrad nach der 2-Loop Methode jedoch zwei Prozent höher liegt. Bei den Offset-Heatset und Tiefdruck Illustrierten wird durch die 2-Loop Methode ein um ca. 3 % höhere Weißgradsteigerung als im 1-stufigen Deinkingprozess erreicht, was sich auch in einem ein bis zwei Prozentpunkte höherem Endweißgrad widerspiegelt. Durch den 2-Loop-Prozess wurde der Weißgrad der Offset-Heatset Illustrierten um 24 %-Punkte und der Tiefdruck Illustrierten um 21 %-Punkte gesteigert. Die in dieser Abbildung vorgestellten digitalen Druckprodukte weisen insgesamt einen höheren Endweißgrad auf als die klassischen Druckprodukte. An dieser Stelle muss nochmal angemerkt werden, dass die klassischen Druckprodukte größtenteils auf altpapierbasierten Rohpapier gedruckt wurden und als

fertiges Druckprodukt im Handel verfügbar sind. Die digitalen Druckprodukte hingegen sind Testdrucke, die meist auf gestrichenem Frischfaserpapier gedruckt wurden. Es ist zu erkennen, dass der Endweißgrad der Indigo und Trockentoner Produkte mit $85 \pm 1 \%$ nach dem Deinken im 1-stufigen sowie im 2-stufigen Prozess auf gleichem Niveau liegen. Jedoch wird mittels der 2-Loop Methode eine geringere Weißgradsteigerung erreicht. Bei dem Inkjet Testdruck_1 wird der Weißgrad durch die 2-Loop Methode stärker erhöht (+ 17 %) als im 1-stufigen Deinkingprozess, was sich in einem fast 4 % höherem Endweißgrad widerspiegelt. Insgesamt weist dieser Inkjet Testdruck einen ungewöhnlich hohen Weißgrad und eine gute Deinkbarkeit auf (vgl. die Deinkingergebnisse des Inkjet Testdruck_2 in **Tabelle 20**), was demnach vor allem bezüglich der aktuell auf dem Markt vorhandenen Inkjetprodukte nicht verallgemeinert werden darf.

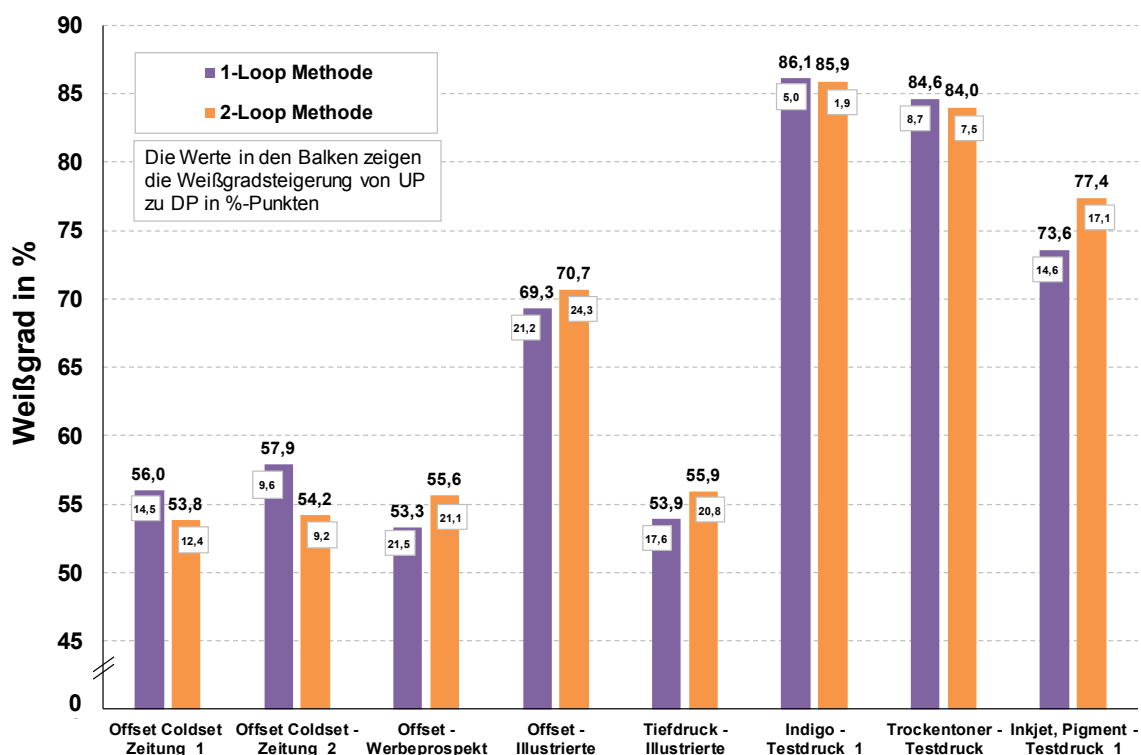


Abbildung 14: Bestimmung des Deinkingverhaltens ungealteter Druckprodukte am Beispiel des Weißgrads

Zur Veranschaulichung der Weißgradentwicklung nach den einzelnen Prozessschritten bei der 2-Loop Methode, wird von ausgewählten Druckprodukten der Weißgrad des undeinkten Faserstoffs sowie des deinkten Faserstoffs nach der 1. Flotation, der Dispergierung und der 2. Flotation in **Tabelle 11** dargestellt. Es ist auffällig, dass bei der Offset-Coldset Zeitung_1 und dem Trockentoner Testdruck der Weißgradgewinn durch die 2. Flotation zuvor durch die Dispergierung gänzlich eingebüßt wird. Beim Indigo Testdruck_1 erfolgt eine leichte Weißgradänderung durch die 1. Flotation und die Dispergierung, wohingegen die 2. Flotation keine Auswirkung auf den Weißgrad hat. Im Vergleich zu den anderen Proben hat die Dispergierung keinen Einfluss auf den Weißgrad des pigmentbasierten Inkjet Testdrucks_1. Hier wird durch die 1. Flotation sowie durch die 2. Flotation der Weißgrad erhöht.

Tabelle 11: Einfluss der Prozessschritte im 2-Loop Prozess auf den Weißgrad (R_{457} C/2°/0 UVEX) in % der ungealterten Druckprodukte

	Undeinkter Faserstoff	Deinkter Faserstoff		
		nach 1. Flotation	nach Disperger	nach 2. Flotation
Offset Coldset Zeitung_1	41,4	53,9	47,3	53,8
Indigo -Testdruck_1	84,0	87,1	85,7	85,9
Trockentoner - Testdruck	76,5	84,4	77,8	84,0
Inkjet, Pigment – Testdruck_1	60,3	70,9	70,5	77,4

Neben dem Weißgrad wurden zusätzlich die $L^*a^*b^*$ -Werte gemessen, die eine Aussage über die Helligkeit der Probe (L^* -Wert), die Verschiebung auf der rot – grün-Achse (a^* -Wert) und die Verschiebung auf der gelb – blau-Achse (b^* -Wert) geben. Die Helligkeitswerte liegen nach dem Deinken der jeweiligen Produkte im 1-stufigen sowie im 2-stufigen Prozess mit einer Schwankung bis maximal 3 Punkte auf gleichem Niveau. Bei Betrachtung der undeinkten Proben ist zu sehen, dass die a^* -Werte bei allen Proben insgesamt ins grünliche gehen. Lediglich der Offset-Werbeprospekt und die Indigo-Probe liegen im rötlichen Bereich. Die Verschiebung der a^* -Werte erfolgt durch das Deinken tendenziell weiter in den grünlichen Bereich. Die b^* -Werte zeigen, dass die Faserstoffe durch das Deinken weiter in den gelben Bereich verschoben werden. Dies ist vor allem bei den beiden Zeitungsproben zu erkennen, bei denen eine Änderung des b^* -Wertes von ca. 4 Punkten gemessen wird. Tendenzuell ist die Verschiebung der b^* -Werte bei den klassischen Druckprodukten höher als bei den digitalen Druckprodukten. Im Vergleich der beiden Deinkingmethoden folgen diese optischen Kennwerte bei den verschiedenen Produkten keinem eindeutigen Trend, sodass keine Aussage darüber getroffen werden kann, welche Methode zu einer stärkeren Verschiebung führt. Die einzelnen Messwerte sind im Anhang in Tabelle A.4 dargestellt.

Zur weiteren Bewertung der optischen Eigenschaften wurde die Entwicklung der Schmutzpunkte durch das Deinken im 1-stufigen sowie im 2-stufigen Prozess untersucht. In **Abbildung 15** ist die gesamte Schmutzpunktfläche nach dem Deinken dargestellt, in **Tabelle 12** wird des Weiteren die Schmutzpunktfläche über 250 μm sowie die Schmutzpunktanzahl aufgeführt. Deutlich wird in der Abbildung, dass die gesamte Schmutzpunktfläche der Zeitungen höher liegt als bei den anderen klassischen Druckprodukten. Bei den digitalen Druckprodukten sticht vor allem die Schmutzpunktfläche des Indigo Testdrucks_1 heraus. Dieser einseitig bedruckte Testdruck weist nach der 2. Flotation die höchste Schmutzpunktfläche auf, sowohl über das gesamte Größenspektrum, als auch bei den großen Schmutzpunkten mit über 250 μm flächengleichem Kreisdurchmesser. Beim Deinken mittels der 2-Loop Methode wird bei den Druckprodukten, die insgesamt höhere Schmutzpunktflächen

aufweisen, eine signifikant niedrigere Schmutzpunktfäche erreicht als nach dem Deinken im 1-stufigen Prozess. Diese wird durch die Dispergierung und die anschließende 2. Flotation bewirkt. Dieser Trend spiegelt sich auch bei der Schmutzpunktfäche > 250 μm sowie der Schmutzpunktanzahl wieder (Tabelle 12). Auffällig ist, dass auch wenn die gesamte Schmutzpunktfäche bei einigen Produkten nach der 2-Loop Methode höher ist als nach dem Deinken im 1-stufigen Prozess, dennoch die Schmutzpunktanzahl bei allen untersuchten Druckprodukten niedriger ausfällt. So wird zum Beispiel bei der Tiefdruck Illustrierten durch den 1-stufigen Deinkingprozess die gleiche Schmutzpunktfäche erreicht wie nach der 2-Loop Methode. Dennoch wird nach dem 2-stufigen Prozess nur noch die Hälfte an Schmutzpunkten gezählt wie nach dem 1-stufigen Deinkingprozess. Des Weiteren fällt bei Betrachtung der Schmutzpunktverteilung auf, dass durch die 2-Loop Methode vor allem die kleinen Schmutzpunktfächen bis ca. 150 μm ausgetragen werden. Die Schmutzpunktfächen der größeren Schmutzpunkte über 200 μm werden durch die 2-Loop Methode zwar reduziert, liegen jedoch nach dem Deinken insgesamt auf höherem Niveau als nach dem 1-stufigen Deinkingprozess. Dieser Trend spiegelt sich im Großen und Ganzen bei allen untersuchten Proben wieder. Die dazugehörigen Daten sind im Anhang in Tabelle A.5 aufgelistet. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels wird eine detailliertere Betrachtung der Schmutzpunkte nach den verschiedenen Prozessstufen bei der 2-Loop Methode für ausgewählte Produkte durchgeführt.

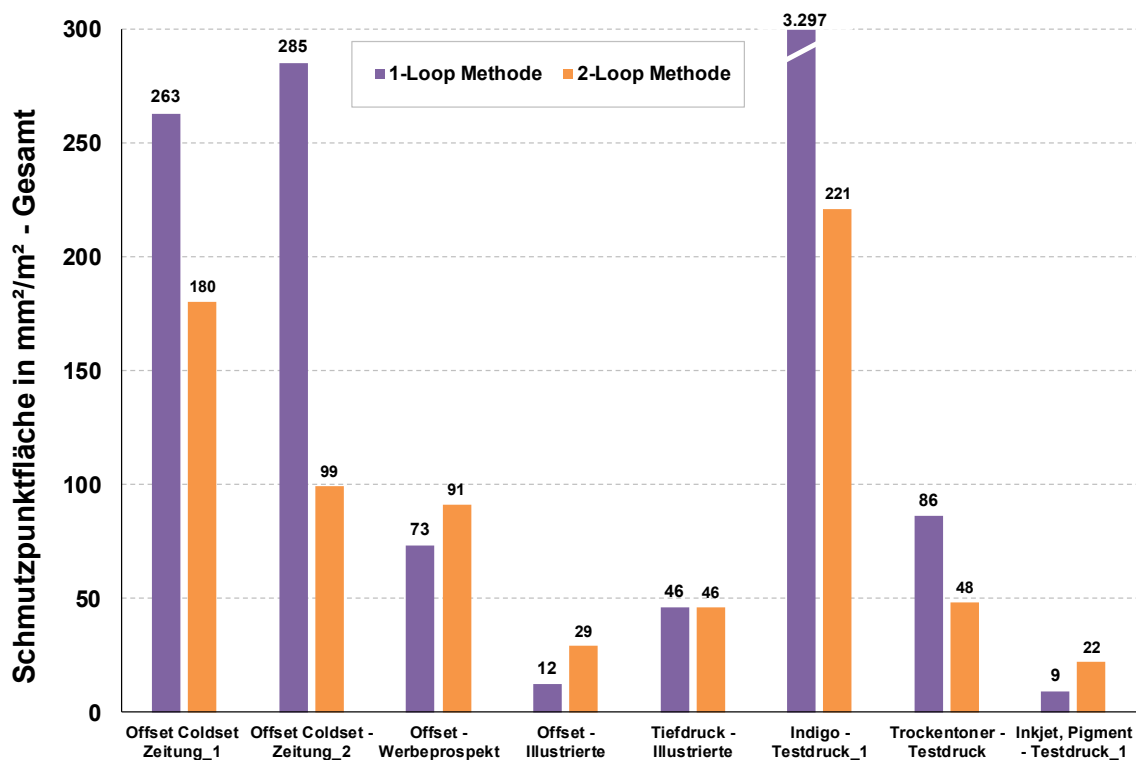


Abbildung 15: Bestimmung des Deinkingverhaltens ungealteter Druckprodukte am Beispiel der gesamten Schmutzpunktfäche

Tabelle 12: Schmutzpunkte verschiedener ungealteter Druckprodukte nach Deinking

	Schmutzpunktfläche > 250 µm in mm ² /m ²		Schmutzpunktanzahl in #/m ²	
	1-Loop Methode	2-Loop Methode	1-Loop Methode	2-Loop Methode
Offset Coldset Zeitung_1	51	79	31.476	14.420
Offset Coldset - Zeitung_2	56	45	33.131	6.985
Offset - Werbeprospekt	14	37	7.454	6.343
Offset - Illustrierte	6	22	886	825
Tiefdruck - Illustrierte	9	22	4.989	2.703
Indigo - Testdruck_1	2.988	95	37.814	8.394
Trockentoner - Testdruck	62	36	4.488	1.384
Inkjet, Pigment - Testdruck_1	4	17	643	534

Zur Veranschaulichung der Schmutzpunktentwicklung nach den einzelnen Prozessschritten bei der 2-Loop Methode, wird von ausgewählten Druckprodukten die Schmutzpunktfläche des undeinkten Faserstoffs sowie des deinkten Faserstoffs nach der 1. Flotation, der Dispergierung und der 2. Flotation in **Tabelle 13** dargestellt. Wie zu erwarten wird die Schmutzpunktfläche durch die Dispergierung bei der Zeitung, der Indigo- und der Trockentonerprodukte signifikant reduziert. Des Weiteren werden auch durch die zweite Flotation bei der Indigo-Probe eine signifikante Menge an Schmutzpunkten ausgetragen. Es ist zu erkennen, dass sich die Schmutzpunktfläche der deinkten Zeitung und der Trockentonerprobe im Vergleich zum dispergierten Faserstoff durch die 2. Flotation wieder erhöht. Bei Betrachtung der Schmutzpunktverteilung fällt auf, dass der Anstieg der Schmutzpunktfläche der Trockentonerprobe nur durch einige wenige große Schmutzpunkte > 500 µm verursacht wird und die Schmutzpunkflächen insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau liegen, wo sich Messungenauigkeiten direkt bemerkbar machen. Vorgreifend zum nächsten Kapitel soll an dieser Stelle auch noch erwähnt werden, dass bei allen weiteren untersuchten Trockentonerprodukten die Schmutzpunktfläche durch die 2. Flotation weiter abnimmt und nicht wie hier wieder ansteigt. Die Schmutzpunktentwicklung der Zeitung muss mit Vorsicht betrachtet werden, da aus den Flotationen und der Dispergierung Helligkeitsunterschiede bzw. Weißgradveränderungen bei den Laborblättern resultieren (vgl. Tabelle 9) und somit der Kontrast zu den Schmutzpunkten bei der Domas-Messung verändert wird. Dadurch können zum Beispiel nach den Flotationen tendenziell mehr kleinere Schmutzpunkte gemessen werden, die beim dunkleren Stoff vor den Flotationen nur nicht detektiert wurden.

Tabelle 13: Einfluss der Prozessschritte im 2-Loop Prozess auf die gesamte Schmutzpunktfläche in mm²/m² ungealteter Druckprodukte

	Undeinkter Faserstoff	Deinkter Faserstoff		
		nach 1. Flotation	nach Disperger	nach 2. Flotation
Offset Coldset Zeitung_1	348*	334	116*	180
Indigo -Testdruck_1	21.896	2.669	935	221
Trockentoner - Testdruck	405	k. A.	21**	48**
Inkjet - Pigment, wasserbasiert	50	8	46	22

* Werte unter Vorbehalt betrachten – Auf Grund des dunkleren Faserstoffs der Proben vor den Flotationen werden durch den Kontrastunterschied ggf. weniger Schmutzpunkte detektiert als vorhanden sind.

** Werte unter Vorbehalt betrachten – Im nächsten Kapitel zur Alterung wird die Schmutzpunktfläche bei allen weiteren Versuchen mit Trockentoner durch die 2. Flotation im Vergleich zur Dispergierung weiter gesenkt.

Als weiterer Parameter wurde die Entwicklung des Aschegehalts durch das Deinking im 1- und 2-stufigen Prozess analysiert. Dafür wird in **Abbildung 16** neben dem Aschegehalt der deinkten Probe auch der prozentuale Ascheaustrag mit angegeben.

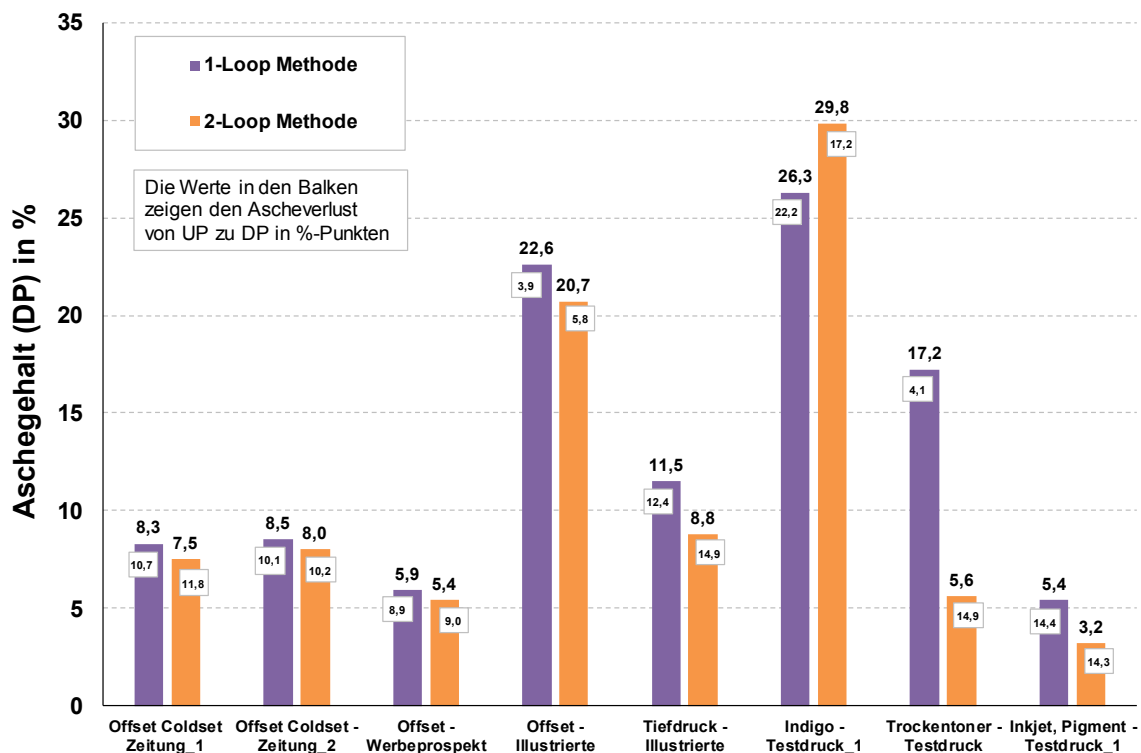


Abbildung 16: Einfluss des Deinkings auf den Aschegehalt ungealteter Druckprodukte

Es wird in Abbildung 16 deutlich, dass der Aschegehalt bei den Zeitungen und dem Werbefrospekt bei beiden Methoden auf gleichem Niveau reduziert wird. Durch die beiden Flotationen bei der 2-Loop Methode werden im Vergleich zum 1-stufigen Deinkingprozess bei den beiden Illustrierten ca. 2 % mehr Asche ausgetragen. Bei der Inkjetprobe wird durch die 2-Loop Methode ein geringerer Aschegehalt erreicht, jedoch wurde prozentual bei beiden Methoden gleich viel Asche ausgetragen. Auffällig sind

besonders die Aschegehalte der Indigo- und Trockentonerprodukte. Bei der Trockentonerprobe werden durch die 2-Loop Methode ca. 10 % mehr Asche aus dem Faserstoff ausgetragen. Entgegen dem Trend der bisher vorgestellten Produkte wird bei der Indigoprobe durch den 1-stufigen Deinkingprozess mehr Asche ausgetragen. Bei Betrachtung der Aschegehalte beim Einfluss der Alterung auf das Deinkingergebnis (Kapitel 4.3) zeigt sich, dass es bei der Indigoprobe keinen eindeutigen Trend gibt, bei welchem Prozess mehr Asche ausgetragen wird. Des Weiteren wird deutlich, dass die Stoffdichte im Überlauf der Flotationen signifikant zwischen 1,0 % und 15,1 % variiert. Im Vergleich zu den anderen Druckprodukten liegt der Aschegehalt der undeinkten Indigoprobe mit ca. 48 % verhältnismäßig hoch. Erst der deinkte Faserstoff weist einen Aschegehalt auf, der auf dem Niveau der undeinkten Faserstoffe der anderen Druckprodukte liegt.

Zur Verdeutlichung der Entwicklung des Aschegehalts sowie der Faserausbeute sind diese Werte für ausgewählte Druckprodukte nach der 1. und 2. Flotation beim Deinking im 1- und 2-stufigen Deinkingprozess in **Tabelle 14** dargestellt. Auffällig ist, dass vor allem beim Trockentoner der Großteil der Asche durch die 2. Flotation ausgetragen wird. Die Faserausbeute der deinkten Druckprodukte liegt beim Deinking mittels der 2-Loop Methode nach der 2. Flotation meist ein bisschen höher als nach der 1. Flotation des 1-stufigen Deinkingprozesses. Dies kann daraus resultieren, dass die gesamte Flotationszeit beim 1-stufigen Deinkingprozess zwei Minuten länger ist. Lediglich beim Trockentoner Testdruck liegt die Faserausbeute beim Deinking nach der 2-Loop Methode 4,5 % niedriger. Bei diesem Druckprodukt war auch ein signifikanter Unterschied beim Ascheaustrag zu sehen, wo nach der 2. Flotation der 2-Loop Methode knapp 12 % mehr Asche ausgetragen wurden als nach der 1. Flotation der des 1-stufigen Deinkingprozesses. Insgesamt kann gezeigt werden, dass es (auch unter Einbezug der Daten aus Kapitel 4.3) keine Korrelation zwischen dem Aschegehalt bzw. der Faserausbeute und den erzielten Weißgraden gibt.

Tabelle 14: Entwicklung des Aschegehalts und der Faserausbeute von verschiedenen Druckprodukten beim Deinking im 1- und 2-stufigen Prozess

		Zeitung_1		Indigo_1		Trockentoner		Inkjet_1	
		1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop
Aschegehalt in %	Undeinkt	19,0	19,3	48,5	47,0	21,3	20,5	19,8	17,5
	1. Flotation	8,3	10,7	26,3	39,8	17,2	18,5	5,4	7,9
	2. Flotation	-	7,5	-	29,8	-	5,6	-	3,2
Faseraus- beute in %	1. Flotation	86,3	89,7	78,9	95,8	90,6	93,1	90,6	93,3
	1.+2. Flotation	-	87,0	-	83,4	-	86,1	-	92,6

4.3 Einfluss der Alterung auf Deinkbarkeit

In diesem Kapitel wird der Einfluss der Alterung auf die Deinkbarkeit von ausgewählten Druckprodukten untersucht. Zum einen erfolgt die Deinkbarkeitsuntersuchung gemäß der INGEDE-Methode 11 im 1-stufigen Deinkingprozess sowie deren Auswertung entsprechend der EPRC Deinkability Scorecard. Des Weiteren wird der Alterungseinfluss auf die Deinkbarkeit nach der neu entwickelten 2-Loop Methode untersucht.

Auch hier erfolgte, wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, die Zerfaserung im 1-stufigen Deinkingprozess bei der Feststoffdichte von 15 % und nach der 2-Loop Methode bei der Faserstoffdichte von 12 %. Bei der Zerfaserung der Trockentoner- und der Inkjet-Probe wurde die gesamte Deinkingchemie eingesetzt. Auf Grund des pH-Wertes nach der Zerfaserung (vgl. INGEDE-Methode 11), wurde bei der Zeitung und Indigo-Probe die halbe Natronlaugen- und Wasserglasmenge verwendet. An dieser Stelle soll auch nochmals erwähnt werden, dass die Flotationszeit beim 1-stufigen Deinkingprozess mit 12 Minuten höher ist, als die Flotationszeit der 2-Loop Methode mit 6 Minuten (1. Flotation) und 4 Minuten (2. Flotation).

4.3.1 Alterungseinfluss beim Deinken nach INGEDE-Methode 11

Die Deinkbarkeit im 1-stufigen Prozess gemäß der INGEDE-Methode 11 und deren Bewertung nach der EPRC Scorecard wurde neben der Offset-Coldset Zeitung von Testdrucken durchgeführt, die mit Indigo, Trockentoner und pigmentbasierten Inkjet bedruckt wurden. Im Folgenden wird der Deinkability Score für die Druckprodukte in Abhängigkeit der Alterung dargestellt. Die Einzelwerte der gemessenen Parameter können im Anhang in den Tabellen A.6 bis A.9 nachgelesen werden. Die generierten Ergebnisse sind nur für die in diesem Projekt eingesetzten Produkte und Testdrucke gültig.

Wie in **Abbildung 17** deutlich zu erkennen, erreicht die ungealterte Offset-Coldset Zeitung_1 einen Deinkability Score von 100. Die Zeitung ist demnach wie zu erwarten sehr gut deinkbar. Durch die beschleunigte Alterung im Trockenschrank bei 60 °C ist deutlich zu erkennen, dass die Deinkbarkeit der Zeitung abnimmt. Dies spiegelt sich vor allem in einem geringeren Score für den Hellbezugswert Y wieder. Des Weiteren wird eine Reduzierung des Scores für die Ink Elimination gemessen. Wird die Zeitung bei Normklima im Klimaraum gelagert, so wird auch nach 4 Wochen der Deinkability Score von 100 erreicht. Erst nach einer Lagerung von 12 Wochen wird eine höhere Schmutzpunktfäche der Schmutzpunkte über 250 µm gemessen, wodurch der Deinkability Score leicht abnimmt. Dahingegen hat die Lagerung von 12 und 40 Wochen im Kühlraum keinen Einfluss auf die optischen Eigenschaften.

Bei Betrachtung der gemessenen Werte (Tabelle A.6 im Anhang) wird deutlich, dass der Weißgrad im Vergleich zur ungealterten Probe durch die beschleunigte Alterung nach 3 Tagen um ca. 5 %-Punkte und nach 6 Tagen um ca. 8 %-Punkte abgenommen hat. Da auch der Weißgrad der undeinkten Probe durch die Lagerung reduziert wird, resultiert daraus, dass die Weißgradsteigerung durch das Deinking der beschleunigt gealterten Zeitungen um 2 bzw. 3 %-Punkte weniger effektiv ist als die Weißgradsteigerung der ungealterten Probe. Nach der Lagerung bei Normklima und im

Kühlraum werden durch das Deinken die gleichen Weißgradergebnisse und Hellbezugswerte wie bei der ungealterten Probe erreicht.

