

# Untersuchung des Einflusses oberflächenaktiver Substanzen in Streichfarben auf die Offsetbedruckbarkeit

K. Dittrich

## 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>3</b>
<b>4</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Analyse der Praxispapiere</b>	<b>7</b>
5.1	Vorgehensweise	7
5.2	Ergebnisse der Messungen	8
5.3	Zusammenfassung	10
<b>6</b>	<b>Strichauftrag im Labormaßstab</b>	<b>11</b>
6.1	Vorgehensweise	11
6.2	Variation der Streichfarbenkomponenten	11
6.2.1	Pigmente .....	11
6.2.2	Binder .....	13
6.2.3	Additive .....	15
6.2.4	Zusammenfassung – Variation der Streichfarbenkomponenten.....	19
6.3	Koronabehandlung	20
6.4	Einsatz verschiedener Druckfarben	22
6.5	Veränderung der Oberflächenspannung während des Drucks	23
6.6	Ergebnisse aus Labormaßstab – Fazit	23
<b>7</b>	<b>Übertragung in die Praxis: Vestra und Praxisdruck (Arbeitsschritt 3)</b>	<b>25</b>
7.1	Streichversuch an der VESTRA Versuchsstrechanlage	25
7.2	Papierprüfung	26
7.3	Praxisdruck	28
7.4	Bewertung des Druckergebnisses	29
7.5	Korrelationsuntersuchungen	31
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>33</b>

## 1 Zusammenfassung

---

<b>Thema</b>	Untersuchung des Einflusses oberflächenaktiver Substanzen in Streichfarben auf die Offsetbedruckbarkeit
<b>Zielstellung</b>	Ziel der Arbeiten war es, den Einfluss der Oberflächenspannung von gestrichenen Papieren auf deren Bedruckbarkeit im Offsetverfahren herauszuarbeiten und außerdem die Auswirkungen der oberflächenaktiven Substanzen in Streichfarben auf die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers zu ermitteln.
<b>Ergebnisse</b>	<p>In einem ersten Schritt wurden industriell hergestellte Offsetdruckpapiere mit bekannter Druckqualität bezüglich ihrer Oberflächenspannung untersucht. Es zeigte sich dabei, dass die Papiere trotz großer Bandbreite der Oberflächenspannung eine vergleichbare Bedruckbarkeit besaßen. Ein praxisüblicher Grenzbereich, in dem sich die Oberflächenspannung des Papiers bewegen sollte, um eine gute Bedruckbarkeit zu gewährleisten, konnte nicht festgelegt werden.</p> <p>Während der Versuche im Labor- und Technikumsmaßstab wurden gestrichene Papiere mit Streichfarben unterschiedlicher Rezeptur hergestellt. Das Streichroh papier wurde während der Versuche konstant gehalten, Pigmente, Bindemittel und verschiedene Hilfsmittel (Gleitmittel, Vernetzer, Entschäumer, Cobinder) in der Streichfarbe wurden variiert. Die Versuche haben gezeigt, dass die in der Streichfarbe verwendeten Komponenten einen relativ großen Einfluss auf die Oberflächenspannung haben können. Als problematisch stellte sich jedoch heraus, dass bei einer Änderung der Strichbestandteile auch maßgeblich die Porosität, Rauigkeit und Struktur der Strichschicht verändert wird. Dies hat Einfluss auf das Eindringverhalten gegenüber der Druckfarbe und das Eindringen von Wasser und beeinflusst auch die gemessene Oberflächenspannung. Die Unterschiede in der Druckqualität konnten nicht eindeutig mit den Ergebnissen der Oberflächenspannungsmessung korreliert werden.</p> <p>Bei einer Koronabehandlung der Papiere vor dem Drucken wurde die Oberflächenenergie des Papiers unabhängig vom Strichaufbau der Papiere verändert. Hier konnte eine leichte Verbesserung der Bedruckbarkeit im Vergleich zu nicht koronabehandelten Mustern beobachtet werden. Zum Einfluss der Oberflächenspannung, insbesondere des polaren Anteils, auf die Bedruckbarkeit konnten wesentliche Aussagen getroffen werden.</p>
<b>Schlussfolgerung</b>	Der Papierstrich beeinflusst grundsätzlich die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers. Für die Druckqualität im Offsetdruck ist die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers jedoch nicht der entscheidende Einflussparameter. Hier ist nicht nur die Papierauswahl wichtig, sondern es sind optimale Abläufe an allen Übertragungspunkten von Feuchtmittel und Druckfarbe gefordert.
<b>Danksagung</b>	<p>Das Forschungsvorhaben AiF 14138 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.</p> <p>Unser Dank gilt außerdem den beteiligten Firmen der Papier- und Zulieferindustrie für die Probenbereitstellung und die freundliche Unterstützung bei der Projektdurchführung.</p>

---

## 2 Abstract

---

**Theme** Examining the effects of surface-active substances in coating colours on offset printability.

---

**Project objective** The objective of this research project was to evaluate the effects of the type and amount of different surface-active substances in the coating colour on the surface properties of coated paper that are responsible for its processing and use. The project focused on surface tension and its impact on the printability of paper.

---

**Results** At first paper samples of known printability were obtained from several offset paper manufacturers. The samples were tested on their properties, including the measurement of surface energy. In spite of the broad range of surface tension values measured, the paper samples showed very similar printability properties. Therefore it was not possible to define a common range of surface tension that is necessary or tolerable for good print quality.

During the project work coated paper samples were produced on a laboratory and pilot scale. For this purpose, different coating colour components were used in combination with the same kind of base paper. The study included various types and amounts of pigments, binders and additives (defoamer, thickener, insolubilizer, anti-blocking agent). It was observed that application method, drying procedure and coating colour components can influence the surface tension value to a great extent. The interpretation of measuring results was problematic because a change in coating colour components causes also changes in porosity, roughness and structure of the coating layer. The penetration characteristics of the paper in contact with printing ink or water as well as the surface tension measured are influenced by changes in coating structure. Therefore no distinct correlation could be established between the differences in print quality and the results of the surface tension measurement.

When using a corona treatment before printing the surface energy of the paper samples was enhanced irrespective of changes in the coating structure. A slightly improved printability was observed compared to the untreated samples. Fundamental statements could be made about the impact of surface tension, especially its polar part, on the printability of paper.

---

**Conclusion** Basically, the coating formulation affects the surface tension of coated paper. However, the surface tension of coated paper proved to be no predominant influence on print quality in offset printing. In addition to adequate paper properties, optimal interactions at all contact points of fountain solution, printing ink and paper are essential to assure good print results.

---

**Acknowledgement** The results presented in this report were obtained within the framework of research project No. AiF 14138 funded by the German Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi). We would like to express our gratitude for this support.

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

---

### 3 Einleitung

<b>Druckprodukte</b>	<p>Druckprodukte als Träger von Informationen haben im gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Leben eine große Bedeutung. Besonders für hochwertige Druckprodukte ist eine exzellente Wiedergabe der Druckvorlagen wesentlich. Die Druckprozesse sind daher in den letzten Jahren kontinuierlich optimiert worden, gleichzeitig steigen die Anforderungen an die Bedruckbarkeit der Papiere.</p>
<b>Offsetdruck</b>	<p>Für viele Produkte der Werbung, aber auch der Information und der Verpackung wird das Offsetdruckverfahren eingesetzt. Der Marktanteil des Offsetdrucks liegt derzeit bei ca. 50-60 % des gesamten Produktionswertes [1].</p> <p>Das Offsetdruckverfahren ist ein so genanntes Flachdruckverfahren, bei dem die nichtdruckenden Stellen der Druckform hydrophil und die druckenden Stellen hydrophob eingestellt sind und auf nahezu einer Ebene liegen.</p> <p>Die Farbe wird in mehreren Phasen übertragen. Zuerst wird die Druckfarbe im Farbwerk verrieben und verteilt, gleichzeitig wird ein Teil des wässrigen Feuchtmittels in die Farbe emulgiert. Danach wird die Druckform gefeuchtet und eingefärbt. Beim Feuchten nehmen nur die hydrophilen nichtdruckenden Stellen der Druckform das Feuchtmittel an. Da die Bildstellen der Druckform hydrophob reagieren, stoßen sie das Feuchtmittel ab und können mit einem Farbfilm belegt werden. Anschließend folgt die Übertragung der Farbe, erst auf das Gummituch und von diesem auf das Papier. Die abschließende Phase des Druckens ist das Trocken und dauerhafte Haften der Farbe auf dem Papier.</p> <p>Der Druckprozess läuft innerhalb sehr kurzer Zeiten ab, bei einer herkömmlichen 4-Farben-Bogendruckmaschine werden bei einer Druckgeschwindigkeit von 10000 Expl./h, einem Raster von 60 Linien/cm im Format 60 cm x 80 cm rund 48 000 000 Rasterpunkte pro Sekunde auf das Papier übertragen [2].</p>
<b>Wechselwirkungen</b>	<p>Die Qualität des Druckerzeugnisses wird im konventionellen Offsetdruck durch das Zusammenspiel von Maschine, Druckfarbe, Feuchtmittel und Papier bestimmt. Die Benetzung des Bedruckstoffes mit Druckfarbe spielt bei jedem Druckprozess eine große Rolle. Der Offsetdruck stellt jedoch besonders hohe Ansprüche an das Papier hinsichtlich der Gleichmäßigkeit der Druckfarbenaufnahme.</p> <p>Die Wechselwirkungen zwischen Druckfarbe, Feuchtmittel und Papier umfassen verschiedene physikalische Vorgänge [3]:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>○ Benetzungsprozess zwischen Papier und Druckfarbe bzw. Feuchtmittel</li><li>○ Absorption der Druckfarbe/Feuchtmittel durch das Papier (Wegschlagen)</li><li>○ Anlagerung des Farbstoffes der Druckfarbe an die Papieroberfläche</li><li>○ Haftung der Farbe auf dem Papier</li></ul> <p>Eine Besonderheit beim Offsetdruck gegenüber anderen Druckverfahren ist, dass das Papier sowohl hinsichtlich zwei verschiedenen Medien (Feuchtmittel und Druckfarbe) ein optimales Aufnahmevermögen haben muss.</p>
<b>Benetzungsstörungen</b>	<p>Ist die Benetzung und das Aufnahmevermögen gestört, leidet die Druckqualität. Ein ungleichmäßiges Druckbild, auch Wolkigkeit oder Mottling genannt, zählt bei den Produkten des Offsetdruckes zu den häufigsten Reklamationen. Diese Erscheinung ist vor allem in Vollton-, aber auch in Rasterflächen zu sehen. Das</p>

Mottling beim Mehrfarben-Offsetdruck betrifft immer die Farben der ersten Druckwerke einer Mehrfarben-Offsetdruckmaschine. Daher erklärt man sich diesen Druckfehler mit einem ungleichmäßigen Wegschlagen der Druckfarben in den Bedruckstoff und damit ungleichmäßige Rückspaltung der Druckfarben auf den folgenden Gummitüchern („Backtrap Mottling“). Ab der dritten Farbe, die dann nur noch gegen das vierte Gummituch läuft, macht sich das ungleichmäßige Wegschlagen wegen des kurzen Zeitintervalls zwischen dem dritten und vierten Druckwerk nicht oder nur sehr geringfügig bemerkbar. Des Weiteren hängt die Farbannahme beim Nass-in-Nass-Druck von dem Zustand der vorausgedruckten Farbe ab. Je schneller diese wegschlägt, umso besser ist die Annahme der darauf folgenden Farbe, d.h. durch das Übereinanderdrucken kann sich der Mottlingeffekt noch verstärken [4].

#### **Feuchtmittel- Aufnahme**

Als mögliche Ursachen für Mottling kommt aber auch ein ungleichmäßiges Wegschlagen des Feuchtmittelfilmes in Betracht [5]. Beim Druck wird das Feuchtmittel an den nichtdruckenden Stellen auf das Papier gebracht. Es darf sich jedoch nicht mehr auf dem Papier befinden, sobald der Bogen in das nächste Druckwerk einläuft und möglicherweise eine Farbe auf diesen Bereich gedruckt werden soll.

Deshalb kommt dem Feuchtmittel-Wegschlag bei diesem Druckverfahren so große Bedeutung zu. Um in das Papier eindringen zu können, muss der Feuchtmitteltropfen das Papier zuerst gut benetzen und auf dem Papier spreiten.

Im Falle einer schlechten Benetzung bildet der Flüssigkeitstropfen nur eine kleine Berührungsfläche mit dem Papier aus und das Feuchtmittel wird weniger gut aufgenommen. Auf Grund des Feuchtigkeitsfilms auf der Oberfläche des Papiers kommt es dann zu einem Abstoßen der Druckfarbe in nachfolgenden Druckwerken („Wischwassermottling“). Dies kann in Volltonflächen oder auch größeren Rasterflächen zu einem ungleichmäßigen Druckbild führen.

#### **Einflussgrößen**

Das Eindringen des Feuchtmittels oder der Druckfarbe in das Papier wird durch Papiereigenschaften wie Porenstruktur, Rauigkeit und auch durch die Oberflächenenergie des Papiers gesteuert. Dabei müsste der Oberflächenspannung des Papiers eine besondere Bedeutung zukommen, da diese das Benetzungsverhalten des Papiers als Bedruckstoff gegenüber der Druckfarbe und auch dem Feuchtmittel bestimmt.

Aus theoretischen Überlegungen folgt, dass für eine optimale Benetzung eines Feststoffes die Oberflächenspannung der Flüssigkeit niedriger sein muss als die des Feststoffes, höchstens jedoch gleich groß sein darf. Dies gilt auch für die meisten Substrate beim Offsetdruck. Jedoch sind die Wechselwirkungen zwischen der Druckfarbe und Papier als Bedruckstoff nicht immer mit oberflächenenergetischen Betrachtungen allein zu erklären [6, 7, 8, 9].

Während der Übertragung der Druckfarbe vom Gummituchzylinder auf das Papier kommt es zu einem Druckimpuls, d.h. die Übertragung wird, zumindest zu einem gewissen Anteil, durch den Druck forciert. Außerdem wirken durch die saugfähige Oberfläche des Papiers Kapillarkräfte.

Nicht zuletzt entstehen auch durch die Spaltung des Farb- bzw. Feuchtmittelfilms zwischen den Oberflächen des Gummituches und des Papiers immer neue materialabhängige Grenzflächensituationen.

**Oberflächen-  
spannung des  
Papiers**

Obwohl davon ausgegangen wird, dass die Oberflächenspannung des Papiers auf das Druckergebnis einen Einfluss hat, fehlt Wissen darüber, in welchen Grenzen diese liegen sollte, um eine optimale Bedruckbarkeit zu erreichen und mit welchen Mitteln sie gezielt eingestellt werden kann.

