

Hochqualitativer Inkjetdruck für Verpackungs-Kleinstauflagen auf Wellpappe
(HQ-Inkjet)
PTS/SID-Forschungsbericht
Juli 2019

Ansprechpartner:

Dr. Marcel Haft
Marcel.haft@ptspaper.de
Papiertechnische Stiftung
Institut für Zellstoff und Papier – IZP
Pirnaer Straße 37, 01809 Heidenau

Carolin Sommerer
sommerer@sid-leipzig.de
Sächsisches Institut für die Druckindustrie
(SID)
Mommsenstraße 2, 04329 Leipzig



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Das Forschungsvorhaben IGF 18767 BR der kooperierenden AiF-Forschungsvereinigungen PTS-IZP und SID 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. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Unser Dank gilt außerdem den beteiligten Firmen der Papier-, Druck und Zulieferindustrie für die Unterstützung der Arbeiten.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Zusammenfassung.....	3
2 Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung	4
2.1 Anlass für das Forschungsprojekt	4
2.2 Stand der Forschung und Entwicklung.....	5
Sondermesstechnik.....	6
3 Forschungsziel	6
4 Gesamtvorgehen	7
5 Ergebnisse	8
5.1 Materialauswahl – Bedruckstoffe und Tinten	8
5.2 Tinten- und Bedruckstoffcharakterisierung	8
5.3 Optimierung IJ-Druckprozess: Software und Hardware	14
5.4 Entwicklung Sondermesstechnik.....	22
5.5 Herstellung modifizierter Oberflächen	26
5.6 Druckversuche.....	27
5.7 Druckqualitätsbewertung.....	29
5.8 Ermittlung der Beziehungen zwischen Substrat / Druckparameter und Druckqualität	32
Literaturverzeichnis.....	34

1 Zusammenfassung

Zielstellung	<p>Ziel des Projekts war die Entwicklung eines verfahrenstechnischen Konzepts zum hochqualitativen Inkjetdruck auf Wellpappen. Die Wellpappenoberflächen (Testliner) und drucktechnischen Prozessparameter sollten unter Berücksichtigung der eingesetzten Tinten, gezielt in ihren Eigenschaften verändert werden, um den Ansprüchen eines hochqualitativen Inkjetdrucks zu entsprechen. Dafür sollten Hauptparameter für die Druckqualität identifiziert und somit die Druckqualität optimiert werden.</p> <hr/>
Ergebnisse	<p>Ein breites Spektrum an Wellpappenlinern konnte hinsichtlich der Oberfläche umfassend charakterisiert werden. Dabei war es durch den Aufbau und die gerätetechnische Weiterentwicklung des Messgeräts zur Bestimmung des Wegschlagverhaltens und der Wechselwirkung Tinte-Substrat möglich, detaillierte druckrelevante Daten zu generieren. Die Applikation von speziellen Oberflächenformulierungen zur Fixierung und schnellen Trocknung von Inkjettinten konnte erfolgreich durchgeführt werden. Im Rahmen der Druckversuche zeigte sich, dass im System Tinte-Substrat-Druckprozess durch komplexe Wechselwirkungen nur in einigen Fällen qualitativ hochwertige Druckmuster erzeugt werden konnten.</p> <hr/>
Schlussfolgerung	<p>Im Rahmen des Projekts konnten die Oberflächenenergie der Substrate und die Trocknung/das Wegschlagen der Tinte in die Substrate als kritische Parameter identifiziert werden. Sind diese als hinreichende Bedingung nicht erfüllt, wird die Druckqualität nicht zufriedenstellend ausfallen. Durch die Komplexität heutiger Tinten und der Variabilität des Druckprozesses ist die Einhaltung der Substratparameter allein jedoch noch kein Garant für ein ideales Druckbild. Industriell wird sich daher vermehrt dem Einsatz von oberflächenmodifizierenden Substanzen (Primern) zugewandt.</p> <hr/>

2 Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung

2.1 Anlass für das Forschungsprojekt

**Vorangestellte
Bemerkungen**

Das beantragte Forschungsvorhaben konnte nur durch eine enge Zusammenarbeit der beteiligten Forschungsstellen PTS (FS1) und SID (FS2) realisiert werden. Die Bündelung der spezifischen Kompetenzen zum Materialwissen (FS1: [1, 2, 3]) und Technologiewissen Druck (FS2: [4, 5, 6]) förderte maßgeblich die erfolgreiche und industrienaher Bearbeitung des Projektes.

KMU-Verpackungshersteller konzentrieren sich zunehmend auf die flexible Bedienung eines Marktes mit kleinen Losgrößen. Dabei wird das Ziel, die Druckqualität von Verpackungs-Kleinstauflagen auf Wellpappe unter wirtschaftlichen Bedingungen zu steigern, sowohl von der Substratseite (FS1) als auch von dem technologischen Gesichtspunkt (FS2) betrachtet. FS1 ist für alle spezifischen Substratuntersuchungen und den Einsatz bzw. der Entwicklung benötigter Sondermesstechnik zuständig, während FS2 sich mit der Modifikation der Inkjet-Prozessparameter in Bezug auf die Tinteneigenschaften im Druckvorgang befasst.

Das vorliegende Forschungsvorhaben knüpft somit an den Ergebnissen vorangegangener Forschungsvorhaben [1, 2] an. Der Innovationsgrad wird dabei maßgeblich durch die Substitution des Substrates (Papier zu Wellpappe), dem Einfluss von Substrat- bzw. Verfahrensparametern auf die Druckqualität sowie der Entwicklung bzw. der Weiterentwicklung von Sondermesstechnik zur Erfassung der Penetrationseigenschaften bestimmt. In enger Zusammenarbeit soll durch diese Korrelation der physikalischen Material- und Verfahrensparameter das grundlegende Verständnis zwischen Druckqualität und Einflussfaktoren ausgebaut werden, um einen zukünftigen Ergebnistransfer in die Industrie zu erleichtern.

Branchenübergreifende Bedeutung

Das Wissen über qualitätsrelevante Verfahrens- und Substratparameter im Wellpappen-Inkjetdruck ist dabei nicht nur für die Druckindustrie relevant. Vielmehr fördert es ein abgestimmtes branchenübergreifendes Vorgehen (Papier-, Wellpappen-, Verpackungs-, Druckfarbenhersteller) zur Qualitätssteigerung von hochwertig bedruckten Verpackungen mittels digitaler Drucktechnologien. Durch die geplante Entwicklung einer eindeutigen, reproduzierbaren und praxisnahen Methodik zur Bestimmung von Penetrations- und Trocknungseigenschaften im Inkjetdruck soll zusätzlich eine indirekte branchenübergreifende Grundlage zur Bedruckbarkeitsanalyse von porösen Substraten geschaffen werden. Diese ermöglicht den Wissens- und Technologietransfer auf weitere Industriezweige (Faltschachtel- und andere Papierverpackungen, Druckpapiere, Datamatrixcodierung, Barcodeanwendungen, industrielle Druckanwendungen).

2.2 Stand der Forschung und Entwicklung

Verpackungsdruck

Ein ständiges Wachstum aufgrund der gestiegenen Nachfrage nach Verpackungsprodukten, sowie günstige Prognosen für den weiteren Verlauf machen das Segment des Verpackungsdrucks bedeutend. Tendenzen hin zu aufwändigeren und qualitativ hochwertigen, mehrfarbigen Drucken und kleineren Losgrößen bis hin zur vollständigen Individualisierung sind deutlich spürbar. Der Inkjetdruck hat hier ein hohes Potential dem Wunsch nach Flexibilität seitens der Kunden nachzukommen, ja sogar funktionelle Beschichtungen auf die Oberfläche aufzutragen. Nicht zuletzt bedingt durch die hohe Flüssigkeitsmenge stellt der Inkjetdruck jedoch hohe Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit der Substrate. Hier mangelt es noch an Verständnis grundlegender Zusammenhänge und es besteht großes Optimierungspotential.

Werkstoffe und klassische Druckverfahren

Wellpappenwerkstoffe für den Druck sind Test- und Kraftliner, wobei in beiden Gruppen sowohl braune Werkstoffe als auch weiß gedeckte oder gestrichene Sorten zum Einsatz kommen. Neben den Bedruckbarkeitseigenschaften, die derzeit hauptsächlich vom Flexodruck bestimmt werden, müssen die Werkstoffe einerseits für den Prozess der Wellpappen- und Schachtelfertigung geeignet sein, andererseits allen nutzerseitigen Anforderungen genügen. Für die im Projekt fokussierten qualitativ anspruchsvollen Drucke wurden nur weiß gedeckte bzw. gestrichene Testlinersorten untersucht.

Im Offsetdruck erreicht man die höchste Druckqualität in den Standarddruckverfahren, so dass die Qualität im Offsetdruck meist als Benchmark herangezogen wird. Der Flexodruck ist vermehrt in der Lage, ebenfalls anspruchsvolle, mehrfarbige Druckerzeugnisse zu liefern und ist im Bereich des Verpackungsdrucks, insbesondere auf Wellpappe das dominierende Druckverfahren.

Inkjetdruck

Als digitales Druckverfahren, bei dem Tintentropfen gezielt berührungslos auf das Substrat appliziert (geschossen) werden, kommt der Inkjetdruck ohne Druckform aus. Tinten sind entsprechend niedrigviskos (1-30 mPas) und haben einen tendenziell hohen Flüssigkeitsanteil. Das Druckergebnis hängt stark von der Substratoberfläche ab. Man unterscheidet in Pigmenttinten (50-150 nm Partikelgröße) und Farbstofftinten (Molekülgröße von 2 nm). Wobei im Projekt Pigmenttinten auf Wasserbasis untersucht wurden, um Anforderungen an Nachhaltigkeit und Beständigkeit Rechnung zu tragen. Eine quantitative Beschreibung der Druckqualität erfolgt über Anzahl und Maß von Druckfehlern.

Druckfehler	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • Konturenschärfe: <ul style="list-style-type: none"> ○ Ausfransen ○ Ausbluten • Partielle Glanzeffekte 	<ul style="list-style-type: none"> • Tinte verschwindet im Papier → geringer Kontrast (blasse Farben) • Wegschlagzeit oft limitierender Faktor (HSI-Druck)

-
- | | |
|--|---|
| • Durchscheinen | • Ausbluten und Ausfransen (unebene Kanten) |
| • Streifigkeit | • Dotgain (Detailverlust) |
| • Druckungleichmäßigkeit, insbesondere im Vollton (Mottling) | • Durchschlagen der Tinte |
| • Dimensionsinstabilität bis hin zur Faltenbildung | • Mangelnde Wasserfestigkeit |
| • Düsenausfall | • Eingeschränkte Rezyklierbarkeit |
| • Farbrückübertragung von Maschinenelementen (Trocknungsproblem) | |
-

Sondermesstechnik

Der Mechanismus des Wegschlagens und die dabei auftretenden Wechselwirkungen spielen eine essentielle Rolle im Inkjetdruck und haben gleichzeitig einen direkten Einfluss auf die Druckqualität. Bereits in vorangegangenen Projekten wurde eine direkte Messmethode (HFC - Highspeed Fluid Characterization) zur Bewertung wichtiger physikalischer Einflussgrößen (Randwinkel, Tropfenspreitung, Wegschlagzeit, Penetrationsgeschwindigkeit) während des Wegschlagens erarbeitet und in einem experimentellen Messaufbau umgesetzt. Durch Variation eines elektrischen Steuerpulses wurde mittels einer speziellen Piezodüse die akustische Tropfenseparation ermöglicht und anschließend durch eine Highspeed-Kamera aufgenommen und bildanalytisch bewertet.

Diese zeitlich vereinzelte Art der Tropfenerzeugung birgt jedoch einen entscheidenden Nachteil. Die Tropfengenerierung im Inkjet beruht auf dem Prinzip des Regelkreises, was zur Folge hat, dass saubere und reproduzierbare Tintentropfen nur innerhalb eines sich eingeschwungen Prozesses erzeugt werden können. Daher sollte innerhalb des Projektes eine Neu- bzw. Weiterentwicklung der Messmethodik realisiert werden, bei der anhand eines labortechnischen Piezo-Dispensers eine „on-the-fly“ Betrachtung separierter und reproduzierbarer Tropfen sowohl auf dem Substrat als auch im Flug möglich ist sowie die Druckbedingungen realer Inkjet-Prozesse nachempfunden werden können.

