

## **Titel**

# **Verbesserung der Laufeigenschaften gestrichener Papiere in digitalen Druckstrassen durch Optimierung der elektrostatischen Eigenschaften.**

M. K. Güzelarslan

## **Inhalt**

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Untersuchungen und Ergebnisse</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>20</b>

## 1 Zusammenfassung

---

<b>Thema</b>	Verbesserung der Laufeigenschaften gestrichener Papiere in digitalen Druckstrassen durch Optimierung der elektrostatischen Eigenschaften.
<b>Ziel des Projektes</b>	Ziel des Forschungsvorhabens war die Verbesserung der Laufeigenschaften von gestrichenen Papieren in digitalen Druckstraßen, deren Druckstationen nach dem elektrofotografischen Prinzip arbeiten. Dabei durften insbesondere die Bedruckbarkeit in den Druckstraßen und im Offsetdruck nicht beeinträchtigt werden. Das Ziel sollte durch Optimierung der Papierstriche in Bezug auf deren elektrostatische Eigenschaften erreicht werden.
<b>Ergebnisse</b>	Um das Ziel zu erreichen, wurden Untersuchungen an zehn handelsüblichen Offset- und Digitaldruckpapieren durchgeführt, um Orientierungswerte für die elektrischen sowie physikalischen Papiereigenschaften zu erhalten. Aus neun Rohpapiermustern wurden durch Prüfung der Basiseigenschaften (elektrische Kennwerte sowie Wasseraufnahmevermögen) geeignete Rohpapiere für die Streichversuche ausgewählt. In aufeinander folgenden Versuchsreihen im Labormaßstab wurden Spezialpigmente, Leitsalze, Leitfähigkeitsadditive sowie Feuchthaltemittel in eine Basisstreichfarbe integriert und auf ausgewählte Rohpapiere aufgetragen. Anhand der Bestimmung der elektrischen Eigenschaften und der Wasseraufnahmevermögen sowie der Prüfung der Offset- und Laserdruck-Tauglichkeit der gestrichenen Papiere wurden Streichfarbenrezepturen für die Pilot-Coater-Versuche definiert. Mit diesen Streichversuchen wurde die Übertragbarkeit der Laborergebnisse in die Praxis verifiziert. Die gestrichenen Papierrollen wurden an einer digitalen Druckstraße hinsichtlich Laufeigenschaften, elektrostatischer Aufladung und Druckqualität (Tonerhaftung) getestet. In einer weiteren Optimierungsschleife wurden weitere Leitfähigkeitsadditive untersucht, am Pilot Coater gestrichen und an einer digitalen Druckstraße verarbeitet. Am Ende konnte durch Zugabe eines Leitsalzes (NaCl) bzw. eines Antistatikums auf Basis von Cholin-chlorid in eine geeignete Streichfarbe Papiere/Papierstriche entwickelt werden, die zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit bzw. zur Reduzierung der elektrostatischen Aufladung auf der Papieroberfläche führten. Insgesamt konnte das elektrostatische Verhalten der neu entwickelten Papiere im Vergleich zu handelsüblichen Offset- und Digitaldruckpapieren, die im Rahmen des Projekts ebenfalls untersucht wurden, deutlich verbessert werden. Zudem konnte die Offset- bzw. Laserdruck-Tauglichkeit dieser Papiere bestätigt werden.
<b>Schlussfolgerung</b>	Mit den in diesem Projekt entwickelten Streichfarben bzw. Papieren werden die innovativen Entwicklungen in der Gerätetechnologie sowie auf den Märkten entscheidend ergänzt, womit auch ein wichtiger Beitrag geleistet wird, damit sich der Digitaldruck weiter etablieren kann.

---

---

**Danksagung**

Das Forschungsvorhaben AiF 14300 wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie BMWi über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. gefördert. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

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

---

**2 Abstract**

---

**Theme**

Optimisation of electrostatic properties to improve the runnability of coated papers in digital printing.

---

**Project objective**

The objective of the research project was to improve the runnability of coated papers in digital printing lines whose printing units operate according to the electrophotographic principle. In so doing, however, the printability in the printing lines and in offset printing was not to be in any way impaired. This objective was to be achieved by optimising the electrostatic properties of the paper coatings.

---

**Results**

To achieve the above mentioned objective, ten commercially available offset and digital printing papers were examined to obtain in this way orientation values for the electrical and physical paper properties. Examination of the basic properties (electrical parameters and water absorbency) of nine base paper samples yielded base papers that were suitable for the coating trials. Successive trial series on a laboratory scale integrated special pigments, conducting salts, conductivity additives and humectants into a basic coating colour that was then applied to the selected base papers. Coating colour formulations for the pilot coater trials were defined on the basis of the determination of the electrical properties and water absorbency as well as an examination of the offset and laser printing suitability of the coated papers. The pilot coater trials also confirmed that the laboratory results could be scaled up to industrial practice. The coated paper reels were tested on a digital printing line with respect to the runnability, electrostatic charge and print quality (toner adhesion). An additional optimisation loop served to examine other conductivity additives that were subsequently applied by the pilot coater and then converted by a digital printing line. At the conclusion of the trials, papers/paper coatings were developed by adding a conducting salt (NaCl) and a choline chloride-based antistatic agent to a suitable coating colour. These papers/paper coatings were found to be capable of enhancing electrical conductivity whilst at the same time reducing the electrostatic charge on the paper surface. All in all, the electrostatic behaviour of the newly developed papers was significantly improved compared to commercial offset and digital printing papers that were also studied within the scope of the project. Moreover, it was also possible to confirm the offset and laser printing suitability of these papers.

---

---

**Conclusion**

The coating colours and papers developed in this project will supplement the innovative developments in device technology and significantly impact the markets, thus making an important contribution to the continued establishment of digital printing.

---

**Acknowledgement**

The AiF 14300 research project was sponsored by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi and carried under the umbrella of the German Federation of Industrial Co-operative Research Associations (AiF) in Cologne. We would like to express our warmly gratitude for this support.

We would also like to express our thanks to the companies from the paper and supplier industry that were involved in supporting the project performance.

---

### 3 Einleitung

---

#### **Digitale Druckstraßen**

Seit mehreren Jahren dringen auf der Elektrofotografie basierende Drucksysteme zusammen mit ihren Nachbearbeitungsgeräten – im Folgenden mit digitalen Druckstraßen bezeichnet - in Märkte ein, die vormals klassischen Druckverfahren vorbehalten waren ([1]-[3]). Dazu gehören im einfarbigen Bereich der Druck von Broschüren, Taschenbüchern, Bedienungsanleitungen und medizinischen Beipackzetteln. Mittlerweile werden sogar in einigen Fällen Kleinauflagen von Zeitungen mit derartigen Systemen gedruckt [1], [3]. Möglich gemacht hat diese Erfolge der Trend zu kleinen Auflagen mit variablen Daten, das problemlose Nachdrucken kurzfristig benötigter Exemplare je nach anfallendem Bedarf („Print on Demand“), die stetige Weiterentwicklung der Nachbearbeitungsmaschinen und nicht zu vergessen, die Verfügbarkeit geeigneter Papiere ([4]-[6], [12], [15]-[17], [7]), die derartige Applikationen erlauben.

---

#### **Markttrends**

Erst am Anfang der Entwicklung stehen digitale Druckstrassen mit auf der Elektrofotografie basierenden Farbdruckern ([2], [3], [11]). Die von verschiedenen Herstellern wie Xeikon, Xerox, Nexpress oder HP-Indigo angebotenen Druckmaschinen konkurrieren mit unterschiedlichen technischen Detaillösungen vor allem bezüglich der verwendeten Tonersysteme und der Tonerübertragung gegeneinander. Die unbestreitbaren Vorteile, insbesondere die hohe Druckqualität und der Wegfall der Druckform im herkömmlichen Sinne, werden zusammen mit dem bereits angesprochenen Trend zu kleinen Auflagen mit hohen Qualitätsansprüchen in den nächsten Jahren zu einer insgesamt positiven Marktentwicklung mit deutlich erkennbaren Zuwachsraten führen. Nicht zuletzt wird die weitere Entwicklung dieses Trends von der Verfügbarkeit geeigneter und preiswerter Papiere ([15]-[17]) abhängen, die die erforderlichen Be- und Verdruckbarkeitseigenschaften besitzen.

---

#### **Papiere für den Einsatz in digitalen Druckstraßen**

Die oben angesprochenen Entwicklungen haben auch dazu geführt, dass sich das Spektrum der in Laserdruckstraßen zu verarbeitenden Papiere deutlich ausgeweitet hat und in Zukunft noch weiter ausweiten wird. Waren es noch vor ca. 10 Jahren nahezu ausnahmslos Naturpapiere mit einer flächenbezogenen Masse von 70-160 g/m<sup>2</sup> ([8]-[10]), so werden heute Bilderdruckpapiere, Werkdruckpapiere, Dünndruckpapiere und sogar Zeitungsdruckpapiere bedruckt ([1], [3]). Gleichzeitig will man vielfach höhere flächenbezogene Massen bis hin zu Faltschachtelkarton bedrucken.