In den Studien [10, 11, 12, 13, 14] die sich mit dem Einfluss der Oberflächenspannung des Papiers auf die Druckqualität beschäftigen, sind daher oftmals widersprüchliche Aussagen zu der Bedeutung der Oberflächenspannung bzw. Polarität zu finden. Parameter, die möglicherweise beeinflusst werden, sind z.B.:

- Wegschlagverhalten
- Gleichmäßigkeit des Ausdrucks
- Farbhaftung (Rupffestigkeit, Abrieb- bzw. Scheuerfestigkeit)
- Druckglanz

**Einfluss der  
Streichfarben-  
Komponenten**

Verschiedene Komponenten der Streichfarbe (Pigmente und Dispergiermittel, Bindemittel) oder auch gezielt zugegebene oberflächenaktive Stoffe können die Oberflächenenergie des gestrichenen Papiers verändern. Wie stark allerdings die Beeinflussung der Oberflächenenergie des Papiers durch die Streichfarbkomponenten ist, ist noch weitgehend unerforscht. Vor allem im Hinblick auf neue Auftragssysteme wie Curtain Coating oder Spray Coating wird der Einsatz und die Wirkung von oberflächenaktiven Substanzen diskutiert [15, 16, 17].

Die gezielte Voraussage der Bedruckbarkeitseigenschaften der verwendeten Papiere ist für die Steuerung des Druckprozesses wichtig. Neben dem Erreichen eines konstanten Qualitätsniveaus trägt dies zur Senkung der Ausschuss- und Reklamationszahlen bei.

Die Oberflächenspannung des Papiers wird allerdings zur Charakterisierung der Bedruckbarkeit bisher nicht genutzt, daher sind auch die Grenzen, in denen der Druckprozess optimal ablaufen kann, nicht bekannt. Es fehlt Wissen darüber, wie groß der Einfluss der Oberflächenspannung des Papiers auf drucktechnisch relevante Eigenschaften wie Druckglanz, Farbbrillanz und Gleichmäßigkeit und somit für die Optimierung von Streichfarbenrezepturen tatsächlich ist.

**Forschungsziel**

Dieses Forschungsprojekt hatte das Ziel, den Einfluss oberflächenaktiver Streichfarbkomponenten auf die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers herauszuarbeiten. Außerdem sollte untersucht werden, ob die Oberflächenspannung als physikalische Größe zur Charakterisierung der Bedruckbarkeit von Offsetpapier herangezogen werden kann und inwieweit die Bedruckbarkeit durch eine Variation der Oberflächenspannung mittels Streichfarbenbestandteilen gesteuert werden kann.

## 4 Versuchsdurchführung

### Übersicht

Die Strichrezeptur sollte im Wesentlichen der einer üblichen Offset-Streichfarbe entsprechen. Zur Untersuchung des Einflusses der Streichfarbenkomponenten auf die Oberflächenspannung und die Bedruckbarkeit wurden daher keine zusätzlichen Tenside in die Streichfarbe eingebracht. Der Lösungsweg bei der Bearbeitung dieses Forschungsvorhabens sah folgende Arbeitsschritte vor:

1. Untersuchung von industriell hergestellten Offsetdruckpapieren bekannter Druckqualität bezüglich ihrer Oberflächenspannung zur Festlegung eines in der Praxis üblichen Grenzbereichs.
2. Herstellung von Streichfarben mit unterschiedlicher Rezeptur zur Produktion von gestrichenen Papieren mit gezielter Über- und Unterschreitung des Grenzbereichs der Oberflächenspannung. Das Streichrohpaper wurde während der Versuche konstant gehalten. Von den im Labor gestrichenen Papieren wurden die Benetzungs- und Bedruckbarkeitseigenschaften bestimmt, um den Einfluss der Oberflächenspannung auf diese zu überprüfen.
3. Die im Labor erhaltenen Ergebnisse wurden durch einen Streichversuch an der VESTRA-Technikums-Streichmaschine sowie durch anschließende Praxis-Druckversuche verifiziert.

Hinsichtlich der eingesetzten oberflächenaktiven Streichfarbenkomponenten sollten die Haupteinflussfaktoren auf die Veränderung der Benetzungseigenschaften ermittelt werden. Außerdem sollte der Zusammenhang zwischen der Oberflächenspannung und der Bedruckbarkeit herausgearbeitet werden. Dazu wurden die Daten einer Korrelationsanalyse unterzogen. Diese Untersuchungen fanden jeweils parallel zu den übrigen Arbeitsschritten statt.

### Messtechnik

#### Oberflächen- spannung

Die Oberflächenspannung von Festkörpern kann nicht direkt gemessen werden, sondern wird aus dem Benetzungsverhalten gegenüber definierten Flüssigkeiten ermittelt. Für die Untersuchungen in dieser Arbeit wurde die Randwinkelmethode genutzt. Dabei werden verschiedene Flüssigkeiten bekannter Oberflächenspannung auf das Papier aufgetragen und die sich bildenden Randwinkel gemessen.

Die Messung der Kontaktwinkel erfolgte mit dem Messgerät DAT 1100 von FIBRO Systems AB. Als Prüfflüssigkeiten kamen Wasser und Formamid zum Einsatz.

Für die Kontaktwinkelmessung muss die Oberfläche des Feststoffes eben und nicht saugend sein. Die Flüssigkeiten müssen sich gegenüber dem Festkörper inert verhalten. Papier und Karton verletzen im Allgemeinen die Voraussetzungen für die Oberfläche. Trotzdem konnte in der Vergangenheit eine standardisierte Messmethode entwickelt werden, durch die dieses Verfahren auch für Papieroberflächen genutzt werden kann [18].

---

**Auswertung**

Nach experimenteller Bestimmung der sich auf dem Papier einstellenden Kontaktwinkel der zwei Prüfflüssigkeiten kann mittels der YOUNG'schen Gleichung die Oberflächenspannung berechnet werden, diese lautet wie folgt:

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos \delta$$

Hierin bedeuten:

$\sigma_s$  Oberflächenspannung des Festkörpers

$\sigma_l$  Oberflächenspannung der Flüssigkeit

$\sigma_{sl}$  Grenzflächenspannung

$\delta$  Kontaktwinkel

Die dispersen und polaren Anteile der Oberflächenspannung wurden mit Hilfe des Auswerteverfahrens nach WU ermittelt [19].

---

**Weitere Papiereigenschaften und Bedruckbarkeit**

Das Prüfprogramm zur Untersuchung der Papiereigenschaften und der Bedruckbarkeit umfasste neben der Bestimmung von Oberflächenspannung und Polarität außerdem:

- Dynamisches Penetrationsverhalten (Ultraschallmethode)
  - Rauigkeit (Methode Bendtsen und Parker Print Surf)
  - Glanz (Hunter 75°, ausgewählte Muster)
  - Wegschlagtest (Prüfbau Probedruckmaschine)
  - Porenverteilung (Wischtest)
  - Mottlingtendenz
  - Farbdichte
  - Tonwertzunahme (bei Praxisdruck)
- 

## 5 Analyse der Praxispapiere

### 5.1 Vorgehensweise

**Überblick**

Die Untersuchung von Praxispapieren hatte das Ziel, Erkenntnisse über die Oberflächenspannung und Polarität marktüblicher Offset-Papiere zu generieren [20]. Damit sollten Hinweise auf einen Grenzbereich der Oberflächenspannung erarbeitet werden, in dem ein Offsetpapier gut bedruckbar ist. Zu diesem Zweck wurden von einer Druckerei bzw. Papierfabrik doppelt gestrichene holzfreie Offsetdruckpapiere mit Informationen zum Laufverhalten, Druckergebnis und etwaigen Problemen beim Druck zur Verfügung gestellt und untersucht.

---



**Mustermaterial**

In der Druckerei wurden über einen längeren Zeitraum Papiere, die in das Versuchsschema passten, aus der laufenden Produktion entnommen.

Diese Papiere lagen in einem Flächengewichtsbereich von 90 – 300 g/m<sup>2</sup> und kamen von 8 Herstellern, die in der Mehrzahl im Bogenoffset verdruckt wurden.

Zusätzlich stellte eine Papierfabrik Muster aus der eigenen Produktion zur Verfügung. Unter anderem waren dies bedruckte Rückstellmuster, die eine unterschiedlich starke Ausprägung von Mottling gezeigt haben. Diese Papiere wurden an einer Praxisdruckmaschine unter konstanten Bedingungen mit dem gleichen Druckbild bedruckt.

**5.2 Ergebnisse der Messungen****Oberflächenspannung**

Die Oberflächenspannung der kommerziellen Papiere aus der Druckerei schwankte zwischen 24 mN/m und 39 mN/m. Dabei lagen 4 Papiere unterhalb von 30 mN/m, diese kamen von 3 verschiedenen Herstellern. Auch der polare Anteil der Oberflächenspannung unterschied sich relativ stark, die Polarität der Papiere bewegte sich zwischen 24 % und 64 %.

Da durch die Musternahme in der Druckerei ein großer Teil der am Markt angebotenen Papiere abgedeckt ist, zeigt sich durch diese Messungen deutlich der Einfluss unterschiedlicher Streichfarben- und Papierrezepturen auf die Oberflächenspannung der gestrichenen Papiere.

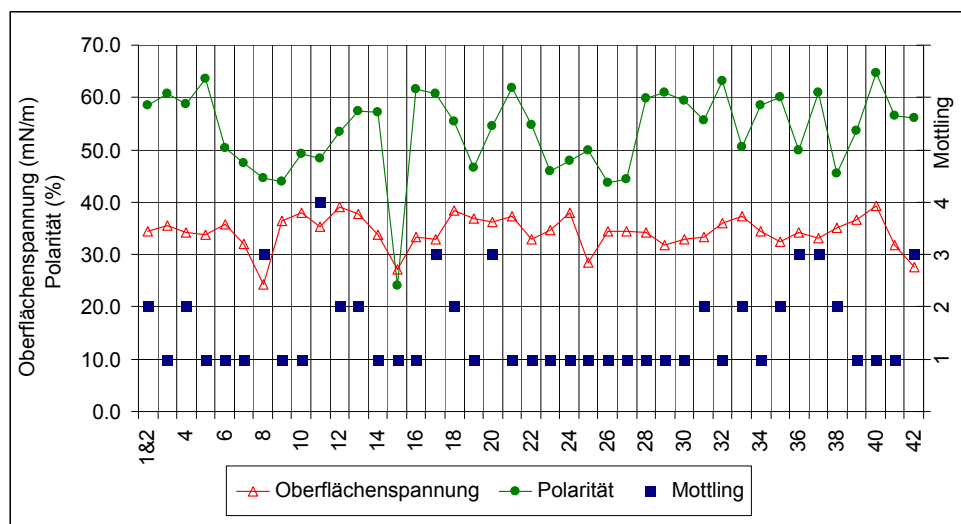


Abbildung 1: Oberflächenspannung und Polarität: Praxispapiere (Druckerei)

Die Rückstellmuster aus der Papierfabrik sind trotz unterschiedlicher flächenbezogener Masse hinsichtlich Rohpapier und Streichfarbenrezeptur geringeren Änderungen unterworfen, hier ist die Schwankungsbreite der Oberflächenspannungen der Papiere ist geringer (27,8 mN/m - 32,5 mN/m).

**Mottling**

Gleichzeitig in die Abbildung 1 eingetragen ist die visuelle Mottlingbewertung. Die Druckungleichmäßigkeit wurde durch 3 Bewerter in 4 Klassen eingeteilt. Dabei wurde das Mottling in den Volltönen und Übereinanderdruck beurteilt, es bedeutet:

- 1 wenig/kein Mottling
- 2 wenig Mottling
- 3 starkes Mottling
- 4 sehr starkes Mottling

Betrachtet man sich die zu diesen Papieren gehörenden Werte der Oberflächenspannung, spiegelt sich hier die Mottlingtendenz nicht wider. Das gleiche gilt für die Polarität.

Die Rückstellmuster aus der Papierfabrik wurden im Gegensatz zu den Druckereipapieren nicht in unterschiedlichen Druckaufträgen, sondern unter standardisierten Bedingungen mit einer Testform bedruckt. Somit sind neben den Maschinenparametern auch Druckbild, Druckfarbe und Feuchtmittelzusatz identisch und das Papier ist der einzige variierende Faktor. Das Mottling dieser Muster wurde mit dem bildanalytischen Auswertesystem DOMAS charakterisiert und der damit erhaltene Mottlingindex den Oberflächenspannungswerte gegenübergestellt. Obwohl hier im Trend zu sehen war, dass das Mottling mit steigender Oberflächenspannung geringer ausfällt, konnte ebenfalls keine signifikante Korrelation zwischen den Werten festgestellt werden.

**Penetration**

Das Penetrationsverhalten der Papiere wurde durch die dynamische Penetrationsmessung bestimmt. Die Muster unterschieden sich deutlich im Eindringverhalten. Dies gilt sowohl für das Eindringen im Kurzzeitbereich als auch bei Betrachtung längerer Zeitintervalle. Es stellte sich die Frage, ob die Unterschiede im Penetrationsverhalten in den oberflächenenergetischen Charakteristika zu suchen sind. Jedoch zeigten Kurvenverlauf und die Kennwerte  $W$  und  $Max$  keine Korrelation zu den Randwinkeln oder der Oberflächenspannung.

Die Muster, die im Druckversuch mit der Testform verwendet wurden, weisen mit ihrer grundsätzlich ähnlichen Zusammensetzung auch ein ähnliches Penetrationsverhalten auf. Größere Unterschiede zeigten sich erst im Zeitbereich ab 5 s. Der Bezug zwischen den Oberflächenspannungskennwerten und den Penetrationskurven ist bei diesen Mustern deutlicher ausgeprägt, siehe die folgende Tabelle. Da diese von nur einem Hersteller stammen, sind hier die Einflüsse durch verschiedene Rohpapier- und Streichfarbenrezepturen geringer.

	Korrelationskoeffizient	
	$W$	$Max [s]$
Kontaktwinkel Wasser	0,61	0,57
Kontaktwinkel Formamid	0,56	0,45
Oberflächenspannung	-0,60	-0,53
Polarität	-0,37	-0,45

In dieser untersuchten Mustergruppe hatte eine höhere Oberflächenspannung bzw. niedrigerer Kontaktwinkel ein tendenziell schnelleres Eindringen des Wassers zur Folge.

