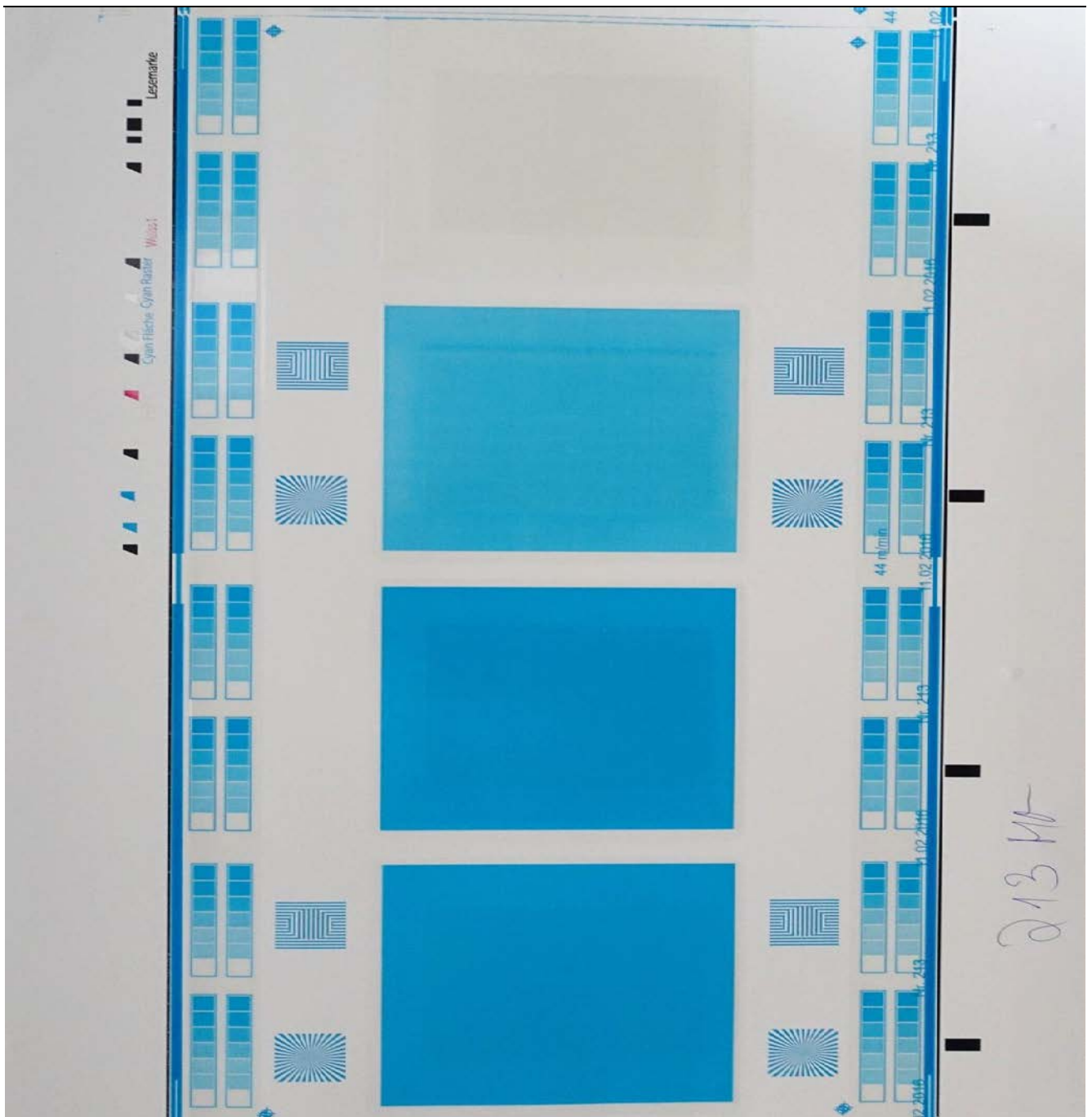




# Grenzen der Überdruckbarkeit

Jan Masajew, Heike Gute, Ahmad Al Aboud und Edgar Dörsam



---

Jan Masajew, Heike Gute, Ahmad Al About, Edgar Dörsam

## Grenzen der Überdruckbarkeit

Schlussbericht zum IGF-Vorhaben Nr. 18327 N der AiF

Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, 2017

Online verfügbar unter:

URN: <urn:nbn:de:tuda-tuprints-60959>

URI: <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/6095>

Das Projekt „Grenzen der Überdruckbarkeit“ wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Programms zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung“ (IGF) der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) auf Antrag der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen (FGD) gefördert.

Gefördert durch:



<https://dup.vdma.org> ■ [www.aif.de](http://www.aif.de) ■ [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### Impressum

Technische Universität Darmstadt

Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren

Magdalenenstr. 2

64289 Darmstadt

Germany

[www.idd.tu-darmstadt.de](http://www.idd.tu-darmstadt.de)

---

## Gliederung

1	Einleitung .....	5
2	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung .....	6
2.1	Ausgangssituation.....	6
2.2	Stand der Forschung.....	8
2.2.1	Farbe und Farbmessung .....	9
2.2.2	Offsetdruck.....	11
2.2.3	Flexodruck .....	12
2.2.4	Inkjetdruck.....	12
2.2.5	Siebdruck.....	13
2.2.6	Schichtbildung.....	14
3	Forschungsziel .....	16
4	Durchführung der Druckversuche.....	17
4.1	Druckmaschine .....	17
4.2	Randbedingungen und Vorgaben.....	18
4.3	Verfahren und Material.....	20
4.4	Statistische Versuchsplanung .....	25
	Teilfaktorielle Versuchsplanung.....	27
4.5	Versuchsplanung .....	28
4.5.1	Erstellung des Versuchsplans .....	29
4.5.2	Planung der Maschinenversuche .....	34
4.5.3	Anpassen der Maschinenkonfiguration.....	37
4.5.4	Kritische Betrachtung des Versuchsplans .....	39
4.5.5	Anpassung der Versuchspläne.....	40
4.6	Versuchsdurchführung Druck .....	41
4.6.1	Versuchsablauf .....	41
4.6.2	Probleme bei der Versuchsdurchführung .....	45
4.6.3	Versuchsprotokoll.....	47
4.6.4	Eingesetzte Materialien .....	50
4.7	Messtechnische Auswertung.....	50
4.7.1	Entwicklung eines messtechnischen Konzepts.....	50
4.7.2	Hinweise zur Ausführung und Dokumentation .....	57
5	Visuelle Abmusterung .....	60
5.1	Hypothesen.....	60
5.2	Rahmenbedingungen .....	62

5.3	Auswahl der Methode und Vorbereitung der Druckproben .....	65
5.4	Probandenversuche .....	71
5.4.1	Durchführung der Versuche .....	71
5.4.2	Grenzen des Konzeptes für die visuelle Abmusterung .....	76
5.2	Grundlagen der Auswertung.....	79
5.2.1	Auswertung von Paarvergleichen.....	79
5.2.2	Angepasstes Auswertungskonzept der visuellen Abmusterung.....	82
5.3	Datengrundlagen der Auswertung.....	83
5.3.1	Datengewinnung bei der visuellen Abmusterung.....	84
5.3.2	Teilnehmerstatistik .....	85
5.4	Exemplarische Auswertung.....	86
5.4.1	Einfluss des Bedruckstoffs .....	86
5.4.2	Einfluss des Druckverfahrens.....	89
5.4.3	Einfluss des Niveaueausgleichs .....	92
5.4.4	Einfluss der Druckgeschwindigkeit .....	95
5.4.5	Profilierung der Druckqualität .....	97
5.5	Ausblick.....	99
6	Modellbildung.....	100
6.2	Vorgehensweise und Software.....	100
6.3	Analyseverfahren .....	101
6.3.1	Korrelationskoeffizient.....	101
6.3.2	Varianzanalyse (ANOVA).....	106
6.3.3	Effektanalyse (t-Test) .....	109
6.4	Resultate der drei Analyseverfahren .....	111
6.4.1	Ergebnisse der Korrelationsmatrix.....	111
6.4.2	Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA) .....	114
6.4.3	Ergebnisse der Effektanalyse (t-Test) .....	118
6.5	Fazit der statistischen Versuchsauswertung.....	121
7	Hinweise für die Praxis.....	122
8	Zusammenfassung.....	125
9	Literatur.....	126
	Anhang.....	133

## 1 Einleitung

RFID-Tags haben, wenn sie kostengünstig herstellbar sind und sicher in den Verpackungsprozess integriert werden, das Potential den bisher in der Einzelhandel-Logistikkette üblichen Barcode zu ersetzen und das Anwendungsfeld in Richtung Fälschungsschutz und Rückverfolgbarkeit zu erweitern. Heute haben die konventionellen low-cost-RFID-Tags bei gleichzeitig höherer Leistung und Zuverlässigkeit einen Preis erreicht, der drucktechnisch derzeit kaum zu unterbieten ist. Die Preise sind derart niedrig, dass für einige Verpackungen und von einigen Firmen der Einsatz dieser RFID-Tags in Form von Etiketten auf Verpackungen bereits ernsthaft diskutiert wird.

Die Applikation von RFID-Tags auf Verpackungen ist Stand der Technik und wird sicher beherrscht. Dabei kann das Etikett einen beträchtlichen Anteil der Verpackungsoberfläche bedecken. Solche Etiketten stören den visuellen Eindruck der Verpackung. Es stellt sich daher die Frage, wie solche Etiketten so überdruckt werden können, dass dem Endkunden dieses Überdrucken nicht negativ auffällt. Dabei sollte mit möglichst wenigen Prozessschritten eine zufriedenstellende Druckqualität erreicht werden.

Die wissenschaftliche Fragestellung ist, unter welchen Druckparametern und mit welcher Qualität ein solches Etikett oder eine Lackschicht mit verschiedenen Druckverfahren überdruckt werden kann. Bisher gibt es keine wissenschaftlich fundierten Untersuchungen zu den Grenzen der Überdruckbarkeit unter Einbeziehung aller Parameter für diese besonderen Anforderungen im Verpackungsdruck. Dieses Forschungsprojekt liefert hierzu einen ersten Beitrag mit Hinweisen für die praktische Umsetzung.

Die Autoren bedanken sich beim Technischen Beirat der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V., dem Projektbegleitenden Ausschuss und den unterstützenden Firmen für die konstruktive Diskussion und die Bereitstellung von Material. Hierbei sind besonders zu nennen:

- ✚ Daetwyler Group, Griesheim
- ✚ Eltosch-Grafix GmbH, Steinbach
- ✚ Etifix GmbH, Grafenberg
- ✚ Felix Böttcher GmbH & Co. KG, Köln
- ✚ Faubel & Co. Nachfolger GmbH, Melsungen
- ✚ Flint Group Germany, Stuttgart
- ✚ GEWA Etiketten GmbH, Bingen
- ✚ Hartung Robifa GmbH, Gütersloh
- ✚ Heidelberger Druckmaschinen AG, Heidelberg
- ✚ Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren, Darmstadt
- ✚ IST METZ GmbH, Nürtingen
- ✚ K-D Hermann GmbH, Hirschhorn
- ✚ manroland sheetfed GmbH, Offenbach
- ✚ manroland web systems GmbH, Augsburg
- ✚ RK Siebdrucktechnik GmbH, Rösrath
- ✚ RUCO A.M.Ramp & Co. GmbH, Eppstein
- ✚ Sun Chemical Eurolab, Karlstein
- ✚ uviterno ag, Berneck
- ✚ VDMA, Frankfurt

- ✚ VskE, Verband der Hersteller selbstklebender Etiketten, Höchberg
- ✚ WEILBURGER Graphics GmbH, Gerhardshofen

## 2 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

### 2.1 Ausgangssituation

Druckverfahren sind als hoch effiziente Produktionsverfahren für grafische Anwendungen bekannt. Dabei sind die konventionellen Druckverfahren wie zum Beispiel Offsetdruck und Flexodruck besonders geeignet für hohe Auflagen, während Digitaldruckverfahren wie der Inkjetdruck für kleine Auflagen optimiert sind. [Kipp01] Die Kernfunktion der Druckverfahren, strukturiertes Auftragen dünner Materialschichten, wird aber auch über den grafischen Bereich hinaus genutzt, indem den beim Drucken aufgetragenen Fluiden andere Funktionen gegeben werden. Werden zum Beispiel elektrische Leiter, Halbleiter und Isolatoren übereinander gedruckt, sind dann elektrische und elektronische Bauelemente herstellbar. [Stah09] Diese Bauteile der gedruckten Elektronik sind in Ihrer Komplexität, verglichen mit konventioneller Elektronik, begrenzt, können aber bedeutend kostengünstiger hergestellt werden. Ein Beispiel für solche Bauelemente sind gedruckte RFID-Tags. [Hübl08] [SCFH08]

Bei der Herstellung von Bauteilen der gedruckten Elektronik müssen besondere Produktionsbedingungen eingehalten werden. Grundvoraussetzung ist eine besonders saubere Produktionsumgebung, die in der Regel nur von Reinräumen erfüllt werden kann und nicht mit der Produktionsumgebung eines Verpackungsdruckers vereinbar ist. Vollständig gedruckte RFID-Tags können also nicht in der gleichen Produktionsumgebung wie die restliche Verpackung hergestellt werden. Die ursprüngliche Prognose eines Milliardenmarkts für gedruckte Elektronik und speziell gedruckter RFID hat sich als zu optimistisch herausgestellt. [Auge07] Heute gibt es kaum vollständig gedruckte RFID-Tags am Markt. Vielmehr haben sich alternative Herstellungstechnologien für RFID-Tags mit RFID-Chips auf Siliziumbasis durchgesetzt. So hergestellte RFID-Tags können heute zu einem Stückpreis von zwei bis vier Euro-Cent hergestellt werden. [Wurs13] Die Verkehrsbetriebe in Marseille (Frankreich) statten bereits alle Einzelfahrkarten mit RFID-Technologie (NXP-Chip mit 64 Byte) aus. Bisher war der Einsatz von RFIDs nur bei Zeitkarten zu beobachten. Es wird erwartet, dass die Preise sich in den nächsten Jahren halbieren werden. [Wurs13] Mögliche Anwendungen sind beispielsweise Verpackungen für hochwertige Ersatzteile für die Luftfahrtindustrie, Pharmaverpackungen aber auch Lebensmittelverpackungen. Hintergrund der Überlegungen sind eine Erhöhung des Fälschungsschutzes, die Verbesserung der Logistikkette oder ein Nachweis des Warenweges. [Wurs13] Bei Lebensmittel- oder Pharmaverpackungen gibt es noch eine Besonderheit: Die RFID-Etiketten dürfen nicht mit dem Inhalt in Berührung kommen, das heißt sie dürfen nicht auf der Innenseite der Verpackung angebracht werden. Daher werden die RFID-Tags in Form von selbstklebenden Etiketten auf die Außenseite der Verpackung appliziert.

Bei der Veredelung von Verpackungen sind das Aufbringen von Folien für Sichtfester und das teilweise Lackieren der Verpackung häufig genutzte Möglichkeiten die Aufmerksamkeit des Konsumenten für ein Produkt zu erhöhen. Hierbei wird ein Bedrucken der Klebefolie oder der Lackschicht gemeinsam mit dem Grundmaterial der Verpackung eingesetzt, um weitere visuelle Effekte zu erzielen. [Esch06]

Es bestehen also mehrere Gründe, warum Verpackungen aus unterschiedlichen Werkstoffkombinationen und mit ungleichmäßigen Dicken bedruckt werden. Zum einen werden RFID-Tags als Etiketten aufgeklebt. Zum anderen werden Verpackungen mit Sichtfenstern versehen, die mit einer Klarsichtfolie abgedeckt werden. Darüber hinaus werden Spotlackierungen und Folienbeschichtungen überdruckt.

Die Applikation von RFID-Tags auf Verpackungen ist Stand der Technik und wird sicher beherrscht. Dabei kann das Etikett einen beträchtlichen Anteil der Verpackungsoberfläche bedecken. Dies ist für die Verpackung einer Tiefkühlpizza in Abbildung 2-1 dargestellt.

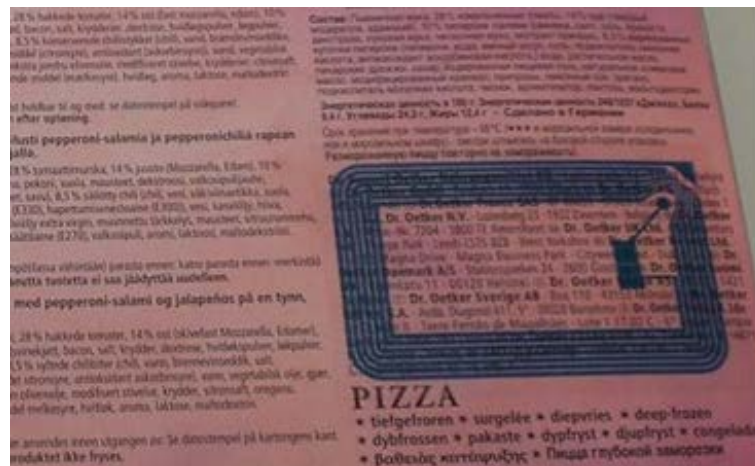


Abbildung 2-1: Pizzaverpackung mit aufgeklebtem RFID-Etikett.

Solche Etiketten stören den visuellen Eindruck der Verpackung. Marketingexperten erwarten, dass dadurch das Verbraucherverhalten negativ beeinflusst wird. [ReBa12] Es wird angestrebt solche Etiketten zu überdrucken, um sie visuell in die übrige Verpackung zu integrieren.

Ein Überdrucken von lackierten Flächen oder aufgeklebten Klarsichtfolien wird eingesetzt, um sich durch visuelle Effekte von Produkten abzusetzen, die diese Effekte nicht aufweisen. Durch dieses zusätzliche „sinnliche Erlebnis“ steigen sowohl die Markenbindung des Kunden als auch die Wahrscheinlichkeit eine Kaufentscheidung aufgrund der höherwertigen Verpackung zu treffen. Ideen für derartige luxuriöse Verpackungen kostengünstig und schnell in reale Produkte umsetzen zu können ist das Ziel der Verpackungshersteller. [Thom11]

Sowohl das Überdecken von RFID-Tags als auch das Überdrucken von Folie gemeinsam mit dem Grundmaterial der Verpackung sind druckverfahrenstechnisch betrachtete vergleichbare Herausforderungen. Bei beiden Aufgaben sind unterschiedliche Materialklassen zu bedrucken und zusätzlich entsteht ein Höhenunterschied durch das zusätzlich aufgebrachte Material. Die Fragestellung, wie unter diesen Bedingungen vorhersagbare und qualitativ hochwertige Druckergebnisse erzielt werden können, soll in diesem Forschungsvorhaben untersucht werden.

Vorversuche haben gezeigt, dass das Druckergebnis beim flächigen Überdruck auf den Etiketten vom Druckergebnis auf dem Grundmaterial deutlich abweicht. Zusätzlich ist die Kante nicht vollständig bedruckt. Ein typisches Druckergebnis aus diesen Versuchen zeigt Abbildung 2-2.



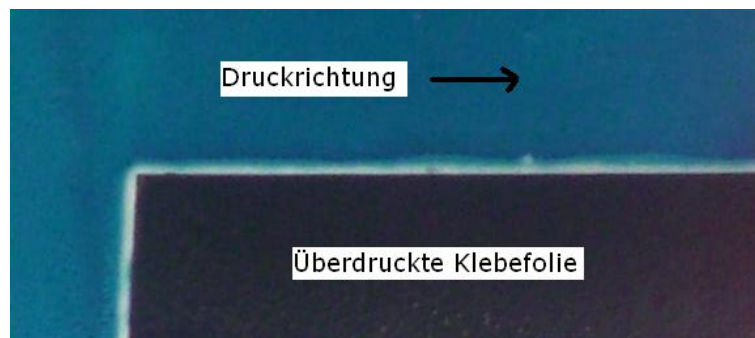


Abbildung 2-2: Druckergebnis beim Überdrucken eines Klebeetiketts.

Die Farbgebung des überdruckten Klebeetiketts weicht von der Farbgebung des Grundwerkstoffs ab. Zusätzlich entsteht ein nicht bedruckter Bereich an der Kante des überdruckten Klebeetiketts. Als relevante Parameter haben sich dabei die Dicke des Etiketts, das Druckverfahren, die Druckrichtung, die Druckfarbe, der Bedruckstoff und die Druckgeschwindigkeit herauskristallisiert. Vergleichbare Probleme entstehen auch im Forschungsumfeld der gedruckten Elektronik, wenn große Schichtdickensprünge überwunden werden müssen. [Ranf10]

Für das Bedrucken von Verpackungsmaterialien aus unterschiedlichen Bedruckstoffklassen wurden im grafischen Gewerbe optimale Lösungen aus Druckverfahren und Druckfarbe gefunden. Dabei sind beim Bedrucken von Papier andere Herausforderungen zu bewältigen als beim Bedrucken von Kunststofffolien, da sich beide Materialklassen, vor allem in ihrer Fähigkeit Flüssigkeiten aufzunehmen, stark unterscheiden.

Beim Überdrucken von Klebeetiketten liegt eine vollkommen neue Situation vor. Es werden zwei unterschiedliche Materialklassen in einem Druckvorgang gleichzeitig bedruckt. Da die Druckfarbe nur auf einen der Bedruckstoffe optimiert sein kann, sind unterschiedliche Druckergebnisse zwischen Basissubstrat und Klebeetikett zu erwarten. Außerdem liegen zwei unterschiedliche Bedruckstoffstärken vor. Dadurch entstehen im Druckspalt (einer konventionellen Druckmaschine) Pressungsunterschiede, die sich nicht durch Maschineneinstellungen ausgleichen lassen. Die Farbe wird dadurch unterschiedlich übertragen. Dazu besteht noch der steile Höhengsprung im Bereich der Kante des Klebeetiketts. In diesem Bereich hat die Druckfarbe keinen Kontakt zum Basissubstrat. Es wird hier keine Farbe übertragen und das weiße Substrat ist zu sehen.

## 2.2 Stand der Forschung

Mit der weltweiten Krise im grafischen Gewerbe hat sich die Forschungslandschaft auf dem Gebiet des grafischen Druckens in den letzten Jahren erheblich verändert. Forschung wird insbesondere hinsichtlich konventioneller Druckverfahren international nur noch an wenigen Standorten durchgeführt. Daher gibt es zu dem beantragten Projekt nur wenige Forschungseinrichtungen, wie beispielsweise die TU Chemnitz, Universität Swansea, TU Darmstadt, SID und FOGRA, die derart grundlegende Untersuchungen durchführen.



## 2.2.1 Farbe und Farbmessung

### Druckfarbe auf Substrat

Beim Drucken von Druckfarbe auf weißem Substrat bestehen zwei Möglichkeiten unterschiedliche Farbtöne zu erzeugen. Zum einen durch Mischen von Standardfarben: Diese sind beim Drucken Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz, auch CMYK genannt; zum anderen durch den Einsatz von Sonderfarben. Diese können ihrerseits auf den Zielfarbtönen angepasste Pigmente oder Pigmentmischungen enthalten. Die verwendeten Druckfarben haben einen lasierenden Charakter, d. h. die aufgetragene Schichtdicke wirkt wie ein Filter: Je dicker die Farbschicht, desto dicker ist der aufgedruckte Filter, desto geringer ist die Reflektion auf dem Bedruckstoff und desto dunkler erscheint einem Betrachter die Farbe. Die „Helligkeit“ der aufgedruckten Farbe kann durch Variation der Schichtdicke erfolgen, was unüblich ist, oder durch Verändern der mit Farbe bedeckten Fläche. Das zweite Verfahren wird weit verbreitet angewendet und wird als Rastern bezeichnet. [Paas01] Je nach erforderlicher Farbe wird in ein Rasterfeld ein unterschiedlich großer Rasterpunkt gedruckt.

Beim Rastern tritt in allen konventionellen Druckverfahren das Phänomen der Tonwertzunahme auf. Das bedeutet, dass die bedruckte Fläche größer ist, als sie auf der Druckform angelegt wurde. Der Zusammenhang ist für bekannte Druckparameter in Form einer Druckkennlinie mathematisch beschreibbar. Dabei wird, wie in Abbildung 2-3 gezeigt, jedem Wert der Flächendeckung auf der Druckform (beziehungsweise des Films) ein Tonwert auf dem Druck zugeordnet.

Die gedruckte Flächendeckung  $F_D$  ist größer als die vorgegebene Flächendeckung auf der Druckform (beziehungsweise im Film)  $F_F$ . Die Tonwertzunahme entsteht durch die Vergrößerung eines auf der Druckform angelegten Druckpunkts durch die Mechanismen des Punktzuwachses und durch den Lichtfangeffekt. Der Lichtfangeffekt lässt ein gedrucktes Element auf matt reflektierendem Material größer als seine tatsächliche Größe erscheinen. Die Druckkennlinie ist abhängig vom Druckverfahren, von der eingesetzten Druckfarbe, vom Bedruckstoff, von der Pressung und vom verwendeten Raster. [Kipp01]

Die Druckkennlinie wird also für spezifische Kombinationen aus den eben genannten Parametern durch Auswertung von dazu durchgeführten Druckversuchen erstellt. Bei der Erstellung einer Druckvorlage für einen Druckauftrag mit dieser Parameterkombination wird diese Kennlinie angewendet und die zu erstellende Druckform entsprechend korrigiert. Das heißt die angelegten Druckelemente werden so verkleinert, dass sie im Druck in der Sollgröße erscheinen. Die Anwendung einer Druckkennlinie ist Standard in der Praxis.

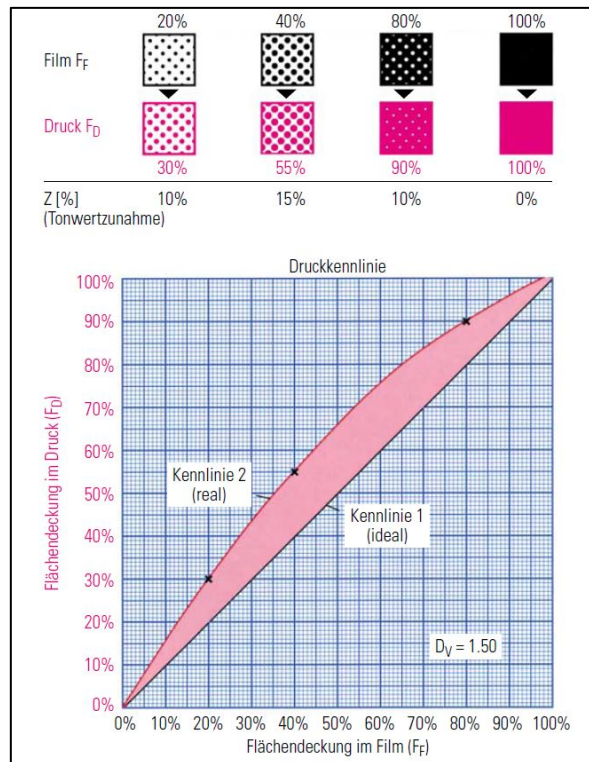


Abbildung 2-3: Druckkennlinie. Bildquelle: [Kipp01]

## Farbmessung

Für die Beurteilung eines Druckprodukts werden heute in der Praxis zwei Messverfahren angewendet: die Spektralfotometrie und die Densitometrie. Dabei liegen die verfahrensseitigen Vorteile und das breitere Einsatzgebiet auf Seiten der Spektralfotometrie. Die Vorteile der Spektralfotometrie werden in nahezu allen Facetten der Qualitätsbegutachtung des Druckprodukts gesehen. [Tesc10]

Spektralfotometer beleuchten die Druckprobe mit weißem Licht. Durch die Farbschicht wird das Spektrum verändert und reflektiert. Das reflektierte Licht wird von einem Beugungsgitter aufgeweitet und von einer CCD-Zeile detektiert. Abbildung 2-4 zeigt den prinzipiellen Aufbau und den Strahlenverlauf eines Spektralfotometers.

Bei der Vergleichbarkeit von Messwerten, die mit unterschiedlichen Messgeräten gewonnen werden, ist eine gute interinstrumentelle Übereinstimmung erreichbar, wenn die Geräte kalibriert werden und die gleichen Messbedingungen angewendet werden. [Will07] Die Messung mit Spektralfotometern ist genormt. [Isot09]

Im Produktionsumfeld werden Densitometer eingesetzt, um die Farbdichte zu ermitteln. Die Farbdichte ist eine Vergleichsgröße für die Farbschichtdicke, die in vielen Druckmaschinen als Regelgröße genutzt wird. Gleichzeitig lässt sich mit Densitometern auf sogenannten Druckkontrollstreifen die Flächendeckung im Druck bestimmen.

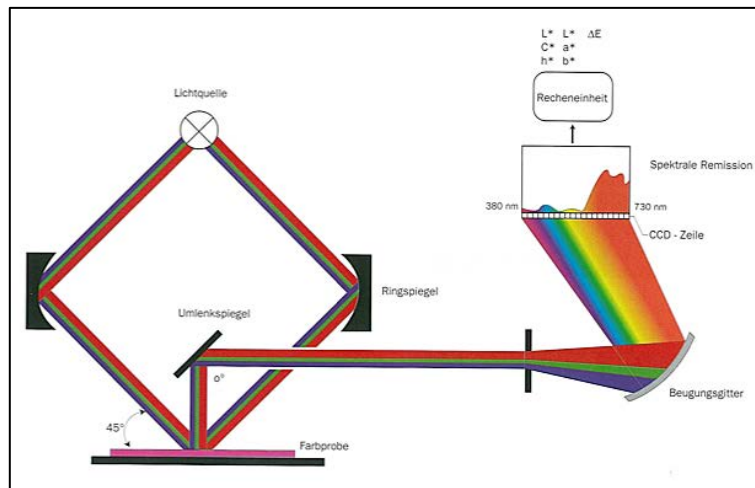


Abbildung 2-4: Prinzipieller Aufbau eines Spektrofotometers. Bildquelle: [Witt00]

Für eine Beurteilung der Druckform sind Spektrofotometer nicht geeignet. Hier sind im Produktionsumfeld Densitometer die genutzten Messgeräte, um zum Beispiel die Flächendeckung messen zu können. Im Forschungsumfeld werden zur Beurteilung der Druckformen jedoch Mikroskope und 3D-Mikroskope eingesetzt, da hier ein besserer Zugriff auf die erzeugten Primärdaten möglich ist.

### 2.2.2 Offsetdruck

Das Offsetdruckverfahren ist ein indirektes Flachdruckverfahren. Die Bildentstehung findet auf einer Druckform statt, die kein signifikantes Höhenprofil aufweist. Die Trennung zwischen Bildstelle und Nichtbildstelle erfolgt aufgrund eines transparenten niedrigviskosen Flüssigkeitsfilms der auf den Nichtbildstellen vorhanden ist. Die Bildstellen werden hingegen von der hochviskosen Druckfarbe benetzt. [ShHL04] [SMMT08] Von der Druckform wird das Druckbild über einen Gummituchzylinder auf das Substrat übertragen. Diese indirekte Farbübertragung bietet zwei wesentliche Vorteile: Zum einen wird die Druckform vor dem abrasiven Papier geschützt und zum anderen ermöglicht das weiche Gummituch das Bedrucken von rauen und strukturierten Oberflächen. Aufgrund einer hohen Druckqualität, großer Substratvielfalt und geringer Druckformkosten hat das Verfahren eine hohe Marktdurchdringung erlangt und wird auch im Verpackungsdruck verbreitet eingesetzt.

Eine Änderung der Farbigkeit wird bei konstanter Farbschichtdicke durch Rasterung und eine Änderung des Tonwerts vorgenommen. Dabei sind Druckkennlinie und Punktzuwachs zu beachten. Für den Punktzuwachs im Offsetdruck sind verschiedene Ursachen bekannt:

1. Papiereigenschaften [BeZZ07] [KMHT13]
2. Schlupf [Glüc76]
3. Druckbeistellung, Gummituch, Flächendeckung [HePö03]
4. Gummitucheigenschaften [Boua08]

Die Herstellung von farbigen Drucken mit dem Offsetdruckverfahren ist in ISO 12647 genormt. [Isot04] [Isot05] Dabei wird sich auf die wichtigsten Papierbedruckstoffe konzentriert. Jedoch wurde gezeigt, dass die ISO 12647 auch auf im Verpackungsdruck übliche Kartonmaterialien und mit Einschränkungen auch auf Kunststofffolien angewendet werden kann. [PWGL05] [TrGe06] Dabei wurde mit Einschränkungen z. B. beim Drucken von Schwarz festgestellt, dass

die ISO 12647 auch für Foliendrucke eine genügend große Übereinstimmung aufweist. Bei der Umsetzung der ISO 12647 unterstützt der Prozessstandard Offsetdruck. [Dole01]

Die Spaltung von Farbfilmen erfolgt im Offsetdruck unter Bildung von Farbfilamenten, da die die Viskosität der Offsetdruckfarben sehr hoch ist und damit die Kapillarzahlen im Offsetdruck deutlich über der kritischen Kapillarzahl liegen. [Bröt97] Die Anzahl der Filamente ist sehr hoch und damit ihre Größe so klein, dass sie vom bloßen menschlichen Auge nicht sichtbar ist. Die gedruckte Farbschicht erscheint somit farblich homogen aber eher matt und rau.

Wie der Kontakt des Gummituchs an der Etikettenkante genau aussieht beziehungsweise wie die Druckfarbe vom Gummituch in der Nähe der Etikettenkante übertragen wird, wurde bisher noch nicht wissenschaftlich untersucht.

### 2.2.3 Flexodruck

Der Flexodruck ist ein direktes Hochdruckverfahren. Die Druckfarbe wird unmittelbar von den erhabenen Bereichen einer elastischen Druckform auf den Bedruckstoff übertragen. Die Druckfarbe ist niedrigviskoser als die im Offsetdruck verwendete Druckfarbe. Dadurch ist die Belastung für den Bedruckstoff geringer und das Flexodruckverfahren kann für empfindlichere Substrate als das Offsetdruckverfahren eingesetzt werden. [Meye06]

Der Farbbildaufbau erfolgt bei konstanter Schichtdicke durch Rasterung. Daher sind auch in diesem Druckverfahren Druckkennlinie und Tonwertzunahme zu beachten. Für den Punktzuwachs im Offsetdruck sind ähnliche Eigenschaften wie im Offsetdruck bekannt:

1. Papiereigenschaften [MGCR97]
2. Druckbeistellung und Flächendeckung [CIHG13] [John08]
3. Druckformmaterial [Pfei70] [ThDö11] [John08]

Die Farbpunkt- und Farbfilmspaltung im Flexodruck wurde in unterschiedlichen Arbeiten intensiv untersucht. [Hüb91] [Behl93] [Grie13] Dabei wurde festgestellt, dass die Farbspaltung vergleichbar mit der Farbspaltung im Offsetdruck unter Ausbildung von Inhomogenitäten in der Farbschichtdicke erfolgt. Dabei bilden sich Filamente aus. Andere Arbeiten befassen sich mit der Struktur und Gleichmäßigkeit der gedruckten Schichten. [Voß02] [SaBD11] Aufgrund der gegenüber Offsetdruckfarbe verringerten Viskosität bilden sich größere Filamente mit einem größeren Abstand zueinander aus. Bei ungünstiger Kombination der Druck- und Trocknungsparameter können diese Inhomogenitäten in der getrockneten Farbschicht sichtbar werden. [Foun99] [QRBC13]

Inzwischen gibt es eine sehr dynamische Entwicklung bei den Flexodruckformen, deren Eigenschaften beim Überdrucken von Etiketten jedoch nicht bekannt sind. Die Schaffung eines Prozessstandards für den Flexodruck ist noch nicht soweit fortgeschritten wie für den Offsetdruck. [Dreh10] [Dreh11] Die Herstellung von Vierfarbdrucken im Flexodruckverfahren ist in ISO 12647 genormt. [Isot12] Das Drucken auf mehreren Substratklassen in einem Druckvorgang und das Drucken mit Dickensprung wurden bisher nicht untersucht.

### 2.2.4 Inkjetdruck

Der Inkjetdruck ist ein Verfahren, das ohne feste Druckform arbeitet. Das Druckbild wird unter der Verwendung elektronischer Bilddaten erzeugt. Ein Druckkopf erzeugt Tropfen aus der Tinte, die durch Düsen auf den Bedruckstoff appliziert werden. Durch synchronisierte Bewegung von Bedruckstoff und Druckkopf treffen die Tropfen an der gewünschten Position auf das

Substrat. [Hans09] Der Bildaufbau erfolgt üblicherweise durch Rastern (Binary Inkjet). Aber es werden auch Druckkopftechnologien eingesetzt, die gleichzeitig eine Variation der Schichtdicke ermöglichen (Grayscale Inkjet). [KnLy10] Der Inkjetdruck benötigt zur Farbübertragung keinen Kontakt zwischen Bedruckstoff und Druckkopf. Deshalb ist das Verfahren in gewissen Grenzen unabhängig von Dickenunterschieden des Substrats und wird verwendet, um Substrate mit Dickensprüngen zu bedrucken. [Soli13]

Die Normung für die Herstellung von Digitaldrucken ist derzeit unter Entwicklung. Seit einiger Zeit ist auch ein Prozessstandard Digitaldruck vorhanden. [Krau12] Aktuelle Arbeiten befassen sich häufig mit der Verbesserung der Tropfenqualität. [KwKi07] [Salu12] Die Druckqualität von Inkjetdruckern ist sehr hoch, weshalb das Inkjet-Druckverfahren häufig für hochwertige Fotoreproduktionen verwendet wird. Allerdings sind dann sehr geringe Druckgeschwindigkeiten in Kauf zu nehmen. Die Herausforderung der Druckmaschinenhersteller besteht in einer Erhöhung der Druckgeschwindigkeit, um die Lücke zu den konventionellen Druckverfahren schließen zu können. Inkjetdrucksysteme sind durch das kontaktlose Prinzip geeignet um Klebeetiketten und Grundmaterial gleichzeitig zu bedrucken. Durch die hohen Kosten für Tinte und die eingeschränkten Druckgeschwindigkeiten bestehen jedoch wirtschaftliche Grenzen für eine wachsende Verbreitung des Druckverfahrens. Jedoch ist nicht wissenschaftlich untersucht, wie eine Filmbildung der applizierten Tropfen an der Kante des Etiketts erfolgt.

#### 2.2.5 Siebdruck

Das Siebdruckverfahren ist ein Durchdruckverfahren. Die hochviskose Druckfarbe wird von einer Rakel von der Rakelseite eines gewebten Siebs auf den Bedruckstoff gedrückt. An Stellen, an denen keine Farbe auf den Bedruckstoff übertragen werden soll, wird das Sieb durch eine Schablone verschlossen. Die Elemente der Druckform werden in Abbildung 2-5 dargestellt.

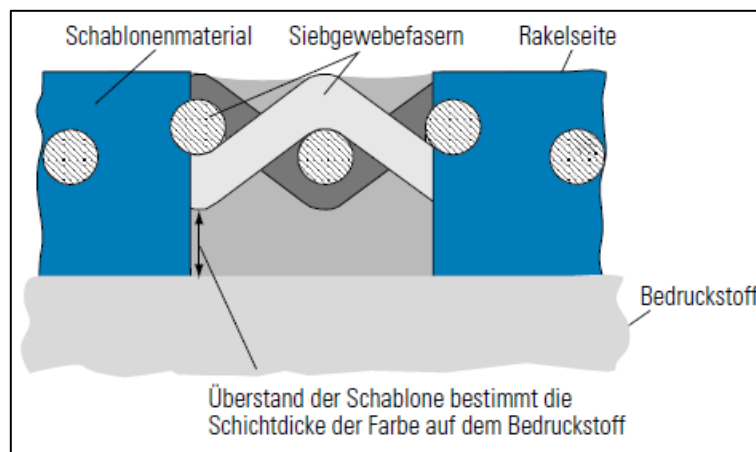


Abbildung 2-5: Siebdruckform im Querschnitt. Bildquelle: [Kipp01]

Durch den Überstand der Schablone hat das Siebgewebe keinen Kontakt zum Bedruckstoff. Außerdem wird durch die Höhe des Überstands die übertragene Farbschichtdicke bestimmt. Beim Überschreiten einer kritischen Schablonendicke wird die Genauigkeit der Abbildung an der Grenze von druckenden und nichtdruckenden Bereichen ungenau. Der vierfarbige Siebdruck ist wie Offsetdruck und Flexodruck in ISO12647 genormt. [Isot01] Wissenschaftlich untersucht wurde die Auswirkung unterschiedlicher Tiefdruckrakel auf das Druckergebnis. Dabei konnten elastische Rakel sicher Farbe übertragen, wobei eine genauere Kontrolle der Farbschichtdicke von harten Rakeln ermöglicht wurde. [Pöll00]

Untersuchungen, die das Drucken ohne Kontakt im Bereich von Substratdickensprüngen beschreiben, sind nicht bekannt. Allerdings lassen Anwendungen wie das Bedrucken von Spanngurten im Siebdruckverfahren und eigene Vorversuche den Schluss zu, dass auch größere Dickenunterschiede ausgeglichen werden können. [Hein13]

### 2.2.6 Schichtbildung

In Abhängigkeit vom zu bedruckenden Substrat und dem eingesetzten Druckverfahren müssen die dynamische Viskosität und die Oberflächenspannung der Druckfarben in bestimmten Grenzen vorliegen, um eine gute Schichtqualität zu erreichen. [MeMS03] Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 2-6 dargestellt.

Werden diese Grenzen über- oder unterschritten sinkt die Schichtqualität. Ist beispielweise die dynamische Viskosität zu hoch, wird die Einebnung von Inhomogenitäten verlangsamt. Zu hohe Oberflächenspannung der Farbe kann zu ungenügender Benetzung des Untergrunds führen.