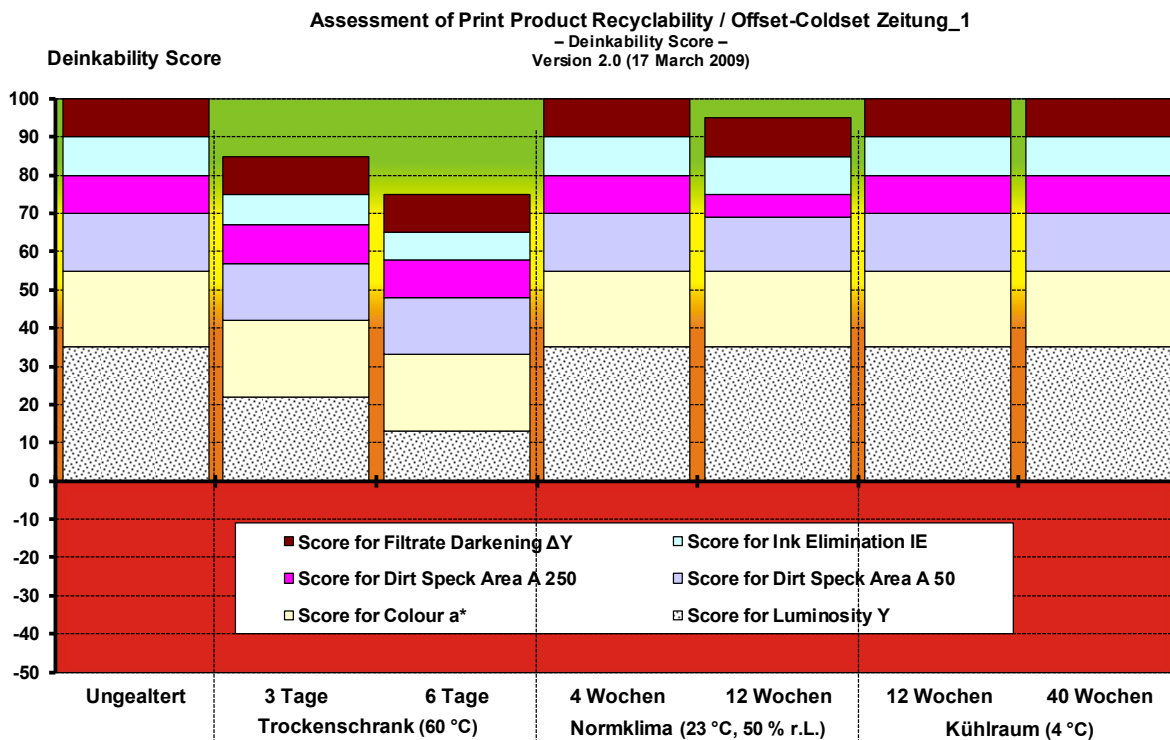


Abbildung 17: Einfluss der Alterung auf den Deinkability Score von Offset Zeitung_1 (Bewertung nach: Newspaper)

Neben der Zeitung als Vertreter für die klassischen Druckprodukte, wurden die Deinkbarkeitsuntersuchungen an drei Digitaltestdrucken (Indigo, Trockentoner und Inkjet bedruckt) durchgeführt. Auffällig ist, dass der Indigo Testdruck_1 (**Abbildung 18**) unabhängig von der Alterungsart und –dauer durch den Bewertungsmaßstab des EPRC durchfällt. Der Weißgrad und somit der Hellbezugswert Y sowie der Kennwert für die Farbe Rot (a^* -Wert) und die Filtratverdunkelung erreichen bei allen untersuchten Proben den vollen Deinkability Score-Wert. Der Weißgrad wurde bei allen Proben zwar nur um 2,4 bis 5,0 %-Punkte erhöht und mit steigender Lagerzeit im Trockenschrank reduziert sich die Weißgraderhöhung durchs Deinken, dennoch liegt der Weißgrad insgesamt mit über 85 % auf einem sehr hohen Niveau (s. Tabelle A.7 im Anhang). Der Wert für die Ink Elimination hat über die längere Lagerungsdauer leicht abgenommen. Ursache für das Durchfallen der Indigoprobe nach INGEDE-Methode 11 sind jedoch die Schmutzpunkte. Wie aus der Literatur bekannt, weisen Indigo Druckprodukte an sich einen signifikanten Schmutzpunktanteil auf, der meistens durch die Flotation nicht ausreichend reduziert werden kann. Bei Betrachtung der Einzelwerte der gesamten Schmutzpunktfläche (s. Tabelle A.7 im Anhang) scheint die beschleunigte Alterung, unabhängig von der Lagerungszeit, einen negativen Einfluss auf die Schmutzpunktfläche zu haben. Bei Betrachtung der Schmutzpunktverteilung ist auffällig, dass nach dem Deinken mittels INGEDE-Methode 11, unabhängig von der Lagerart und -dauer, die meisten Schmutzpunkte im Bereich von 250 μm bis 500 μm auftreten. Die Schmutzpunktfläche ist in diesem Bereich sowie bei einer Größe über 500 μm am größten.

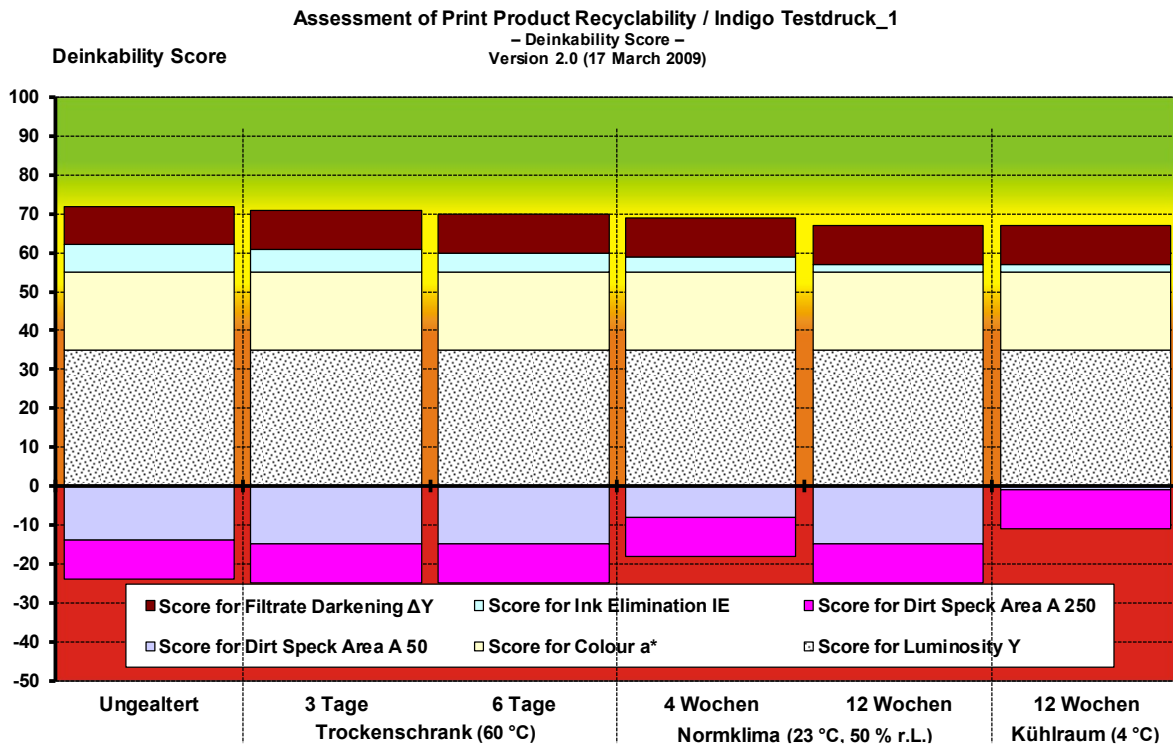


Abbildung 18: Einfluss der Alterung auf den Deinkability Score von Indigo Testdruck_1 (Bewertung nach: Low ink coverage products (Brightness of base paper > 75%))

Der Einfluss der Lagerart und -dauer der Alterung wurde zusätzlich an einem Trockentoner Testdruck untersucht (**Abbildung 19**). Es ist deutlich zu erkennen, dass nach dem Deinkability Score des EPRC alle getesteten Testdrucke als gut deinkbar eingestuft werden. Der Weißgrad der deinkten Proben liegt auch beim Trockentoner Testdruck mit über 85 % auf einem sehr hohen Niveau (s. Tabelle A.8 im Anhang). Dabei scheint die Alterung zunächst einen positiven Einfluss auf die Deinkbarkeit zu haben, da im Vergleich zur ungealterten Probe (Weißgradsteigerung UP zu DP von 8,7 %) bei allen weiteren Proben ein um bis zu 3 %-Punkte höherer Weißgrad erreicht wird. Bei der Ink Elimination erreicht nur die ungealterte Probe beim Deinkability Score nicht die volle Punktzahl. Werden die Schmutzpunkte der einzelnen getesteten Produkte näher betrachtet (s. Tabelle A.8 im Anhang), so ist dennoch deutlich zu erkennen, dass durch die beschleunigte Alterung im Trockenschrank die Schmutzpunktanzahl und -fläche größer wird. Vor allem die Schmutzpunktfäche über 250 μm steigt nach 6 Tagen deutlich, was sich auch im Deinkability Score widerspiegelt. Die Alterung von bis zu 4 Wochen bei Normklima scheint keinen negativen Einfluss auf die Schmutzpunkte zu haben, denn diese liegen im Vergleich zur ungealterten Probe auf einem niedrigeren Niveau. Jedoch ist zu erkennen, dass nach der Flotation der beiden 12 Wochen gelagerten Proben die Schmutzpunktanzahl und auch die gesamte Schmutzpunktfäche größer geworden ist. Dabei ist eine Steigerung vor allem in den Schmutzpunktklassen von 50 μm bis 150 μm zu erkennen, wohingegen so gut wie keine großen Schmutzpunkte über 250 μm mehr gemessen werden. Wahrscheinlich wurden die größeren Schmutzpunkte zerkleinert, was auch

die größere Schmutzpunktzahl erklären würde. Insgesamt liegen die Schmutzpunktf lächen unterhalb der Schwellenwerte des Deinkability Scores und im Vergleich zu den jeweiligen undeinkten Proben lässt sich zusammenfassen, dass die Schmutzpunktzahl und -fläche durch das Deinken signifikant gesenkt werden kann.

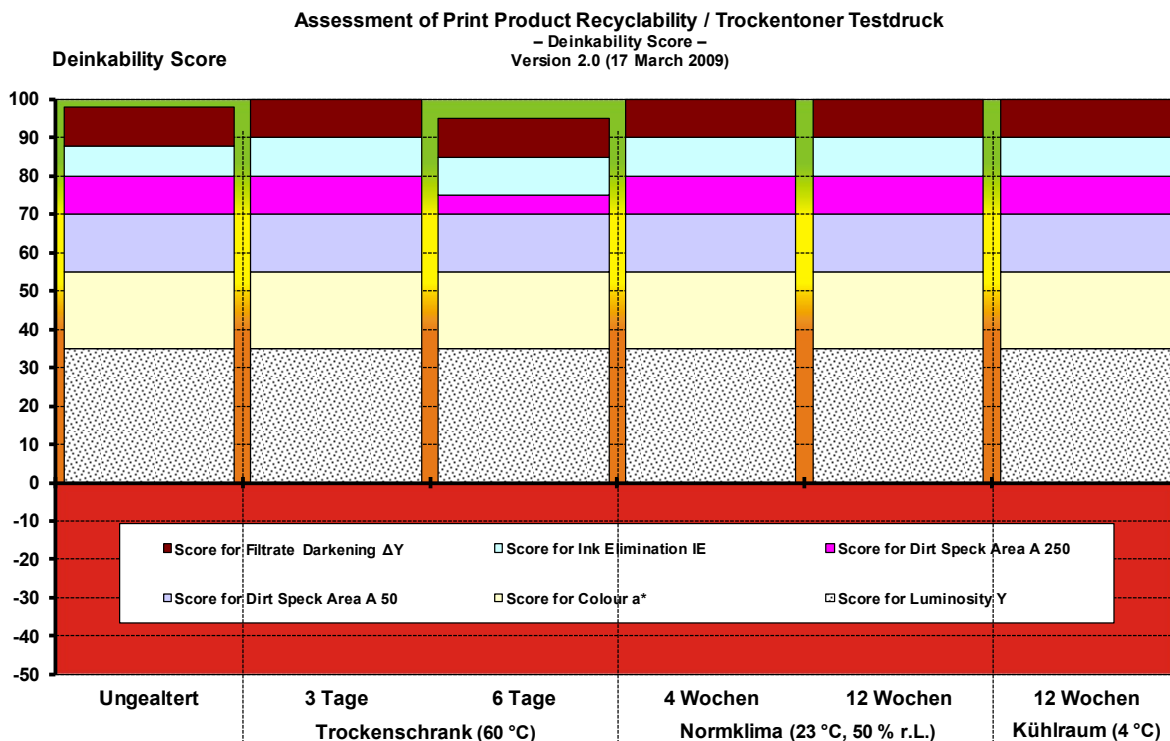


Abbildung 19: Einfluss der Alterung auf den Deinkability Score von Trockentoner Testdruck (Bewertung nach: Low ink coverage products (Brightness of base paper > 75%))

In **Abbildung 20** ist der Einfluss der Alterung auf das Deinken von pigmentbasiertem Inkjet Testdruck_1 dargestellt. Deutlich wird, dass die Druckprodukte, unabhängig von Lagerart und -dauer, im Rahmen des Deinkability Scores des EPRC mit gut deinkbar bewertet werden. Die hier gezeigten Ergebnisse gelten nur für diesen Inkjet Testdruck und lassen sich nicht verallgemeinern, da pigmentbasierte Inkjetprodukte meist auf Grund ihrer geringen Weißgradsteigerung und hohen Filtratverdunkelung als schlecht deinkbar eingestuft werden (vgl. Literatur in Kapitel 1.2.3 sowie die erzielten Deinkingergebnisse des Inkjet Testdruck_2 in Tabelle 20). An dieser Stelle wird der Einfluss der Alterung auf das Deinkingergebnis dieses Inkjet Testdrucks vorgestellt. Der Hellbezugswert Y erreicht 31 bzw. 32 von 35 Punkten und die Ink Elimination erreicht bei allen Produkten 8 bzw. 9 von 10 Punkten. Die weiteren Kennwerte wie der Rot-Wert (a^* -Wert), die Filtratverdunkelung und die Schmutzpunktwerte haben bei allen Produkten die maximale Punktzahl erzielt. Bei Betrachtung der einzelnen Weißgradergebnisse (Tabelle A.9 im Anhang) ist zu sehen, dass der Endweißgrad bei den Produkten auf gleichem Niveau liegt, die Weißgradsteigerung über die Zeit der beschleunigten Alterung um bis zu 2 %-Punkte geringer wird. Entgegen der meisten Literatur zu pigmentbasierten Inkjetdruck ist hier zu sehen, dass eine signifikante Helligkeitszunahme erreicht werden konnte und keine typischerweise auftretende Filtratverdunkelung gemessen wurde. Dies verdeutlicht nochmal, dass die Entwicklung

der optischen Eigenschaften nicht nur vom Druckverfahren abhängig ist, sondern vom Zusammenspiel und der Wechselwirkung zwischen Druckverfahren und dem zu bedruckenden Rohpapier. Wie auch in der Literatur beschrieben, weisen die deinkten Inkjetprodukte sehr wenige Schmutzpunkte auf. Durch das Deinken werden Schmutzpunktfleichen von unter $15 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ erreicht, was im Vergleich zu den anderen getesteten Druckprodukten schon vernachlässigbar ist und womit ohne Probleme der volle Deinkability Score für die beiden Schmutzpunktkategorien erreicht wird. Die einzelnen Daten sind in Tabelle A.9 im Anhang aufgelistet.

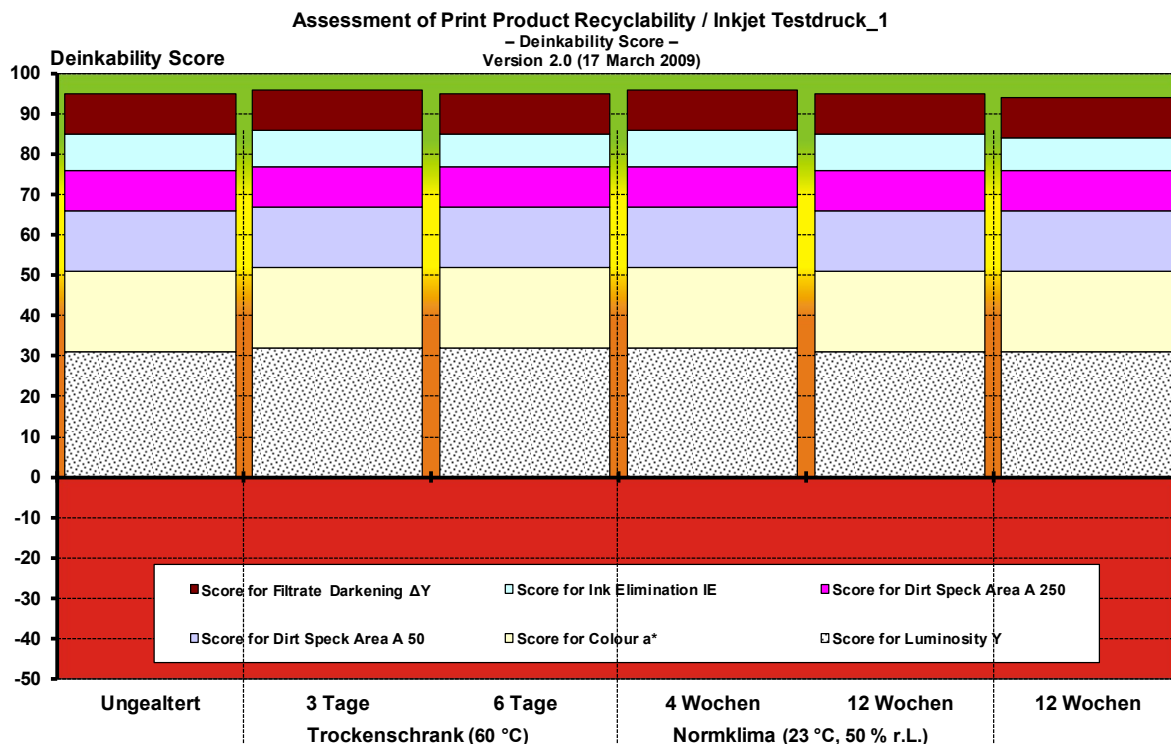


Abbildung 20: Einfluss der Alterung auf den Deinkability Score von pigmentbasierten Inkjet Testdruck_1 (Bewertung nach: Low ink coverage products (Brightness of base paper > 75%))

4.3.2 Alterungseinfluss beim Deinken nach der 2-Loop Methode

In diesem Kapitel wird der Einfluss der Alterung für die gleichen Druckproduktkategorien mit der neu entwickelten 2-Loop Methode untersucht. Die dazugehörigen Einzelwerte der jeweiligen Druckprodukte sind im Anhang in den Tabellen A.10 bis A.13 dokumentiert.

Zunächst wird in **Abbildung 21** der Weißgrad der untersuchten Offset-Coldset Zeitung_1 dargestellt, die jeweils auf verschiedene Arten und für unterschiedliche Zeiträume gealtert wurde. Neben dem Endweißgrad nach der 2. Flotation ist zusätzlich die Weißgradsteigerung zum undeinkten Faserstoff dargestellt (vgl. Werte in Tabelle 15). Durch das 2-Loop Deinking wird der Weißgrad der ungealterten Zeitung – wie schon in Kapitel 4.2 ausführlich dargestellt – um 12,4 %-Punkte gesteigert und erreicht somit einen Weißgrad von knapp 54 %. In der Abbildung ist deutlich zu erkennen, dass die Lagerung der Zeitung im Normklima bei 23 °C sowie über einen längeren Zeitraum im Kühlraum bei 4 °C keinen signifikanten Einfluss auf das

Deinkingverhalten hat. Auch wenn nach der Lagerung von 12 Wochen bei Normklima der Weißgrad um knapp 1 % niedriger ist als bei der ungealterten Probe, so ist die Weißgradsteigerung noch auf gleichem Niveau. Deutlich ist jedoch die Auswirkung der beschleunigten Alterung im Trockenschrank bei 60 °C auf den Weißgrad. Da über die Lagerdauer hinweg neben einer reduzierten Weißgradsteigerung auch der Weißgrad des undeinkten Faserstoffs abnimmt, spiegelt sich das nach 3 Tagen beschleunigter Alterung in einem 4 %-Punkte und nach 6 Tagen in einem 6 %-Punkte geringeren Weißgrad des deinkten Stoffes wider.

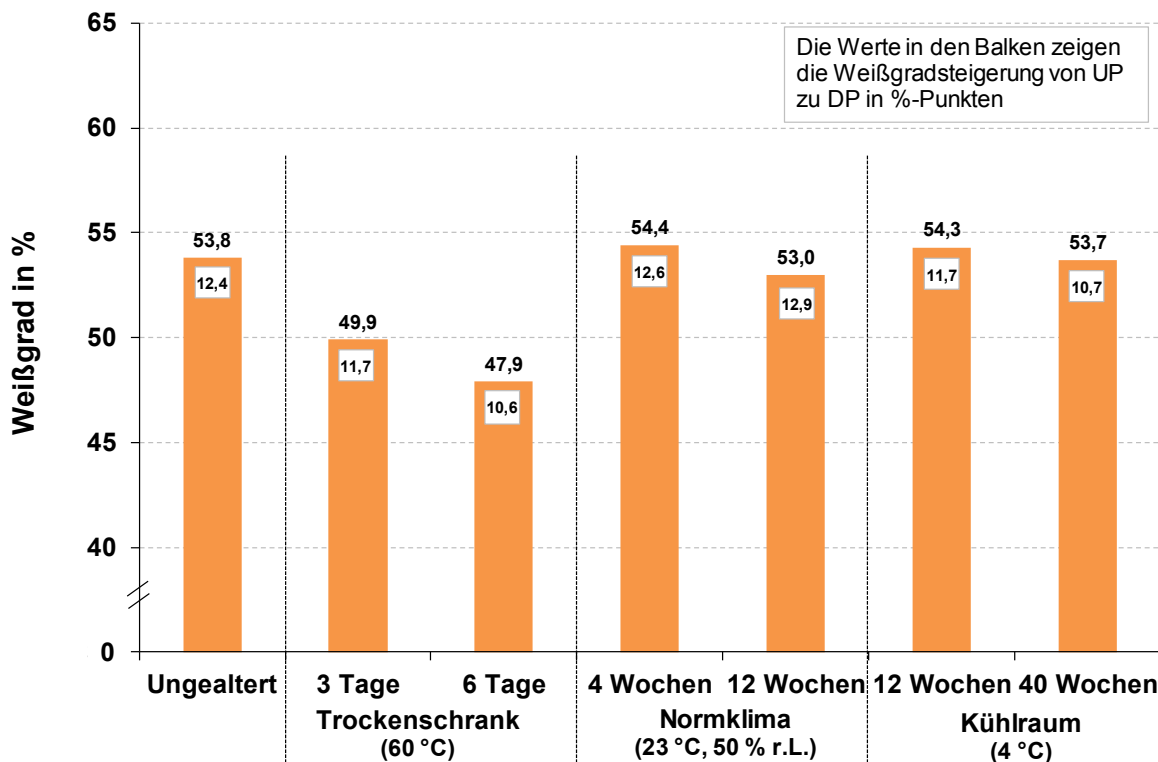


Abbildung 21: Einfluss der Alterung auf den Weißgrad von Offset-Coldset Zeitung_1 durch 2-Loop Deinking

Der Einfluss der beiden Flotationsstufen sowie der Dispergierung auf den Weißgrad wird in Tabelle 15 für die verschiedenen Alterungsstufen dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass sowohl bei der ungealterten Zeitung sowie bei den gealterten Zeitungen der Weißgrad durch die Dispergierung um 5 – 7 %-Punkte reduziert wird und anschließend durch die 2. Flotation um in etwa das gleiche Niveau wieder gesteigert wird. Die Entwicklung des Weißgrads über die einzelnen Prozessstufen beim Deinking nach der 2-Loop Methode ist demnach unabhängig von der Alterungsart und –dauer.

Tabelle 15: Einfluss der Prozessschritte beim 2-Loop Deinking auf den Weißgrad in % bei verschiedenen Alterungen von Offset-Coldset Zeitung_1

	Un-gealtert	Trockenschrank 60 °C		Normklima		Kühlraum	
		3 Tage	6 Tage	4 Wochen	12 Wochen	12 Wochen	40 Wochen
Undeinkt	41,4	37,7	37,3	41,8	40,1	42,6	43,0
1. Flotation	53,9	48,4	46,4	54,6	53,6	55,5	55,3
Dispergierung	47,3	43,6	41,1	47,6	46,6	49,6	48,6
2. Flotation	53,8	49,4	47,9	54,4	53,0	54,3	53,7

Neben dem Weißgrad ist die Entwicklung der Schmutzpunktfäche ein ausschlaggebender Parameter für die Bewertung der Deinkbarkeit anhand optischer Eigenschaften. In **Tabelle 16** ist dafür die Entwicklung der gesamten Schmutzpunktfäche für die Zeitungen, die unterschiedlich lang und auf verschiedene Arten gealtert wurden, nach den einzelnen Prozessschritten der 2-Loop Methode aufgeführt. Zunächst ist nach der 1. Flotation die Schmutzpunktfäche der im Kühlraum gelagerten Zeitung am niedrigsten. Durch die Dispergierung werden die Schmutzpunktfächen signifikant reduziert, jedoch ist bei allen Alterungsvarianten der Zeitung zu sehen, dass die Schmutzpunktfäche durch die 2. Flotation wieder zunimmt. Eine mögliche Ursache ist der Kontrastunterschied der helleren, flotierten Faserstoffe im Vergleich zu den dunkleren Faserstoffen vor der Flotation, wie bereits in Kapitel 4.2 diskutiert. Im Vergleich zur ungealterten Zeitung ist nach der 2. Flotation kein signifikanter Einfluss der Alterung auf die Schmutzpunktfäche zu erkennen. Es scheint, dass durch die beschleunigte Alterung die Schmutzpunktfäche auf gleichem Niveau bleibt, die Lagerungen bei Normklima bis 12 Wochen und im Kühlraum bis 40 Wochen jedoch keinen negativen Effekt auf die Schmutzpunktfäche haben. Bei Betrachtung der Schmutzpunktverteilung (s. Tabelle A.10 im Anhang) ist kein eindeutiger Trend bezüglich der einzelnen Größenklassen erkennbar.

Tabelle 16: Einfluss der Prozessschritte beim 2-Loop Deinking auf die Schmutzpunktfäche in mm²/m² von Offset Zeitung_1 bei verschiedenen Alterungen

	Un-gealtert	Trockenschrank 60 °C		Normklima		Kühlraum	
		3 Tage	6 Tage	4 Wochen	12 Wochen	12 Wochen	40 Wochen
1. Flotation	334	473	429	743	665	266	265
Dispergierung	116	147	143	90	82	82	83
2. Flotation	180	190	174	114	104	112	95

Wie in **Abbildung 22** zu sehen, hat die Alterung vom Indigo Testdruck_1 keinen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung des Weißgrads nach dem 2-Loop Deinking. Unabhängig von der Lagerart und –dauer wird der Weißgrad nur um 2 – 3 %-Punkte gesteigert, sodass ein Endweißgrad von 86 ± 1 % erreicht wird. Auffällig ist, dass der Weißgrad bei allen Proben hauptsächlich durch die 1. Flotation angehoben wird und sich anschließend durch die Dispergierung wieder um bis zu 2 %-Punkte verringert. Die nachgeschaltete 2. Flotation führt zu keiner weiteren Verbesserung des Weißgrads. Die Einzelwerte sind im Anhang in Tabelle A.11 aufgelistet.

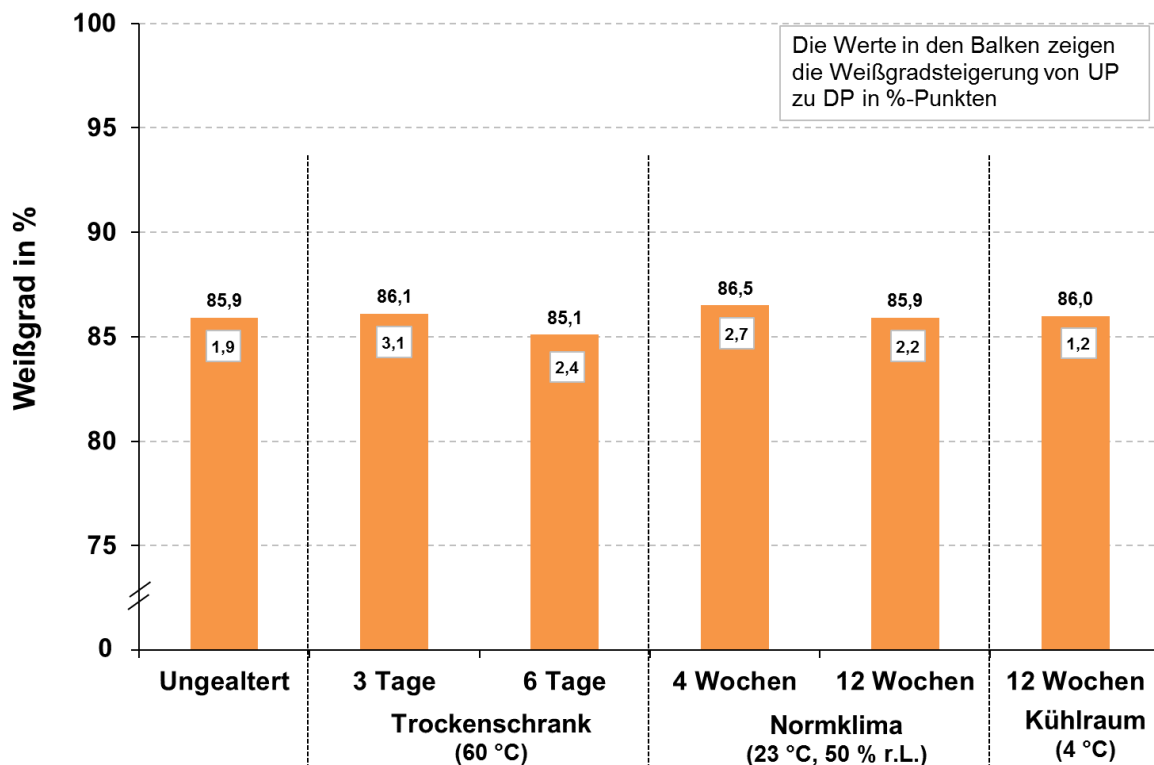


Abbildung 22: Einfluss der Alterung auf den Weißgrad von Indigo Testdruck_1 durch 2-Loop Deinking

Durch das Deinking werden die Schmutzpunkte der Indigo Testdrucke_1 unabhängig von der Alterung signifikant reduziert (**Tabelle 17**). Dabei wird durch die 1. Flotation der Großteil der Schmutzpunkte aus dem Faserstoff ausgetragen. Nach der Flotation werden vor allem Schmutzpunkte mit einer Fläche über 250 µm gemessen. Durch die anschließende Dispergierung werden die größeren Schmutzpunktfleichen nochmals reduziert, wobei vor allem der Anteil der größeren Schmutzpunktfleichen über 500 µm abnimmt. Im Vergleich zur Zeitung wird bei den Indigo Testdrucken die Schmutzpunktfleichenfläche durch die anschließende 2. Flotation erneut signifikant reduziert. Ausgetragen werden durch die Flotation Schmutzpunkte aus allen Größenklassen. Die Schmutzpunktverteilung zeigt, unabhängig von Lagerart und –dauer, dass die Anzahl der Schmutzpunkte immer geringer wird, je größer die Schmutzpunktklasse wird. Bei der Schmutzpunktfleichenfläche ist jedoch wie nach dem Deinking im 1-stufigen Prozess anhand der INGEDE-Methode 11 zu erkennen, dass die Schmutzpunktfleichenfläche von 250 µm bis 500 µm die flächenmäßig größte Menge ausmacht. Ein eindeutiger Einfluss der Alterung auf die Entwicklung der Schmutzpunkte ist insgesamt nicht

erkennbar. Im Vergleich zur ungealterten Probe wird nach 3 Tagen beschleunigter Alterung zwar eine höhere Schmutzpunktfäche gemessen, nach 6 Tagen beschleunigter Alterung jedoch eine geringere. Und auch die weiteren untersuchten Lagerarten ergeben kein eindeutiges Bild.

Tabelle 17: Einfluss der Alterung auf die gesamte Schmutzpunktfäche in mm²/m² von Indigo Testdruck_1 (Undeinkt ohne Alterung: 21.896 mm²/m²)

	Un-gealtert	Trockenschrank 60 °C		Normklima		Kühlraum
		3 Tage	6 Tage	4 Wochen	12 Wochen	12 Wochen
1. Flotation	2.669	6.333	4.152	1.679	6.509	1.485
Dispergierung	935	1.681	725	477	2.153	590
2. Flotation	221	686	155	161	892	256

Als weiteres Beispiel für den Digitaldruck wurde der Einfluss der Alterung auf den Weißgrad von Testdrucken untersucht, die mit einem Trockentoner bedruckt wurden. Wie in **Abbildung 23** deutlich zu erkennen, wird der Weißgrad durch die 2-Loop Methode je nach Lagerung um 7 bis 11 %-Punkte gesteigert und erreicht damit einen Endweißgrad von 85 ± 1 %. Bei Betrachtung der Werte scheint es sogar, dass die Lagerungen der Proben einen positiven Einfluss auf das Deinking haben, wobei die Differenzen zum Endweißgrad der ungealterten Probe sehr gering sind.