**Wischtest** Zur Bewertung der Porosität der Muster wurde mit einem Teil der Muster ein Wischtest durchgeführt. Das Papier wurde 7 s bzw. 2 min mit der Testfarbe in Kontakt gebracht und die daraus resultierende Färbung sowohl visuell als densitometrisch bewertet. Je intensiver die Färbung, umso höher ist die gemessene optische Dichte. Hohe Werte werden mit einer offeneren Porenstruktur des Papiers in Verbindung gebracht.

Die Ergebnisse dieser Analyse zeigten, dass sich die Praxis - Papiere in der Aufnahme der Druckfarbe teilweise deutlich unterschieden. Jedoch ließen sich diese Werte nicht mit den Ergebnissen der Oberflächenspannungsmessung in Zusammenhang bringen. Es zeigt sich lediglich ein schwacher Trend zu einem verstärkten Eindringen der Testfarbe bei erhöhter Oberflächenspannung/niedrigeren Kontaktwinkeln.

### 5.3 Zusammenfassung

<b>Zusammenhang Oberflächenspannung und Bedruckbarkeit</b>	Die Untersuchung der Praxispapiere hat gezeigt, dass sowohl die Oberflächenspannung als auch die Polarität der auf dem Markt befindlichen gestrichenen Offsetdruckpapiere sehr unterschiedlich sein kann. Trotz der unerwartet großen Schwankungsbreite der Werte von 24 - 39 mN/m, wurde die Ver – und Bedruckbarkeit der Papiere von der Druckerei als grundsätzlich gut bis sehr gut eingeschätzt. Die Unterschiede in der Druckqualität konnten nicht eindeutig mit den Ergebnissen der Oberflächenspannungsmessung korreliert werden. Es lässt sich bei den untersuchten Praxispapieren daher kein direkter Zusammenhang zwischen der Benetzung (Kontaktwinkel) und der Bedruckbarkeit herstellen.
<b>Erfassung eines Grenzbereichs</b>	Die Tests haben somit keinen Anhaltspunkt für einen Grenzbereich ergeben, in dem sich die Oberflächenspannung bewegen sollte, um eine gute Bedruckbarkeit des Papiers zu erzielen. Die ursächlichen Einflüsse auf die Bedruckbarkeit sind offensichtlich sehr komplex. Aus der Vielzahl untereinander abhängiger Prozessgrößen konnte die Oberflächenspannung mit der zur Verfügung stehenden Datenbasis nicht als signifikanter Einflussfaktor herausgearbeitet werden.
<b>Tendenzen</b>	Obwohl es schien, dass die Oberflächenspannung einen eher untergeordneten Einfluss auf die Bedruckbarkeit ausübt, zeigten sich doch bei Betrachtung der Ergebnisse folgende Trends: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Mottlingindex verringerte sich leicht bei steigender Oberflächenspannung bzw. sinkendem Kontaktwinkel.</li> <li>• Wasser (Penetrationsdynamik) bzw. Testfarbe (Wischtest) drang bei steigender Oberflächenspannung/niedrigeren Kontaktwinkeln schneller ins Papier ein, auch die Benetzungszeit war dabei kürzer.</li> </ul>

## 6 Strichauftrag im Labormaßstab

### 6.1 Vorgehensweise

#### Überblick

Zu Beginn der Arbeiten wurde anhand von Vorversuchen eine reproduzierbare und gleichzeitig leicht anzuwendende Labormethodik ausgearbeitet. Damit konnte der Einfluss der Auftragstechnik auf das Ergebnis der Oberflächenspannung minimiert werden.

Im nächsten Arbeitsschritt wurde eine Formulierung für eine Standardstreichfarbe, die sich an handelsüblichen Rezepturen orientierte, festgelegt. Ausgehend von dieser Rezeptur werden die Rezepturbestandteile mit oberflächenaktiven Charakter variiert. Diese Streichfarben wurden im Laborverfahren auf ein Streichrohpapier aufgetragen. Anschließend wurde am gestrichenen Papier die sich einstellende Oberflächenspannung, exemplarisch auch weitere Eigenschaften des Papiers, gemessen. Die Bedruckbarkeit wurde anhand von Laborandrucken bestimmt, vorzugsweise wurde das Wegschlagverhalten der Papiere bewertet.

Da mit der Variation der Strichrezeptur eine Änderung der Rauigkeit oder Porenstruktur des Papiers einhergehen kann, wurden ausgewählte Muster einer Koronabehandlung unterzogen. Mit dieser kann die Oberflächenspannung und Polarität des gestrichenen Papiers angehoben werden, ohne die allgemeine Struktur der Strichschicht zu verändern.

Darüber hinaus wurden einzelnen Proben an der Probedruckmaschine mit Druckfarben verdruckt, die gezielt in ihrer Oberflächenspannung verändert wurden. Hieraus sollten weitere Erkenntnisse über die oberflächenchemischen Wechselwirkungen beim Drucken abgeleitet werden.

---

### 6.2 Variation der Steichfarbenkomponenten

#### 6.2.1 Pigmente

##### Mustermaterial

Es kamen die drei in der Papierindustrie am häufigsten eingesetzten Arten von Pigmenten zum Einsatz: Kaolin, Talkum und natürliches Calciumcarbonat.

Mit diesen Pigmenten wurden Streichfarben hergestellt, die sich nur im Pigmenteinsatz unterschieden. Die mit diesen Streichfarben hergestellten gestrichenen Papiere mit einer Strichauftragsmenge von ca. 12 g/m<sup>2</sup> wurden nachfolgend auf ihre Oberflächenspannung und Bedruckbarkeit untersucht.

##### Oberflächenspannung

Neben der verschiedenen oberflächenchemischen Charakteristik, die die einzelnen Pigmente von Natur aus mitbringen, wird auch durch das Dispergiermittel eine oberflächenaktive Substanz in die Streichfarbe eingebracht.

---

Daher wurde ein Einfluss des Pigments auf die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers erwartet. Tatsächlich wurde in den gemessenen Kontaktwinkeln und den daraus errechneten Oberflächenspannungen der gestrichenen Papiere ein großer Unterschied gefunden. Durch den Pigmentaustausch variierten die Oberflächenspannungen der Papiere von 25 mN/m bis 42 mN/m.

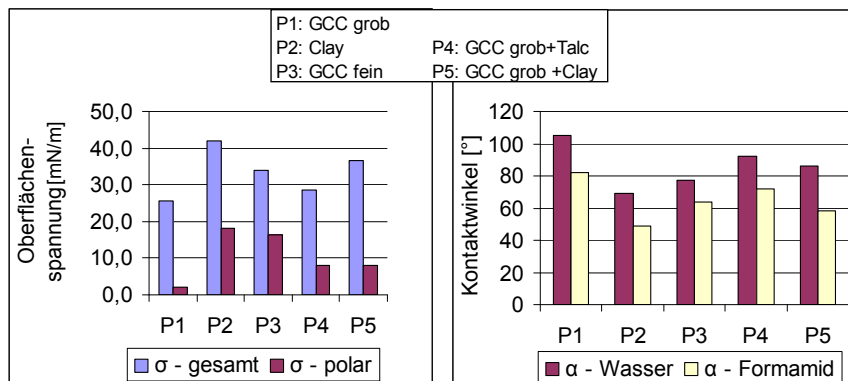


Abbildung 2: Oberflächenspannung und Kontaktwinkel, Pigmentvergleich

**Rauhigkeit und Porosität**

Die Rauhigkeit einer Strichoberfläche hängt vor allem von den Pigmenten im Strich ab. Wie zu erwarten, hat grobes Calciumcarbonat in der Streichfarbe eine höhere Rauhigkeit des Papiers zur Folge als feines Calciumcarbonat. Die niedrigste Rauhigkeit weist das Papier mit Kaolin im Strich auf.

Die Ergebnisse des Wischtests lassen näherungsweise Schlüsse auf die Porosität der Striche zu. Die Streichfarben mit den flächigen Pigmenten Kaolin und Talkum besaßen hier eine offenere Strichstruktur, mit dem feinen Calciumcarbonat im Strich stellte sich demnach die dichteste Pigmentpackung ein.

**Penetrationsverhalten und Wegschlagtest**

Mit Hilfe des Wegschlagtests am Prüfbau Probedruckgerät kann man die Eindringgeschwindigkeit der Druckfarbenöle ins Papier bewerten. Die noch feuchte Druckfarbe wird nach festgelegten Testzeiten gegen ein Standardpapier gekontert und dieses dadurch gefärbt. Die Farbdichte des Konterdrucks wird densitometrisch bestimmt. Eine hohe Farbdichte bedeutet dabei ein langsames Wegschlagverhalten der Druckfarbe, also eine langsame Trocknung.

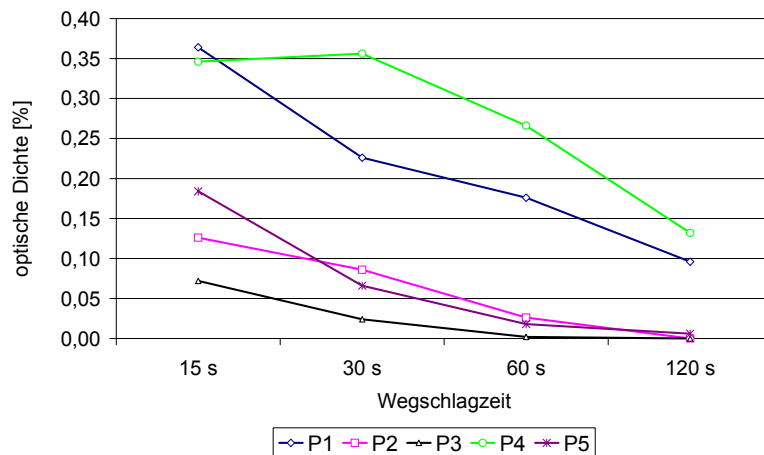


Abbildung 3: Wegschlagtest, Pigmentvergleich

Die gestrichenen Papiere weisen je nach Pigmenteinsatz ein unterschiedliches Wegschlagverhalten auf, siehe Abbildung 3. Die Druckfarbe trocknet beim talkumhaltigen Strich und beim groben Calciumcarbonat deutlich langsamer als bei den anderen Papieren.

Es besteht hier eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen des dynamischen Penetrationstests, bei dem das Wasser ebenfalls von diesen zwei Papieren am langsamsten aufgenommen wurde. Für den Wegschlagtest wird eine ölbasierende, eher unpolare Druckfarbe verwendet, für den Penetrationstest das polare Wasser. Dies bildet die auch in der Praxis beim Offsetdruck auf das Papier einwirkenden Medien ab.

Bei den Mustern P4 und P1 wurden gleichzeitig die höchsten Kontaktwinkel gemessen (Abbildung 2), sowohl gegenüber Wasser als auch Formamid (weniger polar). Dies ist mit einer schlechteren Benetzung gleichzusetzen. Hier könnte ein Zusammenhang zum langsameren Aufnahmevermögen gegenüber des Wassers und der Druckfarbe, vor allem in den kurzen Zeitbereichen, bestehen.

#### Fazit

Die Versuche haben gezeigt, dass die in der Streichfarbe verwendeten Pigmente bzw. Pigmentmischungen einen relativ großen Einfluss auf die gemessene Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers haben. Jedoch beeinflussen die Pigmente auch maßgeblich die Porosität und Rauigkeit der Strichschicht. Bei einem Austausch des Pigments wird somit nicht nur die oberflächenchemische Charakteristik der Strichschicht verändert, sondern auch die Strichstruktur. Dies hat Einfluss auf das Eindringverhalten gegenüber der Druckfarbe und das Eindringen von Wasser. Tendenziell wurde bei einer höheren Oberflächenspannung, und hier vor allem bei einem erhöhten polaren Anteil ein schnelleres Wegschlagverhalten der Druckfarbe gefunden.

## 6.2.2 Binder

### Mustermaterial

Die Bindemittel für Streichpigmente werden auf Basis verschiedener Monomere hergestellt, die die Bindekraft und Filmbildungseigenschaften bestimmen. Ob und welchen Einfluss die verschiedenen Bindertypen auf die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers haben, sollte in Versuchen mit Binderaustausch festgestellt werden. Für die Untersuchungen wurden folgende Binder ausgewählt:

	Polymertyp	Carboxylierungsgrad	Emulgatorgehalt	Filmhärte
Binder 1	Styrolbutadien-acrylnitril	niedrig	niedrig/mittel	hart
Binder 2	Styrolbutadien	sehr hoch	sehr hoch	hart
Binder 3	Styrolbutadien-acrylnitril	hoch	niedrig/mittel	hart
Binder 4	Acrylsäureester-styrol	k. A.	k. A.	hart
Binder 5	Acrylsäureester-styrolacrylnitril	k. A.	k. A.	weich

Bindemittleigenschaften, die die Oberflächenaktivität beeinflussen, sind der Carboxylierungsgrad und der Emulgatorgehalt. Je mehr Carboxylgruppen im Latex-Teilchen vorhanden sind, desto hydrophiler sind die Polymerpartikel. Bei hohem Carboxylierungsgrad steigt also die Polarität. Auch ein hoher Emulgatorgehalt sollte die Polarität und Oberflächenspannung des Binders erhöhen. Ein weiterer Einflussparameter auf die Polarität/Oberflächenspannung des Binders ist der Monomertyp.

### Streichfarben

Um den Einfluss der Bindemittel auf die Oberflächen- und Bedruckbarkeitseigenschaften der Strichschicht zu untersuchen, wurden Streichfarben mit den verschiedenen Bindemitteln hergestellt (Bindemittelmenge 11 Teile), die übrige Rezeptur blieb konstant.

Außerdem wurden die reinen Bindemittel auf Folie gestrichen, so dass sich ein reiner Bindemittelfilm ergab. Dazu wurde eine Polyesterfolie verwendet (Mylar D, 36  $\mu\text{m}$ ). Diese Untersuchungen sollten dazu dienen, die Oberflächenspannung und Polarität des Binders einzuschätzen, da das Bindemittel in der Streichfarbe mit den Pigmenten und übrigen Rezepturbestandteilen in Wechselwirkung tritt.

### Oberflächenspannung

Die Oberflächenspannung wurde sowohl an den reinen Bindemittelfilmen, als auch am gestrichenen Papier gemessen. In Abbildung 4 ist die Oberflächenspannung, gesamt und polar, aufgezeigt. Bei Betrachtung der reinen Bindemittelfilme (linke Grafik) wird deutlich, dass sich die einzelnen Binder sowohl in ihrer Oberflächenspannung als auch in ihrer Polarität unterscheiden. Der Oberflächenspannungsbereich bewegt sich von ca. 30 mN/m bis 60 mN/m, der polare Anteil von 13-35 mN/m. Dabei haben allerdings Emulgatorgehalt oder Carboxylierungsgrad, die nach Angaben des Herstellers eingeschätzt wurden, weniger Einfluss als ein veränderter Monomertyp.