3 Forschungsziel

Ziel

Ziel des Projekts war die Entwicklung eines verfahrenstechnischen Konzepts zum hochqualitativen Inkjetdruck auf Wellpappen. Die Wellpappenoberflächen (Testliner) und drucktechnischen Prozessparameter sollten unter Berücksichtigung der eingesetzten Tinten, gezielt in ihren Eigenschaften verändert werden, um den Ansprüchen eines hochqualitativen Inkjetdrucks zu entsprechen. Dafür sollten Hauptparameter für die Druckqualität identifiziert und somit die Druckqualität optimiert werden.

4 Gesamtverfahren

Übersicht

Die Bearbeitung des Projekts erfolgte entsprechend dem folgenden Ablaufschema in verschiedenen Arbeitspaketen (AP).

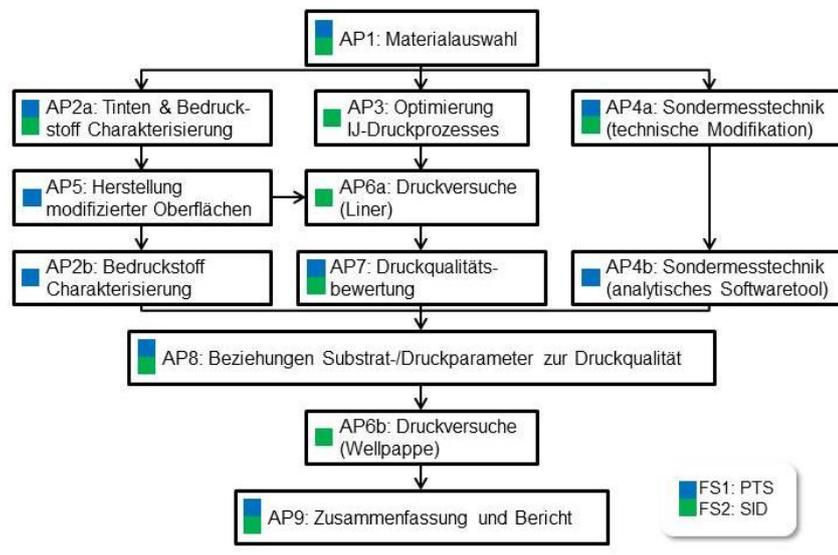


Abb. 1: Ablaufschema des Lösungsweges

Hypothesen

Im Projekt wurden folgende Hypothesen zum Zusammenspiel zwischen Substrat, Tinte und Prozessbedingungen beleuchtet:

1. Durch eine gezielte Abstimmung der Einflussgrößen (Papier, Farbe, Druckprozess) lässt sich ein Parameterraum schaffen, der eine optimale Druckqualität gewährleistet (AP 2, 3, 8).
2. Eine Anpassung der Wellpappenoberflächen (Porosität, Oberflächenspannung, Topografie) führt zu höherer Absorptivität und kürzerer Wegschlagzeit und somit zu einer besseren Bedruckbarkeit (AP 5).
3. Ein homogenes Benetzungs- und Spreitungsverhalten führt zu einer optimalen Tröpfchenverteilung und Tröpfchenpunktform (AP 2, 4).
4. Die Anpassung der Druckkopf-Tinte-Kombination führt zu einer Verbesserung der Tropfeneigenschaften und damit zu einer optimalen Tropfenform (kugelförmig, ohne Satelliten) und Tropfengröße (AP 3).
5. Die gezielte Modifikation der Vorstufendaten ermöglicht eine Reduktion der auftretenden Druckfehler (AP 3, 7).
6. Eine reproduzierbare und verbesserte Messmethodik der Penetrations- und Trocknungseigenschaften führt zu einer genaueren Beschreibung der Bedruckstoffeigenschaften und somit zu einer genaueren Beurteilung der Druckqualitätseigenschaften.

5 Ergebnisse

5.1 Materialauswahl – Bedruckstoffe und Tinten

Ziel	Das Ziel dieses APs ist die Definition und Beschaffung repräsentativer, hochwertiger und gebleichter Wellpappenliner (Testliner) im A4-Format und geeigneter Inkjet-Tinten für den wasserbasierten pigmentierten Inkjetdruck.
Bedruckstoffe/ Substrate	<p>Durch das vorgegebene Ziel, qualitativ hochwertigen Verpackungsdruck auf Wellpappe durchzuführen, wurde sich seitens der Substrate auf weiße Qualitäten beschränkt.</p> <p>In enger Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurde eine breite Palette an weißen Liner – und Kartonmustern beschafft. Diese reichten von weiß gedeckt, über pigmentiert, bis hin zu einfach oder gar mehrfach gestrichenen Sorten. Parallel zu den beschafften Mustern entstanden im Rahmen des AP 5 mehrere Substratmuster mit modifizierten Oberflächen für eine bessere Bedruckbarkeit. Eine Übersicht sämtlicher Muster ist in Kapitel 6.2 dargestellt.</p>
Tinten	<p>Durch den verwendeten Druckkopf sind einige Parameter für die Tinten bereits vorgegeben. Die Tinten müssen eine Viskosität von 6-16 mPas (ideal 8-12 mPas), eine Oberflächenspannung von 21-40 nN/m, eine Partikelgrößenverteilung von 200-300 nm haben und bei einer Temperatur von 20-25 °C verarbeitbar sein.</p> <p>Von den Projektbegleitern wurden geeignete Tinten für die Tests zur Verfügung gestellt: ein auf dem Markt bereits etabliertes System (A1) und eine eigens für Wellpappendruck optimierte (B2), jedoch noch nicht verkaufte Versuchstinte.</p> <p>Im späteren Verlauf der Forschungsarbeiten wurde die erste Versuchstinte optimiert und angepasst (B3). Weiterhin wurden 2 zusätzliche Versuchstinten (C4 und C5) bereitgestellt. Somit standen im Projekt insgesamt 5 Tinten (1 bis 5) von 3 verschiedenen Herstellern (A, B und C) für Versuche zur Verfügung. Alle Tinten sind wasserbasierte Pigmenttinten.</p>

5.2 Tinten- und Bedruckstoffcharakterisierung

Ziel	Das Ziel dieses APs besteht in der Eigenschaftsbeschreibung der eingesetzten Testliner und Tinten sowie der in AP 3 modifizierten Testliner-Oberflächen. Es bildet somit die Grundlage für die Korrelation (AP 8) der Druckqualitätseigenschaften (AP 7) mit den Substrateigenschaften (AP 2).
-------------	--

Bedruckstoffe

Folgende Tabelle fasst kurz die im Rahmen des Projekts verwendeten Bedruckstoffe, inklusive kurzer Beschreibung zusammen:

Tabelle 1: Substratarten

Bezeichnung	Details
S1	1x gestrichen
S2	Pigmentiert
S3	Weiß gedeckt
S4	2x gestrichen
S5	1x gestrichen
S6	2x gestrichen
S7	1x gestrichen, pigmentierte RS
S8	1x gestrichen
S9	Weiß gedeckt
S10	2x gestrichen
S11	1x gestrichen
S12	Mehrfach gestrichen
S13	2x gestrichen
S14	2x gestrichen
S15	1x gestrichen
S16	2x gestrichen
S17	2x gestrichen
S18	Gestrichen AP 5
S19	Gestrichen AP 5
S20	Gestrichen AP 5
S21	Gestrichen AP 5
S22	Gestrichen AP 5
S23	Gestrichen AP 5
S24	Gestrichen AP 5
S25	Gestrichen AP 5
S26	Gestrichen AP 5
S27	Gestrichen AP 5
S28	Gestrichen AP 5
S29	Gestrichen AP 5

Zur Grundcharakterisierung der Bedruckstoffe wurden Porosität, Oberflächenenergie, Tintenwegschlagzeit und Rauheit gemessen. Die folgende Tabelle fasst die Werte entsprechend zusammen.

Die Bestimmung der Porosität erfolgte mittels Hg-Porosimeter von Quantachrome. Basierend auf dem Prinzip, dass Quecksilber als nicht benetzende Flüssigkeit ausschließlich durch Anlegen eines äußeren Druckes in das Porensystem der Papiere eindringt werden Druck-Porenvolumen-Korrelationen möglich. In einer Doppelbestimmung wurden sämtliche Proben vermessen und die zugehörigen Werte als Mittelwert bestimmt.

Die Oberflächenenergie wurde mittels OCA (Dataphysics) indirekt durch Kontaktwinkelmessung von Wasser und Formamid und anschließender Berechnung nach OWRK bestimmt. Neben der summarischen Oberflächenenergie werden somit auch polare und disperse Anteile bestimmt.

Die Wegschlagzeit wird mittels HFC-Methode bestimmt, auf die in Kapitel 6.4 noch näher eingegangen wird.

Die Substratrauheit wurde mittels Alicona IFM durch Fokusvariationsmessung bestimmt. Hierbei werden die fokussierten Bildanteile aus mehreren Fokusebenen zu einem 3D-Datensatz zusammengefasst und schließlich aus den Höhendifferenzen die Substratrauheit bestimmt.

Tabelle 2: Substrateigenschaften - Übersicht

Substrat	Porosität [%]	Oberflächenenergie [mN/m] (polar / dispers)	Wegschlagzeit [ms]	Rauheit s_A [µm]
S1	30,3	33,0 (10,3 / 22,7)	1030	0,42
S2	34,0	23,5 (0 / 23,5)	325	0,71
S3	28,6	14,9 (0,4 / 14,4)	606	0,82
S4	33,8	14,5 (10,0 / 4,4)	432	0,38
S5	38,6	10,9 (4,2 / 6,7)	543	0,50
S6	34,5	19,5 (8,1 / 11,4)	800	0,39
S7	34,8	16,4 (0,6 / 15,8)	279	0,53
S8	32,1	17,1 (1,5 / 15,6)	568	0,48
S9	25,2	36,4 (0,1 / 36,3)	670	0,86
S10	29,2	26,9 (15,0 / 11,9)	240	0,34
S11	31,0	23,4 (13,2 / 10,2)	314	0,41
S12	37,2	32,6 (18,9 / 13,7)	170	0,39
S13	32,6	29,0 (17,5 / 11,5)	356	0,47
S14	29,3	14,5 (2,6 / 11,9)	542	0,41
S15	28,1	19,1 (4,5 / 14,6)	470	0,60
S16	31,4	23,6 (9,5 / 14,1)	417	0,37
S17	32,7	24,9 (9,3 / 15,6)	587	0,45
S18	37,8	32,5 (8,0 / 24,5)	270	1,13
S19	39,3	36,5 (17,9 / 18,6)	225	1,28
S20	34,6	21,4 (10,1 / 11,3)	80	1,06
S21	35,0	24,9 (7,4 / 17,5)	24	0,99
S22	33,9	29,6 (7,9 / 21,7)	130	1,12
S23	31,3	35,0 (16,1 / 18,9)	145	1,38
S24	33,2	36,2 (24,8 / 11,4)	128	1,32
S25	35,8	34,4 (18,6 / 15,8)	137	1,17
S26	31,9	25,6 (15,9 / 9,7)	68	1,08
S27	29,6	25,8 (9,2 / 16,6)	30	1,14
S28	34,1	33,5 (15,3 / 18,2)	112	1,39
S29	33,3	35,9 (17,9 / 18,0)	120	1,51

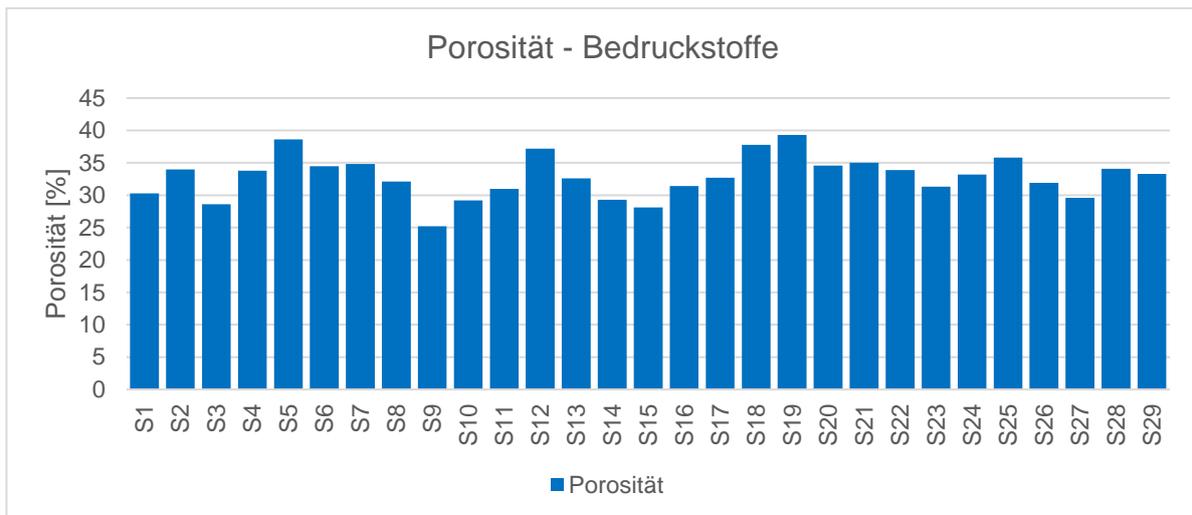


Abbildung 1: Gesamtporosität in % der einzelnen Bedruckstoffe

Alle Muster bewegen sich im üblichen Rahmen, was die Porosität angeht. Gestrichene Varianten sollten tendenziell, aufgrund ihres Strichporensystems eine etwas höhere Porosität aufweisen als ungestrichene Varianten. Hier lässt sich jedoch kein pauschaler Zusammenhang erkennen. Lediglich die oberflächenmodifizierten Substrate zeigen durchgängig eine Porosität von über 30 %.