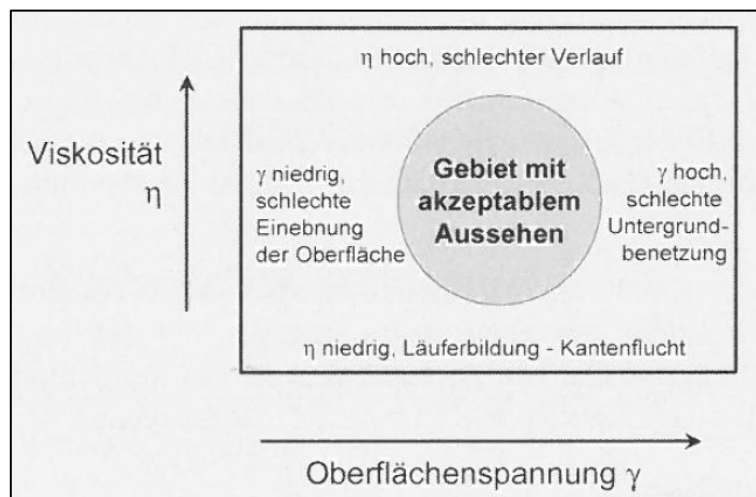


Abbildung 2-6: Zusammenhang zwischen dynamischer Viskosität  $\eta$  und Oberflächenspannung  $\sigma$ . Bildquelle: [MeMS03]

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Schichtqualität ist die Trocknung. Bei zu langsamer Trocknung kann partielles Entnetzen auftreten, bei zu schneller Trocknung kann sich eine ungleichmäßige Schicht nicht ausreichend einebnen. Darüber hinaus beeinflusst die Druckgeschwindigkeit die Schichtqualität. Ab einer kritischen Druckgeschwindigkeit können Ungleichmäßigkeiten in der Schichtspaltung auftreten, die im Druckergebnis sichtbar sind und mit einer weiteren Erhöhung der Druckgeschwindigkeit zahlenmäßig zunehmen. Wird die Druckgeschwindigkeit weiter gesteigert werden die Störungen aufgrund ihrer steigenden Anzahl so klein, dass sie mit bloßem Auge nicht zu erkennen sind. Alle angesprochenen Parameter werden ohne Beachtung der Trocknung in Formel 1, mit der die Verlaufszeit berechnet wird, miteinander verknüpft. [CaPa97]

$$t = \frac{3 * \lambda^4 * \eta}{16 * \pi^4 * \sigma * x^3} \quad \text{Formel 1}$$

Die Verlaufszeit  $t$  ist die Zeit, in der ein applizierter Farbfilm der Dicke  $x$  Inhomogenitäten der Filmdicke ausgleicht. Die Inhomogenitäten werden hier als Sinusfunktion modelliert, bei der  $\lambda$

die Wellenlänge darstellt, die einen sehr großen Einfluss auf die Verlaufszeit  $t$  hat. In Formel 1 sind weiterhin die Größen dynamische Viskosität  $\eta$  und Oberflächenspannung  $\sigma$  enthalten. Unter Einbeziehung der Trocknung sind die dynamische Viskosität steigend, die Oberflächenspannung steigend und die Schichtdicke sinkend mit der Zeit verbunden. Das heißt unter Beachtung der Potenzen wird die Verlaufszeit größer. Des Weiteren wird nach Ablauf der Trocknungszeit, also dem Verdunsten des enthaltenen Lösemittels, der aktuelle Zustand des Farbfilms eingefroren. Wenn zu diesem Zeitpunkt die Inhomogenitäten nicht ausreichend eingeebnet wurden, härtet die Schicht ungleichmäßig aus. Darüber hinaus ist noch ein weiterer Fall zu beachten, wenn die Oberflächenspannung rasch ansteigt und die dynamische Viskosität gering bleibt. Dann kann es vorkommen, dass das Fluid entzett, bevor die Farbschicht aushärtet.

Diese Parameter sind in der Regel unter gegebenen Bedingungen so aufeinander abstimmbare, dass eine zufriedenstellende Schichtqualität erreicht werden kann. Werden jedoch unterschiedliche Substratklassen kombiniert, können die Parameter für das eine Substrat so stark von den Parametern für das andere Substrat abweichen, dass eine der Schichten keine zufriedenstellende Qualität aufweist. Wird das Material des Klebstoffes mit in die Betrachtung eingeschlossen, müssen sogar drei Materialoberflächen betrachtet werden. Die Filmbildung nach dem Applizieren, der Ausgleich der Inhomogenitäten und die Vorgänge bei der Schichttrocknung werden derzeit am IDD intensiv erforscht. [Grie13] [Born13]

Neben den Inhomogenitäten im Film treten im Bereich von scharfen Kanten Schichtdickenschwankungen durch die sogenannte Kantenflucht auf. Wie in Abbildung 2-7 dargestellt führt der kleine Radius  $r$  der Flüssigkeitsoberfläche zu einem lokalen Druckanstieg.

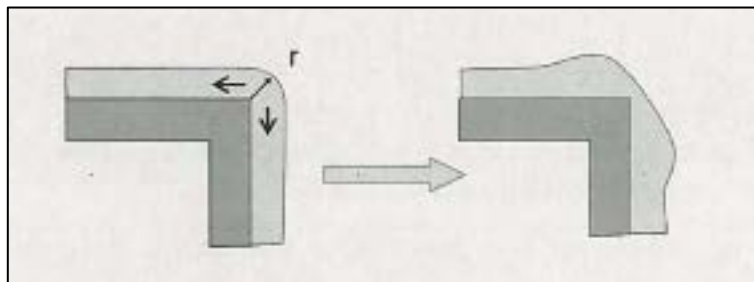


Abbildung 2-7: Kantenflucht einer Flüssigkeitsschicht, die um Radius  $r$  gekrümmt ist. Bildquelle: [MeMS03]

Formel 2 beschreibt die Kantenflucht mathematisch mithilfe der Größen Druckunterschied  $\Delta p$ , Oberflächenspannung  $\sigma$  und der Radius  $r$ . [MeMS03]

$$\Delta p = \frac{2 \cdot \sigma}{r}$$

Formel 2

Durch ein Wegfließen der Farbe von der Kante wird der Radius solange vergrößert bis das System einen Gleichgewichtszustand erreicht hat, oder das Fluid getrocknet ist.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Stand der Forschung und Entwicklung derzeit die Grenzen der Überdruckbarkeit im Verpackungsdruck nicht kennt.



### 3 Forschungsziel

Jedes einzelne der zu untersuchenden Druckverfahren (Offsetdruck, Flexodruck und Inkjetdruck) erreicht unter kontrollierten Bedingungen eine hohe Druckqualität. Treten unterschiedliche Substratklassen und Dickenunterschiede im Substrat auf, sinkt diese Druckqualität ab. Im Inkjetdruck bestehen auch wirtschaftliche Restriktionen. Verpackungen mit aufgeklebten RFID-Tags oder Sichtfenstern erfordern aber das Überdrucken solcher Materialkombinationen. Ziel des Vorhabens ist die Optimierung der im Verpackungsdruck eingesetzten Druckverfahren für solche Aufgaben. Dabei soll mit möglichst wenigen Prozessschritten eine zufriedenstellende Druckqualität erreicht werden. Ein Prozessschritt, der aus Kostengründen möglichst entfallen sollte, ist zum Beispiel das Vordrucken des Etiketts mit einem Grundweiß im Siebdruckverfahren.

Die wissenschaftliche Fragestellung ist, unter welchen Umständen und mit welcher Qualität ein solches Etikett oder eine solche Lackschicht überdruckt werden kann. Bisher gibt es keine wissenschaftlich fundierten Untersuchungen zu den Grenzen der Überdruckbarkeit unter Einbeziehung aller dieser Parameter. Die Verfahren der grafischen Industrie müssen auf diese neuen Herausforderungen angepasst werden.

Des Weiteren besteht die Herausforderung darin, im Bereich des Höhensprungs einen hinreichenden Kontakt zwischen Grundmaterial und der auf der Druckform des Flexodrucks oder dem Gumm Tuch des Offsetdrucks befindlichen Druckfarbe zu gewährleisten. Durch diesen Höhenunterschied entstehen zwischen Etikett und Grundmaterial Unterschiede im Pressungsverhalten, die wiederum in unterschiedlichen Druckergebnissen auf Etikett und Grundmaterial resultieren können.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeiten werden die Grenzen der Überdruckbarkeit unterschiedlicher Materialien und unter Einwirkung eines Dickensprungs mit verschiedenen Druckverfahren ermittelt. Es soll die Frage beantwortet werden, welche Schichtdicken mit welcher Qualität überdruckt werden können. Von besonderem Interesse ist neben der Oberflächenbeschaffenheit der gedruckten Schichten auch der Kantenübergang zwischen den zu überdruckenden Schichten.

Die Ziele sollen durch folgende prinzipielle Vorgehensweise erreicht werden:

- ✚ Mit dem Projektbegleitenden Ausschuss werden die zu verdruckenden Material- und Substratkombinationen sowie die Druckverfahren festgelegt.
- ✚ Die Versuchsplanung und Durchführung erfolgt mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung (DoE, Design of Experiments).
- ✚ Die Auswertung der Versuche erfolgt zu einen durch Messungen und zum anderen durch visuelle Abstimmungsversuche mit Probanden.
- ✚ Mit Hilfe statistischer Methoden werden dann die zahlreichen Daten korreliert und mathematische Modelle abgeleitet.
- ✚ Schließlich werden Empfehlungen für die Praxis erarbeitet.

## 4 Durchführung der Druckversuche

### 4.1 Druckmaschine

Für die Druckversuche, die im Rahmen dieses Projektes durchgeführt werden, steht am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren (IDD) eine modulare Rollendruckmaschine des Typs Gallus RCS 330-HD zur Verfügung (siehe Abbildung 4-1). Diese Maschine wird in der Industrie primär zum Etikettendruck eingesetzt und zeichnet sich dadurch aus, dass alle vorhandenen Druckverfahren (Flexo-, Sieb-, Tief-, Offset- und Inkjet-Druck) gleichzeitig in der Produktion verwendbar sind. Dabei ist es durch eine modulare Bauweise der Maschine möglich, die Reihenfolge der Druckverfahren einfach und in einem angemessenen Arbeitsaufwand für den Druck verschiedener Aufträge zu verändern. Ebenso sind verschiedenste Druckfarben beziehungsweise Materialien einsetzbar. Zudem ist die Maschine mit sogenannten Leereinheiten nach jedem Druckwerk versehen, sodass zusätzlich die Möglichkeit besteht, ohne eine Bahnlaufänderung mit unterschiedlichen Trocknungseinheiten wie Heißluft-/IR-Trocknung oder UV-Härtung zu arbeiten. Diese Vielfalt an Konfigurationsmöglichkeiten macht die Gallus RCS 330-HD weltweit einmalig. [Haas12]



Abbildung 4-1: Modulare Rollendruckmaschine Gallus RCS 330-HD des Instituts für Druckmaschinen und Druckverfahren der TU Darmstadt

Weitere technische Spezifikationen der Druckmaschine sind nachfolgend aufgeführt:

- Gesamtlänge: 15 m
- Gesamtmasse: 26,6 t
- Wirkleistung: 50 kW
- Format der Druckverfahren: 18 Zoll
- Bahnbreite: 160-330 mm
- Bedruckstoffdicke: 10-400  $\mu\text{m}$

- Bahngeschwindigkeit: 1-160 m/min
- Antriebstechnik: Servo-Direktantrieb aller Druckzylinder
- Leistung des UV-Trocknungssystems: 200 W/cm

Die Rollendruckmaschine verfügt darüber hinaus über eine integrierte Einheit für eine Corona-Vorbehandlung. Bei diesem Verfahren wird die Oberflächenspannung von Kunststofffolien erhöht und damit die Farbhftung von Lacken und Farben gewährleistet. Realisiert wird dies dadurch, dass die Folie einer hohen elektrischen Entladung unterzogen wird. Es ist das am häufigsten eingesetzte Verfahren. Wie bei der Farbhärtung selbst entsteht auch hier Ozon, welches durch eine Absaugereinheit abgeführt wird. Außerdem sind an der Druckmaschine zwei einzeln ansteuerbare Piezo-Inkjet-Druckköpfe des Herstellers DOMINO angebracht, welche nach dem Prinzip des Drop on Demand arbeiten (Abbildung 4-2).

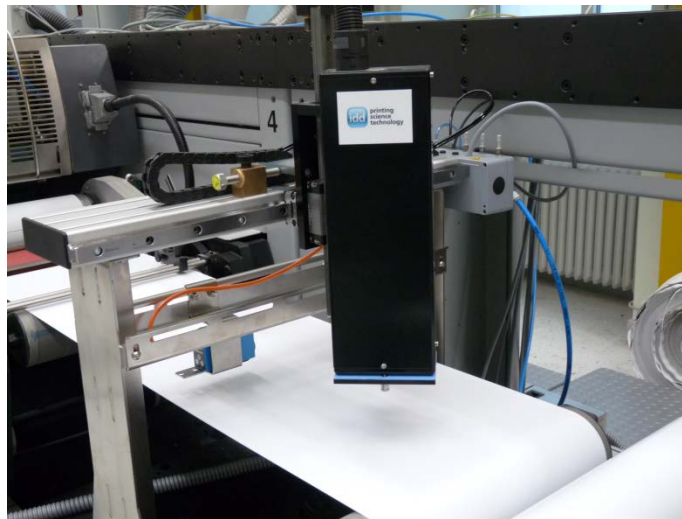


Abbildung 4-2: Ein an der Druckmaschine installierter Inkjet-Druckkopf des Unternehmens DOMINO

Abbildung 4-2 zeigt eine Art von Druckköpfen, die hauptsächlich im Etikettendruck eingesetzt werden.

## 4.2 Randbedingungen und Vorgaben

Durch die Antragsstellung waren einige Randbedingungen bereits festgelegt. Diese sind:

- Verwendung mehrerer Druckverfahren
- Einsatz mehrerer unterschiedlicher Substrate beziehungsweise „Höhen“
- Einsatz der Methoden des Design of Experiments (DoE)
- Bewertung der Druckproben mittels Messtechnik und visueller Abmusterung
- Modellbildung

Im Rahmen des Projektes wird dabei angestrebt die Möglichkeit des Überdruckens bis hin zu seinen Grenzen zu erfassen. Für das Aufzeigen der Grenzen werden die Versuche

herangezogen, welche aufgrund ihrer spezifischen Parametereinstellung technologisch nicht machbar sind. Nur so wird klar abgegrenzt, welche Kombinationen von Druckparametern einen Überdruck von zwei Werkstoffkombinationen, wie es in diesem Projekt vorgesehen ist, realisieren und welche zu keinem nutzbaren Ergebnis führen. Darüber hinaus legt der Projektbegleitende Ausschuss weitere Anforderungen an das Projekt fest, die insbesondere vorgeben, welche Aspekte vor, während und nach dem Projekt hauptsächlich zu betrachten sind. [Gute16]

Tabelle 4-1: Übersicht der vom Projektbegleitenden Ausschuss festgelegten Aspekte, welche im Rahmen des Projektes zu betrachten sind und deren Einfluss auf die Überdruckbarkeit zu klären ist. [Gute16]

	<b>Aspekt</b>	<b>Begründung</b> (Es ist zu klären, ...)	<b>Beurteilung durch Fachpersonal</b>	<b>Mess-technische Auswertung</b>	<b>Visuelle Abmusterung</b>
Vor und während der Versuche	Bedruckstoff	welchen Einfluss der Bedruckstoff zum Beispiel auf die Farbannahme, Überdruckbarkeit oder den optischen Farbeindruck hat	-	x	x
	Etiketten	wie sich die Etiketten beim Versenden verhalten, welche Auswirkungen der Höhengsprung auf das Druckergebnis hinsichtlich des optischen Eindrucks hat und welchen Einfluss das Etikettenmaterial auf die Oberflächenbeschaffenheit des gesamten Druckproduktes hat	x	x	x
	Druckfarben und Lacke	welche Druckfarben und Lacke für den Niveaueausgleich und den grafischen Überdruck eignen und welche erzielbare Qualität mit welchen Eigenschaften zu erreichen ist	-	-	x
	Druckformen	welche Formen sich für den Überdruck von zwei Werkstoffen mit einem ungleichmäßigen Dickenprofil eignen. Ob Fehler entstehen, wie zum Beispiel Verschleiß der Form, und welchen Einfluss diese auf das Ergebnis haben	x	-	-
	UV-Lampen	ob die eingesetzten UV-Lampen für eine Aushärtung der Niveaueausgleichsschicht geeignet sind und eine vollständige Aushärtung erreicht wird. Ebenso ist zu klären, ob	x	x	-

		die Dotierung der Lampe einen Einfluss auf das Härtergebnis hat			
	Gummituch	welchen Einfluss das Gummituch hat und welche Auswirkungen die Eigenschaften eines Gummituchs auf das Druckergebnis haben	x	-	-
Nach den Versuchen	Kante (Höhensprung)	ob nach dem Niveaueingleich und dem grafischen Überdruck eine sichtbare oder messbare Kante am Übergang zwischen Bedruckstoff und aufgebrachtem Etikett existiert und welchen Einfluss diese auf den optischen Gesamteindruck hat	-	x	x
	Glanz	inwieweit die gedruckten Druckproben glänzen	-	x	x
	Trocknung	ob die Druckproben vollständig ausgehärtet sind	x	x	-
	Oberflächeneigenschaften	welche Oberflächeneigenschaften die Druckproben haben, wie Kratzfestigkeit, Einschlüsse oder Orangenhaut	x	x	-

Die aufgeführten Aspekte werden während des Projektes weiter ergänzt, präzisiert und im messtechnischen Konzept sowie der visuellen Abmusterung berücksichtigt.

### 4.3 Verfahren und Material

Die zu verwendeten Materialien wurden in Abstimmung mit dem Projektbegleitenden Ausschuss spezifiziert.

#### Druckverfahren

Im Rahmen des Projektes wird geprüft, welches Druckverfahren sich für das Überdrucken einer Werkstoffkombination mit einem Höhengsprung zwischen den beiden Werkstoffen eignet. Dabei wird zunächst eine Niveaueingleichsschicht aufgebracht, um den Höhenunterschied zwischen den beiden zu überdruckenden Komponenten auszugleichen. Im Anschluss daran erfolgt ein grafischer Überdruck mit der Prozessfarbe Cyan. Weiterhin werden als optionaler Parameter bei den unterschiedlichen Versuchseinstellungen, Primer und Deckweiß aufgebracht. Der Primer dient dazu, die Haftung der Druckfarbe zu verbessern und das Deckweiß wird eingesetzt, um eine Vergleichbarkeit der Proben bei der messtechnischen und visuellen Auswertung zu erreichen.

Das Verfahren des Siebdrucks wird für den Niveaueausgleich und somit das Auftragen der ersten Farbschicht eingesetzt. Der grafische Überdruck erfolgt mittels Flexo-, Offset- und Inkjet-Druck. Für das optionale Auftragen des Primers und des Deckweißes wird der Flexodruck eingesetzt. Tabelle 4-2 gibt einen Überblick über den Einsatz der Druckverfahren für die einzelnen Komponenten.

Tabelle 4-2: Einsatz der Druckverfahren für den Niveaueausgleich, Auftrag von Primer und Deckweiß sowie den grafischen Überdruck [Gute16].

Druckverfahren	Niveaueausgleich	Auftrag des Primers	Auftrag des Deckweißes	Grafischer Überdruck
Siebdruck	x	-	-	-
Flexodruck	-	x	x	x
Offsetdruck	-	-	-	x
Inkjet-Druck	-	-	-	x

Dabei ist ausgeschlossen, dass die Druckverfahren alle für den Niveaueausgleich und für den grafischen Überdruck in beliebiger Kombination eingesetzt werden. Es wird ausschließlich die Kombination des Siebdrucks mit den drei weiteren Druckverfahren zugelassen, das heißt ein Niveaueausgleich mit Flexodruck und ein grafischer Überdruck mit Offset innerhalb eines Versuches ist nicht zulässig. Der Flexodruck wird für die Versuche zusätzlich zum Auftragen des Primers und des Deckweiß eingesetzt und daher indirekt auch mit den zwei weiteren Verfahren kombiniert.



Abbildung 4-3: Druckmotiv der Druckproben, welches sich aus einer Vollfläche, einem 80 %-Raster, einem 40 %-Raster und einer Weißreferenz zusammensetzt (von links nach rechts) [Gute16]

Der grafische Überdruck wird im Flexo- und Offsetdruck jeweils mit einer Vollfläche und zwei Rasterflächen von 80 %-Raster und 40 %-Raster umgesetzt. Die Rasterfrequenz beträgt dabei 60 l/cm und es kommt ein amplitudenmoduliertes Raster zum Einsatz. Darüber hinaus wird eine

Weißreferenz nur mit dem Niveauausgleich und versuchsplanbedingt mit Primer und/oder Deckweiß gedruckt (Abbildung 4-3). Für die Inkjet-Versuche wird eine Bitmap-Datei erstellt, welche die Vollfläche und das Raster bestmöglich nachstellt. [Gute16]

### Primärsubstrate

Der Bedruckstoff stellt das Primärsubstrat dar und wird nachfolgend derart bezeichnet, um ihn eindeutig von den aufzubringenden Etiketten, welche die Sekundärschicht darstellen, abzugrenzen. Es wurde zunächst festgelegt, dass für die Versuche drei unterschiedliche Primärsubstrate eingesetzt werden. Die nachfolgende Tabelle 4-3 gibt eine Übersicht über die Eigenschaften der verwendeten drei Primärsubstrate.

Tabelle 4-3: Auswahl an Primärsubstraten [Gute16]

	Primärsubstrat I	Primärsubstrat II	Primärsubstrat III
<b>Auswahl</b>	Etikettenpapier	Bilderdruckpapier	Polypropylen (PP)-Folie
<b>Eigenschaften</b>	Etikettenpapier mit einer Grammatur von 90 g/m <sup>2</sup>	Bilderdruckpapier mit einer Grammatur von 250 g/m <sup>2</sup>	Etikettenfolie aus Polypropylen; Angabe einer Grammatur liegt nicht vor
	Farbe: Weiß (glänzend)	Farbe: Weiß (glänzend)	Farbe: Weiß
	Breite: 333 mm	Breite: 333 mm	Breite: 280 mm
	Volumen: 1-fach	Volumen: 1,2-fach	Dicke: 60 µm
	Laufmeter: 16 000 lfm	Laufmeter: 17 225 lfm	Laufmeter: 20 000 lfm
<b>Produktbezeichnung</b>	RAFLACOAT FIT PEFC RH 6 PET23 	LUXOMAGIC BILDERDRUCK WEISS GLÄNZEND 	PP White TC 60, HDC75, RP37 

### Sekundärschichten





Die unterschiedlichen Etiketten stellen die Sekundärschichten in der Versuchsreihe dar. Es werden vier verschiedene Sekundärschichten festgelegt, wobei es sich um zwei Standardetiketten handelt, ein elektronisches EAS-Etikett und eine gedruckte Lackschicht, die als Etikettenimitat dient. Die Etiketten werden in einem automatisierten Prozess im 90°-Winkel auf das Primärsubstrat aufgebracht. Nur die Lackschicht wird nicht verspendet, sondern in



einem vorgelagerten Arbeitsschritt mittels Flexodruck auf die einzelnen Primärsubstrate aufgedruckt.

Tabelle 4-4 führt die Etikettenarten auf, die als Sekundärschichten verwendet werden. Weiterhin sind die Dicken der Etiketten und der Lackschicht dargestellt, welche den Höhengsprung zwischen dem Primärsubstrat und der Sekundärschicht beziffern.

Tabelle 4-4: Übersicht der eingesetzten Sekundärsubstrate [Gute16]

	Sekundärschicht I	Sekundärschicht II	Sekundärschicht III	Sekundärschicht IV
<b>Auswahl</b>	Folienetikett	Papieretikett	EAS-Etikett	Lackschicht
<b>Eigen-schaften</b>	Aus Etikettenfolie Polypropylen	Obermaterial aus CASTGLOSS FSC	Zukauf von ETIFIX GMBH	25 kg UV-Inline Lack S701U
	77 500 Stück	80 000 Stück	80 000 Stück	11 130 lfm
<b>Dicke</b>	60,14 µm	90 µm	260,57 µm	4,5 µm
<b>Maße (H x B)</b>	8 cm x 6,5 cm	8 cm x 6,5 cm	4 cm x 4 cm	5 cm x 5 cm
				

Es wird hierbei deutlich, dass die Lackschicht die geringste Dicke aufweist. Diese wird eingesetzt, um eine Abstufung im Höhengsprung zwischen Primärsubstrat und Sekundärschicht zu erhalten und festzustellen, welchen Einfluss nur ein geringer Höhenunterschied beim Überdrucken hat. Anzumerken ist, dass das Folienetikett noch zusätzlich eine Corona-Vorbehandlung benötigt, um die Haftung der Lacke und Farben auf dem Etikett sicherzustellen.

### Druckfarben und Lacke

Der Ausschuss plante zunächst Low-Migration-UV-Druckfarben zu verwenden. Recherchen haben jedoch ergeben, dass diese für den Sieb- und Inkjet-Druck nicht verfügbar sind. Daraufhin wird das Vorhaben angepasst und konventionelle UV-Druckfarben eingesetzt. Um die Versuche vorwettbewerblich durchzuführen werden Primer, Siebdruckfarbe, Deckweiß und das Prozess-Cyan von jeweils zwei unterschiedlichen Herstellern verwendet. Diese werden entsprechend dem Versuchsplan als Paramater variiert. Für die Inkjet-Farbe ist es nicht möglich diese Forderung einzuhalten, da der Druckkopf aufgrund der Herstellergewährleistung nur für die Originalfarbe von DOMINO freigegeben ist.

Tabelle 4-5: Übersicht der Hersteller der Druckfarben und Lacke [Gute16]

	<b>Hersteller I</b>	<b>Hersteller II</b>
<b>Siebdruckfarbe</b>	WEILBURGER	SUNCHEMICAL
<b>Primer (Flexodruck)</b>	FLINT	SUNCHEMICAL
<b>Deckweiß (Flexodruck)</b>	FLINT	SUNCHEMICAL
<b>Cyan-Flexodruck</b>	FLINT	SUNCHEMICAL
<b>Cyan-Offsetdruck</b>	FLINT	SUNCHEMICAL
<b>Cyan-Inkjet-Druck</b>	DOMINO	-

### Weitere Druckmaterialien

Neben den bereits aufgeführten Materialien werden für die Versuche noch weitere Komponenten variiert, da davon ausgegangen wird, dass auch diese einen Einfluss auf die Qualität einer überdruckten Kombination aus zwei Werkstoffen mit einem Höhensprung am Übergang von dem Primärsubstrat auf die Sekundärschicht haben. Im Offsetdruck werden die Gummitücher variiert, wobei Tücher der Hersteller GALLUS und CONTITECH verwendet werden. Für den Flexodruck werden eine gelaserte Elastomer-Druckform von BÖTTCHER und eine polymere Druckform von FLINT eingesetzt. Außerdem wird das Klebeband, welches in harter und weicher Ausführung verwendet wird, von TESA bezogen. Die Siebe sind als Rundsiebe ausgeführt und werden von GEWA ETIKETTEN bereitgestellt.

### Vorversuche „Siebdrucklack“

Der zuvor beschriebenen endgültigen Auswahl an Druckfarben und Lacken gehen Vorversuche voraus, welche dann als Entscheidungsgrundlage für die Farbwahl genutzt werden. Diese Versuche fanden vor Beginn dieser Arbeit statt und hatten zum Ziel, neben der bereits ausgewählten SUNCHEMICAL Siebdruckfarbe, einen weiteren Siebdrucklack oder eine Siebdruckfarbe zu finden, die sich in einem geeigneten Maße überdrucken lässt. Dabei wird zusätzlich eine Verdruckbarkeit von Schichten bis zu 120 µm gefordert. Es werden Siebdruckfarben der Hersteller VEGRA, PRÖLL und WEILBURGER getestet. Die Vortests zeigen, dass der Siebdrucklack von VEGRA zum Überdrucken geeignet ist, jedoch bei dicken Schichten zu Lufteinschlüssen neigt. Der Siebdrucklack von PRÖLL hingegen weist eine homogene Schicht auf, ist aber nicht überdruckbar (siehe Abbildung 4-4), was auf das als Inhaltstoff verwendete Silikon zurückgeführt werden kann. Zusätzlich wird der Lack nach dem Verdrucken extrem spröde.



Abbildung 4-4: Bersten der Lackschicht (Vorversuch mit Siebdrucklack des Unternehmens PRÖLL) [GUTE16]

Die Vorversuche mit dem WEILBURGER Siebdrucklack zeigen hingegen, dass sich dieser Lack sowohl überdrucken lässt, als auch bei dicken Schichten keine sichtbaren Mängel aufweist, womit er allen Anforderungen genügt.

#### 4.4 Statistische Versuchsplanung

Die Grundlage für die Planung und spätere Auswertung der Versuche ist die statistische Versuchsplanung (Design of Experiments, kurz DoE). Die Grundlagen der statistischen Versuchsplanung werden nachfolgend kurz erläutert und die im Projekt verwendete Variante näher beschrieben. Die folgenden Ausführungen sind Gute [2016] entnommen; hier ist auch auf weiterführende Literatur verwiesen.

##### **Grundlagen**

Die Methode der statistischen Versuchsplanung erlaubt es Versuchsreihen effizient zu planen und statistisch auszuwerten. Das Ziel des DoE ist es, mit einem möglichst geringen Versuchsaufwand vorzugsweise viele Zusammenhänge zwischen Eingangsvariablen und Ergebnissen zu ermitteln. Dabei wird durch die Methode sichergestellt, dass die generierten Informationen statistisch abgesichert sind und auftretende Effekte der Eingangsvariablen und ihrer Wechselwirkungen in den Ergebnissen eindeutig quantifizierbar bleiben. DoE ist universell in allen Ingenieursdisziplinen einsetzbar. Jedoch sind bei der Planung der reale Aufwand von Versuchsdurchführungen und die Möglichkeit der Kontrolle einstellbarer Parameter stets zu berücksichtigen, da diese meist enge Grenzen haben und der tatsächliche Aufwand vorher nicht immer absehbar ist.

Hohe Effizienz, Stabilität, eine einfache Handhabung und die Möglichkeit Ergebnisse klar darzustellen sprechen für die Methode des DoE. Außerdem ist durch eine hohe Standardisierung der Schritte eine Vielzahl an softwareseitiger Unterstützung vorhanden. Ebenso sind die Vorgehensweise und die Ergebnisdarstellung soweit vereinheitlicht, dass eine problemlose Kommunikation auch unter verschiedenen Unternehmen möglich ist.

Für die Erstellung von Versuchsplänen und deren Input- sowie Outputgrößen sind eine eindeutige Systembeschreibung und eine klar gezogene Systemgrenze Grundvoraussetzung. Eine weitere Bedingung ist, dass Faktoren, die den Eingangsparametern entsprechen, stets exakt reproduzierbar sind, sodass bei der Variation der Faktoren eine Vergleichbarkeit gewahrt bleibt, wenn ein Faktor mehrfach kombiniert wird. Die Einstellungsmöglichkeiten zu den Faktoren werden Stufen genannt und jeder Faktor wird auf mindestens zwei voneinander



## Teilfaktorielle Versuchsplanung

Bei der teilfaktoriellen Versuchsplanung werden für die zu untersuchenden Parameter ebenfalls mindestens zwei Stufen festgelegt; diese werden jedoch nicht in allen Kombinationen als Versuche durchgeführt. Dabei werden die nicht durchgeführten Kombinationen im Rahmen der Auswertung interpoliert. Abbildung 4-6 zeigt eine teilfaktorielle Versuchsplanung, bei der Informationen zu Kombinationen nicht durch Versuche sondern durch Interpolation gewonnen werden.

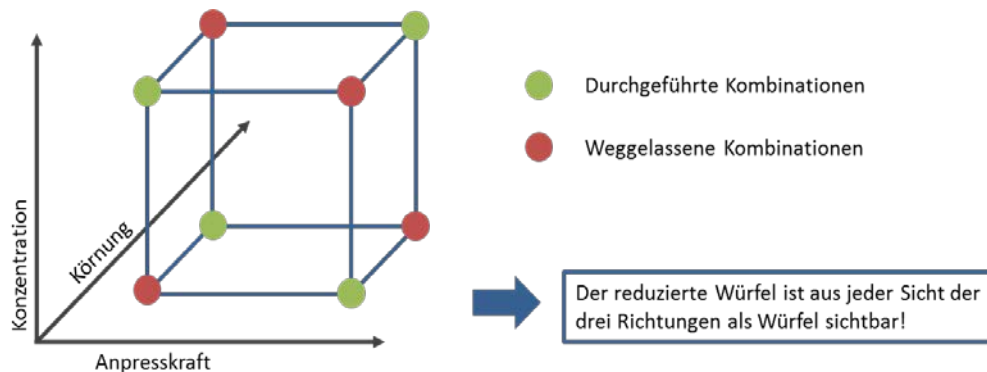


Abbildung 4-6: Beispiel einer teilfaktoriellen Versuchsplanung; Kombinationen, deren Wirkungen bereits bekannt sind, werden in der Versuchsplanung weggelassen; nach [Gute16]

Allgemein führt eine Reduzierung der Versuche jedoch zu einem verringerten Informationsgehalt. Um keine Ergebnisse von hoher Bedeutung zu Beginn auszuschließen, ist es bei der statistischen Versuchsplanung nur dann zulässig teilfaktoriell zu planen, wenn die Informationen zu Drei-Faktor- oder höheren Faktor-Wechselwirkungen gehören, da sich die dazugehörigen Effekte in der Regel nicht mehr von der Versuchsstreuung unterscheiden und somit nur bedingt zu brauchbaren Erkenntnissen führen. Für das zuvor aufgeführte Beispiel von sieben Faktoren auf zwei Stufen ergeben sich bei einer teilfaktoriellen Versuchsplanung nur noch acht Kombinationen, die mittels Versuchen getestet werden.

Der sichtbare Vorteil dieser Versuchsplanung ist der deutlich reduzierte Aufwand, jedoch kommt es bei den Haupteffekten in der Auswertung zu einer Überlagerung von Wechselwirkungseffekten. Dennoch eignet sich die teilfaktorielle Versuchsplanung, um erste Parameter und ihre Effekte sowie Wechselwirkungen zu erfassen. Darüber hinaus ist es bei dieser Art der Versuchsplanung möglich, bereits bekannte Interaktionen zu berücksichtigen und damit den Informationsgehalt wieder zu erhöhen. Für das Aufstellen von voll- oder teilfaktoriellen Versuchsplänen gibt es noch zahlreiche weitere Möglichkeiten, welche die verschiedensten Informationen berücksichtigen oder verarbeiten. Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch auf eine weitere Ausführung verzichtet, da der Versuchsplan zu Beginn der vorliegenden Arbeit bereits vollständig erstellt ist und nur noch Anpassungen bezüglich der Umsetzung erfolgen.

## Allgemeine Auswertung

Die Auswertung der Versuchsergebnisse ist in der statistischen Versuchsplanung weitestgehend normiert. Die Darstellung von Effekten und Wechselwirkungen erfolgt in standardisierten Graphen, welche aus der hinterlegten Beschreibungsfunktion des DoE hervorgehen. Die Vorgehensweise zur Erstellung dieser Auswertediagramme ist prinzipiell für alle Versuchspläne gleich. Allgemein liegen immer zwei Möglichkeiten der Auswertung vor. Einerseits ist sie ohne Statistik durchzuführen, was den Nachteil hat, dass das Vertrauensniveau der Aussagen nicht ermittelt wird, andererseits ist unter Verwendung von Statistik eine Varianz- oder Regressionsanalyse möglich. Um diese durchzuführen, ist jedoch eine Softwareunterstützung notwendig.

Für die Auswertung teilfaktorieller Versuchspläne wird das gleiche Prinzip angewendet wie für vollfaktorielle Pläne. Nachteilig dabei ist jedoch, dass Wechselwirkungen nur bedingt für eine Analyse brauchbar sind, da sie von Einzelwirkungen überlagert sind. Es ist somit ratsam, vor der eigentlichen Auswertung und damit bereits beim Erstellen der Versuchspläne zu berücksichtigen, welche Wechselwirkungen zu analysieren sind und dementsprechend nur eine teilweise Reduktion durchzuführen. Dafür bietet das DoE mehrere Designansätze.

## Auswertung mit der Software CORNERSTONE

Die Erstellung von Versuchsplänen und die Auswertung der Versuchsergebnisse zu den bestehenden Plänen erfolgt in den meisten Fällen mit Softwareunterstützung. Der Versuchsplan dieses Projektes wird mit der Software CORNERSTONE® erstellt. Diese Software bietet ein umfassendes Statistikpaket an, wobei der Schwerpunkt auf der industriellen Statistik liegt, um Produkte und Prozesse zu optimieren. Die Software liefert bei einfacher und intuitiv zu bedienender Oberfläche die folgenden Funktionen an:

- Zugriff auf Standardversuchspläne (Bei teilfaktorieller Versuchsplanung werden die vermengten Effekte jedoch nicht einzeln angezeigt.)
- Schwerpunkt bei der Erzeugung sowie Auswertung von d-optimalen Versuchsplänen (Es besteht die Möglichkeit mehrstufige Faktoren mit Wechselwirkungen aufzustellen.)
- Es besteht die Einstellungsoption, mehrere Wunschgrößen gemeinsam zu optimieren.

## 4.5 Versuchsplanung

Die Erstellung des Versuchsplans auf Grundlage des DoE erfolgt durch den Projektleiter und ist zu Beginn dieser Arbeit bereits komplett abgeschlossen. Im nachfolgenden Abschnitt werden dazu Inhalte des Versuchsplans, wie Einflussgrößen, Störparameter, Abhängigkeiten oder Wechselwirkungen näher erläutert. Zudem wird beschrieben, wie bereits existierende Erkenntnisse, die beispielsweise aus der praktischen Drucktechnologie bekannt sind, im Versuchsplan berücksichtigt und in diesen eingepflegt worden sind. Des Weiteren werden die Gründe für eine Versuchsplananpassung genannt und es wird dargestellt, in welcher Weise eine Unterteilung in Versuchsblöcke und Anpassung der Pläne erfolgt. Dieser Abschnitt ist Gute [2016] entnommen.

#### 4.5.1 Erstellung des Versuchsplans

Der Versuchsplan wird auf Basis des DoE erstellt. Als Unterstützung bei der Erstellung wird die Software CORNERSTONE® eingesetzt. Bevor der Versuchsplan softwareunterstützt erstellt wird, erfolgen zunächst einige Vorüberlegungen. Diese werden teilweise durch Vorversuche ergänzt, um eine Entscheidung zu treffen, wie der jeweilige Aspekt im Versuchsplan berücksichtigt wird.

#### Allgemeine Vorüberlegungen

Der Versuchsplanung werden einige Vorüberlegungen vorangestellt. Zunächst werden Teilaspekte ermittelt, welche die Grundlage für den Versuchsplan bilden. Dabei sind diese teilweise durch den AiF-Antrag und teilweise durch die Entscheidungen des Projektbegleitenden Ausschusses festgelegt. Weitere relevante Größen werden vom Projektleiter ergänzt. Abbildung 4-7 gibt eine Übersicht über die grundlegenden Aspekte, die für die Versuchsplanung relevant sind.

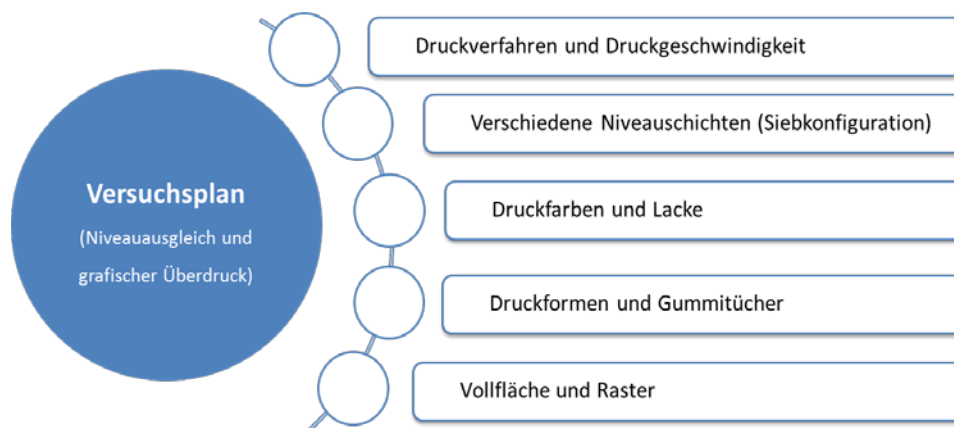


Abbildung 4-7: Vorüberlegungen zu den grundlegenden Einflussgrößen, welche im Versuchsplan zu berücksichtigen sind

Neben den zu variierenden Druckverfahren, Primärsubstraten und Sekundärschichten werden auch im Druckmotiv selbst drei verschiedene Muster im Versuchsplan berücksichtigt. Dies sind eine Vollfläche, zwei Rasterflächen mit einem 80 %-Raster und einem 40 %-Rastersowie eine Weißreferenz. Außerdem werden Druckmaterialien, wie Druckfarben und Siebe, Lacke, Druckformen, und Gummitücher innerhalb der einzelnen Versuchsdurchführungen getauscht. Als weitere Variable wird die Druckgeschwindigkeit mit in die Planung der Versuche einbezogen, da bekannt ist, dass diese einen Einfluss auf das Druckergebnis hat. Zusätzlich zu diesen Hauptaspekten werden weitere Einflussgrößen erfasst und dokumentiert. Zusätzlich werden folgende Einflussgrößen berücksichtigt:

- Verwendung von Primer sowie Variation des Primerherstellers
- Überdruck mit Deckweiß und Variation des Deckweißherstellers
- Klebebänder für das Aufbringen der Flexodruckformen
- Tropfengröße beim Inkjet-Druck



Der Einsatz von Deckweiß, welches im Flexodruckverfahren aufgebracht wird, resultiert aus der Tatsache, dass eine Einheitlichkeit der Druckproben angestrebt wird. Um den Einfluss des Niveaueausgleichs und den dabei verwendeten Farben und Lacken in der messtechnischen Auswertung und visuellen Abmusterung zu erfassen, werden Versuche mit und ohne Deckweiß in den Versuchsplan mit aufgenommen. Dadurch wird es zusätzlich möglich, Proben, die im Niveaueausgleich mit einem durchsichtigen Lack gedruckt werden, mit Proben, welche eine weiße Siebdruckfarbe haben, zu vergleichen. Die Variation der Inkjet-Tropfengröße im Rahmen der Versuche basiert auf der Annahme, dass die Tropfengröße und somit die aufgebrauchte Farbmenge einen Einfluss auf das Druckbild hat und beim Überdrucken des Höhengsprungs gegebenenfalls eine Rolle beim optischen Eindruck spielt.