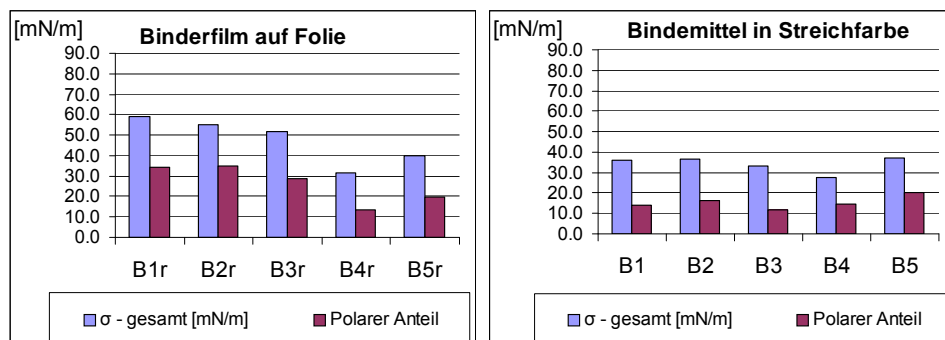


Abbildung 4: Oberflächenspannung und Polarität, Bindervergleich

Vergleicht man dazu die Ergebnisse der Bindemittelvariation in den Streichfarben (rechte Grafik), so sind hier die Unterschiede zwischen den verschiedenen Bindern weit weniger deutlich. Sowohl die Oberflächenspannung als auch deren polarer Anteil liegt bei den gestrichenen Papieren mit verschiedenen Bindern in der Streichfarbe auf etwa gleichem Niveau.

### Weitere Eigenschaften

Hinsichtlich der Porenstruktur war kein Einfluss des Bindemitteltyps feststellbar.

Die Ergebnisse des Penetrationstests zeigten im Kurzzeitbereich, der für die Betrachtung von Benetzungserscheinungen interessant ist, zwischen den eingesetzten Bindern keine wesentlichen Unterschiede. In längeren Zeitbereichen stellt sich der Strich mit dem Binder B2 am schnellsten mit Wasser durchdringbar dar.

Das Wegschlagverhalten der Druckfarbe auf den gestrichenen Papieren stellte sich jedoch bei Einsatz der verschiedenen Binder in der Streichfarbe sehr unterschiedlich dar. Bei Verwendung von B1, B2 und B3 war ein sehr schnelles Wegschlagverhalten zu beobachten, am langsamsten war das Wegschlagverhalten bei Verwendung des Binders B4.

Wie auch beim dynamischen Penetrationsverhalten ist hier ein Unterschied im Carboxylierungsgrad/Emulgatorgehalt allein nicht die Ursache für die Änderung der Papiereigenschaften.

#### Fazit

Die Versuche am reinen Bindemittelfilm haben gezeigt, dass die verschiedenen Bindemittel einen signifikanten Unterschied in ihrer Oberflächenspannung und Polarität besitzen. Werden die Binder allerdings in einer praxisüblichen Menge in einer Streichfarbe verwendet, nivellieren sich diese Unterschiede und es werden sehr ähnliche Werte für alle gestrichenen Papiere ermittelt. Der Einfluss des Bindemittels auf die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers war daher in diesen Versuchen gering.

Die Ergebnisse der Penetrations- und Wegschlagtests zeigen durchaus ein unterschiedliches Aufnahmevermögen der gestrichenen Papiere für polare und unpolare Testmedien. Jedoch ließen sich keine eindeutigen Verbindungen zur Oberflächenspannung herstellen.

### 6.2.3 Additive

#### Mustermaterial

Cobindemittel und Additive werden zur gezielten Einstellung verschiedener Streichfarben- und Papiereigenschaften eingesetzt. Dafür werden Produkte verschiedenster Stoffklassen – sowohl natürlicher als auch synthetischer Herkunft – eingesetzt.

Bei ausgewählten Farbprezepturen wurden verschiedene Hilfsmittel verändert, um deren Einfluss auf die Oberflächen- und Bedruckbarkeitseigenschaften zu untersuchen. Die weiteren Streichfarbenkomponenten blieben dabei gleich.

Es wurden folgende Komponenten in Art und/oder Einsatzmenge variiert:

<b>Gleitmittel</b>	<i>Gleitmittel 1</i>	<i>Gleitmittel 2</i>
	Calcium-Stearat	Oleinsäure
<b>Cobinder</b>	<i>Carboxymethylcellulose</i>	<i>Polyvinylalkohol</i>
	CMC1	PVOH1
	Niedrig viskos	Voll verseift, niedrig viskos
	CMC2	PVOH2
	Mittel viskos	Voll verseift, niedrig-mittel viskos
		PVOH3
		Teilsverseift, mittel viskos
<b>Vernetzer</b>	Melamin-Formaldehyd-Harz	
<b>Entschäumer</b>	Ester-Emulgator-Gemisch	



### Einfluss des Gleitmittels

Die Gleitmittel sind vor allem für die Verbesserung der Satinierbarkeit des gestrichenen Papiers von Bedeutung, da Ablagerungen an Kalandervalzen reduziert werden. Zum Einsatz kommen hier vor allem Metallsalze der Stearinsäure. Diese beinhalten sowohl einen polaren, hydrophilen Teil (die Carboxylgruppe) als auch einen unpolaren, lipophilen Teil (die Kohlenwasserstoffkette) und sind somit eine grenzflächenaktive Substanz, welche bei einem erhöhten Einsatz die Oberflächenspannung erniedrigen müsste.

Im Allgemeinen werden zwischen 0,5 - 1,5T Gleitmittel, bezogen auf das Pigment, in einer Streichfarbe eingesetzt. Bei den Versuchen wurde diese Menge bewusst unter- bzw. überschritten, sowie Stearat und Oleinsäure verglichen.

Die Abbildung 5 zeigt die Oberflächenspannungen des gestrichenen Papiers bei verändertem Gleitmitteleinsatz. Es ist ein Abfall der Oberflächenspannung mit Erhöhung des Gleitmitteleinsatzes festzustellen. Auch der Gleitmitteltyp besaß einen Einfluss auf die Entwicklung der Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers.

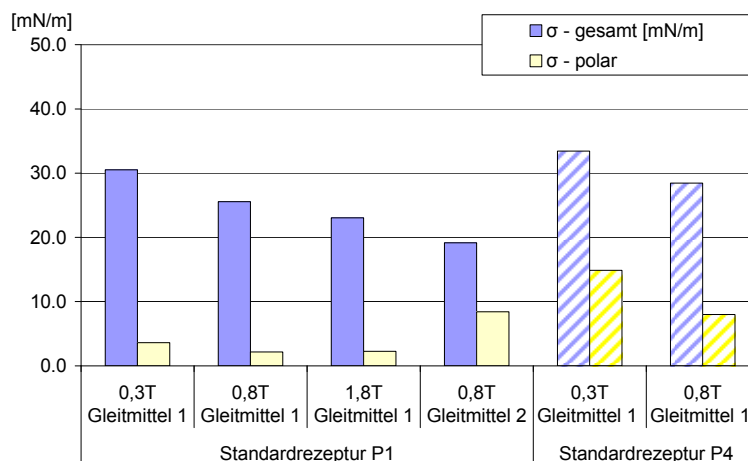


Abbildung 5: Oberflächenspannung und Polarität: Einfluss Gleitmittel

Bei der Bewertung der Bedruckbarkeitseigenschaften wurde tendenziell bei den Papieren mit höherem Gleitmitteleinsatz eine langsamere Penetration von Wasser und Druckfarbe bei einer geschlosseneren Oberfläche gefunden.

Hier deutet sich ein Zusammenhang mit der Oberflächenspannung an, bei höheren Werten stellte sich beispielsweise ein schnelleres Wegschlagen der Druckfarbe ein. Ebenso wurde bei höheren Oberflächenspannungen (weniger Gleitmitteleinsatz) ein gleichmäßigeres Wegschlagverhalten beobachtet.

### Einfluss des Entschäumers

Da ein hoher Luftanteil in Streichfarben diverse Probleme mit sich bringt, wird der Streichfarbe ein Entschäumer zugesetzt. Als Entschäumer werden vorwiegend wässrige Emulsionen höherer Fettalkohole eingesetzt, die eine sehr niedrige Polarität besitzen. Auch Entschäumer besitzen ein oberflächenaktives Verhalten. In einer Streichfarbe werden typischerweise 0,01-0,05T Entschäumer eingesetzt. Dieser Wert wurde bewusst in den Versuchen überschritten.

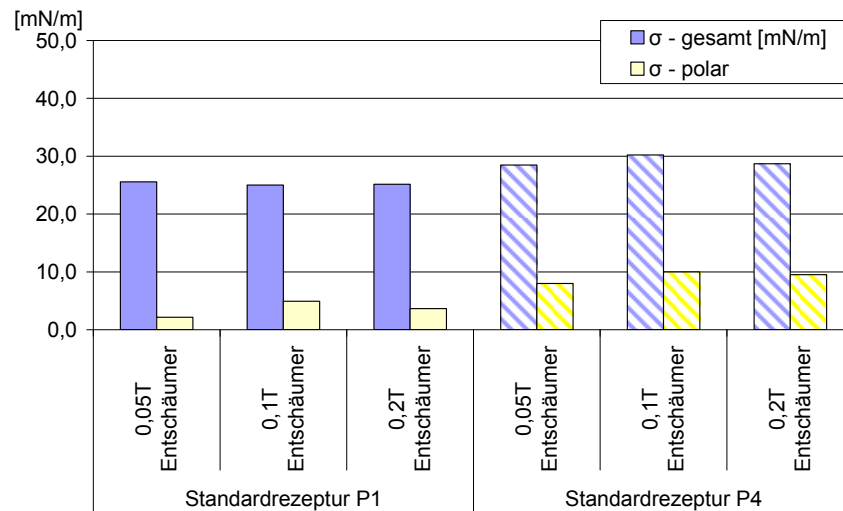


Abbildung 6: Oberflächenspannung und Polarität, Einfluss Entschäumer

In diesen Versuchen wurde kein Einfluss des Entschäumers auf die Oberflächenspannung der Strichschicht gefunden, siehe Abbildung 6. Aufgrund seiner Mobilität ist es wahrscheinlich, dass der Entschäumer beim Trocknen der Streichfarbe nicht an der Oberfläche bleibt und mit dem Wasser in das Rohpapier eindringt.

### Einfluss des Vernetzers

An Offsetdruckpapiere werden hohe Ansprüche hinsichtlich der Strichwasserfestigkeit gestellt. Durch die Zugabe eines synthetischen Binders in ausreichender Menge kann diese Anforderung erfüllt werden. Bei sehr weichen Bindern oder dem Einsatz von wasserlöslichen natürlichen Bindern wie Stärke oder CMC wird zusätzlich ein Härter verwendet. Hierbei kommen Melamin- und Harnstoffharze, aber auch Glyoxal oder Ammonium-Zirkonium-Carbonat zum Einsatz. Normalerweise werden zwischen 0,5-2,0T Härter in einer Streichfarbe eingesetzt.

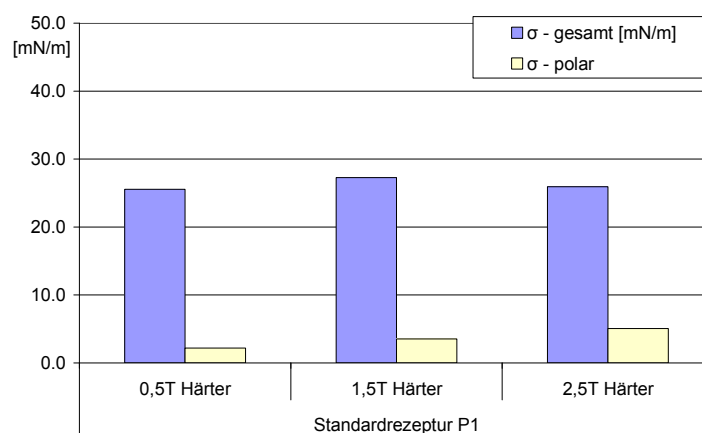


Abbildung 7: Oberflächenspannung und Polarität, Einfluss Härter

In diesen Versuchen wurde der Anteil des Härter in der Streichfarbe erhöht. Die Erhöhung der Vernetzermenge hatte keine Änderung der Oberflächenspannung zur Folge, die Polarität erhöhte sich leicht, siehe Abbildung 7.

Das dynamische Penetrationsverhalten der Papiere zeigte nur ein unwesentlich langsames Eindringen des Wassers bei höheren Zugaben von Vernet-

zer. Es wurde jedoch ein schnelleres Wegschlagverhalten der Muster mit erhöhtem Härteranteil bestimmt.

### Einfluss des Cobinders

Cobinder verbessern die Laufeigenschaften der Streichfarbe, dienen als Carrier für optische Aufheller und leisten einen Beitrag zur Bindekraft. Es können sowohl natürliche wie auch synthetische Stoffe als Cobinder verwendet werden, häufig eingesetzte Produkte sind Carboxymethylcellulose und Polyvinylalkohol. Diese kamen auch hier zur Anwendung. Die Streichfarben wurden auf Basis der Standardrezepturen P1 (GCC2), P4 (GCC2/Talkum) und P5 (GCC2/Clay) hergestellt. Da der Cobinder auch eine verdickende Funktion hat, der Feststoffgehalt und Viskosität in den Versuchen aber konstant gehalten werden sollte, wurden die eingesetzten Mengen der Cobinder angepasst.

Der Austausch von Carboxymethylcellulose (CMC) mit Polyvinylalkohol (PVOH) bewirkt bei den Standardrezepturen P1 und P4 eine Erhöhung von Oberflächenspannung und die Polarität. Bei der Standardrezeptur P5 blieben Oberflächenspannung und Polarität nahezu unverändert.