Im Zuge der weiteren Steigerung der Druckqualität, die von den Geräteherstellern durch immer feinkörnigere Toner [11] stark forciert wird, ist in Zukunft mit einem höheren Bedarf an laserdrucktauglichen gestrichenen Papieren zu rechnen. In die gleiche Richtung geht der Vorstoß von Geräteherstellern, den bisher größtenteils auf Friktionseffekten basierenden Papiertransport und –einzug durch neue Systeme [3] zu ersetzen, die unabhängig von der Papierrauhigkeit funktionieren. Dadurch wird es erstmals zuverlässig möglich sein, auch sehr glatte Papiere in Druckstraßen sicher einzuführen und zu transportieren. Eine wesentliche Hürde für die Verarbeitung von gestrichenen Papieren, die sich ja meist durch eine sehr hohe Glätte auszeichnen, wird dadurch überwunden.

---

---

Trotz der Vorkehrungen, die die Gerätehersteller bislang angestrebt haben, gibt es gerade bei gestrichenen Papieren noch erheblichen Bedarf an Verbesserungen. Diese betreffen in erster Linie das elektrostatische Verhalten dieser Papiere.

---

### **Elektrostatische Aufladung des Papiers**

Der beim Laserdruckprozess (Trockentoner-Systeme) auf das Papier übertragene Toner haftet nach der Übertragung nur lose und muss fixiert, d.h. auf dem Papier fest verankert werden. Der Fixierprozess wird meist durch Temperatur- und Druckeinwirkung auf das Papier erreicht. Neben einer starken Schrumpfung tritt durch den Feuchtigkeitsentzug eine drastische Verringerung der elektrischen Leitfähigkeit [14] ein. Das Papier wird dadurch praktisch zu einem Isolator. Restladungen, die sich infolge der elektrostatischen Tonerübertragung noch auf dem Papier befinden, können dann nur sehr langsam abgebaut werden und es besteht die Gefahr, dass diese die Weiterverarbeitung behindern.

Erfahrungsgemäß funktioniert der Ladungsabbau zwischen dem Umdruckkoprotron und der Papierauslage bei ungestrichenen Papieren sehr gut. Störende elektrostatische Restladungen werden nur in Ausnahmefällen beobachtet, z.B. wenn im Rollenoffset vorbedruckte Papiere verwendet werden, die beim Bedrucken so stark getrocknet wurden, dass sie den geforderten Feuchtigkeitsgehalt deutlich unterschreiten.

Gestrichene Papiere verhalten sich dem gegenüber weitaus problematischer. Sie weisen häufig in der Ablage oder beim Durchlaufen der Nachbearbeitungsmaschinen noch Restladungen auf und erzeugen dadurch Papierstaus und Ablagefehler. Nahezu unmöglich wird eine störungsfreie Verarbeitung gestrichener Papiere in sogenannten Twin- oder Duplexsystemen, bei denen Vorder- und Rückseite des Papiers nacheinander in zwei durch eine Wendevorrichtung getrennten Drucksystemen verarbeitet werden. Durch den ersten Druckvorgang wird das Papier nahezu ausgetrocknet. Beim Durchlaufen der Wendevorrichtung wird es zwar durch das Raumklima etwas rückbefeuchtet, läuft aber im Großen und Ganzen noch vergleichsweise „trocken“ in das zweite Drucksystem. Dort wird es infolge des Druckvorgangs noch einmal aufgeladen und durch die Tonerfixierung entwässert. Die Restladungen aus den Tonerübertragungsprozessen können dadurch in der Regel nicht mehr vollständig abgebaut werden.

### **Lösungsansätze**

Wie eingangs bereits erwähnt, wird infolge der fortschreitenden Gerätetechnologie und des Trends zu kleinen aber qualitativ hochwertigen Auflagen die Nachfrage nach gestrichenen Papieren zunehmen. Um den Bedürfnissen der Anwender gerecht zu werden, sind Lösungen gesucht, die die angesprochenen Probleme vermeiden. Prinzipiell gibt es hierfür folgende Ansatzpunkte.

---

---

**Schnelle Rückbefeuchtung des Papiers**

Separate Rückbefeuchtungsanlagen für digitale Druckstraßen existieren bereits seit etwa 2 Jahren. Es handelt sich dabei um Rotorenbefeuchter [13], die Wasser mit Sprühteller-Rotoren zerstäuben und in Form kleiner Tröpfchen auf die Papieroberfläche aufbringen. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass das Papier in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit nicht hinreichend viel Wasser aufnehmen kann. Das Problem von elektrostatischen Restladungen wird zwar häufig etwas gemindert, aber in keinem Fall verhindert. Dieser Weg wurde daher in diesem Forschungsprojekt nicht weiter verfolgt.

---

**Optimierung der Leitfähigkeit durch Salze und Leitfähigkeitsadditive**

Probleme bei der Verarbeitung gestrichener Papiere in digitalen Druckstraßen resultieren hauptsächlich aus ihren nicht angepassten elektrostatischen Eigenschaften und ihrer zu langsamen Feuchtigkeitsaufnahme. Durch entsprechende Streichfarbenformulierungen mit Salzzugabe (z.B. NaCl) bzw. Leitfähigkeitsadditiven (z.B. Antistatika) sollten sich diese beiden Eigenschaften und damit die Laufeigenschaften der Papiere optimieren lassen. Der Optimierung der Leitfähigkeit und der Feuchtigkeitsaufnahme werden aber eventuell durch den elektrofotografischen Prozess (Tonerübertragung, Druckqualität) sowie durch weitere heute zunehmend wichtiger werdenden Anforderungen an die Papiere (z.B. Bedruckbarkeit im Rollenoffset) Grenzen gesetzt, die es im Rahmen des Projektes auszuloten galt.

---

**Optimierung der Leitfähigkeit durch Feuchthaltemittel und Spezialpigmente**

Die Feuchtigkeitsaufnahme gestrichener Papiere kann aber auch mit Feuchthaltemitteln verbessert werden. Zur Anwendung kommen hauptsächlich Polyalkohole wie z.B. Polyethylenglykol sowie Harnstoff, Sorbit, Saccharose und Glucose. Neben diesen Feuchthaltemitteln gibt es eine Reihe hygroskopischer mineralischer Weißpigmente, die bislang in der Papierindustrie nicht eingesetzt wurden, die sich aber für dieses Projekt als Feuchthaltezusätze geradezu anbieten. Dazu zählen beispielsweise hygroskopische Bentonitsorten.

---

**Forschungsziel**

Ziel des Forschungsvorhabens war die Verbesserung der Laufeigenschaften (Verdruckbarkeit und Verarbeitbarkeit) von gestrichenen Papieren in digitalen Druckstraßen, deren Druckstationen nach dem elektrofotografischen Prinzip (klassischerweise Laserdrucker) arbeiten. Dabei durften alle anderen für diese Papiere relevanten Eigenschaften, insbesondere die Bedruckbarkeit in den Druckstraßen und im Offsetdruck nicht beeinträchtigt werden. Das Ziel sollte durch Optimierung der Papiere, insbesondere der Papierstriche in Bezug auf deren elektrostatische Eigenschaften und der Feuchtigkeitsaufnahme, erreicht werden.

---

## 4 Untersuchungen und Ergebnisse

---

### Auswahl von Rohpapieren

Für das Auftragen von optimierten Streichfarben wurden insgesamt neun Rohpapiermuster untersucht und am Ende drei Rohpapiermuster ausgewählt, die sich hinsichtlich ihrer elektrischen Oberflächeneigenschaften und ihres Wasserabsorptionsverhaltens unterschieden, um letztendlich auch den Einfluss des Rohpapiers neben dem Einfluss der Streichfarbenzusammensetzung untersuchen zu können.

Zwei ausgewählte Rohpapiere waren bei der Herstellung von Digitaldruckpapieren verwendete Rohpapiere. Diese waren daher von größtem Interesse und zudem konnten signifikante Unterschiede im Wasserabsorptionsverhalten der beiden Muster beobachtet werden. Bezüglich des Auf- und Entladeverhaltens der beiden Rohpapiermuster waren ebenfalls signifikante Unterschiede festzustellen. Ein wichtiger Aspekt dabei war, dass die Vorder- und Rückseiten-Werte der einzelnen Rohpapiere nahezu gleich waren. Dieses Ergebnis führte dazu, dass die Streichversuche im Labormaßstab nur auf einer Papierseite durchgeführt werden konnten. Ausgehend von diesen Ergebnissen wurde neben den beiden Digitaldruck-Rohpapiermustern noch zusätzlich ein Offsetdruck-Rohpapier für die anschließenden Streichversuche ausgewählt. Die Entscheidung für dieses Rohpapiermuster fiel aufgrund der Tatsache, dass neben den beiden Digitaldruck-Rohpapieren auch ein Standard-Offset-Rohpapier bei den Untersuchungen berücksichtigt werden sollte, um den Einfluss des Rohpapiers auf die Eigenschaften der gestrichenen Papiere besser analysieren zu können.