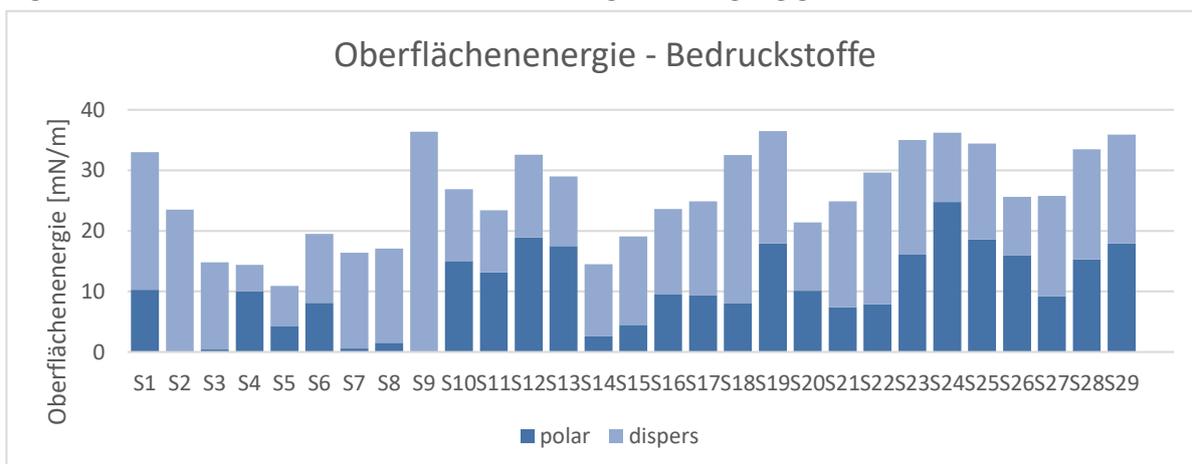


Abbildung 2: Oberflächenenergie nach OWRK, unterteilt in polare Anteile und disperse Anteile.

Die Oberflächenenergie wurde durch Kontaktwinkelmessung mit Wasser und Formamid bestimmt. Entsprechend der bekannten Oberflächenenergien der beiden Flüssigkeiten kann aus den gemessenen Kontaktwinkeln die Oberflächenenergie des Substrats errechnet werden. Eine Abgrenzung von polaren zu dispersen Anteilen ist ebenfalls möglich. Für eine optimale Bedruckbarkeit sollten die Oberflächenenergien der Tinte geringfügig niedriger sein als die des Substrates. Insbesondere im Falle der gestrichenen Substrate wird ein signifikanter polarer Anteil beobachtet, der bis zu 25 mN/m ausmachen kann. Ungestrichene, möglicherweise hydrophobisierte Substrate zeigen vorwiegend disperse Anteile an der Oberflächenenergie.

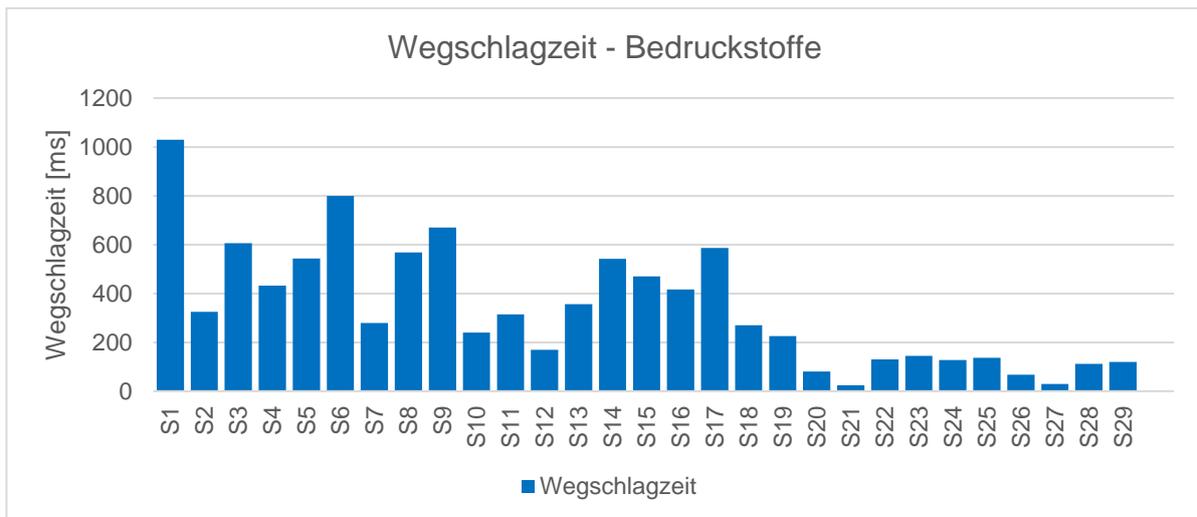


Abbildung 3: Wegschlagzeit von Modelltinte in Substratoberfläche

Die Wegschlagzeiten, die mittels HFC ermittelt wurden, lassen in der Übersicht keinen eindeutigen Trend erkennen. Die selbst hergestellten Muster zeigen eine erwartungsgemäß schnelle Tintenabsorption, wohingegen einige, auch gestrichene Qualitäten eine sehr lange Wegschlagzeit aufweisen. Daraus leitet sich im Allgemeinen eine Neigung zum Verwischen der Tinte ab, da diese nicht rasch genug vom Porensystem aufgenommen werden kann. Die Tintenannahme ist hier gestört.

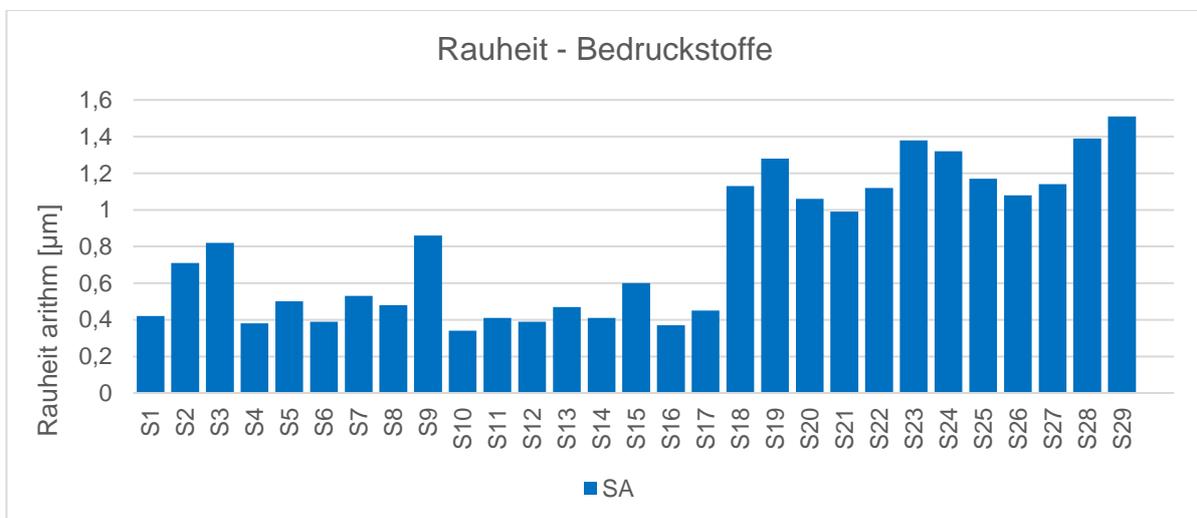


Abbildung 4: Rauheitsmittelwert der Substratoberflächen, bestimmt mittels optischer Topografie-messung

In der Übersicht wird deutlich, dass vor allem stärker gestrichene Substrate eine hohe Glätte aufweisen. Ungestrichene Varianten zeigen mit Rauheitswerten zwischen $0,7 \mu\text{m}$ und $0,8 \mu\text{m}$ eine geringere Glätte. Besonders die im Rahmen des AP 5 hergestellten, oberflächenmodifizierten Muster sind, dem Handstrich mittels Laborrakel geschuldet, deutlich rauer mit Werten von über $1 \mu\text{m}$.

Tinten

Von den zur Verfügung gestellten Tinten wurden die drucktechnisch relevanten rheologischen Eigenschaften bestimmt. Dazu gehören die Viskosität und die Oberflächenspannung der Tinten.

Die Viskosität der Tinten wurde mittels Auslaufbecher (2mm) bestimmt.

Beim Auslaufbecher handelt es sich um einen Hohlzylinder, der in einer fest eingebauten Düse, im vorliegenden Fall mit einer Öffnung von 2mm, endet. Die Auslaufbecher fassen ein bestimmtes Flüssigkeitsvolumen, das durch die kleine Öffnung ausfließt. Das Ergebnis wird als die Zeit in Sekunden ausgedrückt, die eine Flüssigkeit benötigt, bis ein erstes unregelmäßiges Fließverhalten aus dem Auslaufbecher auftritt.

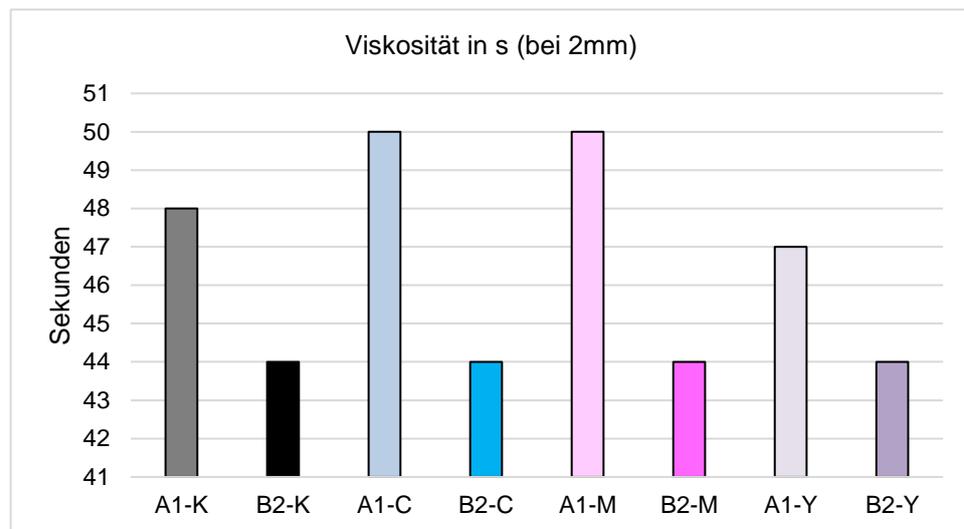


Abbildung 5: Viskosität, gemessen mit Auslaufbecher bei 2mm Öffnung

Dabei wurde festgestellt, dass die Tinte des Herstellers B deutlich niedriger viskos, als die des Herstellers A ist. Von den Tinten des Herstellers C wurde die Viskosität nicht untersucht, da diese Tinte nicht verdruckbar war.

Zwischen den einzelnen Farbtönen gab es kaum Unterschiede.