Weiterhin ist der Aspekt, wie bereits in Kapitel 2.2. erläutert, die Versuche vorwettbewerblich zu halten, bei der Planung der Versuche von großer Bedeutung. Dieser wird durch den Einsatz von Materialien von jeweils zwei unterschiedlichen Herstellern realisiert. Die Vorwettbewerblichkeit gilt bis auf den Inkjet-Druck für die Druckfarben und Lacke, sowohl im Niveaueausgleich als auch im grafischen Überdruck für die Druckformen und die Gummitücher. Außerdem wird durch die Variationen angestrebt, Erkenntnisse darüber zu gewinnen, welche Einflüsse sich direkt zum Beispiel aus der Druckfarbenzusammensetzung oder der Kompressibilität von Gummitüchern ergeben und welche Rolle diese beim Überdrucken von Werkstoffkombinationen ungleichmäßiger Schichtdicken über die Bedruckstofflänge spielen. Weiterhin ist der Einfluss von Klebebändern auf die Überdruckbarkeit zu klären, da auch hier bereits bekannt ist, dass die Kompressibilität des Klebebands an den Bedruckstoff anzupassen ist. Hierdurch werden Unebenheiten kompensiert werden und der Druckprozess stabilisiert, was wiederum einen Einfluss auf das Druckergebnis hat. Gerade im Zusammenhang mit dem Höhengsprung zwischen Primärs substrat und Sekundärschicht ist der Einfluss des Klebebandes ein interessanter Faktor, welcher bei den Versuchen zu untersuchen ist.

Die beschriebenen Komponenten werden für die statistische Versuchsplanung weiter analysiert und es wird festgelegt, welche als Faktor, das heißt als Eingangsgröße, in den Versuchsplan eingehen. Den festgelegten Faktoren wird anschließend eine Faktorstufe zugewiesen, welche berücksichtigt, wie viele Variationen innerhalb des Faktors vorgenommen werden. Für das Primärs substrat sind dies beispielsweise drei Faktorstufen, da drei unterschiedlichen Materialien verwendet werden. Das Ergebnis dieser ersten Überlegungen zeigt Abbildung 4-8.

Überdruck (Niveau)	Beschreibung Einflussparameter	Faktorstufe 1	Faktorstufe 1 Symbol	Faktorstufe 2	Faktorstufe 2 Symbol	Faktorstufe 3	Faktorstufe 3 Symbol	Faktorstufe 4	Faktorstufe 4 Symbol
Faktor 1	Primärsubstrat	Bilderdruckpapier	+	Etikettenpapier (Verbund)	alpha +	PP-Folie (Verbund)	-		
Faktor 2	Sekundärschicht	EAS Etikett	+	Papieretikett	alpha +	Folienetikett	alpha -	Lackschicht	-
Faktor 3	Primer (200 l/cm; 9,3 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Ja	+	Nein	-				
Faktor 4	Primerhersteller	Flint	+	SunChemical	-				
Faktor 5	Siebdruck I (Niveaueausgleich)	Sieb 21/140	+	Sieb 43/80	alpha +	Sieb 100/40	-		
Faktor 6	Siebdruck II (Niveaueausgleich)	Sieb 21/140	+	Sieb 43/80	alpha +	Sieb 100/40	-		
Faktor 7	Siebdruckfarbe	Weilburger Siebdrucklack	+	SunChemical Siebdruckweiß	-				
Faktor 8	Deckweiß mit Flexodruck I (130 l/cm; 13,2 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Ja	+	Nein	-				
Faktor 9	Deckweiß mit Flexodruck II (160 l/cm; 7,9 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Ja	+	Nein	-				
Faktor 10	Flexodruckformhersteller	Flint	+	Böttcher	-				
Faktor 11	Flexodruckfarbe Deckweiß	Flint	+	SunChemical	-				
Faktor 12	Geschwindigkeit	120 m/min	+	60 m/min	alpha +	30 m/min	-		
<b>Flexodruck (grafisch)</b>									
Faktor 13	Motivaufbau des Rasters Verwendung von Klebeband	Weich	+	Hart	-				
Faktor 14	Motivaufbau der Vollfläche Verwendung von Klebeband	Weich	+	Hart	-				
Faktor 15	Flexodruckfarbe Cyan	Flint	+	SunChemical	-				
<b>Offsetdruck (grafisch)</b>									
Faktor 13	Gummituchhersteller	Gallus Standard	+	Contitech	-				
Faktor 14	Offsetdruckfarbe Cyan	Flint	+	SunChemical	-				
<b>Digitaldruck (grafisch)</b>									
Faktor 13	Digitaldrucktinte Cyan	Tropfenvolumen 8 pl	+	Tropfenvolumen 6 pl	-				

Abbildung 4-8: Faktorisierung der Einflussgrößen als Grundlage für den Versuchsplan [Gute16]

Als Grundlage werden dem Versuchsplan zunächst die einzelnen Faktoren hinterlegt und durch eine Kurzbeschreibung charakterisiert. Darüber hinaus werden die Faktorstufen der einzelnen Einflussparameter ergänzt. Würde dieser Versuchsplan mit den Faktoren vollfaktoriell ausgeführt, so ergäbe sich für 12-14 Parameter mit jeweils 2-4 Faktorstufen eine maximale Versuchsanzahl von 165 888 Versuchen. Dabei sind die Parameterzahl und Anzahl der Faktorstufen vom jeweiligen betrachteten Aspekt abhängig. Um den Versuchsumfang derart zu reduzieren, dass eine praktische Umsetzung der Versuche zu realisieren ist, wird von einer vollfaktoriellen auf eine teilfaktorielle Versuchsplanung übergegangen. Es wird zunächst ein d-optimierter Versuchsplan (Erläuterungen siehe Kapitel 0.) erstellt, was den Versuchsumfang auf circa 850 Versuche reduziert. Um jedoch die Möglichkeit zu haben, weitere bekannte Interaktionen und Wechselwirkungen einzelner Faktoren in den Versuchsplan mit aufzunehmen, wird ein benutzeroptimiertes Modell mit Hilfe der Software CORNERSTONE<sup>®</sup> erstellt. Um Fehler zu vermeiden und einen gesonderten Überblick über die auszuschließenden Elemente zu behalten, werden die Komponenten nachträglich und manuell in die Software übertragen. Somit wird es möglich, Interaktionen und Wechselwirkungen, welche keinen Einfluss haben, aus dem Versuchsplan zu streichen und die Versuchsanzahl zu reduzieren. Eine verkürzte Aufzählung der betrachteten Interaktionen und Wechselwirkungen zeigt Tabelle 4-6. Darüber hinaus ist ergänzt, ob die betrachtete Kombination für die Versuche relevant ist und im Versuchsplan berücksichtigt wird.

Tabelle 4-6: Auszug aus den aufgestellten und im Versuchsplan berücksichtigten Interaktionen und Wechselwirkungen; [Gute16]

Faktor I	Faktor II	Relevant für Versuche
Primärsubstrat	Sekundärschicht	ja
Primärsubstrat	Siebdruck II	nein
Sekundärschicht	Siebdruck I	ja
Sekundärschicht	Geschwindigkeit	nein
Primerverwendung	Hersteller Primer	ja
Primerverwendung	Hersteller Cyan	nein
Siebdruck I	Siebdruck II	ja
Siebdruck I	Hersteller Flexoform	ja
Hersteller Flexoform	Hersteller Gumm Tuch	nein

Die Überprüfung von Interaktionen und Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Faktoren verdeutlicht, dass 33 Beziehungen bestehen, welche nach aktuellem Wissensstand und nach der logischen Verknüpfungskombination keine Relevanz für die Versuche haben. Diese Gruppe wird daraufhin aus dem Versuchsplan entfernt und es verbleiben 409 Versuche.

### **Vorversuche zur technologischen Machbarkeit**

Mit dem Ziel ausschließlich Versuchseinstellungen durchzuführen, die als technologisch machbar gelten, werden vor Beginn der eigentlichen Maschinenversuche einige Vorversuche durchgeführt. In einem Vorversuch wird geklärt, welche Siebe für den Niveausgleich eingesetzt werden, da für die Realisierung des Niveausgleichs unterschiedliche Siebe zur Auswahl stehen. Die Vorauswahl der Siebe erfolgt anhand von Dickenmessungen der Sekundärschichten. Ziel des Niveausgleichs ist es, eine Anpassung des Höhenunterschieds zwischen Primärsubstrat und Sekundärsubstrat zu realisieren. Dafür werden verschiedene Siebe kombiniert, welche jeweils unterschiedliche Spezifikationen haben. Jedes Sieb hat ein theoretisches Farbvolumen, aus welchem die theoretisch auftragbare Farbschicht abzuleiten ist. Die Kombination der Siebe bei den Versuchen führt dazu, dass mehrere Abstufungen an Farbschichtdicken zu realisieren sind. Bei den Versuchen wird beabsichtigt durch eine geeignete Siebwahl und Kombination von Sieben eine Schichtdicke bis 120 µm aufzutragen. Die Auswahl der Siebe erfolgt anhand der Überlegung, dass die Höhen der Sekundärschichten auszugleichen sind, um keinen beziehungsweise einen verringerten Höhengsprung zwischen Primärsubstrat und Sekundärschicht zu haben. Dafür werden die Höhen der Sekundärschichten vermessen und den theoretischen Siebvolumina gegenübergestellt. Abbildung 4-9 zeigt die Gegenüberstellung der gemessenen Sekundärschichtdicken und der theoretisch erreichbaren Siebschichtdicken für eine Siebschicht und für die Siebschicht, welche durch einen doppelten Siebdruck zustande kommt.

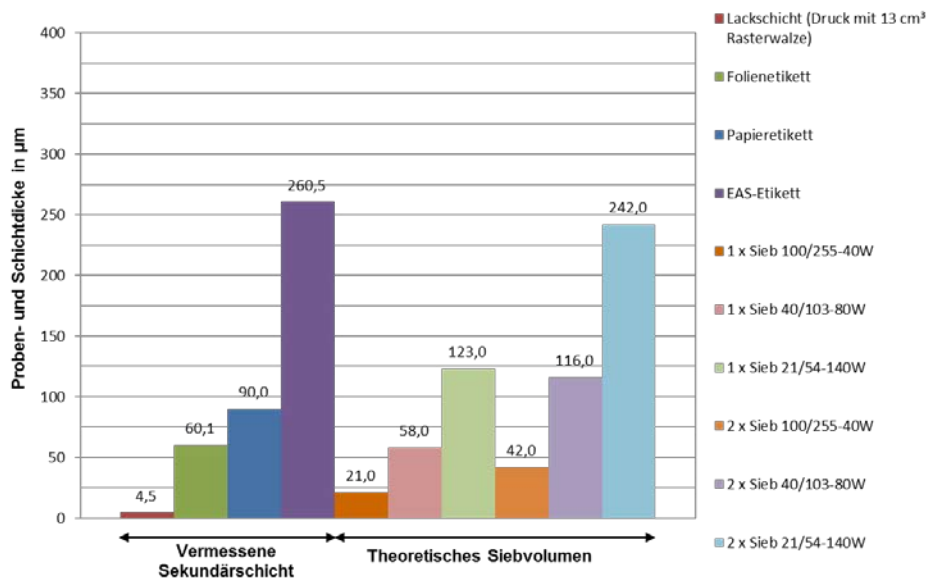


Abbildung 4-9: Gegenüberstellung der gemessenen Sekundärschichtdicken und des theoretischen Siebvolumens, aus welchem auf die theoretische Schichtdicke zu schließen ist [Gute16]

Die verwendeten Siebe werden im Versuchsplan für weitere Schichtdickenvariationen kombiniert. Der Niveauegleich setzt sich immer aus zwei Schichtaufträgen mit Siebdruck zusammen. Dabei werden dann je nach Vorgabe des Plans bei dem jeweiligen Versuch zwei Siebe miteinander kombiniert. Jedoch ist zunächst durch Vorversuche abzuklären, ob bei den vorgesehenen Druckgeschwindigkeiten von 30 m/min, 45 m/min und 60 m/min die Siebdruckfarbe von SUNCHEMICAL in einer Schichtdicke von 120 µm vollständig durch die eingesetzten dotierten UV-Lampen ausgehärtet wird. Dazu werden Vorversuche mit den jeweiligen Siebkombinationen und Geschwindigkeiten durchgeführt. Die Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle 4-7 dargestellt.

Tabelle 4-7: Ergebnisse der Vorversuche zur Aushärtung von dicken Schichten; rot gekennzeichnet: Einstellungen, bei denen es zu keiner ausreichenden Härtung der Farbschicht kommt und die deswegen aus dem Versuchsplan ausgeschlossen werden [Gute16]

Sieb I	Sieb II	Farbhersteller	Geschwindigkeit	Technologisch machbar
21/140	21/140	WEILBURGER	30 m/min	ja
21/140	21/140	WEILBURGER	45 m/min	ja
21/140	21/140	WEILBURGER	60 m/min	ja
21/140	21/140	SUNCHEMICAL	30 m/min	ja
21/140	21/140	SUNCHEMICAL	45 m/min	nein
21/140	21/140	SUNCHEMICAL	60 m/min	nein

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Verwendung des Siebdruckweißes von SUNCHEMICAL bei höheren Geschwindigkeiten keine vollständige Härtung stattfindet. Um ein späteres Verblocken, das heißt Zusammenkleben der bedruckten Rollen und mögliche Schäden an der Maschine oder den Druckmaterialien zu verhindern, werden die Versuche aus dem Versuchsplan herausgenommen.

### Optimierter Versuchsplan

Die Ergebnisse der Vorversuche werden in den zuvor teilfaktoriell erstellten Versuchsplan (Abbildung 4-6) für die Maschinenversuche des Projektes *Grenzen der Überdruckbarkeit* eingepflegt beziehungsweise es werden die Versuche mit den oben genannten Versuchsparametern aus dem Plan gestrichen. Somit verbleiben noch 330 Druckversuche.

Versuchsnummer	Primärsubstrat	Sekundärschicht	Primerverwendung	Hersteller Primer	Siebdruck I	Siebdruck II	Hersteller Siebdruckfarbe	Flexo-Weiß	Hersteller Flexo-Weiß	Hersteller Flexoform	Druckgeschwindigkeit in m/min	Inkjet (Tropfenvolumen)	Hersteller Gummituch	Hersteller Cyan	Flexoform Raster Cyan	Flexoform Fläche Cyan	Hersteller Cyan
1	Etikettenpapier	EAS-Etikett	ja	Flint	100/40	100/40	SunChemical	nein	Flint	Flint	30gr. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2	Bilderdruckpapier	EAS-Etikett	nein	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Böttcher	45gr. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3	Etikettenpapier	EAS-Etikett	ja	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Böttcher	45	-----	Gallus	Flint	-----	-----	-----
4	PP-Folie	EAS-Etikett	ja	Flint	100/40	100/40	SunChemical	ja	SunChemical	Flint	45	-----	-----	-----	weich	hart	Flint
5	Bilderdruckpapier	EAS-Etikett	nein	Flint	100/40	100/40	SunChemical	ja	SunChemical	Flint	60	-----	-----	-----	hart	weich	SunChemical
6	Bilderdruckpapier	EAS-Etikett	nein	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Böttcher	60	-----	-----	-----	weich	weich	Flint
7	Bilderdruckpapier	Folien-Etikett	ja	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	ja	Flint	Flint	30gr. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----	-----
8	PP-Folie	Folien-Etikett	ja	Flint	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Böttcher	30	-----	-----	-----	hart	weich	SunChemical
9	Etikettenpapier	Folien-Etikett	ja	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	nein	Flint	Böttcher	30	-----	-----	-----	weich	hart	SunChemical
10	PP-Folie	Lackschicht	ja	Flint	100/40	100/40	SunChemical	nein	Flint	Flint	45kl. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----	-----
11	Etikettenpapier	Lackschicht	ja	Flint	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Böttcher	60gr. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----	-----
12	PP-Folie	Lackschicht	nein	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	ja	SunChemical	Flint	60gr. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----	-----
13	PP-Folie	Lackschicht	ja	Flint	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Böttcher	60	-----	Contitech	SunChemical	-----	-----	-----
14	Bilderdruckpapier	Lackschicht	ja	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	ja	SunChemical	Böttcher	60	-----	Gallus	Flint	-----	-----	-----
15	PP-Folie	Lackschicht	ja	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	nein	Flint	Flint	30	-----	Contitech	SunChemical	-----	-----	-----
16	Etikettenpapier	Lackschicht	nein	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	ja	Flint	Böttcher	45	-----	Gallus	Flint	-----	-----	-----
17	PP-Folie	Lackschicht	nein	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Flint	60	-----	Gallus	SunChemical	-----	-----	-----
18	PP-Folie	Lackschicht	ja	Flint	100/40	100/40	SunChemical	ja	Flint	Böttcher	60	-----	-----	-----	hart	weich	Flint
19	Bilderdruckpapier	Lackschicht	ja	Flint	100/40	100/40	SunChemical	ja	Flint	Flint	30	-----	-----	-----	hart	hart	SunChemical
20	Etikettenpapier	Lackschicht	ja	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	ja	Flint	Böttcher	30	-----	-----	-----	weich	weich	SunChemical
21	Bilderdruckpapier	Lackschicht	ja	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Flint	60	-----	-----	-----	hart	hart	Flint
22	PP-Folie	Lackschicht	nein	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Flint	30	-----	-----	-----	weich	weich	SunChemical
23	PP-Folie	Papier-Etikett	ja	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	ja	Flint	Böttcher	60kl. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----	-----
24	Etikettenpapier	Papier-Etikett	nein	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Flint	60kl. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----	-----
25	Bilderdruckpapier	Papier-Etikett	nein	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Flint	30	-----	Gallus	Flint	-----	-----	-----
26	Bilderdruckpapier	Papier-Etikett	nein	Flint	100/40	100/40	SunChemical	ja	Flint	Flint	30	-----	-----	-----	hart	weich	Flint

Abbildung 4-10: Ausschnitt aus der finalen Version des Versuchsplans [Gute16]

Im Versuchsplan wird jede Versuchseinstellung eindeutig mit einer Versuchsnummer gekennzeichnet. Die Versuchseinstellungen variieren dabei für jeden Versuch und somit beinhaltet der Plan keine Einstellung mehrfach. In welcher Parametereinstellung der Versuch durchgeführt wird, ist von der Software CORNERSTONE® anhand der hinterlegten Faktoren, Faktorstufen, Interaktionen und Wechselwirkungen konfiguriert und festgelegt. Dem Versuchsplan ist zu entnehmen, dass im Gegensatz zu den ersten Ansätzen die Druckgeschwindigkeiten auf 30 m/min, 45 m/min und 60 m/min festgelegt sind. Diese Parameterwahl resultiert aus der maximalen Verspendegeschwindigkeit des Etikettenspenders von 60 m/min. Die Geschwindigkeit von 45 m/min wird im optimierten Versuchsplan ergänzt, um mögliche lineare Abhängigkeiten von der Druckgeschwindigkeit in der Auswertung zu identifizieren. Der vollständige Versuchsplan für die Maschinenversuche ist als Excel-Mappe bei den Autoren erhältlich.

#### 4.5.2 Planung der Maschinenversuche

Auf Grundlage des softwareunterstützten Versuchsplans erfolgt die Planung der Maschinenversuche. Zu berücksichtigen ist dabei, dass es aufgrund der vorhandenen

Druckwerke nicht möglich ist, eine Probe mit einer bestimmten Versuchseinstellung für den Niveausgleich und den grafischen Überdruck in einem Durchgang zu drucken. Daher wird der Versuchsplan in mehrere Abschnitte (siehe Abbildung 4-11) unterteilt.

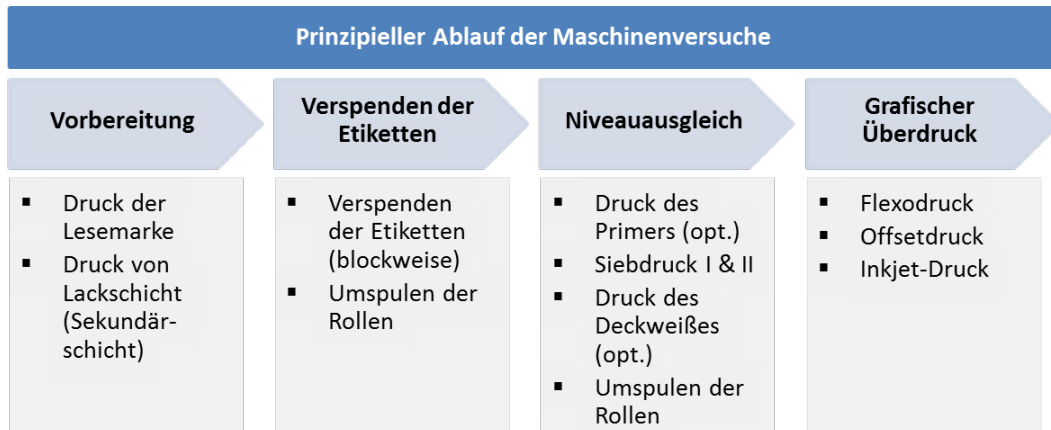


Abbildung 4-11: Prinzipieller Ablauf der Maschinenversuche [Gute16]

Im ersten Druckabschnitt wird neben den notwendigen Lesemarken für das Drucken eine weitere Lesemarke für den Etikettenspender auf die Primärsubstrate gedruckt. Der Etikettenspender wird über einen optischen Sensor, der die Lesemarke (Abbildung 4-15) liest, angesteuert. Die Lesemarken werden beide mit dem Flexodruckverfahren (F) in Druckwerk Eins (1) gedruckt. Ebenso wird die Lackschicht, welche als Sekundärschicht dient, mittels Flexodruck (F) in Druckwerk Vier (4) auf die unterschiedlichen Primärsubstrate aufgebracht. Die zu druckenden Laufmeter für eine Einstellung werden zuvor aus dem Versuchsplan ermittelt. Für den Druck der Lesemarke und der Lackschicht werden polymere Flexodruckplatten des Herstellers FLINT verwendet. Während allen drei Versuchsabschnitten sind die vier dotierten UV-Lampen (L1 bis L4) in Betrieb, da in allen Fällen UV-Druckfarben und -lacke benutzt werden. Abbildung 4-12 zeigt die eingesetzte Maschinenkonfiguration für den ersten Abschnitt, der Versuchsvorbereitung.

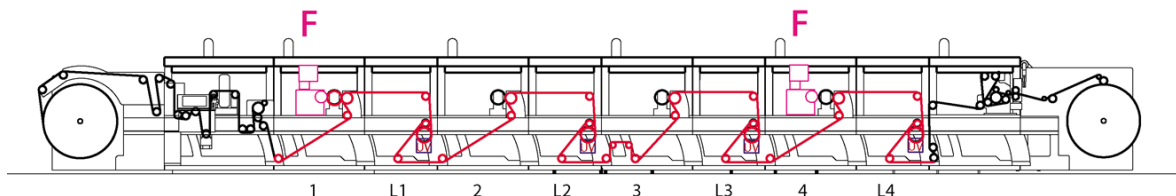


Abbildung 4-12: Maschinenkonfiguration des ersten Druckabschnitts

Der zweite Druckabschnitt umfasst das Verspenden der Etiketten sowie den Niveausgleich. Zusätzlich werden optional, je nach Versuchseinstellung, noch Primer und Deckweiß gedruckt. Der Primer wird in Druckwerk Eins (1) durch das Flexodruckverfahren (F) aufgebracht. Die

Druckwerke Zwei (2) und Drei (3) sind mit Siebdruckwerken (S) bestückt, wobei in diesen Werken der Niveauegleich durchgeführt wird. Werk Vier (4) ist erneut ein Flexodruckwerk (F) und wird dazu genutzt optional ein Deckweiß aufzubringen (siehe Abbildung 4-13).

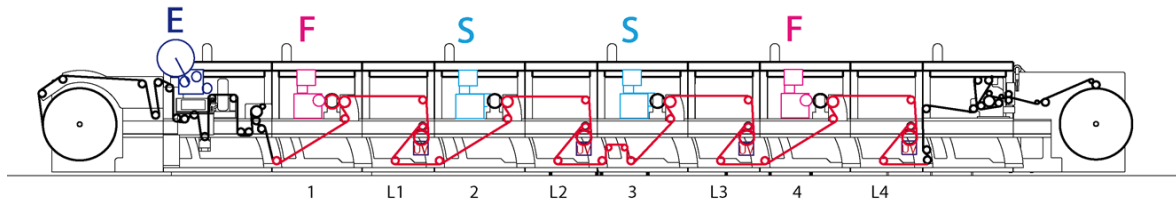


Abbildung 4-13: Maschinenkonfiguration des zweiten Druckabschnitts

Für den dritten und letzten Druckabschnitt werden die Druckwerke in der Maschine noch einmal ausgetauscht. Wie in Abbildung 4-14 verdeutlicht, erfolgt in Druckwerk Eins (1) der grafische Überdruck im Flexodruck (F) für die Rasterfläche und in Druckwerk Zwei (2) für die Vollfläche. In Druckwerk Drei (3) wird der grafische Überdruck durch den Offsetdruck (O) realisiert und der zusätzlich angebrachte Inkjet-Druckkopf nach Werk Vier wird ebenfalls für den grafischen Überdruck eingesetzt.

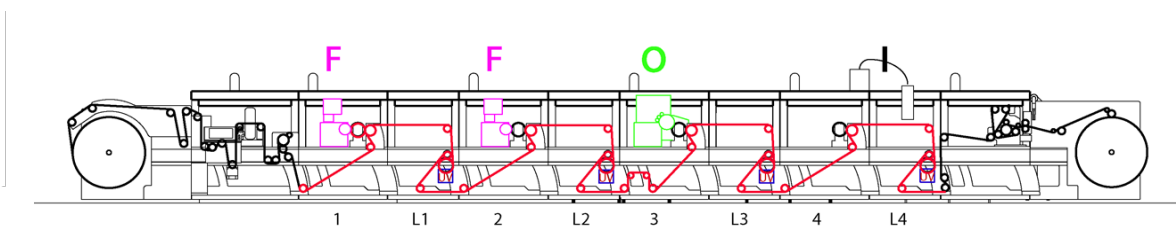


Abbildung 4-14: Maschinenkonfiguration des dritten Druckabschnitts

Während allen Abschnitten wird die Bahnreinigungseinheit, welche sich vor Druckwerk Eins befindet, aktiviert, um Schmutz von der Bedruckstoffbahn zu entfernen und eine Beschädigung der Druckformen zu verhindern. Es ist darauf hinzuweisen, dass in der ersten Planung das Verspenden der Etiketten in den Abschnitt Zwei mit eingeplant wird. Da der Etikettenspender jedoch nur hinter der Corona-Folienvorbehandlung befestigt werden konnte, wurde es notwendig die Etiketten in einem gesonderten Arbeitsschritt zwischen Abschnitt Eins und Zwei zu Verspenden, um eine Vorbehandlung der Folienetiketten zu realisieren. Die Corona-Vorbehandlung der Folie erfolgt dann im zweiten Abschnitt vor dem Primerauftrag. Die Belegung der Lesemarken wird wie in Abbildung 4-15 derart vorgenommen, dass die Lesemarke für den Etikettenspender auf Bedienerseite und die weiteren Lesemarken auf der Antriebsseite angeordnet sind.



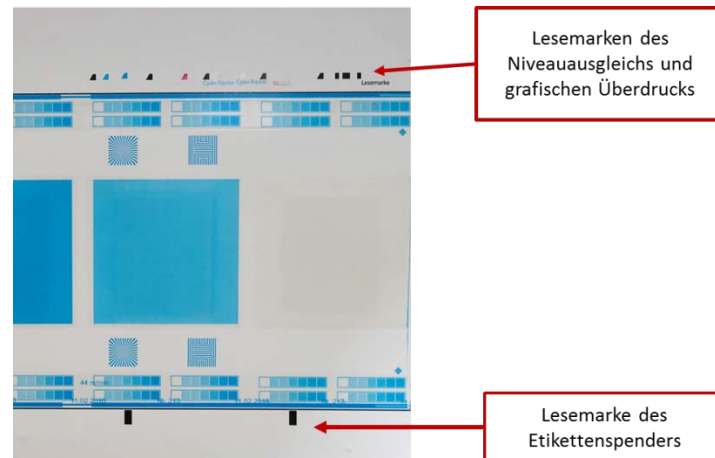


Abbildung 4-15: Anordnung der Lesemarken; oben Lesemarken des Niveuausgleichs und des grafischen Überdrucks; unten Lesemarke des Etikettenspenders [Gute16]

Diese Anordnung resultiert daraus, dass bei dem verwendeten PP-Folien-Material die Anordnung der Lesemarken auf einer Seite nicht mit den festgelegten Druckformmotiven und Abmessungen, insbesondere der Bahnbreite, kompatibel sind. Daher ist eine Aufteilung notwendig, die jedoch zur Folge hat, dass die einmal durch die Maschine gelaufenen Bedruckstoffbahnen nach ihrer Aufwicklung erneut einmal durch die Maschine zu leiten sind, sodass nach diesem Umspulprozess die Lesemarken wieder auf den ihnen zugeordneten Seiten sind, da sonst ein weiteres Überdrucken nicht umsetzbar ist.

Tabelle 4-8: Überblick der Arbeitsschritte der Versuchsdurchführung in der durchgeführten Reihenfolge [Gute16]

	Druckwerk 1		Druckwerk 2		Druckwerk 3		Druckwerk 4	Zusatz	
<b>1. Druckabschnitt</b>	Flexo	Lesemarke					Flexo	Lackschicht	
Umspulen der Rollen									
Etikettenspenden									
Umspulen der Rollen									
<b>2. Druckabschnitt</b>	Flexo		Sieb I		Sieb II		Flexo		
Umspulen der Rollen									
<b>3. Druckabschnitt</b>	Flexo	Raster	Flexo	Vollfläche	Offset	Raster und Vollfläche		Inkjet	Raster und Vollfläche
Probenentnahme									

Tabelle 4-8 gibt nochmals einen Überblick über die nacheinander im Rahmen der Maschinenversuche erfolgenden einzelnen Arbeitsschritte.

#### 4.5.3 Anpassen der Maschinenkonfiguration

Für das Projekt wird die am IDD verfügbare Rollendruckmaschine Gallus RCS 330-HD für die Maschinenversuche angepasst. Es werden Sieb-, Flexo- und Offsetdruckwerke als Module, wie zuvor beschrieben, in die Maschine eingebaut. Außerdem wird der Inkjet-Druckkopf, welcher nach Druckwerk Vier positioniert ist, zusätzlich während der Versuche betrieben. Die Trocknung erfolgt über UV-Lampen mit unterschiedlicher Dotierung. Des Weiteren wird für das Projekt ein Etikettenspender an die Rollendruckmaschine montiert (Abbildung 4-16). Dieser wird

eingesetzt, um die Sekundärschicht inline, das heißt während des Druckprozesses, zu verspenden.



Abbildung 4-16: Für die Durchführung der Druckversuche nachträglich an die Druckmaschine montierter Etikettenspender für das Inlinespenden von Etiketten

Tabelle 4-6: Durch Vorversuche gewonnene Parameter für das Verspenden von Etiketten [Gute16]

	<b>Druck- geschwindigkeit</b>	<b>Start-verzögerung</b>	<b>Stopp-verzögerung</b>	<b>Geschwindigkeit Etikettenspender</b>
<b>Papieretikett</b>	30 m/min	9,5 mm	0,0 mm	100 %
	45 m/min	2,0 mm	0,0 mm	100 %
	60 m/min	2,0 mm	0,0 mm	110 %
<b>Folienetikett</b>	30 m/min	9,5 mm	33 mm	100 %
	45 m/min	2,0 mm	33 mm	105 %
	60 m/min	0,0 mm	33 mm	110 %
<b>EAS-Etikett</b>	30 m/min	0,0 mm	0,0 mm	50 %
	45 m/min	9,0 mm	0,0 mm	69 %
	60 m/min	0,0 mm	0,0 mm	70 %

Tabelle 4-6 gibt eine Übersicht über die in Vorversuchen gewonnenen Parametereinstellungen für das Verspenden der Etiketten. Der Etikettenspender wird über einen optischen Sensor, der eine Lesemarke detektiert, angesteuert.

Die Einstellparameter für das Verspenden der verwendeten Etiketten wurden in einem Vorversuch ermittelt, wobei die maximale Verspendegeschwindigkeit auf 60 m/min begrenzt ist. Die Positionierung auf dem Primärsubstrat wird über die Parametereinstellung am Etikettenspender eingestellt. Für ein platziertes Verspenden der Etiketten sind Werte für die Spendegeschwindigkeit, eine Start- und eine Stoppverzögerung einzustellen. Dabei gibt die Startverzögerung den Versatz zwischen dem Detektieren der Lesemarke und dem tatsächlichen Verspenden des Etiketts auf dem Bedruckstoff an.

#### 4.5.4 Kritische Betrachtung des Versuchsplans

Der Versuchsplan umfasst 330 Maschinenversuche, die je nach Druckverfahren mit 12-14 Faktoren in maximal vier Faktorstufen durchgeführt werden. Die Planung basiert auf dem DoE und erfolgt teilfaktoriell, da es erst dadurch möglich wird die Versuchsanzahl derart einzuschränken, dass eine Durchführung als praktikabel und umsetzbar angesehen wird. Die Festlegung von Faktoren erfolgt angelehnt an die Anforderungen aus dem AiF-Antrag des Projektes und den Beschlüssen des Projektbegleitenden Ausschusses. Die erste Faktorfestlegung sowie die dazugehörigen Faktorstufen sind daher noch sehr breit angelegt und es resultieren daraus über 800 Versuche. Daraufhin wird der Versuchsplan durch den Projektleiter derart modifiziert, dass Faktoren, die nicht realisierbar sind, Berücksichtigung finden und aus dem Versuchsplan herausgestrichen werden. Ebenfalls werden als nicht relevant erachtete Interaktionen und Wechselwirkungen aus der Versuchsplanung herausgenommen. Somit reduziert sich die Anzahl der durchzuführenden Versuche auf 330. Derartige Argumentationen oder Verweise auf Vorversuche beziehungsweise Literatur, welche die Sachverhalte beschreiben, sind aktuell nicht in der Liste der Interaktionen und Wechselwirkungen hinterlegt. Eine Ergänzung von Notizen zu Literaturverweisen oder Vorversuchen ermöglicht es für weitere Versuche gegebenenfalls weitere logische Ausschlüsse vorzunehmen oder gegebenenfalls bisher bekannte nicht relevante Aspekte, die jedoch für das Überdrucken relevant sind, zu identifizieren.

Darüber hinaus stellen weitere Vorversuche eine Möglichkeit dar, die zeit- und arbeitsintensiven Druckversuche unter Umständen zu reduzieren. Durch weitere vorgelagerte Analysen einzelner Inputgrößen sind gegebenenfalls weitere Einflussfaktoren herauszustellen, die technologisch im Rahmen der gesetzten Systemgrenze nicht machbar sind, dass diese auch keine Grenzen im Überdruck aufzeigen, da dieser beispielsweise nicht möglich ist. Ebenso ermöglicht eine intensive Analyse der Outputgrößen einen Überblick, ob die gewählten Inputgrößen zu Outputgrößen führen, welche Rückschlüsse auf die Qualität überdruckbarer Werkstoffkombinationen zulassen. Durch ein Voranstellen einiger dieser Betrachtungen vor den Maschinenversuchen wird es gegebenenfalls möglich weitere Versuche auszuschließen und den Versuchsumfang auf eine gut handhabbare Anzahl zu reduzieren. Des Weiteren sind Ergänzungen im Versuchsplan zur Festlegung und genauen Definition von Faktoren zu machen. Ebenso ist es sinnvoll zu hinterlegen mit welchen Einstellungen gearbeitet wird, sodass dauerhaft gleiche Bedingungen für die Versuche gegeben sind. Gleichermaßen unterstützt eine vorangestellte Analyse von Unsicherheitsfaktoren und Fehlerquellen die optimale Durchführung der Versuche, da für bereits identifizierte Größen geeignete Maßnahmen erarbeitet sind. Ebenso ist es möglich bereits beim Erstellen des Versuchsplans die spätere Auswertung und dazu notwendige Komponenten zu berücksichtigen. Dadurch ist auszuschließen, dass eine Auswertung nicht durch fehlende Faktoren eingeschränkt ist.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass der erstellte Versuchsplan alle durch das Projektziel vorgegebenen Sachverhalte und Komponenten berücksichtigt. Einschränkungen im Versuchsplan resultieren dabei hauptsächlich durch die vorhandene Technik, zum Beispiel nur vier Druckwerke oder die verfügbaren Materialien.

#### 4.5.5 Anpassung der Versuchspläne

Der Versuchsplan liegt, basierend auf der Software CORNERSTONE®, in einer Tabelle im Excel-Format vor.

Dieser Versuchsplan ist jedoch in der vorgegebenen Weise nicht im veranschlagten Zeitrahmen umsetzbar, da für jeden Versuch mehrere Parameter wie Siebe, Druckfarben oder Druckformen zu wechseln sind und dies einen hohen Arbeits- und Zeitaufwand zur Folge hat. Um einen optimierten Workflow mit reduziertem zeitlichem Aufwand zu erhalten, wird der Versuchsplan zu Beginn und im Rahmen dieser Arbeit nochmals überprüft und angepasst. Dabei werden mehrere Kriterien zugrunde gelegt, die wiederum mit einem zeitlichen Arbeitsaufwand verknüpft sind. Darüber hinaus wird zunächst festgelegt, dass von jeder Versuchseinstellung, die mit 30 m/min oder 45 m/min gedruckt wird, die Laufmeterzahl eines Versuchs von 110 m produziert wird. Versuche mit der Einstellung der Druckgeschwindigkeit von 60 m/min, werden vorläufig auf 130 m Länge produziert. Diese Annahmen werden getroffen, um zu gewährleisten, dass ausreichend Material zum Andruck, das heißt zum Beispiel zum Einrichten von Register oder Farbzufuhr, vorhanden ist und nach dem grafischen Überdruck ausreichend Druckproben, welche mit der geforderten Geschwindigkeit produziert wurden, vorhanden sind.

Da die Maschinenversuche, wie bereits erläutert, in zwei Druckdurchgängen erfolgen, wird der Versuchsplan zunächst in zwei Teilpläne unterteilt. Der erste Teilplan umfasst den optionalen Primerauftrag, den Niveaueausgleich mit Sieb I und Sieb II sowie das optionale Aufbringen der Deckweißschicht. Der zweite Teilplan bezieht sich dann auf den grafischen Überdruck mit den drei Druckverfahren Flexo-, Offset- und Inkjet-Druck.

Eine Optimierung der einzelnen Teilpläne hinsichtlich sämtlicher Arbeitsschritte ist jedoch nicht durchführbar, da diese sich teilweise bedingen. Daher wird die Abfolge der Versuche in den Plänen so verändert, dass nach den Arbeitsschritten mit dem höchsten Arbeitsaufwand, optimiert wird. Damit wird beabsichtigt die aufwendigsten Schritte für die Realisierung der Versuchseinstellungen zu reduzieren. Es erfolgt daher im ersten Teilplan eine Anpassung nach Siebwechsel, Wechseln der Siebdruckfarbe und des Siebdrucklacks und im zweiten Teilplan zunächst nach den Druckverfahren und dann innerhalb des Offsetdrucks noch nach den Gummituchwechseln.

Die beiden Teilversuchspläne, wie in Abbildung 4-17 gezeigt, werden durch die Optimierung nach den genannten Gesichtspunkten in einzelne kleinere Versuchsblöcke unterteilt. Diese Blöcke werden dann erneut noch einmal hinsichtlich der Farbwechsel betrachtet und so umsortiert, dass die Anzahl der Wechsel möglichst gering ausfällt. Am Ende der Optimierung besteht der erste Teilplan aus 17 einzelnen Blöcken für den Niveaueausgleich, wobei innerhalb eines Blocks maximal 29 Versuchseinstellungen enthalten sind. Für den grafischen Überdruck sind es nur sieben Blöcke, da die drei Druckverfahren unterteilt werden und beim Offsetdruck zusätzlich die Unterteilung in die Kombination von zwei unterschiedlichen Gummitüchern mit zwei unterschiedlichen Farbherstellern erfolgt.

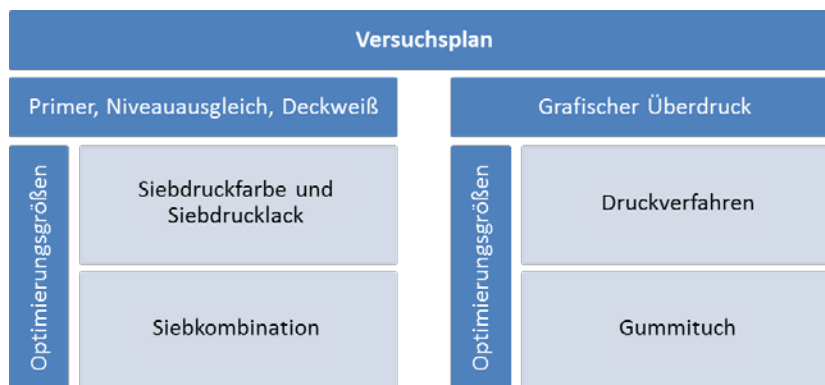


Abbildung 4-17: Optimierung des zuvor erstellten Versuchsplans [Gute16]

## 4.6 Versuchsdurchführung Druck

Im folgenden Abschnitt wird die Umsetzung der Druckversuche, welche anhand der erstellten und teilweise nochmals in den einzelnen Arbeitsabschnitten angepassten Versuchspläne erfolgt, näher erläutert. Außerdem werden Änderungen, die aus praktischen Forderungen resultieren, aufgelistet und die darauffolgenden Anpassungen beschrieben. Abschließend werden noch die während der Versuche entstehenden Probleme genannt. Die Ausführungen sind Gute [2016]) entnommen.

### 4.6.1 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf unterteilt sich wie zuvor beschrieben in mehrere Abschnitte. Diese werden nachstehend kurz erläutert und die Arbeitsinhalte dargestellt. Der Grund für die Organisation dieses Arbeitsschrittes wird ebenso beschrieben wie die einzelnen weiteren Schritte. Des Weiteren wird an dieser Stelle die Probenentnahme, welche nach den eigentlichen Versuchsdurchführungen erfolgt, mitbetrachtet, um zu verdeutlichen, welcher Arbeitsbedarf besteht bis eine Auswertung möglich ist. Abbildung 4-18 veranschaulicht den realen Ablauf der Druckversuche.