---

### Untersuchungen an gestrichenen Industripapieren

Um Orientierungswerte für die Oberflächeneigenschaften von handelsüblichen gestrichenen Papieren zu erhalten, wurden von namhaften Papierherstellern insgesamt 10 gestrichene Papiermuster (6 Offsetpapiere und 4 Digitaldruckpapiere) bezogen. Anschließend wurden die Papierkennwerte (elektrische Kennwerte, absolute Feuchte, Cobb-Werte), die für die elektrostatische Aufladung der Papiere relevant sind, ermittelt. Diese Messwerte sollten als Vergleichswerte für die im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens zu entwickelnden Papiermuster dienen.

---

### Vorstrich-Einfluss auf die elektrischen Papiereigenschaften

Bevor die Strichoptimierungen gestartet wurden, war es wichtig zu klären, welchen Einfluss der Vorstrich des Papiers auf die elektrischen Eigenschaften des Endprodukts, das noch zusätzlich mit einem Deckstrich versehen wird, hatte. Dadurch sollte auch geklärt werden, ob neben der Deckstrichentwicklung noch zusätzlich der Vorstrich optimiert werden musste. Als Streichfarbe wurde eine Standard-Offset-Streichfarbe eingesetzt. Zusätzlich wurde eine Streichfarbe mit erhöhter Leitfähigkeit hergestellt. Dazu wurde die Standard-Offset-Streichfarbe durch Beimischung eines Leitfähigkeitsharzes auf Polynatriumstyrolsulfonat-Basis deutlich leitfähiger eingestellt. Die drei ausgewählten Rohpapiere (zwei Digitaldruck- und ein Offset-Rohpapier) wurden in allen möglichen Kombinationen mit der Standard-Offset-Streichfarbe sowie mit der Streichfarbe mit erhöhter Leitfähigkeit als Deckstrich bzw. Deck- und Vorstrich mittels eines Laborcoaters gestrichen und anschließend hinsichtlich des elektrischen Auf- und Entladeverhaltens geprüft.

Durch Auftragen der Offset-Streichfarbe konnten allgemein die elektrostatische Aufladbarkeit sowie die Entladezeiten der Papiere reduziert werden. Durch

---



---

Auftragen der Streichfarbe mit eingestellter, höherer Leitfähigkeit konnten die elektrostatische Aufladbarkeit sowie die Entladezeiten der Papiere noch stärker reduziert werden. Die Streichfarbe mit höherer Leitfähigkeit reduzierte die elektrostatische Aufladbarkeit sowie die Entladezeiten der Papiere signifikant stärker, wenn sie als Deckstrich eingesetzt wurde. Beim Einsatz der leitfähigeren Streichfarbe als Deckstrich muss jedoch die Strichfestigkeit gewährleistet werden, anderenfalls ist der Einsatz im Vorstrich vorzunehmen. Der Rohpapier-Einfluss war bei doppelt gestrichenen Mustern (Vorstrich + Deckstrich) nicht vorhanden.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse wurde festgelegt, die Strichoptimierung ausschließlich auf den Deckstrich zu konzentrieren.

---

### **Pigment-Einfluss auf die elektrischen Papiereigenschaften**

Um den Einfluss von Pigmenten auf die elektrischen Papieroberflächeneigenschaften zu untersuchen, wurden als Pigmente ein Spezialpigment (Glimmerteilchen, beschichtet mit Titandioxid, Siliciumdioxid und antimondotiertem Zinnoxid), Gips (Calciumsulfat), Zinkweiss und Bentonit in eine Standard-Offsetrezeptur integriert. Anschließend wurden diese Rezepturen auf die beiden Digitaldruck-Rohpapiere appliziert und geprüft. Das Offset-Rohpapier lieferte in den vorangegangenen Versuchsreihen mit einem der beiden Digitaldruck-Rohpapiere nahezu identische Resultate, weshalb auf das Offset-Rohpapier im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts verzichtet wurde.

Allgemein konnte durch den Einsatz von Pigmenten die elektrostatische Aufladbarkeit bzw. die Entladbarkeit der Papiere nicht signifikant reduziert und damit verbessert werden.

Die Streichfarbe mit 100 Teilen Gips hatte die höchste Leitfähigkeit. Die im Vergleich zu den übrigen drei Streichfarben bis zu ca. 3 bis 4 mal höher leitfähige Streichfarbe führte jedoch nach dem Auftrag auf die beiden Digitaldruck-Rohpapiere zu keiner signifikanten Reduzierung der elektrostatischen Aufladung bzw. der Entladezeiten. Aufgrund der hohen Löslichkeit war der Gips während des Streichprozesses zu stark ins Papier penetriert und war damit nicht auf der Papieroberfläche zu finden. Gleichzeitig konnte somit wiederholt der Beweis geliefert werden, dass das Rohpapier auf das elektrostatische Auf- und Entladeverhalten keinen Einfluss hat.

Es zeigte sich tendenziell, dass durch den Einsatz des Pigments ZnO mit 70 Teilen die maximale Aufladung sowie die dazu gehörige Entladezeit im Vergleich zu den übrigen Strichrezepturen geringfügig reduziert werden konnten. Unter den in dieser Versuchsreihe untersuchten Pigmenten ist das Zinkoxid jedoch mit ca. 1,20 €/kg vier bis fünf Mal teurer als die meist eingesetzten Kaolin- bzw. GCC-Pigmente, weshalb ZnO aus wirtschaftlichen Gründen in großen Mengen für industrielle Produktion nicht eingesetzt werden wird und daher auch bei weiteren Untersuchungen nicht berücksichtigt wurde. Außerdem sind Zinkverbindungen aus lebensmittelrechtlichen Gründen als problematisch zu betrachten. Sie sind in der Positivliste der Empfehlung XXXVI Papiere für Lebensmittelkontakt nicht aufgeführt.

---

**Additiv-Einfluss  
auf die  
elektrischen  
Papiereigen-  
schaften –  
Teil 1**

Die Verbesserung des elektrostatischen Aufladungsverhaltens von Papieren sollte durch die Steigerung der Leitfähigkeit des Papierstrichs über Zugabe von Leitsalzen, von feuchte-unabhängigen permanent leitfähigen Hilfsstoffen sowie von Feuchthalte- und Rückfeuchteadditiven erfolgen. Zu diesem Zweck wurden insgesamt 13 Substanzen (4 Leitsalze, 6 Leitfähigkeitsadditive, 3 Feuchthaltemittel) in eine Standard-Offset-Streichfarbe eingearbeitet. Von einem Unternehmen der Papierindustrie wurden zusätzlich drei Streichfarben zur Verfügung gestellt. Es waren kationisch eingestellte Streichfarben mit unterschiedlichen Anteilen an Nano-Cellulose (organisches Pigment). Zusammen mit der Ausgangsrezeptur ohne zusätzliche Additive standen somit insgesamt 17 Streichfarben für die Untersuchungen zur Verfügung.

Mit diesen Streichfarben wurden die beiden Digitaldruck-Rohpapiere im Labormaßstab gestrichen und anschließend hinsichtlich absolute Feuchte, Cobb-Wert und elektrisches Auf- und Entladeverhalten geprüft. Nach der ersten Auswertung wurden neben der Ausgangsrezeptur die Papiermuster mit den günstigsten elektrischen Eigenschaften (möglichst geringe Aufladespannung sowie geringe Entladezeiten) ausgewählt. Die Strichrezepturen dieser Papiere beinhalteten als Additive die Leitsalze NaCl und KCl, ein Leitfähigkeitsharz (auf Basis von Polynatriumstyrolsulfonat) und ein Antistatikum (auf Basis von Cholin-chlorid). Zusätzlich wurde das Papiermuster mit der Strichrezeptur ausgewählt, die als Additiv das Feuchthaltemittel Polyethylenglykol enthielt. Obwohl die elektrischen Eigenschaften in dieser Versuchsreihe nicht die erwünschten Ergebnisse lieferten, wurde dieses Papiermuster aufgrund der bekannten Feuchtigkeitsanbindung des Polyethylenglykols dennoch für die weiteren Untersuchungen ausgewählt. Die Papiermuster, die mit den drei kationisch eingestellten Streichfarben gestrichen wurden, zeigten mit Abstand die geringsten elektrischen Aufladungen und Entladezeiten und waren deshalb von großem Interesse, um die Auswirkungen davon auf die Bedruckbarkeit zu untersuchen. Die sehr geringen negativen Aufladespannungen und Entladezeiten sind auf die kationischen Grenzflächen zurückzuführen.

**Additiv-Einfluss  
auf die  
elektrischen  
Papiereigen-  
schaften –  
Teil 2**

Diese acht ausgewählten Papiermuster wurden anschließend hinsichtlich Offset- und Digitaldruck-Tauglichkeit geprüft. Bei der Bewertung der Offset-Tauglichkeit wurde zunächst das Druckfarbenwegs Schlagverhalten geprüft. Insgesamt war das Wegschlagverhalten der Papiermuster – mit Ausnahme der drei Papiermuster mit kationisch eingestelltem Strich – ausreichend. Die drei Papiermuster mit kationischem Strich waren somit für den Offsetdruck als nicht geeignet einzustufen. Hinsichtlich der Rupffestigkeit waren alle untersuchten Papiermuster einwandfrei.