Die Oberflächenspannung der Tinten wurde mit einem Krüss DSA 25 gemessen:

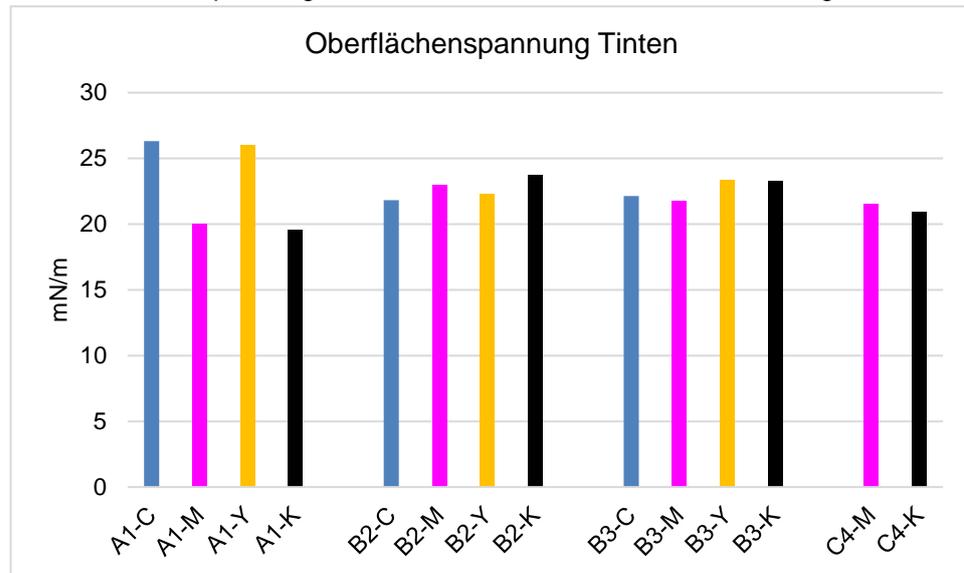


Abbildung 6: Oberflächenspannung der Tinten, gemessen mit Krüss DSA25

Die Tinten unterscheiden sich hinsichtlich der Oberflächenspannung kaum voneinander. Alle liegen im durch den Hersteller der Druckköpfe vorgegebenen Bereich. Trotzdem ließen sich die Tinten des Herstellers C nicht verdrucken. Die Farbe trocknete noch vor dem Auftreffen auf die Bedruckstoffe und verstopfte die Düsen. Deshalb wurde die Tinte C5 keinen weiteren Messungen unterzogen.

5.3 Optimierung IJ-Druckprozess: Software und Hardware

Ziel Das Ziel dieses APs besteht darin, die IJ-Druckprozess unter Berücksichtigung der Vorstufen- und Prozessparameter so gut wie möglich aufeinander abzustimmen, dass die höchstmögliche Druckqualität (im Idealfall Offsetqualität) erreicht wird.

Optimierung Inkjet-Prozess

Für die Druckversuche wurde eine Testform entwickelt, die Elemente beinhaltet, an denen sowohl die Druckqualität geprüft werden kann, als auch die Einstellungen für die Optimierung der Verdruckbarkeit angepasst werden können.

Die Testform wurde einmal mit allen druckbaren Tinten auf allen Bedruckstoffen mit gleichen Einstellungen gedruckt.

Anhand dieser Drucke wurde das Ink-Limit bestimmt, die maximal nötige Tintenmenge zum Erreichen gerade noch feststellbarer Farbunterschiede. Durch die Bestimmung des Ink-Limits der jeweiligen Tinte auf den unterschiedlichen Bedruckstoffen wurden für jede Tinte-Bedruckstoff-Kombination optimale Einstellungen gefunden.

Mit diesen Einstellungen wurde die Testform dann erneut gedruckt. An diesen Mustern sollte die Druckqualität bestimmt werden.

Als Basis für die Optimierung wurde ein voreingestellter Düsentestdruck genutzt.

Jeder Kopf besitzt einen individuell vom Kopfersteller definierten Spannungswert, im vorliegenden Projekt wurden Druckköpfe von Konica Minolta 1024 M verwendet. Dieser Wert basiert auf der beim Hersteller im Werk festgelegten Spannung, die genau 12 pL große Tropfen erzeugt. Jede Düsenreihe hat ihre eigenen Spannungswerte (d.h. linke Reihe L und rechte Reihe R).

Diese Spannung wird eine bestimmte Zeit unter Verwendung einer sogenannten „Draw-Release-Reinforce-Cancel“ (DRRC) Wellenform an einen Piezo-Aktuator angelegt (Abbildung 7). Während der Zeit AL_{Total} wird ein Tropfen gebildet und abgesandt.

Variabel einstellbar sind somit die Zeit der Tropfenbildung (AL) und die angelegten Spannungen V.

Im ersten Schritt wird eine bestimmte Zeit (AL) eine Spannung angelegt, um einen Tropfen zu bilden. Im 2. Schritt wird die Spannung über die Zeit (2AL) verringert, um die Tropfenbildung zu beenden. Im 3. Schritt liegt keine Spannung an und der Tropfen löst sich während der Zeit 2AL (Cancel). (Abbildung 7)

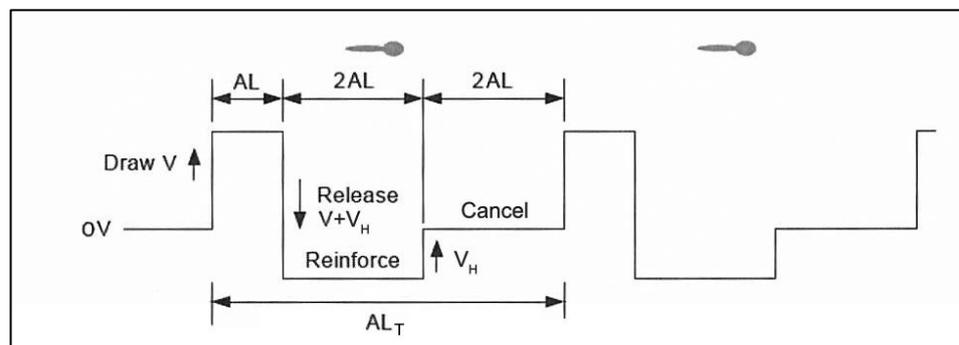


Abbildung 7: Draw-Release-Reinforce-Cancel Wellenform

Als Start-Einstellung wurde die vom Maschinenhersteller für wasserbasierte Tinten empfohlene Einstellung genutzt. Dies entspricht 96% der empfohlenen Spannung (V), der Hälfte der Spannung (V_H) und einer empfohlenen Standard DRRC-Wellenform mit einer definierten akustischen Länge (AL):

$$AL = 5 \mu s$$

$$2AL = 10 \mu s$$

$$AL_T = 25 \mu s$$

Als Temperatureinstellung wurde zunächst, wie vom Hersteller empfohlen, Raumtemperatur gewählt (20°C-25°C).

Jede einzelne Düse der beiden Düsenreihen wurde adressiert und einzeln nebeneinander in Linien gedruckt.

Die Qualität des Düsenaustrittes und die Tropfenqualität wurden durch Liniengeradheit und -einheitlichkeit bewertet.



Abbildung 8: Bei 96% der empfohlenen Spannung wurde eine zu hohe Farbmenge ausgegeben und somit feine einzelne Linien zu breiten Linien zusammengedrückt



Abbildung 9: Bei zu geringer Spannung (in Abbildung 60% der empfohlenen Spannung), reicht die Energie nicht zur Tropfenbildung und Tropfenlösung vom Druckkopf aus. Die Linien sind unvollständig und erscheinen ausgefranst.

Bei einem erneuten Druckanfang nach einer kurzen Pause können die Tropfen nicht gleichmäßig aus der Düse ausgestoßen werden. Ursache ist ein kurzzeitiges „eintrocknen“ der Farben in der Düse. Die aufgebrachte Energie genügt nicht, um den Tropfen ordnungsgemäß zu bilden und abzusenden.

Um die richtige Spannung zu ermitteln, wurde je Druckkopf in 5%-Schritten von 95% bis 60% Spannung ein Düsentest erstellt. Die Ausprägung der Linien und die visuelle Gleichmäßigkeit wurden analysiert und die optimale Spannung pro Druckkopf und Tinte festgestellt. Für jede Druckkopf-Farbe-Kombination wurden unterschiedliche Spannungseinstellungen festgelegt:

	Tinten Hersteller A	Tinten Hersteller B
Cyan	85%	67%
Magenta	90%	67%
Gelb	82%	70%
Schwarz	75%	60%

Nach der ermittelten Spannungseinstellung, wurde die Wellenform variiert, um den Ausdruck weiter zu optimieren. Von der Standard-Wellenform ($AL=5$, $2AL=10$, $AL_{Total}=25$) als Basis ausgehend, wurden die vorgegebenen Zeiten in $\pm 0,1 \mu s$ – Schritten variiert.

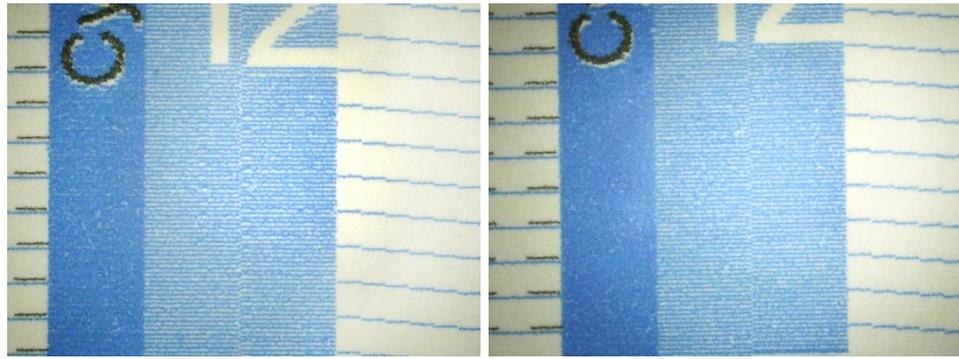


Abbildung 10: Linienunterschiede bei einer zu langen AL-Zeit (links 5,5 µs) und der empfohlenen AL-Zeit (rechts bei 5,0 µs) Die Linien wurden wie bei den Untersuchungen zur Optimierung der Spannung ausgewertet.

Folgende Wellenformzeiten (AL) wurden festgelegt:

	Tinten Hersteller A	Tinten Hersteller B
Cyan	5,0 µs	5,1 µs
Magenta	5,0 µs	5,2 µs
Gelb	5,1 µs	5,1 µs
Schwarz	5,1 µs	5,0 µs

Die Tinten von Hersteller B sind nicht für die eingesetzten Druckköpfe zertifiziert und optimiert und die Ergebnisse der druckmaschinenseitigen Optimierungsversuche haben das bestätigt. Spannungs- und Wellenformeneinstellungen wurden bestmöglich angepasst, trotzdem konnte nur bedingt ein ruhiges Linienbild erzeugt werden.



Abbildung 11: Optimierte Spannungs- und Wellenformergebnis der Tinten von Hersteller A und B

Nachdem die Düseneinstellungen festgelegt wurden, fand eine Anpassung der Druckkopforientierung statt. Ein spezifisches Orientierungstestmuster wird ausgedruckt und vermessen, um den Stand der einzelnen Druckköpfe zueinander zu optimieren. Diese Optimierung erfolgt durch elektronische Zeitintervalländerungen in X-Richtung und mechanische Justage in Y-Richtung sowie für Schräglauf.

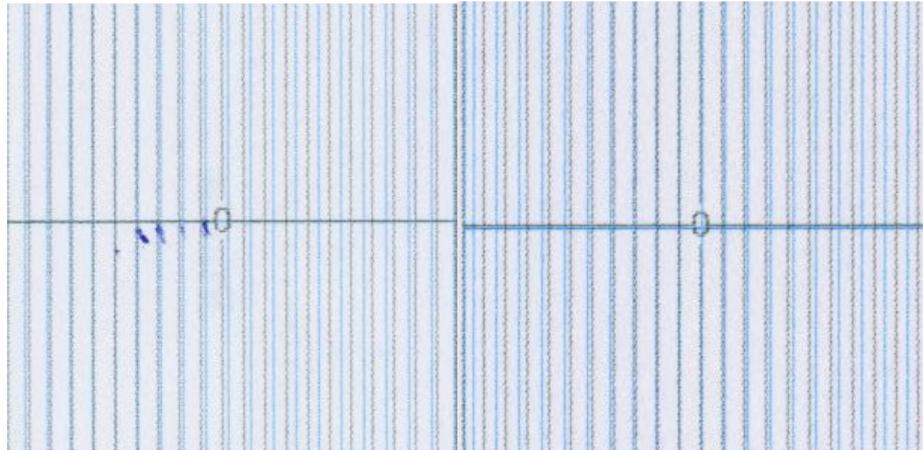


Abbildung 12: Beispiel Druckkopf-Passerabweichungen in X-Richtung vor und nach Justage

Im Anschluss an die Optimierung des Farbpassers wird die Druckauflösung und Tropfengröße festgelegt.