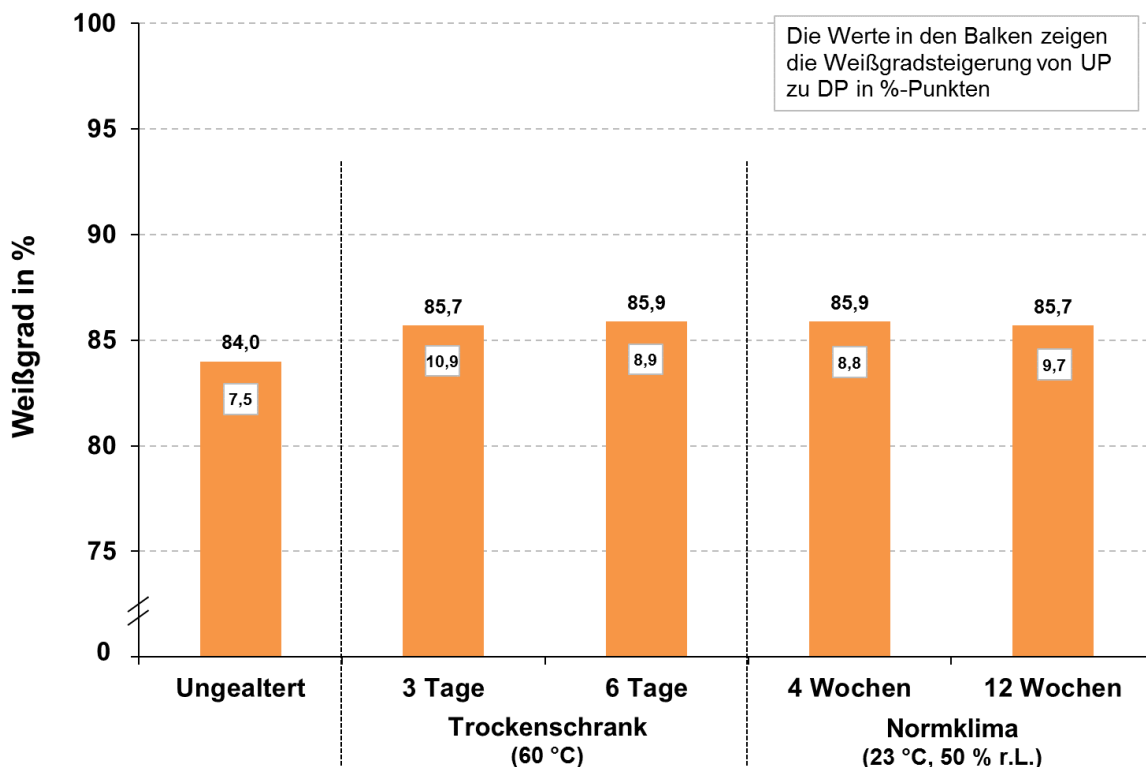


Abbildung 23: Einfluss der Alterung auf den Weißgrad von Trockentoner Testdruck durch 2-Loop Deinking

Bei Betrachtung des Weißgrads nach den einzelnen Prozessschritten des 2-Loop Deinkingverfahrens der Trockentoner Testdrucke zeigt sich, dass bei allen Proben

durch die Dispergierung der Weißgrad reduziert und durch die 2. Flotation wieder gesteigert wird. Bei der ungealterten Probe sind die beiden Weißgraddifferenzen auf gleichem Niveau, sodass der Endweißgrad auf gleichem Niveau wie nach der ersten Flotation liegt. Bei den gealterten Proben wird der Weißgrad im Vergleich zur ungealterten Probe durch die Dispergierung weniger stark reduziert, als er durch die 2. Flotation steigt, so dass der Endweißgrad bei diesen Proben insgesamt höher ist.

Tabelle 18: Einfluss der Prozessschritte beim 2-Loop Deinking auf den Weißgrad in % bei verschiedenen Alterungen von Trockentoner Testdruck

	Ungealtert	Trockenschrank 60 °C		Normklima	
		3 Tage	6 Tage	4 Wochen	12 Wochen
Undeinkt	76,5	74,8	77,0	77,1	76,0
1. Flotation	84,4	84,6	84,3	84,3	86,5
Dispergierung	77,8	80,7	78,9	78,9	79,4
2. Flotation	84,0	85,7	85,9	85,9	85,7

In **Tabelle 19** wird der Einfluss der Alterung auf die Schmutzpunktentwicklung der Trockentoner Testdrucke beim 2-Loop Deinking betrachtet. Es ist zu erkennen, dass die Alterung keinen eindeutigen Einfluss hat. Im Vergleich zum undeinkten Faserstoff wird die Schmutzpunktfäche durch die 1. Flotation zunächst deutlich reduziert. Durch die Dispergierung und die anschließende 2. Flotation wird die gesamte Schmutzpunktfäche bis auf unter 50 mm²/m² weiter reduziert. Eine Ausnahme zeigt die ungealterte Probe auf, bei der die Schmutzpunktfäche durch die 2. Flotation wieder leicht ansteigt. Bei Betrachtung der Schmutzpunktverteilung fällt auf, dass der Anstieg der Schmutzpunktfäche der Trockentonerprobe nur durch einige wenige große Schmutzpunkte > 500 µm verursacht wird und die Schmutzpunktfächen insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau liegen, wo sich Messungenauigkeiten direkt bemerkbar machen. Insgesamt ist bei den Proben zu erkennen, dass die Trockentoner Testdrucke vor allem Schmutzpunkte in den kleineren Klassen (50 – 200 µm) aufweisen und besonders diese durch die aufgeführten Prozessschritte reduziert werden.

Tabelle 19: Einfluss der Alterung auf die gesamte Schmutzpunktfäche in mm²/m² der Trockentoner Testdrucke (Undeinkt ohne Alterung: 405 mm²/m²)

	Ungealtert	Trockenschrank 60 °C		Normklima	
		3 Tage	6 Tage	4 Wochen	12 Wochen
1. Flotation	45 (*)	150	99	16	228
Dispergierung	21	29	100	21	46
2. Flotation	48	13	8	7	15

* 2.501 in der Größenklasse > 500 µm muss ein Messfehler sein und wurde deswegen eliminiert

Abschließend wurde der Einfluss der Alterung auf die Deinkbarkeit von pigmentbasierten Inkjet Testdruck_1 untersucht. In **Abbildung 24** ist der Weißgrad der deinkten Testdrucke nach der 2-Loop Methode dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Alterung keinen Einfluss auf das Deinkingergebnis hat. Die Weißgrade der ungealterten Probe sowie der gealterten Proben werden um ca. 17 – 19 %-Punkte gesteigert. Wie schon in Kapitel 4.3.1 beschrieben, darf das Deinkingergebnis dieses Inkjet Testdrucks nicht verallgemeinert werden und gilt nur für dieses Produkt. Bei Betrachtung der Weißgrade nach den einzelnen Prozessschritten (s. Tabelle A.13 im Anhang) wird bei allen Proben deutlich, dass der Weißgrad durch die 1. Flotation um 10 – 12 %-Punkte und durch die 2. Flotation um 5 – 7 %-Punkte steigt. Im Vergleich zu den anderen bisher untersuchten Druckprodukten sinkt der Weißgrad durch die Dispergierung nicht. Für diesen Inkjet Testdruck ist eine Dispergierung vom Prinzip her nicht nötig, da diese normalerweise eingesetzt wird, um Schmutzpunkte zu zerkleinern und austragen zu können. Der hier untersuchte undeinkte Inkjet Testdruck weist unabhängig von der Alterung nur eine minimale Schmutzpunktfläche von unter 50 mm²/m² auf, die im Laufe des Prozesses fast vollständig austragen werden, sodass hier auf die Schmutzpunktentwicklung nicht weiter im Detail eingegangen wird.

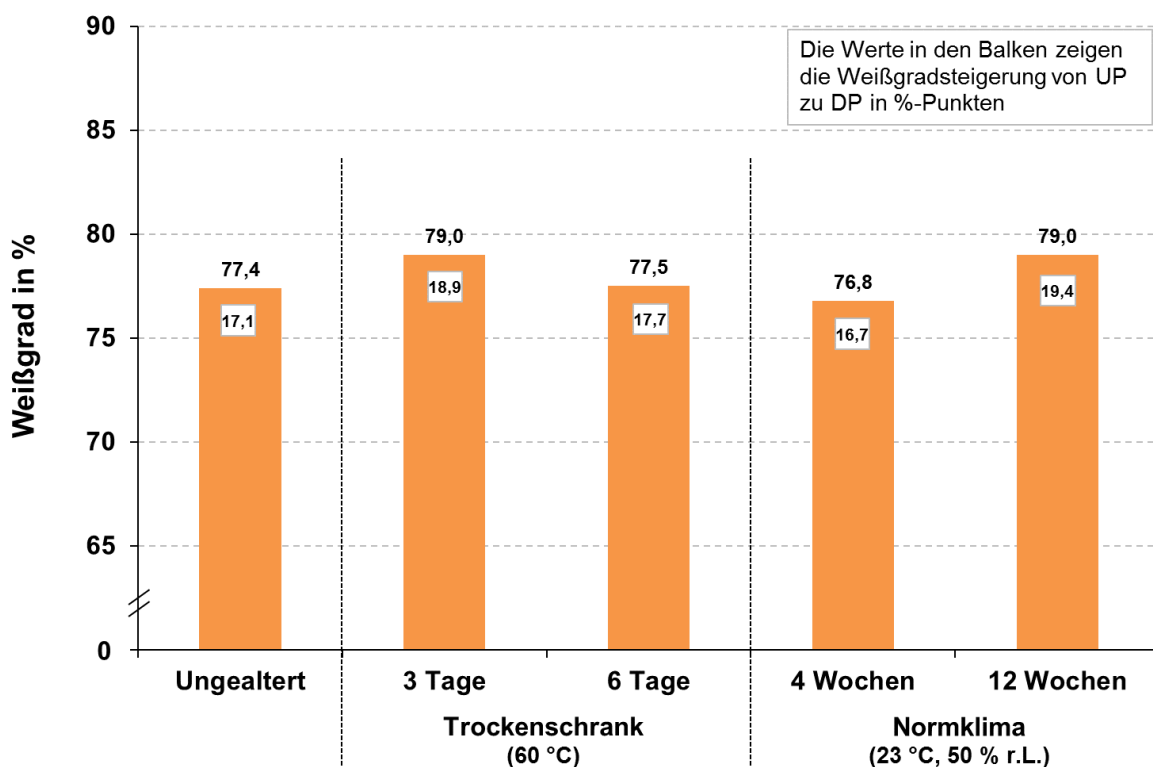


Abbildung 24: Einfluss der Alterung auf den Weißgrad von pigmentbasierten Inkjet Testdruck_1 durch 2-Loop Deinking

Die Entwicklung des Aschegehalts über die verschiedenen Prozessstufen der 2-Loop Methode wurde im vorherigen Kapitel für die ungealterten Produkte beschrieben. Bei der Auswertung der Aschegehalt für die verschiedenen gealterten Produkte ist kein Einfluss der Lagerart oder –dauer zu verzeichnen. Die Einzeldaten können im Anhang in den Tabellen A.10 bis A.13 nachgelesen werden.

4.4 Untersuchung des Deinkingverhaltens von Altpapiermischungen

Zur Untersuchung des Deinkingverhaltens von Altpapiermischungen wurden zunächst sechs verschiedene Druckprodukte untersucht. Hierfür wurden vier klassische Druckprodukte und zwei digitale Testdrucke ausgewählt. Die Produkte wurden beschleunigt gealtert und anschließend im 1-stufigen Deinkingprozess entsprechend der INGEDE-Methode 11 (Zerfaserung bei einer Feststoffdichte von 15 %) und der neu entwickelten 2-Loop Methode (Zerfaserung bei einer Faserstoffdichte von 12 %) deinkt. Die Entwässerung bei der 2-Loop Methode erfolgte mittels der Wäscheschleuder (s. Kapitel 3.2.4). Anschließend wurden Altpapiermischungen hergestellt und wie bei den Einzelprodukten deinkt und eine Modellierung durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Kapitels wurden teilweise innerhalb einer Masterarbeit [69] erarbeitet.

4.4.1 Deinking der Einzelprodukte für die Modellierung von Altpapiermischungen

Als Grundlage für die Untersuchung der Altpapiermischungen in Kapitel 4.4.2 sowie zur Modellierung der optischen Eigenschaften in Kapitel 4.4.3 wurden die einzelnen Druckprodukte für 3 Tage bei 60 °C im Trockenschrank beschleunigt gealtert und anschließend im 1- und 2-stufigen Prozess deinkt. Auf Grund des pH-Werts nach der Zerfaserung (vgl. INGEDE-Methode 11) wurden die Offset-Heatset Werbeprospekte mit der gesamten Deinkingrezeptur zerfasert. Bei den weiteren Druckprodukten wurde die halbe Natronlaugen- und Wasserglasmenge eingesetzt, damit der pH-Wert des zerfaserten Faserstoffs unter 10 lag.

In **Abbildung 25** sind die Weißgrade der undeinkten Druckprodukte sowie die Weißgrade nach dem 1-stufigen und 2-stufigen Deinkingprozess dargestellt. Insgesamt wird in der Abbildung deutlich, dass durch das Deinken der Weißgrad der Offset-Coldset Zeitung_2 um 12 %-Punkte angehoben wird. Bei dem Offset-Heatset Werbeprospekt sowie den Offset-Heatset und Tiefdruck Illustrierten wird der Weißgrad durch das Deinken um 18 ± 2 %-Punkte gesteigert. Es ist zu erkennen, dass die in dieser Abbildung vorgestellten digitalen Druckprodukte durch den 1- und 2-stufigen Deinkingprozess insgesamt geringere Weißgradsteigerungen von 5 – 8 %-Punkten aufweisen. Der deinkte Inkjet Testdruck_2 erreicht mit einem Endweißgrad von bis zu 42 % den geringsten Weißgrad, wohingegen der Indigo Testdruck_2 mit bis zu 87 % den höchsten Weißgrad dieser untersuchten Druckprodukte aufzeigt.

Des Weiteren wurden von den einzelnen Druckerzeugnissen der Hellbezugswert, die Schmutzpunktflächen, die Ink Elimination sowie die Filtratverdunkelung nach dem einstufigen und zweistufigen Deinkingprozess gemessen. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 20** zusammengefasst.

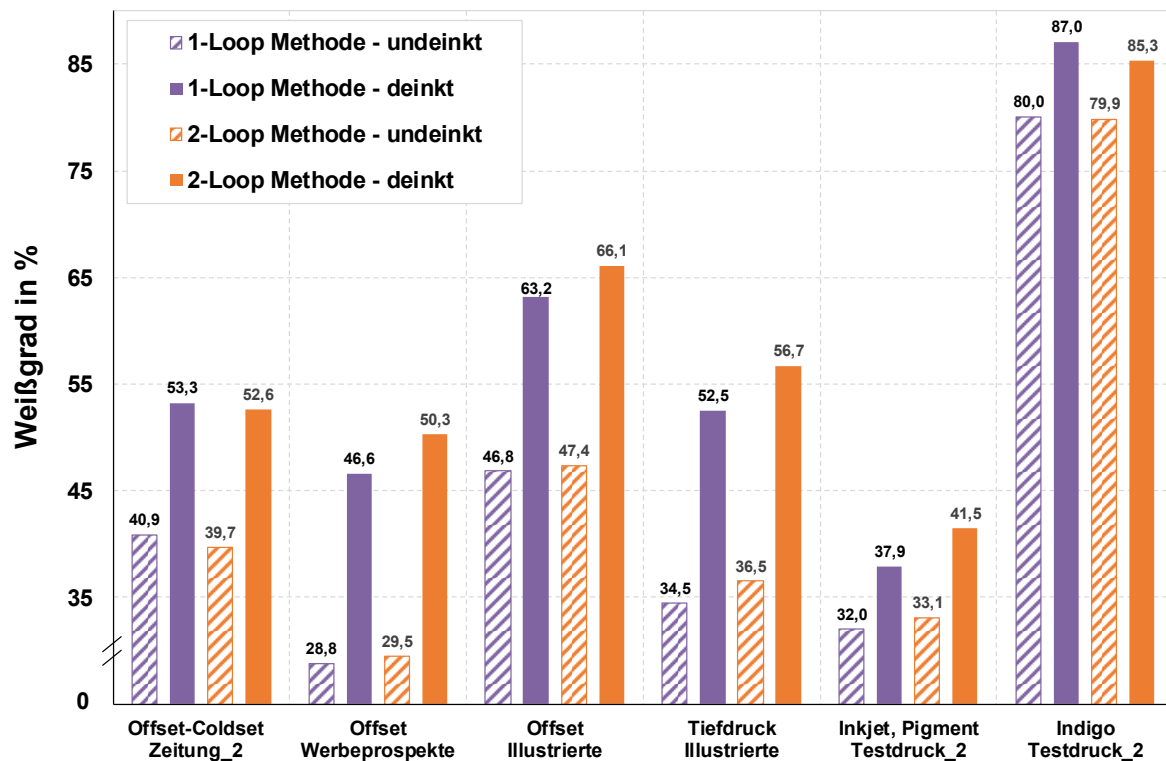


Abbildung 25: Weißgrad R₄₅₇ der Einzelprodukte für die Modellierung von Altpapiermischungen im 1- und 2-stufigen Deinkingprozess [69]

Tabelle 20: Optische Eigenschaften der deinkten Einzelprodukte für die Modellierung von Altpapiermischungen im 1- und 2-stufigen Deinkingprozess [69]

	Offset - Zeitung_2	Offset - Werbefrospekt	Offset - Illustrierte	Tiefdruck - Illustrierte	Inkjet - Testdruck_2	Indigo - Testdruck_2
1-Loop Methode						
Hellbezugswert Y	58,5	57,7	66,7	64,4	43,0	88,2
Schmutzpunktfläche - Gesamt in mm ² /m ²	125	82	40	46	46	5.039
Schmutzpunktfläche > 250 µm in mm ² /m ²	36	25	24	22	19	3.906
Ink Elimination in %	73,9	80,6	77,9	82,0	46,4	73,3
Filtratverdunkelung	1,4	5,0	1,4	3,4	38,6	1,7
2-Loop Methode						
Hellbezugswert Y	57,9	58,4	70,3	65,6	42,2	88,2
Schmutzpunktfläche - Gesamt in mm ² /m ²	119	92	36	35	38	847
Schmutzpunktfläche > 250 µm in mm ² /m ²	60	36	21	8	15	690
Ink Elimination in %	72,5	82,0	83,9	83,7	43,9	73,3
Filtratverdunkelung	3,7	5,9	7,7	7,8	76,3	3,2

4.4.2 Deinking von Altpapiermischungen

Wie in Kapitel 3.2.7 in Tabelle 6 beschrieben, wurde als Ausgangspunkt zunächst eine Mischung aus der Offset-Coldset Zeitung_2 (40 %), den Offset-Heatset und Tiefdruck

Illustrierten (30 % und 20 %) sowie den Offset-Heatset Werbeprospekten (10 %) zusammengestellt. Diese wird im Folgenden als Referenz bzw. MIX Referenz bezeichnet. Von der Mischung wurde dann 10 bzw. 30 % der Offset-Coldset Zeitung_2 durch die entsprechende Menge an Inkjet Testdruck_2 substituiert (Mix 10 % Inkjet und Mix 30 % Inkjet). Des Weiteren wurden von der Ausgangsmischung 30 % der Offset-Heatset Illustrierten durch 30 % Indigo-Testdruck_2 (Mix 30 % Indigo) ersetzt. In einer letzten Mischung (Mix 30 % Inkjet + 30 % Indigo) wurden von allen klassischen Produkten anteilig Produktmengen durch Inkjet- und Indigoproben ausgetauscht. Die Deinkinguntersuchung aller fünf Mischungen wird, unter Zugabe der gesamten Deinkingrezeptur bei der Zerfaserung, im 1- und 2-stufigen Prozess jeweils mit einer beschleunigten Alterung von drei Tagen durchgeführt. Es werden die optischen Eigenschaften, die anorganischen Anteile der Faserstoffe sowie die Faserausbeute betrachtet. Bei der 2-Loop Methode werden zusätzlich die optischen Eigenschaften nach der ersten Flotation und nach der Dispergierung untersucht.

In **Abbildung 26** ist der Weißgrad der verschiedenen Altpapiermischungen nach den einzelnen Prozessschritten der 1- und 2-stufigen Deinkingprozesse dargestellt. Bei den Mischungen MIX 10 % Inkjet und MIX 30 % Inkjet wurden jeweils die Anteile der Zeitungen durch Inkjet Testdrucke ersetzt. Der Weißgrad der Inkjet Testdrucke ist 15 %-Punkte (1-Loop Methode) bzw. 11 %-Punkte (2-Loop Methode) niedriger als der Weißgrad der substituierten Zeitung (vgl. Tabelle 20). Auffällig ist, dass sich der Weißgrad der undeinkten Mischungen durch das Beimischen der Inkjetprodukte im Vergleich zur Referenzmischung um bis zu 5 %-Punkte reduziert. Durch das Deinken im 1-stufigen Prozess wird der Weißgrad bei den beiden Mischungen zwar um ca. 11 %-Punkte erhöht, jedoch auf geringerem Niveau als bei der Referenzmischung (+ 14 %-Punkte). Bei der 2-Loop Methode hingegen ist zu sehen, dass mit größerem Anteil der beigemischten Inkjetprodukte die Weißgradsteigerung zwischen deinkter und undeinkter Probe größer ausfällt. Der Weißgrad der Referenzmischung wurde um 16,4 %-Punkte erhöht und durch die Zugabe von 10 % Inkjet um 17,7 % sowie um 18,3 %-Punkte durch Zugabe von 30 % Inkjet. Bei beiden Deinkingmethoden ist die Änderung der Weißgradsteigerung bei der Zugabe von 10 % Inkjet am stärksten ausgeprägt und wird durch die weitere Inkjetzugabe nur noch minimal verstärkt. Daraus resultiert, dass durch das Deinken der Referenzmischung der Weißgrad nach der 2-Loop Methode nur 1,9 %-Punkte höher liegt als beim 1-stufigen Deinkingprozess. Nach Beimischung von 10 % Inkjet liegt der Weißgrad nach der 2-Loop Methode 6,0 %-Punkte und nach Beimischung von 30 % Inkjet 7,5 %-Punkte höher als nach entsprechendem Deinken im 1-stufigen Prozess.

Bei der Mischung MIX 30 % Indigo wurde der Anteil der Offset-Heatset Illustrierten durch Indigo Testdrucke substituiert. Der Weißgrad der Indigodrucke liegt 24 %-Punkte (1-Loop Methode) bzw. 19 %-Punkte (2-Loop Methode) über dem Weißgrad der Offset-Illustrierten (vgl. Tabelle 20). Durch den Austausch dieser Produktanteile steigt der Weißgrad der undeinkten Mischung im Vergleich zur Referenzmischung um 7 – 8 %-Punkte. Bei Betrachtung der Weißgradsteigerungen durch das Deinken zeigt sich jedoch, dass im Gegensatz zur Referenzmischung der Weißgrad durch die Flotationen im 1-stufigen Prozess mit 9,6 %-Punkten und bei der 2-Loop Methode mit

13,2 %-Punkten um 3 – 5 %-Punkten weniger stark ansteigen. Insgesamt zeigt sich bei der Mischung mit 30 % Indigo kein Unterschied des Deinkingverhaltens am Beispiel des Weißgrads zwischen den beiden Deinkingmethoden. Die Differenzen der deinkten zu den undeinkten Faserstoffen liegen auf gleichem Niveau wie bei der Referenzmischung.

Bei der Mischung MIX 30 % Inkjet + 30 % Indigo wurden verschiedene Anteile aller klassischen Druckprodukte durch 30 % der beiden digitalen Testdrucke substituiert. Bei Betrachtung der Weißgradergebnisse nach dem Deinking mittels beider Methoden zeigt sich kein eindeutiger Unterschied im Vergleich zu den Weißgraden der Referenzmischung, da sich die Effekte der unterschiedlichen Druckprodukte ausgleichen.

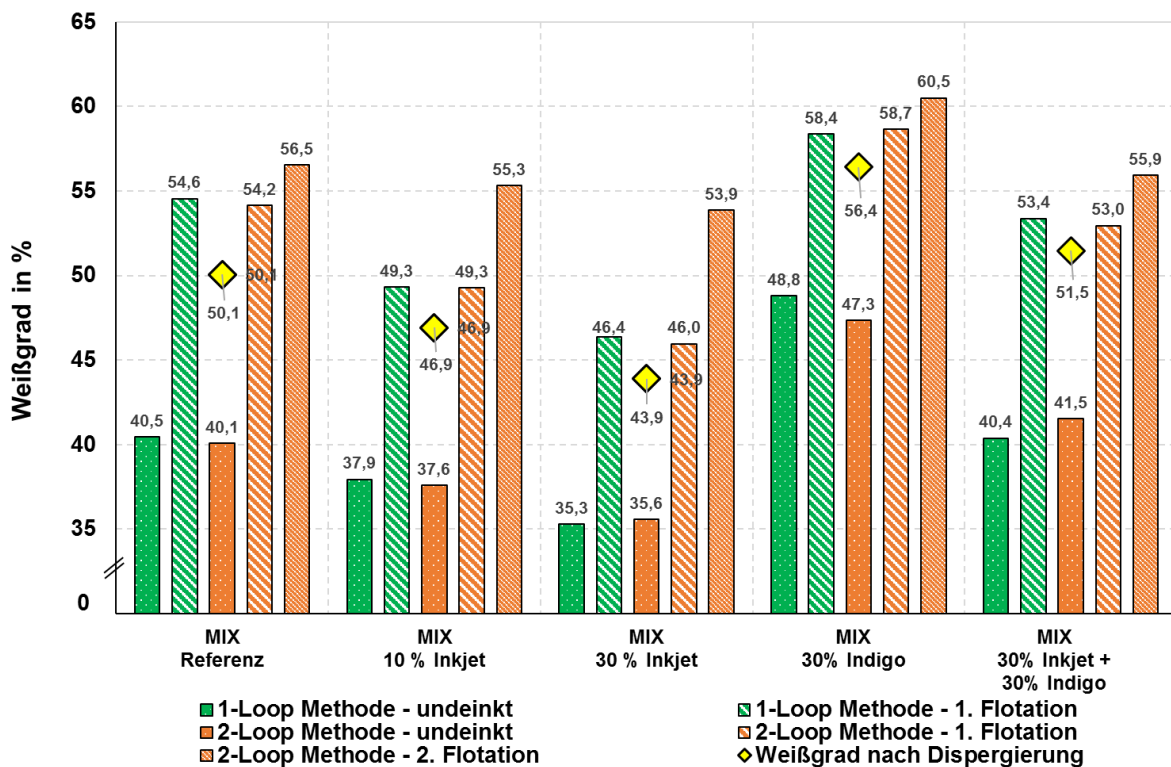


Abbildung 26: Weißgradentwicklung für Altpapiermischungen beim 1- und 2-Loop Deinking [69]

Die Filtratverdunkelung der Altpapiermischungen beim Deinking anhand der 1- und 2-stufigen Prozesse sind in **Abbildung 27** dargestellt. Zunächst zeigt sich, dass die Filtratverdunkelung der Referenzmischung nach dem Deinking mittels beider Methoden unter 5 liegt. Die Filtratverdunkelung der Inkjetprobe liegt an sich viel höher als die von der Zeitung (38,6 anstelle von 1,4 beim 1-stufigen Prozess sowie 76,3 anstelle von 3,7 nach der 2-Loop Methode - vgl. Tabelle 20), jedoch zeigt sich keine signifikante Auswirkung in der gemessenen Filtratverdunkelung bei der Zugabe von 10 % Inkjet. Werden die Ergebnisse bei der Beimischung von 30 % Inkjet betrachtet, so ist auch hier kein eindeutiger Trend feststellbar. Beim Deinking im 1-stufigen Prozess sinkt die Filtratverdunkelung zunächst und steigt dann bei der weiteren Zugabe von Inkjet an. Bei der 2-Loop Methode ist ein entgegengesetzter Trend zu beobachten. Zunächst steigt die Filtratverdunkelung an und sinkt dann bei der weiteren Zugabe von Inkjet unterhalb des Wertes der Referenzmischung. Durch die

Substituierung der Offset-Heatset Illustrierten mittels der Indigoprobe scheint die Filtratverdunkelung bei beiden Deinkingmethoden leicht anzusteigen und erst bei der extremen Beimischung von jeweils 30 % Inkjet und Indigo ist ein signifikanter Anstieg der Filtratverdunkelung feststellbar.