Bei der Bewertung der Digitaldruck-Tauglichkeit mit einem Tischlaserdrucker war die Tonerhaftung (Prüfung durch Klebebandtest) der ausgewählten Papiermuster im Vergleich zu den Digitaldruckpapieren, die zu Beginn des Forschungsprojekts als Marktpapiere untersucht wurden, mittelmäßig bis mangelhaft. Vor allem zeigten die Papiermuster, die mit den kationischen Rezepturen gestrichen wurden, sehr schlechte Tonerhaftung. Dies ist auf die geringe Aufladbarkeit bedingt durch die kationische Grenzflächenladung zurückzuführen, wodurch eine schlechte Tonerübertragung und damit auch eine schlechte Tonerhaftung entstanden. Auch hinsichtlich der Offsettauglichkeit schnitten diese drei Muster schlecht ab, weshalb sie bei weiteren Untersuchungen nicht mehr berücksichtigt werden konnten.

Um die mittelmäßige Tonerhaftung der Muster zu verbessern, wurde beschlossen, die Ergebnisse aus dem AiF-Projekt 13668 [18] in dieses Forschungsprojekt einfließen zu lassen. Demnach war neben der Glätte (bzw. Mikroporosität) auch die Oberflächenspannung die für eine optimale Tonerübertragung bzw. -haftung relevante Papierkenngröße. Um die erforderliche Oberflächenspannung von ca. 40 mN/m einzustellen, wurde die im Rahmen des AiF-Projekts 13668 optimierte Strichrezeptur verwendet. Diese Rezeptur wird im folgenden Text als **BASISREZEPTUR** bezeichnet. Um die Papierglätte (ca.  $\leq 2,5 \mu\text{m}$ ) einzustellen, wurden die gestrichenen Papiere mit einem Laborkalander (80° C Walzentemperatur, 180 N/mm Liniendruck) kalandriert.

Um die Eignung dieser Streichfarbe und den Einfluss der Satinage für eine einwandfreie Tonerhaftung und Laserdruckqualität verifizieren zu können, wurden die beiden Digitaldruck-Rohpapiere mit der optimierten Strichrezeptur und alternativ dazu durch Beimischen des Leitsalzes NaCl (1 Teil) in die gleiche Streichfarbe im Labormaßstab gestrichen, die Hälfte der gestrichenen Papierbogen kalandriert. Anschließend wurden die nicht-kalandrierten sowie die kalandrierten Papierproben hinsichtlich ihres elektrostatischen Auf- und Entladeverhaltens und ihrer Offset- und Laserdruck-Tauglichkeit (nur von Muster

Anhand der optimierten Strichrezeptur (**Basisrezeptur**) konnte die Oberflächenspannung auf 50,6 mN/m erhöht werden und war damit höher als der für eine optimale Tonerhaftung geforderte Wert von 40 mN/m. Durch das Kalandrieren der Muster konnte eine optimale Tonerhaftung erreicht werden. Dies führte zu der Schlussfolgerung, dass die am Pilot-Coater zu streichenden Papierrollen anschließend kalandriert werden mussten. Das Kalandrieren der gestrichenen Papiermuster führte in den meisten Fällen zu einer geringfügigen Erhöhung der elektrostatischen Aufladung und Entladezeiten als bei unkalandrierten Papiermustern. Diese nachteilige Entwicklung musste jedoch in Kauf genommen werden, da neben optimalen elektrostatischen Eigenschaften auch eine möglichst optimale Druckqualität bzw. Tonerhaftung zwingend einzuhalten waren.

### 1. Streichversuch am Pilot Coater

Anhand der oben erläuterten Untersuchungen wurden insgesamt fünf Streichfarbenrezepturen für die Pilot-Coater-Versuche (Anlage, siehe Abb. 1) festgelegt. Mit diesen Streichversuchen sollte die Übertragbarkeit der Laborergebnisse auf die industrielle Produktion verifiziert sowie genügend Rollenmaterial für die anschließenden Versuche an einer digitalen Druckstraße produziert werden. Zu den Strichrezepturen ist noch zu erwähnen, dass als Additiv auf das Leitsalz KCl verzichtet wurde, da die Ergebnisse der elektrischen Papieroberflächeneigenschaften im Vergleich mit NaCl etwas schlechter ausfielen. Weiterhin wurde bei einer Wirtschaftlichkeitsanalyse festgestellt, dass das Leitfähigkeitsharz auf Basis Polynatriumstyrolsulfonat mit einem Preis von ca. 10 €/kg für eine industrielle Anwendung nicht in Frage kommen kann, weshalb dieses Additiv ebenfalls für die Streichversuche nicht berücksichtigt wurde. Die Zulassung der übrigen Additive gemäß der Empfehlung XXXVI (Papiere, Kartons und Pappen für den Lebensmittelkontakt) war gegeben.

Nach dem Ausschuss des oben genannten Leitfähigkeitsharzes wurde beschlossen, neben der Strichrezeptur mit 1 Teil NaCl eine weitere Strichrezeptur mit 2 Teilen NaCl zu testen, um einen eventuell negativen Einfluss von höheren Salzgehalten auf die Bedruckbarkeit zu verifizieren. Somit wurden insgesamt fünf Streichfarben für die Streichversuche am Pilot Coater verwendet. Die Streichversuche erfolgten auf dem Digitaldruck-Rohpapier mit dem geringeren Wasserabsorptionsvermögen, um den Einfluss des Rohpapiers auf den Streichprozess zu minimieren. Für die Streichversuche stellte der entsprechende Papierhersteller die Rohpapierrollen zur Verfügung.

Die gestrichenen Rollen wurden anschließend kalandriert sowie die Basispapierkennwerte gemessen. Neben diesen Kennwerten, die innerhalb der fünf Papiermuster keine signifikanten Unterschiede zeigten, wurden zusätzlich die elektrischen Kenngrößen Auf- und Entladeverhalten sowie Oberflächen- und Durchgangswiderstände bestimmt.

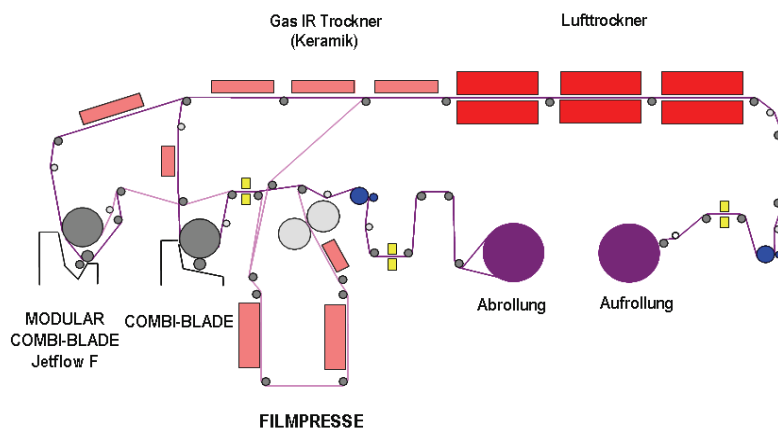


Abb. 1: Schema der Versuchsanlage (Pilot Coater)

---

**Ergebnisse der Streichversuche am Pilot Coater**

Mit der optimierten Streichfarbe aus dem AiF-Projekt 13668 [18] konnten durchwegs Oberflächenspannungswerte um ca. 45 mN/m erreicht werden. Auch die Glättewerte konnten anhand der Satinage auf ca. 2  $\mu\text{m}$  (PPS-Methode) eingestellt werden. Somit wurden die Anforderungen für eine gute Tonerhaftung und damit Druckqualität erfüllt.

Insgesamt zeigten Papiermuster, die mit den Zusätzen NaCl und Antistatikum (auf Basis von Cholin-chlorid) in der Streichfarbe (**Basisrezeptur**) gestrichen wurden, signifikant geringere elektrische Oberflächen- und Durchgangswiderstandswerte als das Papiermuster, das als Referenzpapier ohne Leitfähigkeitsadditiv gestrichen wurde. Der Zusatz des Antistatikums auf Basis von Cholin-chlorid führte zu den niedrigsten Werten des elektrischen Oberflächen- und Durchgangswiderstands. Die Erhöhung des NaCl-Anteils in den Streichfarben von 1 auf 2 Teile führte zu einer weiteren Reduzierung des elektrischen Oberflächen- und Durchgangswiderstands. Analog waren auch die Messwerte hinsichtlich des elektrischen Auf- und Entladeverhaltens ausgefallen. Insgesamt konnte die maximale Aufladbarkeit sowie die Entladezeit der Papiermuster im Vergleich zu den handelsüblichen Digitaldruckpapieren signifikant reduziert werden.

Das Papiermuster mit dem Feuchthaltemittel Polyethylenglykol im Strich sollte aufgrund eines stärkeren Feuchtigkeitsaufnahme- bzw. Wasserbindevermögens ebenfalls günstige elektrische Oberflächeneigenschaften haben. Obwohl alle Papiermuster über mehrere Tage im Normklima (23 °C, 50 % relative Luftfeuchte) gelagert wurden, konnte dies jedoch nicht bestätigt werden. Auch die absoluten Feuchte- sowie Cobb-Werte dieses Papiermusters waren den Werten der übrigen Papiermuster ohne Feuchthaltemittelzusatz im Strich ähnlich.