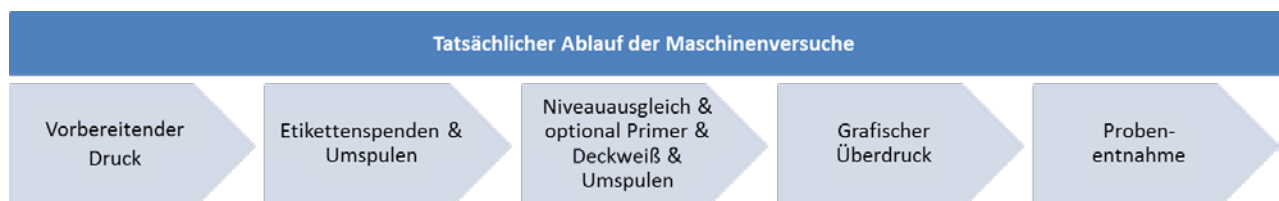


Abbildung 4-18: Tatsächlicher Ablauf der Maschinenversuche [Gute16]

### Erster Druckabschnitt – Lesemarkendruck

Zunächst werden die Primärsubstrate mit den Lesemarken bedruckt. Außerdem wird der kalkulierte Bedarf an Primärsubstrat mit der Lackschicht, die eine Variante der Sekundärschicht

realisiert, gedruckt. Dafür wird in beiden Fällen der Flexodruck eingesetzt. Dem ersten Druckabschnitt schließt sich ein erstes Umspulen der produzierten Bedruckstoffrollen an.

### Verspenden der Etiketten

An den ersten Druckabschnitt und das Umspulen der Rollen schließt sich das Verspenden der Etiketten an, welches wie bereits erwähnt nicht inline, sondern vorgelagert erfolgt. Somit wird die geforderte Corona-Vorbehandlung der Folie ermöglicht. Da die Etiketten unterschiedliche Größen besitzen, aber auf dem Primärsubstrat eine einheitliche Positionierung notwendig ist, um zu gewährleisten, dass das Etikett vollständig mit allen Komponenten überdruckt ist, ist der Etikettenspender in der Position jeweils anzupassen. Dieser Vorgang ist immer beim Wechsel von Folien- oder Papieretiketten auf EAS-Etiketten durchzuführen und nimmt etwa zehn Minuten in Anspruch. Um die Anzahl der Positionswechsel des Etikettenspenders zu reduzieren, werden die einzelnen für den Niveausgleich vorproduzierten Blöcke angepasst. Durch ein Zusammenfassen der einzelnen Etikettensorten in Cluster ist nur noch das Primärsubstrat zu tauschen, was weniger Umrüstzeit in Anspruch nimmt.

Versuchsnummer	Primärsubstrat	Sekundärschicht	zu druckende Meter	Primer- verwendung	Hersteller Primer	Siebdruck I	Siebdruck II	Hersteller Siebdruckfarbe	Flexo-Weiß	Hersteller Flexo- Weiß	Hersteller Flexoform	Geschwindigkeit in m/min
154	Bilderdruckpapier	EAS-Etikett	100 m	nein	Flint	21/140	100/40	Weilburger	ja	Flint	Böttcher	30
156	PP-Folie	EAS-Etikett	100 m	nein	SunChemical	21/140	100/40	Weilburger	nein	SunChemical	Böttcher	30
155	PP-Folie	EAS-Etikett	120 m	nein	Flint	21/140	100/40	Weilburger	nein	SunChemical	Flint	60
161	PP-Folie	Folien-Etikett	100 m	ja	Flint	21/140	100/40	Weilburger	ja	Flint	Flint	45
157	Etikettenpapier	Folien-Etikett	100 m	ja	SunChemical	21/140	100/40	Weilburger	ja	Flint	Flint	30
159	Etikettenpapier	Folien-Etikett	100 m	nein	Flint	21/140	100/40	Weilburger	nein	SunChemical	Böttcher	30
160	Bilderdruckpapier	Folien-Etikett	100 m	nein	SunChemical	21/140	100/40	Weilburger	ja	Flint	Böttcher	45
158	Bilderdruckpapier	Folien-Etikett	100 m	nein	SunChemical	21/140	100/40	Weilburger	nein	Flint	Flint	45
164	Bilderdruckpapier	Lackschicht	100 m	ja	Flint	21/140	100/40	Weilburger	ja	Flint	Flint	45
166	Bilderdruckpapier	Lackschicht	100 m	ja	Flint	21/140	100/40	Weilburger	ja	SunChemical	Böttcher	45
162	PP-Folie	Lackschicht	100 m	ja	Flint	21/140	100/40	Weilburger	ja	SunChemical	Flint	45
163	PP-Folie	Lackschicht	100 m	nein	SunChemical	21/140	100/40	Weilburger	nein	SunChemical	Böttcher	30
165	PP-Folie	Lackschicht	100 m	ja	SunChemical	21/140	100/40	Weilburger	nein	Flint	Böttcher	45
169	Bilderdruckpapier	Papier-Etikett	100 m	nein	Flint	21/140	100/40	Weilburger	ja	SunChemical	Böttcher	45
171	PP-Folie	Papier-Etikett	100 m	nein	Flint	21/140	100/40	Weilburger	ja	SunChemical	Flint	30
170	Bilderdruckpapier	Papier-Etikett	100 m	nein	Flint	21/140	100/40	Weilburger	ja	Flint	Böttcher	30
172	PP-Folie	Papier-Etikett	120 m	nein	SunChemical	21/140	100/40	Weilburger	nein	SunChemical	Flint	60
168	Etikettenpapier	Papier-Etikett	100 m	ja	SunChemical	21/140	100/40	Weilburger	ja	Flint	Flint	30
167	PP-Folie	Papier-Etikett	100 m	nein	SunChemical	21/140	100/40	Weilburger	ja	SunChemical	Flint	45

Abbildung 4-19: Clusterbildung der Sekundärschichten, um die Positionsanpassung des Etikettenspenders gering zu halten und dadurch den zeitlichen Arbeitsaufwand zu verringern; dargestellt ist der angepasste Versuchsplan für das Vorspenden der Etiketten von Block 2 [Gute16]

Abbildung 4-19 zeigt beispielhaft den angepassten Versuchsplan für Block 2. Dieser ist noch um die zu druckenden Meter ergänzt. Diese sind auf 100 m bei Versuchen mit 30 m/min und 45 m/min und 120 m bei Versuchen mit 60 m/min angepasst, da durch das Zusammenfügen zu neuen Mischrollen für den Niveausgleich das Material in der Maschine für etwa 30 m nicht für eine Versuchseinstellung zu nutzen ist und nur ein bestimmtes Kontingent für die Versuche vorhanden ist. Um sicher zu gehen, dass das vorhandene Primärsubstrat ausreicht, erfolgt eine Anpassung der Produktionsmeter was durch den Projektleiter festgelegt wird. Das Vorverspenden der Etiketten bedarf eines Mehraufwands und erfordert ein erneutes Umspulen vor dem zweiten Druckabschnitt.

## Zweiter Druckabschnitt - Niveauegleich

Im zweiten Druckabschnitt erfolgt der Niveauegleich durch die unterschiedlichen Siebkombinationen. Die Versuche werden blockweise abgearbeitet, wobei die zuvor beim Verspenden der Etiketten produzierten Mischrollen dem Abwickler aufgegeben werden. Somit entfällt das Tauschen der Rolle am Abwickler jeweils bis zum nächsten Block, bei dem jedoch dann mindestens ein Sieb zu tauschen ist, was wiederum einen zeitlich höheren Aufwand darstellt als das Tauschen der Rollen. Innerhalb eines Blocks, das heißt bei einer Siebkombination von Sieb I mit 21/140 und Sieb II mit 100/40, wird vor dem Auftrag der ersten Siebschicht optional, je nach Versuchseinstellung, ein Primer aufgetragen. Innerhalb dieses Faktors werden der Primerhersteller und die Druckform variiert. Zusätzlich wird nach dem Niveauegleich, wiederum optional, ein Deckweiß aufgebracht. Auch hier werden Hersteller und Druckform je nach Einstellung ausgetauscht. Zusätzlich wird die Druckgeschwindigkeit entsprechend des Versuchsplans angepasst. Die Vorgaben für jede Versuchseinstellung sind dem Versuchsplan zu entnehmen. Für den Niveauegleich sind die Pläne eingesetzt, die bereits für das Verspenden der Etiketten verwendet werden. Innerhalb dieser Versuchspläne werden zusätzlich Bemerkungen wie nicht passgenaue Registereinstellung oder fehlende Farbe zu Beginn des Versuchs mitprotokolliert.

Rollenbelegung bei Niveauegleich				
Rollennummer	Rollenart	Kombination	Versuche	Bemerkung
R1	Offset	Contitech und Flint	Nr. 133, 134, 140, 141 (FV), 164 (FV), 160, 164 (w), 209, 233, 239, 240	
R2	Gemischt	Flexo und Inkjet	Nr. 132, 135, 127, 131, 143, 141 (W), 138, 137, 136, 144, 142 (FV)	141 ist ein OFFSET! --> auf andere Rolle spulen
R3	Offset	Gallus und Sunchemical	Nr. 129, 128, 139, 159, 169, 168, 174, 208, 220, 241, 242, 260	
R4	Offset	Gallus und Flint	Nr. 130, 165, 189, 190, 201, 232, 223, 246, 252, 253	
R5	Gemischt	Flexo und Sunchemical	Nr. 154, 156, 161 (FV), 158, 166 (FV), 161 (w), 170, 171, 172, 166 (w)	
R6	Offset	Contitech und Sunchemical	Nr. 155 (W), 180, 180, 191, 196, 202, 224, 222, 261, 273, 302, 292, 291	
R7	Inkjet		Nr. 157, 167, 162, 163, 179, 178, 185, 188, 177, 173, 186, 184	
R8	Flexo	Gemischt	Nr. 182, 175, 193, 192, 183, 181, 198, 197, 199, 204, 203, 205	
R9	Inkjet		Nr. 195, 194, 200, 211, 207, 206, 230, 231, 219, 215, 214, 221	
R10	Flexo	Gemischt	Nr. 213, 212, 210, 234, 235, 218, 217, 216, 228, 229, 225, 226	Bei 234 beim Umspulen aufpassen!
R11	Inkjet		Nr. 237, 236, 238, 258, 257, 256, 244, 245, 250, 251	
R12	Flexo	Flint	Nr. 243, 263, 248, 284, 275, 275, 279, 276	Letzter Versuch war weggelaufen
R13	Flexo	Sunchemical	Nr. 262, 269, 263, 277, 274	Weggelaufen!

Abbildung 4-20: Auszug der Dokumentation der Rollenbelegung nach dem Niveauegleich unter Angaben der Rolleneigenschaften und den auf den Rollen enthaltenen Versuchsnummern [Gute16]

Es werden entsprechend den Einstellungen die Druckproben produziert und an der Aufwickleinheit auf unterschiedliche Rollen aufgespult, die nach Druckverfahren, Gummituch und Druckfarbe im Offset und Druckfarbe im Flexodruck klassifiziert sind. Damit werden die einzelnen Versuche für den grafischen Überdruck derart separiert, sodass im dritten Abschnitt weniger Arbeitsschritte durch das Tauschen von Farbe oder Gummituch anfallen. Insbesondere beim Offsetdruck ist eine Aufteilung in Gummituch und Druckfarbe zusätzlich von Relevanz, da ein ständiges Anhalten den Prozess der Farbübertragung destabilisiert. Um die Versuchsreihenfolge für den dritten Druckabschnitt zu planen, wird während der Versuchsdurchführung dokumentiert, welcher Versuch auf welcher Rolle aufgewickelt wird.



Abbildung 4-20 zeigt einen Auszug aus der Dokumentation der Rollen im zweiten Druckabschnitt. Es werden insgesamt 40 Rollen produziert, wobei Rollen, die Anzeichen machen wegzulaufen, in der Fachsprache teleskopieren, vorzeitig beendet werden, um ein reibungsloses Umspulen und erneutes Bedrucken zu ermöglichen.

### **Dritter Druckabschnitt – grafischer Überdruck**

Vor dem grafischen Überdruck werden die sämtlichen produzierten Rollen erneut umgespult. Dabei findet eine Gegenkontrolle mit den dokumentierten Informationen statt, um zu überprüfen, welche Versuche auf der Rolle zu finden sind. Dies ist nötig, da während des Niveaueingleichs teilweise Versuche wiederholt werden und doppelt auf den Rollen vorhanden sind, beziehungsweise die gesetzten Markierungen aufgrund des mehrfachen Einhängens der Rollen in die Maschine teilweise abfallen. Anhand der Abgleichergebnisse werden dann die Versuchspläne für den grafischen Überdruck in ihrer Reihenfolge nochmals neu erstellt.

Bevor die Versuchsrollen bedruckt werden wird ein Andruck vorgenommen, um Voreinstellungen für die Farb-Wasser-Balance vorzunehmen und die erreichte Farbdichte zu überprüfen. Ist der Andruck abgeschlossen wird die zu bedruckende Rolle der Abwickelheit eingehängt. Dabei sind die einzelnen Rollen auf die Kombination Druckfarbe und Gummituch abgestimmt, sodass während einer Rolle nur die Sollgeschwindigkeit aus der jeweiligen Versuchseinstellung einzustellen ist. Jedoch ist teilweise ein Nachregeln der Offset-Druck-Parameter für die Farb-Wasser-Balance oder für das Register notwendig. Bei Versuchen mit Etikettenpapier, die im ersten und zweiten Abschnitt von einer Faltenbildung betroffen sind, wird in einigen Fällen die Druckmaschine kurz gestoppt, um die Bahnspannung anzupassen. Dies wird vorgenommen, da die Reduzierung der Bahnspannung die erneute Faltenbildung etwas reduziert. Der Flexodruck wird hauptsächlich durch den Projektleiter durchgeführt. Es werden die Druckformen in Kombination mit den Klebebändern für die einzelnen Versuchseinstellungen variiert. Zusätzlich ist es erforderlich einmal die Druckfarbe für den zweiten Teil der Flexorollen zu tauschen. Da zu Beginn des Niveaueingleichs noch keine Unterscheidung in Inkjet- und Flexorollen, sowie innerhalb der Flexorollen nicht nach der Farbe vorgenommen wird, ist es für einige Einstellungen nötig mehrfach die Farbe oder das Druckverfahren zu wechseln. Beim grafischen Überdruck durch das Inkjet-Verfahren wird nur die Tropfengröße verändert. Dies erfolgt an der Steuerungseinheit des Inkjet-Druckkopfes, wobei die einzustellenden Daten in Vorversuchen ermittelt werden. Für den Überdruck vor Beginn der Versuche werden die nachgebildeten Druckformen geladen und in der richtigen Reihenfolge platziert.

### **Probenentnahme**

Nach Abschluss der Druckversuche werden die produzierten Rollen erneut in die Druckmaschine eingehängt, um Proben für die Auswertung zu entnehmen. Dabei werden die einzelnen Versuche mit einer Maximalgeschwindigkeit von 50 m/min durch die Maschine gefahren, um die Proben zu betrachten und Bahnrisse zu vermeiden. Es werden dann mit einfachen Cuttermessern an der Abwickelheit vier Proben für die Mustermappen, drei für die messtechnische Auswertung, drei für die visuelle Abmusterung und drei zusätzliche Proben entnommen. Eine Probe enthält dabei immer die Vollfläche, die beiden Rasterflächen und die

Weißreferenz. Darüber hinaus werden für jede Versuchseinstellung noch etwa zehn Meter aus der Rolle entnommen, die archiviert werden.

#### 4.6.2 Probleme bei der Versuchsdurchführung

Während der Druckversuche an der Rollendruckmaschine Gallus RCS 330-HD werden auftretende Probleme dauerhaft dokumentiert. Dabei werden Schwierigkeiten an der Maschine, mit den Materialien oder beim Drucken selbst aufgenommen, kurz erläutert, die mögliche Ursache notiert und wenn möglich die Problemlösung mit in die Dokumentation aufgenommen. Die nachfolgende Tabelle 4-7 gibt eine Übersicht über die Probleme, die während der Druckversuche die Arbeit verzögern, behindern oder unmöglich machen, sodass ein anderes Vorgehen erforderlich wird.

Tabelle 4-7: Übersicht über einen Ausschnitt der während des Druckens aufgetretenen Probleme sowie deren Lösungsansätze [Gute16]

<b>Problem</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>	<b>Ursache</b>	<b>Lösung</b>
Faltenbildung (beim Versenden der Etiketten)	Das verwendete Etikettenpapier zieht bereits beim Versenden der Etiketten Falten	Unrunder Lauf einiger Umlenkwalzen	Umwickeln der betroffenen Walzen mit einer Kunststoffolie, um einen runden Lauf zu gewährleisten
			Notwendige Anpassung der Bahnspannung, zum Beispiel Verringerung für Etikettenpapier, um eine Faltenbildung zu vermeiden
Registerprobleme (beim Niveaueingleich)	Die Lesemarken (vor allem diejenigen aus Lack) werden von der Maschine nicht erkannt und somit kann diese das Register nicht automatisch halten; Ein automatisch geregelter Überdruck ist nicht möglich	Die kontrastschwachen Lesemarken aus Lack werden von der Maschine nicht erkannt	Unterteilen der Kammerrakel in zwei kleine Kammern und zusätzliches Einfärben des Lacks, der im Bereich der Lesemarke mitläuft
			Optimiert: Einfärben der Druckform mit einem Pinsel im Bereich der Lesemarke
			Manuelle Registerstellung
<b>Problem</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>	<b>Ursache</b>	<b>Lösung</b>
Farbdichtewerte außerhalb des linearen Bereichs beim Flexodruck	Die ersten ermittelten Farbdichtewerte bei Druckproben im Flexodruck liegen außerhalb des linearen Bereichs und sind einer messtechnischen Messung nicht zugänglich	Druckfarbe ist nicht optimal auf die Anwendung abgestimmt beziehungsweise noch nicht angepasst	Verschnittzugabe

Verblocken (nach dem Niveauausgleich)	Der Trocknungsweg reicht teilweise nicht für eine ausreichende Härtung der aufgetragenen Schichtdicke aus, die Farbe härtet erst im Nachgang vollkommen aus	Die UV-Lampen haben in Kombination mit der gegebenen Trocknungsstrecke nicht genug Leistung, um die Schichtdicke komplett auszuhärten	Keine
		Lack nicht für Bilderdruckpapier geeignet	
Teleskopieren der Rollen (bei allen Durchläufen)	Bei der Aufwicklung der Rollen laufen diese weg, das heißt die Bahnen liegen nicht mehr bündig übereinander; Dies tritt vor allem beim verwendeten Bilderdruckpapier auf	Nicht ausreichende Aufwickelspannung; Faltenbildung beim Etikettenpapier	Versuch des Gegensteuerns über die Anpassung der Bahnspannung und der Aufwickelspannung
		Glattheit des Papiers, was ein Rutschen zur Folge hat	
		Faltenbildung beim Etikettenpapier	

An dieser Stelle ist noch anzumerken, dass die Faltenbildung, die primär bei den ersten produzierten Rollen vorliegt, einen großen Einfluss auf die Durchführung hat, da sie zu einem Teleskopieren der Rollen führen. Dies erschwert die erneute Bearbeitung und ist zudem zeitlich aufwendig. Außerdem führt dies zu Problemen beim grafischen Überdruck. Durch die Falten, welche teilweise über das im Niveauausgleich erzeugte Druckmotiv laufen, wird im grafischen Überdruck die Druckform neben dem eigentlichen Höhengsprung zwischen Primärsubstrat und Sekundärschicht noch zusätzlich durch die Falte belastet. Dies führt insbesondere beim Offsetdruck zu einer Beschädigung der Gummitücher, welche sich durch die ganze Versuchsreihe durchzieht und die Proben teilweise unbrauchbar macht. Auch beim Inkjet-Druckkopf werden die Düsen teilweise von der Falte berührt und fallen aus. Um im weiteren Verlauf eine komplette Darstellung des Druckmotivs zu gewährleisten, ist der Druckkopf nach einem solchen Düsenausfall aufgrund einer Falte zu reinigen, was zu einem hohen Bedarf an Tinte führt. Um Problemen und Schädigungen infolge der Faltenbildung im grafischen Überdruck vorzubeugen, wird die ursprüngliche Druckwerkanordnung nochmals geändert.

Um zu verhindern, dass die Druckformen und Gummitücher durch die Falte beschädigt werden, wird das Offsetwerk in Druckwerk Eins eingebaut. Damit wird angestrebt, das Ausmaß der Falten so gering wie möglich zu halten, da sich in den Durchläufen trotz Präparierung der Umlenkwalzen ab Druckwerk Drei erneut Falten einziehen. Für den Flexodruck, bei dem zwei Druckwerke benötigt werden, wird in Druckwerk Eins die Rasterfläche realisiert und in Druckwerk Zwei die Vollfläche. Die Rasterdruckform wird in Druckwerk Eins eingebaut, da diese empfindlicher ist als die Vollfläche und somit versucht wird, den Einfluss der Falte zu minimieren und eine akzeptable Druckqualität zu erreichen.

#### 4.6.3 Versuchsprotokoll

Während der Durchführung der Druckversuche wird ein Versuchsprotokoll geführt. In diesem werden folgende Inhalte erfasst:

- Organisatorische Daten, wie die Versuchsnummer
- Messdaten, wie Temperatur
- Probleme und Lösungsansätze
- Informationen zu den Versuchen, wie fehlende Farbe
- Erste Erkenntnisse

Diese Daten werden dauerhaft während der Versuche in einem Versuchsprotokollbuch dokumentiert. Nachfolgend wird kurz erläutert welche Daten erfasst werden und welche Erkenntnisse bereits in der Versuchsdurchführung gewonnen werden.

Die Umgebungsbedingungen in einer Druckhalle haben teilweise direkten Einfluss auf die Druckqualität. Um für die Auswertung der Versuche auch Messdaten zu sammeln, die es unter Umständen ermöglichen weitere Korrelationen zu finden, werden für jeden Versuch die nachfolgend aufgelisteten Messgrößen erfasst:

- Temperatur in der Druckhalle
- Relative Luftfeuchte in der Druckhalle
- UV-freie Strahlung beziehungsweise der Einsatz von Gelblicht (Deckenlampen)
- Lüftungseinrichtungen und Abzüge aktiv

Bei der Versuchsdurchführung werden nur die Messgrößen Temperatur und relative Luftfeuchte über ein mobiles Messgerät, welches in Maschinennähe aufgestellt wird, erfasst. Die Daten werden dabei beim Beginn jedes Versuchs abgelesen und dokumentiert. Vor Beginn der Versuche wird ein Abgleich des mobilen Geräts mit dem festinstallierten Gerät in der Druckhalle durchgeführt. Während der Versuche wird das mobile Gerät eingesetzt. Der Einsatz des Geräts erfolgt aufgrund einer erleichterten Handhabung, da die Zugänglichkeit die Zugänglichkeit zum festinstallierten Gerät durch die Rollen teilweise behindert ist. Die Daten stimmen soweit überein, dass der Einsatz des mobilen Geräts als vorteilhafter eingestuft wird und daher auch benutzt wird. Neben den genannten Messgrößen werden auch noch organisatorische Daten hinzugefügt, wie die Versuchsnummer oder die Rollenbelegung. Diese ist vor allem im Niveausgleich eine wichtige Information, da daraus die Versuchspläne für den grafischen Überdruck generiert werden.

Im Rahmen der Versuchsdurchführung werden 330 Versuche durchgeführt. Dabei werden 16 Versuche im Niveausgleich wiederholt. Am Ende der Versuche sind 10 Versuche als Fehlversuche zu verbuchen, wobei primär Versuchsproben durch Verblocken der Rollen unbrauchbar werden. Während und nach den Druckversuchen sind bereits einige Einflüsse auf Verschleiß, Einsetzbarkeit und Realisierungsmöglichkeit abzuleiten. Vor allem der Verschleiß der Komponenten lässt Rückschlüsse auf die Grenzen der Überdruckbarkeit zu.

Tabelle 4-8: Auszug der Tabelle der erfassten Messgrößen und organisatorischen Daten [Gute16]

Datum	Rollenbelegung	Versuchsnummer	Uhrzeit	Temperatur in °C	Relative Luftfeuchte in %	"Gelblicht"	Bemerkung
26. Jan	R1	133	11:37	25,2	30,4	Nein	
26. Jan	R2	132	11:57	25,4	29,3	Nein	
26. Jan	R1	134	12:20	26,4	28,2	Nein	
26. Jan	R2	135	12:33	26,0	30,2	Nein	
26. Jan	R2	127	12:58	25,7	30,1	Nein	
26. Jan	R2	131	13:02	25,7	28,7	Nein	
26. Jan	R3	129	13:10	25,6	30,3	Nein	
26. Jan	R4	130	13:15	25,6	29,3	Nein	
26. Jan	R3	128	13:02	25,5	29,9	Nein	
27. Jan	R2	143	10:23	24,6	31,8	Nein	
27. Jan	R2	141	10:37	24,8	30,4	Nein	
27. Jan	R2	138	10:42	24,8	31	Nein	
27. Jan	R1	140	10:56	24,8	31,6	Nein	
27. Jan	R2	137	11:37	25,1	32	Nein	
27. Jan	R2	136	11:44	25,2	32,6	Nein	
27. Jan	R2	144	11:51	25,2	31,3	Nein	
27. Jan	R2	142	12:01	25,1	33,6	Nein	
27. Jan	R3	139	12:15	25,0	32,9	Nein	
28. Jan	R5	154	10:34	28,8	28,6	Nein	
28. Jan	R5	156	10:42	25,8	26,3	Nein	
28. Jan	R6	155	10:50	25,8	26,8	Nein	Fehlversuch
28. Jan	R5	161	11:17	26,0	26,8	Nein	Fehlversuch

Tabelle 4-8 gibt einen Überblick über die Messgrößen, welche während der Druckversuche erfasst werden. Die Spalte „Bemerkungen“ wird genutzt, um Fehlversuche zu kennzeichnen. Entstehen diese vor Abschluss des Niveaueingleichs werden sie nochmals wiederholt. Versuche, die im grafischen Überdruck als Fehlversuche gekennzeichnet werden, zum Beispiel durch Verblocken des Bedruckstoffs, werden nicht wiederholt und von der Auswertung ausgeschlossen.

Nachfolgend werden anhand von Abbildung 4-21 und Abbildung 4-22 einige der deutlichsten Schäden aufgezeigt, aus denen Erkenntnisse abzuleiten sind.

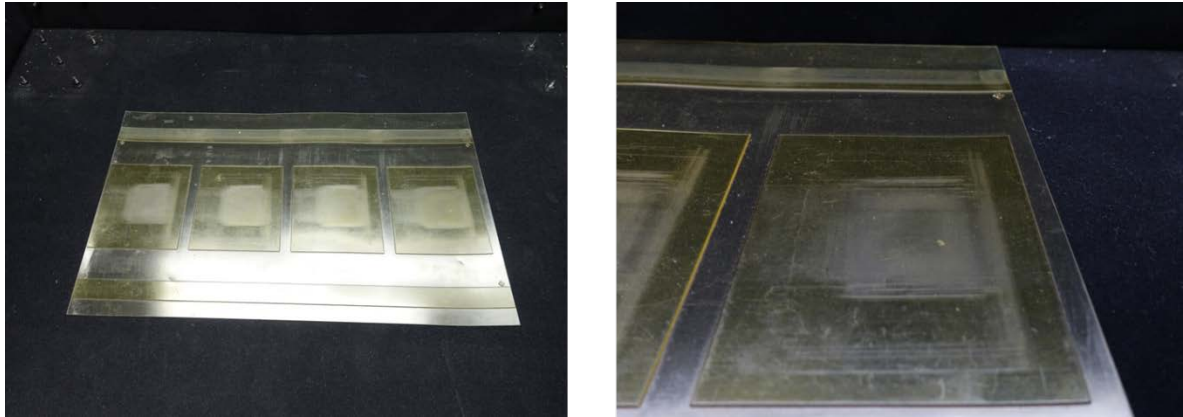


Abbildung 4-21: Verschleiß der Primerdruckform (Flexodruck) durch das EAS-Etikett; links die Druckform; rechts eine vergrößerte Darstellung mit deutlich erkennbarer Abnutzung in Größe des EAS-Etiketts [Gute16]

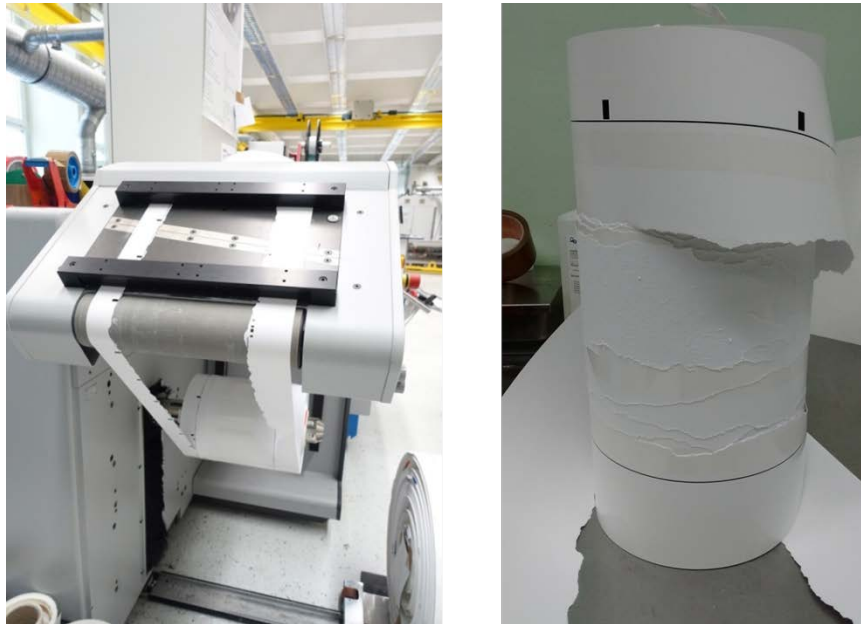


Abbildung 4-22: Beispiel eines nicht vollständig ausgehärteten Versuchs; links verblockter Versuch in der Druckmaschine, wobei es zu einem Bahnriß kam; rechts restliche verblockte Versuchseinstellung auf der Rolle, welche nicht weiter verdruckt werden konnte [Gute16]

Abbildung 4-21 zeigt den Verschleiß der Flexodruckform, der sich beim Auftragen der Primerschicht einstellt. Da beim Primerauftrag noch keine niveuausgleichende Siebdruckschicht aufgebracht ist, ist der Höhengsprung zwischen Primärs substrat und Sekundärschicht am größten. Der Verschleiß erfolgt durch das EAS-Etikett, welches mit circa 262  $\mu\text{m}$  die größte Höhe hat. Da sich das Etikett in die Druckform einprägt, ist davon auszugehen, dass der Anpressdruck für die Fläche des Etiketts zu hoch ist und es somit zu einer Schädigung der Druckform kommt. Abbildung 4-22 zeigt hingegen ein Fehlversuch, der nach dem Niveuausgleich von der Rolle geschnitten wird, da ein Umspulen nicht mehr möglich ist. Es handelt sich um Bilderdruckpapier mit einer sehr dicken Niveauschicht, was darauf

schließen lässt, dass diese nicht vollständig ausgehärtet ist und deswegen nachträglich verblockt und somit die Druckprobe unbrauchbar macht.

Weiterhin wird während der Druckversuche ein Rotationssieb irreparabel beschädigt und die verwendeten Gummitücher sowie die Offsetdruckplatte in der Vollfläche weisen nach dem Drucken partiell Defekte auf. Darüber hinaus werden stichprobenhaft die überdruckten EAS-Etiketten nach den ersten Versuchen auf Funktionsfähigkeit geprüft, wobei nach dem Überdruck nur noch 25 % funktionsfähig sind.

#### 4.6.4 Eingesetzte Materialien

Bedruckt werden ca. 17 400 lfm PP-Folie, ca. 14 800 lfm Bilderdruckpapier und ca. 16 250 lfm Etikettenpapier sowie ca. 5 300 lfm Andruckmaterial.

Der Farbverbrauch beträgt 340 kg Siebdrucklack, 260 kg Siebdruckweiß, 13 kg Flexoweiß, 7 kg Primer, 0,5 kg Offsetdruckfarbe Cyan, 6 kg Flexodruckfarbe Cyan, 8 kg UV-Lack und 1 l Inkjettintente Cyan.

Benötigt wurden ferner 69 000 Folienetiketten, 67 000 Papieretiketten und 65 000 EAS-Etiketten.

Die 330 Versuchseinstellungen wurden in 18 Blöcken durchgeführt. 16 Versuche mussten aufgrund von Problemen bei der Umsetzung wiederholt werden.

Die erstellten Proben werden in einer Mustermappe dokumentiert. Ein Beispiel einer Probe ist in Anhang 3 zu sehen.

### 4.7 Messtechnische Auswertung

Für die Auswertung der hergestellten Druckproben wird ein messtechnisches Konzept entwickelt. Dabei werden die vom Projektbegleitenden Ausschuss vorgegebenen Rahmenbedingungen in die konzeptionelle Ausarbeitung miteinbezogen und durch weitere herausgearbeitete Aspekte ergänzt. Darüber hinaus werden, um die Umsetzung des Konzeptes zu erleichtern und einheitlich zu gestalten, Hinweise zur Verwendung von Messgeräten und Messanleitungen, welche auf die Proben abgestimmt sind, gegeben beziehungsweise erstellt. Die Ausführungen sind Gute [2016]) entnommen.

#### 4.7.1 Entwicklung eines messtechnischen Konzepts

Nachfolgend wird das für die messtechnische Auswertung entwickelte Konzept dargestellt.

#### **Qualitätskriterien und Messgrößen**

Als Grundlage für das messtechnische Konzept werden zunächst die zu überprüfenden Qualitätskriterien festgelegt, für welche Messgrößen zu erfassen sind, um eine Beurteilung der Proben zu ermöglichen. Dazu werden die in Kapitel 4.2 aufgeführten Qualitätskriterien bezüglich ihrer Relevanz für die Bewertung der Druckproben analysiert. Zum Bewerten der erreichten Druckqualität der gedruckten Proben sind hauptsächlich die zwei Qualitätskriterien Farbe und Oberfläche von Bedeutung. Für die Beurteilung des Farbeindrucks sind zum Beispiel die Farbdichte oder die Tonwertzunahmen zwei aussagekräftige messbare Faktoren. Die Oberfläche wird hingegen zum Beispiel über den Glanz oder die Ebenheit der Oberfläche



beurteilt. Für die Beurteilung des optischen Farbeindrucks stehen mehr als die zwei beispielhaft genannten Messgrößen zur Verfügung. Nachfolgend gibt Tabelle 4-9 einen Überblick über mögliche Parameter, durch deren Messung eine Beurteilung der Qualität der Farbe möglich ist. Außerdem ist zum besseren Verständnis eine Kurzbeschreibung ergänzt, die im Folgenden zusätzlich als Grundlage für eine spätere Relevanzbetrachtung dient.

Tabelle 4-9: Übersicht der Messgrößen, welche eine Beurteilung des Farbeindrucks einer Druckprobe zulassen

Messkriterium	Kurzbeschreibung
Farbdichte	Farbmenge pro Flächeneinheit. Die Schichtdicke der gedruckten Farbe ist wegen ihrer lasierenden Eigenschaft maßgeblich für den Farbeindruck
Flächendeckung/ Tonwertzunahme	Größenzunahme der Rasterpunkte eines Motivs. Führt zu Unschärfe bei Schrift und Bild
Farbabstand	Messbarer Abstand zwischen zwei Farben, wobei jede Farbe über die Werte L, a und b charakterisiert wird
Opazität	Gegenteil von Transparenz, also mangelnde Durchsichtigkeit oder Durchlässigkeit. Maß für die Lichtundurchlässigkeit

Tabelle 4-10: Übersicht der Messgrößen, welche eine Beurteilung der Oberflächengüte einer Druckprobe zulassen; [Gute16]

Messkriterium	Kurzbeschreibung
Glanz	Ist eine visuelle Wahrnehmung, welche bei einer Betrachtung von Oberflächen entsteht. Je gerichteter die Lichtreflexion, desto glanzvoller erscheint die Oberfläche. Bei völlig glatten, ebenen Oberflächen gilt Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel
Kratzfestigkeit	Widerstand eines Drucks nach der Trocknung gegen mechanische Beanspruchung
Härtemessung	Härtemessung (Härte ist der Widerstand eines Materials gegen seine permanente Verformung) kann angewendet werden um die Kratzfestigkeit einer Beschichtung beziehungsweise eines Drucks gegen allgemeinen Verschleiß zu überprüfen
Haftung des Übereinanderdrucks	Die Haftung des Übereinanderdrucks gibt an, wie gut die aufgetragenen Farbschichten aufeinander haften
Deckvermögen	Das Deckvermögen gibt den Grad der Farbabdeckung des Bedruckstoffes an. Liegt eine optimale Deckkraft vor, so wird der Farbton nicht durch die Eigenfarbe des Bedruckstoffes beeinflusst. (Aufgetragenes Deckweiß beeinflusst das Deckvermögen einer Farbe)
Verformbarkeit (Splittern)	Nicht nur die gute Farbhftung eines biegsamen Bedruckstoffes ist wichtig, sondern auch das Ertragen von Formänderungen

Neben dem optischen Farbeindruck ist, wie zuvor genannt, die Qualität der Oberfläche der Druckproben zu beurteilen. Zur Beurteilung der Oberflächengüte stehen, ebenso wie bei der Farbbeurteilung, unterschiedliche Messfaktoren zur Verfügung. Tabelle 4-10 gibt eine Übersicht

über die Größen, welche für eine Oberflächenbetrachtung im Rahmen einer messtechnischen Auswertung von Bedeutung sind. Dabei ist anzumerken, dass nicht alle genannten Größen mit Messgeräten zu ermitteln sind. Teilweise werden auch andere Prüfmethode eingesetzt. Diese werden im weiteren Verlauf bei der Übersicht der Messgeräte mit aufgeführt und näher erläutert.

Die zuvor aufgeführten Faktoren, welche anhand von Messungen ermittelbar sind und eine Aussage über die Qualität von gedruckten Proben bezüglich der Trocknung und Oberfläche zulassen, sind von unterschiedlicher Relevanz für die im Rahmen dieses Projektes durchzuführende Auswertung. Nicht alle genannten Aspekte ermöglichen die Beurteilung der erreichbaren Qualität eines Überdrucks von einer Werkstoffkombination aus zwei unterschiedlichen Materialien. Des Weiteren ist es im zeitlichen Rahmen dieses Projektes nicht möglich bei einem Probenumfang von 330 Druckproben alle genannten Größen zu erfassen. Aus diesen Gründen werden im messtechnischen Konzept nur Faktoren berücksichtigt, von denen zu erwarten ist, dass sie eine direkte Aussage über die erreichbare Qualität ermöglichen. Die für das Konzept grundlegenden Faktoren wurden in Abstimmung mit dem Projektbegleitenden Ausschuss festgelegt:

- Farbdichte
- Tonwertzunahmen
- Farbabstand in der Form  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$
- Homogenität
- Glanz

Anzumerken ist hierbei, dass die Glanzmessung nur optional im Konzept zu berücksichtigen ist, da zunächst zu überprüfen ist, ob eine Glanzmessung auf den Proben überhaupt möglich ist. Dabei ist abzuklären, ob gegebenenfalls auftretende Unebenheiten der Niveaueingleichsschicht eine Messung unbrauchbar machen und ob für die Glanzmessung eine ausreichend große Fläche auf der Probe vorhanden ist. Neben den genannten und durch den Ausschuss festgelegten gängigen Messgrößen, welche Rückschlüsse auf die erzielte Druckqualität zulassen, ist in diesem Projekt noch eine weitere Größe entscheidend, um die Qualität der Proben einzuordnen. Durch die Werkstoffkombination aus einem Primärschicht und einer Sekundärschicht und dem Höhengsprung an dessen Übergang, welche als Kante wahrgenommen wird, ist es notwendig, den Kanteneinfluss zu beurteilen.

Neben den vorgegebenen Kriterien, welche die Probe durch Farb- und Oberflächeneigenschaften beschreiben, werden noch weitere Aspekte mit in die messtechnische Auswertung aufgenommen. Diese dienen dazu die Proben auch in ihrer Beständigkeit gegenüber mechanischen Einwirkungen und ihrer allgemeinen Stabilität gegen äußere Einflüsse zu prüfen. Des Weiteren ist zu klären inwieweit die aufgebrachte Farbschichtdicke durchgehärtet ist und es ist auch deren Beständigkeit zu überprüfen. Deswegen werden zusätzlich nachfolgende Kriterien überprüft:

- Kratzfestigkeit der Probe
- Tiefentrocknung
- Haftung des Übereinanderdrucks
- Verformbarkeit bei mechanischer Belastung

Anhand dieser Messkriterien ist zu ermitteln, welche veränderten Eigenschaften eine Probe aufweist, welche aus zwei Werkstoffkombinationen besteht, mit einem Niveauausgleich versehen ist und einen grafischen Überdruck hat. Wegen der großen Anzahl an Druckproben werden die genannten zusätzlichen Faktoren in der Messung hintenangestellt und erfolgen erst nach der Auswertung der vom Projektbegleitenden Ausschuss festgelegten Kriterien.

### **Messgeräte und Messbedingungen**

Für die Messung der verschiedenen Faktoren werden verschiedene Messgeräte eingesetzt. Um eine Reproduzierbarkeit der Messungen zu gewährleisten und darüber hinaus eine objektive Messung durchzuführen, ist es notwendig die Messungen unter einheitlichen Messbedingungen auszuführen. Dabei werden für die messtechnische Ausführung die für eine objektive Farbmessung notwendigen Vereinbarungen festgelegt.




- Probe: 10 cm x 10 cm große mit Cyan überdruckte Fläche
- Normalbeobachter: 2° Beobachter
- Normlichtart: D 65
- Messgeometrie: Gerichtete Beleuchtung
- Messmodus: Reflexion in Aufsicht
- Messung ohne Glanzanteil
- Weißreferenz: Bedruckstoff beziehungsweise mit Niveauausgleichsschicht bedruckte Weißreferenzprobe

Anzumerken ist, dass die Festlegung des Normalbeobachters und der Normlichtart in Anlehnung an die vereinbarten Rahmenbedingungen des visuellen Abgleichs erfolgen, um eine annähernde Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die Vorgabe des 2° Beobachters erfolgt für beide Auswertungen durch den Projektbegleitenden Ausschuss und ist damit für die konzeptionelle Umsetzung fest vorgegeben. Des Weiteren wird die Messung ohne Glanzanteil durchgeführt, da eine gesonderte Glanzmessung der Proben erfolgt.

### **Auswahl der Messgeräte**

Dem IDD steht für die Farbmessung eine Vielzahl von unterschiedlichen Messgeräten zur Verfügung. Diese unterscheiden sich jeweils im Aufbau der Messeinrichtung, den Messgeometrien und den weiteren einstellbaren Parametern, wie Normlichtart, Filter und Normalbeobachter. Um ein geeignetes Messgerät für die einzelnen zu erfassenden Messgrößen auszuwählen werden die dafür einsetzbaren Geräte gegeneinander verglichen und abschließend ein Gerät, welches die Kriterien erfüllt, ausgewählt.