Bei den eingesetzten Konica Minolta 1024 M Druckköpfen kann zwischen 3 verschiedenen Tropfengrößen ausgewählt werden: 12 pL, 24 pL, und 36 pL.

Kleinste Tropfen liefern beste Qualität bei feinen Linien und Text, größere Tropfen bieten Vorteile bei Volltonflächen. Die Anpassung erfolgt somit in der Regel nach dem Druckbild.

Für die ersten Versuche wurde der 12 pL-Tropfen gewählt.

Eine weitere Möglichkeit der Einflussnahme auf die Druckqualität hinsichtlich der Detailschärfe ist die Wahl des Druckmodus. Bei der genutzten Digitaldruckmaschine steht der Druck im Single-Pass-Modus und im Multi-Pass-Modus zur Verfügung. Der Unterschied ist die aufgebrachte Tropfenzahl.

Die Thieme-Digitaldruckmaschine kann in Auflösungen von 400 x 360 dpi bis 1600 x 1440 dpi drucken. Die ersten Drucktests wurden mit einer Auflösung von 800 x 1080 dpi gedruckt. Diese mittlere Auflösung bietet eine höhere Bild- und Text-Qualität hat aber negative Auswirkungen bei erhöhten Farbmengen.

Durch Kalibrierung, Linearisierung (Abbildung 13) und die Festlegung eines Ink-Limits (Abbildung 14) für jede Farbe-Bedruckstoffkombination wurde die Druckqualität weiterhin angepasst und optimiert.

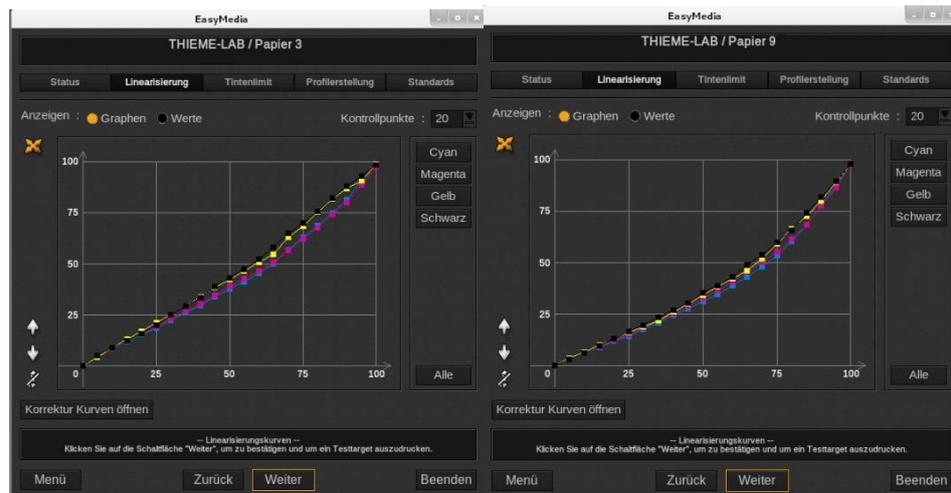


Abbildung 13: Beispiel einer Linearisierung von wenig- (links) und stark- (rechts) saugenden Testlinern

Beim Festlegen des Ink-Limits wird festgestellt, ab welchem Farbauftrag eine geschlossene Vollfläche erreicht wird. Je nach Tropfengröße, Auflösung, Bedruckstoff-eigenschaften, etc. unterscheidet sich dieser Wert.

Die Prüfung kann visuell oder durch farbmessische Messung erfolgen. Dieser Wert wird maßgeblich durch die Bedruckstoffeigenschaften beeinflusst.

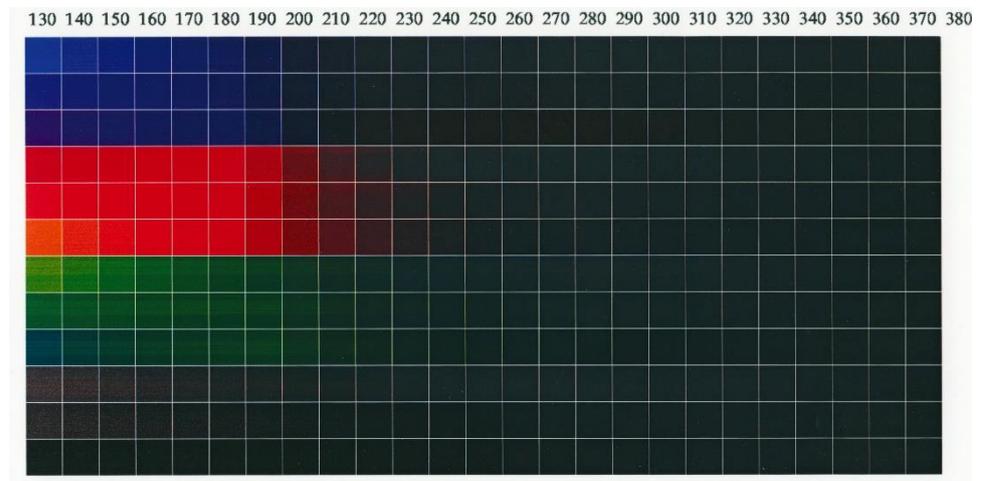


Abbildung 14: Beispiel eines Ink-Limit-Testcharts (Ink-Limit hier bei 230)

Für jede Tinte-Bedruckstoff-Kombination wurde das Ink-Limit separat ermittelt. (Abbildung 14)

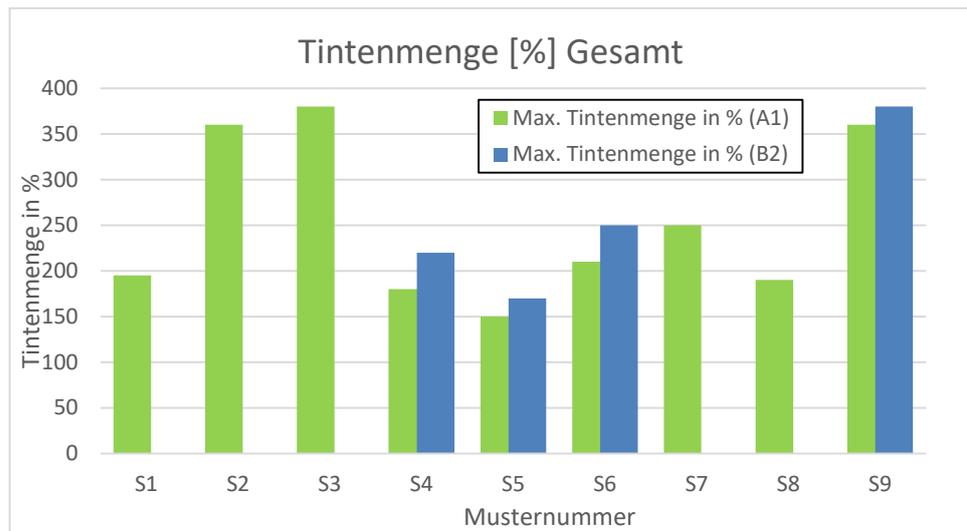


Abbildung 15: Beispiel der ermittelten maximalen Tintenmenge einiger Testliner

Bei den Testlinern mit einer offeneren Oberfläche (z.B. S3) kann eine höhere Tintenmenge aufgebracht werden, als bei Testlinern mit einem Strich (z.B. S5) (siehe Abbildung 15). Die Tinte auf dem gestrichenen Testliner benötigt mehr Zeit um zu trocknen und hohe Tintenmengen können nicht schnell genug absorbiert werden. Beim Auftrag der nächsten Farbe kommt es somit zu Benetzungsstörungen (Abbildung 16).

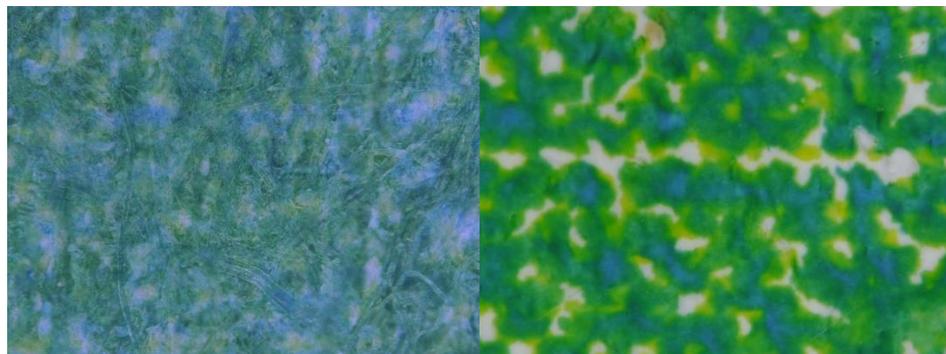


Abbildung 16: Absorptionsverhalten bei 100% Cyan und 100% Gelb bei Testliner S3 (links) und Testliner S5 (rechts)

Nachdem der Druckprozess für alle Testliner linearisiert und das jeweilige Tintenlimit festgestellt wurde, wurde eine Testform (Abbildung 17) entwickelt. Diese Testform wurde dann auf jedem Testliner mit dem entsprechenden Kalibrierungsprofil ausgedruckt.



Abbildung 17: Inkjet-Testform

Auf der Testform befindet sich Elemente, um die Druckqualität zu bewerten:

- Feine Linien mit definierten Linienstärken und -abständen
- Graubalance-Felder
- Tonwertkeile von 0-100%
- Farbverläufe für CMYK einzeln und CMY zusammengedruckt
- Elemente zur Passerbewertung
- Positive und negative Feinschriftgrößen
- Primär- und Sekundärfarbfelder (CMYK und RGB)
- „Tintenbleeding“-Felder (Test um ein Ineinanderlaufen der Farben zu beurteilen)
- Standard Neutral- und Buntbilder zur visuellen Kontrolle
- Druckauflösungsfelder

Anhand dieser Testform kann die Druckqualität auf den einzelnen Bedruckstoffen verglichen werden.

Fazit

Durch hardware- und softwareseitige Optimierung des Druckprozesses kann die Druckqualität erheblich beeinflusst werden. Sind die Tinteneigenschaften jedoch herstellerseitig nicht auf die verwendeten Druckköpfe abgestimmt, ist auch durch alle Einstellmöglichkeiten an der Druckmaschine kein perfektes Druckergebnis möglich.

Für jede Tinte-Bedruckstoff-Kombination konnte eine optimale Einstellung gefunden werden.

Bei andauernder Benutzung von Tinten, die nicht auf den Druckkopf abgestimmt sind, kann es an den Druckköpfen zu Beschädigungen kommen, da bei der Tropfenbildung zum Beispiel die Düsen nicht vollständig entleert werden und die Tinte antrocknet.

Eine Testform mit Elementen zur Druckqualitätsbewertung wurde erstellt und ausgegeben.

5.4 Entwicklung Sondermesstechnik

Ziel Ziel dieses AP ist eine Weiterentwicklung und Neukonzipierung bestehender als auch benötigter Sondermesstechnik zur Erfassung inkjet-relevanter Substrateigenschaften, die für die Korrelation der Bedruckstoffeigenschaften mit der Druckqualität nötig sind.

Dispensereinheit Im Rahmen des Projekts wurde eine Dispensereinheit beschafft und in Betrieb genommen. Diese löste vormals genutzte Piezokapillaren ab und bietet eine Reihe von Vorteilen.

Durch Vorversuche und eine gezielte Beratung durch den Anbieter Microdrop konnte ein Kapillaren-System zum flexiblen Einsatz verschiedener Tintensystem beschafft werden. Der Dispenser ist in der Lage, sowohl Pigmenttinten, als auch Farbstofftinten zu verarbeiten. Der Viskositätsbereich geht bis zu 30 mPas. Je nach verwendeter Tinte werden optimale Einstellungen der Wave-Funktion des Dispensers ermittelt. Tropfengröße und Geschwindigkeit können somit angepasst werden. Zur Einstellung der Parameter wird die Kamera mit Stroboskopeinheit genutzt. Befindet sich das System in einem eingeschwungenen Zustand mit konstanter Tropfenqualität, kann die Aufzeichnung des Wegschlagvorganges in das Substrat aufgezeichnet werden.