Es muss vermerkt werden, dass das Papiermuster, das als Referenzmuster vorgesehen war, im Hinblick auf die elektrischen Eigenschaften bzw. auf das elektrostatische Aufladeverhalten besser war als die handelsüblichen Industrierpapiere, die im Rahmen dieses Forschungsprojekts untersucht wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass als Basisstrichrezeptur die bereits optimierte Rezeptur aus dem AiF-Projekt 13668 [18] verwendet wurde.

Im Bezug auf die Digitaldrucktauglichkeit (Bildqualität, Text-Lesbarkeit, Linien-Randschärfe, Gleichmäßigkeit von Graufeldern, Tonerhaftung) waren die Papiermuster einwandfrei.

Im Rahmen der Bedruckbarkeitsprüfungen wurden alle Papiermuster hinsichtlich Farbwegschlagen und Trocken-Rupffestigkeit als Offset tauglich eingestuft. Beim Naßrupf-Test wurde bei den Papiermustern geringes bis sehr geringes Abstoßen bzw. Aufbauen festgestellt. Das Referenzmuster zeigte mittleres Abstoßen. Aufgrund der Entwicklungen zum wasserlosen Offset sowie aufgrund der mangelhaften Korrelationen zwischen Labor-Naßrupf-Testergebnissen und Praxis-Druckversuchen, die von Anwendern bestätigt wurden, hat der Naßrupf-Test im industriellen Umfeld nahezu keine Relevanz mehr. Deshalb dürfen auch die Ergebnisse im Rahmen dieses Forschungsprojekts nicht überbewertet werden.

---

**Druck- und Verarbeitungsversuche an einer digitalen Druckstraße - Teil 1**

Die Druck- und Verarbeitungsversuche mit den fünf Papiermustern wurden an einer digitalen Druckstraße (bestehend aus Rollenabwickler, Laserdrucker 1, Wendestation, Laserdrucker 2, Puffer, Schneidanlage (Querschneider), Sammler, Abstapler, siehe Abb. 2) im Demonstrationszentrum eines Herstellers von

Digitaldruck-Systemen durchgeführt. Gedruckt wurde mit einem Standard-Druckmotiv des Geräteherstellers auf beiden Papierseiten. Bewertet wurden neben dem Laufverhalten die Druckqualität (visuelle Bewertung), die Tonerhaftung (Klebebandtest) und die Welligkeit (gemäß Wölbungsmessblatt nach ISO 14968). Der Abbau der Restladungen wurde mittels eines elektrischen Feldstärkemessgeräts entlang der Papierbahn verfolgt.

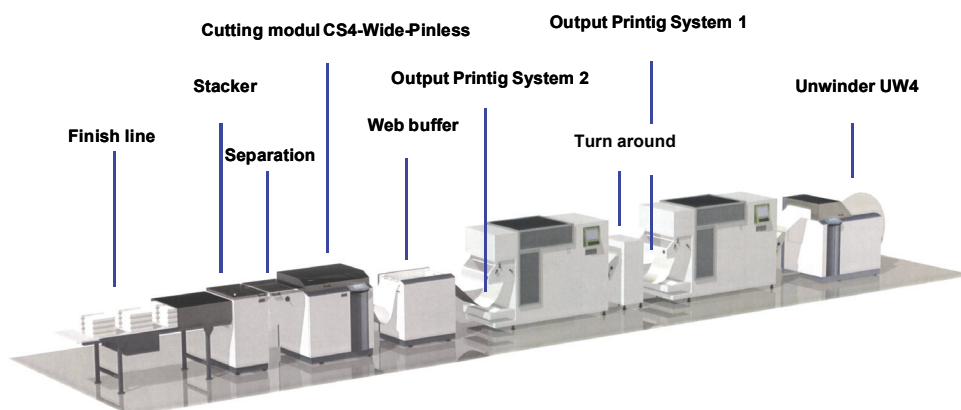


Abb. 2: Digitale Druckstraße mit Nachbearbeitungsmaschinen

Die einstellbaren Druckgeschwindigkeiten des Laserdruckers waren 700, 880 und 1000 Seiten pro Minute bei beidseitigem Druck. Die Verarbeitungsversuche wurden jeweils bei der Standard-Geschwindigkeit von 880 Seiten/min begonnen. Anschließend wurde auf die nächste höhere Geschwindigkeit von 1000 Seiten/min erhöht. Im Laufe der Versuche wurden an bestimmten Stellen (nach Laserdrucker 1 und 2 sowie vor dem Querschneider) der digitalen Druckstraße die Bahntemperatur sowie die elektrische Feldstärke (Aufladung) gemessen und protokolliert. Die Anlage lief bei jedem Versuchspapier im Dauerbetrieb 60 Minuten lang, um somit die Laufeigenschaften über eine längere Zeit bewerten zu können.

Aufgrund der relativ hohen Glätte der Papiermuster mit ca. 2  $\mu\text{m}$  (PPS-Methode) entstand bei der hohen Druckgeschwindigkeit von 1000 Seiten/min bereits in der Bahnführung vor dem ersten Laserdrucker soviel Unterdruck zwischen Papier und einem Führungsblech, dass die Bahnspannung rapide anstieg. Dies führte dann zu Fehlermeldung bzw. Maschinenstopp. Deshalb wurden die Versuche bei der Standardgeschwindigkeit von 880 Seiten/min durchgeführt und bewertet.

Die Verarbeitungsversuche an der digitalen Druckstraße (vor allem an den kritischen Stellen Querschneider und Stapereinheit) verliefen mit allen Versuchspapieren bei der Standard-Geschwindigkeit von 880 Seiten/min einwandfrei und ohne jegliche Maschinenstopps. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Rückbeefeuchtungsanlage nicht eingesetzt wurde. Die gestapelten Papiermuster am Ende der digitalen Druckstraße wurden bezüglich der Druckqualität (visuell) und der Tonerhaftung (Tesafilm-Test) geprüft. Die Ergebnisse waren bei allen Papiermustern durchwegs einwandfrei. Die Curlneigung der abgelegten Papierstapel am Ende der digitalen Druckstraße war innerhalb der Vorgaben des Geräteherstellers und somit einwandfrei.

Zwei ausgesuchte Papiermuster (im Strich mit NaCl-Zusatz und das Referenz-



---

muster ohne Leitfähigkeitsadditiv) wurden zusätzlich nur einseitig bedruckt und dabei das Laufverhalten beobachtet. Bezüglich der Maschinengängigkeit bei der Standard-Geschwindigkeit von 880 Seiten/min konnten keine Unterschiede zu den vorherigen beidseitigen Druckversuchen festgestellt werden. Auch die einseitigen Druckversuche waren einwandfrei.

---

**Druck- und  
Verarbeitungsver-  
suche an einer  
digitalen Druck-  
straße - Teil 2**

Restladungen der Papiermuster waren nach dem Laserdrucker 1 nahezu nicht vorhanden. Erst nach dem Laserdrucker 2, wo das Papier bereits zweimal die extreme Trocknung der Fixierstation passiert hatte, zeigten die fünf Papiermuster unterschiedliche Restladungen. Vor der Schneidanlage, wo die Papierbahn bis dahin um mehrere Walzen umgelenkt wurde, waren die höchsten Aufladungen festzustellen. Die Ergebnisse ermöglichten eindeutig die Differenzierung der Muster untereinander. Demnach hatte das Referenzmuster ohne Leitfähigkeitsadditiv mit  $-4,8$  KV/IN mit Abstand die höchste Aufladung als die Papiermuster mit den Leitfähigkeitsadditiven (ca.  $-1,0$  bis  $-2,5$  KV/IN). Das Papiermuster mit dem Feuchthaltemittel im Strich hatte ebenfalls eine geringere Aufladung ( $-2,2$  KV/IN) als das Referenzmuster, obwohl aufgrund der gemessenen elektrischen Papiereigenschaften dies nicht zu erwarten war. Die geringste statische Aufladung hatte analog zu den Laborergebnissen wiederum das Papiermuster, das mit dem Antistatikum auf Cholin-chlorid-Basis in der Streichfarbe gestrichen wurde. Ebenfalls führte die Erhöhung des NaCl-Anteils in der Streichfarbe zu einer Reduzierung der Restaufladung.

Obwohl mit den in diesem Forschungsprojekt entwickelten Streichfarben Papiermuster mit unterschiedlicher elektrostatischer Aufladung hergestellt wurden, konnten dennoch alle Papiermuster in der digitalen Druckstraße problemlos verarbeitet werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Maschinenhersteller in den letzten Jahren sich sehr intensiv mit der Problematik der elektrostatischen Aufladung der Papierbahn beschäftigt und technische Weiterentwicklungen eingeführt haben. Die Papierbahnführung wurde derart optimiert, dass das Papier um möglichst wenige Umlenkwalzen oder andere Maschinenteile geführt werden mussten. Weiterhin wurden die Maschinen standardmäßig mit Entladungsstäben versehen, die die Aufladung der Papierbahn entschärften.