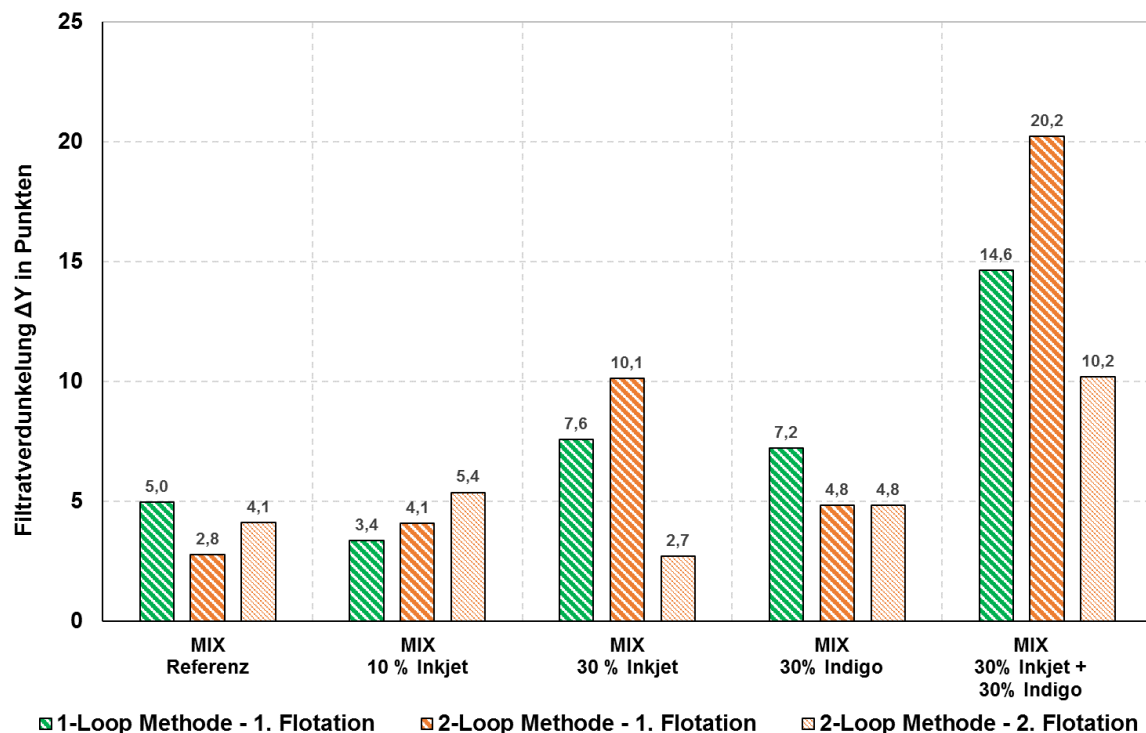


Abbildung 27: Entwicklung der Filtratverdunkelung für Altpapiermischungen beim 1- und 2-Loop Deinking [69]

In **Abbildung 28** sind die gesamten Schmutzpunktflächen der untersuchten Altpapiermischungen nach den Flotationsstufen für beide Deinkingmethoden dargestellt. Die Schmutzpunktfläche der Referenzmischung liegt mit $126 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ (1-Loop Methode) bzw. $106 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ (2-Loop Methode) in etwa auf dem Niveau der Zeitungen. Der Inkjetdruck weist an sich geringere Schmutzpunktflächen auf (vgl. Tabelle 20). So wird beim 1-stufigen Deinkingprozess beim Inkjet Testdruck eine Schmutzpunktfläche von $46 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ gemessen, bei der Zeitung hingegen von $125 \text{ mm}^2/\text{m}^2$. Beim Deinken nach der 2-Loop Methode werden bei beiden Produkten nur bis maximal ca. $10 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ weniger Schmutzpunkte gemessen. Durch die Substitution von Zeitungen durch 10 % Inkjet Testdruck in der Altpapiermischung nimmt die Schmutzpunktfläche beim 1- und 2-stufigen Deinkingprozess signifikant ab. Dabei werden durch die 2-Loop Methode mehr Schmutzpunkte ausgetragen als beim 1-stufigen Deinkingprozess. Wird der Anteil an Inkjetproben in der Altpapiermischung auf 30 % erhöht, so ist jedoch keine weitere Abnahme der Schmutzpunktfläche zu beobachten. Die Schmutzpunktfläche der Indigoprobe liegt vor allem nach dem Deinken mittels der 1-Loop Methode mit über $5.000 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ signifikant höher als die Schmutzpunktfläche der anderen Druckprodukte. Auch nach dem Deinken mittels der 2-Loop Methode liegt die Schmutzpunktfläche mit $847 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ noch auf einem hohen Niveau. Durch die Substitution von 30 % Indigo anstelle der Offset-Heatset Illustrierten (Schmutzpunktfläche: $38 \pm 2 \text{ mm}^2/\text{m}^2$) steigt die Schmutzpunktfläche in der Altpapiermischung

im Vergleich zur Referenzmischung signifikant an, wobei durch das Deinken mittels der 2-Loop Methode tendenziell mehr Schmutzpunkte ausgetragen werden als beim 1-stufigen Deinkingprozess. Auch bei der Mischung mit 30 % Inkjet und 30 % Indigo ist im Vergleich zur Referenzmischung ein deutlicher Anstieg in der Schmutzpunktfäche zu verzeichnen. Wie zu erwarten liegt der gemessene Wert beim 1-stufigen Deinkingprozess deutlich über der Schmutzpunktfäche der Referenzmischung, aber unterhalb der Schmutzpunktfäche der Mischung mit ausschließlich 30 % Indigo. Beim Deinken mittels der 2-Loop Methode werden bei der Mischung mit 30 % Inkjet und 30 % Indigo jedoch knapp $40 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ mehr Schmutzpunkte gemessen als bei der Mischung mit 30 % Indigo. Werden die Schmutzpunktverteilungen betrachtet, so weist im Vergleich zur 30 % Indigo Mischung lediglich die Schmutzpunktklasse über $500 \mu\text{m}$ mehr Schmutzpunkte auf. Schon bei Betrachtung der undeinkten Proben ist zu erkennen, dass die Mischung mit 30 % Inkjet und 30 % Indigo mehr und größere Schmutzpunktfächen aufweisen als die anderen Mischungen.

Auch bei dem Vergleich der Altpapiermischungen untereinander muss berücksichtigt werden, dass nach dem Deinken Helligkeits- bzw. Weißgradunterschiede bei den Laborblättern gemessen werden. Auf Grund der dadurch auftretenden Kontrastunterschiede zu den Schmutzpunkten bei den Domas-Messungen kann ein Einfluss auf die gemessenen Schmutzpunktfächen nicht ausgeschlossen werden.

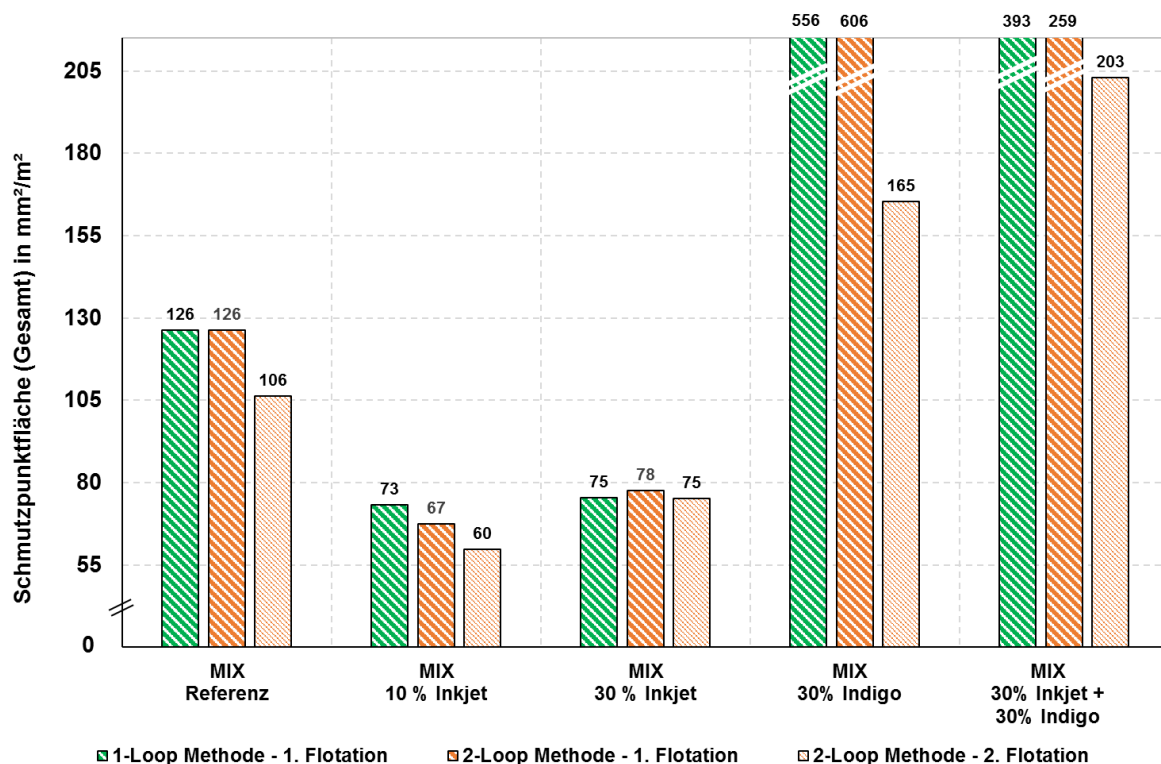


Abbildung 28: Entwicklung der Schmutzpunktfäche für Altpapiermischungen beim 1- und 2-Loop Deinking [69]

Als zusätzlicher Parameter wird in **Abbildung 29** der Aschegehalt der Altpapiermischungen nach den einzelnen Prozessschritten beim Deinking nach der 2-Loop

Methode dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Aschegehalt bei der Referenzmischung durch die erste Flotation um 9,5 %-Punkte gesenkt wird. Durch die 2. Flotation stellt sich eine weitere Reduzierung von 4,1 %-Punkte ein. Durch die Substitution von Zeitungen durch bis zu 30 % Inkjetproben wird der Aschegehalt im undeinkten Stoff nur geringfügig verändert, da die Aschegehalte der beiden Produkte im undeinkten und im deinkten Stoff auf etwa gleichem Niveau liegen. Dagegen ist mit der Substitution der Offset-Heatset Illustrierten durch 30 % Indigo Testdruck im Vergleich zur Referenzmischung ein deutlicher Anstieg des Aschegehalts um 10 % in der undeinkten Mischung zu erkennen, da der Ausgangsaschegehalt des Indigo Testdrucks mit 44 % im Vergleich zur Offset-Heatset Illustrierten mit 27 % auch deutlich höher liegt. Durch die beiden Flotationen werden bei dieser Altpapiermischung mit einem Anteil von 30 % Indigo knapp 20 % Asche ausgetragen, sodass sie nach der 2. Flotation noch einen Aschegehalt von knapp 10 % aufweist. Wird zusätzlich zu den 30 % Indigo noch 30 % Inkjet hinzugemischt, so weist die Entwicklung des Aschegehalts den gleichen Trend auf. Im Vergleich zum Aschegehalt durch das Deinken im 1-stufigen Prozess ist zu erkennen, dass bei den Altpapiermischungen durch die zwei Flotationsstufen bei der 2-Loop Methode 3 – 6 %-Punkte mehr Asche ausgetragen werden.

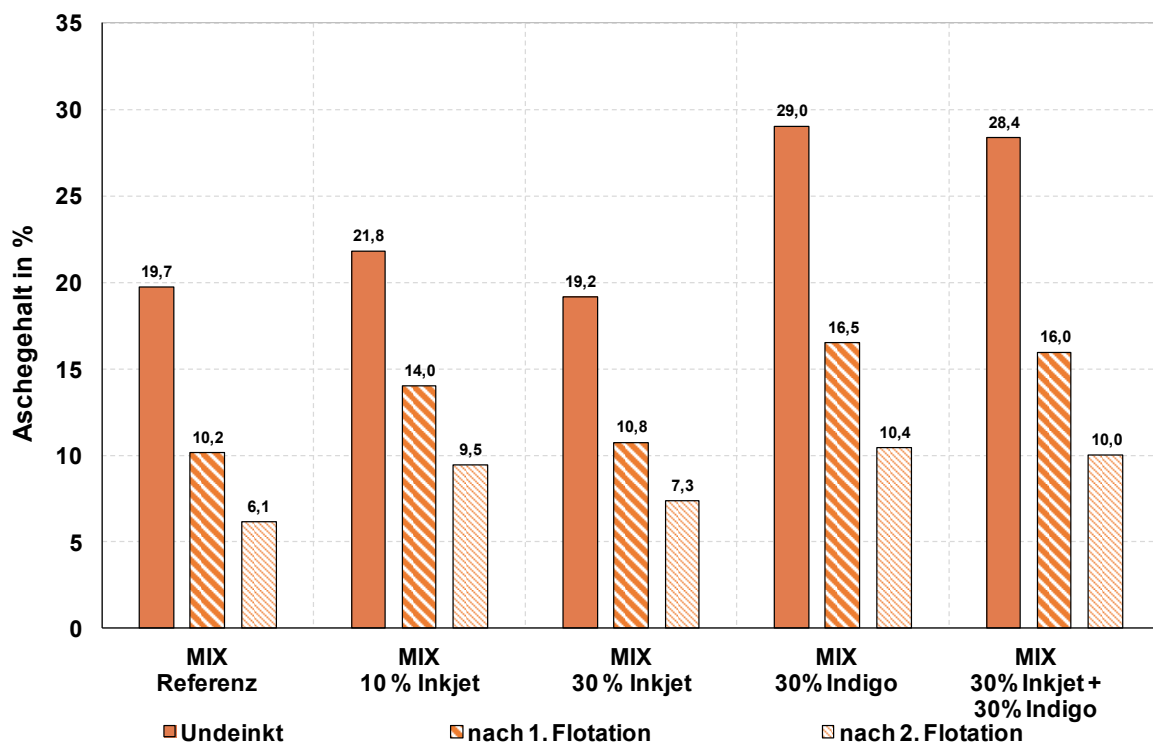


Abbildung 29: Entwicklung des Aschegehalts (525 °C) für Altpapiermischungen beim 2-Loop Deinking [69]

Neben der oben beschriebenen Entwicklung des Aschegehalts ist in **Tabelle 21** die Faserausbeute nach der 1. Flotation beim 1-stufigen Deinkingprozess sowie nach der 2. Flotation für die 2-Loop Methode dargestellt. Beim Deinken im 1-stufigen Prozess liegen die Faserausbeuten der Referenzmischung und der mit Inkjet Testdruck substituierten Mischungen auf gleichem Niveau. Wird der Mischung 30 % Indigo

hinzugegeben, so wird eine höhere Faserausbeute erreicht. Beim Deinken nach der 2-Loop Methode liegen die Faserausbeuten fast aller Mischungen auf gleichem Niveau. Nur die Mischung mit 30 % Indigo erreicht eine deutlich höhere Faserausbeute. Es ist kein eindeutiger Trend zu erkennen, durch welche Methode eine höhere Faserausbeute für die Altpapiermischungen erreicht wird und beim Deinking nach beiden Methoden besteht keine Korrelation zwischen dem Aschegehalt bzw. der Faserausbeute und den erzielten Weißgraden.

Tabelle 21: Entwicklung der Faserausbeute in % für Altpapiermischungen beim 1- und 2-Loop Deinking

	MIX Referenz	MIX 10 % Inkjet	MIX 30 % Inkjet	MIX 30 % Indigo	MIX 30 % Inkjet + 30 % Indigo
1-Loop	86,6	84,9	82,5	90,7	91,8
2-Loop	83,9	84,2	84,8	96,0	84,3

4.4.3 Modellierung des Deinkingverhaltens von Altpapiermischungen

Mit Hilfe der Messergebnisse aus Kapitel 4.4.1 (Deinking der Einzelprodukte für die Modellierung von Altpapiermischungen) und Kapitel 4.4.2 (Deinking von Altpapiermischungen) werden Modelle angewendet, die das Deinking- und Aufbereitungsverhalten der Altpapiermischung in Abhängigkeit von der Altpapierzusammensetzung auf Basis des Verhaltens der einzelnen Druckprodukte beschreiben sollen.

Im Folgenden wird zunächst die Modellierung der dichtebezogenen Streu- und Absorptionskoeffizienten (S- und K-Werte) vorgestellt. Auf Basis der Kubelka-Munk Theorie werden die nach DIN 54500 berechneten dichtebezogenen S- und K-Werte der Einzelkomponenten massengewichtet aufsummiert (vgl. **Abbildung 32**). Zur Messung dieser Parameter erfolgte die Laborblattbildung mit Kreislaufwasser, um Feinstoffe, Mineralien und Druckfarbenpartikel möglichst im Laborblatt anzureichern. Die optischen Eigenschaften werden unter Verwendung der Normlichtart D 65/10° gemessen.

In **Tabelle 22** sind die Einzelwerte der Reflexionsfaktoren und der dichtebezogenen Streu- und Absorptionskoeffizienten für die Messung bei R_{700} aufgelistet, aus denen wiederum die dichtebezogenen Streu- und Absorptionskoeffizienten (S- und K-Werte) der Altpapiermischungen modelliert werden.

Tabelle 22: Reflexionsfaktoren, Streu- und Absorptionskoeffizienten (S- und K-Werte) der Einzelprodukte (R_{700}) als Grundlage zur Modellierung der S- und K-Werte der Altpapiermischungen [69]

		m_A in g/m ²	R_∞ in %	R_0 in %	S in m ² /kg	K in m ² /kg	S · m_A -	K · m_A -
Offset - Zeitung_2	UP	43,21	48,89	48,02	56,05	14,98	2,42	0,66
	DP	44,72	66,92	60,24	50,14	4,10	2,17	0,17
Offset - Werbeprospekte	UP	42,26	44,87	44,40	57,79	19,57	2,44	0,86
	DP	45,60	67,92	60,92	51,86	3,93	2,19	0,16
Offset - Illustrierte	UP	44,57	53,99	52,66	57,63	11,30	2,57	0,50
	DP	43,97	75,04	64,74	50,91	2,11	2,27	0,09
Tiefdruck - Illustrierte	UP	43,95	49,98	49,03	55,82	13,97	2,45	0,62
	DP	43,28	72,50	63,24	50,24	2,62	2,21	0,12
Inkjet - Testdruck_2	UP	45,82	42,00	40,95	38,98	15,61	1,79	0,69
	DP	44,71	58,33	50,46	31,92	4,75	1,46	0,21
Indigo - Testdruck_2	UP	43,30	78,76	65,14	49,59	1,42	2,15	0,06
	DP	47,04	91,09	66,74	47,32	0,21	2,05	0,01

Wie zuvor beschrieben, werden aus den Streu- und Absorptionskoeffizienten der jeweiligen Druckprodukte (Tabelle 22) die Koeffizienten für die Altpapiermischungen (vgl. Tabelle 6) berechnet. In **Abbildung 30** werden die berechneten dichtebezogenen Absorptionskoeffizienten den an den Altpapiermischungen gemessenen Werten für den undeinkten Stoff (UP) sowie den deinkten Stoff (DP) nach dem Deinken mittels 2-Loop Methode gegenübergestellt. Wie zu erwarten liegen die Werte der undeinkten Proben auf einem höheren Niveau (0,46 – 0,76) als die Werte der deinkten Altpapiermischungen (0,11 – 0,16). Es ist deutlich zu erkennen, dass die Abweichung zwischen berechnetem und gemessenen Absorptionskoeffizienten bei den deinkten Faserstoffen näher beieinanderliegen. Die prozentualen Abweichungen liegen für den undeinkten Stoff zwischen 3 und 22 %, wobei vor allem die Substitution von 30 % Inkjet Testdruck bzw. 30 % Indigo Testdruck zu einer höheren Differenz zwischen den beiden Werten führt. Dieser Effekt ist bei den deinkten Proben nicht mehr zu beobachten, bei denen die berechneten Absorptionskoeffizienten auf gleichem Niveau liegen wie die dazugehörigen gemessenen Werte. Die Abweichungen zwischen den beiden Werten liegen unter 15 %.

Des Weiteren wurden die dichtebezogenen Streukoeffizienten der Altpapiermischungen berechnet und den gemessenen Werten nach dem Deinking mittels der 2-Loop Methode gegenübergestellt (**Abbildung 31**). Auch beim Streukoeffizienten liegen die Koeffizienten der undeinkten Altpapiermischungen auf einem höheren Niveau wie die deinkten Faserstoffe, wobei die Differenz unter 1 liegt. Wie beim K-Wert ist zu erkennen, dass die Abweichung der Streukoeffizienten zwischen gemessenen und berechneten Werten bei den undeinkten Faserstoffen höher ist. Die

prozentuale Abweichung liegt auf gleichem Niveau wie bei den Absorptionskoeffizienten zwischen 2 und 24 %. Auch beim Streukoeffizienten der deinkten Faserstoffe liegen die gemessenen und berechneten Werte wieder näher beieinander und weichen nur bis zu 10 % voneinander ab.

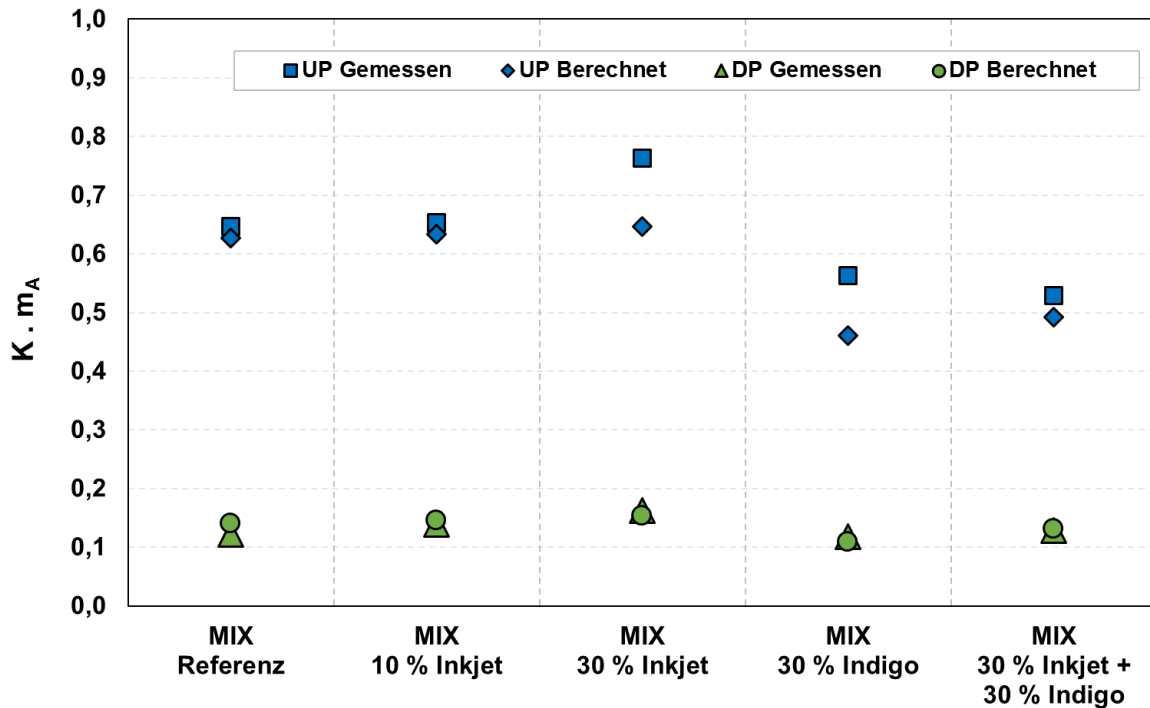


Abbildung 30: Vergleich von gemessenen und berechneten dichtebezogenen Absorptionskoeffizienten der Altpapiermischungen [69]

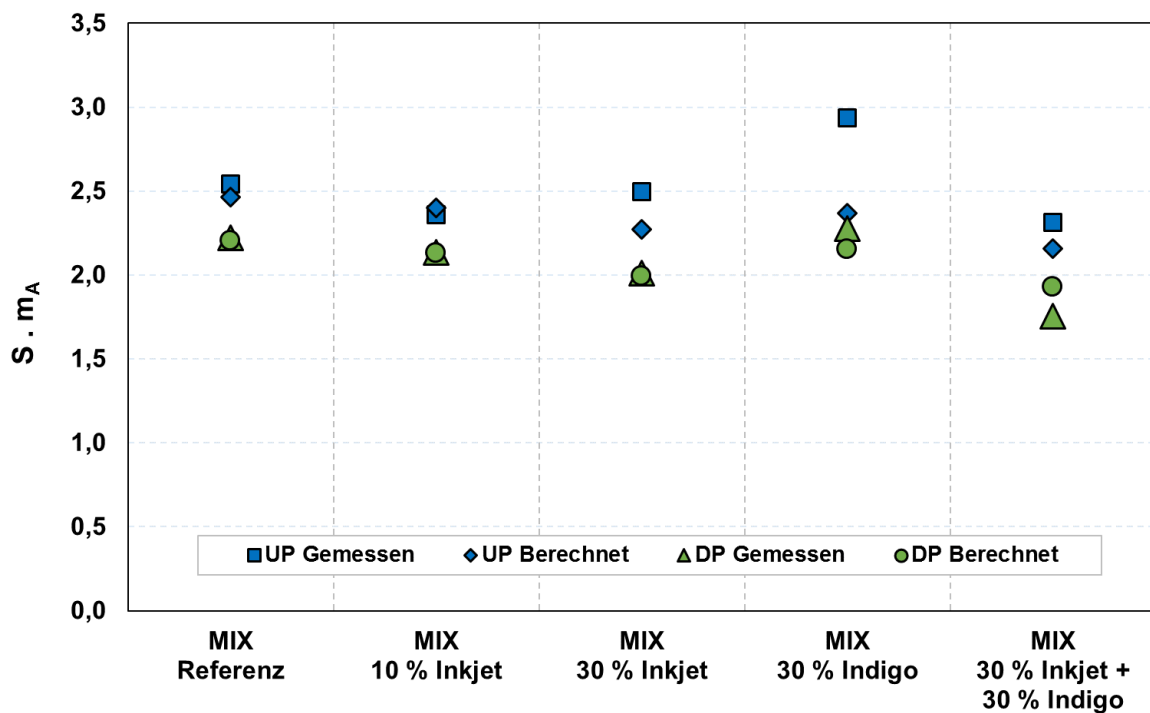


Abbildung 31: Vergleich von gemessenen und berechneten dichtebezogenen Streukoeffizienten der Altpapiermischungen [69]

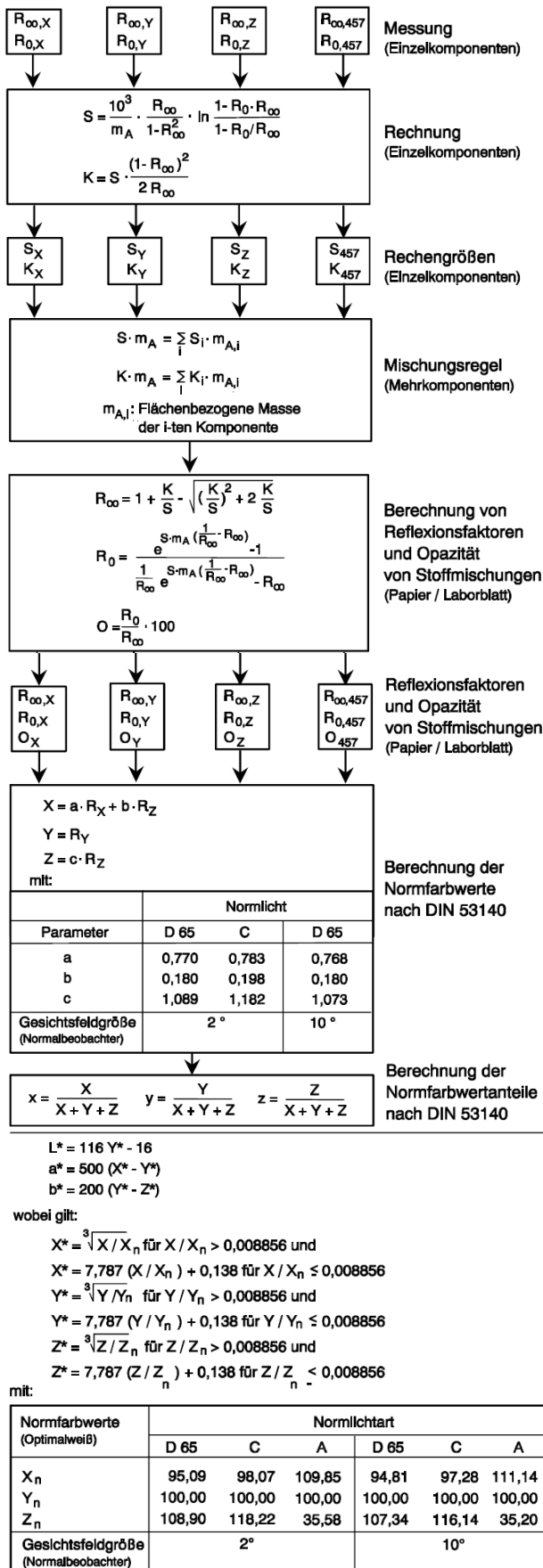


Abbildung 32: Schema zur Berechnung verschiedener optischer Eigenschaften [70]

Zur Modellierung der $L^*a^*b^*$ -Werte (Schema zur Berechnung: s. Abbildung 32) werden zunächst die Streu- und Absorptionskoeffizienten (S_x, S_y, S_z sowie K_x, K_y, K_z) der Altpapiermischungen über die Reflexionsfaktoren (R_∞ und R_0 für R_x, R_y und R_z) der Einzelprodukte nach DIN 54500 berechnet. Diese Werte sind im Anhang in Tabelle A.15 dargestellt. Aus den berechneten Streu- und Absorptionskoeffizienten der Mischungen lassen sich wiederum die Reflexionsfaktoren für die Altpapiermischungen berechnen, die anschließend für die Berechnung der Normfarbwerte eingesetzt werden. Die Parameter a, b und c werden aus der in Abbildung 32 gezeigten Tabelle entsprechend der Messung der optischen Eigenschaften bei Normlicht D 65 / 10 ° abgelesen. Über die berechneten Normfarbwerte X, Y und Z werden die Farbraumwerte $L^*a^*b^*$ berechnet. Diese modellierten $L^*a^*b^*$ -Werte (für R_∞) der Altpapiermischungen werden den gemessenen Werten in **Tabelle 23** für die deinkten Altpapiermischungen gegenübergestellt. Insgesamt kann gezeigt werden, dass sich der Farbraum ($L^*a^*b^*$ -Werte) der Altpapiermischungen über die Reflexionsfaktoren der Einzelprodukte gut modellieren lässt. Unabhängig von der Altpapiermischung liegt die Differenz zwischen der modellierten und der tatsächlich gemessenen Helligkeit (L^* -Wert) bei unter 1 und somit im Schwankungsbereich der Messungen. Auch die Differenzen zwischen den modellierten und gemessenen a^* - und b^* -Farbwerten liegen auf einem geringen Niveau und es ist deutlich zu erkennen, dass der Trend der Farbortverschiebung durch die Zumischung von Digitaldruck zur Altpapiermischung bei beiden Verfahren gleich ist. Unter Berücksichtigung der Messschwankungen, die bei der Parameterbestimmung der Einzelprodukte und der Altpapiermischungen auftreten, kann gezeigt werden, dass die Modellierung des Farbraums möglich ist.