Tabelle 4-11: Verfügbare Messgeräte für die Ermittlung der Farbdichte

	<b>TECHKON SpectroDens Premium</b>	<b>KONICA MINOLTA CM2600d</b>	<b>Gretag Macbeth SpectroEye</b>
Gerätetyp			
Beschreibung	Das Spektralfotometer gibt neben der Farbdichte und verwandten Kenndaten auch Farbkoordinaten in verschiedenen Farbsystemen an. Je nach Messaufgabe wird ein Pol-Filter eingeschwenkt	Im Spektralfotometer wird die Probe durch eine Ulbricht-Kugel diffus beleuchtet. Die Farbeigenschaften von Proben mit ausgeprägter Textur, wie zum Beispiel Textilien, können damit richtungsunabhängig bestimmt werden	Das SpectroEye SA UV-Cut SPESAUV ist eines der in der Druckindustrie am weitest verbreiteten Messgeräte. Neben den druckrelevanten Standardmesswerten (zum Beispiel Farbdichte, Tonwertzunahme) liefert es auch Farbkoordinaten und Farbabstände. Es kann autonom sowie am Rechner angeschlossen benutzt werden
Messmodus	Reflexion	Reflexion	-
Messgeometrie	0°/45°	d/8° mit/ohne Glanz (Kugelgeometrie)	45°/0°
Lichtquelle	Gasgefüllte Glühlampe	Xenonblitzlampe	Gasgefüllte Glühlampe
Filter	UV-Cut (optional) Pol (optional)	UV-Cut (optional)	Neutral, polarisiert, D65, UV-Cut
Messfläche	Durchmesser 3 mm	Durchmesser 3 mm und 10 mm	Durchmesser 3,2 mm
Wellenlängenbereich	400–700 nm	360–740 nm	380–730 nm
Wellenlängenintervall	10 nm	10 nm	10 nm
Vorteile	Einfach Bedienung	Proben mit Textur können gemessen werden	-
	Dichte und Tonwertzunahme kann gemessen werden	-	-
	Ebenso $\Delta L$ , $\Delta a$ , $\Delta b$	-	-
Nachteile	Geringerer Wellenlängenbereich	Kugelgeometrie	-
	-	Komplizierte Handhabung	Wird nicht mehr vertrieben



### Farbdichte und Tonwertzunahme

Im Rahmen der messtechnischen Auswertung sind vor allem die Anforderungen gegeben, dass eine einfache Bedienung des Messgeräts eine schnelle und dennoch sichere Messung zulässt. Darüber hinaus ist es für einen solch großen Versuchsumfang vorteilhaft, wenn die Ergebnisse auf den Rechner übertragbar sind und direkt in Tabellenform ausgegeben werden. Anhand dieser zwei am höchsten priorisierten Kriterien wird das Messgerät ausgewählt. Um die Farbdichte und die Tonwertzunahme zu erfassen, wird demnach aufgrund seiner expliziten Vorteile das TECHKON SpectroDens Premium eingesetzt.

### Glanzmessung

Für die Glanzmessung stehen dem IDD zwei Geräte zur Verfügung. Tabelle 4-12 gibt einen Überblick über die Eigenschaften dieser Geräte.

Tabelle 4-12: Verfügbare Messgeräte zur Ermittlung des Glanzes

	FAG Vp gloss-1	BYK micro-TRI-gloss
Gerätetyp		
Beschreibung	Dient der Beschreibung des Glanzes, beispielsweise von Papier- oder Druckproben. Die Reflexion wird im Glanzwinkel und fern vom Glanzwinkel gemessen. Daraus wird ein optischer Kennwert für den Glanz der Probe erstellt	Bei diesem Glanzmessgerät handelt es sich um eines mit drei geometrischen Anordnungen von Lichtquelle und Detektor. Das Licht fällt unter einem genormten Winkel zur Normalen auf die Probe. Die hochglänzende bis matte Oberfläche reflektiert das einfallende Licht mehr oder weniger stark gerichtet. Für jede Messanordnungen wird das reflektierte Licht im Glanzwinkel detektiert. Der Quotient aus reflektiertem und einfallendem Licht ist ein Maß für den Glanz der betrachteten Oberfläche
Messmodus	Reflexion	Mehrere einstellbar → statistisch
Messgeometrie	45°/0° und 45°/45°	20°/20° für hochglänzende Oberflächen 60°/60° für mäßig glänzende Oberflächen 85°/85° für matte Oberflächen
Lichtquelle	Wolframlampe	Langzeitstabile LED

Messfläche	Durchmesser 4,5 mm	10 mm x 10 mm für Messanordnung 20°/20°
		9 mm x 15 mm für Messanordnung 60°/60°
		5 mm x 38 mm für Messanordnung 85°/85°
Vorteile	Einfache Bedienung	Direkte Datenübertragung möglich
Nachteile	Nicht geeignet für hochglänzende Proben, da die Geometrie dafür nicht ausgelegt ist	-

Bei der Auswahl des Glanzmessgerätes spielt vor allem der Faktor der Datenübertragung eine große Rolle. Außerdem wird berücksichtigt, dass die gedruckten Proben aufgrund der unterschiedlichen Primärsubstrate verschiedenen Glanzbereichen zuzuordnen sind und daher darauf abgestimmte Winkeleinstellungen eine notwendige Anforderung für die Messung darstellen. Daher wird für die Messung das BYKmicro-TRI-gloss ausgewählt.

### *Farbabstand*

Für den Farbabstand stehen die beiden Geräte TECHKON SpectroDens Premium und Gretag Macbeth SpectroEye zur Verfügung. Anhand der bereits oben genannten Kriterien wird für die Messung des Farbabstands ebenfalls das TECHKON SpectroDens Premium eingesetzt.

Die Erfassung der weiteren Messgrößen erfolgt nicht durch Messgeräte, sondern durch weitere Prüfverfahren.

Tabelle 4-13: Übersicht der eingesetzten Messgeräte und Messverfahren zur Auswertung der Druckproben

Messkriterium	Messverfahren/gerät
Farbdichte	TECHKON SpectroDens Premium
Flächendeckung/Tonwertzunahme	TECHKON SpectroDens Premium
Farbabstand	TECHKON SpectroDens Premium
Glanz	BYK micro-TRI-gloss
Kratzfestigkeit	Fingernagel-Test und TESA-Test
Tiefentrocknung	Aceton-Test
Haftung des Übereinanderdrucks	Knickttest
Verformbarkeit	Biegetest
Höhenunterschied (für Kanteneinfluss)	µscan Messgerät

In der Auswahl der Messgeräte ist die Auswertung des Kanteneinflusses nicht berücksichtigt. Da in der Druckindustrie gewöhnlich keine Kante beurteilt wird, stehen keine gängigen Messgeräte oder Messverfahren zur Verfügung. Um dennoch eine Beurteilung der Kante zu ermöglichen werden einige Proben exemplarisch an einem optischen  $\mu$ scan-Gerät vermessen, welches am Institut für Papierfabrikation und mechanische Verfahrenstechnik der TU Darmstadt zur Verfügung steht.

## **Messort**

Die einzelnen Proben haben eine Probengröße von 10 cm x 10 cm und liegen als Vollfläche, 80 %-Rasterfläche, 40 %-Rasterfläche und einer Weißreferenz vor. Die Messungen der einzelnen Faktoren werden dabei in unterschiedlichen Bereichen vorgenommen. Die Farbdichte ist ausschließlich auf der Vollfläche zu messen, ebenso der Glanz und der Farbabstand. Die Messungen der Tonwertzunahme erfolgen hingegen auf der Vollfläche, beginnend zusätzlich auf den beiden Rasterflächen.

Die weiteren Versuche zur Oberflächenbeschaffenheit erfolgen an extra dafür zusätzlich entnommenen Druckproben, da diese bei der Durchführung der Messung teilweise zerstört werden.

### 4.7.2 Hinweise zur Ausführung und Dokumentation

Die Messungen sind wie zuvor beschrieben auf den Druckproben durchzuführen. Um eine Einheitlichkeit der Messungen zu gewährleisten, sind während der Durchführung folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Die Messung erfolgt nur auf einer vollständig bedruckten Fläche. Es ist darauf zu achten, dass an der Messstelle alle Schichten übereinander aufgetragen sind.
- Fehlerstellen, wie zum Beispiel Poren oder Lufteinschlüsse, sind als Messstelle nicht geeignet und sind zu vermeiden, ebenso Kratzer, Falten oder ähnliches.
- Als Unterlage für die Messung dient eine am IDD für dieses Projekt hergestellte mattschwarze Metallunterlage.
- Die Weißkalibrierung erfolgt zum einen auf dem unbedruckten Primärsubstrat und bei der Messung der Tonwertzunahmen auf der gedruckten Weißreferenzprobe.

Weiterhin ist vor jeder Messung die Einstellung des Messgerätes zu überprüfen und gegebenenfalls den vorgegebenen Randbedingungen anzupassen. Die Messungen der Farbdichte, der Tonwertzunahme, des Farbabstandes und des Glanzes sind sowohl auf dem überdruckten Primärsubstrat, als auch auf dem überdruckten Sekundärsubstrat durchzuführen. Dabei sind fünf Messpunkte zu setzen, aus denen das Messgerät automatisch den Mittelwert ausgibt. Vorauswertungen haben gezeigt, dass eine Anzahl von fünf Messpunkten ausreichend ist, da keine großen Abweichungen zu der Verwendung von 10 Messpunkten bestehen.

Bei der Erfassung der Messgrößen von Proben mit EAS-Etiketten als Sekundärsubstrat ist zusätzlich darauf zu achten, dass keine Messungen auf der Antenne durchgeführt werden. Um den Unterschied zwischen dem Tal und den erhöhten Stellen des Etiketts zu erfassen, werden bei der Messung zusätzlich diese beiden Bereiche separat erfasst. An beiden Stellen sind jeweils Messungen an fünf Messpunkten durchzuführen. Abbildung 4-23 zeigt die beiden



Messbereiche speziell für das EAS-Etikett und den ausgeschlossenen Bereich der Antenne. Bei der Messung ist darüber hinaus darauf zu achten, dass die Messgeräte sicher aufgelegt werden und nicht durch die Unebenheiten des Etiketts bei der Messung gestört werden.

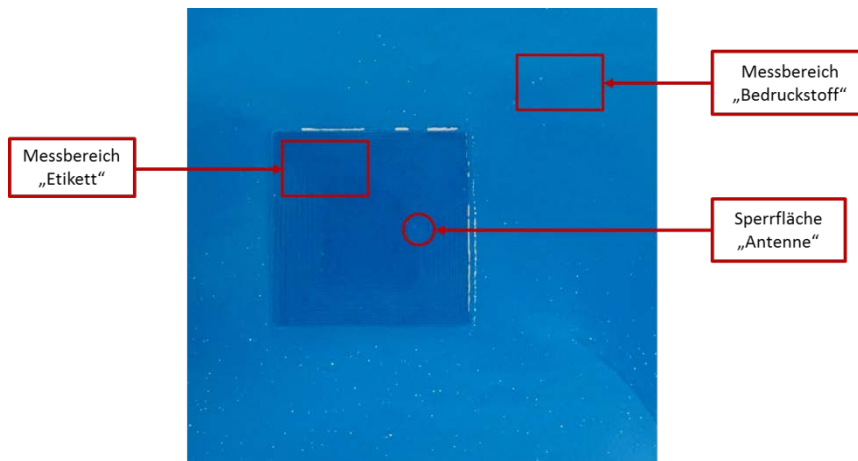


Abbildung 4-23: Messbereiche des EAS-Etiketts [Gute16]

Die Ergebnisse der einzelnen Messungen sind in die Messdatenblätter des jeweiligen Versuchs einzufügen. Für jede Versuchsnummer ist ein solches Datenblatt erstellt und hinterlegt worden.

**Messtechnische Auswertung**

Versuchsnr.	Primärsubstrat	Sekundärachricht	Primer- verwendung	Hersteller Primer	Siebdruck I	Siebdruck II	Hersteller Siebdruckfarbe	Flexo-Weiss	Hersteller Flexo- Weiss	Hersteller Flexiform	Geschwindigkeit in m/min	Hersteller Gummituch	Hersteller Cyan
25	Bilderdrukpapier	Papier-Etikett	kein	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	kein	SunChemical	Print		30calicut	Flint

Ergebnis optische Dichte						
auf Etikett	Messwert 1	Messwert 2	Messwert 3	Messwert 4	Messwert 5	Mittelwert aus 5
auf Etikett	1,218	1,231	1,197	1,184	1,219	1,2098
neben Etikett	1,163	1,129	1,088	1,008	1,013	1,0802

Ergebnis Tonwertzunahme						
auf Etikett	Messwert 1	Messwert 2	Messwert 3	Messwert 4	Messwert 5	Mittelwert aus 5
Vollton	1,244	1,166	1,204	1,112	1,102	1,1656
80% Raster	16,80%	18,80%	17,90%	18,00%	17,30%	17,76%
40% Raster	19,20%	23,70%	21,40%	24,30%	20,00%	21,72%

Ergebnis Farbabstand (I)						
neben Etikett	Messwert 1	Messwert 2	Messwert 3	Messwert 4	Messwert 5	Mittelwert aus 5
Vollton	1,171	1,146	1,001	1,024	1,066	1,0816
80% Raster	13,60%	12%	10%	9,60%	11,20%	11,24%
40% Raster	18,20%	18,30%	17,70%	17,30%	18,40%	17,98%

Ergebnis Farbabstand (II)						
auf Etikett	Messwert 1	Messwert 2	Messwert 3	Messwert 4	Messwert 5	Mittelwert aus 5
a.L	60,1	61,96	64,93	63,31	64,79	63,058
a.a	-25,25	-26	-26,42	-26,11	-26,57	-26,07
a.b	-45,73	-44,16	-41,01	-42,56	-41,36	-42,964
b.L	64,96	66,66	68,56	69,91	68,81	67,78
b.a	-23,52	-23,09	-22,65	-22,31	-23,79	-23,072
b.b	-39,84	-37,9	-36,08	-34,37	-35,81	-36,8
a.L	80,8	80,77	81,33	82,12	81,63	81,33
a.a	-12,44	-12,84	-12,8	-12,76	-13,12	-12,792
a.b	-19,33	-19,62	-18,83	-18,18	-18,83	-18,958

Ergebnis Farbabstand (III)						
auf Etikett	Messwert 1	Messwert 2	Messwert 3	Messwert 4	Messwert 5	Mittelwert aus 5
a.L	60,06	59,99	62,97	63,55	63,59	61,95
a.a	-26,48	-26,11	-26,76	-27,31	-28,07	-26,928
a.b	-46,66	-46,76	-43,55	-42,96	-43,34	-44,654
b.L	63,28	62,86	64,77	65,85	65,65	64,48
b.a	-27,14	-26,86	-26,61	-28,05	-27,98	-27,328
b.b	-43,11	-43,47	-41,1	-40,55	-40,91	-41,828
a.L	80,33	80,42	79,35	80,73	79,99	80,164
a.a	-13,76	-13,92	-15,53	-15,55	-15,66	-14,884
a.b	-20,84	-20,48	-21,88	-20,87	-20,98	-20,882

Ergebnis Glanz						
auf Etikett	Mittelwert aus 5x Messungen 20"	stabw	Mittelwert aus 5x Messungen 60"	stabw	Mittelwert aus 5x Messungen 85"	stabw
auf Etikett	5,5	0,841588643	36,0	3,520658819	68,5	4,104420102
neben Etikett	4,4	0,315983497	29,1	1,744859116	68,2	1,829123902
Unbedruckte Ref. auf E	63,5	10,3922238	90,0	7,268148691	84,8	5,092761285
Unbedruckte Ref. neben E	78,3	5,75109662	99,8	1,518113645	86,3	2,477748775

Abbildung 4-24: Ausschnitt des Datenblatts der Versuchsnummer 25 [Gute16]

Tabelle 4-14: Outputparameter der messtechnischen Auswertung mit Erklärungen

Ausgabegrößen (messtechnisch)	Erklärung
Differenz der Farbdichte Vollton	Differenz aus den Messwerten neben und auf der überdruckten Sekundärschicht auf der 100 %-Vollfläche
Differenz der Tonwertzunahme 100 %-Vollfläche	Differenz aus den Messwerten neben und auf der überdruckten Sekundärschicht auf der 100 %-Vollfläche
Differenz der Tonwertzunahme 80 %-Raster	Differenz aus den Messwerten neben und auf der überdruckten Sekundärschicht auf der 80 %-Rasterfläche
Differenz der Tonwertzunahme 40 %-Raster	Differenz aus den Messwerten neben und auf der überdruckten Sekundärschicht auf der 40 %-Rasterfläche
Differenz der Tonwertzunahme EAS-Etikettental zu Etikettenrand 100 %-Vollfläche	Differenz aus den Messwerten des EAS-Etiketts im Etikettental und auf dem überdruckten EAS-Etikettenrand der 100 %-Vollfläche
Differenz der Tonwertzunahme EAS-Etikettental zu Primärsubstrat 100% Vollfläche	Differenz aus den Messwerten des EAS-Etiketts im Etikettental und auf der überdruckten Primärschicht der 100 %-Vollfläche
Differenz der Tonwertzunahme EAS-Etikettental zu Etikettenrand 80 %-Rasterfläche	Differenz aus den Messwerten des EAS-Etiketts im Etikettental und auf dem überdruckten EAS-Etikettenrand der 80 %-Rasterfläche
Differenz der Tonwertzunahme EAS-Etikettental zu Primärsubstrat 80 %-Rasterfläche	Differenz aus den Messwerten des EAS-Etiketts im Etikettental und auf der überdruckten Primärschicht der 80 %-Rasterfläche
Differenz der Tonwertzunahme EAS-Etikettental zu Etikettenrand 40 %-Rasterfläche	Differenz aus den Messwerten des EAS-Etiketts im Etikettental und auf dem überdruckten EAS-Etikettenrand der 40 %-Rasterfläche
Differenz der Tonwertzunahme EAS-Etikettental zu Primärsubstrat 40 %-Rasterfläche	Differenz aus den Messwerten des EAS-Etiketts im Etikettental und auf der überdruckten Primärschicht der 40 %-Rasterfläche
Differenz Delta E auf 100 %-Vollfläche	Differenz aus den Messwerten neben und auf der überdruckten Sekundärschicht auf der 100 %-Vollfläche
Differenz Delta E auf 80 %-Rasterfläche	Differenz aus den Messwerten neben und auf der überdruckten Sekundärschicht auf der 80 %-Rasterfläche
Differenz Delta E auf 40 %-Rasterfläche	Differenz aus den Messwerten neben und auf der überdruckten Sekundärschicht auf der 40 %-Rasterfläche

Abbildung 4-24 zeigt einen Ausschnitt aus dem Datenblatt der Versuchsnummer 25. Damit bei der Bewertung der Messergebnisse eine Referenz zu den Versuchseinstellungen zur Verfügung steht, sind diese mit in das Datenblatt aufgenommen. Darüber hinaus werden jeweils die unterschiedlichen Orte, an denen gemessen wird, bei den jeweiligen Messkriterien unterschieden und vorgegeben.

Für die spätere statistische Auswertung wurden die Differenzen zwischen Messwerten auf dem Etikett (Messbereich Etikett) und neben dem Etikett (Messbereich Bedruckstoff) ermittelt. Diese Ausgabewerte dienen bei den statistischen Auswertungen als Untersuchungsgrößen (siehe Tabelle 4-14).

Die Ergebnisse der weiteren Kriterien, wie die Kratzfestigkeit oder die Tiefenhärtung, werden in den Datenblättern ebenfalls aufgenommen und zusätzlich durch Fotografien dokumentiert.

## 5 Visuelle Abmusterung

Um eine Probandenstudie im Anschluss an die messtechnische Auswertung der Druckversuche durchzuführen zu können, wird im Folgenden ein Konzept zur visuellen Abmusterung vorgestellt. Die Ausführungen sind Gute [2016]) entnommen.

### 5.1 Hypothesen

Durch die Durchführung einer visuellen Abmusterung sind nachstehende Hypothesen zu falsifizieren, welche sich zum einen aus den Forschungsfragen des Projektantrages ableiten und zum anderen aus den Festlegungen durch den Projektbegleitenden Ausschuss ergeben.

#### **Erste Hypothese:**

*Probanden präferieren Proben mit gleichmäßigem Farbeindruck.*

#### **Zweite Hypothese:**

*Probanden nehmen keinen qualitativen Unterschied zwischen den Proben verschiedener Druckverfahren wahr.*

#### **Dritte Hypothese:**

*Probanden bevorzugen den Farbeindruck von Proben geringer Schichtdicke im Niveaueausgleich.*

#### **Vierte Hypothese:**

*Probanden erkennen keine Kante zwischen dem bedruckten Primärs substrat und der überdruckten Sekundärschicht.*

**Fünfte Hypothese:**

*Es gibt keinen deutlichen Unterschied in der Oberflächenbewertung von Fachfremden zu Fachleuten.*

Den erstellten Hypothesen sind mehrere Forschungsfragen zugeordnet, welche durch den visuellen Versuch zu beantworten sind. Dabei ist vor allem die Frage zu klären, welche Bedeutungen die einzelnen Hauptparameter Druckverfahren, Primärsubstrat, Sekundärschicht, Schichtdickeneinfluss und der Höhensprung zwischen Primärsubstrat und Sekundärschicht, welcher sich durch eine Kante darstellt, haben. Darüber hinaus ist zu klären, welchen Einfluss einzelne Materialien und Druckparameter, wie die Primerverwendung oder die Druckgeschwindigkeit, haben. Gleichermäßen ist zu analysieren, ob die Farbwahrnehmung auf dem bedruckten Primärsubstrat und der überdruckten Sekundärschicht einer gleichen Probe für einen Betrachter Farb- und Oberflächeneindruck identisch sind oder ob ein deutlicher Unterschied erkennbar ist.

**Forschungsfragen**

Im Rahmen der visuellen Abmusterung ist es aufgrund von zeitlichen Einschränkungen nicht möglich alle Druckversuche zu bewerten. Darüber hinaus sind wegen der stets variierenden Parameter zwischen den Druckversuchen nicht alle Proben vergleichbar. Daher wird für den visuellen Versuch eine Aufteilung der Forschungsfragen in einzelne Blöcke vorgenommen. Innerhalb eines Blocks werden dann vergleichbare Proben ausgewählt und paarweise miteinander verglichen. Weil die Proben speziell für den Abgleich ausgesucht sind, wird gewährleistet, dass die jeweilige Forschungsfrage eindeutig auszuwerten ist.

Tabelle 5-1: Grundlegende Forschungsfragen

Block	Forschungsfrage
I	Welchen Einfluss hat der Bedruckstoff?
II	Welchen Einfluss hat das Druckverfahren?
III	Wird ein Unterschied zwischen bedrucktem Primärsubstrat und überdruckter Sekundärschicht wahrgenommen?
IV	Welchen Einfluss hat die Druckgeschwindigkeit?
V	Welchen Einfluss hat die Primerverwendung?
VI	Welchen Einfluss hat die Schichtdicke des Niveaueingleichs?

Tabelle 5-1 gibt einen Überblick, welche Einteilungen vorgenommen werden, um die Ergebnisse der visuellen Abmusterung eindeutig zuzuordnen. Darüber hinaus werden noch

zwei weitere Forschungsfragen ergänzt, die zum Ziel haben eine bessere Einschätzung des Höhengsprungs und einer daraus resultierenden Kante zu ermöglichen. Dabei werden die beiden Fragen geklärt, welchen Einfluss das Druckverfahren auf die Kantenwahrnehmung hat und welchen Einfluss die Schichtdicke in Kombination mit der Vollfläche und dem Raster auf die Wahrnehmung einer Kante zwischen Primärsubstrat und Sekundärschicht hat.

## 5.2 Rahmenbedingungen

Die Durchführung der visuellen Abmusterung verlangt die vorherige Vereinbarung von verschiedenen Randbedingungen, damit die Reproduzierbarkeit des Versuchs gegeben ist und die Ergebnisse nutzbar sind. Die notwendigen Abmusterungsbedingungen werden nachfolgend für das Konzept genauer spezifiziert und festgelegt.

### Lichtart

Für die Durchführung der Versuche stehen die beiden Farbabmusterungskabinen GRETAGMACBETH SPECTRALIGHT JR. und MACBETH SPECTRALIGHT III zur Verfügung. Dabei werden für die Versuche zwei unterschiedliche Kabinen verwendet, da neben den Abmusterungen am IDD auch bei Unternehmen Versuche durchgeführt werden, was eine einfache Transportlösung erfordert. Für diese Versuche wird die GRETAGMACBETH SPECTRALIGHT JR. verwendet.



Abbildung 5-1: Normlichtkabinen; links: GRETAGMACBETH SPECTRALIGHT JR.; rechts: MACBETH SPECTRALIGHT III

Die beiden in Abbildung 5-1 gezeigten Farbabmusterungskabinen stellen verschiedene Lichtarten zur Verfügung. Bei der Durchführung der Versuche wird bei beiden Kabinen *Tageslicht* (D 65) als Normlichtart ausgewählt. Diese Lichtart wird hauptsächlich in der grafischen Industrie eingesetzt und ist gut geeignet, um die Proben, welche noch keinem Qualitätsstandard unterliegen, in einem ersten Schritt unter keiner speziellen Betrachtungssituation zu bewerten. Der Einsatz einer zweiten Lichtart, um die Metamerie auszuschließen, wird für den Versuch nicht mitberücksichtigt, da die Abmusterung aufgrund der Erschöpfung des Auges zeitlich begrenzt ist.

## Beobachter

Der Normbeobachter wurde vom Projektbegleitenden Ausschuss festgelegt. Zunächst wurde diskutiert, welcher Beobachter für die visuelle Abmusterung besser geeignet ist. Aktuell geht laut Aussagen der Teilnehmer des Projektbegleitenden Ausschusses der Trend zum Einsatz des 10°-Beobachters für die Bewertung von Druckprodukten. Da jedoch bei den visuellen Versuchen Proben der maximalen Größe von 10 cm x 10 cm betrachtet werden und es sich dabei um eine reine Cyanfläche handelt, ist der 2°-Beobachter als geeigneter anzusehen. Dieser lässt eine Beurteilung einer einfarbigen Fläche ohne Motiv besser zu, da dabei nur der Bereich des Farbsehens angesprochen wird und daher eine eindeutiger Aussage zur Farbempfindung als Ergebnis vorliegt. Während der Präparation der Proben wird zusätzlich deutlich, dass eine Fläche, welche bei einem 10°-Beobachter als Beurteilungsfläche gefordert ist, mit den vorliegenden Proben nicht zu realisieren ist, da die Mehrheit der Proben Fehler aufweisen und nur abschnittsweise für eine visuelle Bewertung geeignet sind.

## Betrachtungsgeometrie

Neben der Wahl der Lichtart und der Festlegung des Normalbeobachters werden die geometrischen Abmusterungsbedingungen für die visuelle Abmusterung festgelegt. Die Betrachtungsgeometrie wird festgelegt zu 45°/0°. Damit wird die Probe von der Lichtquelle in einem Winkel von 45° angestrahlt und der Beobachter beobachtet die Probe in einem Winkel von 0° zur Probennormalen.

Um diese Position zu realisieren wird ein Probenaufsteller eingesetzt. Eine Winkelverstellung, welche es den Probanden ermöglicht durch Kippen den Glanz aus der Bewertung zu eliminieren, wird aufgrund der Vielzahl der Forschungsfragen und daher eingesetzten Proben und dem begrenzten zeitlichen Rahmen nicht berücksichtigt. Die Proben werden dem Probanden immer unter einem festen Betrachtungswinkel von 0° und mit einer Bestrahlung unter 45° präsentiert.

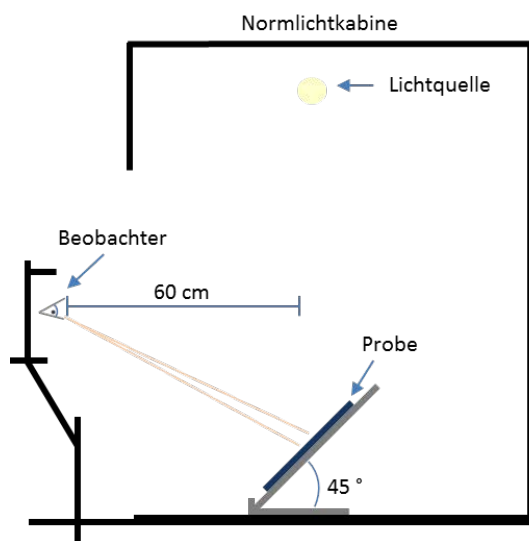


Abbildung 5-2: Anordnung des Probenaufstellers, der Proben sowie der Kinnstütze zur Sicherstellung der Betrachtungsposition der Probanden; links schematisch; rechts Aufbau im Schwarzen Raum

Um weiterhin den Betrachtungsabstand von 60 cm einzuhalten, wird eine Kinnstütze eingesetzt, die es dem Probanden ermöglicht diesen Abstand für die Dauer der Versuche zu halten. Die Anordnung der Probe, des Probenaufstellers, der Kinnstütze sowie die Sitzposition des Probanden werden in Abbildung 5-2 dargestellt.

### Störgrößen

Die Versuche der visuellen Abmusterung finden bei dieser Arbeit an unterschiedlichen Orten statt. Ein Teil der Versuche wird in den Räumlichkeiten des IDD durchgeführt. Ein weiterer Teil der Versuche findet bei mehreren am Projekt beteiligten Unternehmen statt, welche für die Abmusterung Fachleute als Probanden bereitstellen. Die Versuche am IDD werden im Schwarzen Raum durchgeführt. Dieser ist am Boden und an den Wänden in schwarz gehalten und darüber hinaus so ausgestattet, dass möglichst wenig Streulicht die Abmusterung beeinflusst. Bei den Versuchen in den Räumlichkeiten der Unternehmen wird ebenfalls durch Abdunkeln der Räume und die Positionierung der Abmusterungskabinen versucht das Streulicht auf die Abmusterungseinheit so gering wie möglich zu halten. Um zusätzliche Störeinflüsse zu verhindern wird für die Dokumentation der Ergebnisse nicht über ein Laptop, welches wiederum Licht ausstrahlen würde, realisiert, sondern handschriftlich mitnotiert und nachträglich digitalisiert. Dem Versuchsleiter steht dabei nur eine kleine Taschenlampe zur Verfügung, welche derart abgeschirmt ist, dass möglichst wenig Strahlung in Richtung der Abmusterungskabine fällt. Tabelle 5-2 gibt abschließend nochmals eine Übersicht über die festgelegten Rahmenbedingungen für die visuelle Abmusterung. Der 2°-Normbeobachter wurde vom Projektbegleitenden Ausschuss festgelegt.

Tabelle 5-2: Übersicht der festgelegten Rahmenbedingungen der visuellen Abmusterung

Aspekt	Festlegung
Lichtart	Tageslicht D 65
Normbeobachter	2°-Beobachter
Betrachtungsgeometrie	45°/0°
	60 cm Betrachtungsabstand
Störgrößenminimierung	Vermeidung von Streulicht
	Schriftliche statt digitale Dokumentation

Neben den vereinbarten Bedingungen wird bei der visuellen Durchführung zusätzlich darauf geachtet, dass die Probanden vor den Versuchen kurz Zeit haben sich zu entspannen, sodass bei möglichst allen Teilnehmern ein ausgeglichener Gemütszustand vorliegt. Dies wird

gefordert, da die Farbempfindung eine Emotion ist, welche zum Beispiel auch durch den Gemütszustand aktiv beeinflusst wird.

### 5.3 Auswahl der Methode und Vorbereitung der Druckproben

Um die Forschungsfragen und die daraus abgeleiteten Hypothesen zu beantworten und zu falsifizieren, wird der visuellen Abmusterung folgendes Konzept unter Berücksichtigung der zuvor vereinbarten Randbedingungen zugrunde gelegt. Zunächst wird dafür festgelegt welche Methode für die Beantwortung der jeweiligen Forschungsfrage genutzt wird. Tabelle 5-3 gibt eine Übersicht über die Methodenauswahl und Anzahl der durchzuführenden Versuche.

Tabelle 5-3: Übersicht der eingesetzten Methoden und Anzahl der Versuche

Block	Stichwort	Abgleichmethode	Anzahl Versuche
I	Bedruckstoff	Paarvergleich	9
II	Druckverfahren	Paarvergleich	9
III	Unterschied Primärschicht und Sekundärschicht (jeweils überdruckt)	Paarvergleich	12
IV	Druckgeschwindigkeit	Paarvergleich	9
V	Primerverwendung	Paarvergleich	6
VI	Schichtdicke	Paarvergleich	6
VII	Kante-Druckverfahren	Rangordnung	3
VIII	Kante-Schichtdicke & Vollfläche, Raster	Rangordnung	3

Die fest durch den Projektbegleitenden Ausschuss vorgegebenen Forschungsfragen werden mit der Methode des Paarvergleichs ausgewertet, da dieser über eine indirekte Rangordnung Rückschluss auf die Parameter zulässt und ihre Auswirkungen auf die wahrgenommene Qualität zulässt. Außerdem sind die Paarvergleiche einfach und schnell durchzuführen. Bei den zusätzlichen Fragen wird die Methode der Rangordnung eingesetzt, da hier mehrere Parameter in einem Versuch variierbar sind und somit nur teilweise mögliche Parameterabhängigkeiten deutlich werden.

Für die Beurteilung der Proben werden verschiedene Bereiche aus der Druckprobe betrachtet. Abbildung 5-3 gibt einen Überblick, welche Abschnitte der Probe verwendet werden.



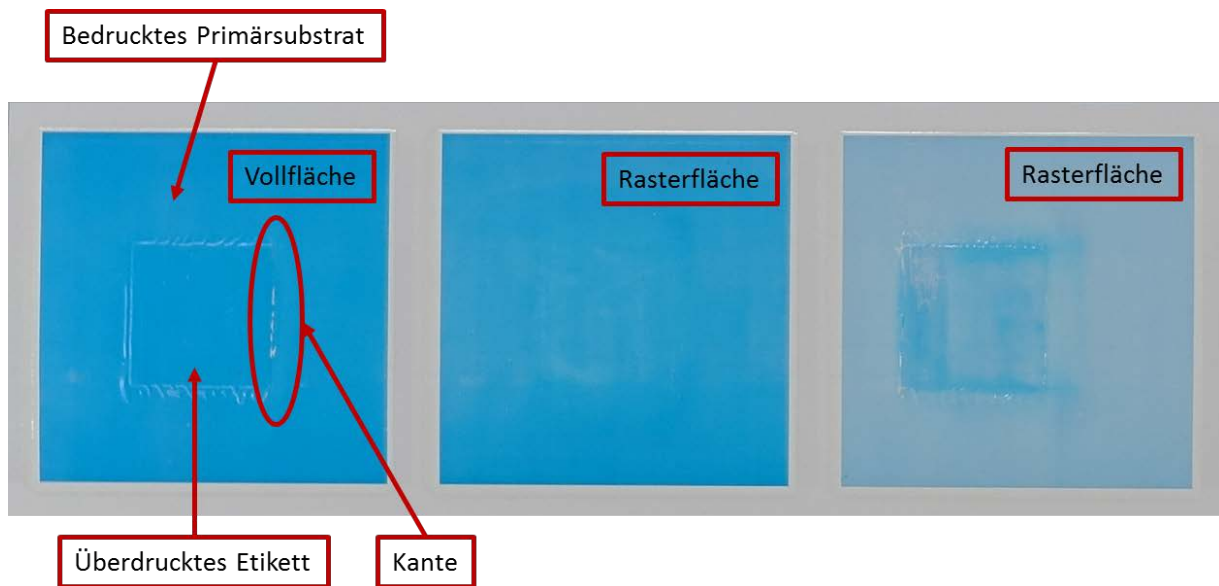


Abbildung 5-3: Betrachtete Bereiche bei den Versuchen der Paarvergleiche und der Rangordnung

Bei der Auswahl des Probenausschnitts ist immer darauf zu achten, welcher Aspekt gerade im Paarvergleich zu beurteilen ist. Wird beispielsweise der Einfluss des Bedruckstoffes analysiert, so sind nur die Bereiche außerhalb des Etiketts dafür einzusetzen, wobei jedoch darauf zu achten ist, dass die ausgewählte Stelle vollständig mit allen Schichten bedruckt ist.

### Bewertung der Proben

Für die Durchführung der visuellen Abmusterung werden für die oben genannten Blöcke verschiedene Proben benötigt, welche bestimmte Eigenschaften, zum Beispiel eine Geschwindigkeitsvariation, aufweisen und gleichzeitig vergleichbar sind. Um eine Übersicht zu bekommen, welche Proben überhaupt eine gute Druckqualität aufweisen, einen brauchbaren Registerstand haben oder nicht beschädigt sind, werden alle Proben zusammen mit dem Druckmeister des IDD nach der Probenentnahme zunächst einzeln bewertet. Die Bewertung der einzelnen Proben erfolgt anhand von Referenzproben, die zuvor festgelegt werden. Zur Einordnung werden dafür Bewertungspunkte vergeben. Als Grundlage dient das folgende Schema:

- Bewertungspunkt 1: schlecht bis nicht brauchbar
- Bewertungspunkt 2: brauchbar bis gut (leichte Fehler)
- Bewertungspunkt 3: sehr gut (Druckbild und Fehlerfreiheit)

Anhand der Referenzbewertung werden alle 300 Druckproben einzeln eingeordnet. Darüber hinaus wird in einer Tabelle hinterlegt, ob gegebenenfalls Fehler, wie Registerprobleme, Trocknungsrisse oder fehlerhafte RegisterEinstellung bei einer Probe vorliegen. Die komplette Bewertung der einzelnen Druckproben mit einer Probencharakterisierung steht als Excel-basierte Datenbank zur Verfügung. Neben der tabellarischen Bewertung sind die einzelnen Proben in sechs Ordnern, die als Mustermappen dienen, einsortiert, sodass eine einfache Zugänglichkeit zur direkten visuellen Eignungsprüfung gegeben ist. Diese Mustermappen

werden während der Probenentnahme zusammengestellt und stehen jederzeit zur Einsicht am IDD bereit. Ein Beispiel einer Probe ist in Anhang 3 zu sehen.

### **Auswahl der Proben für die visuelle Abmusterung**

Bei der Auswahl der Proben für die visuelle Abmusterung und insbesondere für die unterschiedlichen Blöcke der einzelnen Forschungsfragen sind einige bereits durch die Versuche vorhandene Erkenntnisse zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich um nachfolgende Parametereinflüsse:

- *Primerverwendung:*  
Anhand der Druckproben ist deutlich erkennbar, dass eine Primerverwendung Einfluss auf den Farbeindruck hat.  
Die Farbannahme bei einer Lackschicht als Sekundärschicht ist ohne Primer mangelhaft.
- *Deckweißverwendung:*  
Proben, die als Niveaueausgleich WEILBURGER Siebdrucklack haben und kein Deckweiß als Überdruckschicht, weisen Vergilbung des Lackes auf und beeinflussen so den Farbeindruck.
- *Geschwindigkeitseinfluss:*  
Die Proben gleicher Druckverfahren, aber unterschiedlicher Druckgeschwindigkeit, zeigen, dass der Kontrast von der Geschwindigkeit abhängig ist.
- *Rasterflächen:*  
Rasterflächen in 80 %- und 40 %-Raster unterscheiden sich sehr deutlich von der Vollfläche untereinander.
- *Bedruckstoff:*  
Proben aus PP-Folie haben häufig einen kräftigeren Farbeindruck als Proben aus Etiketten- oder Bilderdruckpapier.
- *Niveaueausgleich:*  
Bei dicken Schichten sind die Proben teilweise nicht vollständig ausgehärtet beziehungsweise es sind Trocknungsrisse sichtbar, die auf eine Nachtrocknung schließen lassen und somit den Oberflächeneindruck beeinflussen.
- *Kantenbildung:*  
Die Kante wird durch zwei unterschiedliche Einflüsse sichtbar. Zum einen durch fehlende Farbannahme am Höhengsprung zwischen den beiden Werkstoffen und zum anderen durch einen deutlich unterschiedlichen Farbeindruck von Primärschicht und Sekundärschicht.

Aufgrund dieser bereits bekannten Einflüsse werden für die zu vergleichende Proben verschiedene Parameter festgesetzt. Es werden nur die Vollflächen der Proben für die visuelle Abmusterung eingesetzt, welche darüber hinaus einheitlich mit 30 m/min Druckgeschwindigkeit gedruckt sind und eine Deckweißschicht haben oder mit SUNCHEMICAL Siebdruckfarbe gedruckt sind. Außerdem werden EAS-Etiketten als Sekundärschicht nur im direkten Vergleich miteinander betrachtet, da durch die charakteristische Oberfläche dieser Etiketten ein eigenes Druckbild entsteht, welches nicht mit den glatten Folien- oder Papieretiketten vergleichbar ist.

Darüber hinaus werden Kriterien festgelegt, welche die Proben zu erfüllen beziehungsweise nicht zu erfüllen haben, um bei der visuellen Abmusterung verwendet zu werden. Diese Kriterien unterteilen sich wie in Abbildung 5-4 dargestellt in Kann-, Darf-Nicht- und Muss-Kriterien.

Kriterien zur Vorauswahl der Druckproben		
Muss - Kriterien	Darf - Nicht - Kriterien	Kann - Kriterien
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ausreichend große Abmusterungsfläche</li> <li>▪ Komplette überdruckte Probe (von allen Schichten)</li> <li>▪ Ausreichend großer Übergang zwischen Primärsubstrat und Sekundärschicht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verbrannt oder verblockt sein</li> <li>▪ Falte über dem Probenausschnitt haben</li> <li>▪ Nicht vollständig ausgehärtet sein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Leichte Registerverstellung</li> <li>▪ Leichte Fehler (räumlich begrenzt)</li> </ul>

Abbildung 5-4: Kriterien zur Auswahl der Proben für die visuelle Abmusterung

Anhand der genannten Kriterien und der festgelegten Bedingungen, die eine Probe zu erfüllen hat, werden einzelne Proben für die jeweiligen Blöcke der Abmusterung herausgesucht. Dies geschieht anhand des Versuchsplans, wobei sich ein Abgleich mit der Bewertungstabelle der Proben anschließt.

Erweisen sich die Proben nach einer Sichtung für die visuelle Abmusterung geeignet, werden sie dafür präpariert.

### Verwendete Proben und Probenvorbereitung

Die Auswahl der Proben ist exemplarisch für Block I, bei dem der Einfluss des Bedruckstoffs zu klären ist, in Tabelle 5-4 dargestellt.