Zusätzlich zu den Versuchen an der digitalen Druckstraße wurden die Papiermuster im DIN A4-Format mit einem Einzelblatt-Laserdrucker beidseitig bedruckt und bewertet. Die Geschwindigkeit des Druckers lag bei 160 Seiten/min (beidseitiger Druck). Die Druckdauer betrug 60 Minuten, so dass pro Papiermuster ca. 5000 Bogen bedruckt wurden. Alle fünf Papiermuster waren hinsichtlich Laufeigenschaft, Druckqualität, Tonerhaftung und Curlneigung stets einwandfrei. Es trat kein einziger Papierstau bzw. Maschinenstopp auf. Auch hierbei wurden zwei ausgesuchte Versuchspapiere zusätzlich einseitig bedruckt und hinsichtlich Laufeigenschaften als einwandfrei bewertet.

---

---

**Weitere Druckversuche mit Farbdruckern (Trockentoner-, Flüssigtoner-Systeme)**

Des Weiteren wurden die zwei ausgesuchten Versuchspapiere (im Strich mit NaCl-Zusatz und das Referenzmuster ohne Leitfähigkeitsadditiv), die sich hinsichtlich der elektrostatischen Eigenschaften unterschieden, mit einem Farblaserdrucker (Trockentonersystem, an der Forschungsstelle vorhanden) bedruckt und hinsichtlich Laufverhalten und Druckqualität bewertet. Aufgrund der erheblich langsameren Druckgeschwindigkeit des Farbdruckers (15 m/min) traten erwartungsgemäß keine Störungen durch elektrostatische Restladungen auf. Gemäß den Erfahrungswerten aus dem AiF-Projekt 13668 [18] waren auch die Druckqualitäten der Muster einwandfrei, da die geforderten Papierkennwerte Oberflächenspannung ( $\geq 40$  mN/m) und PPS-Glätte ( $\leq 2,5$   $\mu\text{m}$ ) eingehalten werden konnten.

Zusätzlich wurden diese zwei Versuchspapiere mit einem Flüssigtonersystem bedruckt. Analog zu den obigen Ausführungen für die Druckversuche mit einem Trockentoner-Farblaserdrucker und gemäß den Anforderungen aus [18] waren die Druckergebnisse sowie Laufeigenschaften auch bei dem Flüssigtonersystem (Einzelblatt) einwandfrei. Maschinenstopps und andere Störungen aufgrund von elektrostatischen Restladungen konnten nicht festgestellt werden. Speziell bei Flüssigtonersystemen, bei denen eine Tonerfixierung - wie bei Trockentonersystemen - nicht erforderlich ist, werden die Papiere auch nicht stark erhitzt. Damit wird die elektrostatische Aufladung der Papiere automatisch gering gehalten. Anhand der positiven Resultate wurden auf weitere Druckversuche mit Farbdrucksystemen, die entwicklungsstechnisch noch relativ langsam sind, verzichtet.

---

**Weitere Strich-optimierungen**

Bei weiteren Optimierungsschritten wurde der Einfluss folgender zusätzlicher Parameter/Substanzen auf die Papieroberflächeneigenschaften hinsichtlich Elektrostatik und Druckqualität untersucht:

- Durch Zugabe von 0,5 Teilen Mikrocellulose zu der **Basisrezeptur** sollte in erster Linie die Tonerhaftung des Druckbilds auf dem Papier weiter verbessert werden.
- Im Laufe des Forschungsprojekts konnten drei weitere Leitfähigkeitsadditive (organ. Phosphonverbindung, Salz einer organ. Säure sowie Polyelektrolyt mit organ. Salzen) gefunden werden. Diese sollten durch Zugabe (3 Teile) zu der **Basisrezeptur** getestet werden
- Neben der Glätte und der Oberflächenspannung sollte zusätzlich der Einfluss der Oberflächenpolarität auf die Druckqualität (insbesondere Tonerhaftung) untersucht werden. Dazu wurde aus dem bereits erwähnten AiF-Forschungsprojekt (Nr. 13668) [18] eine Rezeptur mit niedriger Oberflächenspannung und Polarität ausgewählt. Alternativ sollte durch NaCl-Zugabe zu dieser Rezeptur die elektrostatischen Papiereigenschaften ebenfalls getestet werden.

Analog zur ersten Strich-Optimierungsreihe wurden diese Streichfarben im Labormaßstab hergestellt, auf das Digitaldruck-Rohpapier appliziert und hinsichtlich Oberflächenspannung, elektrische Oberflächeneigenschaften und Offset- und Digitaldrucktauglichkeit geprüft.

---



---

**Laborstreichversuche - Ergebnisse**

Die Ergebnisse der Laborversuche zeigten bei den Papieren, deren Striche als Leitfähigkeitsadditive das Salz einer organ. Säure sowie ein Polyelektrolyt mit organ. Salzen enthielten, dass die Tonerhaftung bei Druckversuchen mit einem Tischlaserdrucker sowie die Trockenrupffestigkeit des Strichs auffällig schlecht waren. Daher wurden diese Additive nicht weiter berücksichtigt. Lediglich die Strichrezeptur mit dem Leitfähigkeitsadditiv auf Basis einer organischen Phosphonverbindung wurde für den zweiten Streichversuch am Pilot Coater ausgewählt.

Die Strichrezeptur mit der niedrigen Oberflächenspannung und Polarität führte auf den damit gestrichenen Papiermustern erwartungsgemäß zu Oberflächenspannungen von ca. 30 mN/m und Polaritäten von ca. 10 bis 25 %. Mit den übrigen Streichfarben (mit **Basisrezeptur**) wurden Oberflächenspannungen von ca. 45 mN/m sowie Polaritäten von 40 – 80 % erreicht.

Die Papiermuster, die im Strich Mikrozellulose enthielten, zeigten optimale Tonerhaftung. Die gleiche Rezeptur sollte zusätzlich durch Zugabe von 2 Teilen NaCl bei den Pilot Coater Streichversuchen verwendet werden, um neben der Tonerhaftung auch die elektrischen Oberflächen- und Durchgangswiderstände sowie das elektrische Auf- und Entladeverhalten der Papiere zu verbessern.

---

**2. Streichversuch am Pilot Coater**

Insgesamt wurden folgende Strichrezepturen für den zweiten Pilot Coater Versuchstag definiert und eingesetzt:

- **Basisrezeptur** mit 0,5 Teilen Mikrozellulose-Zusatz (mit und ohne NaCl-Zusatz)
- **Basisrezeptur** mit 3 Teilen Leitfähigkeitsadditiv auf Basis einer organischen Phosphonverbindung
- Rezeptur mit niedriger Oberflächenspannung/Polarität (mit und ohne NaCl-Zusatz)

Der Einfluss der Satinage auf die Papierlaufeigenschaften an einer digitalen Druckstraße sollte ebenfalls untersucht werden. Deshalb wurde das Papiermuster, dessen Strich (**Basisrezeptur**) 0,5 Teile Mikrozellulose und 2 Teile NaCl enthielt, am Superkalender unterschiedlich stark satiniert. Die Papierrolle wurden jeweils zu einem Drittel nicht satiniert, mittelmäßig satiniert (typisch für Offsetpapiere, Liniendruck: 110 N/mm) und stark satiniert (typisch für Tiefdruckpapiere, Liniendruck: 300 N/mm). Die übrigen Papierrollen wurden mit einem Liniendruck von 180 N/mm satiniert. Mit dieser Einstellung wurden die Papiere aus dem ersten Pilot Coater Versuch satiniert.

An den insgesamt 7 Papiermustern wurden die Basispapierkennwerte sowie die elektrischen Kenngrößen Auf- und Entladeverhalten sowie Oberflächen- und Durchgangswiderstände bestimmt.

---

---

## 2. Streichversuch am Pilot Coater - Ergebnisse

Papiermuster mit NaCl-Zusatz im Strich zeigten im Vergleich zu den korrespondierenden Papieren ohne NaCl-Zusatz im Strich sowie im Vergleich zu einem auf dem Markt erhältlichen Digitaldruckpapiermuster, das bei den anschließenden Druckversuchen an einer digitalen Druckstraße mitgetestet wurde, deutlich niedrigere elektrische Oberflächen- sowie Durchgangswiderstände. Das Papiermuster, dessen Strich als Additiv das Antistatikum auf Basis einer organ. Phosphonverbindung enthielt, zeigte im Vergleich zu den Papiermustern mit NaCl-Zusatz im Strich signifikant höhere Werte.

Ein weiterer Befund war der Einfluss der Satinage auf die elektrischen Oberflächen- sowie Durchgangswiderstandswerte. Diese nahmen durch stärkere Satina- gebingungen signifikant zu.

Die Erkenntnisse aus den Ergebnissen der elektrischen Oberflächen- sowie Durchgangswiderstandswerte konnten analog auf die Ergebnisse des elektrischen Auf- und Entladeverhaltens der Muster übertragen werden.

Des Weiteren wurden die Papierkennwerte Glätte, Oberflächenspannung und Polarität untersucht, die für eine gute Druckqualität (z.B. Tonerhaftung) relevant waren. Hinsichtlich der Glättewerte waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mustern zu sehen. Alle Muster hatten Glättewerte von ca. 2,5 µm, womit sie den Anforderungen für eine gute Tonerhaftung entsprachen [18]. Lediglich das unsatinierte Muster hatte erwartungsgemäß eine geringere Glätte sowie das Digitaldruckpapiermuster. Die Papiermuster, die mittels entsprechender Strichrezeptur gezielt niedrigere Oberflächenspannungen haben sollten, erreichten erwartungsgemäß Werte um 28-30 mN/m. Jedoch waren die Polaritätswerte mit ca. 60 % viel höher als bei den Laborstreichversuchen. Die übrigen Papiermuster hatten Werte um 38 mN/m und höher. Das Digitaldruckpapiermuster mit einer Oberflächenspannung von ca. 20 mN/m war im Bezug auf eine gute Tonerhaftung als kritisch zu bewerten.