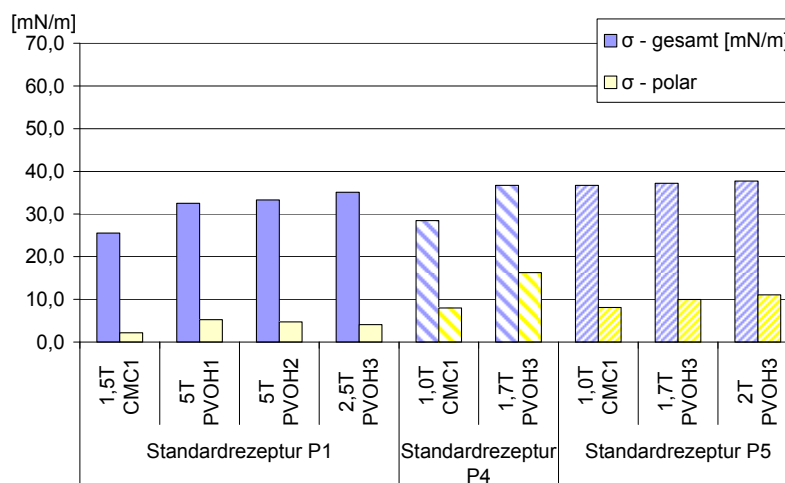


Abbildung 8: Oberflächenspannung und Polarität, Einfluss Cobinder

Die Untersuchung des Penetrationsverhaltens der verschiedenen gestrichenen Papiere ergab, dass der Austausch von CMC mit Polyvinylalkohol bei diesen Zugabemengen bei P1 und P5 eine langsamere Durchtränkung der Strichschicht mit sich brachte. Dieses Messergebnis ist nicht mit der Kontaktwinkelmessung und der Oberflächenspannung in Zusammenhang zu bringen. Bei P4 ergab sich mit dem Wechsel zu PVOH ein schnelleres Eindringen des Wassers in die Strichschicht. Gleichzeitig wurden auch eine höhere Oberflächenspannung und eine höhere Polarität gemessen, die Hydrophilie der Oberfläche stieg also an. Dies könnte eine schnellere Penetration des Wassers ermöglichen, der Widerspruch zu den weiteren gemessenen Kurven bleibt bestehen.

Die Unterschiede im Wischtest und im Wegschlagtest zwischen den einzelnen Rezepturen sind nicht signifikant.

## 6.2.4 Zusammenfassung – Variation der Streichfarbenkomponenten

### Ergebnisse

Das Ziel dieser Versuche war, den Einfluss der verschiedenen Streichfarbenkomponenten auf die Oberflächenspannung und Bedruckbarkeit des gestrichenen Papiers zu ermitteln. Dazu wurden Pigmente, Bindemittel und verschiedene Hilfsmittel in der Streichfarbe in Art und/oder Menge ausgetauscht. Es wurden nur Substanzen untersucht, die in Streichfarben für Offsetpapiere normalerweise zu Einsatz kommen, wurden keine zusätzlichen Tenside hinzugefügt.

Der Einfluss der Strichfarbenkomponenten auf die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers war bei den meisten untersuchten Stoffgruppen relativ gering, auch bei denen die sich oberflächenaktiv verhalten, wie Gleitmittel oder Entschäumer. Auch die Menge der in den Bindemitteln enthaltenen Emulgatoren scheint die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers nicht wesentlich zu beeinflussen. Der Einsatz unterschiedlicher Pigmente jedoch hatte den stärksten Einfluss auf die Oberflächenspannung und Polarität der Strichschicht.

Die Bedruckbarkeit wurde anhand von Probedrucken an der Prüfbaumaschine, durch Untersuchung des dynamischen Penetrationsvermögens sowie durch die Porenstrukturanalyse mittels Wischtest bewertet.

### Einfluss der Oberflächentopografie

Die Erwartung, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Oberflächenspannung und der Bedruckbarkeit besteht, hat sich mit diesen Messungen nicht bestätigen lassen. Die Oberflächenspannung selbst wird über die Kontaktwinkelmessung stark von der Rauigkeit der Papiere beeinflusst, siehe Abbildung 9. Daher ist es schwierig, in Bezug auf die Bedruckbarkeit die ursächlichen Einflüsse der Oberflächenspannung und Grenzflächenenergie herauszuarbeiten.

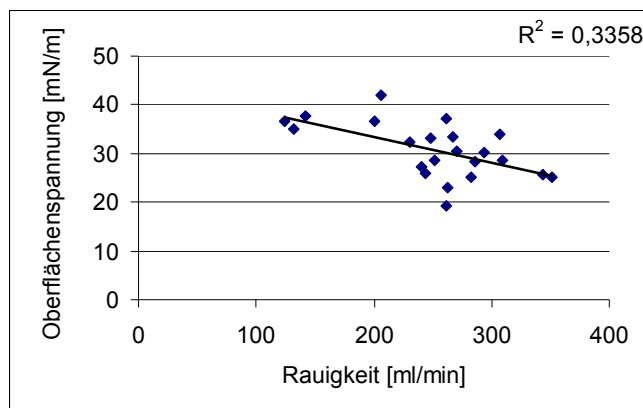


Abbildung 9: Abhängigkeit Oberflächenspannung und Rauigkeit des Papiers

### Korrelationsbetrachtung

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Eigenschaften. Dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten, Werte zwischen  $\pm 1$  und  $\pm 0,8$  sind dunkel unterlegt, Werte zwischen  $\pm 0,4$  und  $\pm 0,8$  hell.

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass die oberflächenenergetischen Eigenschaften des Strichs ebenfalls einen Einfluss auf das Eindringen der Druckfarbe (Wegschlagtest) und des Wassers (Penetration) haben müssen, denn die Korrelationskoeffizienten der Kontaktwinkel sind stets höher als die der Rauigkeit allein.

	$\sigma$ - gesamt	Rauhig- keit	Wegschlagtest				Wischttest		Penetration	
			15s	30s	60s	120s	7s	2min	W	Max
$\alpha$ - Wasser	-0,83	0,40	0,37	0,31	0,29	0,37	0,37	0,39	0,17	0,30
$\alpha$ - Formamid	-0,99	0,54	0,32	0,31	0,23	0,25	0,29	0,39	0,06	0,17
$\sigma$ - dispers	0,50	-0,44	0,04	-0,03	0,10	0,21	0,08	-0,10	0,22	0,23
$\sigma$ - polar	0,61	-0,25	-0,35	-0,27	-0,29	-0,40	-0,38	-0,35	-0,24	-0,35
$\sigma$ - gesamt	-	-0,58	-0,29	-0,28	-0,19	-0,20	-0,29	-0,40	-0,04	-0,14
Rauhigkeit	-	-	-0,21	-0,16	-0,16	-0,10	-0,04	0,25	-0,08	0,01
15s			-	0,93	0,87	0,80	0,28	0,04	0,53	0,57
30s				-	0,95	0,87	0,35	0,16	0,68	0,69
60s					-	0,95	0,24	0,05	0,74	0,74
120s						-	0,19	0,02	0,80	0,82
7s							-	0,89	0,07	0,16
2min								-	0,00	0,02
W									-	0,87
Max										-

Hierbei hat offensichtlich der polare Anteil der Oberflächenspannung eine höhere Bedeutung als der disperse, was mit den Beobachtungen während einiger Versuche übereinstimmt. Mehrfach wurde bei niedriger Polarität ein langsames Wegschlagverhalten der Druckfarbe in die Papiere beobachtet, auch die Papiere mit der langsamsten Wasserpenetration hatten eine niedrige Polarität.

Durch die Messproblematik ist es allerdings fraglich, ob diese Aussagen verallgemeinert werden können. Um Empfehlungen für die Optimierung einer Streichfarbe (und Strichschicht) hinsichtlich Oberflächenspannung oder Polarität erarbeiten zu können, sind tiefere Untersuchungen der Oberflächenspannung des Papiers nötig.

### 6.3 Koronabehandlung

#### Versuchsplan

Um den Einfluss der Oberflächenspannung und Polarität des Papiers näher zu untersuchen, und dabei den Einfluss der Strichstruktur und Rauigkeit auszuschließen, wurden ausgewählte Papiere einer Koronabehandlung unterzogen. Zwischen zwei Elektroden wird ein Stromfluss durch die Luft erzeugt, infolgedessen kann sich an der Papieroberfläche Sauerstoff anlagern. Die Oberflächenspannung, und vor allem die Polarität, wird bei der Koronabehandlung erhöht, ohne dass sich die strukturellen Eigenschaften des Papiers wie Porosität und Porengröße verändern.

Das Papier für diese Versuche wurde mit gleich bleibender Streichfarbenrezeptur am Helicoater gestrichen, da diese Maschine bei relativ geringem Arbeitsaufwand praxisnähere Auftragsbedingungen bietet als das Handrakel. Im Gegensatz zum Handrakel wird die Dosierung der Streichfarbe mit Hilfe eines Stiff-Blades bewerkstelligt. Die Auftragsgeschwindigkeit am Helicoater betrug 600m/min. Das Strichgewicht lag bei ca. 10 g/m<sup>2</sup>. Es wurden Versuche mit unterschiedlicher Trocknungsführung durchgeführt, für die Koronabehandlung wurden die folgenden ausgewählt::

- HT1 20 s IR Trocknung direkt nach Auftrag, keine Heißluft, keine Kaltluft
- HT6 20 s IR-Trocknung + Heißluft direkt nach Auftrag, danach 20 s Kaltluft
- HT12 nach Auftrag 10 s Pause, danach 20 s IR-Trocknung, keine Heißluft

Für die Koronabehandlung wurde ein mobiler Koronatisch der Firma Tigres Dr. Gerstenberg GmbH verwendet, wobei die Koronaintensität durch das manuelle Verschieben des „Koronorhans“ verändert werden kann. Es wurde versucht, durch Gewährleistung eines gleich bleibenden Vorschubs die Koronaintensität auf einem gleichen Level zu halten.

## Oberflächen- spannung

Im Gegensatz zu den Handrakelversuchen im Labormaßstab (Vorversuche) hatten die einzelnen Trocknungsvarianten relativ wenig Einfluss auf die Oberflächenspannung, wobei bei den Versuchen mit einer anfänglichen Trocknungsverzögerung, hier repräsentiert durch HT12, eine leicht erhöhte Oberflächenspannung beobachtet wurde.

Die Oberflächenspannungsmessung und die Papierprüfung wurden zeitnah zu der Koronabehandlung durchgeführt. Deutlich ist der erhaltene Effekt an den gemessenen Kontaktwinkeln zu sehen (Abbildung 10). Die koronabehandelten Muster ließen sich mit beiden Testflüssigkeiten besser benetzen. Aus diesen Daten ergaben sich Oberflächenspannungen, die um ca. 5-10 mN/m höher waren als die der unbehandelten Muster. Der Hauptanteil dieses Unterschieds ist auf die Erhöhung des polaren Anteils zurückzuführen.

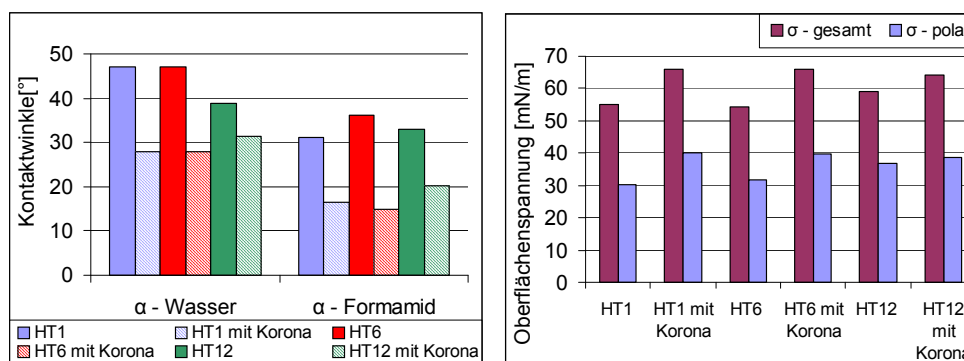


Abbildung 10: Kontaktwinkel und Oberflächenspannung, Koronabehandlung

## Papier- eigenschaften

Die Auswirkungen der Koronabehandlung auf die untersuchten Papiereigenschaften war jedoch relativ gering. Der Wischtest belegte die identische Porenstruktur der Muster, die verschiedenartige Trocknung hatte hier keinen Einfluss auf die Ausbildung der Strichschicht. Ein verändertes Eindringverhalten der Testfarbe aufgrund der erhöhten Oberflächenspannung durch die Koronabehandlung konnte weder bei diesem Test noch beim Wegschlagtest gefunden werden.

Obwohl auch das dynamische Penetrationsverhalten der Muster sehr ähnlich war, konnte man eine leichte Beschleunigung des Eindringens des Wassers verzeichnen, wenn das Papier durch die Koronabehandlung eine höhere Polarität besaß.

Für eine optimale Bedruckbarkeit ist es gewünscht, dass das Wischwasser beim Offsetdruck schnell und gleichmäßig in das Papier eindringen kann. Da in diesem Versuch von einer gleichen Rauigkeit und Strichstruktur auszugehen ist, zeigt sich in diesen Ergebnissen der Einfluss der Oberflächenspannung und Polarität auf die Bedruckbarkeit. Unklar ist allerdings, wie lange der Effekt der Koronabehandlung anhielt, und ob dieser durch die Probenvorbereitung für die Tests verringert wurde. Dies könnte eine Erklärung für das unveränderte Wegschlagverhalten der Muster sein.

## 6.4 Einsatz verschiedener Druckfarben

### Material

Theoretisch betrachtet ist das Benetzungsverhalten der gestrichenen Papiere beim Offsetdruck nicht nur abhängig von der Oberflächenspannung des Papiers, sondern auch von der Oberflächenspannung der weiteren am Druck beteiligten Komponenten (Feuchtmittel, Druckfarbe).

Durch die Variation der Grenzflächeneigenschaften von Druckfarben könnten sich bei Papieren mit gleicher Oberflächenspannung unterschiedliche Druckergebnisse einstellen. Daher sollten Druckfarben unterschiedlicher Oberflächenspannungen untersucht werden, um weitere Erkenntnisse über die Auswirkung einer Oberflächenspannungsänderung auf die Druckqualität zu erhalten.

Allerdings stellte sich heraus, dass die Oberflächenspannung der Druckfarbe in der Druckindustrie kein Bewertungskriterium ist, der Schwerpunkt liegt auf der Viskosität und der Zügigkeit der Druckfarbe.

Von einem Druckfarbenhersteller konnten jedoch Farbmuster bezogen werden, die im Labormaßstab gezielt in ihrer Polarität verändert wurden. Um die Polarität zu verändern, das Wegschlagverhalten aber weitestgehend unverändert zu lassen, wurden der Druckfarbe veränderte Anteile organischer Säure zugegeben. Damit sollte die Zahl der Carboxylgruppen steigen und die Druckfarbenschicht polarer und damit auch hydrophiler werden. Aufgrund der im Offsetdruck üblichen hochviskosen Druckfarben konnte diese Hypothese nicht messtechnisch belegt werden.

### Andruck

Mit den verschiedenen Druckfarben wurden Andrucke an der Prüfbau Probedruckmaschine angefertigt, es wurde das Standardpapier APCO II/II benutzt, der Farbauftrag betrug dabei 1,5 g/m<sup>2</sup>.