Tabelle 23: Vergleich von gemessenem und modelliertem Farbraum ($L^*a^*b^*$ -Werte) der Altpapiermischungen

		MIX Referenz	MIX 10 % Inkjet	MIX 30 % Inkjet	MIX 30 % Indigo	MIX 30 % Inkjet + 30 % Indigo
L^*-Wert	Modelliert	84,1	84,0	83,7	85,9	85,1
	Gemessen	84,7	83,3	84,2	85,8	84,8
a^*-Wert	Modelliert	0,02	0,15	0,48	0,62	1,32
	Gemessen	0,22	0,38	0,64	0,16	1,32
b^*-Wert	Modelliert	4,71	3,63	1,28	1,60	-2,59
	Gemessen	5,14	3,52	1,01	2,42	-2,62

Anhand der berechneten Normfarbwerte kann des Weiteren die CIE-Weiße der Altpapiermischungen modelliert werden. Nach ISO 11475 wird diese über die Beziehung $CIE\text{-Wei\ss e} = Y + 800 \cdot (0,31382 - x) + 1700 \cdot (0,331 - y)$ berechnet und ist in **Abbildung 33** den gemessenen Werten der Altpapiermischungen gegenübergestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die modellierte Weiße der Referenzaltpapiermischung mit der gemessenen Weiße übereinstimmt. Auch nach der Substitution von klassischen Druckprodukten durch 10 bzw. 30 % Inkjet Testdruck kann die Weiße weiterhin modelliert werden. Eine Differenz von 4 Punkten ist zwischen der

modellierten und gemessenen Weiße zu erkennen, wenn der Altpapiermischung 30 % Indigo hinzugegeben wird. Jedoch sollte der gemessene Wert mit Vorsicht betrachtet werden, da der Weißgrad der Mischung mit 30 % Indigo bei der Messung des Weißgrads mit R_{457} höher ist als bei der Mischung mit 30 % Inkjet. Wenn sich diese Tendenz auch bei der gemessenen CIE-Weiße ergeben hätte, dann würde der modellierte Wert dem gemessenen Wert höchstwahrscheinlich besser entsprechen. Diese Vermutung wird auch durch die Weiße der Altpapiermischung mit 30 % Indigo und 30 % Inkjet bestätigt, bei der die modellierten Werte die gemessenen Werte widerspiegeln. Im Vergleich zum Weißgrad R_{457} , der unter Verwendung der Normbeleuchtung $C/2^\circ$ ohne UV-Licht gemessen wurde (s. Abbildung 26), wurde die CIE-Weiße unter Verwendung der Normlichtart D 65/10° (entspricht Tageslicht) gemessen. Beim steigenden Anteil an digitalen Druckprodukten in den Altpapiermischungen nimmt anscheinend auch der Anteil an optischen Aufhellern im Faserstoff zu. Da die CIE-Weißen der digitalen Druckprodukte bis zu dreimal so hoch sind wie die der klassischen Druckprodukte, wird eine höhere CIE-Weiße in den Altpapiermischungen gemessen, die jedoch den realen Eindruck der deinkten Faserstoffe nicht widerspiegelt. Dies zeigt, dass sich die CIE-Weiße zwar modellieren lässt, jedoch als Parameter zur Charakterisierung von optischen Eigenschaften zum Vergleich verschiedener Altpapiermischungen nicht uneingeschränkt geeignet ist.

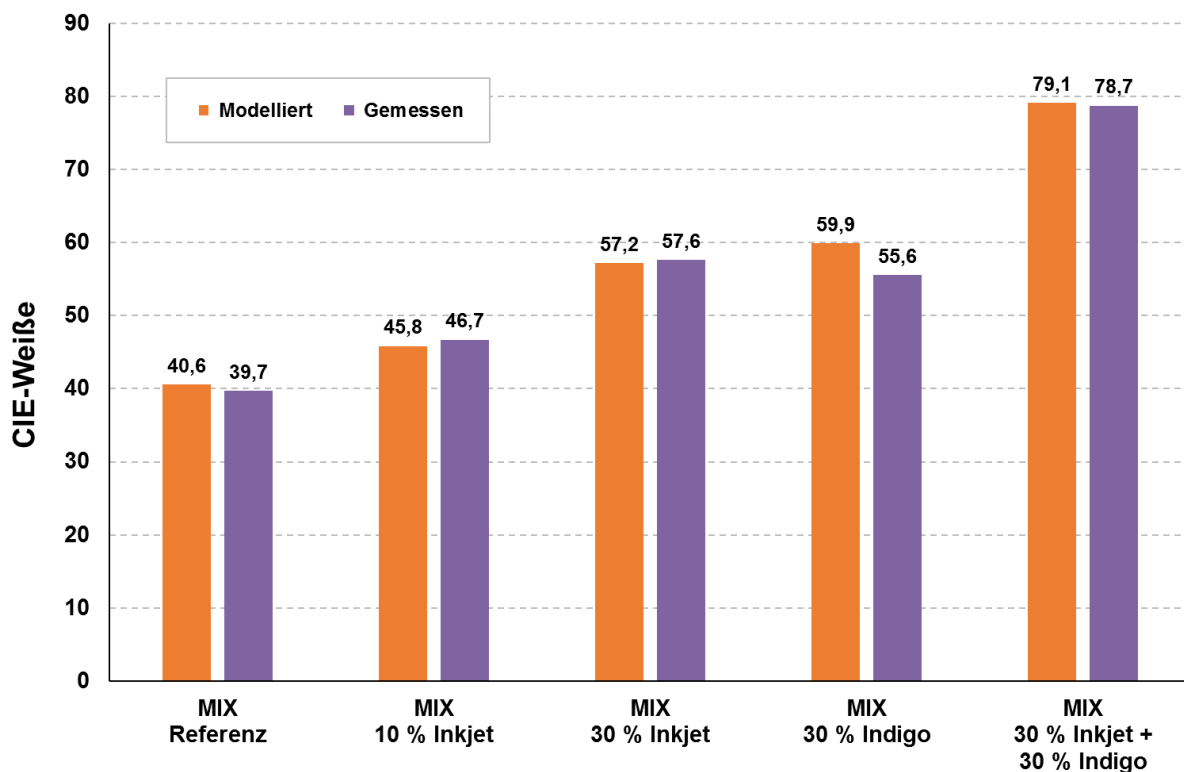


Abbildung 33: Vergleich von gemessener und modellierter CIE-Weiße der Altpapiermischungen

4.5 Optimierung der 2-Loop Methode

In diesem Kapitel werden die durchgeführten Versuche zur Optimierung des 2-Loop Prozesses vorgestellt und weitere Optimierungsvorschläge diskutiert.

4.5.1 Substitution des Eindickfiltrats durch Frischwasser

Bei der 2-Loop Methode wird der dispergierte Stoff mit dem bei der Entwässerung gewonnenen Eindickfiltrat aus dem Labordisperger ausgewaschen und für die 2. Flotation auf die erforderliche Stoffdichte verdünnt. Von diesem Stoff werden die Labor- und Nutschenblätter für die Messung der optischen Eigenschaften hergestellt und charakterisieren damit den Prozessschritt Dispergierung. In Optimierungsversuchen wird am Beispiel von Offset-Coldset Zeitung_1 und Indigo Testdruck_1 untersucht, ob bei der Entwässerung Stoffe durch das Eindickfiltrat den Dispergierschritt umgehen und somit durch das Auswaschen und die Verdünnung wieder in den dispergierten Faserstoff und die 2. Flotation eingetragen werden. Dafür wird der dispergierte Faserstoff bei der 2-Loop Methode anstelle des Eindickfiltrats mit Frischwasser (FW) aus dem Disperger ausgewaschen und auf die zur Flotation notwendige Stoffdichte verdünnt. Die Druckprodukte wurden zuvor für drei Tage beschleunigt gealtert und unter Zugabe der halben Natronlaugen- und Wasserglasmenge zerfasert. Die Deinkingergebnisse werden mit denen der entsprechenden Druckprodukte beim Einsatz von Eindickfiltrat verglichen.

Bei dem Indigo Testdruck_1 wird der Weißgrad insgesamt durch das Deinken mit der 2-Loop Methode nicht signifikant beeinflusst und schon der undeinkte Faserstoff liegt mit über 80 % auf einem sehr hohen Niveau. Durch die 1. Flotation wird der Weißgrad um 3 %-Punkte gesteigert und durch die Dispergierung und 2. Flotation kaum verändert (vgl. Kapitel 4.3). Wird die Entwicklung des Weißgrads über die einzelnen Prozessstufen betrachtet (**Tabelle 24**), so ist kein Unterschied zwischen der bisherigen Standard-2-Loop Methode und der optimierten 2-Loop Methode zu erkennen, bei der anstelle des Eindickfiltrats Frischwasser eingesetzt wurde. Die Weißgraddifferenzen vom Faserstoff nach der 2. Flotation zum undeinkten Faserstoff (Δ DP zu UP) liegen auf gleichem Niveau.

Tabelle 24: Einfluss von Frischwasser (2-Loop_FW) anstelle des Eindickfiltrats (2-Loop) auf den Weißgrad in % beim Deinken von Indigo Testdruck_1

	Undeinkt	1. Flotation	Dispergierung	2. Flotation	Δ DP zu UP
2-Loop	83,0	85,9	85,7	86,1	3,1
2-Loop_FW	82,2	85,3	84,6	84,7	2,5

Das Hauptaugenmerk dieses Versuchs lag auf der Entwicklung der Schmutzpunkte. Diese wurden durch die Flotationen signifikant ausgetragen, dennoch sollte untersucht werden, ob nicht flotierbare Schmutzpunkte bei der Entwässerung mit dem Eindickfiltrat ausgewaschen und somit dem dispergierten Faserstoff bei der Verdünnung wieder beigemischt wurden. Wie in **Tabelle 25** und **Abbildung 34** zu sehen, liegen die gesamten sowie die Schmutzpunktflächen $> 250 \mu\text{m}$ und die

Schmutzpunktanzahl beim Deinken nach der 2-Loop Methode sowie beim Einsatz von Frischwasser anstelle des Eindickfiltrats auf gleichem Niveau. Die Differenzen, die nach der 2. Flotation zu sehen sind, waren schon nach der 1. Flotation erkennbar und haben sich bis zum Ende des Deinkingprozesses durchgezogen. Es lässt sich damit zusammenfassen, dass das Vorwärtsführen des entwässerten Eindickfiltrats zur 2. Flotation beim 2-Loop Deinking keinen negativen Einfluss auf den Weißgrad und die Schmutzpunktentwicklung von Indigo Testdruck hat.

Tabelle 25: Einfluss von Frischwasser (2-Loop_FW) anstelle des Eindickfiltrats auf die Schmutzpunktanzahl in Anzahl/m² beim Deinking von Indigo Testdruck_1

	Undeinkt	1. Flotation	Dispergierung	2. Flotation
2-Loop	670.261	178.596	147.250	37.873
2-Loop_FW	629.358	186.968	152.304	55.706

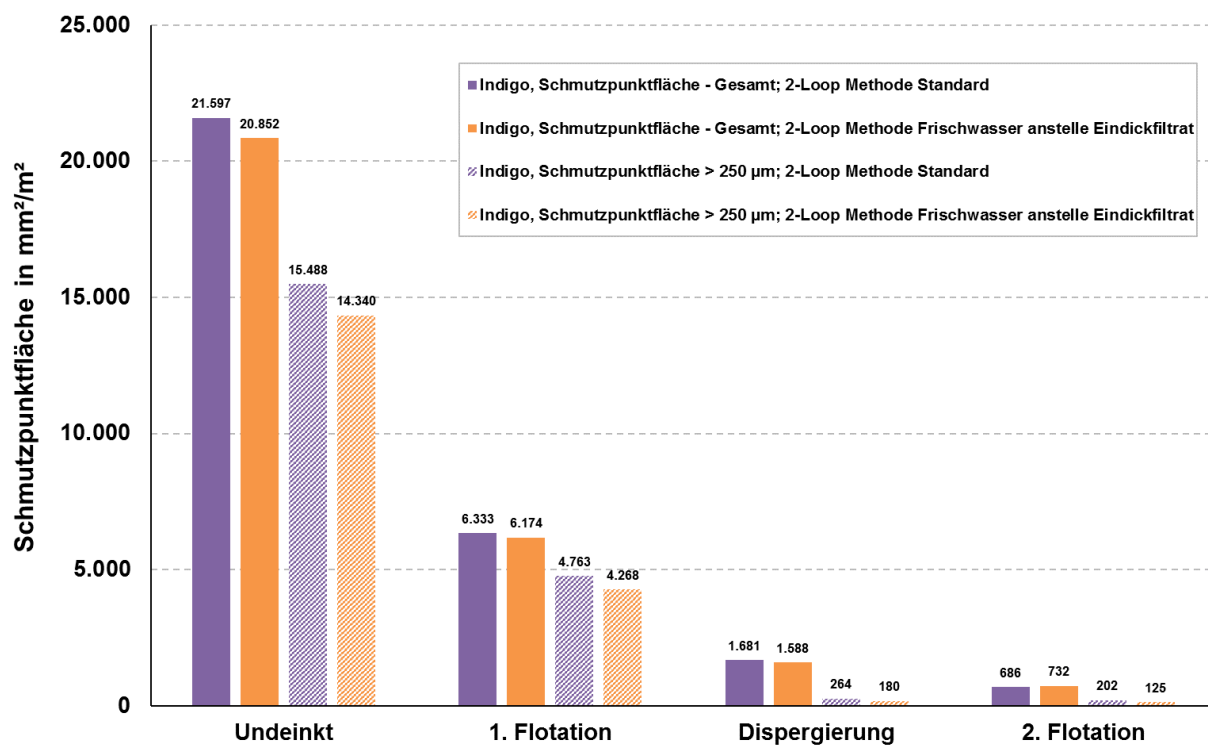


Abbildung 34: Einfluss von Frischwasser anstelle des Eindickfiltrats auf die Schmutzpunktfläche beim Deinking von Indigo Testdruck_1

Bei der Offset-Coldset Zeitung_1 zeigt sich durch die Versuche mit Frischwasser anstelle des Eindickfiltrats, dass der Weißgrad des dispergierten Faserstoffs sowie des Faserstoffs nach der 2. Flotation nicht durch das Eindickfiltrat beeinflusst wird. Beim Deinking nach beiden Methoden liegt der Weißgrad nach der Dispergierung und nach der 2. Flotation auf gleichem Niveau (**Abbildung 35**).

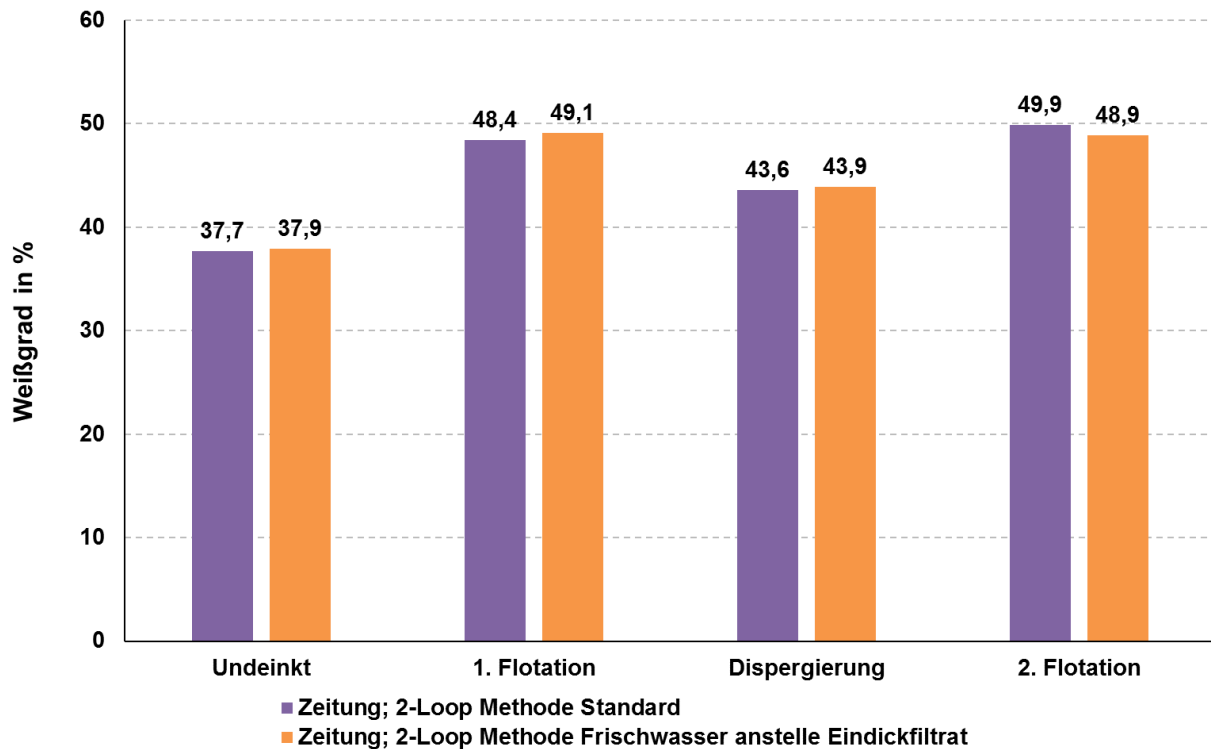


Abbildung 35: Einfluss von Frischwasser (2-Loop_FW) anstelle des Eindickfiltrats auf den Weißgrad beim Deinking von Offset Zeitung_1

Bei Betrachtung der Schmutzpunktzahl (**Tabelle 26**) und -flächen (**Abbildung 36**) der deinkten Zeitungen ist kein signifikanter Einfluss des Eindickfiltrats zu erkennen. Tendenziell scheint es, dass nach der 2. Flotation noch mehr Schmutzpunkte im deinkten Faserstoff vorhanden sind, wenn das Eindickfiltrat anstelle des Frischwassers zur Verdünnung eingesetzt wird, wobei dieser Unterschied nicht groß ist. Auffällig ist, dass bei den Zeitungen bei beiden Methoden die Schmutzpunktzahl und gesamte Schmutzpunktfäche (vor allem die kleineren < 150 µm) durch die 2. Flotation wieder ansteigen. Dies liegt möglicherweise an der Domas-Messmethode, da kein optimaler Kontrast erreicht wird. Die Schmutzpunktzahl und gesamten Schmutzpunktfächen sind auch nach der 1. Flotation höher als beim undeinkten Faserstoff, da durch die Helligkeitsunterschiede der Laborblätter der Kontrast zu den Schmutzpunkten verändert wird. Wahrscheinlich tritt dieses Phänomen auch bei der 2. Flotation auf. Durch die Weißgraderhöhung wird der Kontrast beeinflusst und tendenziell mehr kleinere Schmutzpunkte gemessen, die beim dunkleren dispergierten Stoff einfach nicht detektiert wurden. Würden Schmutzpunkte durch das Eindickfiltrat wieder in den Prozess eingetragen werden, müsste ein größerer Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Methoden auftreten.

Tabelle 26: Einfluss von Frischwasser (2-Loop_FW) anstelle des Eindickfiltrats auf die Schmutzpunktzahl in Anzahl/m² beim Deinking von Offset Zeitung_1

	Undeinkt	1. Flotation	Dispergierung	2. Flotation
2-Loop	670.261	178.596	147.250	37.873
2-Loop_FW	629.358	186.968	152.304	55.706

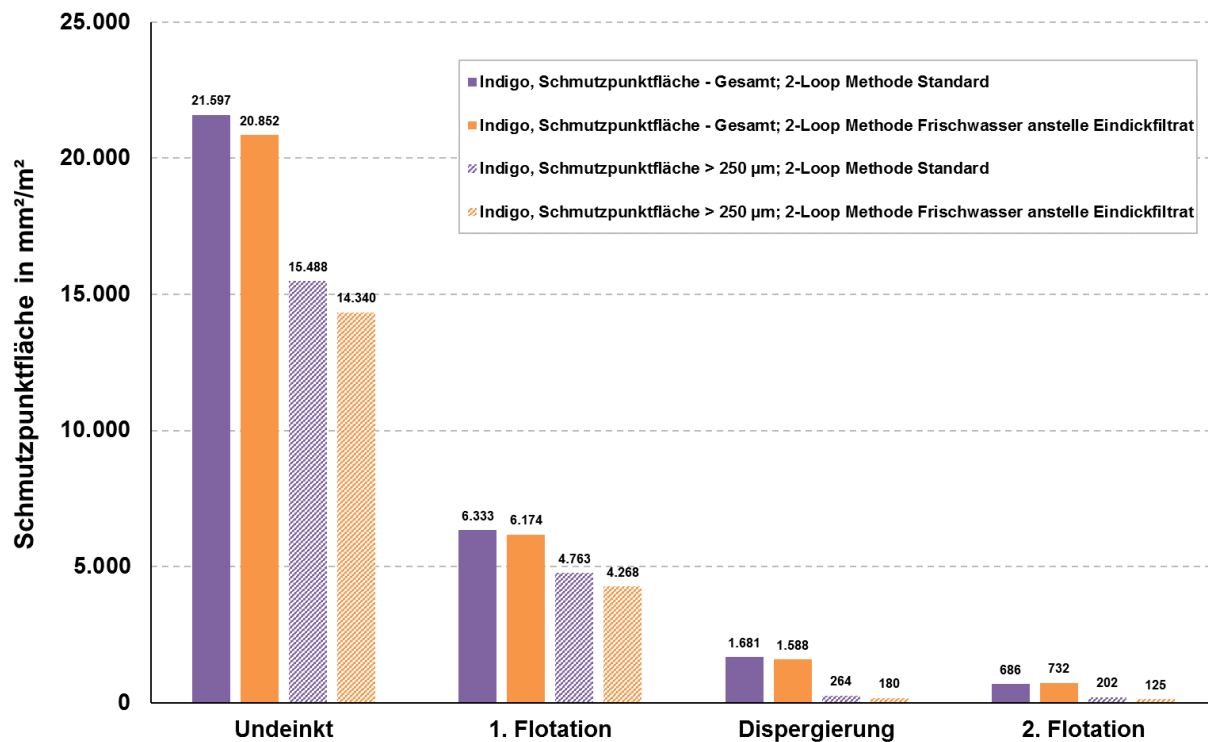


Abbildung 36: Einfluss von Frischwasser anstelle des Eindickfiltrats auf die Schmutzpunktfläche beim Deinking von Offset Zeitung

4.5.2 Bleichversuche

Zur Optimierung der in diesem Projekt entwickelten 2-Loop Methode wird der Prozess um eine oxidative und eine reduktive Bleichstufe erweitert. In der Papierindustrie wird die oxidative Bleiche üblicherweise während der Dispergierung durchgeführt. Da dies im Labormaßstab am PMV jedoch aus verfahrenstechnischen Gründen nicht möglich ist, wird der dispergierte Stoff separat oxidativ gebleicht. Die reduktive Bleiche mit Dithionit wird der 2. Flotation nachgeschaltet (vgl. Kapitel 2.2.6). Exemplarisch wurden diese Prozessschritte beim Deinking der Referenzmischung sowie der Mischung mit einem Anteil von 10 % Inkjet Testdruck_2 durchgeführt (vgl. Kapitel 3.2.7).

In **Abbildung 37** sind für die beiden Mischungen die Weißgrade nach den einzelnen Prozessschritten der 2-Loop Methode mit und ohne Bleichstufen dargestellt. Wie in Kapitel 4.4.2 ausführlich beschrieben, wird der Weißgrad der 2-Loop Methode durch die 1. Flotation zunächst gesteigert, durch die anschließende Dispergierung reduziert und anschließend durch die 2. Flotation wieder angehoben. Es ist für die Referenzmischung sowie für die Mischung mit beigemischem Inkjetdruck zu erkennen, dass durch die oxidative Bleiche mit 0,6 % Peroxid der Weißgrad um 5,6 %- (Referenzmischung) bzw. 3,9 %-Punkte (Mischung mit 10 % Inkjet) gesteigert wird. Dieser Effekt wird durch die 2. Flotation größtenteils wieder relativiert, sodass die Weißgrade der oxidativ gebleichten Mischungen nur noch bis zu 2 %-Punkte höher liegen, als die Mischungen ohne Bleiche. Durch die anschließende reduktive Bleiche mit 0,3 % Dithionit werden die Weißgrade beider Mischungen nochmals um 5,2 %- (Referenzmischung) bzw. 4,1 %-Punkte (Mischung mit 10 % Inkjet) erhöht. Somit wird bei der

Referenzmischung ein Endweißgrad von 62,3 % und bei der Mischung mit 10 % Inkjet ein Endweißgrad von 61,0 % erreicht, die beide knapp 6 %-Punkte über dem Weißgrad der jeweiligen ungebleichten Mischung liegen. Um die Weißgradentwicklung durch die ergänzten Bleichstufen noch weiter zu optimieren, könnten weiterführende Versuche mit unterschiedlichen Bleichmittelmengen durchgeführt werden.

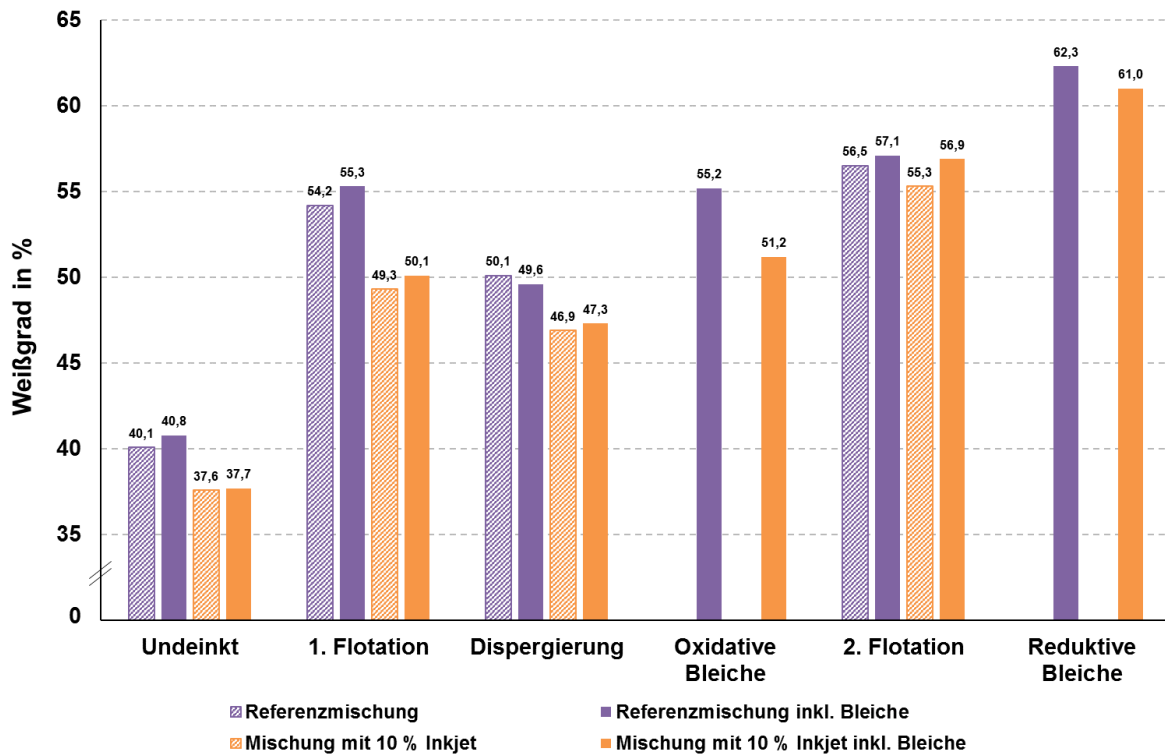


Abbildung 37: Optimierung der 2-Loop Methode durch Bleichstufen [basierend auf 71]

4.5.3 Variation der Flotationsbedingungen

Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung des 2-Loop Prozesses ist prinzipiell die Verlängerung der Flotationszeit bei der 1. und 2. Flotation. Wie schon in Kapitel 4.1 bei der Entwicklung der 2-Loop Methode gezeigt wurde, wird der Weißgrad durch eine längere Flotationszeit weiter erhöht und es werden Weißgrade erreicht, die mit dem industriellen Prozess vergleichbar sind. Da durch die längere Flotation jedoch die Faserausbeute weiter abnimmt und zwischen diesen beiden Parametern ein Kompromiss getroffen werden musste, ist eine längere Flotationszeit zur Optimierung des 2-Loop Prozesses nicht sinnvoll.

Auf Grund der Weiterführung des Eindickfiltrats und dem Faserstoff an sich, sind bei der 2. Flotation eine gewisse Menge an Deinkingchemikalien aus dem vorherigen Prozess vorhanden. Bei der 2. Flotation wird demnach nur noch eine geringe Menge an Ölsäure und Natronlauge hinzugefügt. In weiterführenden Versuchen könnte untersucht werden, ob eine Anpassung des Chemikalieneinsatzes bei der 2. Flotation die Deinkingwirkung verbessern würde. Dies muss jedoch in einem Folgeprojekt für verschiedene Druckprodukte untersucht werden.

4.5.4 Optimierung der Zerfaserung

Auf Grund des Einflusses des Aschegehalts auf die Zerfaserungsbedingungen wurde die Zerfaserung der Druckprodukte nicht wie üblich bei Deinkingversuchen bei einer Feststoffdichte von 15 % durchgeführt, sondern in Anlehnung an die DIN SPEC 55700 bei einer Faserstoffdichte von 12 %. Im Laufe dieses Projektzeitraums wurde die INGEDE-Methode 11 aktualisiert, bei der die zu zerfasernde Stoffmenge in Abhängigkeit des Aschegehalts des Druckprojektes eingetragen wird. Liegt der Aschegehalt des Druckprodukts niedriger oder gleich 20 %, so wird der Zerfaserung bei einer Feststoffdichte von 15 % durchgeführt. Liegt die Stoffdichte des Druckprodukts über 20 %, so wird die Zerfaserung bei einer Faserstoffdichte von 12 % durchgeführt. Ob dieser Ansatz auch für die 2-Loop Methode sinnvoll ist, sollte in einem Folgeprojekt untersucht werden.

4.5.5 Optimierung der Dispergierung

Bei den 2-Loop Deinkingversuchen ist vor allem bei den konventionellen Druckverfahren zu erkennen, dass der Weißgrad durch die Dispergierung signifikant reduziert wird. Die Dispergierung ist jedoch, wie auch in der industriellen Praxis, ein wesentlicher Prozessschritt beim Deinking im 2-Loop Verfahren. Die Schmutzpunkt-partikel werden zerkleinert, sodass sie in der zweiten Flotation ausgetragen werden können. Auch in der Industrie wird der Weißgrad durch die Dispergierung reduziert, jedoch nicht so stark wie bei der in diesem Projekt entwickelten 2-Loop Methode. Aus diesem Grund sollten Versuche durchgeführt werden, mit denen eine praxismäßigere Dispergierung gestaltet werden kann. Die Dispergierung mit einer geringeren Stoffdichte zeigt anhand der vorgestellten Ergebnisse in Kapitel 4.1 zunächst keine wesentliche Verbesserung des Weißgrads auf. Es sollten demnach weitere Versuche durchgeführt werden, bei denen verschiedene Parameter bei der Dispergierung optimiert werden. Zum einen können verschiedene Mahlgarnituren in den Disperger eingesetzt und der Einfluss von Prozessparametern wie die Drehzahl näher untersucht werden. Des Weiteren sollte geprüft werden, wie sich verschiedene Druckprodukte mit unterschiedlichen Aschegehalten unter Variation der Stoffdichte auf die Dispergierung auswirken. Da dies jedoch den Umfang dieses Projektes übersteigt, sollte dies in einem weiterführenden Projekt durchgeführt werden.