---

## Ergebnisse – Offset- und Laserdruck-Tauglichkeit

**Offset-Tauglichkeit:** Die Papiermuster mit 2 Teilen NaCl im Strich zeigten im Vergleich zu den korrespondierenden Papiermustern ohne NaCl-Zusatz im Strich ein geringfügig langsames Farbwegschlagen. Ebenso war das Farbwegschlagverhalten des Papiermusters mit dem Leitfähigkeitsadditiv auf Basis einer organ. Phosphonverbindung im Strich geringfügig langsamer als Papiermuster ohne Leitfähigkeitsadditive im Strich.

Anhand des unterschiedlich stark satinierten Papiermusters konnte eindeutig belegt werden, dass je stärker das Papier satiniert wurde, umso langsamer das Farbwegschlagverhalten wurde. Das Papiermuster, das mit Satina- gebingungen für Tiefdruckpapiere satiniert wurde, sowie das Digitaldruckpapiermuster zeigten ein sehr langsames Farbwegschlagverhalten. Speziell diese zwei Papiermuster werden, wenn sie mit Offsetverfahren vorbedruckt werden sollten, höchstwahrscheinlich zu einer langsameren Farbtrocknung und damit zu einer langsameren Druckgeschwindigkeit bzw. zum Ablegen im Stapel oder zum Verschmieren des Drucks führen.

Die Trockenrupffestigkeit war bei allen Mustern einwandfrei. Die Ergebnisse der Naßrupffestigkeit zeigten speziell bei den Mustern, die mit niedrigen Oberflächenspannungen eingestellt wurden, ein starkes Aufbauen, d.h. der Papierstrich wurde in seiner Oberflächenfestigkeit herabgesetzt. Das stark kalandrierte Muster zeigte ein starkes Abstoßen der Druckfarben. Die übrigen Muster waren

---

---

innerhalb des Akzeptanzbereiches. Wie bereits erläutert, ist die Aussagekraft des Naßrupf-Tests im industriellen Umfeld äußerst fraglich und sollte daher nicht zu hoch bewertet werden.

**Laserdruck-Tauglichkeit:** Mit Ausnahme des unsatinierten Papiermusters und des Digitaldruckpapiermusters, die Glättewerte von ca. 4-5  $\mu\text{m}$  hatten, waren alle übrigen Muster bei den Druckversuchen mit den Tischlaserdruckern hinsichtlich Tonerhaftung als gut bis sehr gut zu bewerten. Der zunehmende Satinage-Grad führte eindeutig zu einer starken Verbesserung der Tonerhaftung, die anhand der unterschiedlich stark satinierten Papierrolle belegt werden konnte. Diese Beobachtung war ebenfalls auf die anderen Qualitätskriterien (Textlesbarkeit, Linienrandschärfe, Druckgleichmäßigkeit, Bildschärfe) übertragbar.

---

**Druck- und  
Verarbeitungsver-  
suche an einer  
digitalen  
Druckstraße**

Die Verarbeitungsversuche an einer digitalen Druckstraße (vor allem an den kritischen Stellen Querschneider und Stapleinheit) konnten mit allen Papiermustern bei der mittleren Druckgeschwindigkeit von 880 Seiten/min und bei der hohen Druckgeschwindigkeit von 1000 Seiten/min durchgeführt werden.

Anhand der gemessenen Aufladung der Papierbahn unmittelbar nach dem Druckprozess in der Druckstation konnte eindeutig gezeigt werden, dass die Papiermuster mit NaCl-Zusatz im Strich, im Vergleich zu den übrigen Papiermustern, deutlich geringere Restladungen hatten. Ein weiterer Befund war der Einfluss der Satinage auf die Aufladung. Die satinierten Papiermuster zeigten signifikant höhere Restladungen als das gleiche, aber unsatinierte Papiermuster.

Das Papiermuster mit dem Antistatikum (organische Phosphonverbindung) im Strich zeigte ähnliche elektrische Eigenschaften wie die Papiermuster ohne NaCl-Zusatz im Strich. Entsprechend war auch die Restaufladung dieses Musters unmittelbar nach dem Druckprozess auf dem gleichen Niveau wie bei den Mustern ohne NaCl-Zusatz im Strich.

Die gestapelten Papiermuster am Ende der digitalen Druckstraße wurden bezüglich der Druckqualität (visuell) und der Tonerhaftung (TesaFilm-Test) geprüft. Hinsichtlich der Tonerhaftung wurden die Ergebnisse der Druckversuche mit dem Tischlaserdrucker bestätigt, d.h. das unsatinierte Papiermuster und das Digitaldruckpapiermuster zeigten wiederum nicht ausreichende Tonerhaftung. Die satinierten Muster zeigten im Gegensatz zu dem gleichen aber unsatinierten Muster eine signifikant höhere Tonerhaftung, da diese deutlich höhere Glättewerte besaßen. Damit konnte wiederholt die Bedeutung der Papierglätte auf die Tonerhaftung bestätigt werden. Beim Digitaldruckpapiermuster war zusätzlich die zu niedrige Oberflächenspannung von ca. 20 mN/m für die zu schlechte Tonerhaftung ausschlaggebend.

Das Papiermuster mit dem Antistatikum (organische Phosphonverbindung) im Strich zeigte zudem die höchste Oberflächenspannung von ca. 48 mN/m sowie die höchste Polarität von ca. 75 %. Im Vergleich zum Digitaldruckpapiermuster mit der niedrigsten Oberflächenspannung (ca. 20 mN/m) und der niedrigsten Polarität (ca. 45 %) war die Tonerhaftung des Musters mit dem Antistatikum (organische Phosphonverbindung) im Strich deutlich besser. Da jedoch andere Muster mit ausreichend hohen Oberflächenspannungswerten (ca. 40 mN/m), aber mit niedrigeren Polaritätswerten (ca. 55 %) als dieses Papiermuster trotzdem gute Tonerhaftung zeigten, konnte somit anhand der vorhandenen Daten

---

---

ein signifikanter Einfluss der Polarität auf die Tonerhaftung nicht verifiziert werden.

Die abgelegten Papierstapel am Ende der digitalen Druckstraße wurden hinsichtlich Curlneigung bewertet. Zur Bewertung wurde das Wölbungsmessblatt nach ISO 14968 verwendet. Die Welligkeit war bei allen Papiermustern innerhalb der Vorgabe ( $\pm 3,5$ ) des Geräteherstellers.

---

## 5 Schlussbetrachtung

---

### Teil 1

Ziel des Forschungsprojekts war die Verbesserung der Laufeigenschaften von gestrichenen Papieren in digitalen Druckstraßen, deren Druckstationen nach dem elektrofotografischen Prinzip (klassischerweise Laserdrucker) arbeiten. Dabei durfte insbesondere die Bedruckbarkeit in den Druckstraßen und im Offsetdruck nicht beeinträchtigt werden. In diesem Zusammenhang wurden die Erkenntnisse aus dem AiF-Projekt 13668 [18], nämlich die Relevanz der Papierkennwerte Oberflächenspannung und Glätte (PPS, Mikroporosität) auf die Tonerhaftung und Druckqualität, in diesem Projekt genutzt und bestätigt.

In diesem Forschungsprojekt, in dem es um Laufeigenschaften von gestrichen Papieren in digitalen Druckstraßen geht, die von elektrostatischen Papiereigenschaften geprägt werden, konnten folgende Erkenntnisse erzielt werden:

- Der Papierstrich beeinflusst grundsätzlich die maximale Aufladbarkeit bzw. Entladung von Papieren. Dabei konnte festgestellt werden, dass das Rohpapier insbesondere beim Doppelstrich keinen Einfluss auf die elektrostatischen Papiereigenschaften hat.
- Der Pigmenteinfluss auf die elektrostatischen Papiereigenschaften war nicht vorhanden. Vor allem konnte keine Korrelation zwischen Streichfarbenleitfähigkeit und Papieroberflächenleitfähigkeit gefunden werden. Dies konnte mit Gips als Pigment eindrucksvoll belegt werden. Aufgrund der hohen Löslichkeit des Gipses konnte eine hoch leitfähige Streichfarbe hergestellt werden. Die hohe Löslichkeit führte jedoch während des Streichprozesses zu einer starken Penetration der Gipspartikel in das Rohpapier, wodurch die elektrostatische Aufladung des Papiers nicht reduziert werden konnte.
- Im Gegensatz zu den Pigmenten zeigten die Additive sehr starken Einfluss auf die elektrostatischen Papiereigenschaften. Als Strichadditive zur Einstellung optimaler elektrostatischer Papiereigenschaften, d.h. Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit bzw. Reduzierung der elektrostatischen Aufladung von Papieroberflächen und Reduzierung der Entladezeiten, konnten folgende Substanzen ermittelt und erfolgreich eingesetzt werden:

- NaCl (Leitsalz)
- Antistatikum auf Basis von Cholin-chlorid

Beim NaCl ist noch zu erwähnen, dass 2 Teile in der Streichfarbe zu einer Viskositätserhöhung und damit zu einer Reduzierung des Feststoffgehalts der Streichfarbe führten. Aufgrund der damit verbundenen Verarbeitungsprobleme sowie aus Gründen der Wirtschaftlichkeit (höhere Einsatzmenge des Salzes sowie höhere Energiekosten zum Trocknen einer Streichfarbe mit geringerem Feststoffgehalt) sollte NaCl mit 0,5 bis 1,0 Teilen in der Streichfarbe eingesetzt werden.