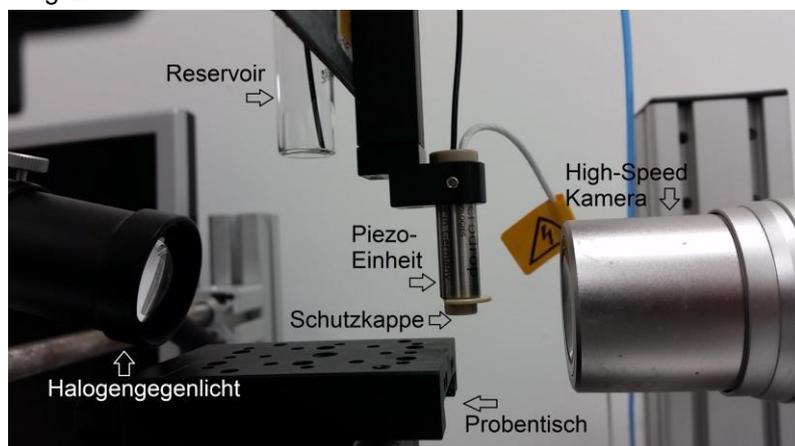


Abbildung 18: Aufbau von Dispenser-Kapillare und zugehöriger Beleuchtung, sowie Kamera.

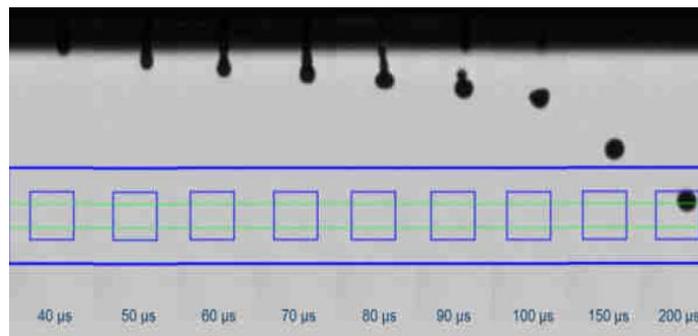


Abbildung 19: Beispiel für das zeitabhängige Verhalten des Tropfens nach dem Verlassen der Dispenserkapillare.



Abbildung 20: Unterstützende Hardware zur Steuerung der Highspeed-Kamera und des Dispensers.

Sind die Videos des Tropfenauftritts und des Wegschlagens aufgenommen, ist die modifizierte Auswertesoftware in der Lage bildanalytisch die relevanten Frames zu erkennen und neben der Zeit für den Wegschlagvorgang auch das Tropfenvolumen und die Geschwindigkeit, sowie einen Faktor zur Beschreibung des Spreitverhaltens zu ermitteln. Im Wesentlichen kann sich aufgrund der konstanten Tropfengröße allerdings auf die Zeit als Vergleichskriterium beschränkt werden.

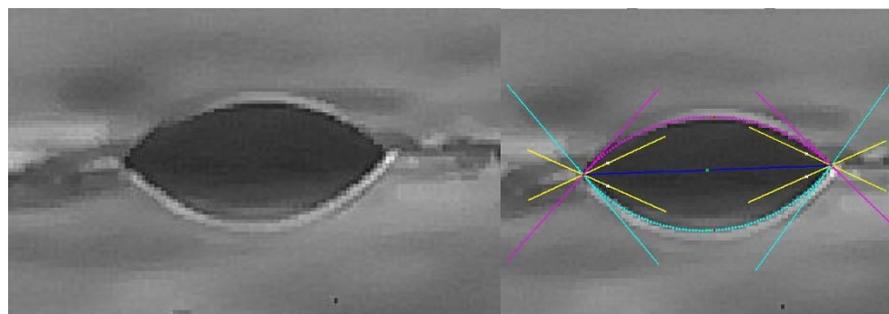


Abbildung 21: Tropfenauswertung mit Tangenten (rechts) zur Parameterbestimmung

**Druckmaschi-
nenversuch**

Um den Tropfenaustritt der jeweiligen Tinten mit ihren unterschiedlichen rheologischen Eigenschaften zu verstehen und zu optimieren, wurden Versuche mit der Hochgeschwindigkeitskamera des HFC-Versuchsstands der PTS durchgeführt.

An der Digitaldruckmaschine im SID wurde eine Hochgeschwindigkeitskamera mit mikroskopischer Vergrößerung implementiert.

Eigens dazu wurde ein Gestell entwickelt und gebaut, was die Kamera möglichst schwingungsarm aufnimmt und somit erlaubt, einen reproduzierbaren Bildausschnitt zu beobachten.

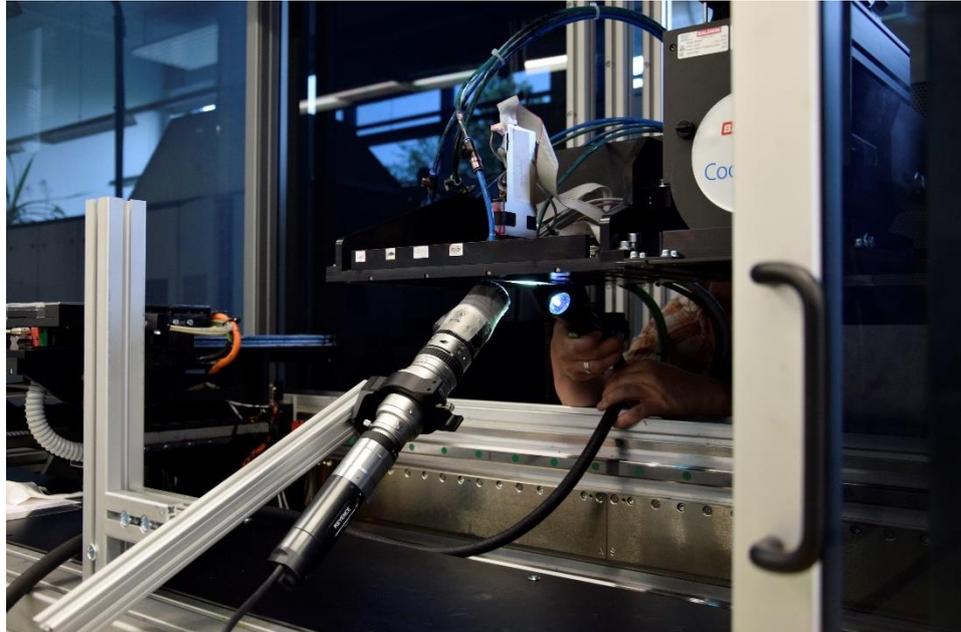


Abbildung 22: Kameraaufbau zur Beobachtung des Tropfenaustrittes an der Druckkopfdüse in der Digitaldruckmaschine im SID

Aufgrund der schwierigen Einbaubedingungen, vor allem des sehr geringen Spaltes zwischen Druckkopf und Bedruckstoff (ca. 1mm), und der teilweise starken Strukturierung der Bedruckstoffoberfläche gestaltete sich die Justierung und Optimierung schwierig.

Durch verschiedene bautechnische Anpassungen konnte die Fokussierung in X-, Y- und Z-Richtung erheblich verbessert werden.



Abbildung 23: Kameraaufbau zur Beurteilung des Tropfenauffreffens auf den Bedruckstoff

Somit gelangen Aufnahmen (Abbildung 24) vom Tropfenauffreffen auf den jeweiligen Bedruckstoff und es konnten anhand der Filmaufnahmen Zeiten und Bilder bezüglich des Wegschlagverhaltens dargestellt werden. Durch Videoanalyse wurde die Eindringzeit eines einzelnen Tropfens auf dem jeweiligen Substrat bestimmt (Abbildung 25).



Abbildung 24: Videobild beim Auftreffen des Tropfens auf das Substrat (links) und Videobild nach Eindringendes Tropfens ins Substrat (rechts)

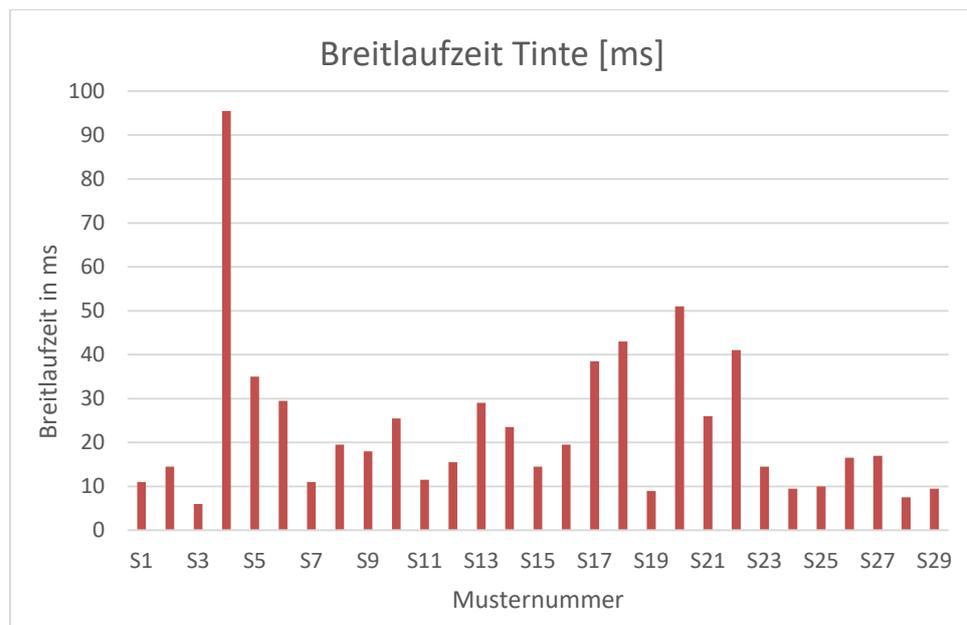


Abbildung 25: Breitlaufzeit eines einzelnen Tropfens auf den jeweiligen Bedruckstoffoberflächen

Die in AP 5 bei der PTS hergestellten modifizierten Oberflächen wiesen eine starke Rauigkeit der Oberfläche auf. Durch die starke Struktur der Oberfläche war es nicht möglich Videoaufnahmen vom Tropfenauftreffen zu verwerten.

Um die Oberfläche zu egalisieren wurden die Muster S18 bis S29 im SID bei 130°C calandriert. Damit gelang auch bei diesen Mustern eine Charakterisierung der Tropfeneindringzeit. (siehe Abbildung 25)

5.5 Herstellung modifizierter Oberflächen

Ziel Das Ziel dieses APs besteht darin die Oberflächeneigenschaften der Wellpappentestliner, durch Applikation mikroporöser Farbpfangs- bzw. Flüssigkeitsaufnahmeschichten, gezielt zu modifizieren und eine bessere Druckqualität zu erreichen.

Rezepturen

Um eine gute Druckqualität zu erhalten und Einflussfaktoren verschiedener Strichpigmente beurteilen zu können wurden Oberflächenstriche angefertigt.

Dabei wurden 3 verschiedene Calciumcarbonat-Pigmente eingesetzt. Es wurde jeweils der Einsatz silikatischen Pigments, sowie Einsatz eines Fixiersalzes mit kationischem Charakter mit einbezogen. Folgende Übersicht fasst die erhaltenen Oberflächen zusammen. Grün (Substanz enthalten), rot (Substanz nicht enthalten)

Tabelle 3: Übersicht Oberflächenmodifikationen

Pigment	Silikat	CaCl ₂	Probenbezeichnung
Carbonat 1 (GCC)			S18
			S19
			S24
			S25
Carbonat 2 (PCC)			S20
			S21
			S26
			S27
Carbonat 3 (MCC)			S22
			S23
			S28
			S29

Die Rezeptur enthielt jeweils 100 Teile Pigment (Trockenmasse), wobei die Zusammensetzung in den Rezepturen mit Silikat-Pigment 90 Teile Carbonat und 10 Teile Silikat aufwies. Weiterhin wurden 10 Teile eines Styrol-Butadien-Bindemittels und 2 Teile Polyvinylalkohol mit der Funktion des Co-Bindemittels eingesetzt. Zusatz von Calciumchlorid erfolgte mit einem Anteil von 5 Prozent bezogen auf den Pigmentanteil.

Der pH-Wert wurde auf etwa 9 eingestellt und die Viskosität auf 800 mPas. Die Applikation erfolgte mittels Filmziehgerät mit Raketstabs, wobei dieser so gewählt wurde, dass ein Strichgewicht von 15 g/m² realisiert wurde.

5.6 Druckversuche

Ziel

Das Ziel dieses APs ist die Applikation der in AP 3 erarbeiteten Druckqualitäts-Testdruckformen sowohl auf den in AP 1 ausgewählten Markt-Testlinern, als auch auf den oberflächenmodifizierten Testlinern aus AP 5. Die Druckprozessparameter (u. a. Druckgeschwindigkeit, Tropfengröße, Druckabstand, Piezo-Wellenformen) werden dazu in den in AP 3 ermittelten Grenzbedingungen systematisch variiert.