4.6 Parameterauswahl für ein Bewertungsschema

Für die Erarbeitung eines Bewertungsschemas müssen verschiedene Kriterien durch das Deinking der Druckprodukte und derer Mischungen erfüllt werden. Um die Deinkingergebnisse der Altpapiermischungen besser einschätzen und beurteilen zu können, sollte ein Bewertungsschema ausgearbeitet werden, welches das Deinking- und Aufbereitungsverhalten einer Altpapiermischung bewertet. Zum Vergleich und zur Einordnung von verschiedenen optischen Eigenschaften werden zum einen aus 5 Papierfabriken Stoffproben nach der Zerfaserung und vom Fertigstoff organisiert und ausgewertet. Wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, wurde bei drei der fünf Papierfabriken während der Probenahme gebleicht (Firma A, D und E). Die Ergebnisse des Weißgrads, des Hellbezugswerts Y, des Farborts und der Filtratverdunkelung sind in

Tabelle 27 aufgelistet. Bei diesen fünf Firmen werden in Abhängigkeit vom eingesetzten Altpapier und der Stoffaufbereitung Endweißgrade von 58 % bis 66 % erreicht. Im Mittelwert liegt der Weißgrad aller Firmen bei 62 %. Werden nur die Firmen ohne Bleiche betrachtet, so liegt der Mittelwert zwar nur leicht niedriger bei 59 %, jedoch war hier der Weißgrad nach der Zerfaserung auf einem höheren Niveau als bei den Firmen bei denen gebleicht wird. Der Hellbezugswert Y schwankt zwischen 62 und 73. Es wird gezeigt, dass im Mittel bei den Firmen ohne Bleiche der Weißgrad um 6,5 %-Punkte und der Hellbezugswert um 7,1 Punkte gesteigert wird sowie bei den Firmen mit Bleiche der Weißgrad um 17,4 %-Punkte und der Hellbezugswert um 20,9 Punkte gesteigert wird. Dies zeigt wie wichtig es ist für die Grundlage der Parameterauswahl für das Bewertungsschema ausreichend Firmen zu beproben, die sich in ihrer Stoffaufbereitung unterscheiden.

Tabelle 27: Optische Eigenschaften von Industrieproben als Grundlage für ein Bewertungsschema (UP: Stoff nach Zerfaserung; DP: Fertigstoff; MW: Mittelwert; o.B.: ohne Bleiche; m.B.: mit Bleiche)

Firma	Weißgrad in %		Hellbezugswert Y		Farbort a*		Farbort b*		Filtratverdunkelung ΔY
	UP	DP	UP	DP	UP	DP	UP	DP	
A (m.B.)	47,0	65,6	49,8	72,0	-0,7	-2,0	3,2	5,8	0,8
B (o.B.)	51,6	58,3	55,3	64,5	-0,6	-0,7	3,9	6,2	12,6
C (o.B.)	52,9	59,3	57,5	62,5	-0,8	-0,8	4,6	6,0	7,3
D (m.B.)	46,3	60,0	49,4	66,2	-0,5	-0,7	3,5	5,9	14,1
E (m.B.)	46,3	66,0	49,1	72,7	-0,2	-1,9	3,1	6,1	1,5
MW-alle	48,8	61,8	52,2	67,6	-0,5	-1,2	3,7	6,0	7,2
MW-o.B.	52,3	58,8	56,4	63,5	-0,7	-0,7	4,2	6,1	9,9
MW-m.B.	46,5	63,9	49,4	70,3	-0,4	-1,6	3,3	5,9	5,5

Um einen weiterreichenden Überblick über praxisgerechte Ergebnisse aus der Industrie zu bekommen, werden im Folgenden ausgewählte optische Eigenschaften und Aschegehalte zusammengefasst, die von der INGEDE in deutschen Papierfabriken ermittelt wurden [72]. **Tabelle 28** gibt einen Überblick über Qualitätseigenschaften der deinkten Faserstoffe für Zeitungsdruckpapier und aufgebesserte Produkte (SC-Papier, LWC-Papier, ...), die im 2-Loop Deinkingverfahren aufbereitet wurden. Bei den aufgebesserten Papieren wurde der Faserstoff während der Stoffaufbereitung gebleicht.

Tabelle 28: Qualitätseigenschaften von industriellen Fertigstoffen [72]

Parameter	Zeitungsdruckpapier	Aufgebesserte Papiere
Weißgrad (ISO, mit UV) in %	58 – 64	bis 76
Weißgrad (ISO, ohne UV) in %	57 – 63	bis 74
Hellbezugswert Y	63 – 68	71 – 77
L*-Wert	83 – 86	85 – 91
a*-Wert	-0,7 – 1	-0,7 – 2,2
b*-Wert	2,1 – 7,9	0,8 – 8,9
Schmutzpunktfäche in mm ² /m ²	bis 700	bis 500
Aschegehalt in %	9 – 18	7 – 18

Des Weiteren werden in der Papierindustrie auch höherwertige Papierqualitäten hergestellt sowie Markt-Deinkingstoff als Zellstoffersatz produziert. Je nach Anwendungsbereich weisen diese Produkte andere Faserstoffqualitäten wie beispielsweise einen deutlich gesteigerten Weißgrad, eine signifikant reduzierte Schmutzpunktfäche oder eine Minimierung des Aschegehalts auf.

Mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurde abgestimmt, dass innerhalb dieses Projektes keine Zielwerte für ein mögliches Bewertungsschema vorgestellt werden. Es sollen an dieser Stelle die Parameter aufgezeigt werden, die zukünftig in einem Bewertungsschema betrachtet werden sollen. Die Entwicklung der eigentlichen Ziel- und Schwellenwerte soll in Zukunft in Kooperation mit verschiedenen Vertretern aus der Papierindustrie und weiteren Forschungseinrichtungen durchgeführt und anschließend dem EPRC vorgelegt werden. Des Weiteren soll darüber diskutiert werden, ob Altpapiermischungen anhand der eingetragenen Einzelprodukte bewertet werden, oder ob die Altpapiermischung danach bewertet werden soll, für welchen Zweck (z. B. Zeitungsdruckpapier oder hochwertiges Papier) der deinkte Faserstoff eingesetzt werden soll.

In diesem Projekt wurde gezeigt, dass zur Bewertung einer Altpapiermischung neben den Bewertungskriterien Hellbezugswert, Farbort, Ink Elimination, Schmutzpunktfäche und Filtratverdunkelung auch der Aschegehalt bzw. die Faserausbeute mit betrachtet werden sollte.

5 Bedeutung der Forschungsergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

5.1 Voraussichtlicher Nutzen der angestrebten Forschungsergebnisse

Deinkingware (Altpapiersorte 1.11) ist der wichtigste Rohstoff zur Herstellung von deinktem Altpapierstoff für die Produktion von grafischen Recyclingpapieren, Zeitungsdruckpapieren, SC- und LWC-Papieren sowie Hygienepapieren. Deinkingware besteht immer aus einer Mischung verschiedenster Druckerzeugnisse. Das Deinkingverhalten einzelner Druckerzeugnisse ist bekannt und mit diesem Projekt wurde der Einfluss von digitalen Druckprodukten auf deren Verhalten in einer Altpapiermischung gezeigt. Des Weiteren wurde der Einfluss der Alterung auf verschiedene klassische und digitale Druckprodukte untersucht. All diese Kenntnisse sind wichtig, um die Altpapierstoffaufbereitung gezielt an den Rohstoffeintrag anpassen zu können. Altpapierverarbeitende Betriebe können dadurch in die Aufbereitung so eingreifen, dass sie optimale DIP-Qualitäten aus der eingesetzten Altpapiermischung herstellen.

Auch kann das Wissen bereits bei der Erzeugung von Altpapiermischungen durch Altpapiersortierbetriebe genutzt werden, um eine optimale Qualität von Deinkingware oder eine an den Kunden angepasste Altpapiermischung herzustellen. Dadurch kann der Einsatz von Altpapier bei der Erzeugung höherwertiger grafischer Papiere gesteigert werden. Dies schont natürliche Faserressourcen, denn bisher werden für die Herstellung hochwertiger grafischer Papiere fast ausschließlich Frischfasern eingesetzt. Es spart aber auch Energie, da für die Aufbereitung von Altpapier hiervon nur ein Bruchteil beispielsweise gegenüber Holzstoff benötigt wird. Gerade die Branche der Altpapiererfassung und Aufbereitung bzw. Sortierung ist in Deutschland sehr mittelständisch geprägt. So sind im Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung über 600 weitgehend mittelständische Unternehmen organisiert, über die etwa 65 % des in Deutschland anfallenden Altpapiers entsorgt wird.

Ebenso helfen die Kenntnisse des Projektes Ingenieurbüros und technischen Beratungsunternehmen aber auch Anlagenbauern, ihre Kunden bei der Regelung und Steuerung der Altpapieraufbereitungs- oder Altpapiertrockensortierungsanlagen zu beraten und neue Regel- und Steuerkonzepte zu entwickeln.

Die Ergebnisse können von Unternehmen der Fachgebiete Rohstoffe, Verfahrenstechnik, Umwelttechnik sowie Mess-, Regel- und Automatisierungstechnik und in den Wirtschaftszweigen Papier-, Verlags- und Druckgewerbe genutzt werden. Für Unternehmen, die in den Bereichen der Altpapiersammlung, -aufbereitung und/oder -verwertung tätig sind, können die Erkenntnisse zur Optimierung von Aufbereitungsprozessen und zur Konzeption von Anlagen hilfreich sein.

5.2 Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit

Für die Wettbewerbsfähigkeit der KMU der deutschen Papierindustrie und aus den Bereichen der Altpapiererfassung und -sortierung ist von enormer Bedeutung, ihre Absatzmärkte im Vergleich zur internationalen Konkurrenz zu sichern und auszubauen. Durch die erreichten Ergebnisse dieses Forschungsprojektes kann die

hohe Altpapier-Einsatzquote bei der Papierproduktion in Deutschland, die in hohem Maße zur Ressourcenschonung bei der Papierherstellung beiträgt, erhalten und wenn möglich noch erhöht werden.

Aber auch für KMU in den Bereichen des Consultings und Anlagenbaus, welche sich mit speziellen technischen Lösungen der Altpapiersortierung und -aufbereitung beschäftigen, ist es wichtig ihren technischen Vorsprung im internationalen Wettbewerb zu halten und möglichst auszubauen. Mit den Ergebnissen haben diese Unternehmen die Möglichkeit, am Markt bereits bestehende Anlagen effizienter zu optimieren oder neue Anlagen besser zu konzipieren.

Druckereien können ihre Druckerzeugnisse bezüglich ihrer Deinkbarkeit besser einordnen und mittelfristig auf recyclinggerechtere Druckverfahren umstellen. Da es gerade unter den Druckereien sehr viele KMU gibt, können diese mit der Bewertung recyclinggerechter bzw. deinkbarer Druckerzeugnisse Wettbewerbsvorteile erzielen.

5.3 Aussagen zur voraussichtlichen Umsetzung der FuE-Ergebnisse

Mit den erreichten Forschungsergebnissen wird gezeigt, dass ein 2-stufiger Aufbereitungsprozess im Labormaßstab beschrieben werden kann. Im Vergleich zu dem bekannten 1-stufigen Prozess zur Bewertung der Deinkbarkeit (INGEDE-Methode 11) wird durch zwei Flotationen und einer zwischengeschalteten Dispergierung die industrielle Stoffaufbereitung praxisnäher beschrieben. Durch die Untersuchungen im 2-stufigen Prozess zur Alterung von Druckprodukten und deren Deinkbarkeitsverhalten als Einzelprodukt sowie in einer Altpapiermischung wird dazu beigetragen, Altpapier effizienter nutzen zu können. Davon können Unternehmen profitieren, welche Altpapier als Rohstoff für die Papierherstellung einsetzen. Die Unternehmen können ihren Rohstoffmix so anpassen, dass sie möglichst gute DIP-Qualitäten erzielen, um eventuell sogar höherwertige Produkte in ihre Produktpalette aufzunehmen. Aber auch Betriebe, die im Bereich der Erfassung und Sortierung von Altpapier arbeiten, können profitieren. Diese können mit den Kenntnissen zum Einfluss einzelner Druckprodukte auf das Deinkingergebnis einer Altpapiermischung Altpapierqualitäten erzeugen und anbieten, die den Anforderungen an die DIP-Qualität für höherwertige Papierprodukte genügen. Aber auch bei der Beratung von Betreibern von Trockensortierungsanlagen liefert das Forschungsprojekt neue Kenntnisse. Im Consulting und Anlagenbau gibt es ebenfalls noch einige KMU, die von den Ergebnissen des Projektes Vorteile ziehen können.

Mit den erreichten Forschungsergebnissen sollten in Kooperation mit verschiedenen Vertretern aus der Papierindustrie und weiteren Forschungseinrichtungen Ziel- und Schwellenwerte bezüglich der Bewertung der Deinkbarkeit von Druckprodukten und –mischungen festgelegt und anschließend dem EPRC vorgelegt werden. Auch in die Normung und Standardisierung können die erzielten Ergebnisse einfließen und so helfen, die Schnittstellen zwischen Altpapiererfassung, Altpapiersortierung und Papierherstellung weiter zu optimieren.

6 Ergebnistransfer

Tabelle 29: Durchgeführte Transfermaßnahmen während der Projektlaufzeit

Maßnahme	Ziel/Bemerkung	Zeitraum
Bericht beim AiF-Tag der FV Zellstoff- und Papierindustrie	Vorstellung des Projekts	20.03. 2014
1. Beratung des projektbegleitenden Ausschusses	Festlegung und Abstimmung der ersten Arbeitspakete (AP) 1-3	16.12.2014
Berichte auf verschiedenen Sitzungen von Fachaus- und Fachunterausschüssen	Vorstellung des Projekts und Bericht der Erkenntnisse	Während der gesamten Projektlaufzeit
2. Beratung des projektbegleitenden Ausschusses	Fortschrittsbericht und Abstimmung der Arbeitspakete (Telefonkonferenz)	07.01.2016
Erstellung 1. Zwischenbericht	Fortschrittsbericht	I. Quartal 2015
Bericht beim AiF-Tag der FV Zellstoff- und Papierindustrie	Fortschrittsbericht, Einbeziehung von sog. „Multiplikatoren“	25.03.2015
Erstellung 2. Zwischenbericht	Fortschrittsbericht	I. Quartal 2016
Bericht beim AiF-Tag der FV Zellstoff- und Papierindustrie	Fortschrittsbericht, Einbeziehung von sog. „Multiplikatoren“	17.03.2016
Erstellung 3. Zwischenbericht	Fortschrittsbericht	I. Quartal 2017
Vortrag beim AiF-Tag der FV Zellstoff- und Papierindustrie	Fortschrittsbericht, Einbeziehung von sog. „Multiplikatoren“	30.03.2017
Masterarbeit zur Problematik des Forschungsvorhabens [69]	Kennenlernen und Vermitteln wissenschaftlicher Erkenntnisse und Methoden, Heranführen der Studierenden an wiss. Arbeiten	bis II. Quartal 2017
3. Beratung des projektbegleitenden Ausschusses	Abschließende Darstellung der Projektergebnisse	28.06.2017
Bericht auf Herbstsitzung des ZELLCHEMING Fachunterausschuss TECH	Abschließende Vorstellung der Projektergebnisse und Erkenntnisse aus dem Projekt	26.+27.09.2017
Erstellung des Schlussberichts	Zusammenstellung der Forschungsergebnisse	III. Quartal 2017

Tabelle 30: Geplante Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit

Maßnahme	Ziel/Bemerkung	Zeitraum
Veröffentlichung des Schlussberichts	Veröffentlichung des Schlussberichts auf Homepage des PMV	IV. Quartal 2017
Veröffentlichung in Fachzeitschrift	Schriftliche Zusammenfassung ausgewählter Projektergebnisse für Fachzeitschrift	IV. Quartal 2017
Vortrag auf dem INGEDE Symposium 2018	Vorstellung ausgewählter Projektergebnisse und Erkenntnisse aus dem Projekt	28.02.2018

7 Danksagung

Das IGF-Vorhaben 18288 N der Forschungsvereinigung „Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e.V.“ wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Unser Dank gilt weiterhin den Projektbegleitern aus der Industrie für deren Unterstützung.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

8 Literaturverzeichnis

- 1 N.N.: Papier 2016 - Ein Leistungsbericht. Verband Deutscher Papierfabriken, Bonn, 2016
- 2 **Schlozer, R.:** Page volume growth and application shift in ultra-high volume continuous feed colour inkjet printing. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011
- 3 **Paul, A.; Maess, V.:** Qualitätsbestimmende Wechselwirkungen im Digitaldruck. In: Wochenblatt für Papierfabrikation. 138(2010)2, S. 102-106
- 4 **Hsieh, J. S.:** Deinking of inkjet digital non-impact printing. In: Engineering, Pulp & Environmental Conference, Tappi Conference, Oktober 14-16, 2009. Memphis, 2009
- 5 **Arnould, V.:** Inkjet im Rampenlicht. In: IFRA Magazine. 2008. S. 26-28
- 6 **Weinert, S.; Putz, H.-J.; Schabel, S.:** Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen. Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, Schlussbericht AiF-Projekt 15408 N, 2010
- 7 **Weinert, S.; Ewald, C.; Putz, H.-J.:** Investigation on Recovered Paper Quality in the INGEDE Member Countries. Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, Schlussbericht INGEDE-Projekt 12609, 2011
- 8 **Putz, H.-J.; Schabel, S.; Trumpp, C.:** Verbesserung der Deinkbarkeit von Offset-Druckerzeugnissen. In: Aktuelle Papier-Rundschau. (2011)3, S. 23-28
- 9 **Putz, H.-J.; Schabel, S.; Bartonitz, W.; Dörsam, E.; Faul, A.; Fleck, W.; Frank, E.; Genest, B.; Hanecker, E.; Peters, K.; Rauh, W.; Schiller, A.; Sommerer, C.:** Verbesserung der Deinkbarkeit von Druckerzeugnissen durch Industriezweig übergreifende Strategien für ein nachhaltiges Altpapier-Recycling (Deinkbarkeit Offsetdruck). Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, Schlußbericht zum Kooperationsprojekt BMBF-Förderkennzeichen 01RI05162-66, 2009
- 10 **Forsström, J.; Wagberg, L.:** Influence of different storage conditions on deinking efficiency of waterbased flexographic ink from model cellulose surfaces and sheets. In: Nordic Pulp and Paper Research Journal. 19(2004)2, S. 250-256
- 11 **Ng, H. T.; Bhattacharyya, M.; Mittelstadt, L.; Zhang, W.:** Deinking of digital prints with near-neutral HPES chemistry. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011
- 12 **Sain, M. M.; Marchildon, L.; Lapointe, M.; Daneault, C.:** A novel chemistry to ink separation from mixed paper waste contaminated with flexo ink. In: Nordic Pulp and Paper Research Journal. 11(1996)3, S. 157-163
- 13 **Putz, H.-J.:** Survey about the recyclability of printed products. Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, Schlussbericht INGEDE-Projekt 10005, 2008

- 14 **Faul, A.:** The challenge to deink inkjet prints together with recovered paper from households. In: 9th Research Forum on Recycling, Tappi Conference, October 17-20, 2010. Norfolk, 2010
- 15 **Galland, G.; Vernac, Y.; Carré, B.:** The advantages of combining neutral and alkaline deinking, Part I: comparison of deinking of offset and flexo printed paper. In: Pulp and Paper Canada. 98(1997)6, S. T182-T185
- 16 **Kemppainen, K.; Laitinen, O.; Körkkö, M.; Niinimäki, J.:** Analysis of Recycled Papers Pre-Wetting Conditions Prior to Pulping in Deinking - ONP Furnish. In: Progress in Paper Recycling. 19(2010)3, S. 4-16
- 17 **Putz, H.-J.:** Investigation of the Deinkability of Nordic Newspapers (Nordic News) : Final Report INGEDE-Project 12308. Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, 2009
- 18 **Kemppainen, K.; Laitinen, O.; Körkkö, M.; Illikainen, M.; Niinimäki, J.:** Analysis of prewetting conditions for old magazine papers before pulping in deinking. In: Tappi Journal. 10(2011)6, S. 7-15
- 19 **Renner, K.:** Deinkability of printing inks. In: Papermaking Science and Technology. Bd. 07: Recycled Fibre and Deinking / Ed.: L. Göttching ;H. Pakarinen. 1st Edition. Helsinki: Fapet Oy, 2000. ISBN 952-5216-07-1. S. 266-305
- 20 **Galland, G.; Vernac, Y.:** Deinking of wastepaper containing waterbased flexoprinted newsprint. In: 1st Research Forum on Recycling, October 29-31, 1991. Toronto, 1991. Preprint, S. 31-36
- 21 **Borchardt, J. K.; Raney, K. H.; Shpakoff, P. G.; Matalamaki, D. W.; Denley, D. R.:** Insights into flexographic newsprint deinking: laboratory and pilot scale deinking studies. In: Tappi Pulping Conference, November 6-10, 1994. San Diego, 1994. Preprint, S. 1067-1103
- 22 **Galland, G.; Vernac, Y.:** A new two-stage deinking process adapted to mixtures containing flexoprinted newsprint. In: Atip. 47(1993)5, S. 154-162
- 23 **Ortner, H.; Witek, W.; Fischer, S.:** Flotationsversuche mit flexodruckhaltigem Altpapier im Voith Recycling Technology Center Appleton (USA). In: Wochenblatt für Papierfabrikation. 121(1993)20, S. 835-838
- 24 **Rangamannar, G.; Grube, G.; Karneth, A. M.:** Behavior of water-based flexographic inks in newsprint deinking. In: Tappi Pulping Conference, November 1-5, 1992. Boston, 1992. Preprint S. 933-939
- 25 **Dorris, G.; Ben, Y.; Ricard, M.:** Overview of flotation Deinking. In: Progress in Paper Recycling. 20(2011)1, S. 41
- 26 **Matzke, W.:** Neues Verfahren zur Aufbereitung von Sekundärrohstoffen mit Flexodruck. In: Aktuelle Papier-Rundschau. 117(1993)29, S. 752-756
- 27 **Voß, D.; Schabel, S.:** Mikrobblasenflotation kolloidaler Schäume - ein energieeffizientes Verfahren für Anwendungen in der Papierindustrie? In: Wochenblatt für Papierfabrikation. 139(2011)3, S. 158-166
- 28 **Gallon, F.:** Systematische Untersuchung des Verhaltens von wasserbasierter Flexodruckfarbe. Technische Universität Darmstadt, Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren, Studienarbeit, 2010
- 29 **Voß, D.:** Möglichkeiten und Grenzen der Entfernung von wasserbasierenden Druckfarben beim Altpapier-Recycling. Aachen: Shaker-Verl., ISBN 978-3-

- 8440-1737-3. Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, Dissertation, 2012
- 30 **Voß, D.; Schabel, S.:** The microbubble-flotation with CGA technology - an alternative for water treatment? In: 11th World Filtration Congress & Exhibition, April 16-20 2012, Graz, 2012
- 31 **Ackermann, C.; Putz, H. J.; Göttching, L.:** Deinkability of waterborne flexo inks by flotation. In: Pulp and Paper Canada. 95(1994)8, S. T307-T312
- 32 **Järrehult, B.; Lindqvist, M.; Hanecker, E.; Phan Tri, D.:** Chemische Einflüsse auf die Deinkbarkeit von flexobedrucktem Altpapier. In: Wochenblatt für Papierfabrikation. 119(1991)20, S. 811-818
- 33 **Heise, O. U.; Horng, A. J.; Schriver, K. E.:** A novel flotation deinking chemistry to remove flexo inks - 30 tpd pilot plant results. In: Recycling Symposium, Atlanta, TAPPI, 1997, S. 39-48
- 34 N.N.: News UK investiert Millionen in Nachrüstung von Zeitungsdruckereien. In: EUWID Papier und Zellstoff. (2013)36
- 35 **Ueda, Y.; Takahashi, H.:** Improvement of the deinkability of inkjet printings. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011
- 36 **Kemppainen, K.; Hakala, T.:** Possibilities of enzyme-aided deinking of inkjet-printed paper. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011
- 37 **Voß, D.; Putz, H.-J.:** Deinking behaviour of recovered paper mixtures containing digital prints. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011
- 38 **Hanecker, E.; Putz, H.-J.:** Deinking von Inkjettinten. Zellcheming FA COAT - AG Digitaldruck, Presentation, 2010
- 39 **Ehrlich, H.; Macias, M.; Engert, P.; Lane, G.; Miller, N.:** First results for UPM/HP cooperation on inkjet deinking research: ink effects. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011
- 40 **Macías, M.; Lane, G.; Miller, N.; Belson, J.; Ng, H. T.:** Deinking of HP digital commercial prints. In: Tappi PaperCon Conference, May 2-5, 2010. Atlanta, 2010
- 41 **Mittelstadt, L.; Ng, H. T.; Bhattacharyya, M.; Zhang, W.; Hanson, E. G.:** High quality deinked pulps via alkaline-based HPMa deinking chemistry. In: 9th Research Forum on Recycling, Tappi Conference, October 17-20, 2010. Norfolk, 2010
- 42 **Basilio, C.; Sheppard, S.:** Improved deinking of inkjet-printed paper using DEKA. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011
- 43 **Lane, G.; Macias, M.; Miller, N.:** Influence of paper and ink on deinking of inkjet prints. In: 9th Research Forum on Recycling, Tappi Conference, October 17-20, 2010. Norfolk, 2010

-
- 44 **Ben, Y.; Dorris, G.:** Deinkability of inkjet prints: Is it an issue? In: 9th Research Forum on Recycling, Norfolk (Virginia), October 17-20, 2010. Norfolk (Virginia): Tappi, 2010
- 45 **Hsieh, J. S.:** Ink jet deinking affected by paper structural property. In: 9th Research Forum on Recycling, Tappi Conference, October 17-20, 2010. Norfolk, 2010.
- 46 **Fischer, A.; Faul, A.:** Recent experience in the deinking of inkjet and liquid toner. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011.
- 47 **Blayo, A.:** Ink-paper interactions in ink-jet printing. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011.
- 48 **Macias, M.; Wingkono, G.; Lane, G.; Miller, N.:** Effects of paper design on deinking of HP pigmented inkjet inks. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011.
- 49 **Glover, D.; Tan, J.; Gill, R.; Hatfield, D.; Nicholas, T.:** Lab scale chemical an process deinking investigation of ink jet printed papers. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011
- 50 **Hatfield, D.:** Summary of Inkjet Print Deinking Evaluations. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011
- 51 **Nie, X.; Miller, J. D.:** Thermogravimetric/mass spectrometric (TG/MS) characterization of toner particles from photocopied wastepaper and the impact of these features on flotation deinking. In: Tappi Pulping Conference, October 1-5, 1995. Chicago, 1995, Preprint S. 179-202
- 52 **Faul, A.:** Deinkbarkeit – neue Untersuchungsergebnisse. Vortrag EcoPaper-Loop-Seminar: Papierprodukte, Verpackungen und Sammelsysteme optimieren, München, 9.10. 2014
- 53 **Fabry, B.; Carré, B.:** Deinking of toner prints: a review. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, Grenoble, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011. S. 30
- 54 **Dorris, G.; Page, M.:** Deinking of Toner-Printed Papers. Part I: Flotation Kinetics, Froth Stability and Fibre Entrainment. In: Journal of Pulp and Paper Science. 23(1997)5, S. J206-J215
- 55 **Kocer, H.; Johnson, D. A.; Thompson, E. V.:** Influence Air Flow Rate, Time and Total Air Volume, on Efficiency of Toner Removal in Mixed Office Waste Flotation. In: Tappi Recycling Symposium, New Orleans, 1995, Preprint S. 65-72
- 56 **Ayala, C.; Carré, B.; Fabry, B. A.:** Recent progress in the deinking of HP-INDIGO prints. In: 12th PTS-CTP Deinking Symposium, April 25-27, 2006. Leipzig, Preprint S. 5.1-5.19
- 57 **Carré, B.; Magnin, L.; Ayala, C.:** Digita prints: a survey of the various deinkability behaviors. In: Tappi International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, May, 2005. Amsterdam, Preprint S. 182-186

-
- 58 **Hanecker, E.:** INGEDE Project 130 09 - Deinking in laboratory scale. In: 20. INGEDE Symposium, February 10, 2011. München, Preprint S. 103-119
- 59 **Aronhime, M.; Rosen, Y.; Miller, N.; Belson, J.:** Recent lab and pilot scale studies of the deinking of LEP prints. In: Grenoble Technical Conference on Deinking of Digital Prints, November 8-9, 2011. Grenoble: CTP und Grenoble INP Pagora, 2011. S. 7
- 60 N.N.: INGEDE News. Angekündigt auf der drupa 2012, vorgestellt 2016. Xeikons Flüssigtöner und Landas "Nanography" sind deinkbar – eine Vorschau auf die weltgrößte Messe in Sachen Druckdeinkbar – eine Vorschau auf die weltgrößte Messe in Sachen Druck. April 2016
- 61 **Bobu, E.; Ciolacu, F.; Cretu, A.:** Deinkability Of Mixed Prints: Alkaline vs. Neutral Deinking. In: Progress in Paper Recycling. 18(2008)1, S. 23-30
- 62 **Putz, H.-J.; Blasius, K.:** Simulation of the 2nd Process Loop for Laboratory Deinking Trials (Lab Dispersing): Final Report INGEDE-Project 10806. Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, 2008
- 63 **Hanecker, E.:** INGEDE Project 130 09 - Process oriented deinking of prints with cohesive and cross-linked inks in laboratory scale. In: 22. INGEDE Symposium, February 13, 2013. München, 2013, Preprint S. 155-165
- 64 **Holik, H.; Schabel, S.:** Unit operations and equipment in recycled fibre processing. In: Papermaking Science and Technology. Bd. 07: Recycled Fibre and Deinking / Ed.: U. Höke ;S. Schabel. 2nd., totally updated Ed. Helsinki: Paperi ja Puu Oy, 2010. ISBN 978-952-5216-040-0. S. 122-278
- 65 **Langenfeld, T.:** Entwicklung eines Labor-Dispersers als Voraussetzung zur Simulation des 2. Prozess-Loops für die Aufbereitung grafischen Altpapiers. Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, Diplomarbeit, 2005.
66. **Walmsley, M. R. W.; Hird, A.; Kiptanui, R. J.:** A laboratory study into the effect of toner particle size on flotation and agglomeration kinetics. In: Tappi Recycling Symposium, April 14-16. 1997. Chicago 1997. Preprint S. 115-124.
- 67 N.N.: INGEDE-Methode 11, Bewertung der Rezyklierbarkeit von Druckprodukten – Prüfung der Deinkbarkeit –, 2012, Verfügbar auf: <http://www.ingede.de/ecopaperloop/de/methoden/INGEDE-Methode%2011%20%28DE%202012%29.pdf>
- 68 N.N.: DIN SPEC 55700:2016-08. Paper and Pulp - Deinkability test for printed paper products, Verfügbar über: Beuth Verlag
- 69 **Wali S.:** Untersuchung und Modellierung des Deinkingverhaltens von Altpapiermischungen. Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, Masterarbeit, 2017
- 70 **Praast, H.; Göttching, L.:** Auswirkungen von Altpapiereinträgen in grafischen Papieren auf optische, mechanische und drucktechnische Eigenschaften. Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, AiF Schlussbericht Nr. 10209, Darmstadt, 1997
- 71 **Putz, H.-J.:** Synergistische und antagonistische Effekte beim Deinken von Altpapiermischungen. Präsentation zum AiF-Projekt 18288N, AiF-Tag Darmstadt. 2017
- 72 N.N.: INGEDE-File 7435 – Information Package Deinking. 27.04.2010

Tabelle A.1: Auswirkung der Flotationszeit und Stoffdichte auf die 1. Flotation von Industriestoff

		Flotationszeit (1. Flotation) in min				Ist-Wert
		0	2	4	8	Industrie
Kopierpapier	Stoffdichte Flotation in %	-	0,8	0,8	0,8	k. A.
	Aschegehalt (525 °C) in %	23,5	18,1	14,4	9,6	10,0
	Weißgrad in %	42,1	49,0	50,7	53,1	52,9
	Faserausbeute in %	-	92,6	80,9	69,2	k. A.
SC-Papier	Stoffdichte Flotation in %	-	0,8	0,8	0,8	k. A.
	Aschegehalt (525 °C) in %	38,2	26,2	18,1	9,6	33,8
	Weißgrad in %	49,4	57,1	59,9	61,0	59,3
	Faserausbeute in %	-	94,9	96,2	88,8	k. A.
SC-Papier	Stoffdichte Flotation in %	-	1,67	1,67	1,67	k. A.
	Aschegehalt (525 °C) in %	38,2	34,4	32,0	25,2	33,8
	Weißgrad in %	49,4	53,4	56,2	59,0	59,3
	Faserausbeute in %	-	94,7	95,8	94,6	k. A.