Während die optische Bewertung der Andrucke bis zu einem Anteil von 5 % organischer Säure keine Unterschiede ergab, wurden bei Zugabe von 10 % organischer Säure Benetzungsstörungen auf dem Papier beobachtet. Offensichtlich wurde hier die Oberflächenspannung der Druckfarbe größer als die Oberflächeenergie des Papiers, die schlechte Benetzung zeigt sich in einem perligen Druckfarbenfilm.

Diese Beobachtung als Ergebnis der Wechselwirkungen Druckfarbe-Papier spiegeln sich allerdings nicht in den Oberflächenspannungen des trockenen Druckfarbenfilms wider. Hier wurden keine wesentlichen Änderungen der Oberflächenspannung gefunden ( $35 \pm 1$  mN/m). Auch der polare Anteil blieb konstant (10 -12,5 mN/m).

### Wegschlagtest

Mit den Druckfarben wurden außerdem Wegschlagtests durchgeführt. In der nachfolgenden Abbildung sind die Ergebnisse grafisch dargestellt.

Die Wegschlagtests ergaben: Je höherpolarer die Druckfarbe, umso langsamer drang in den ersten Sekunden die Druckfarbe in das Papier ein, der aufgelegte Konterstreifen zeigt hier eine höhere optische Dichte. Allerdings ist der Einfluss der Polarität der Druckfarbe bei längeren Wegschlagzeiten nicht mehr zu beobachten.

Es stellte sich hier bei der Druckfarbe mit der theoretisch höchsten Oberflächenspannung das langsamste Wegschlagen der Druckfarbe im Kurzzeitbereich ein, was auch eine Auswirkung der beobachteten schlechten Benetzung sein kann.

Das Druckfarbenmuster mit 5% zusätzlichen organischen Säuren zeigt zwar ein ähnlich langsames Wegschlagverhalten, jedoch keine Auffälligkeiten im An- und Druck. Somit zeigen auch diese Untersuchungen, dass die messtechnische Erfassung der oberflächenenergetischen Wechselwirkungen beim Drucken schwierig ist.

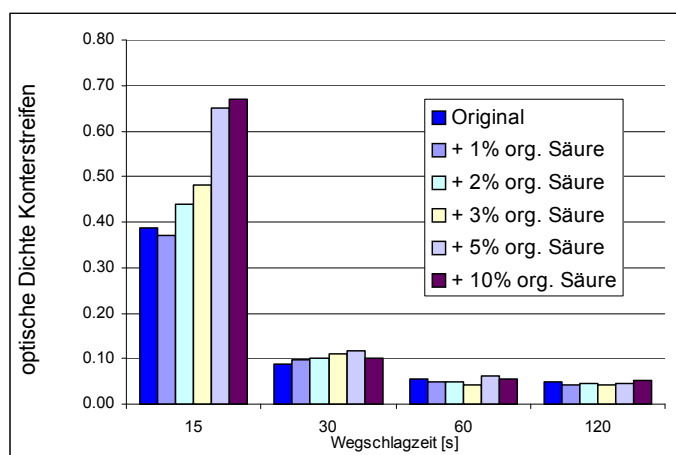


Abbildung 11: Wegschlagtest. Papier Apco II/II, verschiedene Druckfarben

## 6.5 Veränderung der Oberflächenspannung während des Drucks

### Versuch

Das gestrichene Papier kommt während des Drucks mit Feuchtmittel in Kontakt. Es stellte sich die Frage, ob die Oberflächenspannung des Papiers durch die Aufnahme des Feuchtmittels verändert wird, da das Feuchtmittel oberflächenaktive Substanzen enthält. Es wäre möglich, dass diese beim Druck auf das Papier übergehen.

Dazu wurden aus einer Druckerei die folgenden Muster entnommen:

- 1 unbedrucktes Muster (UB)
- 1 vollständig bedrucktes Muster (BB)
- Je ein Muster aus den unterschiedlichen Druckwerken: cyan, magenta, yellow, black (CB, MB, YB, KB)

Die Stelle, an der die Oberflächenspannung gemessen wurde, ist auf den einzelnen Farbauszugsbögen unbedruckt, aber im Druckbild, war also mit Feuchtmittel in Kontakt. Verglichen wurden die Werte dieser Stelle mit denen vom unbedruckten und am vollständig bedruckten Bogen. Dieser Vergleich zeigte keine Beeinflussung der Oberflächenspannung während des Druckprozesses. Daher ist die ursprüngliche Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers für den Druckprozess relevant.

## 6.6 Ergebnisse aus Labormaßstab – Fazit

### Zusammenfassung

Nachdem die Untersuchung von industriell hergestellten Offsetdruckpapieren die Festlegung eines praxisüblichen Grenzbereichs der Oberflächenspannung nicht zuließen, sollte anhand von Streichversuchen im Labormaßstab heraus-



gearbeitet werden, inwieweit sich Streichfarben mit veränderlichen Anteilen an oberflächenaktiven Komponenten auf die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers auswirken.

Dazu wurden Streichfarben mit unterschiedlicher Rezeptur auf ein konstant bleibendes Streichrohpapier aufgetragen. Die Auftragsmethodik wurde anhand von Vorversuchen verifiziert. Von den im Labor gestrichenen Papieren wurden die Benetzungs- und Bedruckbarkeitseigenschaften bestimmt, um den Einfluss der Oberflächenspannung auf diese zu überprüfen.

Hinsichtlich der eingesetzten oberflächenaktiven Streichfarbenkomponenten muss davon ausgegangen werden, dass die Oberflächenspannung der Streichfarben differierte. Am gestrichenen Papier wurden jedoch nur geringe Unterschiede gefunden. Die oberflächenaktiven Streichfarbenkomponenten, die sich in der flüssigen Phase bemerkbar machen, verlieren möglicherweise bei einer Trocknung an Wirkung, indem sie in das Papierinnere penetrieren. Der größte Effekt auf die Oberflächenspannung wurde durch Einsatz verschiedener Pigmente erhalten, hier existiert jedoch höchstwahrscheinlich ein messtechnischer systematischer Fehler.

Um den Einfluss der Strichstruktur und Rauigkeit auf die Werte der Oberflächenspannung des Papiers auszuschließen, wurden ausgewählte Papiere einer Koronabehandlung unterzogen. Hier konnte ein beschleunigtes Eindringen von Wasser in das Papier beobachtet werden, was auf die erhöhte Polarität zurückgeführt werden kann.

Bei Andruckversuchen mit einem Standardpapier und Druckfarben unterschiedlicher Polarität wurde beobachtet, dass Benetzungsstörungen erst bei sehr drastischer Änderung der Druckfarbe auftraten. Dabei bewirkte eine Erhöhung der Polarität der Druckfarbe ein verzögertes Wegschlagen ins Papier.

Durch die Messung der Oberflächenspannung des Papiers während des Drucks in einer Praxis-Bogenoffsetmaschine konnte festgestellt werden, dass durch den Kontakt des Papiers mit dem tensidhaltigen Feuchtmittel die ursprüngliche Oberflächenspannung nicht verändert wird.

---

**Kontaktwinkel-  
messung**

Die experimentelle Messung des Kontaktwinkels an der Grenzfläche der festen gegen die flüssige Phase wurde als Methode zur Ermittlung der Benetzung verwendet. Es wurde festgestellt, dass eine unterschiedliche Strichstruktur, wie sie durch den Einsatz der verschiedenen Streichfarbenkomponenten eingestellt wurde, die Messwerte der Kontaktwinkel und die daraus errechnete Oberflächenspannung signifikant beeinflusst. Somit können die in Abhängigkeit von der Strichfarbenrezeptur ermittelten Oberflächenspannungen nur für eine erste Orientierung genutzt werden.

---

**Bedruckbarkeit**

Die für die Bewertung der Bedruckbarkeit herangezogenen Tests bilden nur Teilaspekte der Bedruckbarkeit ab. Da es derzeit keine verlässliche Methode zur Vorhersage der Offset-Bedruckbarkeit im Labor gibt, sind Praxisdrucke zur Bewertung der Bedruckbarkeit unumgänglich. Mit diesen könnte auch der Zusammenhang zwischen Oberflächenspannung und Bedruckbarkeit deutlicher werden.

---

## 7 Übertragung in die Praxis: Vestra und Praxisdruck (Arbeitsschritt 3)

### 7.1 Streichversuch an der VESTRA Versuchsstrechanlage

#### VESTRA-Streichmaschine

Um die in den Handrakelversuchen erhaltenen Ergebnisse unter Praxisbedingungen zu verifizieren, sind Streichversuche auf einer Pilotanlage unerlässlich. Dazu wurden ausgewählte Rezepturen aus den vorangegangenen Versuchen in einem Versuch an der VESTRA-Versuchsanlage verstrichen. Das so unter Praxisbedingungen gestrichene Papier kann an einer Praxisanlage verdruckt werden, was abschließende Aussagen über den Zusammenhang zwischen der Oberflächenenergie des Papiers und der Bedruckbarkeit liefert.

Die folgende Tabelle spezifiziert die Arbeitsbedingungen an der Versuchsstreichmaschine:

Arbeitsbreite	590 mm
Auftragsgewicht pro Seite	10 g/m <sup>2</sup>
Auftragswerk	Jagenberg COMBI-Blade, Egalisierung: Bent-Blade
Geschwindigkeit	1200 m/min bzw. 800 m/min
Trocknung	IR und/oder Heißluft
Satinage	Superkalander, 11 Nips Geschwindigkeit 300 m/min Streckenlast 180 kN/m Temperatur 90 °C

#### Versuchsplan

Mit diesen Versuchen wurden die Einflussfaktoren nachgestellt, die im Labormaßstab die größten Auswirkungen auf die Oberflächenspannung des Papiers gezeigt hatten:

- a) die Trocknungsbedingungen
- b) eine Koronabehandlung
- c) Veränderung des Streichfarbenrezeptur.

Das Versuchsprogramm ist in der folgenden Tabelle aufgeführt. Als Rohpapier wurde ein industriell vorgestrichenes holzfreies Papier mit einer Flächenbezogenen Masse von 110 g/m<sup>2</sup> genutzt. Auf dieses wurde in den Versuchen ein Deckstrich aufgetragen. Die Rezeptur des Deckstrichs war bei T1-T4 dieselbe, bei T1, T2 und T3 wurde die Trocknungsführung variiert. T3 repräsentiert in dem Fall die Standardeinstellung. Mit dem Versuch T4 wurde eine Rolle Papier angefertigt, die vor dem Bedrucken koronabehandelt werden sollte.

T5 beinhaltet ein größeres Calciumcarbonat, T6 einen veränderten Binder und T7 einen erhöhten Anteil an Gleitmittel.

Versuche	Deckstrich	Pre1	Pre1	Pre1	Pre1	Pre1	Pre1	Pre1	
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
			CB						
<b>Pigmente</b>		FG(%)							
CaCO3 fein		78,2	70,00	70,00	70,00	70,00		70,00	
CaCO3 grob		78,2					70,00		
Kaolin		72,8	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	
<b>Binder/Additive</b>									
CMC		100	1,00				1,00	1,00	
Binder 1 (rel. hart)		50	11,00	dito	dito	dito	11,00	11,00	
Binder 5 (weich)		50						11,00	
Gleitmittel		50	0,80			evtl	0,80	1,80	
OBA		100	0,50			Korona	0,50	0,50	
Entschäumer		50	0,05				0,05	0,05	
<b>FG Streichfarbe</b>		%	66,8	66,8	66,7	66,8	67,0	66,4	
<b>Viskosität (Brookf. 100)</b>		mPas	2090	2090	2090	2030	1530	1880	
<b>pH - Wert</b>			8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	
<b>Coater-Geschwindigkeit</b>		m/min	1200	800	1200	1200	1200	1200	
<b>Stichgewicht</b>									
	Seite 1	g/m <sup>2</sup>	10,2	10,1	10,2	10,3	10,3	10,2	
	Seite 2	g/m <sup>2</sup>	10,0	10,4	10,3	10,2	10,0	9,9	
<b>Feuchte</b>									
	Seite 1	%	5,2	5,2	5,2	5,2	5,1	5,2	
	Seite 2	%	4,8	5,0	5,0	5,2	5,0	5,0	
<b>Type Blade</b>			BB	BB	BB	BB	BB	BB	
<b>Trocknung IR/AIF</b>			nur IR	nur Air	opt.IR/Air	opt.IR/Air	opt.IR/Air	opt.IR/Air	
<b>Ausrüstung</b>									
<b>Kalander:</b>			300 m/min., Liniendruck 180 Nmm, Temperatur. 90 Grad, 11 Nips						

## Versuch

Die glattere Seite der Papiere wurde als Oberseite definiert und jeweils zuerst gestrichen. Die Versuche konnten ohne Störungen abgearbeitet werden. Trotz unterschiedlicher Trocknungsführung konnte bei allen Versuchen etwa die gleiche Bahntemperatur erreicht werden. Das ist von Bedeutung für ein Erreichen der Filmtemperatur des Bindemittels. Die Streichfarben wiesen ein problemloses Laufverhalten auf. Die gestrichenen Papiere zeigten eine gute Gleichmäßigkeit und geringe Zweiseitigkeit. Nach dem Streichen wurden alle Muster mit den gleichen Einstellungen am Superkalender satiniert.

## 7.2 Papierprüfung

### Allgemein

Von den gestrichenen Mustern wurden die folgenden Eigenschaften bestimmt:

- Flächengewicht, Dicke, Spezifisches Volumen
- Glanz T75, Rauigkeit nach PPS
- Oberflächenspannung
- Penetrations- und Farbwegschlagverhalten

Die Prüfung des Penetrations- und Farbwegschlagverhaltens erfolgte dabei nur an den satinierten Mustern, das weitere Messprogramm umfasste auch die unsatinierten Papiere. Zwischen den einzelnen Versuchen stellten sich hier keine signifikanten Unterschiede ein. Eine Ausnahme bildet T5, welches das größere Pigment im Strich enthält. Hier findet man eine höhere Rauigkeit und demzufolge auch einen deutlich niedrigeren Glanz als bei den anderen Mustern.

### Oberflächenspannung

In der nachfolgenden Abbildung 12 ist die Oberflächenspannung der gestrichenen Papiere dargestellt. Die linke Grafik zeigt dabei die Ergebnisse der unsatinierten Muster, jeweils für Oberseite (FS) und Siebseite (FS), die rechte Grafik die satinierten Muster.