Um die Druckqualität zu bewerten wurde auf allen Substraten die im AP 3 entwickelte Testform ausgegeben. Für jede Tinte-Bedruckstoff-Kombination wurde die in AP3 ermittelten Parameter zur Erlangung einer optimalen Druckqualität eingestellt.

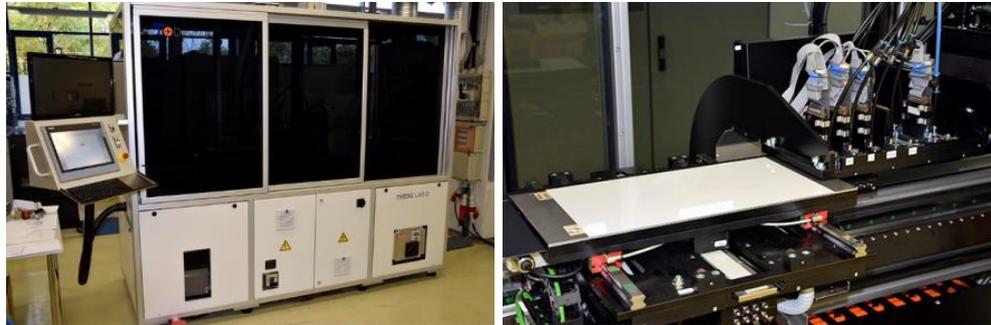


Abbildung 26: Labor Inkjetdruckmaschine und Druckbereich

Bei den Druckversuchen wurden einige Parameter variiert, welche in den Versuchen in AP 3 noch keine Berücksichtigung fanden.

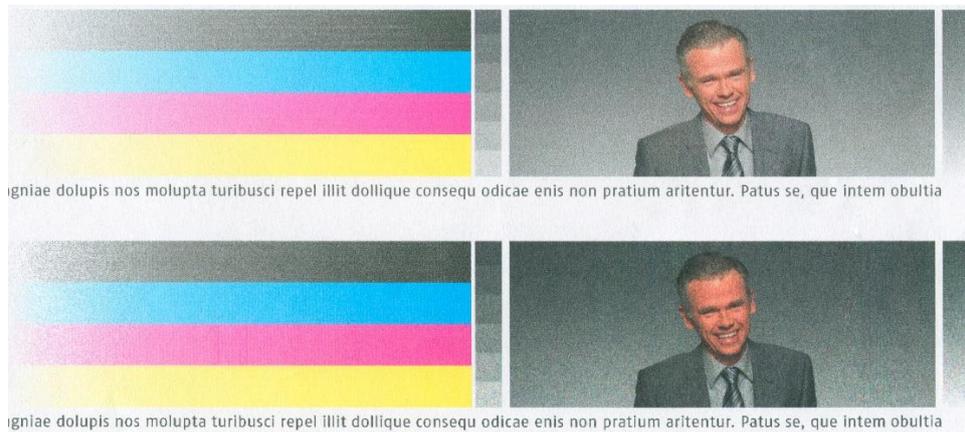


Abbildung 27: Beispiel der Druckqualität bei 12 pl Tropfen (oben) und Graustufen-Modus mit 12-24-36 pl Tropfen (unten)

Besonders in Verläufen und helleren Tonwerten werden die größeren Punkte sichtbar (Abbildung 27) und verbessern die Druckqualität nicht.

Auch die Druckgeschwindigkeit wurde variiert, es konnte jedoch keine Verbesserung oder Verschlechterung der Druckqualität festgestellt werden.

Die Entfernung zum Substrat wurde variiert, um diesen Einfluss zu untersuchen. Es bestätigte sich, dass je größer der Abstand, und damit der Weg des einzelnen Tropfens bis zum Bedruckstoff ist, feine Linien, Details und Text verschwommen dargestellt werden, da die Flugbahn der Tintentropfen leichter abgelenkt werden kann.

5.7 Druckqualitätsbewertung

Ziel

Basierend auf den in AP3 erzeugten Testdruckformen zur Bewertung verschiedener inkjetrelevanter Druckfehler, umfasst das folgende AP alle auswertenden Tätigkeiten der im HSI-Druckprozess erstellten Druckproben. Dafür wird die Qualität der Ausdrücke anhand der Anzahl bzw. des Abweichungsgrades des jeweilig auftretenden Druckfehlers bewertet und mit den Referenzdrucken aus AP 3 verglichen.

Durch die beschriebenen Störungen der Druckköpfe und entsprechender teilweiser Düsenausfälle war eine bildanalytische Auswertung der ursprünglich adressierten Parameter nicht in jedem Fall möglich. Es wurden verschiedene Ansätze zum Vergleich der jeweils erreichten Druckqualität geprüft. Dabei stellte sich heraus, dass eine mikroskopische Vermessung der aufgetragenen Einzeltropfen und die Bewertung der Tropfenränder gut geeignet ist, um Aussagen über Streifigkeit, Farbanahme und Farbausbluten abzuleiten. Anhand dieser Bewertung ließen sich Drucke am besten klassifizieren.

Zusätzlich wurde der Gesamteindruck visuell bewertet. Dabei wurden insbesondere die Kriterien Farbanahme im Übereinanderdruck, Kantenschärfe und Wolkigkeit betrachtet.

Dazu wurden die Schulnoten 1 (sehr gut) bis 5 (schlecht) vergeben (Abbildung 28).

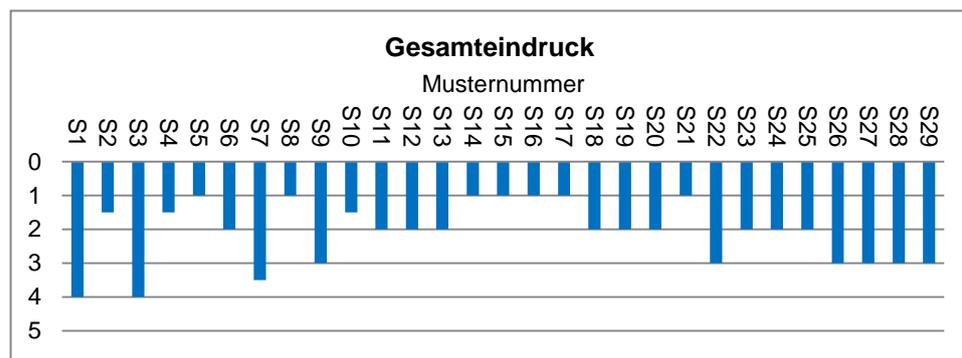


Abbildung 28: visuelle Bewertung der digital gedruckten Testform

Dabei wurde deutlich, dass vor allem die Farbannahme des Zusammendrucks die Qualität stark beeinflusst.

Einerseits muss der Tintentropfen auf dem Substrat abgebildet werden und darf dazu nicht zu breit laufen und zu stark in den Bedruckstoff eindringen, gleichzeitig muss die bedruckte Oberfläche aber auch die Eigenschaft haben, den unmittelbar folgenden Tropfen einer weiteren Farbe aufzunehmen.

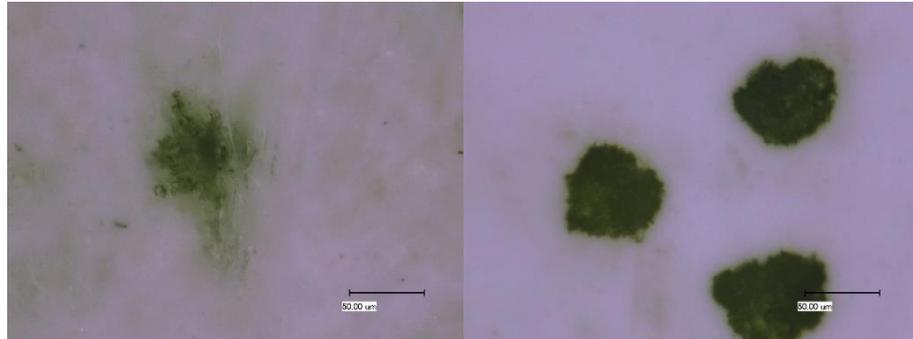


Abbildung 29: Einzelne Tropfen auf Substrat S3 (links) und S4 (rechts)

Je nach Bedruckstoffoberfläche ist somit die Ausbildung der einzelnen auf das Substrat aufgetragenen Tropfen unterschiedlich. (Abbildung 29)

Auf der aufgetragenen Tinte verhalten sich die nachfolgenden Tropfen anders als auf dem unbedruckten Substrat. Somit ist auch die Ausprägung der folgenden Tropfen schlecht vorhersagbar. (Abbildung 30)

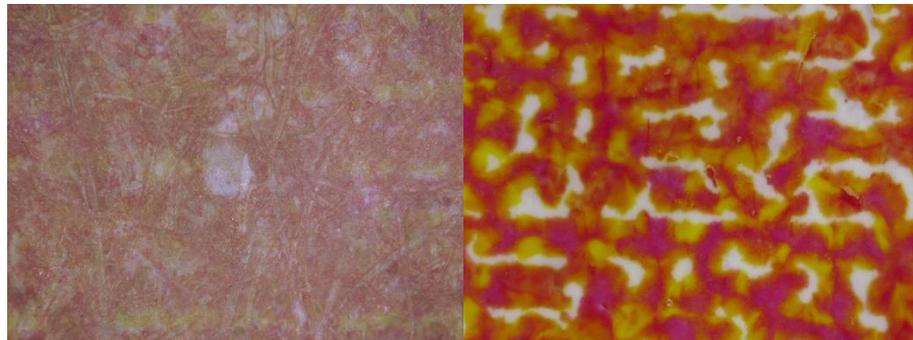


Abbildung 30: Zusammendruck Gelb und Magenta auf S1 (links) und S5 (rechts)

Ist der erste Tropfen noch nicht trocken genug oder weit genug weggeschlagen, kommt es zu Ausblutungserscheinungen und zum Verlaufen der Farben. (Abbildung 31)

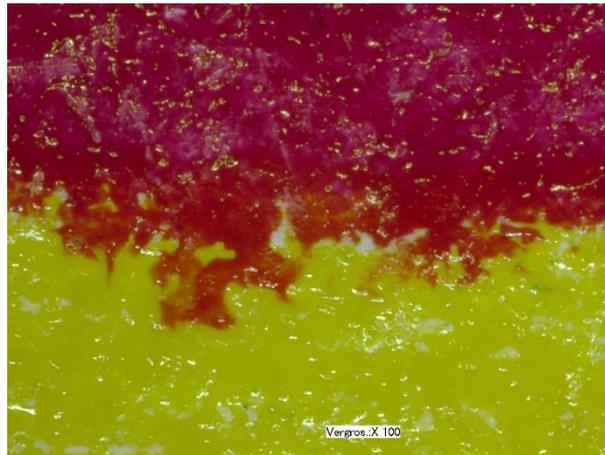


Abbildung 31: Ausbluten der Farbe

Um das Verhalten der Tinten auf den jeweiligen Bedruckstoffen zu charakterisieren, wurden einzeln aufgebraachte Tintentropfen mikroskopisch vermessen. (Abbildung 32)

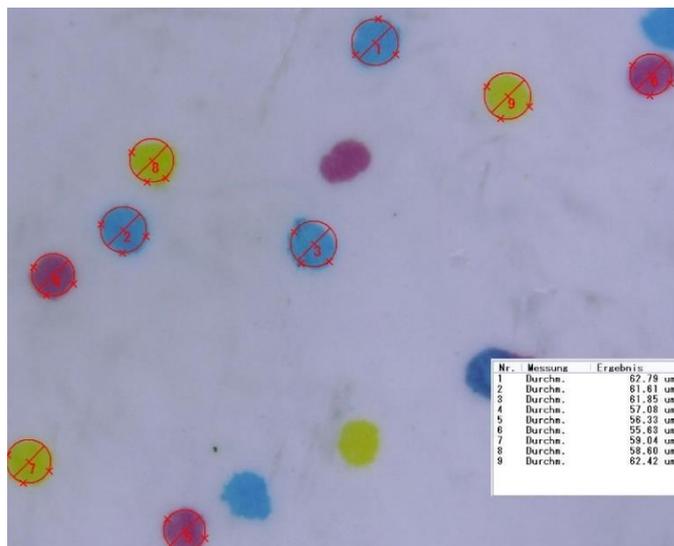


Abbildung 32: mikroskopische Vermessung der Tintentropfen auf dem Substrat

Dabei konnten zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Substraten festgestellt werden (Abbildung 33)

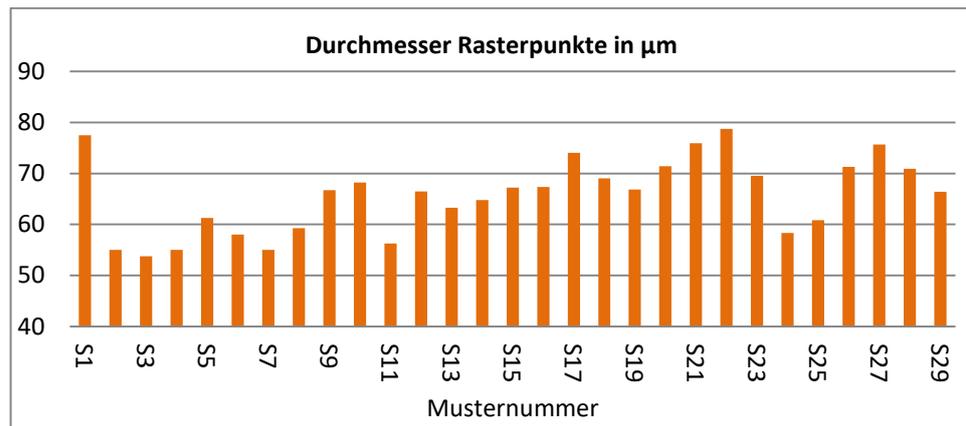


Abbildung 33: Rasterpunktgröße [µm] der einzeln aufgetragenen Tintentropfen

Weiterhin wurde die Linienbreite (Soll / Ist) bewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 34 zusammengefasst. Der Übersicht halber werden Abweichungen vom Sollwert auch hier in einer Bewertung entsprechend Schulnotensystem zusammengestellt.