Tabelle A.2: Auswirkung der Dispergierzeit auf die Dispergierung von Industriestoff

	Dispergierzeit in min				Ist-Wert	
	0	1	2	4	Industrie	
Kopierpapier	Stoffdichte Dispergierung in %	-	24	24	24	k. A.
	Aschegehalt (525 °C) in %	11,5	k. M.	k. M.	k. M.	12
	Weißgrad in %	53,3	52,8	52,48	52,09	54,64
	Schmutzpunktanzahl in #/m ²	34.188	25.290	22.764	22.327	14.464
	Schmutzpunktfläche Gesamt in mm ² /m ²	400	316	288	266	300
	Schmutzpunktfläche > 250 µm in mm ² /m ²	124	110	102	81	187
SC-Papier	Stoffdichte Dispergierung in %	-	24	24	24	k. A.
	Aschegehalt (525 °C) in %	22,3	k. M.	k. M.	k. M.	22,9
	Weißgrad in %	56,2	54,8	53,7	51,7	60,4
	Schmutzpunktanzahl in #/m ²	21.859	7.657	6.677	3.660	7.395
	Schmutzpunktfläche Gesamt in mm ² /m ²	287	88	113	44	97
	Schmutzpunktfläche > 250 µm in mm ² /m ²	99	24	53	12	37

Tabelle A.3: Auswirkung der Flotationszeit und Stoffdichte auf die 2. Flotation von Industriestoff

	Flotationszeit (2. Flotation) in min				Ist-Wert	
	0	2	4	8	Industrie	
Kopierpapier	Stoffdichte Flotation in %	-	0,8	0,8	0,8	k. A.
	Aschegehalt (525 °C) in %	10,0	7,9	7,1	6,0	7,9
	Weißgrad in %	53,5	54,7	55,6	57,4	56,9
	Faserausbeute in %	-	99,6	90,8	91,1	k. A.
	Schmutzpunktanzahl in #/m ²	10.706	10.053	9.400	9.585	9.661
	Schmutzpunktfläche Gesamt in mm ² /m ²	147	128	116	117	124
	Schmutzpunktfläche > 250 µm in mm ² /m ²	59	48	41	38	46
SC-Papier	Stoffdichte Flotation in %	-	0,8	0,8	0,8	k. A.
	Aschegehalt (525 °C) in %	29,4	21,7	18,8	15,2	27,2
	Weißgrad in %	58,3	62,5	64,6	66,4	64,7
	Faserausbeute in %	-	96,0	96,0	93,8	k. A.
	Schmutzpunktanzahl in #/m ²	9.563	6.437	5.195	4.291	6.949
	Schmutzpunktfläche Gesamt in mm ² /m ²	111	72	68	61	127
	Schmutzpunktfläche > 250 µm in mm ² /m ²	37	19	26	29	72
SC-Papier	Stoffdichte Flotation in %	-	1,56	1,56	1,56	k. A.
	Aschegehalt (525 °C) in %	29,4	24,1	19,4	18,2	27,2
	Weißgrad in %	58,3	60,7	62,8	64,9	64,7
	Faserausbeute in %	-		Messfehler		k. A.
	Schmutzpunktanzahl in #/m ²	9.563	7.929	7.189	6.419	6.949
	Schmutzpunktfläche Gesamt in mm ² /m ²	111	93	82	69	127
	Schmutzpunktfläche > 250 µm in mm ² /m ²	37	27	24	20	72

Tabelle A.4 Entwicklung der L*a*b*-Werte der Referenzprodukte (C/2°/0 UVEX)

	Offset Coldset Zeitung_1		Indigo- Testdruck_2		Trockentoner - Testdruck		Inkjet, Pigment - Testdruck_1		
	1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop	
Undeinkter Stoff	Y	43,1	43,3	81,0	82,9	75,8	76,3	61,9	63,1
	L*-Wert	71,7	71,8	92,1	93,0	89,8	90,0	82,9	83,5
	a*-Wert	-0,9	-0,8	1,0	0,7	-0,6	-0,6	-1,6	-1,5
	b*-Wert	2,1	2,4	0,1	-0,7	0,0	0,0	2,6	2,5
	R ∞ 700 in %	44,6	45,2	88,3	88,8	75,6	76,1	64,4	65,7
	ERIC in ppm	1.203	1.205	28	26	209	200	218	205
1. Flotation	Y	62,0	59,0	84,6	85,8	85,3	85,0	77,2	74,4
	L*-Wert	82,9	81,3	93,7	94,2	94,0	93,9	90,4	89,1
	a*-Wert	-1,0	-0,9	0,2	0,3	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5
	b*-Wert	6,0	5,3	-0,8	-0,7	0,7	0,7	3,1	2,9
	R ∞ 700 in %	66,8	63,3	92,8	92,5	85,6	85,4	79,6	76,8
	ERIC in ppm	272	367	16	13	64	67	63	79
Disperger	Y		51,1		85,1		78,3		74,2
	L*-Wert		76,8		93,9		90,9		89,0
	a*-Wert		-1,0		0,1		-0,6		-1,5
	b*-Wert		4,3		-0,2		0,5		3,2
	R ∞ 700 in %		54,9		91,9		78,9		76,6
	ERIC in ppm		531,4		15,3		141,5		85,1
2. Flotation	Y		59,7		84,7		86,3		81,0
	L*-Wert		81,7		93,8		94,4		92,2
	a*-Wert		-0,8		0,2		-0,8		-1,3
	b*-Wert		6,1		-0,6		2,0		3,1
	R ∞ 700 in %		65,0		92,6		87,5		83,2
	ERIC in ppm		277		14		46		47

Tabelle A.5: Entwicklung der Schmutzpunkte der Referenzprodukte

	Offset Coldset Zeitung_1		Indigo-Testdruck_2		Trockentoner - Testdruck		Inkjet, Pigment - Testdruck_1		
	1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop	
Undeinkter Stoff	Anzahl in #/m ²	46.332	42.422	548.681	556.502	60.056	90.475	1.191	1.678
	> 50 - 100	33.023	31.345	302.691	266.282	56.994	82.807	646	959
	>100 - 150	8.887	7.842	88.579	105.864	2.712	7.090	356	436
	>150 - 200	2.538	1.983	40.744	55.470	229	468	102	131
	>200 - 250	872	523	23.678	34.079	22	66	36	33
	>250 - 500	958	697	65.413	74.409	66	33	44	88
	>500	55	33	27.577	20.399	33	11	7	33
	Gesamtfläche in mm ² /m ²	427	348	24.948	21.896	266	405	16	50
	Fläche >250	99	67	20.788	16.876	23	5	5	36
	>50 - 100	136	130	1.256	1.129	210	316	3	4
	>100 - 150	99	87	1.006	1.220	26	72	4	5
	>150 - 200	58	44	960	1.320	5	10	2	3
	>200 - 250	34	20	938	1.351	1	2	1	1
	>250 - 500	82	59	6.529	7.203	7	3	3	7
>500	17	8	14.258	9.673	16	3	2	30	
1. Flotation	Anzahl in #/m ²	31.476	41.158	37.814	55.436	4.488	5.457	643	690
	> 50 - 100	23.387	30.605	11.066	22.196	3.801	3.877	370	494
	>100 - 150	5.562	7.591	5.239	8.975	447	806	131	138
	>150 - 200	1.583	1.721	3.529	5.533	109	338	87	22
	>200 - 250	508	643	2.897	4.117	55	87	22	22
	>250 - 500	378	545	10.477	11.784	55	131	33	7
	>500	59	55	4.607	2.832	22	218	0	7
	Gesamtfläche in mm ² /m ²	263	334	3.297	2.669	86	2.546	9	8
	Fläche >250	51	63	2.988	2.175	62	2.511	4	3
	>50 - 100	95	125	47	95	14	15	2	2
	>100 - 150	62	84	62	105	5	9	1	2
	>150 - 200	36	39	85	131	2	8	2	1
	>200 - 250	20	25	115	164	2	4	1	1
	>250 - 500	30	44	1.121	1.210	3	11	4	0
>500	21	19	1.867	965	59	2.501	0	2	

	Offset Coldset Zeitung_1		Indigo- Testdruck_2		Trockentoner - Testdruck		Inkjet, Pigment - Testdruck_1	
	1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop	1-Loop	2-Loop
Dispergierung	Anzahl in #/m ²	11.915	77.662		1.635		1.503	
	> 50 - 100	8.343	42.926		1.046		835	
	>100 - 150	2.244	19.997		338		305	
	>150 - 200	763	8.902		153		124	
	>200 - 250	327	3.703		33		44	
	>250 - 500	218	2.105		55		145	
	>500	22	29		11		51	
	Gesamtfläche in mm ² /m ²	116	935		21		46	
	Fläche >250	27	171		8		34	
	>50 - 100	35	184		4		4	
	>100 - 150	24	230		4		4	
	>150 - 200	18	210		3		3	
	>200 - 250	13	141		1		2	
	>250 - 500	19	163		6		14	
>500	8	7		2		20		
2. Flotation	Anzahl in #/m ²	14.420	8.394		1.384		534	
	> 50 - 100	10.183	2.120		774		327	
	>100 - 150	2.483	2.120		327		55	
	>150 - 200	926	1.699		163		55	
	>200 - 250	262	1.263		44		33	
	>250 - 500	425	1.162		22		55	
	>500	142	29		55		11	
	Gesamtfläche in mm ² /m ²	180	221		48		22	
	Fläche >250	79	95		36		17	
	>50 - 100	41	10		3		2	
	>100 - 150	28	25		4		1	
	>150 - 200	21	42		4		1	
	>200 - 250	10	50		2		1	
	>250 - 500	36	88		1		4	
>500	43	7		34		12		

**Tabelle A.6: Deinking von Offset Coldset Zeitung_1 nach INGEDE Methode 11
(Calculation according to EPRC, Version 3.1.1 (Sept 2013))**

	Unge- altert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum	40 Wochen Kühlraum
Undeinkter Stoff							
Aschegehalt (525 °C) in %	19,0	19,2	18,9	18,5	18,8	18,4	18,6
Weißgrad in %	41,5	38,7	36,5	40,5	40,1	41,7	41,3
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV							
Hellbezugswert Y	43,1	40,2	38,3	42,1	41,7	43,3	43,2
L*-Wert	71,7	69,6	68,2	70,9	70,6	71,8	71,7
a*-Wert	-0,9	-0,9	-0,5	-0,9	-0,8	-0,9	-0,8
b*-Wert	2,1	2,0	2,4	2,1	2,1	2,1	2,4
R ∞ 700 in %	44,6	41,9	40,5	43,7	43,3	44,9	45,0
ERIC in ppm	1.203,4	1.327,1	1.498,9	1.323,3	1.340,5	1.228,5	1.256,9
1. Flotation							
Faserausbeute in %	86,3	81,3	74,8	80,7	81,6	82,1	83,5
Aschegehalt (525 °C) in %	8,3	7,0	6,9	7,9	7,0	6,8	7,3
Weißgrad in %	56,0	51,1	47,8	55,2	54,9	55,9	55,8
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV							
Hellbezugswert Y	62,0	55,5	51,9	60,9	60,7	62,4	62,0
L*-Wert	82,9	79,3	77,2	82,3	82,2	83,1	82,9
a*-Wert	-1,0	-0,9	-0,6	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
b*-Wert	6,0	4,8	4,5	5,8	5,9	6,5	6,3
R ∞ 700 in %	66,8	59,3	55,7	65,5	65,3	67,7	67,4
ERIC in ppm	272,2	459,1	588,2	313,6	309,3	258,4	274,9
Schmutzpunktfläche: Domas							
Anzahl in #/m ²	31.476	79.061	69.454	33.437	44.589	39.024	36.835
> 50 - 100	23.387	61.776	54.675	25.105	33.611	28.644	27.839
>100 - 150	5.562	13.527	11.752	6.078	7.711	7.352	6.535
>150 - 200	1.583	2.614	2.331	1.351	2.080	1.754	1.482
>200 - 250	508	708	403	545	654	610	479
>250 - 500	378	425	283	338	534	610	436
>500	59	11	11	22	0	55	66
Gesamtfläche in mm ² /m ²	263	515	443	254	665	324	300
Fläche >250	51	32	25	33	332	64	60
>50 - 100	95	249	222	102	136	117	115
>100 - 150	62	147	128	66	86	81	74
>150 - 200	36	59	54	31	48	39	33
>200 - 250	20	27	16	21	25	24	18
>250 - 500	30	30	20	27	38	50	37
>500	21	2	5	7	0	14	23

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum	40 Wochen Kühlraum
Filtrat vom deinkten Stoff nach 1. Flotation							
Weißgrad R457 in %	95,1	92,8	91,7	93,2	94,3	94,3	94,6
Hellbezugswert Y	96,3	94,6	93,7	95,0	96,0	95,9	96,3
L*-Wert	98,6	97,9	97,5	98,0	98,4	98,4	98,5
a*-Wert	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
b*-Wert	0,9	1,3	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2
R ∞ 700 in %	96,9	95,8	94,8	96,1	96,8	96,7	97,0
Kontrollwasser							
Weißgrad R457 in %	96,3	96,4	96,3	94,5	95,8	96,3	96,6
Hellbezugswert Y	96,9	97,3	96,9	95,7	96,4	97,3	97,5
L*-Wert	98,8	98,9	98,8	98,3	98,6	98,9	99,0
a*-Wert	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
b*-Wert	0,5	0,6	0,5	0,9	0,5	0,7	0,6
R ∞ 700 in %	97,0	97,2	97,0	96,3	96,6	97,3	97,4
Berechnete Ergebnisse							
IE700 in %	76,0	65,3	59,8	75,1	75,2	77,3	76,5
IEERIC in %	77,4	65,4	60,8	76,3	76,9	79,0	78,1
Δ Y Filtrat	0,6	2,6	3,2	0,8	0,5	1,3	1,2
Benchmark Kategorie	Newspaper						
Gesamt- punktzahl	100	85	75	100	95	100	100

Tabelle A.7: Deinking von INDIGO Testdruck_2 nach INGEDE Methode 11 (Calculation according to EPRC, Version 3.1.1 (Sept 2013))

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum
Undeinkter Stoff						
Aschegehalt (525 °C) in %	48,5	48,2	48,8	48,5	48,0	48,4
Weißgrad in %	81,1	81,5	81,8	84,1	84,3	84,5
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV						
Hellbezugswert Y	81,0	80,7	81,1	83,0	83,1	83,7
L*-Wert	92,1	92,0	92,2	93,0	93,1	93,3
a*-Wert	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6
b*-Wert	0,1	-0,5	-0,4	-0,7	-0,7	-0,5
R ∞ 700 in %	88,3	87,4	87,7	89,0	89,1	89,3
ERIC in ppm	28,4	31,1	29,7	23,6	24,8	23,5
1. Flotation						
Faserausbeute in %	78,9	83,1	85,8	85,1	94,4	89,5
Aschegehalt (525 °C) in %	26,3	28,4	27,1	26,9	40,4	39,1
Weißgrad in %	86,1	85,4	85,1	87,2	86,8	86,9
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV						
Hellbezugswert Y	84,6	84,2	83,9	86,1	85,6	85,6
L*-Wert	93,7	93,5	93,4	94,3	94,1	94,1
a*-Wert	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1
b*-Wert	-0,8	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	-0,8
R ∞ 700 in %	92,8	92,0	91,6	92,3	91,9	92,1
ERIC in ppm	15,7	16,3	19,0	15,0	15,7	14,1
Schmutzpunktfläche: Domas						
Anzahl in #/m ²	37.814	127.864	141.358	48.488	73.436	46.528
> 50 - 100	11.066	51.625	53.716	9.642	29.929	17.659
>100 - 150	5.239	21.347	25.529	8.307	12.518	8.205
>150 - 200	3.529	13.549	16.762	6.723	7.943	5.707
>200 - 250	2.897	10.085	12.656	5.780	6.012	3.108
>250 - 500	10.477	26.455	29.025	15.756	14.115	9.759
>500	4.607	4.803	3.671	2.280	2.919	2.091
Gesamtfläche in mm ² /m ²	3.297	5.433	5.494	2.715	3.396	2.103
Fläche >250	2.988	4.234	4.055	2.175	2.697	1.669
>50 - 100	47	223	232	44	125	76
>100 - 150	62	246	300	102	148	98
>150 - 200	85	328	404	163	186	136
>200 - 250	115	402	503	232	239	124
>250 - 500	1.121	2.483	2.658	1.529	1.342	919
>500	1.867	1.751	1.397	645	1.355	750

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum
Filtrat vom deinkten Stoff nach 1. Flotation						
Weißgrad R457 in %	96,2	95,2	95,1	93,3	95,0	94,7
Hellbezugswert Y	97,4	96,1	96,2	94,4	95,9	95,9
L*-Wert	99,0	98,5	98,5	97,8	98,4	98,4
a*-Wert	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
b*-Wert	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7	0,9
R ∞ 700 in %	97,7	96,4	96,6	96,2	97,1	96,7
Kontrollwasser						
Weißgrad R457 in %	97,0	96,3	95,7	94,5	96,6	96,7
Hellbezugswert Y	97,9	97,3	96,4	95,7	97,4	97,7
L*-Wert	99,2	99,0	98,6	98,3	99,0	99,1
a*-Wert	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3
b*-Wert	0,7	0,8	0,5	0,9	0,7	0,7
R ∞ 700 in %	97,8	97,4	96,5	96,3	97,5	97,8
Berechnete Ergebnisse						
IE700 in %	64,3	61,6	55,7	52,7	46,1	48,0
IEERIC in %	44,8	47,6	36,1	36,5	36,8	40,2
Δ Y Filtrat	0,5	1,3	0,2	1,4	1,6	1,8
Benchmark Kategorie	Stationery (Y of base paper > 75)					
Gesamt- punktzahl	48	46	45	51	42	56

**Tabelle A.8: Deinking von Trockentoner Testdruck nach INGEDE Methode 11
(Calculation according to EPRC, Version 3.1.1 (Sept 2013))**

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum
Undeinkter Stoff						
Aschegehalt (525 °C) in %	21,3	22,7	22,0	21,8	22,6	22,1
Weißgrad in %	75,9	77,6	76,0	78,0	76,9	76,2
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV						
Hellbezugswert Y	75,8	77,5	76,0	77,9	76,7	76,0
L*-Wert	89,8	90,6	89,9	90,7	90,2	89,9
a*-Wert	-0,6	-0,7	-0,6	-0,7	-0,6	-0,6
b*-Wert	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
R ∞ 700 in %	75,6	77,5	76,2	77,8	76,8	75,9
ERIC in ppm	208,6	174,7	194,5	167,6	174,6	194,7
1. Flotation						
Faserausbeute in %	90,6	91,4	90,0	92,9	95,7	98,0
Aschegehalt (525 °C) in %	17,2	17,4	16,4	15,6	15,8	15,9
Weißgrad in %	84,6	87,3	86,5	87,7	87,6	87,3
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV						
Hellbezugswert Y	85,3	88,5	87,8	89,4	89,1	88,6
L*-Wert	94,0	95,4	95,1	95,7	95,6	95,4
a*-Wert	-0,8	-1,0	-0,9	-1,1	-1,0	-1,0
b*-Wert	0,7	1,1	1,1	1,5	1,4	1,2
R ∞ 700 in %	85,6	89,0	88,5	90,2	90,0	89,2
ERIC in ppm	64,3	32,9	35,8	26,1	25,4	31,3
Schmutzpunktfläche: Domas						
Anzahl in #/m ²	4.488	13.615	15.793	2.952	43.407	32.262
> 50 - 100	3.801	11.741	12.231	2.647	37.419	28.773
>100 - 150	447	1.634	2.189	175	5.470	3.137
>150 - 200	109	120	490	55	443	246
>200 - 250	55	44	229	66	37	39
>250 - 500	55	22	371	11	30	68
>500	22	55	283	0	9	0
Gesamtfläche in mm ² /m ²	86	174	463	16	221	157
Fläche >250	62	106	371	1	5	6
>50 - 100	14	47	49	10	149	113
>100 - 150	5	17	23	2	56	32
>150 - 200	2	3	11	1	10	5
>200 - 250	2	2	9	3	1	2
>250 - 500	3	2	37	1	2	6
>500	59	105	334	0	2	0

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum
Filtrat vom deinkten Stoff nach 1. Flotation						
Weißgrad R457 in %	95,8	94,9	95,4	95,5	95,0	95,6
Hellbezugswert Y	97,1	96,3	96,8	96,3	96,5	96,9
L*-Wert	98,9	98,5	98,7	98,6	98,6	98,8
a*-Wert	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,5	-0,5
b*-Wert	1,0	1,1	1,0	0,7	1,1	1,0
R ∞ 700 in %	97,3	96,5	97,1	96,6	96,8	97,0
Kontrollwasser						
Weißgrad R457 in %	96,6	96,8	96,6	95,9	95,7	95,7
Hellbezugswert Y	97,6	97,7	97,6	96,6	96,3	96,3
L*-Wert	99,1	99,1	99,1	98,7	98,6	98,6
a*-Wert	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2
b*-Wert	0,8	0,7	0,8	0,5	0,5	0,5
R ∞ 700 in %	97,8	97,7	97,8	96,7	96,3	96,3
Berechnete Ergebnisse						
IE700 in %	69,4	79,2	79,9	82,9	84,1	82,8
IEERIC in %	69,2	81,2	81,6	84,4	85,5	83,9
Δ Y Filtrat	0,5	1,4	0,9	0,2	-0,2	-0,5
Benchmark Kategorie	Stationery (Y of base paper > 75)					
Gesamtpunktzahl	98	100	95	100	100	100

**Tabelle A.9: Deinking von pigmentbasiertem Inkjet Testdruck nach INGEDE
Methode 11 (Calculation according to EPRC, Version 3.1.1 (Sept 2013))**

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum
Undeinkter Stoff						
Aschegehalt (525 °C) in %	19,8	18,0	18,3	18,3	17,4	17,7
Weißgrad in %	59,0	59,7	61,0	59,6	57,9	59,8
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV						
Hellbezugswert Y	61,9	62,6	63,6	62,5	61,2	62,6
L*-Wert	82,9	83,2	83,8	83,2	82,5	83,3
a*-Wert	-1,6	-1,6	-1,6	-1,3	-1,7	-1,6
b*-Wert	2,6	2,6	2,3	2,6	2,9	2,6
R ∞ 700 in %	64,4	65,1	65,8	64,9	63,7	65,2
ERIC in ppm	218,3	224,0	206,0	212,7	241,3	222,1
1. Flotation						
Faserausbeute in %	90,6	89,7	90,0	91,0	90,5	91,5
Aschegehalt (525 °C) in %	5,4	5,1	6,4	5,8	5,4	6,8
Weißgrad in %	73,6	73,4	73,4	73,8	72,5	72,8
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV						
Hellbezugswert Y	77,2	77,2	77,0	77,3	76,4	76,5
L*-Wert	90,4	90,4	90,3	90,5	90,1	90,1
a*-Wert	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,5
b*-Wert	3,1	3,2	3,0	3,0	3,3	3,1
R ∞ 700 in %	79,6	79,6	79,2	79,4	78,7	78,8
ERIC in ppm	62,9	66,0	68,4	64,1	70,2	70,7
Schmutzpunktfläche: Domas						
Anzahl in #/m ²	643	501	708	523	415	741
> 50 - 100	370	349	425	348	229	468
>100 - 150	131	98	153	124	66	153
>150 - 200	87	55	66	29	66	76
>200 - 250	22	0	22	22	44	22
>250 - 500	33	0	44	0	11	22
>500	0	0	0	0	0	0
Gesamtfläche in mm ² /m ²	9	4	10	4	6	8
Fläche >250	4	0	4	0	1	2
>50 - 100	2	2	2	1	1	2
>100 - 150	1	1	2	1	1	1
>150 - 200	2	1	2	1	2	2
>200 - 250	1	0	1	1	2	1
>250 - 500	4	0	4	0	1	2
>500	0	0	0	0	0	0

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum
Filtrat vom deinkten Stoff nach 1. Flotation						
Weißgrad R457 in %	94,2	94,7	93,8	90,9	94,0	93,1
Hellbezugswert Y	95,6	96,3	95,6	92,6	95,8	94,9
L*-Wert	98,3	98,5	98,3	97,0	98,4	98,0
a*-Wert	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6
b*-Wert	1,0	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3
R ∞ 700 in %	96,2	96,6	96,0	93,3	96,3	95,6
Kontrollwasser						
Weißgrad R457 in %	96,3	97,0	96,5	96,8	96,5	96,5
Hellbezugswert Y	96,9	97,9	97,4	97,6	97,4	97,4
L*-Wert	98,8	99,2	99,0	99,1	99,0	99,0
a*-Wert	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
b*-Wert	0,5	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7
R ∞ 700 in %	97,1	97,7	97,3	97,5	97,5	97,5
Berechnete Ergebnisse						
IE700 in %	73,3	72,0	69,2	71,9	72,2	69,5
IEERIC in %	71,2	70,5	66,8	69,9	70,9	68,2
Δ Y Filtrat	1,3	1,6	1,9	5,0	1,6	2,5
Benchmark Kategorie	Stationery (Y of base paper > 75)					
Gesamtpunktzahl	95	96	95	96	95	94

Tabelle A.10: Deinking von Offset Coldset Zeitung_1 nach der am PMV entwickelten 2-Loop Methode

	Unge- altert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum	40 Wochen Kühlraum
Undeinkter Stoff							
Aschegehalt (525 °C) in %	19,3	19,1	18,9	18,5	18,8	18,4	19,0
Weißgrad in %	41,4	37,7	37,3	41,8	40,1	42,6	43,0
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV							
Hellbezugswert Y	43,3	39,4	39,1	43,7	41,8	44,5	45,1
L*-Wert	71,8	69,0	68,9	72,0	70,7	72,5	72,9
a*-Wert	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9
b*-Wert	2,4	2,2	2,5	2,4	2,2	2,4	2,6
R ∞ 700 in %	45,2	41,2	41,3	45,6	43,5	46,2	47,0
ERIC in ppm	1.205	1.437	1.394	1.214	1.329	1.137	1.151
Schmutzpunktfläche: Domas							
Anzahl in #/m ²	42.422	36.791	33.415	46.920	38.425	41.703	53.727
> 50 - 100	31.345	29.276	26.520	33.632	28.100	30.234	36.399
>100 - 150	7.842	5.740	4.988	8.931	7.058	7.983	11.251
>150 - 200	1.983	959	1.122	2.494	1.917	2.113	3.300
>200 - 250	523	371	349	904	664	654	1.296
>250 - 500	697	447	414	828	621	675	1.361
>500	33	0	22	131	66	44	120
Gesamtfläche in mm ² /m ²	348	254	239	433	335	364	556
Fläche >250	67	40	39	105	73	76	154
>50 - 100	130	116	105	139	115	125	150
>100 - 150	87	62	55	98	77	87	126
>150 - 200	44	22	26	56	44	51	74
>200 - 250	20	14	14	35	25	25	51
>250 - 500	59	40	34	71	52	59	111
>500	8	0	6	35	22	17	43
1. Flotation							
Flotation Ausbeute in %	81,0	76,4	75,3	79,6	77,0	78,3	82,1
Faserausbeute in %	89,7	85,2	83,7	87,8	86,3	87,1	89,9
Überlauf Masse m _{froth} in kg	3,19	4,52	4,01	4,32	4,45	3,75	4,13
Überlauf Stoff- dichte in g/kg	10,7	9,4	11,1	8,5	9,3	10,4	7,8
Deinkter Stoff nach 1. Flotation							
Aschegehalt (525 °C) in %	10,7	9,8	9,7	10,1	9,0	9,8	11,2
Weißgrad in %	53,9	48,4	46,4	54,6	53,6	55,5	55,3
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV							
Hellbezugswert Y	59,0	52,4	50,1	59,9	58,7	61,3	60,7
L*-Wert	81,3	77,5	76,1	81,8	81,1	82,5	82,2
a*-Wert	-0,9	-0,7	-0,6	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0
b*-Wert	5,3	4,5	4,2	5,4	5,3	5,9	5,6
R ∞ 700 in %	63,3	56,1	53,6	64,2	62,8	66,1	65,3
ERIC in ppm	366,9	563,5	676,1	349,6	368,6	298,4	330,5

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum	40 Wochen Kühlraum
Schmutzpunktfläche: Domas							
Anzahl in #/m ²	41.158	69.313	67.755	42.313	45.101	35.877	34.428
> 50 - 100	30.605	54.468	54.522	30.572	34.471	27.348	25.834
>100 - 150	7.591	11.578	10.336	7.962	7.776	6.372	6.077
>150 - 200	1.721	2.168	2.113	2.265	1.699	1.362	1.481
>200 - 250	643	599	468	697	654	436	599
>250 - 500	545	447	294	752	469	327	414
>500	55	55	22	66	33	33	22
Gesamtfläche in mm ² /m ²	334	473	429	743	665	266	265
Fläche >250	63	54	30	389	339	37	35
>50 - 100	125	220	219	128	141	111	106
>100 - 150	84	127	113	87	86	70	67
>150 - 200	39	48	48	53	38	31	34
>200 - 250	25	23	18	27	25	17	23
>250 - 500	44	38	24	60	36	25	29
>500	19	16	7	34	12	12	6
Filtrat vom deinkten Stoff nach 1. Flotation							
Weißgrad in %	92,8	92,0	90,2	94,4	89,6	94,1	93,9
Hellbezugswert Y	94,5	94,0	92,8	96,1	91,6	95,7	95,7
Kontrollwasser							
Weißgrad in %	96,3	96,3	96,1	97,0	95,8	96,3	96,6
Hellbezugswert Y	96,9	96,9	97,2	97,9	96,4	97,3	97,5
Eindickfiltrat							
Weißgrad in %	94,8	94,9	94,0	94,8	95,0	88,7	92,1
Hellbezugswert Y	96,0	96,2	95,7	95,8	96,2	91,8	94,3
L*-Wert	98,4	98,5	98,3	98,4	98,5	96,7	97,8
a*-Wert	0,1	0,1	0,3	-0,1	0,0	-0,3	-0,1
b*-Wert	0,9	0,9	1,3	0,7	0,9	2,4	1,7
R _∞ 700 in %	96,6	96,9	96,8	96,3	96,7	93,6	95,4
Disperger							
Aschegehalt (525 °C) in %	10,1	9,4	9,3	9,8	8,7	8,3	10,6
Weißgrad in %	47,3	43,6	41,1	47,6	46,6	49,6	48,6
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV							
Hellbezugswert Y	51,1	46,3	44,5	51,6	50,4	54,0	52,9
L*-Wert	76,8	74,1	72,5	77,0	76,3	78,5	77,8
a*-Wert	-1,0	-0,6	-0,5	-1,1	-1,1	-0,9	-1,1
b*-Wert	4,3	3,9	4,2	4,5	4,3	4,8	4,7
R _∞ 700 in %	54,9	50,2	48,0	55,2	53,9	58,2	56,7
ERIC in ppm	531,4	778,1	888,7	539,5	569,4	433,7	476,1
Schmutzpunktfläche: Domas							
Anzahl in #/m ²	11.915	19.528	19.964	9.530	9.814	9.423	9.420
> 50 - 100	8.343	15.063	15.553	6.807	7.036	7.080	6.742
>100 - 150	2.244	3.050	3.191	1.645	1.852	1.481	1.721
>150 - 200	763	828	784	588	523	447	566
>200 - 250	327	338	229	218	251	164	185
>250 - 500	218	240	196	251	153	240	207
>500	22	11	11	22	0	11	0