Die ausgewählten Proben sind nicht direkt als Druckprobe für die Abmusterung geeignet, da sie nur ausschnittsweise zu beurteilen sind, was eine Probenpräparation notwendig macht. Dafür werden die Proben zurechtgeschnitten und, um sie zu stabilisieren, auf einen geschnittenen Karton geklebt und beschriftet. Die Proben werden dabei für den Paarvergleich direkt nebeneinander auf dem Karton angeordnet. Für die Versuche der Rangordnungen werden die Proben einzeln auf ein Trägersubstrat (Karton) aufgebracht. Außerdem wird eine Maske angefertigt (siehe Abbildung 5-5), welche zum einen nur die für den visuellen Abgleich relevanten Druckprobenausschnitte freigibt und zum anderen die Proben einheitlich präsentiert.

Tabelle 5-4: Übersicht der verwendeten Proben für Block I

<b>Block</b>	I				
<b>Forschungsfrage</b>	Welchen Einfluss hat der Bedruckstoff?				
<b>Festlegung</b>	Bedruckstoffe innerhalb eines Druckverfahrens				
<b>Vergleich A</b>		<b>Vergleich B</b>		<b>Vergleich C</b>	
BP - Offset	EP - Offset	BP - Offset	PP - Offset	EP - Offset	PP - Offset
<b>314</b>	<b>168</b>	<b>314</b>	<b>124</b>	<b>168</b>	<b>124</b>
<b>Vergleich A</b>		<b>Vergleich B</b>		<b>Vergleich C</b>	
BP - Inkjet	EP - Inkjet	BP - Inkjet	PP - Inkjet	EP - Inkjet	PP - Inkjet
<b>69</b>	<b>1</b>	<b>69</b>	<b>280</b>	<b>1</b>	<b>280</b>
<b>Vergleich A</b>		<b>Vergleich B</b>		<b>Vergleich C</b>	
BP - F	EP - Flexo	BP - F	PP - Flexo	EP - Flexo	PP - Flexo
<b>239</b>	<b>308</b>	<b>239</b>	<b>8</b>	<b>308</b>	<b>8</b>
BP = Bilderdruckpapier		EP = Etikettenpapier		PP = PP-Folie	

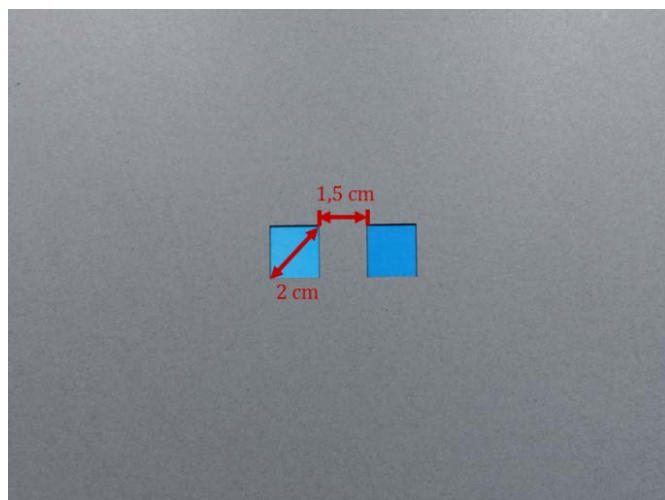


Abbildung 5-5: Neutralgraue Maske in DIN A5 Größe mit zwei Aussparungen zur Präsentation der Proben für den Paarvergleich

Diese DIN A5 große Maske ist aus einem neutralgrauen Karton gefertigt, der einerseits, anders als ein schwarzer Karton, keinen zu großen farblichen Kontrast zu den Proben darstellt, wie ein schwarzer Karton, und der sich zum anderen gut in das Umfeld der graugehaltenen Farbarmaturkabine einordnet. Die Sichtfenster für die Proben werden in einem Abstand von 1,5 cm ausgelasert. Dieser Abstand ist auf die Probengröße abgestimmt, welche sich

wiederum aus den für die Abmusterung festgelegten Randbedingungen von Betrachtungsabstand und Normbeobachter ergibt.

Insgesamt werden 51 Probenkarten mit den direkt nebeneinander angeordneten Proben für den Paarvergleich und 27 kleine Probenkarten mit jeweils einer einzelnen Probe für die Rangordnung erstellt. Darüber hinaus wird noch eine Musterkarte für den Paarvergleich, zwei Einzelkarten für die beispielhafte Darstellung von Fehler und zwei Einzelkarten für die Demonstration von Farbunterschieden für die Kurzeinweisung der Probanden erstellt. Diese Muster haben die gleichen Abmessungen, wie die später im Versuch eingesetzten Karten.

### Konzeption des Fragebogens für die visuelle Abmusterung

Die visuelle Abmusterung wird in zwei Teile untergliedert. In einem ersten Abschnitt werden die Paarvergleiche behandelt. Dafür werden dem Probanden die Druckproben in der präparierten Form vorgelegt und über eine Befragung der Paarvergleich durchgeführt. Innerhalb eines Vergleichs werden vier Fragen gestellt, welche der Proband mit den Aussagen ‚Linke Probe‘, ‚rechte Probe‘, oder ‚beide gleich‘ beantwortet und somit die Proben bewertet. Die Antwort wird von der Versuchsleitung notiert. Um die Konzentration des Betrachters auf der Probe zu belassen, werden die vier Fragen so konzipiert, dass sie für alle sechs Blöcke des Paarvergleichs identisch sind. So ist es möglich, dass sich der Proband auf die Fragen einstellt und nicht immer wieder neu und lange über die Antwort nachzudenken braucht. Abbildung 5-6 zeigt einen Ausschnitt des Fragebogens, welcher bei der Durchführung der Paarvergleiche eingesetzt wird.

Block 1: Bedruckstoffe gegeneinander innerhalb eines DV					
BP - Offset	EP - Offset	314	168		
		links	rechts	gleich	Bemerkung
1. Frage	Welche Probe gefällt Ihnen vom Farbeindruck besser?				
2. Frage	Welche Oberfläche gefällt Ihnen besser?				
3. Frage	Welche Probe sehen Sie allgemein als hochwertiger an?				
4. Frage	Welche Probe ist homogener bzgl. Struktur, Fehlern etc.?				
BP - Offset	PP- Offset	314	124		
		links	rechts	gleich	Bemerkung
1. Frage	Welche Probe gefällt Ihnen vom Farbeindruck besser?				
2. Frage	Welche Oberfläche gefällt Ihnen besser?				
3. Frage	Welche Probe sehen Sie allgemein als hochwertiger an?				
4. Frage	Welche Probe ist homogener bzgl. Struktur, Fehlern etc.?				

Abbildung 5-6: Auszug aus dem Fragebogen der Paarvergleiche im ersten Abschnitt der visuellen Abmusterung

Die vier gestellten Fragen beziehen sich auf die Hauptaspekte des Farbeindruckes und der Wirkung der Probenoberfläche. Dabei werden diese beiden Aspekte zunächst einzeln abgefragt, wobei der Proband auch darauf hingewiesen wird nur den jeweils gefragten Einfluss zu bewerten. Anschließend wird noch die Kombination von Farbeindruck und Oberfläche durch die Frage über die qualitativ hochwertigere Probe abgefragt. Darüber hinaus wird noch die

Homogenität der Proben in die Fragen mit aufgenommen. Dabei sind die Fragen teilweise redundant gestellt, sodass in der Auswertung später der Zusammenhang zwischen Farbe und Oberfläche sowie der Einfluss der Homogenität auf die Oberflächenbewertung eindeutig zuzuordnen ist und mögliche Korrelationen deutlich werden.

Im zweiten Abschnitt des visuellen Experiments werden die zusätzlichen Forschungsfragen als Rangordnung durchgeführt. Dabei erhalten die Probanden die jeweils für einen Abschnitt vorbereiteten Einzelkarten. Diese sind dann der Reihenfolge von ‚Kante nicht sichtbar‘ (links) bis ‚Kante deutlich sichtbar‘ (rechts) frei anzuordnen. In diesem Fall werden dem Probanden keine Fragen gestellt und keine Kriterien vorgegeben, außer dass die vertikal sichtbare Kante zu bewerten ist.

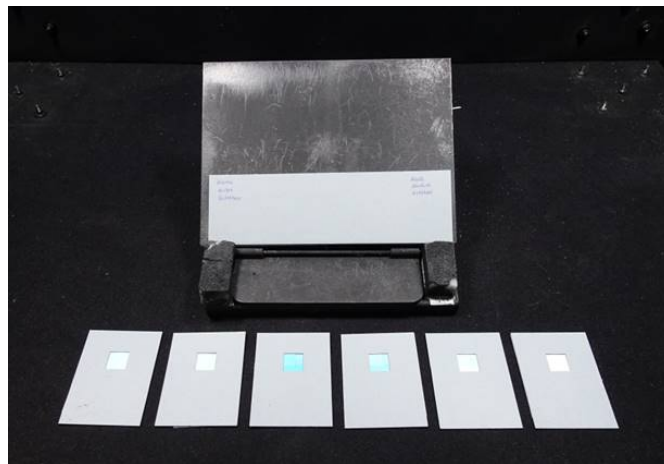


Abbildung 5-7: Anordnung der Rangordnungsversuche im zweiten Abschnitt der visuellen Abmusterung

Abbildung 5-7 zeigt beispielhaft den Versuch einer Rangordnung. Die Ergebnisse der geordneten Proben werden ebenfalls im Versuchsprotokoll, welches dem Frageteil angehängt ist, notiert. Neben den Antworten zu den gestellten Fragen und der Notation der Rangordnungsergebnisse werden im Fragebogen auch Bemerkungen und Hinweise der Probanden ergänzt.

## 5.4 Probandenversuche

Das nachfolgende Kapitel beschreibt die Planung und Durchführung der Probandenversuche nach dem oben zuvor beschriebenen Konzept und zeigt zusätzlich auf welche Grenzen das Konzept hat und welche Optimierungsmöglichkeiten bestehen.

### 5.4.1 Durchführung der Versuche

Die Versuche werden teilweise am IDD und teilweise bei verschiedenen Unternehmen an jeweils einem Versuchstag durchgeführt. Die Versuchsdurchführung teilt sich in die drei Abschnitte, welche in Abbildung 5-8 dargestellt sind, auf und hat eine Dauer von etwa einer Stunde.

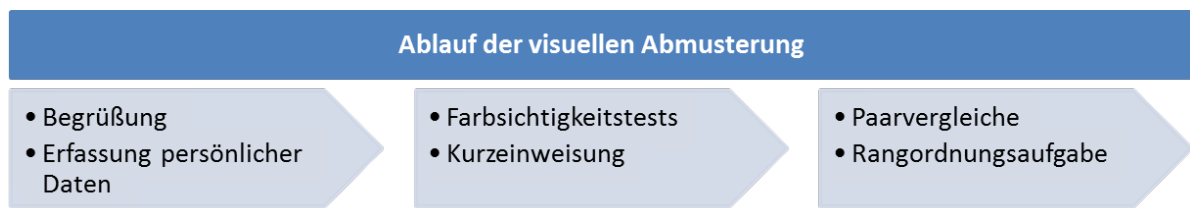


Abbildung 5-8: Ablauf der visuellen Abmusterung

### **Begrüßung und Erfassung persönlicher Daten**

Zu Beginn wird der Proband kurz begrüßt und ihm das Projekt in einigen Sätzen kurz vorgestellt, sowie eine Übersicht über den Ablauf und die ungefähre Dauer gegeben. Danach werden im Gespräch vom Versuchsleiter die persönlichen Daten: Geschlecht und Alter, Sehhilfen oder bereits vorhandene persönliche Erfahrungen mit visuellen Experimenten oder einer vorhandenen Berufserfahrung im grafischen Bereich abgefragt und notiert. Die erfassten Daten werden in der Arbeit und insbesondere in der Auswertung anonymisiert verwendet. Kommentare und Anmerkungen werden während der Abmusterung in einem Versuchsprotokoll, für das jeder Proband eine ID erhält, dokumentiert.

### **Farbsichtigkeitstest**

Die Probanden werden vor der eigentlichen Abmusterung auf Farbenfehlsichtigkeit hin getestet. Dazu werden zwei Tests durchgeführt, die eine mögliche Fehlsichtigkeit aufzeigen. Zunächst wird der Test der ISHIHARA-TAFELN durchgeführt. Dieser stellt eine schnelle und zuverlässige Möglichkeit dar, den Farbsinn des Probanden zu überprüfen. Dafür werden 14 Bilder mit Zahlen oder Linienverläufen beziehungsweise Tafeln ohne Motiv vorgelegt (siehe Abbildung 5-9).

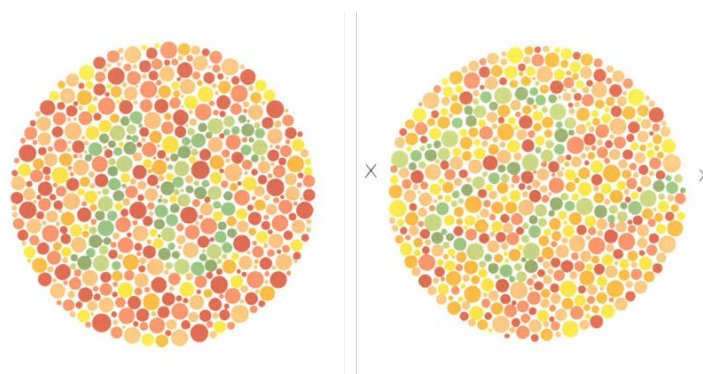


Abbildung 5-9: Ishihara-Tafeln; links die Zahl 16, rechts ein Linienverlauf; [Ishi03]

Die Präsentation der Farbtafeln erfolgt in der Normlichtkabine MACBETH SPECTRALIGHT III unter der Lichtart D 65, welche einer Farbtemperatur von 6500 K entspricht. Der



Beobachtungsabstand wird auf 75 cm gesetzt und ein Betrachtungswinkel von 45° realisiert. Mit diesem Test ist es möglich angeborene Farbsinnstörungen, insbesondere Protanopie (Rotblind), Deutanopie (Grünblind) in schwacher und starker Ausprägung sowie Tritanopie (Blaublind) zu überprüfen und damit eine Aussage über eine eventuell vorliegende allgemeine Farbblindheit des Probanden zu erhalten. Ein normaler Farbsinn liegt vor, wenn 10 oder mehr richtige Antworten gegeben werden. [DöBo16]

Als zweiten Farbtest wird der FARNSWORTH-MUNSELL 100 HUE COLOR VISION TEST durchgeführt, durch den das Farbunterscheidungsvermögen des Probanden festgestellt wird. Bei diesem Test sind insgesamt 85 verschiedene Farbkappen nach ihrem Buntton zu sortieren. Dafür sind diese Kappen in vier Reihen unterteilt, bei denen jeweils die beiden äußeren Kappen fixiert sind. Die Aufgabe des Probanden ist es, die zuvor vom Versuchsleiter entnommenen und vermischten Farbkappen erneut in die richtige Reihenfolge zu sortieren. Für jede Reihe hat der Proband maximal vier Minuten Zeit, wobei er auch vor Ablauf dieser Zeit die Reihe zur Kontrolle zurückgeben darf. Der Test findet ebenfalls in der Normlichtkabine MACBETH SPECTRALIGHT III unter der Lichtart D 65 statt. Zur Auswertung werden die auf der Rückseite der Kappen vorhandenen Nummern, welche die richtige Reihenfolge vorgeben, zusammen mit der kompletten Versuchsdauer auf einem dafür erstellten Auswertebogen notiert und später mittels der am IDD vorhandenen zugehörigen Software ausgewertet.

Fehlerpunkte X	Klassifikation des Farbunterscheidungsvermögens
$X \leq 16$	Superior Discrimination (hervorragendes Farbunterscheidungsvermögen)
$16 < X \leq 100$	Average Discrimination (normales Farbunterscheidungsvermögen)
$X > 100$	Low Discrimination (geringes Farbunterscheidungsvermögen)

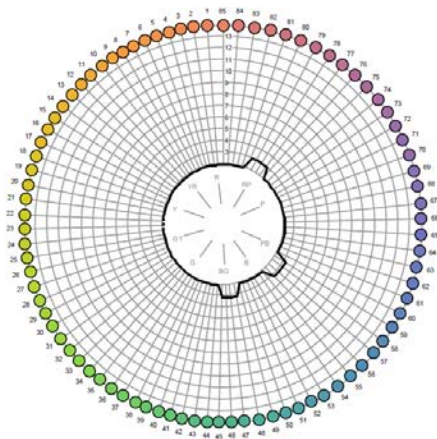


Abbildung 5-10: FARNSWORTH-MUNSELL 100 HUE COLOR VISION TEST; links die Kategorisierung nach Fehlerpunkten rechts die grafische Auswertung; nach [x-rite07]

Abbildung 5-10 zeigt links die beispielhafte grafische Auswertung eines Testergebnisses. Im rechten Teil wird eine Übersicht über die Kategorien gegeben, in welche die Probanden je nach Testergebnis eingeteilt werden. Den Test im Rahmen dieser Arbeit haben 30 Probanden mit der Einstufung *hervorragendes Farbunterscheidungsvermögen* (Durchschnittspunktzahl: 10,6 Fehlerpunkte) absolviert. Weitere 20 Probanden haben mit einer durchschnittlichen Fehlerpunktzahl von 42 Punkten ein *normales Farbunterscheidungsvermögen* und ein Proband erhält die Einstufung *geringes Farbunterscheidungsvermögen*.



## Kurzeinweisung

Nach Erfassen der relevanten persönlichen Daten und der Durchführung der beiden Farbsichtigkeitstests folgt eine kurze Einweisung. Die Kurzeinweisung dient dazu die Inhalte vorzustellen, welche bei der nachfolgenden visuellen Abmusterung relevant sind. Es wird dazu ein Beispiel für die Anordnung des Paarvergleichs vorgelegt, um die Antwortmöglichkeiten zu erläutern. Dabei werden ebenfalls die vier Fragen, welche bei allen 51 Paarvergleichen gestellt werden, kurz erklärt. Abbildung 5-11 zeigt die verwendeten Musterkarten.



Abbildung 5-11: Muster der Kurzeinweisung; oben Paarvergleich; unten Farb- und Oberflächentrennung

Um den Unterschied zwischen der Frage nach dem Farbeindruck und der Oberfläche zu verdeutlichen werden neben dem Muster für den Paarvergleich vier kleine Musterkarten gezeigt. Zwei Karten demonstrieren dabei nur den rein farblichen Unterschied, wohingegen weitere zwei Karten den Unterschied von Farbe zu Oberfläche darstellen. Diese Karten haben auch Fehlstellen im Druckbild enthalten, welche als nicht relevant für die Beurteilung bei Farbe und Oberfläche einzubeziehen sind.

Bei der Kurzeinweisung werden darüber hinaus Fragen zur Durchführung beantwortet und die Probanden nochmals darauf hingewiesen, dass Anmerkungen jederzeit zu machen sind, da sie bei der Auswertung gegebenenfalls weitere Rückschlüsse zulassen.

## Visuelle Abmusterung – Paarvergleiche

Der erste Teil der visuellen Abmusterung beinhaltet 51 Paarvergleiche. Dabei werden die genannten Forschungsfragen in sechs Blöcke unterteilt, wobei ein Block eine Forschungsfrage beinhaltet. Der Proband erfährt während der Versuchsdurchführung nicht, welcher Parameter im Paarvergleich jeweils getestet wird. Für die visuelle Abmusterung werden die vorbereiteten Paarvergleichskarten, bestehend aus Druckmuster und Maske, dem Probanden einzeln auf dem Probenhalter vorgelegt (Abbildung 5-12).

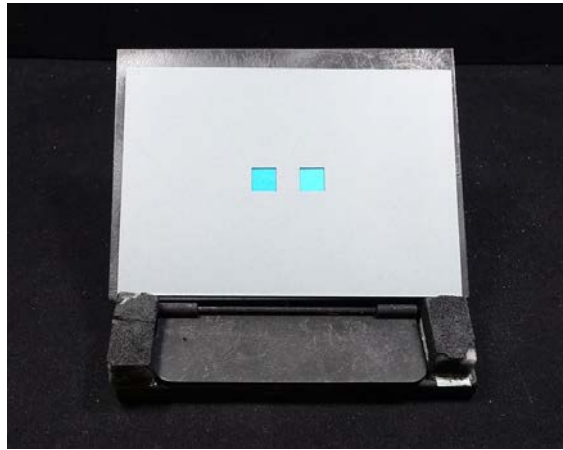


Abbildung 5-12: Beispiel eines Paarvergleichs

Danach werden die vier Fragen neutral und ohne Beeinflussung des Probanden gestellt:

- *Welche Probe gefällt Ihnen vom Farbeindruck besser?*
- *Welche Oberfläche gefällt Ihnen besser?*
- *Welche Probe würden Sie als allgemein hochwertiger ansehen?*
- *Welche Probe ist homogener bezüglich Struktur, Fehlern etc.?*

Dieser antwortet wiederum spontan mit *Probe links, Probe rechts, beide gleich* und fügt gegebenenfalls Anmerkungen und Hinweise an, welche im Versuchsprotokoll vom Versuchsleiter notiert werden.

### **Visuelle Abmusterung – Rangordnung**

In einem zweiten Abschnitt der visuellen Abmusterung werden zwei zusätzliche Forschungsfragen durch die Versuche der Rangordnung beantwortet. Dafür erhält der Proband bei drei Versuchen jeweils drei kleine Probekarten, die er entsprechend seiner Empfindung nach einer vorgegebenen Skala von ‚Kante nicht sichtbar‘ (links) bis ‚Kante deutlich sichtbar‘ (rechts) anzuordnen hat. Dabei ist es in diesem Fall erlaubt, die Karten anzufassen und auch in unterschiedlichen Kippwinkeln zu betrachten. In drei weiteren Versuchen zur Rangordnung erhält der Proband jeweils sechs kleine Probenkarten (siehe Abbildung 5-13), die er nach dem gleichen Prinzip anordnet. Für diese Versuche sind keine Zeitfenster vorgegeben, jedoch werden drei der Probanden nach fünf Minuten gebeten die Karten anzuordnen, da es auch hier um eine spontane Bewertung der Proben geht.

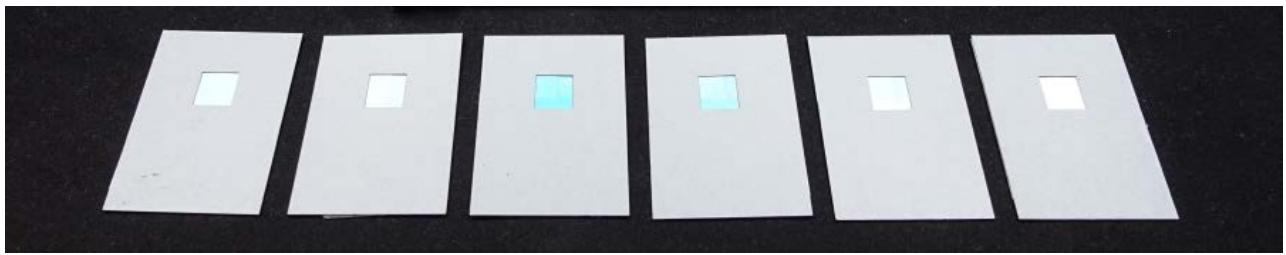


Abbildung 5-13: Versuch der Rangordnung mit sechs Probenkarten

Bei den Versuchen der Rangordnung wird angestrebt die Wirkung der Kante, welche sich durch den Höhengsprung zwischen Primärsubstrat und Sekundärschicht bildet, auf den Betrachter zu ermitteln. Da es aktuell keine Bewertungskriterien für eine Kante in Druckprodukten gibt, wird auch in der visuellen Abmusterung darauf verzichtet dem Probanden Kriterien vorzugeben. Den Proben sind jedoch einige Parameter, von denen angenommen wird, dass sie Kantendarstellung beeinflussen, zum Beispiel der Schichtdickenausgleich oder das Raster, hinterlegt. Mit der Rangordnung wird angestrebt die Parameter, welche die Kantendarstellung aktiv beeinflussen, zu selektieren. Als Auswertungsgrundlage wird die Kennung der Proben in der vom Probanden gewählten Rangordnung dokumentiert.

#### 5.4.2 Grenzen des Konzeptes für die visuelle Abmusterung

Das Konzept der visuellen Abmusterung ist speziell auf die vom Projekt genannten Forschungsziele abgestimmt. Durch Vorversuche werden dabei die im Konzept vorgesehenen Abläufe, wie die Dauer der Farbsichtigkeitstests oder die Gesamtdauer, getestet und optimiert. Ebenso werden die Fragestellungen mehrfach angepasst, sodass eine eindeutige Formulierung gegeben ist, welche leichter und besser verständlich ist und es dem Probanden ermöglicht seine spontane Einschätzung wiederzugeben.

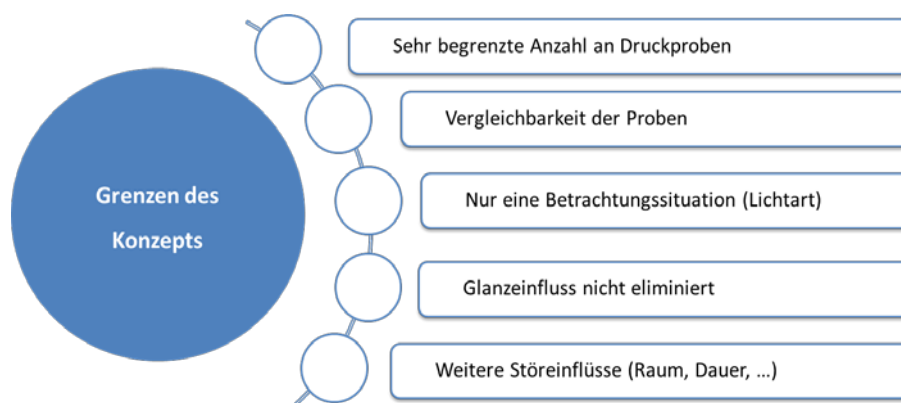


Abbildung 5-14: Grenzen des Konzeptes der visuellen Abmusterung

Das Konzept hat jedoch auch Grenzen und Schwächen. Abbildung 5-14 gibt einen Überblick über die Grenzen des Konzeptes, die nachfolgend kurz erläutert werden.

## **Druckprobenumfang**

Die zeitliche Begrenzung der Abmusterung ist auf 40 Minuten festgelegt, da danach davon ausgegangen wird, dass eine Ermüdung der Augen eintritt. Durch diese Vorgabe ist die Anzahl der zu bewertenden Druckproben enorm beschränkt. Für die 51 Paarvergleiche und sechs Rangordnungsversuche werden nur etwa 10 % der gedruckten Proben herangezogen. Dabei werden einige Proben für mehrere Kombinationen von Paarvergleichen verwendet. Eine Analyse von relevanten Einflussparametern ist daher nur bedingt gegeben und auch ein Vergleich mit den messtechnischen Ergebnissen der verwendeten Proben hat eine begrenzte Aussagekraft. Für eine umfassendere Auswertung ist es erforderlich, eine deutlich höhere Anzahl an Proben mit in die Versuche der visuellen Abmusterung einzubeziehen. Dafür ist beispielsweise denkbar, die Abmusterungen weiter zu unterteilen und zeitlich zu unterbrechen, sodass ein größerer Probenumfang bewertet wird. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit eine große Anzahl an Mustern in einer Gruppenmusterung über einen Fragebogen zu bewerten. Dafür ist jedoch zu klären, wie einheitliche Rahmenbedingungen bezüglich Lichtart, Betrachtungsgeometrie etc. geschaffen werden.

## **Vergleichbarkeit der Proben**

Durch die Anwendung des DoE werden in jedem Versuch 12-14 Parameter verändert, sodass nie zwei Versuchseinstellungen existieren, bei denen ausschließlich ein Parameter variiert wird. Zusammen mit den ersten Erkenntnissen aus dem Druckabschnitt wird deutlich, dass eine Auswahl an vergleichbaren Proben schwierig ist. Mit den in Kapitel 5.2 festgelegten Bedingungen ist nur eine begrenzte Anzahl an Proben annähernd vergleichbar, welche dann für die visuelle Abmusterung eingesetzt werden. Für eine weitere visuelle Auswertung ist daher zu klären, ob verschiedene Einflüsse als weniger relevant eingestuft werden und daher weiteren Probenvergleich zulassen, oder ob ein anderes Konzept sich als geeigneter erweist. Ein alternatives Konzept ist beispielsweise die Durchführung zahlreicher Paarvergleiche, bei denen die ausgewählten Proben in einer zufälligen Abfolge kombiniert werden und keine individuelle Forschungsfrage geklärt werden. Durch die Auswertung der zahlreichen Versuche ist es möglich, durch die Entscheidungsverteilung Rückschlüsse auf den Einfluss einzelner Parameter auf verschiedene Kriterien zu ziehen. Das vorliegende und durchgeführte Konzept ist hingegen genau auf die vorgegebenen Forschungsfragen abgestimmt, was einen sehr engen Rahmen bei der Vergleichbarkeit der Proben zur Folge hat.

## **Betrachtungssituation**

Die Betrachtungssituation im vorliegenden Konzept der visuellen Abmusterung ist auf eine Art beschränkt. Dies resultiert auch, wie zuvor bereits beschrieben, aus der Grundanforderung den zeitlichen Rahmen von 40 Minuten nicht zu überschreiten, dabei jedoch eine möglichst große Anzahl an Druckproben abzumustern. Daher wird sich im Konzept auf eine Betrachtungssituation, die in der Druckindustrie standardmäßig verwendet wird, beschränkt. Eine Erweiterung des Konzeptes durch eine Abmusterung unter einer weiteren Lichtart, beziehungsweise bei unterschiedlichen Probenanordnungen oder gar einer freien

Probenpositionierung durch den Probanden, bietet die Möglichkeit, zum einen Metamerie auszuschließen und zum anderen weitere mögliche Einflussfaktoren, wie zum Beispiel den Lichtfang bei dicken Schichten, zu bewerten.

### **Glanzeinfluss**

Durch die festgelegte Betrachtungsgeometrie von 45° Lichteinfall und 0° Betrachtungswinkel zur Probennormalen, welche während der Versuche nicht variierbar ist, wird der Glanzeinfluss nicht aus der visuellen Abmusterung herausgenommen. Für die Abmusterung bedeutet dies, dass die Farbwahrnehmung teilweise von einem Glanz überlagert ist und daher von einer Betrachtung ohne Glanz abweicht. Während der Versuche weisen einige Probanden, insbesondere Fachleute darauf hin, dass der Glanz, der nicht bei allen Proben eine Rolle spielt, aber vereinzelt wahrgenommen wird, eine eindeutige Bewertung der Proben nicht zulässt. Der Aspekt des Glanzes ist daher für weitere Abmusterungen zu berücksichtigen und das Konzept dahingehend zu optimieren, dass der Glanzeinfluss die Farbbeurteilung nicht beeinflusst. Dafür bestehen aktuell bereits mehrere Möglichkeiten. Zum einen stellt die Integration einer Verstellfunktion für den Betrachtungswinkel ein Mittel dar, welches es dem Probanden ermöglicht den Glanz in der Betrachtung zu eliminieren. Zum anderen ist die Betrachtung einer festen Probenanordnung durch einen Spiegel eine Möglichkeit den Glanz einer Probe zu umgehen. In jedem Fall ist es notwendig, für eine weitere visuelle Auswertung der erstellten Druckproben den Glanz zu berücksichtigen und das Konzept derart weiterzuentwickeln, dass der Glanz die Beurteilung nicht weiter beeinträchtigt. Dafür ist es unter Umständen notwendig den Probenumfang zu reduzieren, da die Probenpräsentation beziehungsweise die Winkelverstellung mehr Zeit in Anspruch nimmt, als beim aktuellen Konzept. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit den Glanz explizit von den Probanden bewerten zu lassen, um dessen Einfluss auf die erreichbare Qualität beim Überdrucken von zwei unterschiedlichen Werkstoffkombinationen zu erfassen.

### **Weitere Störeinflüsse**

Neben den ausgeführten Aspekten spielen bei der visuellen Abmusterung zahlreiche weitere Faktoren eine Rolle. Beispielsweise ist es bei diesem Konzept durch die unterschiedlichen Versuchsorte nicht möglich bei allen Versuchen einheitliche Lichtbedingungen zu gewährleisten. Darüber hinaus ist zu überlegen, eine andere Kennzeichnung der Proben vorzunehmen, sodass die Masken fixiert sind und nicht beim Auflegen der Probe verrutschen.

### **Optimierungsmöglichkeiten des Konzeptes**

Das für die visuelle Abmusterung ausgearbeitete Konzept zeigt sich in der Versuchsdurchführung als praktikabel, bietet jedoch an manchen Stellen Optimierungspotential. Dabei sind jedoch die Anforderungen und Ziele der Abmusterung erneut zu überprüfen und anzupassen. Wird aufgrund der einsetzenden Ermüdung der Augen der zeitliche Rahmen beibehalten, so ist es denkbar, mehrere zeitlich versetzte Abmusterungen durchzuführen. Ebenso sind andere Beurteilungsmöglichkeiten wie ein Fragenbogen mit Wertungsskala oder

Einordnung mit Referenzmustern mögliche Konzeptalternativen. Weiterhin besteht die Möglichkeit die Abmusterung auf andere Auswertungsmethoden auszurichten und auch dafür den Versuchsablauf anzupassen. Neben den rein konzeptionellen Optimierungen ist es auch denkbar, die Anzahl der Probanden zu erhöhen oder die Verteilung von Alter, Geschlecht, Fachleute zu Fachfremde zu variieren und auf bestimmte Fragenstellungen hin festzulegen. Darüber hinaus ist eine ausführlichere Schulung vor der Abmusterung denkbar, sodass gezielt bestimmte Qualitätskriterien abzufragen sind und die Ergebnisse keinem Lerneffekt unterliegen. Im Gegensatz dazu ist ein weiterer konzeptioneller Ansatz, die Versuchsdurchführung ohne eine vorherige Schulung. Dabei wird der Aspekt genutzt, dass fachfremde Personen nicht durch Beispiele oder vorgegebene Definitionen in ihrer Aussage verunsichert werden, sondern frei urteilen.

Allgemein erfüllt das ausgearbeitete Konzept der visuellen Abmusterung alle Anforderungen und schafft darüber hinaus die Möglichkeit, durch die ergänzten Forschungsfragen weitere Inhalte zur erreichbaren Qualität im Überdruck zu erfassen. Jedoch ist es denkbar an einigen Stellen Optimierungen durchzuführen, sodass mehr Daten erfasst und daraus Ergebnisse gewonnen werden, die Effekte oder Wechselwirkungen von Parametern deutlicher aufzeigen können.

## 5.2 Grundlagen der Auswertung

Das folgende Unterkapitel gibt zunächst einen Überblick über die Auswertungsmethode, mit der die aus der visuellen Abmusterung gesammelten Daten ausgewertet werden. Dazu werden in einem ersten Abschnitt die allgemeinen Auswertungsgrundlagen zu Paarvergleichen erläutert und die Vor- und Nachteile dieser Art der Auswertung aufgezeigt. Des Weiteren wird erklärt wie aus den Ergebnissen Aussagen zu den Forschungsfragen abzuleiten sind. Ebenso wird kurz darauf eingegangen, welche Möglichkeiten bestehen, die Aussagen der Ergebnisse zu verallgemeinern und das Informationsniveau zu steigern. In einem weiteren Schritt werden die Anpassungen, welche notwendig sind um die Methode im Rahmen dieser Arbeit als Auswertungsgrundlage einzusetzen, erläutert.

### 5.2.1 Auswertung von Paarvergleichen

Die Methode des Paarvergleichs ermöglicht das Aufstellen einer indirekten Rangordnung und gibt darüber hinaus einen Überblick welches Objekt in einem direkten Vergleich mit einem weiteren Objekt, unter Betrachtung eines festgelegten Merkmals, vorgezogen wird. Dabei werden bei den Versuchen des Paarvergleichs die Urteilenden gebeten zu entscheiden bei welchem betrachtenden Objekt das gefragte Merkmal dominierender ist. In der Regel sind diese Aussagen, welche durch einen Paarvergleich gewonnen werden, genauer als Ergebnisse einer Skalenbewertung. Dies resultiert aus der Annahme, dass der direkte Vergleich für den Probanden eine gut beherrschbare Form der Beurteilung darstellt, da eine Entscheidung zwischen zwei Optionen in einem Menschen evolutionär verankert ist und daher kognitiv nicht überfordernd ist. [DöBo16]

## Indirekte Rangordnung

Wird ein vollständiger Paarvergleich von  $n$  Objekten durchgeführt, so zeigt das Gesamtergebnis, wie häufig ein Objekt einem anderen Objekt vorgezogen wird. Werden diese Häufigkeiten der Größe nach geordnet, so ist es möglich, eine Rangordnung der untersuchten Objekte zu erstellen und daraus abzuleiten, welches Objekt am häufigsten als dominierender eingestuft wird. Aus den Ergebnissen der Beurteilung sind relative Aussagen über die Reihung der Objekte zu treffen, jedoch keine absoluten. Das bedeutet, dass beispielsweise ein Urteiler beim Vergleich von Reisezielen Italien gegenüber Spanien vorzieht, allerdings beide Ziele insgesamt als unattraktiver einstuft als andere Reiseziele. [DöBo16] Dieser Aspekt stellt das Problem der Verankerung bei Paarvergleichen dar, wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht weiter betrachtet. Für weitere Informationen ist auf Böckholt [2004] zu verweisen, der verschiedene Lösungsansätze für diese Problematik beschreibt.

Der Versuch des Paarvergleichs ist in diversen Ausführungen möglich, wobei eine Variante die Mehrfachbewertung eines Versuches durch denselben Urteiler ist. Eine andere Variante stellt die Beurteilung desselben Versuches durch mehrere Urteiler dar. In diesem Fall liegen für die Auswertung eines Paarvergleichsversuchs die Ergebnisse mehrerer Probanden vor, sodass diese die Grundlage für die Rangordnung bilden. Das Ableiten der Rangfolge erfolgt dabei durch das Bilden der Summe der individuellen Präferenzhäufigkeiten. Dazu wird in der Regel eine Dominanzmatrix aufgestellt, welche die Information beinhaltet, wie häufig ein Objekt einem anderen bevorzugt wird. [Stie13]

Beispiel: Dominanzmatrix für Schulfächer					
	De	Ma	En	Sp	Mu
De	-	10	12	24	22
Ma	20	-	24	26	23
En	18	6	-	19	20
Sp	6	4	11	-	14
Mu	8	7	10	16	-
Summe	52	27	57	85	79
Rangreihe	4	5	3	1	2

Abbildung 5-15: Dominanzmatrix des Beispiels der Bewertung der Schulfächer Deutsch (De), Mathe (Ma), Englisch (En), Sport (Sp) und Musik (Mu) von 30 Probanden; zwei zugeordnete Zellen addieren sich zur Gesamtteilnehmerzahl; die blau gefärbten Zellen zeigen, dass beispielsweise 6 Urteiler Mathematik Englisch vorziehen;nach [DöBo16]

Abbildung 5-15 zeigt exemplarisch eine Matrix, die aus den Ergebnissen eines Paarvergleichs, welcher von 30 Probanden durchgeführt wurde, abgeleitet ist. Bei diesem Versuch geben mehrere Probanden ihre Präferenzen für die Schulfächer Deutsch (De), Mathe (Ma), Englisch (En), Sport (Sp) und Musik (Mu) an. Die Ergebnisse werden in einer Dominanzmatrix aufbereitet. Um eine Rangordnung abzuleiten, werden die Häufigkeiten, zum Beispiel der Fächer Mathe und Englisch, zunächst aufsummiert. Dabei ergibt die Summe zweier einander entsprechender Zellen (blaugefärbt in Abbildung 5-15) die Gesamtzahl der Probanden. Abschließend werden die Häufigkeiten nach ihrer Größe sortiert und daraus die Rangordnung abgeleitet. Bei diesem Beispiel wird deutlich, dass die Mehrheit der Probanden Sport den anderen Schulfächern vorzieht. Ebenso ist aus den Ergebnissen zu erkennen, dass die beiden Fächer Sport und Musik bei den Probanden ähnlich beliebt sind.

## **Konsistenz und Konkordanz**

Für die Methode der Rangordnung ist die Forderung nach Konsistenz und Konkordanz, je nach Versuchsart, grundlegend. Dabei wird bei der Konsistenz angenommen, dass bei einer mehrfachen Beurteilung desselben Versuchs durch denselben Urteiler eine Übereinstimmung der Ergebnisse vorliegt. Die Konkordanz fordert ebenfalls, dass die Ergebnisse übereinstimmen, jedoch bei der Beurteilung desselben Versuchs durch mehrere Urteiler. Um die Ergebnisse eines Versuchs einzuordnen und eine Angabe zur Güte der Übereinstimmung der Urteiler zu geben, oder eine Aussage zu treffen, ob Konsistenz beziehungsweise Konkordanz vorliegt, werden diverse Überprüfungen durchgeführt, wobei Döring [2016] einen Überblick über die bestehenden Ansätze und Verfahren gibt.