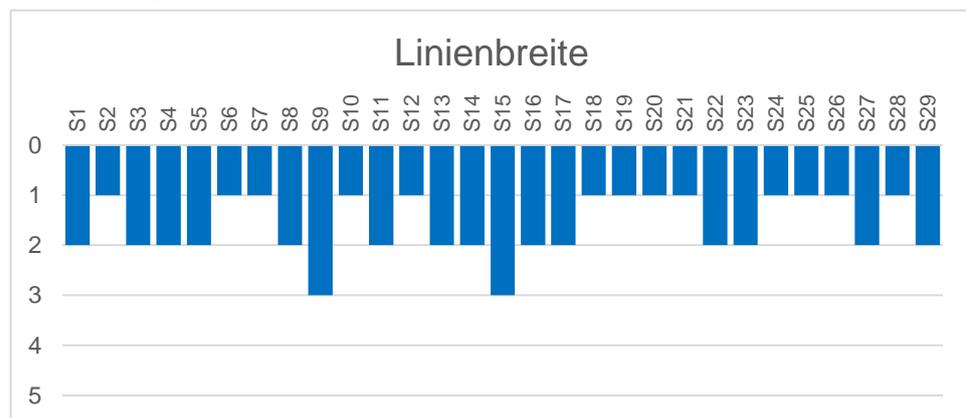


Abbildung 34: Bewertung der Linienbreite

5.8 Ermittlung der Beziehungen zwischen Substrat / Druckparameter und Druckqualität

Ziel In diesem Arbeitspaket werden Zusammenhänge zwischen Substratparametern und Druckqualität identifiziert und bewertet.

Eine klare Korrelation und Gewichtung der Einflussparameter lässt sich mit den vorhandenen Daten nicht in vollem Umfang darstellen. Die Bedruckstoffparameter sind teils voneinander abhängig und es wurden sowohl inherente Materialeigenschaften, als auch Eigenschaften in Abhängigkeit einer Wechselwirkung mit Tinte / Flüssigkeit gemessen. Dennoch ließen sich einige Trends identifizieren. Rauheit und Porosität beeinflussen die Druckqualität nur geringfügig. Der Einfluss auf die Tintenannahme ist eher gering, hier ist die Chemie der Oberfläche deutlich einflussreicher. Ist eine ausreichende Porosität vorhanden kann die Flüssigkeit der Tinte aufgenommen werden.

Die Wegschlagzeit, also ein von Porosität und Oberflächenenergie abhängiger Parameter muss für gute bis sehr gute Druckergebnisse in einem mittleren Bereich zwischen 100 ms und 600 ms liegen. Längere Wegschlagzeiten führen zu einer schlechten Farbannahme.

Die besten Drucke wurden für Substrate mit einer Oberflächenenergie im Bereich der Oberflächenenergie der Tinten erhalten, wobei auch hier einige Ausnahmen zu beobachten sind.

Ein Zusatz von Calciumchlorid als Fixiersalz sorgte für eine raschere Bindung der Tinten und somit schärfere Konturen.

Fazit

Eine exakte Abhängigkeit der Druckqualität kann aufgrund der Komplexität des Zusammenhangs zwischen Bedruckstoff, Prozess und Tinte nicht angegeben werden. Industriell wird daher wohl auch weiterhin ein Einsatz von Primer erfolgen um eine definierte Oberfläche und Tintenannahme zu gewährleisten.

Literaturverzeichnis

1. R. Klein, G. Keller und D. Weinzierl, „Analyse der Papiereignung für den High Speed Inkjet-Druck,“ Laufendes Forschungsvorhaben, IK-MF 130147.
2. D. Weinzierl, „Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Bedruckbarkeit von Papieren im wasserbasierten Inkjetdruckverfahren,“ *Abschlussbericht Projekt IK-MF 130044*, 2015.
3. D. Weinzierl, „Charakterisierung und Modellierung des Wegschlagverhaltens von Tinten auf gestrichenen Inkjet-Papieren,“ *Abschlussbericht Projekt IK-VF 100010*, 2012.
4. BG Druck und Papierverarbeitung, „UV-Technologie der Praxisleitfaden für alle Druckverfahren“ ISBN-10:3-00-019370-7
5. B. Genest, „Erarbeitung von Kriterien zur Bewertung und Abnahme von Rollen-Flexodruckmaschinen“, *Abschlussbericht Projekt MF130015*, 2015
6. P. Cunningham, „Kontrollelement zur Überwachung der Druckqualität im Digitaldruck“, Laufendes Forschungsprojekt, VF 140056
7. Verpackungs Rundschau, „Borst Digitaldruck bei Schumacher Packaging,“ 11-Dec-2015. [Online]. Available: <http://www.verpackungsrundschau.de/borst+digitaldruck+bei+schumacher+packaging.139173.htm#.VpdrxVLoaFR>.
8. J. Sajdowski, „Leistungsfähigste Inkjet-Rotation der Welt,“ in *Der Druckerspiegel*, Dec-2015.
9. D. Edwards, „Das Potential des Digitaldrucks im Verpackungssektor,“ in *Imprint Messevorschau Fachartikel*, Nov-2015.
10. Etiketten Labels, „Anforderungen an den Digitaldruck im Verpackungsmarkt,“ Nov-2015. [Online]. Available: <http://www.etiketten-labels.com/news/download-edossier-anforderungen-an-den-digitaldruck-im-verpackungsmarkt>.
11. J. Spitalnikova, *Verpackung der Zukunft*. Reflex Verlag, 2014.
12. A. Kraushaar, „Prozessunabhängige Definition der Druckqualität – Wo steht der Inkjetdruck im Vergleich zu tonerbasierten Systemen und dem Offsetdruck?“, 2011. [Online]. Available: <http://www.fogra.org/index.php?menuid=239&downloadid=291&reporeid=184>.
13. EUWID Preisspiegel: Deutschland, August 2013, Jahrgang 87, 04.09.2013.
14. Persönliche Auskünfte erhalten bei der Fa. Felix Schoeller, Osnabrück
15. Smithers Pira International Ltd., „Market Report: The Future of Global Packaging to 2020,“ 2015.
16. Verband Deutscher Papierfabriken e.V., „2015 Ein Leistungsbericht,“ Bonn, 2015.
17. Smithers Pira International Ltd., „Market Report: The Future of Package Printing to 2019,“ 2014.
18. Verband der Wellpappen-Industrie e.V., „Wirtschaftlichkeit,“ [Online]. Available: <http://wellpappen-industrie.de/wirtschaftlichkeit>.
19. KNOX Packaging Experts GmbH, „KNOX – REPORT 2012,“ Hamburg, 2012.
20. Bundesverband Druck und Medien e.V., „Branchenbericht Druck- und Medienindustrie: Struktur, wirtschaftliche Lage und Aussichten für 2015,“ Nov-2015.
21. MMB-Institut für Medien- und Kompetenzforschung, „Strukturwandel in der Druckindustrie“, Oct-2013.
22. Verband der Wellpappen-Industrie e.V., „Bedruckte Steigen verkaufen mehr! : Eye-Tracking Studie,“ [Online]. Available: <http://wellpappen-industrie.de/wirtschaftlichkeit>.
23. M. Ritchie, „Die Zukunft des Inkjets,“ in *Imprint Messevorschau Fachartikel*, Nov-2015.
24. M. Timson, „Warum Boomt der Industrielle Drucksektor?“, Feb-2015.
25. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., „Funktionen der Verpackung,“ [Online]. Available: <http://www.tis-gdv.de/tis/verpack/funktion/funktion.htm>.

26. Hühlig GmbH, „neue Verpackungen online: Schneller am Markt – weniger Lagerkosten,“ ,“ Now-2015. [Online]. Available: <http://www.neue-verpackung.de/38054/schneller-am-markt-weniger-lagerkosten>.
27. N. N.; Papier, Farbe und Druckchemie – Untersuchung von Schlüsselvariablen im Offsetdruck; Sappi, Achte Fachbroschüre von Sappi 2007; über: www.sappi.com oder direkt bei Sappi.
28. G. Ström; Interaction between Offset Ink and coated paper – a review of the present understanding ;Vortrag, 13th Fundamental Research Symposium, Cambridge, September 2005
29. E. Svanholm; Printability and Ink-Coating Interactions in Inkjet Printing, DISSERTATION, ISBN 91-7063-104-2, Karlstad University Studies, 2007
30. A. Blayo; Printing ink formulation; 4th Advanced training course on deinking technology, CTP Grenoble, 23.03. – 26.03.1999, 1 – 31
31. Grenz, R., Variationsgrenzen der Oberflächeneigenschaften von Multi-Purpose-Büro- und Kommunikationspapieren für optimale Lauffähigkeit und Druckqualität in Inkjet- und Laserdruckern, PTS Forschungsbericht 17/03
32. Wilhelm, H.; Holmes, J.; McCormick-Goodhart, M., The important roles of inks and media in the light fading stability of inkjet prints, IS&Ts NIP14: International Conference on Digital Printing Technologies, Toronto, Canada, 1998
33. Wilhelm, H., How long will they last? An overview of the light-fading stability of inkjet prints and traditional color photographs, IS&Ts 12th International Symposium on Photofinishing Technology, 2002, 32 - 37
34. Drexler, G.; Verfahrenstechnische Anforderungen an Bedruckstoffe – „was muss der Einkäufer beachten?“, FOGRA-Symposium „Digitaldruck trifft Offsetdruck“, 18.-19.06.2013 München
35. Wilhelm Zacharias: Beschäftigtenstruktur in der Druckindustrie, Der Druckspiegel. Nr. 6/2014, S. 12
36. R. Klein, G. Keller und D. Weinzierl, „ Analyse der Papiereignung für den High Speed Inkjet-Druck,“ Laufendes Forschungsvorhaben, IK-MF 130147.
37. D. Weinzierl, „Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Bedruckbarkeit von Papieren im wasserbasierten Inkjetdruckverfahren,“ *Abschlussbericht Projekt IK-MF 130044*, 2015.
38. D. Weinzierl, „Charakterisierung und Modellierung des Wegschlagverhaltens von Tinten auf gestrichenen Inkjet-Papieren,“ *Abschlussbericht Projekt IK-VF 100010*, 2012.
39. BG Druck und Papierverarbeitung, „UV-Technologie der Praxisleitfaden für alle Druckverfahren“ ISBN-10:3-00-019370-7
40. B. Genest, „Erarbeitung von Kriterien zur Bewertung und Abnahme von Rollen-Flexodruckmaschinen“, *Abschlussbericht Projekt MF130015*, 2015
41. P. Cunningham, „Kontrollelement zur Überwachung der Druckqualität im Digitaldruck“, Laufendes Forschungsprojekt, VF 140056