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum	40 Wochen Kühlraum
Gesamtfläche in mm ² /m ²	116	147	143	90	82	82	83
Fläche >250	27	22	18	23	12	20	16
>50 - 100	35	60	63	27	28	29	28
>100 - 150	24	33	35	19	20	17	19
>150 - 200	18	18	18	13	12	10	13
>200 - 250	13	13	9	8	10	6	7
>250 - 500	19	17	15	18	12	18	16
>500	8	5	3	5	0	2	0
2. Flotation							
pH-Wert vor Flotation	8,9	8,9	8,7	8,5	8,7	8,8	9,1
Flotation Ausbeute in %	94,2	93,7	92,8	94,1	93,4	94,9	93,8
Faserausbeute in %	97,0	96,6	95,7	96,9	96,0	97,0	96,6
Überlauf Masse m _{froth} in kg	3,08	3,81	3,33	4,65	3,28	3,29	3,41
Überlauf Stoff- dichte in g/kg	3,4	0,3	3,9	2,3	3,6	2,8	3,3
Deinkter Stoff nach 2. Flotation							
Aschegehalt (525 °C) in %	7,5	6,6	6,4	7,0	6,1	6,6	8,0
Weißgrad in %	53,8	49,9	47,9	54,4	53,0	54,3	53,7
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV							
Hellbezugswert Y	59,7	54,6	52,8	60,4	59,0	60,4	59,7
L*-Wert	81,7	78,8	77,8	82,1	81,3	82,1	81,7
a*-Wert	-0,8	-0,6	-0,4	-0,7	-0,7	-0,8	-0,9
b*-Wert	6,1	5,2	5,5	6,2	6,2	6,3	6,2
R _∞ 700 in %	65,0	59,1	57,6	65,9	64,3	65,9	64,9
ERIC in ppm	277,1	443,5	486,8	260,6	294,9	259,5	277,9
Schmutzpunktfläche: Domas							
Anzahl in #/m ²	14.420	26.412	26.477	12.133	11.676	11.817	10.935
> 50 - 100	10.183	20.258	20.672	8.757	8.539	8.517	7.994
>100 - 150	2.483	4.466	4.455	2.254	2.091	2.102	1.895
>150 - 200	926	1.100	980	686	512	610	610
>200 - 250	262	295	218	218	294	262	250
>250 - 500	425	294	153	196	240	316	185
>500	142	0	0	22	0	11	0
Gesamtfläche in mm ² /m ²	180	190	174	114	104	112	95
Fläche >250	79	21	10	28	22	29	16
>50 - 100	41	82	84	36	35	34	33
>100 - 150	28	50	49	25	23	25	22
>150 - 200	21	25	23	16	12	13	14
>200 - 250	10	12	9	8	12	11	10
>250 - 500	36	21	10	17	22	26	16
>500	43	0	0	11	0	2	0
Filtrat vom deinkten Stoff nach 2. Flotation							
Weißgrad in %	89,2	87,0	86,8	90,2	89,1	91,8	91,8
Hellbezugswert Y	91,3	89,5	89,5	92,4	91,4	93,5	93,7

Tabelle A.11: Deinking von Indigo Testdruck nach der am PMV entwickelten 2-Loop Methode

	Unge- altert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum
Undeinkter Stoff						
Aschegehalt (525 °C) in %	47,0	49,3	49,4	48,6	47,0	49,0
Weißgrad in %	84,0	83,0	82,7	83,8	83,7	84,8
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV						
Hellbezugswert Y	82,9	82,1	82,0	82,7	82,5	83,8
L*-Wert	93,0	92,6	92,6	92,9	92,8	93,4
a*-Wert	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6
b*-Wert	-0,7	-0,5	-0,4	-0,6	-0,8	-0,6
R ∞ 700 in %	88,8	88,4	88,2	88,8	88,7	89,6
ERIC in ppm	25,8	27,1	27,1	26,0	26,8	20,5
Schmutzpunktfläche: Domas						
Anzahl in #/m ²	556.502	670.261	717.562	608.112	620.413	537.290
> 50 - 100	266.282	331.117	333.463	293.397	278.791	254.377
>100 - 150	105.864	127.102	144.971	115.883	121.889	98.850
>150 - 200	55.470	69.824	83.674	61.906	70.562	53.992
>200 - 250	34.079	40.124	49.475	39.543	42.979	33.748
>250 - 500	74.409	83.907	87.551	77.735	85.699	73.451
>500	20.399	18.189	18.428	19.648	20.492	22.871
Gesamtfläche in mm ² /m ²	21.896	21.597	22.243	21.883	22.562	23.957
Fläche >250	16.876	15.488	15.197	16.246	16.584	19.113
>50 - 100	1.129	1.407	1.430	1.256	1.190	1.081
>100 - 150	1.220	1.461	1.683	1.341	1.413	1.147
>150 - 200	1.320	1.651	1.985	1.473	1.678	1.283
>200 - 250	1.351	1.589	1.948	1.568	1.697	1.333
>250 - 500	7.203	7.771	7.896	7.288	7.989	7.097
>500	9.673	7.718	7.302	8.958	8.595	12.016
1. Flotation						
Flotation Ausbeute in %	84,2	84,8	84,7	81,5	88,8	89,9
Faserausbeute in %	95,8	94,7	95,9	92,6	95,0	99,1
Überlauf Masse m _{froth} in kg	3,42	2,45	2,49	3,40	2,73	2,47
Überlauf Stoff- dichte in g/kg	8,2	11,2	11,1	9,8	7,4	12,4
Deinkter Stoff nach 1. Flotation						
Aschegehalt (525 °C) in %	39,8	43,3	42,7	41,6	43,2	43,7
Weißgrad in %	87,1	85,9	86,1	87,0	86,4	87,1
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV						
Hellbezugswert Y	85,8	84,9	85,2	85,7	85,2	85,8
L*-Wert	94,2	93,9	94,0	94,2	94,0	94,2
a*-Wert	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
b*-Wert	-0,7	-0,5	-0,4	-0,7	-0,7	-0,7
R ∞ 700 in %	92,5	91,7	92,2	92,2	91,7	92,2
ERIC in ppm	13,1	16,2	14,5	14,3	16,4	14,4

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum
Schmutzpunktfläche: Domas						
Anzahl in #/m ²	55.436	178.596	116.349	38.751	154.511	36.274
> 50 - 100	22.196	88.579	56.417	14.282	61.238	14.449
>100 - 150	8.975	29.668	17.992	6.644	27.156	6.273
>150 - 200	5.533	17.720	11.356	4.335	18.719	3.732
>200 - 250	4.117	10.804	8.583	3.398	13.389	2.962
>250 - 500	11.784	26.531	18.312	8.582	28.462	7.580
>500	2.832	5.293	3.689	1.510	5.547	1.278
Gesamtfläche in mm ² /m ²	2.669	6.333	4.152	1.679	6.509	1.485
Fläche >250	2.175	4.763	3.099	1.302	4.952	1.142
>50 - 100	95	373	234	61	259	63
>100 - 150	105	342	209	78	321	74
>150 - 200	131	424	272	104	448	88
>200 - 250	164	431	338	134	529	118
>250 - 500	1.210	2.494	1.655	848	2.704	732
>500	965	2.269	1.444	455	2.248	410
Filtrat vom deinkten Stoff nach 1. Flotation						
Weißgrad in %	94,3	95,1	95,7	95,2	95,1	95,5
Hellbezugswert Y	95,5	96,3	96,7	96,2	96,1	96,5
Kontrollwasser						
Weißgrad in %	96,6	96,6	96,6	96,2	96,6	96,7
Hellbezugswert Y	97,5	97,5	97,5	96,9	97,4	97,7
Eindickfiltrat						
Weißgrad in %	90,2	88,8	91,4	82,9	88,0	88,3
Hellbezugswert Y	91,7	90,5	93,3	84,4	89,2	90,0
L*-Wert	96,7	96,2	97,4	93,6	95,7	96,0
a*-Wert	-0,1	0,1	-0,2	0,1	-0,1	-0,2
b*-Wert	1,2	1,4	1,5	1,5	1,1	1,5
R _∞ 700 in %	95,0	94,7	95,8	91,6	93,4	93,6
Disperger						
Weißgrad in %	85,7	85,7	84,8	86,4	85,7	86,0
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV						
Hellbezugswert Y	85,1	84,8	84,4	85,3	84,9	85,5
L*-Wert	93,9	93,8	93,6	94,0	93,9	94,1
a*-Wert	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2
b*-Wert	-0,2	-0,5	-0,1	-0,6	-0,4	-0,2
R _∞ 700 in %	91,9	91,3	91,8	92,3	90,8	91,9
ERIC in ppm	15,3	15,6	16,1	12,0	19,6	15,6
Schmutzpunktfläche: Domas						
Anzahl in #/m ²	77.662	147.250	78.157	36.900	166.898	47.617
> 50 - 100	42.926	82.527	48.067	19.401	91.008	26.880
>100 - 150	19.997	38.192	21.173	10.020	41.924	11.472
>150 - 200	8.902	17.310	6.738	4.807	19.938	5.228
>200 - 250	3.703	5.591	1.423	1.714	8.103	2.396
>250 - 500	2.105	3.601	683	900	5.722	1.597
>500	29	29	73	58	203	44

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum	12 Wochen Kühlraum
Gesamtfläche in mm ² /m ²	935	1.681	725	477	2.153	590
Fläche >250	171	264	68	99	498	125
>50 - 100	184	353	205	84	393	115
>100 - 150	230	443	243	118	485	134
>150 - 200	210	403	155	110	465	122
>200 - 250	141	218	54	66	313	95
>250 - 500	163	258	48	62	437	115
>500	7	6	20	38	60	10
2. Flotation						
pH-Wert vor Flotation	8,6	8,5	8,8	8,5	8,3	8,6
Flotation Ausbeute in %	77,0	76,8	74,1	76,6	81,6	80,1
Faserausbeute in %	87,1	89,4	91,1	95,3	96,3	94,4
Überlauf Masse m _{froth} in kg	4,02	2,82	1,87	3,60	3,15	2,53
Überlauf Stoffdichte in g/kg	1,0	14,8	2,5	11,7	10,5	14,2
Deinkter Stoff nach 2. Flotation						
Aschegehalt (525 °C) in %	29,8	31,0	26,3	30,8	35,1	31,2
Weißgrad in %	85,9	86,1	85,1	86,5	85,9	86,0
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV						
Hellbezugswert Y	84,7	84,7	84,0	85,0	84,7	84,9
L*-Wert	93,8	93,7	93,5	93,9	93,8	93,9
a*-Wert	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3
b*-Wert	-0,6	-0,9	-0,5	-0,9	-0,7	-0,5
R _∞ 700 in %	92,6	92,3	93,0	92,8	91,7	92,4
ERIC in ppm	13,9	14,8	13,5	11,8	18,9	15,5
Schmutzpunktfläche: Domas						
Anzahl in #/m ²	8.394	37.873	10.107	6.550	34.373	11.400
> 50 - 100	2.120	14.391	4.327	2.033	9.134	3.674
>100 - 150	2.120	10.616	3.064	1.699	8.495	2.875
>150 - 200	1.699	7.580	1.583	1.235	7.755	2.353
>200 - 250	1.263	2.991	697	799	4.415	1.176
>250 - 500	1.162	2.222	421	755	4.400	1.322
>500	29	73	15	29	174	0
Gesamtfläche in mm ² /m ²	221	686	155	161	892	256
Fläche >250	95	202	35	70	393	103
>50 - 100	10	64	19	9	41	17
>100 - 150	25	126	37	21	101	34
>150 - 200	42	177	36	29	184	55
>200 - 250	50	116	27	31	172	47
>250 - 500	88	167	32	55	348	103
>500	7	36	3	15	45	0
Filtrat vom deinkten Stoff nach 2. Flotation						
Weißgrad in %	95,3	95,5	95,2	95,2	95,7	96,1
Hellbezugswert Y	96,3	96,4	96,3	96,2	96,6	97,1

Tabelle A.12: Deinking von Trockentoner Testdruck nach der am PMV entwickelten 2-Loop Methode

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum
Undeinkter Stoff					
Aschegehalt (525 °C) in %	20,5	20,7	21,6	21,6	22,4
Weißgrad in %	76,5	74,8	77,0	77,1	76,0
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV					
Hellbezugswert Y	76,3	74,7	76,9	76,9	75,9
L*-Wert	90,0	89,2	90,3	90,3	89,8
a*-Wert	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
b*-Wert	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
R ∞ 700 in %	76,1	74,7	77,0	76,9	76,0
ERIC in ppm	200,4	221,5	182,6	186,2	196,8
Schmutzpunktfläche: Domas					
Anzahl in #/m ²	90.475	578.645	526.333	229.774	213.953
> 50 - 100	82.807	475.449	430.991	202.045	187.295
>100 - 150	7.090	94.624	87.392	25.998	24.323
>150 - 200	468	8.005	7.417	1.514	2.023
>200 - 250	66	447	436	175	208
>250 - 500	33	109	98	44	93
>500	11	11	0	0	11
Gesamtfläche in mm ² /m ²	405	3.197	2.871	1.107	1.054
Fläche >250	5	58	6	4	11
>50 - 100	316	1.963	1.774	798	742
>100 - 150	72	989	916	266	250
>150 - 200	10	171	159	33	44
>200 - 250	2	17	16	7	8
>250 - 500	3	11	6	4	7
>500	3	47	0	0	4
1. Flotation					
Flotation Ausbeute in %	90,9	90,5	92,4	91,2	91,4
Faserausbeute in %	93,1	94,3	96,5	95,6	95,9
Überlauf Masse m _{froth} in kg	2,92	2,93	2,46	2,39	2,82
Überlauf Stoff- dichte in g/kg	5,6	5,8	5,6	6,6	5,5
Deinkter Stoff nach 1. Flotation					
Aschegehalt (525 °C) in %	18,5	17,5	18,1	17,9	18,5
Weißgrad in %	84,4	84,6	86,3	84,3	86,5
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV					
Hellbezugswert Y	85,0	85,6	87,5	85,1	87,5
L*-Wert	93,9	94,1	95,0	93,9	95,0
a*-Wert	-0,8	-0,9	-0,9	-0,8	-0,9
b*-Wert	0,7	1,0	1,1	0,8	1,0
R ∞ 700 in %	85,4	86,3	88,2	85,4	88,1
ERIC in ppm	66,5	52,0	37,0	64,3	39,8

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum
Schmutzpunktfläche: Domas					
Anzahl in #/m ²	5.457	29.429	18.298	3.115	45.283
> 50 - 100	3.877	25.235	15.629	2.778	39.550
>100 - 150	806	3.921	2.287	251	5.161
>150 - 200	338	218	294	11	466
>200 - 250	87	22	66	76	50
>250 - 500	131	33	22	0	45
>500	218	0	0	0	11
Gesamtfläche in mm ² /m ²	2.546	150	99	16	228
Fläche >250	2.511	2	2	0	6
>50 - 100	15	102	64	10	157
>100 - 150	9	40	25	3	53
>150 - 200	8	5	7	0	10
>200 - 250	4	1	2	3	2
>250 - 500	11	2	2	0	3
>500	2.501	0	0	0	3
Filtrat vom deinkten Stoff nach 1. Flotation					
Weißgrad in %	95,6	95,4	95,3	95,8	94,6
Hellbezugswert Y	97,1	96,8	96,5	96,5	96,1
Kontrollwasser					
Weißgrad in %	96,6	96,9	96,6	95,9	95,7
Hellbezugswert Y	97,6	97,8	97,6	96,6	96,3
Eindickfiltrat					
Weißgrad in %	95,1	94,0	95,8	95,9	92,2
Hellbezugswert Y	96,4	95,4	97,0	97,2	93,9
L*-Wert	98,6	98,2	98,8	98,9	97,6
a*-Wert	-0,4	-0,6	-0,4	-0,5	-0,8
b*-Wert	1,0	1,1	0,9	1,0	1,3
R _∞ 700 in %	96,6	95,8	97,2	97,3	94,5
Disperger					
Weißgrad in %	77,8	80,7	81,4	78,9	79,4
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV					
Hellbezugswert Y	78,3	81,8	82,3	79,5	80,2
L*-Wert	90,9	92,5	92,7	91,5	91,8
a*-Wert	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
b*-Wert	0,5	1,1	0,9	0,7	0,8
R _∞ 700 in %	78,9	82,8	83,3	80,0	80,8
ERIC in ppm	141,5	83,4	80,5	122,0	106,0
Schmutzpunktfläche: Domas					
Anzahl in #/m ²	1.635	3.565	4.619	2.005	7.299
> 50 - 100	1.046	2.658	2.810	1.481	6.321
>100 - 150	338	581	763	273	776
>150 - 200	153	182	360	131	84
>200 - 250	33	87	218	55	43
>250 - 500	55	58	381	55	57
>500	11	0	87	11	18
Gesamtfläche in mm ² /m ²	21	29	100	21	46

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum
Fläche >250	8	5	62	7	10
>50 - 100	4	10	11	6	25
>100 - 150	4	6	9	3	8
>150 - 200	3	4	9	3	2
>200 - 250	1	3	9	2	2
>250 - 500	6	5	36	4	4
>500	2	0	26	2	5
2. Flotation					
pH-Wert vor Flotation	8,8	9,2	8,8	8,9	9,2
Flotation Ausbeute in %	82,7	85,4	83,6	82,1	81,9
Faserausbeute in %	97,5	98,6	98,6	96,1	97,8
Überlauf Masse m_{froth} in kg	3,24	3,9	2,81	3,69	3,66
Überlauf Stoffdichte in g/kg	9,6	6,7	10,5	8,7	8,9
Deinkter Stoff nach 2. Flotation					
Aschegehalt (525 °C) in %	5,6	5,0	4,9	4,0	3,9
Weißgrad in %	84,0	85,7	85,9	85,9	85,7
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV					
Hellbezugswert Y	86,3	88,3	88,8	88,9	88,7
L*-Wert	94,4	95,3	95,5	95,5	95,5
a*-Wert	-0,8	-1,0	-0,9	-1,0	-0,9
b*-Wert	2,0	2,2	2,4	2,5	2,5
R ∞ 700 in %	87,5	89,5	90,1	90,1	90,0
ERIC in ppm	46,0	30,7	27,7	26,5	28,8
Schmutzpunktfläche: Domas					
Anzahl in #/m ²	1.384	969	1.100	654	1.887
> 50 - 100	774	577	817	425	1.543
>100 - 150	327	174	207	131	251
>150 - 200	163	131	44	44	52
>200 - 250	44	0	22	33	9
>250 - 500	22	87	11	22	20
>500	55	0	0	0	12
Gesamtfläche in mm ² /m ²	48	13	8	7	15
Fläche >250	36	6	1	1	5
>50 - 100	3	2	3	2	6
>100 - 150	4	2	2	1	3
>150 - 200	4	3	1	1	1
>200 - 250	2	0	1	1	0
>250 - 500	1	6	1	1	1
>500	34	0	0	0	3
Filtrat vom deinkten Stoff nach 2. Flotation					
Weißgrad in %	95,4	96,1	94,2	95,7	95,3
Hellbezugswert Y	96,9	97,4	95,7	96,9	96,8

Tabelle A.13: Deinking von pigmentbasiertem Inkjet Testdruck nach der am PMV entwickelten 2-Loop Methode

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum
Undeinkter Stoff					
Aschegehalt (525 °C) in %	17,5	17,8	17,6	17,4	18,1
Weißgrad in %	60,3	60,1	59,8	60,1	59,6
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV					
Hellbezugswert Y	63,1	62,9	62,7	62,9	62,3
L*-Wert	83,5	83,4	83,3	83,4	83,1
a*-Wert	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
b*-Wert	2,5	2,5	2,6	2,5	2,5
R ∞ 700 in %	65,7	65,3	65,2	65,4	65,0
ERIC in ppm	204,6	215,1	211,6	208,1	217,3
Schmutzpunktfläche: Domas					
Anzahl in #/m ²	1.384	969	1.100	654	1.887
> 50 - 100	959	512	686	305	479
>100 - 150	436	175	283	109	120
>150 - 200	131	98	66	11	76
>200 - 250	33	22	33	33	33
>250 - 500	88	55	44	22	76
>500	33	0	55	11	22
Gesamtfläche in mm ² /m ²	50	14	35	8	21
Fläche >250	36	6	26	4	15
>50 - 100	4	2	3	1	2
>100 - 150	5	2	3	1	1
>150 - 200	3	2	1	0	2
>200 - 250	1	1	1	1	1
>250 - 500	7	6	3	2	7
>500	30	0	23	2	8
1. Flotation					
Flotation Ausbeute in %	83,6	80,6	81,9	83,2	83,9
Faserausbeute in %	93,3	92,5	92,7	92,9	94,2
Überlauf Masse m _{froth} in kg	2,64	2,62	2,46	2,38	2,55
Überlauf Stoff- dichte in g/kg	11,2	13,3	13,2	12,7	11,4
Deinkter Stoff nach 1. Flotation					
Aschegehalt (525 °C) in %	7,9	5,7	6,8	7,9	8,1
Weißgrad in %	70,9	72,3	71,5	70,5	70,7
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV					
Hellbezugswert Y	74,4	76,0	75,2	74,1	74,1
L*-Wert	89,1	89,9	89,5	89,0	89,0
a*-Wert	-1,5	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5
b*-Wert	2,9	3,1	3,1	3,0	2,9
R ∞ 700 in %	76,8	78,2	77,6	76,5	76,6
ERIC in ppm	78,9	73,2	76,5	85,2	83,1

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum
Schmutzpunktfläche: Domas					
Anzahl in #/m ²	690	778	828	523	665
> 50 - 100	494	458	392	316	381
>100 - 150	138	218	131	109	131
>150 - 200	22	51	87	44	87
>200 - 250	22	29	87	22	22
>250 - 500	7	22	87	11	44
>500	7	0	44	22	0
Gesamtfläche in mm ² /m ²	8	7	25	13	10
Fläche >250	3	1	17	8	4
>50 - 100	2	2	1	1	2
>100 - 150	2	2	2	1	1
>150 - 200	1	1	2	1	2
>200 - 250	1	1	3	1	1
>250 - 500	0	1	7	1	4
>500	2	0	11	7	0
Filtrat vom deinkten Stoff nach 1. Flotation					
Weißgrad in %	93,4	94,5	94,1	94,0	93,8
Hellbezugswert Y	94,8	96,2	95,7	95,8	95,6
Kontrollwasser					
Weißgrad in %	96,3	97,0	96,5	96,8	96,5
Hellbezugswert Y	96,9	97,9	97,4	97,6	97,4
Eindickfiltrat					
Weißgrad in %	85,5	95,8	82,2	95,2	95,7
Hellbezugswert Y	89,0	97,2	88,4	96,7	96,9
L*-Wert	95,6	98,9	94,9	98,7	98,8
a*-Wert	-1,1	-0,5	-1,1	-0,5	-0,4
b*-Wert	2,5	1,0	2,8	1,1	0,9
R _∞ 700 in %	90,7	97,4	92,1	96,8	97,1
Disperger					
Weißgrad in %	70,5	72,4	71,0	71,7	70,3
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV					
Hellbezugswert Y	74,2	76,1	74,9	75,3	74,0
L*-Wert	89,0	89,9	89,3	89,5	88,9
a*-Wert	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6
b*-Wert	3,2	3,2	3,3	3,1	3,1
R _∞ 700 in %	76,6	78,3	77,3	77,5	76,3
ERIC in ppm	85,1	72,3	78,0	79,2	88,7
Schmutzpunktfläche: Domas					
Anzahl in #/m ²	1.503	720	665	905	698
> 50 - 100	835	403	294	566	360
>100 - 150	305	120	229	196	120
>150 - 200	124	120	87	33	120
>200 - 250	44	33	11	55	33
>250 - 500	145	44	44	44	44
>500	51	0	0	11	22

	Ungealtert	3 Tage 60 °C	6 Tage 60 °C	4 Wochen Klimaraum	12 Wochen Klimaraum
Gesamtfläche in mm ² /m ²	46	10	12	15	16
Fläche >250	34	3	5	8	9
>50 - 100	4	2	1	3	2
>100 - 150	4	1	2	2	1
>150 - 200	3	3	3	1	3
>200 - 250	2	1	2	2	1
>250 - 500	14	3	5	5	4
>500	20	0	0	2	5
2. Flotation					
pH-Wert vor Flotation	9,2	9,2	9,4	9,3	9,3
Flotation Ausbeute in %	93,2	93,7	93,7	93,5	92,1
Faserausbeute in %	99,2	97,2	97,0	97,4	97,2
Überlauf Masse m _{froth} in kg	3,30	3,65	3,02	2,5	3,20
Überlauf Stoffdichte in g/kg	3,7	3,1	3,8	4,7	4,5
Deinkter Stoff nach 2. Flotation					
Aschegehalt (525 °C) in %	3,2	2,3	3,1	3,7	2,9
Weißgrad in %	77,4	79,0	77,5	76,8	79,0
Beleuchtung C/2°/0 ohne UV					
Hellbezugswert Y	81,0	82,8	81,3	80,5	82,8
L*-Wert	92,2	92,9	92,3	91,9	92,9
a*-Wert	-1,3	-1,4	-1,3	-1,4	-1,3
b*-Wert	3,1	3,2	3,3	3,2	3,2
R _∞ 700 in %	83,2	84,7	83,5	82,6	84,7
ERIC in ppm	47,4	38,5	43,0	50,2	41,1
Schmutzpunktfläche: Domas					
Anzahl in #/m ²	534	349	523	414	633
> 50 - 100	327	229	349	272	294
>100 - 150	55	55	87	87	142
>150 - 200	55	44	22	44	76
>200 - 250	33	22	44	0	55
>250 - 500	55	0	22	11	33
>500	11	0	0	0	33
Gesamtfläche in mm ² /m ²	22	4	5	4	16
Fläche >250	17	0	0	1	10
>50 - 100	2	1	1	1	1
>100 - 150	1	1	1	1	2
>150 - 200	1	1	0	1	2
>200 - 250	1	1	3	0	2
>250 - 500	4	0	0	1	2
>500	12	0	0	0	7
Filtrat vom deinkten Stoff nach 2. Flotation					
Weißgrad in %	95,7	95,3	95,3	94,8	95,5
Hellbezugswert Y	97,0	96,8	96,7	96,3	96,9

Tabelle A.15: Reflexionsfaktoren (R_{700}), Streu- und Absortionskoeffizienten der Einzelprodukte als Grundlage zur Modellierung der Altpapiermischungen

			R_{∞} in %	R_0 in %	S in m^2/kg	K in m^2/kg	$S \cdot m_A$ -	$K \cdot m_A$ -
Rx	Offset - Zeitung	UP	46,85	46,17	55,372	16,691	2,392	0,721
		DP	62,14	57,40	48,258	5,565	2,158	0,249
	Offset - Werbeprospekte	UP	40,47	40,13	52,869	23,151	2,234	0,978
		DP	61,81	57,21	47,430	5,598	2,163	0,255
	Offset - Illustrierte	UP	51,98	51,4	59,203	13,130	2,639	0,585
		DP	70,35	62,97	52,866	3,303	2,325	0,145
	Tiefdruck - Illustrierte	UP	47,71	45,95	42,869	12,282	1,884	0,540
		DP	68,64	61,55	51,606	3,697	2,233	0,160
	Inkjet - Digitaldruck	UP	39,83	39,03	38,653	17,572	1,771	0,805
		DP	56,55	49,71	33,141	5,532	1,482	0,247
	Indigo - Flüssigtoner	UP	77,16	65,16	51,184	1,730	2,216	0,075
		DP	89,99	67,21	44,797	0,249	2,107	0,012
Ry	Offset - Zeitung	UP	46,93	46,29	56,521	16,963	2,442	0,733
		DP	61,16	57,03	46,524	6,109	2,215	0,273
	Offset - Werbeprospekte	UP	39,26	38,97	51,899	24,382	2,193	1,030
		DP	59,99	56,13	48,311	6,492	2,203	0,296
	Offset - Illustrierte	UP	52,15	51,32	61,580	13,520	2,745	0,603
		DP	69,53	62,96	54,567	3,642	2,399	0,160
	Tiefdruck - Illustrierte	UP	47,04	46,36	54,755	16,324	2,406	0,717
		DP	47,06	61,02	52,971	4,285	2,293	0,185
	Inkjet - Digitaldruck	UP	40,40	39,64	39,996	17,581	1,833	0,806
		DP	57,68	51,00	34,940	5,425	1,562	0,243
	Indigo - Flüssigtoner	UP	78,13	66,40	53,962	1,653	2,336	0,072
		DP	90,83	68,67	47,808	0,222	2,249	0,010
Rz	Offset - Zeitung	UP	46,82	46,30	59,259	17,903	2,560	0,773
		DP	57,52	55,28	54,990	8,626	2,459	0,386
	Offset - Werbeprospekte	UP	35,82	35,59	47,756	27,462	2,018	1,161
		DP	53,11	51,48	51,266	10,610	2,338	0,484
	Offset - Illustrierte	UP	51,41	50,79	64,584	14,830	2,879	0,661
		DP	63,46	59,90	58,030	6,106	2,552	0,268
	Tiefdruck - Illustrierte	UP	44,77	44,28	54,3767	18,663	2,407	0,820
		DP	60,94	58,18	59,519	7,453	2,576	0,323
	Inkjet - Digitaldruck	UP	47,06	46,29	51,011	15,192	2,337	0,696
		DP	69,68	62,60	51,915	3,425	2,321	0,153
	Indigo - Flüssigtoner	UP	87,74	75,65	78,536	0,673	3,400	0,029
		DP	101,01	79,16	49,378	3,377	2,262	0,155