Eng verknüpft mit der Forderung nach Konsistenz beziehungsweise Konkordanz ist die Bedingung, dass die einzelnen Objekte bezüglich des untersuchten Merkmals eine ordinale Relation aufweisen, das heißt es besteht eine natürliche Rangordnung zwischen zwei Objekten. Darüber hinaus umfasst diese Forderung, dass das Aufstellen einer Rangfolge durch eindeutige Unterschiede der Objekte in jedem Fall möglich ist, jedoch nicht die Möglichkeit besteht eine Aussage über die Abstände zwischen den einzelnen Rangplätzen zu machen. Aufgrund dessen ist es, wie bereits oben erwähnt, nur möglich relative Ausprägungen und keine absoluten Ausprägungen der Merkmale der Objekte aus den Ergebnissen zu gewinnen. [MüBe11]

Die Modellannahme der ordinalen Relationen wird allerdings in der Praxis häufig verletzt, da oft sogenannte zirkuläre Triaden oder intransitive Urteile auftreten, welche gegen diese Annahme verstoßen. Diese beiden Aspekte stellen Inkonsistenzen in den Urteilen dar, das heißt werden drei Objekte betrachtet und Objekt A dem Objekt B ( $A > B$ ) und Objekt B wiederum einem dritten Objekt C ( $B > C$ ) vorgezogen, so ist aufgrund von Transitivität anzunehmen, dass Objekt A auch Objekt C ( $A > C$ ) vorgezogen wird, was jedoch bei der Einschätzung durch die Beurteiler nicht zwingend der Fall sein muss. Grund für diese Schwankungen sind zum einen Unterschiede in den eingesetzten Bewertungskriterien für die wiederholte Beurteilung derselben Objekte nach dem immer noch gleichen Merkmal. Zum anderen führt die Bewertung von mehrdimensionalen Merkmalen zu Abweichungen bei wiederholten Beurteilungen. Eine Mehrdimensionalität liegt beispielsweise vor, wenn ein Merkmal zu allgemein gefasst ist und der Betrachter dadurch die Möglichkeit hat mehrere unterschiedliche Kriterien seiner Auswahl zugrunde zu legen. Diese sind dann in den meisten Fällen von Betrachtung zu Betrachtung unterschiedlich stark in Urteilsbildung miteinbezogen und führen so zu abweichenden Ergebnissen. Um großen Unterschieden in den Ergebnissen vorzubeugen, sind die zu beurteilenden Merkmale möglichst genau zu beschreiben. [Genu10]

## **Transformation der Ergebnisse in eine Nominalskala**

Die Transformation ermöglicht es, die gewonnen indirekten Rangordnungen in intervallskalierte Skalenwerte, und somit auf ein informationsreicheres Niveau, zu übertragen. Aufgrund der erweiterten Aussagen sind zusätzliche Informationen zu gewinnen, welche weitere Rückschlüsse auf mögliche Einflussgrößen oder Wechselwirkungen zulassen. Für die Übertragung in ein höheres Informationsniveau wird die Methode des *Law of Comparative Judgement* angewendet. Bei dieser Methode ist die Grundannahme, dass bei einer



wiederholten Beurteilung von Merkmalen keine identischen Urteile vorliegen, sondern diese in einem geringen Maß voneinander abweichend sind. Es wird dabei insbesondere angenommen, dass die Verteilung der Empfindungsstärken um einen wahren Wert normalverteilt ist. [DöBo16]

Für die Transformation werden die Schätzungen der Merkmalsausprägungen entsprechend zweier normalverteilter Zufallsvariablen angenommen. Dabei stellt die Differenz dieser beiden Schätzungen ( $x_1 - x_2$ ) wiederum eine normalverteilte Zufallsvariable dar. Im Weiteren wird diese Differenz ( $x_1 - x_2$ ) durch die Streuung der Differenzenverteilung dividiert, woraus sich die z-Werte der Standardnormalverteilung ergeben. Ein positiver z-Wert gibt dabei ( $x_1 > x_2$ ) an, das heißt Objekt A ( $x_1$ ) ist besser als Objekt B ( $x_2$ ). Ein negativer z-Wert ( $x_1 < x_2$ ) zeigt auf, dass Objekt B ( $x_2$ ) ist besser als Objekt A ( $x_1$ ). Sind  $x_1 = x_2$  und somit beide Objekte gleich bewertet, so ist  $z = 0$ . Tritt im Paarvergleich die Aussage auf, dass die Objekte gleich sind ( $z=0$ ), liegt jedoch darüber hinaus die Annahme vor, dass die Präferenz für diesen Reiz 50 % beträgt und damit gleich dem Reiz ein Objekt einem anderen Objekt vorzuziehen. [WiPa04]

Wird ein Paarvergleich nach dem *Law of Comparative Judgement* ausgewertet, so werden die aus den Ergebnissen gewonnenen Präferenzhäufigkeiten in relative Häufigkeiten transformiert, indem die Häufigkeiten durch die Anzahl der Urteiler dividiert werden. Für die gewonnenen relativen Häufigkeiten werden die zugehörigen z-Werte der Standardnormalverteilungstabelle, die in mathematischen Formelsammlungen zu finden ist, entnommen. Daran anschließend werden die Spaltensummen sowie die Mittelwerte der Spalten errechnet und der Betrag des größten negativen Wertes zu allen Werten hinzuaddiert. Das Ergebnis sind die Skalenwerte aus denen ebenfalls die Rangfolge abzulesen ist. Der Vorteil dieser Darstellung der Ergebnisse ist, dass weitere normierte Operationen einfach durchzuführen sind. Anzumerken ist, dass bei dieser Art der Auswertung angenommen wird, dass zwischen den Verteilungen die Korrelationen konstant sind und dass alle Empfindungsstärkenverteilungen gleich streuen. Die so transformierten Ergebnisse lassen es zu, weitere und genauere Aussagen über mögliche Zusammenhänge zu treffen. [DöBo16]

### **Grenzen der Auswertungsmethode *Law of Comparative Judgement***

Bei Paarvergleichen mit einer hohen Anzahl an zu vergleichenden Objekten ist damit zu rechnen, dass die Konzentration der Probanden und das Durchhaltevermögen mit zunehmender Versuchszeit abnehmen. Döring und Bortz (2016) verweisen in diesem Zusammenhang darauf, dass eine Anzahl von bis zu 20 Objekten gerade noch so für Probanden zu bewerten ist.

#### 5.2.2 Angepasstes Auswertungskonzept der visuellen Abmusterung

Die Auswertung der visuellen Abmusterung, welche auf Paarvergleichen basiert, wird nach der zuvor beschriebenen Methode ausgewertet. Insbesondere werden die Darstellungen der Häufigkeitsverteilungen in nicht normierter Form und das Ableiten einer Rangordnung für die Auswertung der einzelnen Paarvergleiche herangezogen. Auf eine Transformation der Ergebnisse und die dadurch ermittelten relativen Häufigkeiten wird jedoch auch zeitlichen Gründen verzichtet. [Dörs16]

Für eine Auswertung der visuell abgemusterten Paarvergleiche ist die Methode allerdings in einigen Aspekten anzupassen. Neben der Abstimmung der Begrifflichkeiten auf die fachspezifischen Benennungen des Probanden als Urteiler und des Objektes als Probe ist hauptsächlich ist eine Anpassung des Bewertungssystems notwendig. Bei der Beurteilung von Druckproben ist es darüber hinaus notwendig, dem Probanden die Möglichkeit zu geben, Proben als gleichwertig einzustufen. Dies resultiert daraus, dass eine Probe bezüglich ihres Farb- und Oberflächeneindrucks, sowie der Homogenität zu beurteilen ist und dabei auch zum Beispiel durch metamere Effekte eine Gleichheit der Proben wahrgenommen wird. Anpassungen am Punktesystem ermöglichen ein einfaches Anpassen des Bewertungsschemas. Wird eine Probe der anderen vorgezogen erhält sie zwei Punkte, werden die Proben als gleich eingestuft, erhalten beide Proben einen Punkt. Dennoch ermöglicht diese Punktbewertung das Ableiten einer Rangordnung.

Das auf die Auswertung der visuellen Abmusterung abgestimmte Konzept ermöglicht es dennoch nicht absolute Aussagen über die Proben aus den in Kapitel 5.2.1. beschriebenen Gründen zu gewinnen. Dies bedeutet, dass keine direkte Aussage über die Druckqualität möglich ist, sondern nur darüber welche Probe bezüglich ihrer Druckqualität als besser oder gleich gegenüber einer anderen Probe eingestuft wird. Des Weiteren ist es ebenfalls nicht möglich, aus den Ergebnissen abzuleiten, ob die verglichenen Objekte überhaupt als hochwertig angesehen werden, denn es ist beispielsweise denkbar, dass ein Betrachter sich im direkten Vergleich für den Farbeindruck von Probe A entscheidet, aber sowohl den Farbeindruck von A als auch von Probe B als insgesamt nicht ansprechend empfindet. [Helb93]

Um die Mehrdimensionalität der Proben aus der Bewertung herauszunehmen, wird bereits im Versuch nicht die Gesamtbewertung der Proben abgefragt, sondern einzelne, eindeutig voneinander abgrenzende Merkmale bewertet. Insbesondere werden die Merkmale des Farb- und Oberflächeneindrucks und der Homogenität durch den Probanden abgefragt. Des Weiteren gewährleisten die Merkmalseigenschaften, dass Abweichungen der Antworten der Probanden bei einem wiederholten Darbieten um einen wahren Wert normalverteilt sind, sodass eine nachträgliche Auswertung der Ergebnisse nach der Methode des *Law of Comparative Judgement*, wie zuvor in Kapitel 5.2.1. beschrieben, möglich ist. Auch die bereits beschriebenen Grenzen stellen keine Einschränkung dar, da die Abmusterung sowohl in einem zeitlich vertretbaren Rahmen, in dem keine Ermüdung der Augen eintritt, als auch von der Probenanzahl den Vorgaben entspricht.

Durch eine Transformation der Ergebnisse, im Nachgang zu dieser Arbeit, können zusätzliche Erkenntnisse und Rückschlüsse auf relevante Parametereinstellungen oder Wechselwirkungen gezogen werden. An dieser Stelle ist anzumerken, dass die gewonnenen Ergebnisse stets im Kontext der Abmusterung und der Abmusterungsbedingungen zu betrachten sind, da bereits Helbig (1993) anmerkt, dass die Bewertungen von Experten und Fachfremden bei der Beurteilung von Druckproben in den meisten Fällen voneinander abweicht und somit keine Konkordanz gegeben ist. Für aussagekräftige Ergebnisse sind die gesammelten Daten der visuellen Abmusterung gegebenenfalls getrennt voneinander auszuwerten.

### 5.3 Datengrundlagen der Auswertung

Bei der Durchführung der visuellen Abmusterung werden neben den Personendaten und den Farbsichtigkeitstests für jeden Paarvergleich und jede Rangordnung durch die Abfrage eines

Fragebogens Daten erhoben. Nachfolgend wird zunächst kurz erläutert, welche Daten für die Auswertung vorliegen und wie diese aufbereitet sind.

### 5.3.1 Datengewinnung bei der visuellen Abmusterung

Die im Rahmen der visuellen Abmusterung gesammelten Daten in Form eines Fragebogens sind die Grundlage für die nachfolgende exemplarische Auswertung der Hypothesen. Diese sind insbesondere im Kontext der visuellen Abmusterung zu betrachten, da bei der Versuchsdurchführung verschiedene Abmusterungsbedingungen gelten, welche Einfluss auf die Urteile haben.

Als Datengrundlage liegen die Ergebnisse von 51 Probandenversuchen vor, wobei alle Probanden denselben Versuch durchführten und 33 zuvor ausgewählte und aufbereitete Druckproben bezüglich verschiedener Merkmale bewertet haben. Die Beurteilung der 33 Druckproben erfolgt anhand von 51 Paarvergleichen und weiteren sechs Rangordnungsversuchen, wobei für letztere in dieser Arbeit keine Auswertung erfolgt.

Um die Daten auszuwerten, werden diese in einem ersten Schritt digitalisiert und auf Vollständigkeit geprüft, indem die zugehörigen Zellsommen kontrolliert werden. Anzumerken ist, dass durch die Punktevergabe von zwei Punkten für die Dominanz und jeweils einen Punkt für die Gleichheit, die Summe zugehöriger Zellen nicht der Probandenzahl entspricht, sondern der doppelten Anzahl.

Darauffolgend wird eine Übersicht erstellt, wie viele Probanden sich für die jeweilige Druckprobe, A oder B, beziehungsweise für beide als gleichwertig entschieden haben. Diese Häufigkeiten werden grafisch dargestellt, um eine erste Übersicht zu geben.

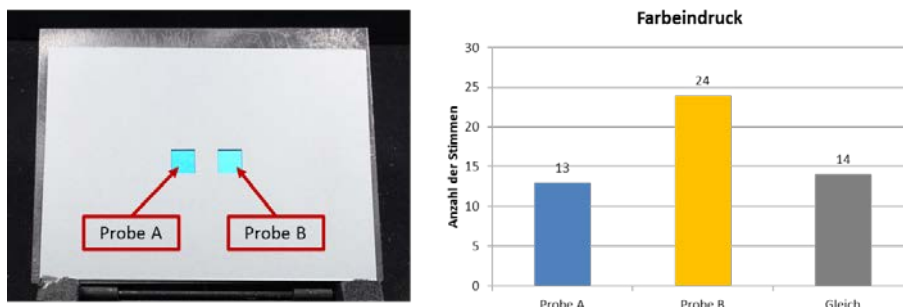


Abbildung 5-16: Beispiel der grafischen Darstellung der Ergebnisse eines Paarvergleichs; links die beurteilten Proben; rechts die Häufigkeiten der Antworten der Probanden

Abbildung 5-16 zeigt beispielhaft die grafische Darstellung der Ergebnisse eines Paarvergleichs. Dabei haben die Proben A und B beziehungsweise im weiteren Vergleich B (links) und C (rechts) unterschiedliche Eigenschaften. Für jeden Paarvergleich sind verschiedene Proben eingesetzt, wobei diese über die Versuchseinstellungen charakterisiert werden und in der nachfolgenden Auswertung jeweils mit angegeben werden. Im Anschluss daran wird, rein aus den Häufigkeiten der Antworten, eine Rangfolge erstellt, welche in einer Dominanzmatrix dargestellt wird.

### 5.3.2 Teilnehmerstatistik

Im Rahmen der visuellen Abmusterung wurden am IDD und bei drei Unternehmen insgesamt 51 Probandenversuche durchgeführt. Am visuellen Versuch nahmen 31 männliche und 20 weibliche Probanden teil (Abbildung 5-17).

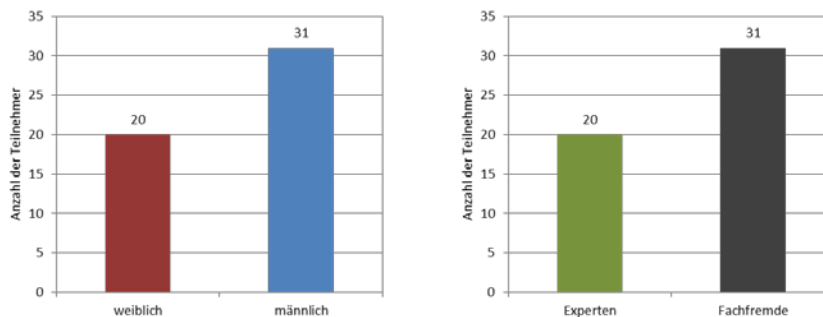


Abbildung 5-17: Verteilung der Probanden in Geschlecht und nach Erfahrung

Von den 51 Probanden werden aufgrund ihrer Ausbildung oder fachlichen Vorkenntnisse und Erfahrungen 20 Probanden (14 männliche und 6 weibliche) als Experten eingestuft. Während der Versuche tragen 27 Personen (53 %) eine Sehhilfe und drei Probanden geben bereits vor den Farbsichtigkeitstests an, eine Rot-Grün-Schwäche zu haben. Abbildung 5-18 zeigt die Anzahl der männlichen und weiblichen Probanden sowie die Einteilung in Experten und Fachfremde.

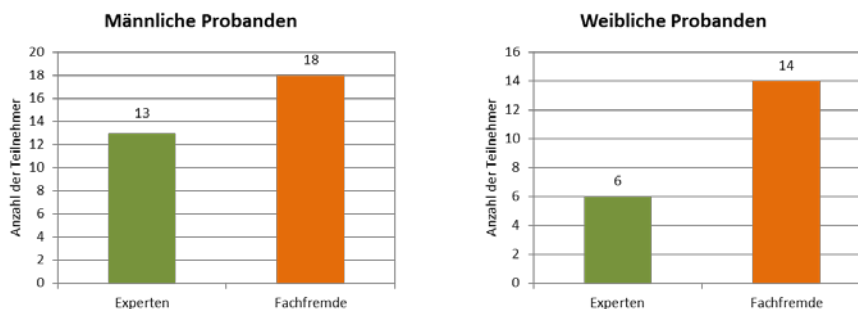


Abbildung 5-18: Verteilung der Probanden nach Geschlecht und fachlicher Einstufung

Das Durchschnittsalter der Probanden liegt bei 37,9 Jahren, wobei der jüngste Proband 21 Jahre alt und der älteste Proband 66 Jahre alt ist. Die Probanden werden in vier Altersgruppen eingeteilt, sodass im Nachgang zu dieser Arbeit zusätzlich die Möglichkeit besteht einen Bezug der Ergebnisse auf mögliche Alterseinflüsse, wie die Verringerung des Sehvermögens, herzustellen. In Abbildung 5-19 sind die unterschiedenen Altersgruppen, sowie die Anzahl der Probanden innerhalb dieser Gruppen dargestellt.

Anzumerken ist, dass die Verteilung nicht gleichmäßig über alle Altersgruppen hinweg ist, was jedoch für diese Auswertung zunächst nicht relevant ist. Der Projektbegleitenden Ausschuss hat vorgegeben, dass Probanden aller Altersklassen an den Versuchen teilnehmen sollen und kein Schwerpunkt bei einem bestimmten Alter gelegt wird. Ebenso nehmen an den Versuchen mehr männliche Probanden teil als weibliche. Am Versuch nehmen 20 Experten teil, sodass die Verteilung bei etwa 40 % Experten zu 60 % Fachfremden liegt.

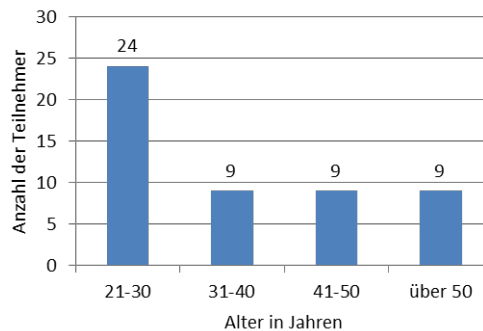


Abbildung 5-19: Altersverteilung der Probanden unterteilt in vier Altersgruppen

Den Farbsichtigkeitstest nach FARNSWORTH-MUNSELL 100 HUE COLOR VISION TEST, welchen die Probanden im Rahmen der Abmusterung durchführten, haben 30 Probanden mit der Einstufung *hervorragendes Farbunterscheidungsvermögen* (Durchschnittspunktzahl: 10,6 Fehlerpunkte) absolviert. Weitere 20 Probanden haben mit einer durchschnittlichen Fehlerpunktzahl von 42 Punkten ein *normales Farbunterscheidungsvermögen* und ein Proband erhält die Einstufung *geringes Farbunterscheidungsvermögen*.

## 5.4 Exemplarische Auswertung

Im nachfolgenden Abschnitt werden exemplarisch vier Forschungsfragen ausgewertet, indem die zugehörigen Hypothesen falsifiziert werden. Bei der Versuchsdurchführung gelten stets die festgelegten Abmusterungsbedingungen, sodass die Ergebnisse in diesem Kontext zu betrachten sind.

Die für die Auswertung benötigten Daten werden aus dem vollen Datensatz der visuellen Abmusterung selektiert und aufbereitet. Wegen der zeitlichen Verzögerung bei den Maschinenversuchen werden nur vier der fünf aufgestellten Hypothesen in der Auswertung betrachtet. Des Weiteren werden innerhalb der Hypothesen nicht alle vier Merkmale des Farb- und Oberflächeneindrucks, der Homogenität der Probe und der allgemeinen Hochwertigkeit der Probe, ausgewertet. Der Umfang der Auswertung ist jedoch derart ausgelegt, dass eine erste Falsifizierung der Hypothesen möglich ist.

### 5.4.1 Einfluss des Bedruckstoffs

Die in Abschnitt 5.1 aufgestellte erste Hypothese untersucht den Einfluss des Bedruckstoffs, wenn eine erste Niveaueinrichtungsschicht mit einer zweiten grafischen Schicht überdruckt wird.

**Erste Hypothese:**

*Probanden präferieren Proben mit gleichmäßigem Farbeindruck.*

Die Auswertung erfolgt in diesem Fall über die Ergebnisse der Beurteilung des Farbeindrucks. Dazu werden drei Paarvergleiche mit jeweils drei ausgewählten Druckproben durchgeführt. Die Aufteilung in drei Paarvergleiche mit je drei Druckproben wird vorgenommen, da der Bedruckstoff unabhängig von einem möglichen Einfluss des Druckverfahrens zu bewerten ist. Aus diesem Grund wird der Vergleich für jedes Druckverfahren getrennt durchgeführt, wobei jeweils drei ausgewählte Proben im Paarvergleich bewertet werden. Für jedes Druckverfahren wird ein Block mit jeweils drei Proben, welche die Bedruckstoffe repräsentieren, erstellt. Für die Beurteilung des Bedruckstoffeinflusses werden demnach neun Paarvergleiche durchgeführt. Die Auswertung erfolgt nachfolgend exemplarisch für das Druckverfahren Offset. Dabei werden die Probenausschnitte der Versuchseinstellung 314, 168 und 124 (Abbildung 5-20), bei denen nur der Bedruckstoff zweimal überdruckt ist, jeweils gegeneinander bezüglich des Merkmals des Farbeindrucks der Probe miteinander verglichen. Dabei wird dem Betrachter ein Ausschnitt präsentiert, welcher den Bedruckstoff zeigt, der mit einer Niveauschicht und einer grafischen Schicht überdruckt ist.

Versuchsnummer	Primärsubstrat	Sekundärschicht	Primer- verwendung	Hersteller Primer	Siebdruck	SiebdruckII	Hersteller Siebdruckfarbe	Flexo-Weiß	Hersteller Flexo-Weiß	Hersteller Flexoform	Geschwindigkeit in m/min	Inkjet (Tropfen- volumen)	Hersteller Gummituch	Hersteller Cyan	Flexoform Raster Cyan	Flexoform Fläche Cyan	Hersteller Cyan
314	Bilderdruckpapier	Folien-Etikett	ja	SunChemical	43/80	43/80	Weilburger	ja	Flint	Flint	30	-----	Gallus	SunChemical	-----	-----	-----
168	Etikettenpapier	Papier-Etikett	ja	SunChemical	21/140	100/40	Weilburger	ja	Flint	Flint	30	-----	Gallus	SunChemical	-----	-----	-----
124	PP-Folie	Papier-Etikett	ja	SunChemical	43/80	43/80	SunChemical	ja	SunChemical	Flint	30	-----	Gallus	Flint	-----	-----	-----

Abbildung 5-20: Versuchseinstellung der Proben 314, 168 und 124, welche beim Paarvergleich eingesetzt werden, um den Einfluss des Bedruckstoffs zu klären; (Ausschnitt des Versuchsplans der Maschinenversuche)

Für die Falsifizierung der ersten Hypothese werden die Beurteilungen des Farbeindrucks ausgewertet. Um die Bewertung innerhalb des Paarvergleichs für den Probanden zu erleichtern, werden die Fragen verallgemeinert gestellt. Die einzelnen Druckproben werden als Probe A, Probe B und Probe C bezeichnet. Für die Auswertung sind in den einzelnen Blöcken die Versuchseinstellungen den jeweiligen Bezeichnungen hinterlegt. Für die Auswertung des Bedruckstoffs sind folgende Versuchsnummern hinterlegt:

- A: Bilderdruckpapier (BP) (Nr. 314)
- B: Etikettenpapier (EP) (Nr. 168)
- C: PP-Folie (PP) (Nr. 124)

Für die Auswertung werden die Häufigkeiten der Entscheidungen aller Probanden für einen Bedruckstoff im Paarvergleich zum einen in Diagrammform und zum anderen in der Dominanzmatrix dargestellt. Es erfolgt keine Unterscheidung in Experten und Fachfremde. Zunächst erfolgt die Auswertung für das Merkmalskriterium des Farbeindrucks in grafischer Darstellung.

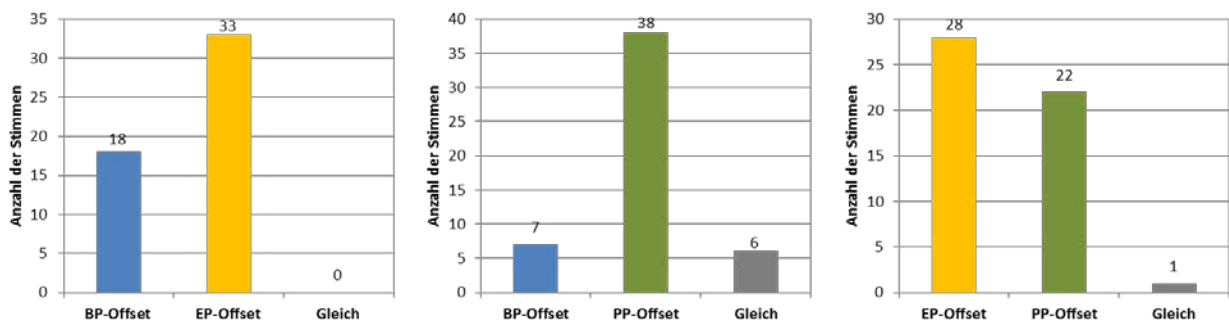


Abbildung 5-21: Auswahlhäufigkeiten bei der Frage nach dem Farbeindruck beim Paarvergleich der drei Bedruckstoffe (Offset)

Abbildung 5-21 zeigt die Häufigkeiten, mit denen die unterschiedlichen Bedruckstoffe, welche dem Probanden als Probe A, B und C vorgelegt werden, von den Probanden als dominierend gegenüber dem zu vergleichenden Bedruckstoff eingestuft werden. Aus diesen Werten wird nachfolgend die zugehörige Dominanzmatrix abgeleitet. Es ist an dieser Stelle nochmals darauf hinzuweisen, dass der Proband die Möglichkeit hat die Proben als gleichwertig einzustufen. In diesem Fall erhält jede Probe einen Punkt im Bewertungssystem. Daraus ergibt sich folgende in Abbildung 5 dargestellte Matrix für die Betrachtung des Bedruckstoffeinflusses für das Druckverfahren Offset.

	A = BP (314)	B = EP (168)	C = PP (124)
A = BP (314)	-	66	82
B = EP (168)	36	-	45
C = PP (124)	20	57	-
Summe	56	123	127
Rang	3	2	1

Abbildung 5-22: Matrix und Rangordnung für den Paarvergleich der Bedruckstoffe im Offsetdruck bezüglich des Farbeindrucks; Bewertung von 51 Probanden, davon 31 Fachfremde und 20 Experten

Neben der Rangordnung sind in der Matrix (Abbildung 5-22) auch die Auswahlhäufigkeiten der Probanden für die jeweiligen Bedruckstoffe beim grafischen Überdruck mittels Offsetdruck enthalten. Die Rangordnung zeigt, dass die PP-Folie als Bedruckstoff mit geringem Vorteil gegenüber dem Etikettenpapier bevorzugt wird, wenn es um den Farbeindruck der Probe geht.

Nach ersten Überlegungen und Betrachtungen der unterschiedlichen Proben wird angenommen, dass dieses Ergebnis auf den Glanz der Probe zurückzuführen ist, da Probanden erfahrungsgemäß eine glänzende Probe als hochwertiger und von der Farbe her als kontrastreicher und gleichmäßiger ansehen. Die beiden Bedruckstoffe Etikettenpapier und PP-Folie haben bereits die Grundeigenschaft, dass sie glänzen, und verlieren diese auch nicht durch die aufgebrachte Niveauegleichsschicht und den grafischen Überdruck. Das Ergebnis zeigt, dass die Probanden sich für die Proben entscheiden, welche einen gleichmäßigen Farbeindruck haben. Damit ist die Hypothese bestätigt und es wird deutlich, dass der Bedruckstoff, wie in der Hypothese angenommen, einen Einfluss auf das Druckergebnis beim Überdrucken hat. Insbesondere ist zu erkennen, dass die Niveauegleichsschicht, welche eingesetzt wird um den Höhensprung zwischen dem Primärs substrat und der Sekundärschicht

zu verringern, den Bedruckstoff trotz der aufgetragenen Farbschicht nicht derart überdeckt, dass dieser keinen direkten Einfluss auf die Farbwahrnehmung mehr hat.

Dennoch ist an dieser Stelle anzumerken, dass der Glanz nicht aus der Farbbeurteilung, aufgrund der Anzahl der zu bewertenden Proben und der zur Verfügung stehenden Zeit, herausgenommen ist und als Einflussgröße zu berücksichtigen ist. Für weitere Auswertungen ist dies immer zu berücksichtigen.

#### 5.4.2 Einfluss des Druckverfahrens

In einem weiteren Paarvergleich wird die Forschungsfrage behandelt, ob das verwendete Druckverfahren einen direkten Einfluss auf die Wahrnehmung des Druckergebnisses hat und Unterschiede im optischen Farbeindruck bestehen. Diese Forschungsfrage wird durch die zweite Hypothese repräsentiert, welche nachfolgend zu falsifizieren ist.

#### **Zweite Hypothese:**

*Probanden nehmen keinen qualitativen Unterschied zwischen den Proben verschiedener Druckverfahren wahr.*

Für diese Versuche werden Druckproben ausgewählt, welche mit den drei Druckverfahren Offset-, Flexo- und Inkjet-Druck grafisch überdruckt sind. Da, wie bereits zuvor aufgezeigt wird, auch der Bedruckstoffeinfluss überprüft wird, werden für diese Versuche Proben mit jeweils demselben Bedruckstoff betrachtet, um diesen Einfluss aus der Bewertung herauszunehmen. Die Auswertung erfolgt an dieser Stelle für das Etikettenpapier, wobei die Proben der Versuchsnummern 1, 168 und 308 betrachtet werden. Diese haben neben den drei Druckverfahren und dem Etikettenpapier die in Abbildung 5-23 aufgeführten Parametereinstellungen.

Versuchsnummer	Primärsubstrat	Sekundärschicht	Primerverwendung	Hersteller Primer	Siebdruck I	Siebdruck II	Hersteller Siebdruckfarbe	Flexo-Weiß	Hersteller Flexo-Weiß	Hersteller Flexoform	Geschwindigkeit in m/min	Inkjet (Tropfenvolumen)	Hersteller Gummituch	Hersteller Cyan	Flexoform Raster Cyan	Flexoform Fläche Cyan	Hersteller Cyan
168	Etikettenpapier	Papier-Etikett	ja	SunChemical	21/140	100/40	Weißburger	ja	Flint	Flint	30	-----	Gallus	SunChemical	-----	-----	-----
308	Etikettenpapier	EAS-Etikett	ja	SunChemical	43/80	43/80	Weißburger	ja	SunChemical	Flint	30	-----	-----	-----	hart	hart	Flint
1	Etikettenpapier	EAS-Etikett	ja	Flint	100/40	100/40	SunChemical	nein	Flint	Flint	30gr. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Abbildung 5-23: Versuchseinstellungen der Proben, die für den Paarvergleich eingesetzt werden (Ausschnitt des Versuchsplans der Maschinenversuche)

Nachfolgend wird zunächst die Beurteilung des Farbeindrucks ausgewertet. Es erfolgt keine Unterscheidung in Experten und Fachfremde. Auch hier werden den Proben A, B und C folgende Druckproben hinterlegt:

- A: Inkjet-Druck (EP) (Nr. 1)
- B: Offsetdruck (EP) (Nr. 168)
- C: Flexodruck (EP) (Nr. 308)



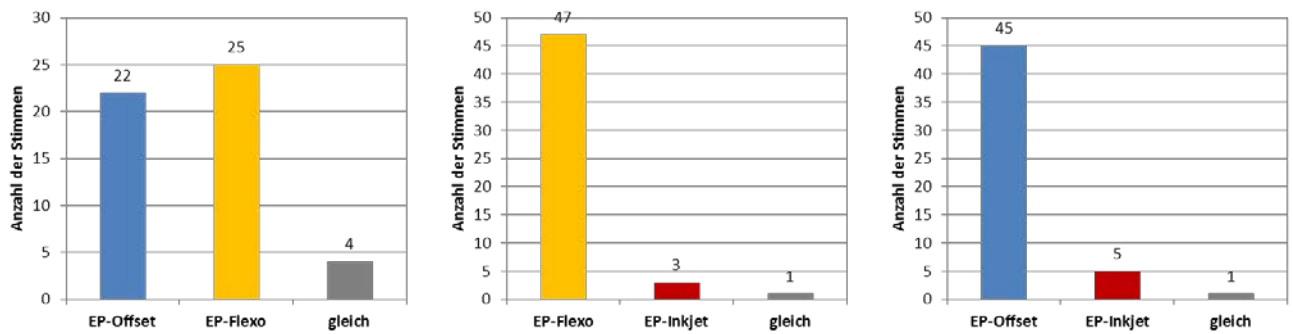


Abbildung 5-24: Auswahlhäufigkeiten bei der Frage nach dem Farbeindruck beim Paarvergleich der drei Druckverfahren (Etikettenpapier)

Abbildung 5-24 zeigt die Häufigkeiten der ausgewählten Druckproben der unterschiedlichen Druckverfahren in direktem Vergleich. Daraus wird die in Abbildung 5-25 dargestellte Matrix abgeleitet.

	A = Offset (168)	B= Flexo (308)	C= Inkjet (1)
A = Offset (168)	-	59	24
B= Flexo (308)	43	-	20
C= Inkjet (1)	78	82	-
Summe	121	141	44
Rang	2	1	3

Abbildung 5-25: Matrix und Rangordnung für die Frage nach dem Farbeindruck beim Paarvergleich der Druckverfahren (Etikettenpapier)

Anhand der Ergebnisse aus Abbildung 5-25 wird deutlich, dass die Probanden eindeutig einen farblichen Unterschied wahrnehmen und daher anzunehmen ist, dass das Druckverfahren einen Einfluss auf die Wahrnehmung des Druckergebnisses hat. Außerdem ist den Ergebnissen zu entnehmen, dass das Digitaldruckverfahren von den Probanden bezüglich des Farbeindrucks nicht bevorzugt wird. Dies ist damit zu erklären, dass diese Proben eindeutige Farbverläufe haben und die Farbe nicht so kontrastreich ist wie bei den konventionellen Druckverfahren. Wird dieser Versuch hinsichtlich der Wahrnehmung der Oberfläche ausgewertet, ergeben sich folgende Verteilungen.

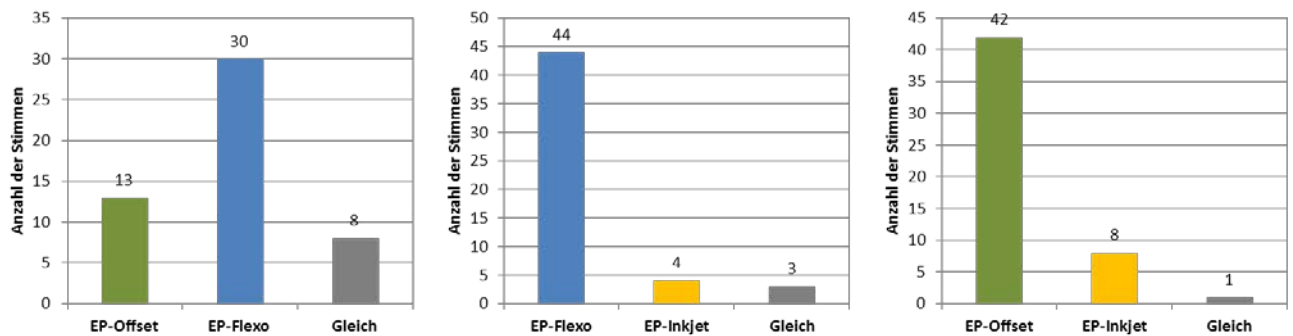


Abbildung 5-26: Auswahlhäufigkeiten bei der Frage nach der Oberfläche beim Paarvergleich der drei Druckverfahren (Etikettenpapier)

Aus den in Abbildung 5-26 dargestellten Werten ergibt sich die Matrix, wie in Abbildung 5-27 gezeigt.

	A = Offset (168)	B= Flexo (308)	C= Inkjet (1)
A = Offset (168)	-	68	17
B= Flexo (308)	34	-	11
C= Inkjet (1)	85	91	-
Summe	119	159	28
Rang	2	1	3

Abbildung 5-1: Matrix und Rangordnung für die Frage nach der Oberfläche beim Paarvergleich der Druckverfahren (Etikettenpapier)

Auch aus diesen Ergebnissen geht deutlich hervor, dass die unterschiedlichen Druckverfahren voneinander abweichende Eigenschaften haben. Aus der Rangordnung ist, wie bei der Auswertung des Farbeindrucks, abzulesen, dass das Digitaldruckverfahren von den Probanden weniger häufig gewählt wird. Dies lässt darauf schließen, dass die Qualität beim Überdrucken der Werkstoffkombination nicht der Qualität der konventionellen Druckverfahren entspricht, welche als insgesamt hochwertiger angesehen werden. Bei der Betrachtung der Oberfläche ist jedoch anzumerken, dass in einem gesonderten Schritt abzuklären ist, ob die Struktur beziehungsweise die Oberflächengüte durch die Niveausgleichsschicht oder den grafischen Überdruck entsteht und welche daher den Einfluss auf die Wahrnehmung hat. Außerdem ist zu klären inwieweit die grafische Farbschicht die darunterliegende Niveauschicht beeinflusst beziehungsweise überdeckt. Für die visuelle Abmusterung werden aufgrund der zahlreichen weiteren Einflüsse nur Proben mit einem Deckweiß verwendet, sodass die Farbe beziehungsweise der Lack des Siebdrucks keinen zusätzlichen Einfluss auf die Proben hat und diese vergleichbar sind. Die Hypothese ist dabei sowohl für den Aspekt der Farbempfindung als auch der Oberflächenbewertung widerlegt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Probanden einen Unterschied feststellen und somit wird deutlich, dass die Druckverfahren verschiedene Ergebnisse beim Überdrucken von Primärsubstrat und Sekundärschicht erzielen, welche deutlich wahrgenommen und derart beurteilt werden.

### 5.4.3 Einfluss des Niveaueingleichs

Der Einfluss des Niveaueingleichs ist eine weitere Komponente, welche durch die visuelle Abmusterung zu betrachten ist. Dabei ist damit die dritte Hypothese zu falsifizieren.

#### **Dritte Hypothese:**

*Probanden bevorzugen den Farbeindruck von Proben geringer Schichtdicke im Niveaueingleich.*

Für die Falsifizierung werden zwei Versuchsreihen durchgeführt, bei denen jeweils Proben mit einer großen durch den Niveaueingleich aufgetragenen Schichtdicke mit Proben geringer Schichtdicke verglichen werden. Dieser Vergleich wird einmal mit EAS-Etiketten und einmal mit Folien- beziehungsweise Papieretiketten durchgeführt. Diese Unterscheidung erfolgt, da das elektronische Etikett einen sehr großen Höhengsprung zum Primärschubstrat aufweist und darüber hinaus eine eigene innere Struktur (Leiterbahnen) besitzt, die nach erster Bewertung in den meisten Fällen nach dem Überdruck noch sichtbar ist. Dabei ist es jedoch nicht möglich einen Paarvergleich durchzuführen, bei dem alle Proben gegeneinander verglichen werden, da bereits aus der Vorbeurteilung der Proben deutlich hervorgeht, dass das Druckverfahren einen Einfluss auf die Druckprobenqualität hat. Daher wird hier nur ein Vergleich innerhalb der Druckverfahren durchgeführt. Die Einzelergebnisse werden dann miteinander verglichen, um daraus abzuleiten, ob eine Schichtdicke bevorzugt wird. Es werden in einem ersten Schritt die EAS-Etiketten der Versuchsnummern 1, 99, 129, 239, 156 und 308 miteinander im Paarvergleich verglichen. Der Ausschnitt des Versuchsplans (Abbildung 5-28) zeigt die weiteren Einstellungen der Druckproben.

Versuchsnummer	Primärschubstrat	Sekundärschicht	Primer- verwendung	Hersteller Primer	SiebdruckI	SiebdruckII	Hersteller Siebdruckfarbe	Flexo-Weiß	Hersteller Flexo-Weiß	Hersteller Flexoform	Geschwindigkeit in m/min	Inkjet (Tropfen- volumen)	Hersteller Gummituch	Hersteller Cyan	Flexoform Raster Cyan	Flexoform Fläche Cyan	Hersteller Cyan
99	Etikettenpapier	EAS-Etikett	ja	SunChemical	21/140	43/80	SunChemical	nein	SunChemical	Böttcher	30	30kl. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----
1	Etikettenpapier	EAS-Etikett	ja	Flint	100/40	100/40	SunChemical	nein	Flint	Flint	30	30gr. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----
239	Bilderdruckpapier	EAS-Etikett	ja	Flint	43/80	21/140	Weilburger	ja	Flint	Flint	30	-----	Contitech	Flint	-----	-----	-----
129	Etikettenpapier	EAS-Etikett	ja	SunChemical	100/40	100/40	Weilburger	nein	SunChemical	Böttcher	30	-----	Gallus	SunChemical	-----	-----	-----
308	Etikettenpapier	EAS-Etikett	ja	SunChemical	43/80	43/80	Weilburger	ja	SunChemical	Flint	30	-----	-----	-----	hart	hart	Flint
156	PP-Folie	EAS-Etikett	nein	SunChemical	21/140	100/40	Weilburger	nein	SunChemical	Böttcher	30	-----	-----	-----	weich	hart	SunChemical

Abbildung 5-2: Versuchseinstellung der Proben für den Paarvergleich, bei welchem der Niveaueingleich beim Überdruck von EAS-Etiketten bewertet wird; (Ausschnitt des Versuchsplans der Maschinenversuche)

Für die visuelle Abmusterung werden den Proben A, B und C in diesem ersten Teilversuch die folgenden Druckproben hinterlegt:

- A: Dünne Schicht (Inkjet-Druck) (Nr. 1)
- B: Dicke Schicht (Inkjet-Druck) (Nr. 99)
- C: Dünne Schicht (Offsetdruck) (Nr. 129)
- D: Dicke Schicht (Offsetdruck) (Nr. 239)
- E: Dünne Schicht (Flexodruck) (Nr. 156)
- F: Dicke Schicht (Flexodruck) (Nr. 308)

Nachfolgende Abbildung 5-29 zeigt die Beurteilung der Probanden für den Farbeindruck bei dicken und dünnen Schichten, welche durch den Niveaue Ausgleich aufgebracht sind. Auch an dieser Stelle sind die Daten aller Probanden ausgewertet.