Die Oberflächenspannung der Muster variierte um ca. 10 mN/m. Durch die Satinage der Muster wurde die Oberflächenspannung leicht verringert. Hierbei spielt wahrscheinlich die Verdichtung des Strichgefüges eine stärker Rolle als

die Verringerung der Rauigkeit.

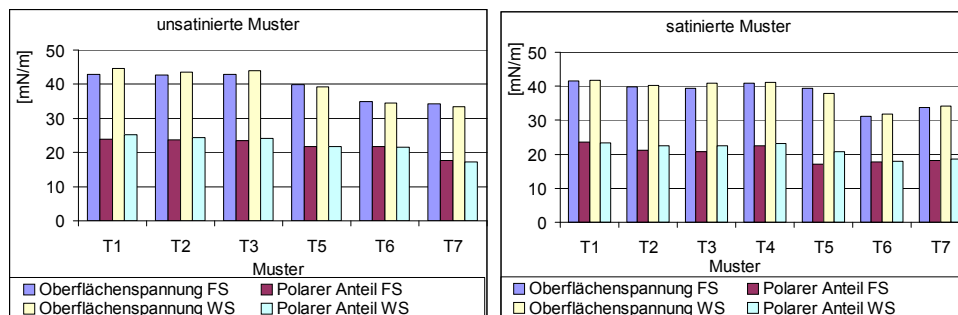


Abbildung 12: Oberflächenspannungen, VESTRA Versuch

Überraschenderweise wurden im Gegensatz zu den Versuchen im Labormaßstab die größten Unterschiede in der Oberflächenspannung nicht bei dem Muster mit der höheren Rauigkeit gefunden (T5), sondern bei den Papieren mit einem veränderten Binder- oder Gleitmitteeinsatz (T6, T7). Ursache hierfür könnte sein, dass die praxisgerecht gestrichenen und satinierten Papiere sehr ähnliche Rauigkeiten auf niedrigem Niveau besitzen, wogegen die Labormuster größere Unterschiede aufwiesen.

Die Trocknungsführung beeinflusst die Wanderungsbewegungen der flüssigen Phase innerhalb des Papiers, daher könnte theoretisch auch die Konzentration von oberflächenaktiven Substanzen an der Blattoberfläche differieren. Jedoch konnte festgestellt werden, dass unter Praxisbedingungen der Einfluss der Trocknung (IR und/oder Heißluft) auf die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers vernachlässigt werden kann.

#### Penetration

Das dynamische Penetrationsverhalten der gestrichenen und satinierten Muster stellte sich über die verschiedenen Versuche recht einheitlich dar. Die Unterschiede zwischen der Siebseite (WS), in die das Wasser schneller penetriert, und der Oberseite (FS) sind hier oftmals größer als die Unterschiede zwischen den einzelnen Streichfarbenrezepturen. Hier spielt sicherlich der Strichaufbau während der Trocknung eine große Rolle. Eine direkte Beziehung zur Oberflächenspannung ist nicht festzustellen.

#### Wegschlagtest

Das Muster T5 besitzt aufgrund des groben Pigments im Strich und der daraus resultierenden veränderten Porenstruktur das langsamste Wegschlagverhalten, siehe Abbildung 13. Obwohl sich die restlichen Muster auf etwa demselben Niveau bewegen, so tendieren die Muster mit niedrigerer Oberflächenspannung (T6 und T7) zu einem langsameren Wegschlagverhalten. Auch hier ergaben sich zwischen den zwei Seiten des Papiers Unterschiede, am deutlichsten bei T6 zu sehen, dieses Muster besaß auch im dynamischen Penetrationsverhalten die stärkste Zweiseitigkeit.

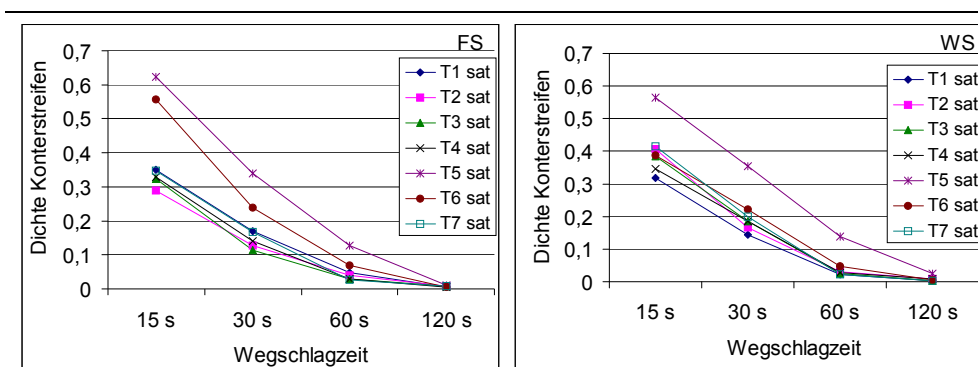


Abbildung 13: Wegschlagtest, VESTRA Versuch

### 7.3 Praxisdruck

#### Maschinen- einstellungen

Die an der VESTRA gestrichenen Papiere wurden in einer Druckerei an einer Praxisanlage verdruckt. Dabei herrschten die folgenden Bedingungen:

Druckmaschine	Rollenoffset Heidelberg Web 8
Druckfarbe	scheuerfeste Heatset-Druckfarbe
Feuchtmittelzusatz	3,5 %
Alkoholzusatz	7 % Isopropanol
Druckform	PTS Testdruck
Geschwindigkeit	23600 Expl./h (= 247,8 m/min)

Ursprünglich war an eine separate Koronabehandlung einer Rolle aus dem VESTRA Versuch gedacht. Nach Prüfung der baulichen Gegebenheiten in der Druckerei konnte jedoch eine Koronaanlage direkt nach der Abrollung in der Druckmaschine installiert werden, die es möglich machte, alle Versuchspapiere in der Druckmaschine einer Koronabehandlung zu unterziehen. Dazu wurde eine Korona-Elektrode im Abstand von 1,5 mm über einer metallischen Leitwalze angeordnet.

Die Muster wurden an der oberliegenden Seite (WS) zeitweise mit Korona vorbehandelt und das Druckergebnis konnte mit dem Resultat ohne Vorbehandlung verglichen werden. Die errechnete Koronadosis lag dabei etwa bei ca. 5 Wmin/m<sup>2</sup>. Die bedruckten Muster wurden einerseits untereinander hinsichtlich der Druckqualität verglichen, andererseits wurde jedes Muster im Vergleich mit und ohne Koronabehandlung betrachtet.

#### Oberflächen- spannung

Von den Papieren wurde nach dem Druck an einer unbedruckten Stelle die Oberflächenspannung bestimmt. Da die Papiere nach dem Druck zum Zweck des leichteren Ablegens im Stapel mit Silikon behandelt wurden, konnten zwar die papierbedingten Unterschiede zwischen den Mustern noch nachvollzogen, der Effekt der Korona jedoch nicht nachgewiesen werden. Vom Muster T4 wurde allerdings aus der Druckmaschine ein unbedrucktes Papiermuster mit und ohne Korona-Behandlung (vor dem Silikonantrag) entnommen, die Ergebnisse sind in der Abbildung 14 zu sehen.

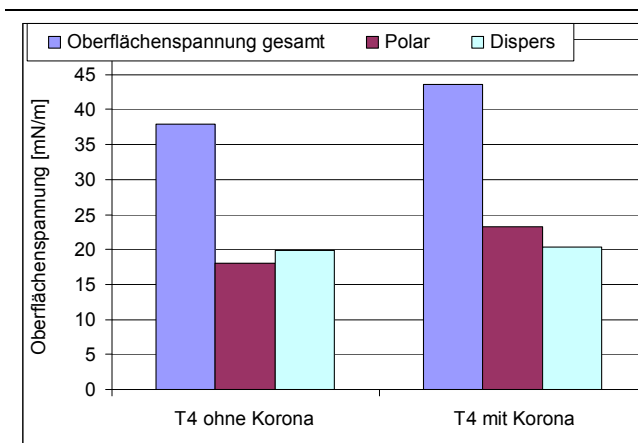


Abbildung 14: Oberflächenspannung, Koronabehandlung Praxisdruck

Wie schon im Labormaßstab beobachtet, wurde die Oberflächenspannung um etwa 5 - 10 mN/m erhöht, verursacht ausschließlich durch einen Anstieg des polaren Anteils.

### Dynamisches Penetrationsverhalten und Wegschlagtest

Das Muster T4 wurde auch auf seine absorptiven Eigenschaften untersucht. Eine Koronabehandlung mit Anheben der Polarität hatte ein schnelleres Penetrieren des Wassers und ein langsamerer Eindringen der Druckfarbe beim Wegschlagtest zur Folge.

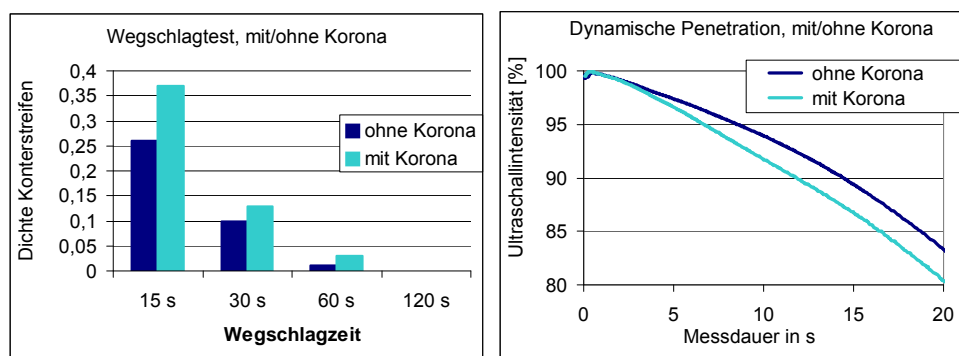


Abbildung 15: Wegschlagtest und Penetrationsverhalten, Koronabehandlung

Während beim dynamischen Penetrationsverhalten diese Tendenz auch in den Versuchen im Labormaßstab gefunden wurde, zeigt der Wegschlagtest ein gegensätzliches Verhalten. Hier konnte im Labor kein Einfluss der Koronabehandlung festgestellt werden, bei Änderung der Strichrezeptur hin zu einer höheren Polarität wurde die Tendenz zu einem schnelleren Wegschlagen beobachtet. Da die Druckfarbe ein eher unpolares Verhalten hat, wäre ein verlangsamtes Eindringen bei höherer Polarität der Papieroberfläche theoretisch zu erwarten.

## 7.4 Bewertung des Druckergebnisses

### Mottling und Druckgleichmäßigkeit

Mottlingerscheinungen am bedruckten Papier wurden sowohl visuell durch paarweisen Vergleich wie auch bildanalytisch durch Verwendung des DOMAS Moduls „Druckungleichmäßigkeit“ bewertet. Die Bewertung im paarweisen

Vergleich durch 3 Experten ergab zusammenfassend das folgende Ergebnis:

**Vollton:** FS schlechter als WS                      Kein Unterschied mit/ohne Koronabehandlung

**Wischwasser-mottling**      Trat auf bei T1 FS und T2 FS verstärkt auf, wenig auch bei T3 FS und T4 FS

Eine Abstufung innerhalb der Muster gestaltete sich wie folgt (1= gut, 7= schlecht):

T1 WS	T2 WS	T3 WS	T4 WS	T5 WS	T6 WS	T7 WS
7	7	5	3	1	1	3

Die Bildanalytische Auswertung mittels DOMAS spiegelt die Ergebnisse des visuellen Vergleichs grundsätzlich wider. Die Muster T1 und T2 zeigten die größte Zweiseitigkeit.

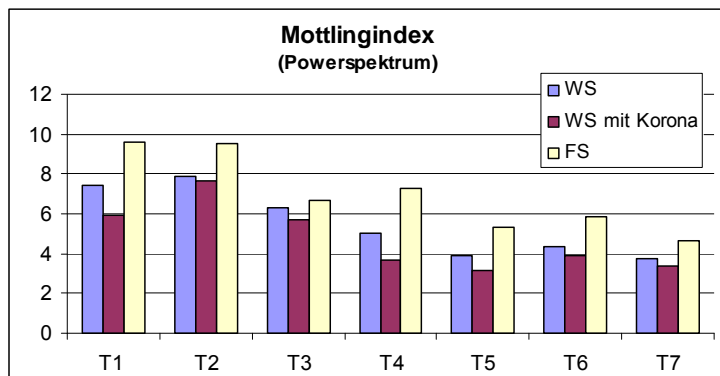


Abbildung 16: Bildanalytische Bewertung – Mottlingtendenz, Praxisdruck

Sowohl die visuelle als auch die bildanalytische Bewertung des Mottlingverhaltens der Papiere ließen erkennen, dass die Trocknungsbedingungen die optische Qualität des Druckproduktes stark beeinflusst haben, wogegen die Unterschiede in der Streichfarbenrezeptur (und der Oberflächenenergie) nicht eindeutig hervortreten. In der Tendenz wurde jedoch bei den Mustern mit niedriger Oberflächenspannung etwas geringere Mottlingerscheinungen beobachtet.

Im Gegensatz dazu stand die leichte Verbesserung des Mottlingverhaltens durch die Koronabehandlung. Daher wurden zur weiteren Beurteilung der Druckgleichmäßigkeit die Druckpunkte im 40% Feld mit 20facher Vergrößerung unter einem Mikroskop betrachtet. Dort zeigte sich bei den mit Korona vorbehandelten Papieren ein deutlich gleichmäßigeres Aussehen der einzelnen Druckpunkte, siehe Abbildung 17 als Beispiel den Versuch T4.

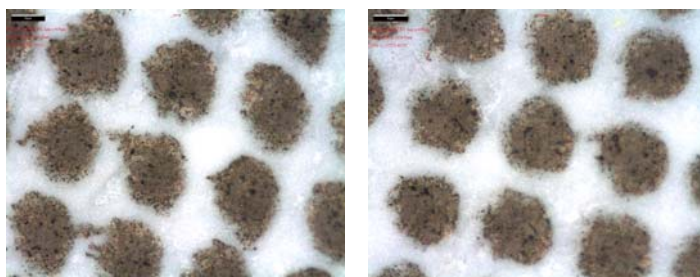
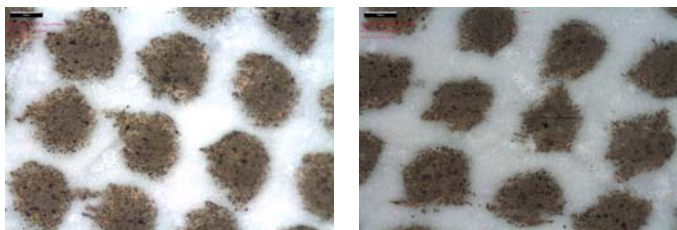


Abbildung 17: Druckpunkte (T4), links ohne, rechts mit Korona-Vorbehandlung

Die erhöhte Oberflächenspannung/Polarität durch die Koronabehandlung könnte der Grund für die leicht verbesserte Gleichmäßigkeit sein, da hier das Feuchtmittel schneller ins Papier eindringen kann und somit die Farbannahme verbessert wird. Ob sich diese Aussage auch auf die Erhöhung der Oberflächenspannung durch die Streichfarbenrezeptur ausweiten lässt, ist nicht mit Sicherheit zu sagen. Zwar erkennt man auch im Vergleich von T5/T6 zu T4 eine Verbesserung, T7 mit der niedrigsten Polarität und Oberflächenspannung hat allerdings ein ähnlich gleichmäßiges Aussehen wie T4, siehe Abbildung 18. Der durch die Korona-Anlage erzielte Effekt ist hier deutlich höher.