---

**Teil 2**

Mit diesen Leitfähigkeitshilfsmitteln können unabhängig von den Ausgangsrezepturen Streichfarben hergestellt werden, die auf den damit gestrichenen Papieren das elektrostatische Auf- und Entladeverhalten deutlich verbessern. Jedoch sollte die Ausgangsrezeptur so gewählt werden, dass sie die Tonerhaftung sowie die Offset-Tauglichkeit der Papiere sicherstellt. In diesem Zusammenhang konnte eine geeignete Basisrezeptur (70 Teile GCC, 30 Teile Kaolin, 9 Teile Styrol-Acrylat-Binder mit  $T_g=27^\circ\text{C}$  sowie 3 Teile PVOH) aus dem AiF-Projekt 13668 [18] verwendet werden.

Das Feuchthaltemittel Polyethylenglykol (PEG) mit einem höheren Feuchtigkeitspotenzial führte nicht zu der erwarteten Reduzierung der elektrostatischen Aufladung bzw. Entladezeiten, obwohl bei den Druckversuchen an der digitalen Druckstraße die Restladungen des Papiermusters mit 0,7 Teilen PEG im Strich an der Schneidanlage ähnlich niedrig waren wie die Papiermuster mit NaCl im Strich. Fakt ist, dass der Zusatz von PEG im Strich zu keiner signifikanten Erhöhung der Wasseraufnahmefähigkeit (Cobb-Wert) des Papiermusters – im Vergleich zu den übrigen Papiermustern - geführt hatte.

Mit einem Zusatz von 0,5 Teilen Mikrozellulose in der Basisrezeptur konnte zwar die Tonerhaftung auf den gestrichenen Papieren weiter verbessert werden, jedoch verschlechterte sich das elektrostatische Auf- und Entladeverhalten dieser Papiere.

Insgesamt konnten die elektrischen Kennwerte der Papiere, deren Striche die oben genannten Leitfähigkeitshilfsmittel enthielten, im Vergleich zu handelsüblichen Offset- und Digitaldruck-Papieren signifikant reduziert und damit das elektrostatische Auf- und Entladeverhalten verbessert werden.

Die Papiere mit den oben genannten Additiven im Strich wurden auch als Offset und Laserdruck tauglich eingestuft. Der in der Praxis übliche Einsatz von Offset-vorbedruckten Papierrollen in digitalen Druckstraßen konnte somit gewährleistet werden.

Die Untersuchungen zeigten zudem, dass neben der Leitfähigkeit auch die Grenzflächenladung (Zetapotenzial) des fertigen Strichs bei der elektrostatischen Aufladung von Papieroberflächen eine dominante Rolle spielt. Dies konnte anhand von kationischen Streichfarben belegt werden. Insbesondere bei Digitaldrucksystemen, bei denen die Papierbahn für die Tonerübertragung negativ aufgeladen wird, erfolgte bei den kationischen Papieroberflächen eine sehr geringe elektrostatische Aufladung bzw. extrem schnelle Entladung. Jedoch sind kationische Streichfarben typische Inkjetformulierungen und aufgrund der schlechten Tonerübertragung bzw. -haftung für Laserdruck nicht geeignet.

Das Kalandrieren der Papiermuster führte eindeutig zu einer Erhöhung der elektrostatischen Aufladung bzw. zur Verlängerung der Entladezeiten. Jedoch konnte damit die Tonerhaftung stark verbessert werden. Eine Mindestglätte (ca.  $2\ \mu\text{m}$ ) der Papieroberflächen ist deshalb einzuhalten.

---

**Teil 3**

Insgesamt konnte das Ziel des Forschungsprojekts, nämlich die Verbesserung der Laufeigenschaften (Verdruckbarkeit und Verarbeitbarkeit) von gestrichenen Papieren in digitalen Druckstraßen, durch die Entwicklung/Optimierung von Papierstreichfarben erreicht werden. Die mit den optimierten Streichfarben gestrichenen Papiere konnten an einer digitalen Druckstraße problemlos verarbeitet werden. Damit konnte ein wichtiger Beitrag zur Prozesssicherheit in digitalen Druckstraßen geleistet werden. Diese Papiere bzw. Papierstriche mit geeigneten Leitfähigkeitshilfsmitteln werden die innovativen Entwicklungen in der Gerätetechnologie sowie auf den Märkten in hohem Maße ergänzen und einen wichtigen Beitrag leisten, damit sich der Digitaldruck weiter etablieren kann.

---

**Ansprechpartner für weitere Informationen:**

M. K. Güzelarslan  
Tel. 089/12146-181  
[mustafa.quezelarслан@ptspaper.de](mailto:mustafa.quezelarслан@ptspaper.de)

Papiertechnische Stiftung PTS  
Heißstraße 134  
80797 München  
Tel. (089) 1 21 46-0  
Fax (089) 1 21 46-36  
e-Mail: [info@ptspaper.de](mailto:info@ptspaper.de)  
[www.ptspaper.de](http://www.ptspaper.de)

**Literaturverzeichnis**

- [1] N.N.  
Digitaldruck in der Papierverarbeitung: Ergebnisse optimieren und Störungen vermeiden.  
Kleebauer M. (Hrsg.);  
München PTS Verlag 2002, Manuskript PTS-Seminar SL-SE 40188 MUC
- [2] N. N.  
Hochleistungslaserdruck und Druckweiterverarbeitung. Kleebauer M. (Hrsg.);  
München PTS Verlag 2000, Manuskript PTS-Seminar SL-SE 2088 MUC
- [3] R. Krieger und G. Goldmann  
Persönliche Mitteilungen + Demonstrationen, Océ Openhouse 19-22. Nov. 2002
- [4] K.-D. Reinwart  
Der Laserdruck - ein neuer Anspruch an den Papiermacher.  
Das Papier 47, S. 364-369 (1993), Nr. 7
- [5] Ramzi S., Krüsemann J. und U. Beck  
Papiere für Büro-Informationssysteme.  
Das Papier 41, R75-R81 (1987) Nr. 10A
- [6] H.-E. Roth  
Bürokommunikation heute und morgen - Auswirkungen auch für das Papier.  
Allgemeine Papierrundschau -, S. 4-6 (1984) Nr. 1
- [7] N. N.  
Kopierpapier – Wesentliche Qualitätsanforderungen.  
APPITA 41, S. 12 (1988) Nr. 1
- [8] N. N.  
Elektronische Drucksysteme 2090/2140/2240, Pagestream 145/200 DSC/225/350/440/470  
TWIN/700 TWIN (Papierspezifikation für Endlosformulare).  
Druckschrift der Fa. Océ Printing Systems GmbH, Poing, Ausgabe August 1996
- [9] N. N.  
Elektronische Drucksysteme (Papierspezifikation für Formatpapiere).  
Druckschrift der Fa. Océ Printing Systems GmbH, Poing, Ausgabe August 1996
- [10] N. N.  
IBM Forms Design Reference For: Advanced Function Continuous Forms Printers.  
Druckschrift der Fa. IBM Corp., Ausgabe März 1995
- [11] Gerd Goldmann  
Das Druckerbuch – Technik und Technologien der Océ-Drucksysteme (Mai 2004)
- [12] Schürmann M., Jörn J. und Henning H.  
Papierkriterien für den Einsatz bei digitalen Druckverfahren.  
Deutscher Drucker 34 (1998) Nr. 23/24, S. g10 – 11
- [13] N. N.  
Unterlagen der WEKO Biel AG zur Rückbefeuchtungsanlage WEKO-RFDi W
- [14] Robert R. Rounsley  
Drying in the presence of an electrostatic field.  
Tappi Journal 68, S. 108-112 (1985) Nr. 6



- [15] Nicolay K. P.  
Das richtige Papier für die Digitaldruck-Maschine.  
Druck- & Medienmagazin 1, S. 46-49 (2000) Nr. 3
- [16] Waennstroem S.  
Digitaldruck: Stellen Sie beim Papierkauf die richtigen Fragen?  
Deutscher Drucker 35, S. w35-36 (1999) Nr. 9
- [17] Nicolay K. P.  
Der Digitaldruck und seine Bedruckstoffe.  
Druck- & Medienmagazin 2, S. 26-30 (2001) Nr. 11
- [18] Güzelarslan M.K.  
Optimierung von Faltschachtelkartonstrichen für elektrofotografische Druckverfahren.  
München: Papiertechnische Stiftung (PTS), 61 S.  
PTS-Forschungsbericht PTS-FB 24/05