T4

T7

Abbildung 18: Mikroskopische Aufnahme der Druckpunkte

### Druckglanz

Der Druckglanz ist ein wichtiges Qualitätskriterium bei der Bewertung der Druckqualität. Gewünscht sind hier möglichst hohe Werte, die das Druckprodukt zur Geltung bringen. Der Druckglanz wurde durch Messung eines im Vollton bedruckten CYAN-Felds in Längsrichtung auf der Siebseite (WS) bestimmt.

Das Muster T5 hat bedingt durch den geringeren Papierglanz die niedrigsten Werte. Zwischen den restlichen Mustern bestehen geringere Unterschiede. Bei einer Erhöhung der Oberflächenspannung durch die Koronaanlage ist ein geringer Anstieg um ca. 0,5 % festzustellen, wogegen die strichrezepturbedingten Unterschiede in der Oberflächenspannung in diesen Messungen nicht deutlich werden.

### Farbdichte und Tonwertzunahme

An den Praxisdrucken wurden außerdem die Tonwertzunahmen und die Farbdichte für CYAN und MAGENTA gemessen. Sie wurden mit dem Densitometer auf dem Druckkontrollstreifen ausgemessen. Gemessen wurde auf drei Bögen der jeweiligen Auflage. Die Tonwertzunahme wurde in den 40% und 80% Feldern des Druckkontrollstreifens ermittelt. Am Volltonfeld wurde die Farbdichte ermittelt.

Der Vergleich zwischen den Versuchspapieren zeigt Unterschiede in der Farbdichte, diese können jedoch nicht auf die unterschiedliche Strichzusammensetzung oder die Oberflächenspannung zurückgeführt werden. Die stärksten Unterschiede weisen auch hier die verschiedenartig getrockneten Papiere auf.

Auch auf die Tonwertzunahme hatte die Oberflächenspannung der Muster keinen erkennbaren Einfluss.

## 7.5 Korrelationsuntersuchungen

### Tabelle

Die an der Pilotanlage gestrichenen Papiere und die Praxisdruckversuche wurden auf die Zusammenhänge der Papierkennwerte und der Bedruckbarkeit



untersucht. In der nachfolgenden Tabelle sind die Korrelationskoeffizienten aufgetragen. Starke Zusammenhänge sind dabei dunkel markiert.

	$\sigma$ - gesamt	Rauhig- keit	Wegschlagtest				Penetration			Druck- glanz	VT Dichte	TWZ 80	TWZ 40	Mottling
			15s	30s	60s	120s	W	Max	A60					
$\alpha$ - Wasser	-0.98	0.30	0.45	0.37	0.22	0.01	-0.28	-0.24	0.26	-0.06	-0.10	0.08	-0.03	-0.60
$\alpha$ - Formamid	-0.97	0.15	0.22	0.16	-0.01	-0.06	-0.23	-0.13	0.36	-0.01	-0.13	-0.06	-0.27	-0.51
$\sigma$ - dispers	0.80	0.02	0.05	0.07	0.25	0.12	0.13	0.01	-0.39	-0.04	0.14	0.19	0.47	0.33
$\sigma$ - polar	0.82	-0.39	-0.59	-0.50	-0.40	-0.09	0.29	0.31	-0.11	0.12	0.04	-0.21	-0.21	0.60
$\sigma$ - gesamt	-	-0.23	-0.34	-0.27	-0.10	0.02	0.27	0.22	-0.31	0.05	0.10	-0.02	0.16	0.59
Rauhigkeit	-	-	0.78	0.89	0.85	0.71	0.50	0.28	-0.65	-0.86	0.34	0.54	0.48	-0.44
15s			-	0.92	0.85	0.49	0.20	0.07	-0.55	-0.86	0.20	0.56	0.52	-0.48
30s				-	0.92	0.65	0.38	0.15	-0.60	-0.87	0.35	0.71	0.47	-0.57
60s					-	0.77	0.55	0.29	-0.60	-0.93	0.20	0.53	0.65	-0.30
120s						-	0.82	0.49	-0.67	-0.89	0.22	0.34	0.42	-0.28
W							-	0.80	-0.57	-0.95	0.10	0.15	0.36	0.05
Max								-	-0.46	-0.88	-0.23	-0.21	0.18	0.27
A60									-	0.64	-0.26	-0.47	-0.38	0.15
Druckglanz										-	-0.09	-0.40	-0.48	0.38
VT Dichte											-	0.74	0.26	-0.51
TWZ 80												-	0.28	-0.60
TWZ 40													-	0.11
Mottling														-

### Analyse der Zusammenhänge

Aus dieser Tabelle wird wiederholt deutlich, dass die Rauigkeit der Muster einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Kontaktwinkelmessung und damit auch auf die gemessene Oberflächenspannung hat. Daher ist der ursächliche Einfluss der Oberflächenspannung auf die Bedruckbarkeitseigenschaften der Muster nur schwer nachzuvollziehen. Die Rauigkeit selbst dagegen zeigt auf die meisten Kennwerte einen relativ starken Einfluss und muss bei der Bewertung des Papiereinflusses auf die Bedruckbarkeit als dominierende Größe angenommen werden.

Betrachtet man allerdings die Kontaktwinkelmessung als Möglichkeit, die Wechselwirkungen beim Benetzen des Papiers zu erfassen, so ergeben sich einige praxisrelevante Aussagen. So erkennt man, dass bei einem tendenziell niedrigem Kontaktwinkel, also einer stärkeren initialen Benetzung, die Absorption von Wasser im Penetrationstest beschleunigt wurde, gleichzeitig war auch die Wegschlaggeschwindigkeit der Druckfarbe in diesem Fall schneller. Das bedeutet, wird das Testmedium bei der Kontaktwinkelmessung von der Oberfläche des Papiers besser angenommen, so ist auch die Aufnahmefähigkeit für Wischwasser und Druckfarbe größer. Das unterstreicht die allgemeine Annahme in der Praxis, dass die Oberflächenspannung des Papiers für ein gutes Druckergebnis einen gewissen Minimalwert nicht unterschreiten sollte. Bei der Bewertung der Mottlingtendenz haben sich in dieser Versuchsreihe allerdings die Muster mit einem höheren Kontaktwinkel, also niedrigerer Oberflächenspannung als günstiger herausgestellt.

Hinsichtlich der Oberflächenspannung wurde beobachtet, dass deren disperser Anteil in den untersuchten Variationen fast immer relativ konstant blieb, die Gesamtoberflächenenergie des gestrichenen Papiers wird hauptsächlich von der Variation der polaren Komponenten bestimmt. Bei einem niedrigen polaren Anteil wurde wie schon im Laboraßstab ein langsames Wegschlagverhalten der Druckfarbe in die Papiere festgestellt.

Insgesamt stellte sich der Einfluss der Polarität und Oberflächenspannung auf die Bedruckbarkeitseigenschaften weniger deutlich dar als erwartet. Die Bedruckbarkeitseigenschaften werden in stärkerem Maße von der Rauigkeit und den sorptiven Eigenschaften des Papiers bestimmt.

## 8 Schlussfolgerungen

Dieses Forschungsprojekt hatte das Ziel, den Einfluss der Streichfarbkomponenten auf die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers herauszuarbeiten. Außerdem sollte untersucht werden, ob die Oberflächenspannung als physikalische Größe zur Charakterisierung der Bedruckbarkeit von Offsetpapier herangezogen werden kann. Dabei konnten folgende Erkenntnisse erzielt werden:

- Der Papierstrich beeinflusst grundsätzlich die Oberflächenspannung des gestrichenen Papiers. Dabei kommt den eingesetzten Pigmente, Bindemitteln und Additiven gleichermaßen Bedeutung zu.
- Die Ergebnisse haben gezeigt, dass durch eine niedrigere bzw. höhere Oberflächenspannung des Papiers die Druckqualität nicht zwangsläufig beeinträchtigt wird. Dieses neuerarbeitete Wissen ist für neue Auftrags-techniken wie dem Curtain Coater von Bedeutung, da hier größere Mengen oberflächenaktiver Streichfarbenbestandteile eingesetzt werden.
- Die Bestimmung der Oberflächenspannung des Papiers wird über die Methode der Kontaktwinkelmessung maßgeblich von der Rauigkeit und Strichstruktur beeinflusst. Daher ist eine allgemeingültige Aussage über die Bedruckbarkeit nur aus den Oberflächenspannungswerten allein nicht ableitbar, diese ist vielmehr ein Aspekt in der Bewertung der Papiereigenschaften.
- Mit der Kontaktwinkelmessungen kann das gestrichene Papier jedoch auf seine Benetzungscharakteristik untersucht werden. Hier sind vor allem kurze Kontaktzeiten und lokale Unterschiede für die weitere Forschung von Bedeutung.
- Eine Erhöhung der Polarität durch eine Koronavorbehandlung wirkte sich positiv auf die Druckqualität aus. Neue Ansatzpunkte zur Verbesserung der Bedruckbarkeit von gestrichenen Papieren ergeben sich mit der näheren Untersuchung der Wirkungsweise der Koronatechnik in den obersten Strichschichten.

---

Das Forschungsvorhaben AiF 14138 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 Probenbereitstellung und die freundliche Unterstützung bei der Projektdurchführung.

### **Ansprechpartner für weitere Informationen:**

Dipl.-Ing. Kathleen Dittrich  
Tel. 089/12146-597  
Kathleen.Dittrich@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 Dörsam, E.  
Tendenzen in der Entwicklung verschiedener Druckverfahren  
Internationale Papierwirtschaft 2004, Nr. 12, S. 42-43 und 2005, Nr. 1, S. 31-33
- 2 Teschner, H.  
Druck&Medientechnik  
Fachschriften-Verlag GmbH & Co.KG, S.10-61 ff.
- 3 Ström, G.  
Interaction between offset ink and coated paper- A review of the present understanding  
13<sup>th</sup> Fundamental Research Symposium, Cambridge, September 2005
- 4 Sangl, R. und Kröber, M.  
Ermittlung und Beseitigung der Mottling verursachenden Faktoren beim Hochgeschwindigkeits-  
Bladestreichen von LWC- Papieren für den Offset-Druck  
PTS-Forschungsbericht PTS-FB 08/02, 57 S.
- 5 FALTER, K.-A. u. U. SCHMIDT  
Ermittlung des wolkigen Ausdrucks von Vollton- und Rasterflächen im Offsetdruck  
FOGRA-Forschungsbericht 3.244
- 6 SCHULZ, E.  
Bedeutung und Auswirkung der Ober- und Grenzflächenspannung auf den Druckvorgang  
Deutscher Drucker 1985, Nr. 6, S. 17-24
- 7 Ström, G.  
The Importance of Surface Energetics and Dynamic Wetting in Offset Printing  
Journal of Pulp and Paper Science, Volume 19, Number 2, S. J79-J85, 1993
- 8 Miettinen, P.,  
Influence of coated paper structure on ink-paper interactions in heatset printing  
2002 International Printing and Graphic Arts Conference, Paper VI-1, Bordeaux, 2002.
- 9 Velho, J.; Santos, N.; Conceicao, S.; Ferreira, P.; Carvalho, G.; Ferreira, J. M.  
Technical aspects realtively to surface, structure and print characterisation of coated papers  
2004 PulPaper Conference – Coating, 1.-3. 6. 2004, S. 7-14, Helsinki, Finland
- 10 Aspler, J.  
Ink-Water-Paper Interactions in Printing: An Updated Review  
2006 TAPPI Advanced Coated Fundamentals Symposium
- 11 Wilken, R, Noller, K.  
Die Bedeutung der Oberflächenspannung für Druck und Veredelung von Papier und Karton  
PTS Symposium Nutzung der Grenzflächenchemie für die Erzeugung von Papier und Karton  
München, 2001

- 12 Nordström, J-E.P; Nordlund, J.P, Grön, J.P.L, Triantafillopoulos, N.  
Surface Properties and Print Quality of Coated Paperboard with Coating Colours Containing Different Hydrocolloids  
1995 Coating Conference, Book 1, 103-113, Tappi, Texas, 1995
- 13 Jopson, R. N.  
Improvements in surface chemistry for printing papers  
Ink on paper Conference, London, UK, 2-3 Nov. 2005, Paper 6, 13pp
- 14 Kan C.S.; van Gilder R.L.  
Measurement of Latex Surface Energy and its Role in Paper Coating Application  
Tappi Coating and Graphic Arts Conference and Exhibit, Baltimore, Mai 2004
- 15 Froehlich U.;Tietz M.  
Influence of surfactants on curtain coater runnability and paper quality  
TAPPI Coating and Graphic Arts Conference and Exhibit, May 16-19, 2004,Baltimore MD;TAPPI Press, Atlanta;2004;(1-14)
- 16 HÄMÄLÄINEN, M.  
Spray coating technology as a surface treatment for woodcontaining paper grades  
Dissertation im Papiertechnischen Laboratorium der Technischen Universität Lappeenranta
- 17 Lafaye J.F.; Gervason G.; Maume J.P.; Piette P.  
The Effect of Coating with Surfactant on Quality and Offset Printability  
Tappi Journal, Volume 70, Nr. 8, S. 43 – 49
- 18 PTS-Methode: PTS-PP 103/85  
Bestimmung der Oberflächenspannung von Papier und Pappe nach der Randwinkelmethode  
Papiertechnische Stiftung (PTS), München 1985
- 19 Metz, R.  
Prüfung der Benetzbarkeit und Bestimmung der Oberflächenspannung von Papier und Kunststoffolie  
PTS München
- 20 Hottmann, S.  
Einfluss von oberflächenaktiven Substanzen auf die Offsetbedruckbarkeit  
TU München, Lehrstuhl für Bioverfahrenstechnik, Diplomarbeit, 15.12.05