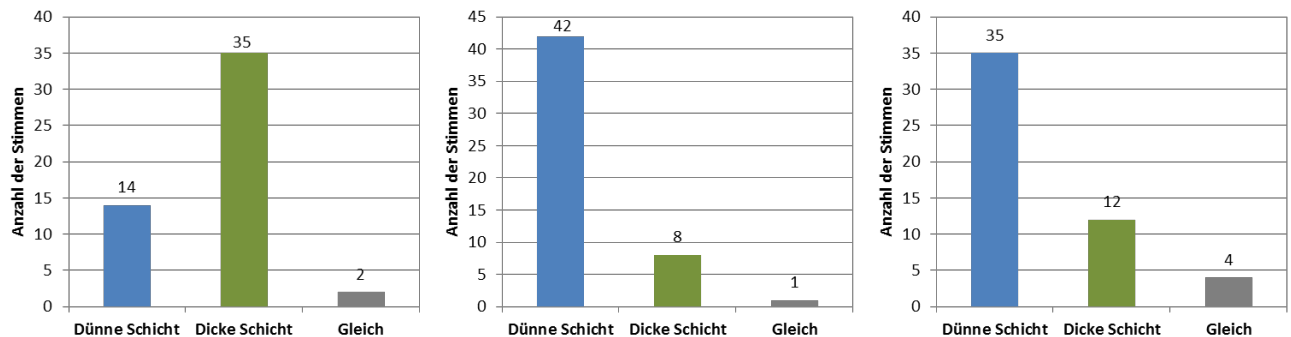


Abbildung 5-29: Auswahlhäufigkeiten bei der Frage nach dem Farbeindruck beim Paarvergleich der unterschiedlichen Schichtdicken (EAS-Etikett)

Die Auswahlhäufigkeiten zeigen, dass beim EAS-Etikett die Probanden bei den konventionellen Druckverfahren die dünne Schicht und beim Digitaldruckverfahren die dicke Schicht bevorzugen. Diese Auswahl lässt sich darauf zurückführen, dass die Proben mit einer dickeren Schicht die Inkjet-Farbe besser annehmen, wohingegen bei den konventionellen Druckverfahren bereits bei den dünnen Schichten eine gute Farbannahme vorliegt. Des Weiteren wird bei der dicken Niveaue Ausgleichsschicht die eigene Struktur des EAS-Etiketts überdeckt, sodass diese weniger deutlich wahrzunehmen ist und die Struktur keinen beziehungsweise nur einen geringen Einfluss auf den Farbeindruck hat. Bei den konventionellen Druckverfahren wird bereits hauptsächlich durch die Farbgebung das EAS-Etikett überdeckt, sodass eine dicke Schicht das Ergebnis nicht deutlich verbessert.

Die gleiche Betrachtung von dünnen zu dicken Schichten des Niveaue Ausgleichs innerhalb eines Druckverfahrens erfolgt mit den Versuchseinstellungen 132, 71, 25, 124, 8 und 295, welche als Sekundärschicht ein Folien- beziehungsweise Papieretikett haben.

Versuchsnummer	Primärsubstrat	Sekundärschicht	Primer- verwendung	Hersteller Primer	Siebdruck I	Siebdruck II	Hersteller Siebdruckfarbe	Flexo-Weiß	Hersteller Flexo-Weiß	Hersteller Flexoform	Geschwindigkeit in m/min	Inkjet (Tropfen- volumen)	Hersteller Gummituch	Hersteller Cyan	Flexoform Raster Cyan	Flexoform Fläche Cyan	Hersteller Cyan
132	Etikettenpapier	Folien-Etikett	ja	SunChemical	100/40	100/40	Weilburger	ja	SunChemical	Böttcher	30kl. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----	-----
72	PP-Folie	Folien-Etikett	ja	SunChemical	43/80	21/140	SunChemical	nein	SunChemical	Böttcher	30kl. Tropfen	-----	-----	-----	-----	-----	-----
25	Bilderdruckpapier	Papier-Etikett	nein	SunChemical	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Flint	30	-----	Gallus	Flint	-----	-----	-----
124	PP-Folie	Papier-Etikett	ja	SunChemical	43/80	43/80	SunChemical	ja	SunChemical	Flint	30	-----	Gallus	Flint	-----	-----	-----
8	PP-Folie	Folien-Etikett	ja	Flint	100/40	100/40	SunChemical	nein	SunChemical	Böttcher	30	-----	-----	-----	-----	-----	-----
295	PP-Folie	Folien-Etikett	nein	SunChemical	21/140	43/80	Weilburger	nein	Flint	Böttcher	30	-----	-----	-----	-----	-----	SunChemical

Abbildung 5-30: Versuchseinstellung der Proben für den Paarvergleich des Niveaue Ausgleichs; Zweiter Teilabschnitt mit Folien und Papieretiketten als Sekundärschicht

Für die in Abbildung 5-30 aufgeführten Druckproben werden nachfolgend Abkürzungen eingeführt. Dabei ist darauf zu verweisen, dass diese Proben Folien- beziehungsweise Papieretiketten als Sekundärschicht haben.

- A: Dünne Schicht (Inkjet-Druck) (Nr. 132)
- B: Dicke Schicht (Inkjet-Druck) (Nr. 72)
  
- C: Dünne Schicht (Offsetdruck) (Nr. 25)
- D: Dicke Schicht (Offsetdruck) (Nr. 124)
  
- E: Dünne Schicht (Flexodruck) (Nr. 8)
- F: Dicke Schicht (Flexodruck) (Nr. 295)

Abbildung 5-31 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Beurteilungen der Frage nach dem Farbeindruck bei dem Vergleich von dicken und dünnen Schichtdicken im Niveauegleich.

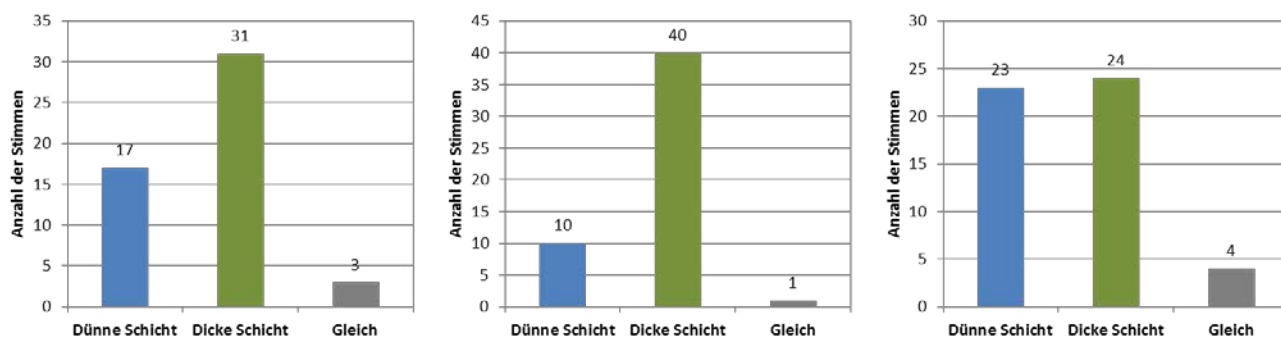


Abbildung 5-3: Auswahlhäufigkeiten bei der Frage nach dem Farbeindruck beim Paarvergleich der unterschiedlichen Schichtdicken (Folien- beziehungsweise Papieretikett)

Die Verteilung zeigt, dass, anders als beim EAS-Etikett, die dicke Schicht des Niveauegleichs den Farbeindruck verbessert und somit von den Probanden als dominierend ausgewählt wird. Einzig beim Flexodruck ist anzunehmen, dass sich der Farbeindruck nicht wesentlich unterscheidet und scheinbar unabhängig von der Schichtdicke des Niveauegleichs ist. Bei der Betrachtung der Ergebnisse wird deutlich, dass die Parameter voneinander abhängen, sodass durch eine visuelle Abmusterung keine eindeutigen Aussagen zu treffen sind, sondern nur erste Einschätzungen zu den Einflussgrößen und den möglichen Abhängigkeiten zwischen einzelnen Parametern abzuleiten sind.

Es wird jedoch deutlich, dass die Hypothese, bei der angenommen wird, dass Probanden den Farbeindruck von Proben geringer Schichtdicke im Niveauegleich bevorzugen, bei der Betrachtung von EAS-Etiketten in Kombination mit den konventionellen Druckverfahren nicht in jedem Fall belegt ist. Nur bei den konventionellen Druckverfahren ist die Hypothese anzunehmen, beim Digitaldruckverfahren hingegen ist sie widerlegt. Bei den Sekundärschichten von Folien- und Papieretikett dagegen ist die Hypothese nur für den Offsetdruck eindeutig widerlegt, bei den Druckverfahren Flexodruck und Inkjet-Druck hingegen ist keine Aussage bezüglich der Hypothese möglich.

#### 5.4.4 Einfluss der Druckgeschwindigkeit

Die Frage nach dem Einfluss der Druckgeschwindigkeit ist ein weiterer Aspekt, welcher in der visuellen Abmusterung in einem gesonderten Block an Paarvergleichen abgefragt wird. An dieser Stelle wird diese Beurteilung herangezogen, um im Rahmen der fünften Hypothese zu zeigen, dass getroffene Annahme nicht korrekt ist.

#### **Fünfte Hypothese**

*Es gibt keinen deutlichen Unterschied in der Oberflächenbewertung von Fachfremden und Fachleuten*

Um diese Hypothese zu falsifizieren werden die drei Proben der Versuchsnummer 314, 220 und 139, die jeweils innerhalb eines Druckverfahrens mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten gedruckt sind, paarweise bezüglich des Oberflächeneindrucks miteinander verglichen. Abbildung 5-32 zeigt erneut die weiteren Parametereinstellungen der Druckproben.

Versuchsnummer	Primärsubstrat	Sekundärschicht	Primer- verwendung	Hersteller Primer	SiebdruckI	SiebdruckII	Hersteller Siebdruckfarbe	Flexo-Weiß	Hersteller Flexo-Weiß	Hersteller Flexoform	Geschwindigkeit in m/min	Inkjet (Tropfen- volumen)	Hersteller Gummituch	Hersteller Cyan	Flexoform Raster Cyan	Flexoform Fläche Cyan	Hersteller Cyan
314	Bilderdruckpapier	Folien-Etikett	ja	SunChemical	43/80	43/80	Weilburger	ja	Flint	Flint	30	-----	Gallus	SunChemical	-----	-----	-----
220	PP-Folie	Folien-Etikett	ja	Flint	21/140	21/140	Weilburger	ja	Flint	Flint	45	-----	Gallus	SunChemical	-----	-----	-----
139	PP-Folie	Lackschicht	ja	Flint	100/40	100/40	Weilburger	ja	Flint	Flint	60	-----	Gallus	SunChemical	-----	-----	-----

Abbildung 5-32: Proben der Versuchseinstellungen 314, 220 und 139 für die Auswertung des Geschwindigkeitseinflusses (Ausschnitt des Versuchsplans der Maschinenversuche)

Für die in Abbildung 5-32 dargestellten Untersuchungen werden folgende im Offsetdruck erstellten Druckproben verwendet:

- A: 30 m/min (Nr. 314)
- B: 45 m/min (Nr. 220)
- C: 60 m/min (Nr. 139)

Die Ergebnisse werden dabei für Experten und fachfremde Probanden getrennt ausgewertet, um den Unterschied zwischen den Beurteilungen herauszustellen. Die Auswertung der Ergebnisse ist in Abbildung 5-33 darstellt, wobei zwischen der Häufigkeitsverteilung der Experten und der fachfremden Personen unterschieden wird.

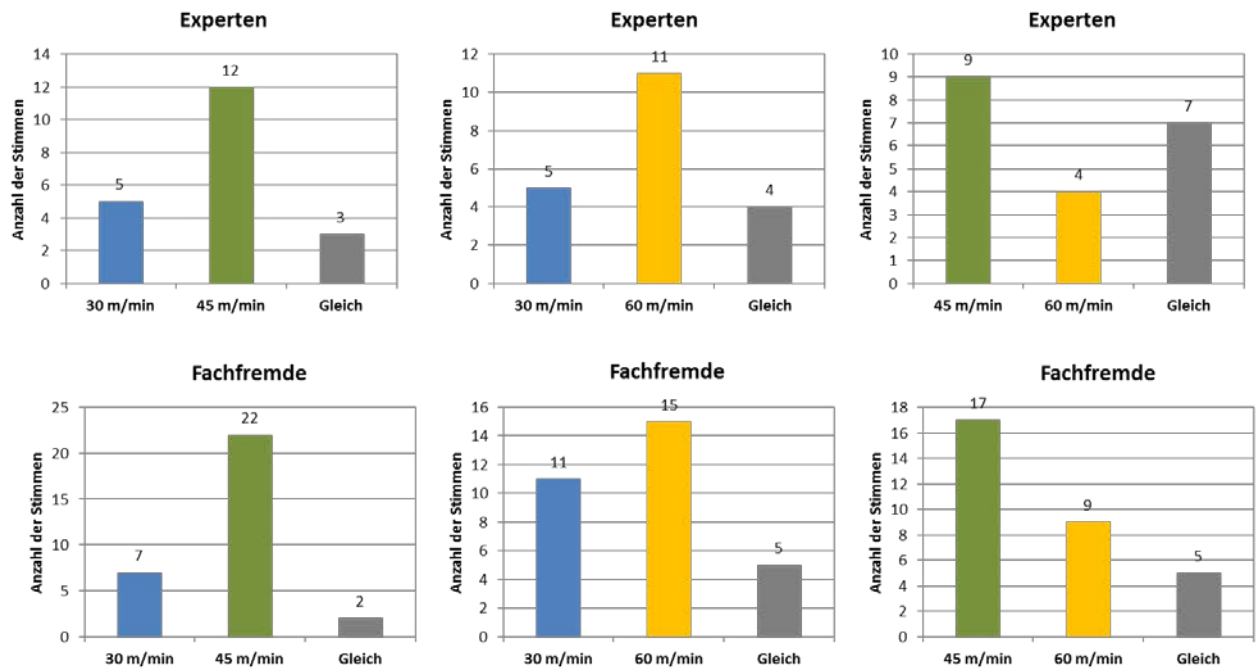


Abbildung 5-33: Auswahlhäufigkeiten bei der Frage nach der Oberfläche beim Paarvergleich der unterschiedlichen Geschwindigkeiten; oben: Verteilung der Expertenantworten; unten: Verteilung der Fachfremdenantworten

Werden für die beiden Verteilungen der Experten und Fachfremden die Matrizen aufgestellt und diese in jeweils in einer Rangordnung ausgewertet, ergeben sich die in Abbildung 5-34 dargestellten Ergebnisse.

Experten				Fachfremde			
	A = 30 m/min	B = 45 m/min	C = 60 m/min		A = 30 m/min	B = 45 m/min	C = 60 m/min
A = 30 m/min	-	27	26	A = 30 m/min	-	46	35
B = 45 m/min	13	-	15	B = 45 m/min	16	-	23
C = 60 m/min	14	25	-	C = 60 m/min	27	39	-
Summe	27	52	41	Summe	43	85	58
Rang	3	1	2	Rang	3	1	2

Abbildung 5-34: Matrizen und Rangordnung für getrennt ausgewertete Paarvergleiche der Oberflächenbewertung (Geschwindigkeitseinfluss bei Offsetdruck)

Die beiden Rangordnungen zeigen, dass die Häufigkeiten der ausgewählten Proben mit denen der Experten übereinstimmen. Damit ist die Hypothese bestätigt, da es keinen deutlichen Unterschied in den Beurteilungen der Experten und denen der fachfremden Probanden gibt. Anzumerken ist, dass diese Hypothese explizit auf die Oberflächenbewertung ausgelegt ist, da bereits bei der ersten Vorbewertung der Proben deutliche Einflüsse der Farbgebung durch diverse Parameter, auch der Geschwindigkeit, gegeben ist und diese einer getrennten Bewertung damit nicht zugänglich ist.

Die Hypothese ist für diesen Betrachtungsfall widerlegt, da keine deutlichen Unterschiede bei den Bewertungen durch Experten und Fachfremde zu erkennen sind. Für die weiteren

Forschungsfragen, zum Beispiel dem Bedruckstoffeinfluss oder dem Einfluss des Niveausausgleichs, ist es notwendig ebenfalls eine getrennte Auswertung durchzuführen, um die Hypothese für alle Forschungsfragen zu falsifizieren.

#### 5.4.5 Profilierung der Druckqualität

Bei den bisher dargestellten Probandenversuchen wurden 10 % aller erzeugten Druckmuster untersucht. Für die Profilierung der Druckqualität wurde eine weitere visuelle Abmusterung über alle 330 Versuchseinstellungen mit drei Probanden durchgeführt. Hierfür waren die gewählten Abmusterungsmethodiken Paarvergleich und Rangfolge unpraktikabel, weil der Umfang der zu untersuchenden Proben schlichtweg zu groß war.

Für die zweite visuelle Abmusterung wurde sich bei den Abmusterungsversuchen aller Versuchseinstellungen für eine Skalenbewertung in sukzessiven Intervallen (Helbig, 1993) entschieden. Die Skala wurde aus psychologischen Gründen auf acht Stufen angelegt, um u.a. Assoziationen mit der schulischen Notengebung auszuschließen. Außerdem wurde eine gerade Anzahl an Stufen gewählt um eine Häufigkeitsverteilung zum Mittelpunkt hin zu minimieren sowie ausreichend Differenzierungsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Bewertungsstufen zu bieten. Auch wurde die Bemusterungsfläche vergrößert, weil diese für Aussagen über die Kantenwahrnehmung, den Glanz und eine noch differenziertere Aussage über das verwendete Druckverfahren angestrebt wurde.

So wurde die quadratische Abmusterungsmaske von ein Quadratzentimeter L-förmig vergrößert. Die Abmusterungsmaske für die zweite Probandenstudie wurde in L-Form gestaltet und hatte eine Breite von einem Zentimeter und jeweils eine äußere Kantenlänge von vier Zentimetern (siehe Abbildung 5-35).

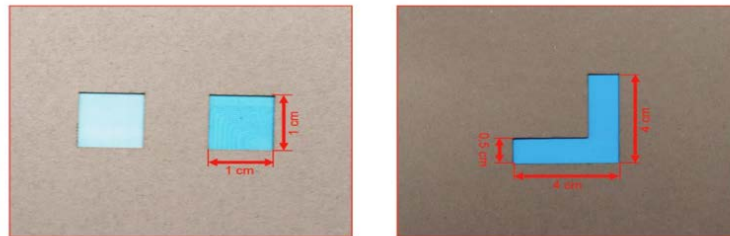


Abbildung 5-35: Gegenüberstellung der Abmusterungsmasken mit Bemaßung

Die L-Maske wurde auf den Kanten der Sekundärschicht so positioniert, dass auch eine bessere Aussage über die Kante sowohl in Längs- als auch in Querrichtung möglich war. In Anlehnung an die Messtechnik wurde die Fragestellung so formuliert, dass explizit alle Versuchseinstellungen und darauf angeordnete Flächendeckungsgrade (40 %- und 80 %-Raster und die 100 %-Vollfläche) einzeln bewertet wurden. Bewertet wurden von den Probanden die Homogenität, Kantenwahrnehmung und die Glanzintensität, um diese u. a. mit der Farbdichte, der Tonwertzunahme und dem Farbabstand (Delta E) sowie dem Glanzgrad vergleichen zu können.

Die Abmusterung erfolgte ebenfalls in einem neutralen Untersuchungsumfeld (Schwarzer Raum) und unter Benutzung von Normlicht D65 sowie mit vorheriger Farbsichtigkeitsprüfung der



Probanden. Die Probanden, die alle Mustereinstellungen nach dieser Methodik bewerteten, waren drei männliche Probanden (2 Experten, 1 Laie, Durchschnittsalter 35 Jahre). Aufgrund des zeitlichen Aufwandes und fehlender Ressourcen konnten keine weiteren Probanden für weitere Abmusterungen gewonnen werden. Nach dem Zusammentragen der Bewertungen wurden aus den Bewertungsergebnissen der arithmetische Mittelwert, Mediane und die Standardabweichung ermittelt. Der Median stellte bei den Auswertungen ein Kontrollmaß dar, weil mit Ergebnissen aus einer sehr kleinen Probandengruppe gearbeitet wurde. In die Datentabelle wurden letztendlich der Median und Mittelwert übernommen (siehe Tabelle 5-5).

Tabelle 5-5 Outputparameter der zweiten Probandenstudie

<b>Ausgabegrößen aus Probandenversuchen</b>	<b>Erklärung</b>
Mittelwert Homogenität 40 %-Rasterfläche	Bewertung der Homogenität der Muster der 40 %-Rasterfläche durch Probanden
Median Homogenität 40 %-Rasterfläche	Bewertung der Homogenität der Muster der 40 %-Rasterfläche durch Probanden
Mittelwert Homogenität 80 %-Rasterfläche	Bewertung der Homogenität der Muster der 80 %-Rasterfläche durch Probanden
Median Homogenität 80 %-Rasterfläche	Bewertung der Homogenität der Muster der 80 %-Rasterfläche durch Probanden
Mittelwert Homogenität 100 %-Vollfläche	Bewertung der Homogenität der Muster der 100 %-Vollfläche durch Probanden
Median Homogenität 100 %-Vollfläche	Bewertung der Homogenität der Muster der 100 %-Vollfläche durch Probanden
Mittelwert Glanzintensität 40 %-Rasterfläche	Bewertung der Glanzintensität der Muster der 40 %-Rasterfläche durch Probanden
Median Glanzintensität 40 %-Rasterfläche	Bewertung der Glanzintensität der Muster der 40 %-Rasterfläche durch Probanden
Mittelwert Glanzintensität 80 %-Rasterfläche	Bewertung der Glanzintensität der Muster der 80 %-Rasterfläche durch Probanden
Median Glanzintensität 80 %-Rasterfläche	Bewertung der Glanzintensität der Muster der 80 %-Rasterfläche durch Probanden
Mittelwert Glanzintensität 100 %-Vollfläche	Bewertung der Glanzintensität der Muster der 100 %-Vollfläche durch Probanden
Median Glanzintensität 100 %-Vollfläche	Bewertung der Glanzintensität der Muster der 100 %-Vollfläche durch Probanden
Mittelwert Kantenwahrnehmung 40 %-Rasterfläche	Bewertung der Kantenwahrnehmung der Muster der 40 %-Rasterfläche durch Probanden

Median Kantenwahrnehmung 40 %-Rasterfläche	Bewertung der Kantenwahrnehmung der Muster der 40 %-Rasterfläche durch Probanden
Mittelwert Kantenwahrnehmung 80 %-Rasterfläche	Bewertung der Kantenwahrnehmung der Muster der 80 %-Rasterfläche durch Probanden
Median Kantenwahrnehmung 80 %-Rasterfläche	Bewertung der Kantenwahrnehmung der Muster der 80 %-Rasterfläche durch Probanden
Mittelwert Kantenwahrnehmung 100 %-Vollfläche	Bewertung der Kantenwahrnehmung der Muster der 100 %-Vollfläche durch Probanden
Median Kantenwahrnehmung 100 %-Vollfläche	Bewertung der Kantenwahrnehmung der Muster der 100 %-Vollfläche durch Probanden

Die Ergebnisse der Probandenstudie werden in die gemeinsame Datenbank aufgenommen und als Outputparameter in der mathematischen Modellierung berücksichtigt.

## 5.5 Ausblick

Die Auswertung der visuellen Abmusterung ist im Rahmen dieser Arbeit exemplarisch durchgeführt. Eine vollständige Auswertung aller Einflussgrößen und bezüglich der einzelnen Merkmalskriterien ist je nach weiterem Vorgehen des Projektes noch auszuführen. Die dafür notwendigen Daten liegen bereits in digitaler Form vor und sind nach den einzelnen Gesichtspunkten untergliedert. Zusätzlich ist hinterlegt welche Daten von Experten und fachfremden Probanden sind. Zusätzlich zu der getrennten Auswertung der Probanden besteht die Möglichkeit weitere Faktoren zu untersuchen:

- Alterseinflüsse
- Einfluss von Farbsichtigkeitsfehlern
- Unterschied zwischen der Beurteilung von Probanden mit/ohne Sehhilfe

Des Weiteren ist es durch die zusätzlich erfassten Daten innerhalb der visuellen Abmusterung möglich, den Einfluss der Kante zwischen Primärsubstrat und Sekundärschicht auf die Farbwahrnehmung und die Oberflächenbewertung sowie die Homogenität zu untersuchen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Daten nicht als Ergebnisse von Paarvergleichen vorliegen, sondern das Resultat aus direkten Randordnungsversuchen sind. Weiterhin ist in diesem Zusammenhang miteinzubeziehen, dass keine vorgegebenen Kriterien zur Bewertung hinterlegt sind, sondern die Probanden die Proben entlang einer Skala mit definierten Rändern angeordnet haben. Um diese Daten auszuwerten, sind gesonderte Auswerteschemata anzuwenden und festzulegen wie eine Einteilung ohne zuvor festgelegte Kriterien vorzunehmen ist. Döring (2016) stellt dazu einige Methoden zur Auswertung einer direkten Rangordnung vor und erläutert das Vorgehen und die Randbedingungen sowie die Möglichkeit der Ergebnisanalyse.

Eine weitere Möglichkeit zur Auswertung der gesammelten Daten ist die Häufigkeiten in relative Häufigkeiten zu transformieren, sodass normierte Ergebnisse der Auswertung und der

anschließenden Analyse zugrunde liegen. Der Vorteil liegt dabei darin, dass die Daten ein informationsreicheres Niveau haben und daher für allgemeine Aussagen zugänglicher sind.

Darüber hinaus ist es denkbar die gesammelten Daten derart aufzubereiten, dass diese mit den Daten für einen Vergleich einer weiteren Abmusterung, welche zum Beispiel einen größeren Umfang an Druckproben beurteilt, zu nutzen sind. Zu berücksichtigen sind in diesem Zusammenhang die Abmusterungsbedingungen, die aufeinander abzustimmen sind. Dennoch stellt ein Vergleich die Möglichkeit dar, weitere Einflüsse, welche bereits im Rahmen dieser Abmusterung erfasst sind, zu belegen oder bezüglich der Parameter, die auf die Wahrnehmung einen Einfluss haben, zu konkretisieren.

## 6 Modellbildung

Für die vorliegende Problemstellung kann aufgrund der vorhandenen Komplexität kein physikalisches Modell erstellt werden. Daher werden statistische Verfahren (aus dem Umfeld Big Data) eingesetzt und daraus mathematische Modelle für Zusammenhänge ermittelt.

### 6.2 Vorgehensweise und Software

Nachdem alle Auswertungen (Probandenstudie zu allen Versuchseinstellungen und messtechnische Auswertung) durchgeführt waren, wurden alle Daten (Inputdaten, Störgrößen, Outputdaten) für die weitere Auswertung in einer großen Datentabelle zusammengefasst. Mit Hilfe dieser Datentabelle sollen die Korrelationen zwischen den Parametern bestimmt werden. Die Datentabelle ist auf dem Datenträger in digitaler Form vorhanden.

Die Inputdaten stellen die zu Anfang in CORNERSTONE® geplanten Parameter und dessen Ebenen oder Stufen dar. Zusätzlich wurden während der Druckversuche auch Störgrößen erfasst, weil auch diese einen Einfluss auf das Ergebnis haben können.

Tabelle 6-1 Störgrößen mit Erklärungen

Störgrößen	Merkmalstyp	Erklärung
Umgebungstemperatur bei Niveaueausgleich	quantitativ	Messung mit Thermometer in Grad Celsius
Luftfeuchtigkeit bei Niveaueausgleich	quantitativ	Messung der relativen Luftfeuchtigkeit mit Hygrometer in Prozent
Umgebungstemperatur bei grafischem Überdruck	quantitativ	Messung mit Thermometer in Grad Celsius
Luftfeuchtigkeit bei grafischem Überdruck	quantitativ	Messung der relativen Luftfeuchtigkeit mit Hygrometer in Prozent

In der obenstehenden Tabelle 6-1 sind alle während der Versuchsdurchführung aufgenommenen Daten visualisiert. Bei den Störgrößen mussten die aufgenommenen Werte

approximiert werden, um Auswertungen durchführen zu können. Sie wiesen eine zu hohe Variabilität mit zu vielen Freiheitsgraden auf. Es wurden Stufen definiert, um die Freiheitsgrade einzuschränken, bei der Temperatur wurde eine Skalierung von 2 °C-Stufen und bei der Luftfeuchtigkeit ein Stufenwert von 3 % festgelegt. Dadurch war es möglich die Freiheitsgrade bei der Umgebungstemperatur auf 3 bis 4 Freiheitsgrade und bei der Luftfeuchtigkeit auf 7 bis 8 Freiheitsgrade eingeschränkt. Zu den jeweiligen Stufenwerten fand ein Auf- oder Abrunden der Messwerte statt.

Aufgrund der Datenmenge und Qualität der Daten wurde zur Ermittlung von Korrelation die Programmiersprache „R“ benutzt. Die Programmiersprache „R“ ist eine frei zugängliche Programmiersprache, bei der durch zahlreiche Entwickler schon ein großer Umfang an erstellten und zugänglichen Algorithmen existiert, die für die Auswertung genutzt werden können. Hierfür musste eine entsprechende Analyse von verwendbaren Algorithmen erfolgen. Für die Datenanalyse müssen die Daten aufbereitet werden. Dazu werden sie nach mathematischen Algorithmen sortiert, kategorisiert und anschließend korreliert. Es wird eine multivariate Datenanalyse angewendet, um die Daten auf Signifikanzen, Varianzen und Effektstärken zu untersuchen.

Das Programm R beziehungsweise RStudio ist auf diesen Web-Seiten verfügbar:

R	<a href="https://www.r-project.org/">https://www.r-project.org/</a>
RStudio	<a href="http://www.rstudio.com/ide/download/">http://www.rstudio.com/ide/download/</a>

## 6.3 Analyseverfahren

### 6.3.1 Korrelationskoeffizient

Mit einer Korrelationsanalyse ist es möglich den Grad der Beziehung zwischen den Input-, Stör- und den Output-Parametern zu quantifizieren. Ziel dieser Analyseform ist es, den Einfluss von Input-Parametern und Störgrößen auf Output-Parameter herauszufinden. Es kann so ein Bestimmtheitsmaß von Druckparametern auf das spätere Druckergebnis ermittelt werden.

Hierbei werden zwei Arten von Korrelationen „lineare und nichtlineare Korrelationen“ unterschieden. Im Projekt „Grenzen der Überdruckbarkeit“ wurde die statistische Versuchsplanung mit CORNERSTONE® unter der Annahme einer linearen Korrelation der Parameter durchgeführt. Gründe hierfür sind die hohe Anzahl an zu betrachtenden Parametern und begrenzte finanzielle sowie zeitliche Ressourcen. Bei einem Ansatz einer nichtlinearen Parameterbeziehung werden andere Voraussetzungen definiert, die u. a. den Versuchsumfang stark erhöhen.

Für eine Korrelation von Parametern können mehrere mathematische Verfahren benutzt werden, diese sind: die Pearson-, Spearman- oder Kendall-Korrelation. Nach Vergleich der unterschiedlichen Verfahren sind die Pearson- und Spearman-Korrelation für die Auswertungen die praktikabelsten Verfahren, weil nur eine geringe Datentransformation durchgeführt werden muss. Das Korrelationsverfahren nach Pearson stellt das Standardverfahren dar, jedoch müssen hierzu drei Voraussetzungen erfüllt sein: Die Daten müssen einen linearen

Zusammenhang aufweisen, mindestens intervallskaliert und normalverteilt sein. [Runk15] Bei der Spearman-Korrelation wird lediglich eine mindestens ordinale Skalierung vorausgesetzt. Bevor diese Verfahren angewendet werden können, werden die Outputparameter auf eine Normalverteilung geprüft. Eine mindestens ordinale Skalierung der Outputgrößen ist gegeben. Ob eine Normalverteilung der Daten vorliegt wird einerseits mittels „R-Studio“ durch den Shapiro-Wilk-Test und andererseits durch die Begutachtung der Histogramme und Q-Q-Plot festgestellt. Beim Shapiro-Wilk-Test wird die Varianz der Daten auf zwei Arten geschätzt. Die erste Schätzung erfolgt durch eine Regression im Q-Q-Plot und die zweite Schätzung durch die Stichprobenvarianz. Die beiden Schätzungen sollten für eine Normalverteilung nahe beieinanderliegen und damit den Quotienten von 1 ergeben. Wie in der untenstehenden Formel zu sehen ist, wird der Schätzwert des Regressionswertes des Q-Q-Plots durch die Varianz des Stichprobenumfanges geteilt. Wenn der ermittelte W-Wert (kritischer Wert) kleiner als  $W_\alpha$  ist, ist die Hypothese auf eine Normalverteilung zu verwerfen. Der kritische Wert ist in Tabellen nachzulesen und liegt bei einem Stichprobenumfang von  $n = 50$  bei 0,947. [ShWi65]

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i X_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^n (X_{(i)} - \bar{X})^2} \quad \left(\approx \frac{\hat{\sigma}^2}{S^2}\right) \quad (0, w_\alpha) \rightarrow W < w_\alpha \Rightarrow H_0$$

Damit:  $w$  ist der Wert der Teststatistik,  $w_\alpha$  ist ein kritischer Grenzwert,  $a_i$  sind Gewichtungskoeffizienten,  $X_{(i)}$  sind die Einzelwerte aus der getesteten Stichprobe,  $\bar{X}$  ist der arithmetische Mittelwert der Stichprobe,  $\sigma^2$  ist die geschätzte Varianz der Grundgesamtheit,  $s^2$  ist die korrigierte Varianz.

In „R-Studio“ wird dieser Test mit dem folgenden Code realisiert:

Tabelle 6-2 Code und Ergebnistabelle des Shapiro-Wilk-Testes zur optischen Farbdichte

<pre>a1&lt;-shapiro.test(df\$Differenz.der.optische.Dichte)</pre>
<p>Shapiro-Wilk normality test</p> <p>data: df\$Differenz.der.optische.Dichte</p> <p>W = 0.92621, p-value = 1.07e-11</p>

Nach Ermittlung der Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Testes (Tabelle 6-2) wurde festgestellt, dass kein Outputparameter eine Normalverteilung aufweist. Die Beurteilung der Histogramme und Q-Q-Plots bestätigte die ermittelten Ergebnisse, dass manche Outputparameter zwar eine einer Normalverteilung ähnliche Struktur aufweisen, jedoch nicht normalverteilt sind. In der nachfolgenden Abbildung 6-1 sind zum Verständnis hierzu zwei Histogramme dargestellt. Im Histogramm werden auf der Y-Achse die Häufigkeiten der vorhandenen Werte aufgezeigt und auf der X-Achse sind die Verteilungen ersichtlich. Das linke Histogramm zeigt die

Tonwertdifferenzen zwischen zwei unterschiedlichen Niveaus des EAS-Etiketts, diese werden von einer Referenzwert (hier 40 % Flächendeckung) ermittelt. Im rechten Diagramm sind die Farbabstände (Delta E-Wert) zweier unterschiedlicher Niveaus eines Volltons dargestellt. Bei der Betrachtung der Histogramme wird ersichtlich, dass diese nur annähernd normalverteilt sind.

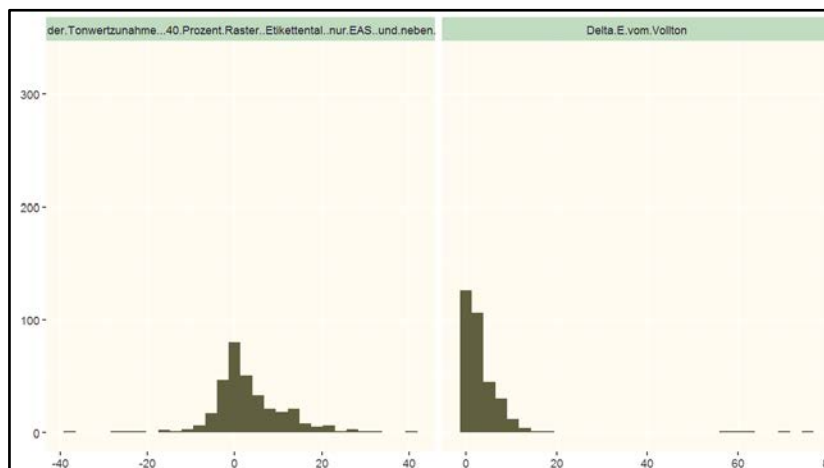


Abbildung 6-1: Histogrammbeispiele zur Beurteilung der Datenverteilung

Resultierend aus den Ermittlungen der Datenverteilung wurde sich deshalb letztendlich dazu entschieden das Korrelationsverfahren nach Spearman anzuwenden. Diese Art der Korrelationen wird auch als Rangkorrelationen bezeichnet. Hier werden die Ränge der Variablen und daraus die Rangkorrelationskoeffizienten berechnet. Die Variablen werden durch die Rangzahlen nach der Größe geordnet. Zum Verständnis, wie sich der Korrelationskoeffizient berechnet und weil der Spearman-Korrelationskoeffizient eine Modifikation der Pearson-Korrelation darstellt, soll anhand der nachstehenden Formeln schrittweise die Berechnung nachvollziehbar sein. Bei der Korrelation von Parametern werden Kovarianz und Varianz berechnet. Die Varianz stellt dabei die Abweichung innerhalb einer Gruppe von Parametern dar und die Kovarianz Abweichungen zwischen verschiedenen Parametergruppen. Die Kovarianz  $C_{ij}$  kann mithilfe der folgenden Formel errechnet werden:

$$C_{ij} = \frac{1}{n-1} \left( \sum_k^n (x_k^i - \bar{x}^i)(x_k^j - \bar{x}^j) \right)$$

$x_k^i$  und  $x_k^j$  stellen zwei Parameter (Variablen) dar. Wenn die Kovarianz zwischen  $x_k^i$  und  $x_k^j$  einen großen positiven Wert annimmt, gibt es starke Abhängigkeit zwischen diesen Variablen. Nimmt die Kovarianz den Null-Wert an, gibt es keinen Zusammenhang zwischen den Variablen. Der Pearson-Korrelationskoeffizient stellt die standardisierte Kovarianz dar. Sie wird berechnet, indem die Kovarianz durch das Produkt der Standardabweichungen zwischen den Variablen  $x_k^i$  und  $x_k^j$  geteilt wird. [Runk15]

### 1. Pearson-Korrelationskoeffizient:

$$S_{ij} = \frac{C_{ij}}{S^{(i)} S^{(j)}} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k^{(i)} - \bar{x}_k^{(i)})(x_k^{(j)} - \bar{x}_k^{(j)})}{\sqrt{\left(\sum_{k=1}^n (x_k^{(i)} - \bar{x}_k^{(i)})^2\right)\left(\sum_{k=1}^n (x_k^{(j)} - \bar{x}_k^{(j)})^2\right)}}$$

Die Standardabweichungen sind nicht nur die Quadratwurzeln der Varianzen. Deshalb kann man vereinfachend schreiben:

$$S_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sqrt{C_{ii} C_{jj}}}$$

Die Korrelationskoeffizienten  $S_{ij} \in [-1, 1]$ . Die Korrelation zwischen  $x_k^i$  und  $x_k^j$  ist stark positiv, wenn  $S_{ij} \approx +1$  und für  $S_{ij} \approx -1$  hat man starke negative Korrelation zwischen den Parametern.

Die Korrelationsmatrix wird in R-Studio wie folgt berechnet:

```

1. require(Matrix)
2. library(ggplot2)
3. library(reshape2)
4. library(gplots)
5. library(corrplot)
6. library("psych")

7. COR <- cor(as.matrix(InkjetDaten1[,-c(1,24:59)]), as.matrix(InkjetDaten1[,c(24:54)]), method = "pearson")

8. str(InkjetDaten1)
9. str(COR)
10. # die Kovarianz zwischen den Input-Parametern und den Output-Parametern
11. Varianz<-var(as.matrix(InkjetDaten1[,-c(1,24:59)]), as.matrix(InkjetDaten1[,c(24:54)]))
12. Kovarianz<-cov(as.matrix(InkjetDaten1[,-c(1,24:59)]), as.matrix(InkjetDaten1[,c(24:54)]))
13. library(xlsx)
14. write.csv(Varianz, "C:/Users/ssdah/Documents/Korrilationen/Varianz.csv")
15. write.csv(Kovarianz, "C:/Users/ssdah/Documents/Korrilationen/Kovarianz.csv")
16. corrplot(COR, method="square")
17. corrplot(COR, method="number")

18. bmp(filename = "./Inkjet_gr_Tropfen_pearson.jpg", width = 3000,height = 3000,res=150)
19. corrplot(COR, method="number")
20. dev.off()
21. # Histogramm matrix with p-values
22. library(reshape2)
23. library(ggplot2)
24. d <- melt(InkjetDaten[,])
25. bmp(filename = "./Inkjet_gr_Tropfen_Histogramm.jpg",width = 5000,height = 5000,res=150)
26. ggplot(d,aes(x = value)) + facet_wrap(~variable,scales = "free_x") + geom_histogram()
27. dev.off()

```

Abbildung 6-2: Quelltext zur Berechnung und Erstellung der Korrelationsmatrix mit R-Studio

Die folgende Aufstellung zeigt die Vorgehensweise bei der Berechnung der Korrelationsmatrix in R-Studio:

1. Die Zeilen von 1 bis 6 rufen die notwendigen Bibliotheken.
2. In der Zeile 7 werden die Daten in zwei Matrizen geteilt (Input- und Output-Matrix). Danach werden diese zwei Matrizen anhand der Pearson-Methode miteinander korreliert.
3. In den Zeilen 8 und 9 werden die Daten und die Korrelationsmatrix gezeigt.
4. In den Zeilen 11 und 12 werden die Daten in zwei Matrizen geteilt (Input- und Output-Matrix). Danach werden die Varianz- und die Kovarianz-Matrizen berechnet.
5. In den Zeilen von 14 bis 20 werden die Korrelationen, die Kovarianz- und die Varianz-Matrizen in Output-Dateien gespeichert.
6. In den Zeilen 22 bis 27 werden die Histogramme in Output-Dateien gespeichert.

## 2. Spearman-Korrelation:

Dieser Art der Korrelationen wird auch als Rangkorrelationen bezeichnet. Hier werden die

Ränge der Variablen  $x_k^i$  und  $x_k^j$  ermittelt und daraus die Rangkorrelationskoeffizienten

berechnet. Die Variablen der Parameter  $x_k^i$  und  $x_k^j$  werden mit durch die Rangzahlen nach der Größe geordnet.

Die Spearman-Korrelation ist unter folgenden Bedingungen möglich:

1. Die  $x_k^i$  -Werte müssen mindestens ordinalskaliert sein, so dass  $x_{k-1}^i < x_k^i < x_{k+1}^i$  und die Rangzahlen müssen natürliche Zahlen sein.
2. Sind die Werte nicht alle unterschiedlich, sodass bei  $x_1^i < x_2^i < x_3^i = x_4^i = x_5^i < x_6^i = x_7^i$  sortieren nach Rängen der dritte bis fünfte Wert den Rangplatz 4 und die 6te und 7te Werte den Rang 6,5 annimmt. Dann ist die Reihe der Rangzahlen 1 2 4 4 4 6,5 6,5. Die Rangkorrelationskoeffizienten werden mit der folgenden Formel berechnet.  
[Chok10]

$$R_s = \frac{\sum_{k=1}^n ((rang(x_k^{(i)}) - \overline{rang(x_k^{(i)})})(rang(x_k^{(j)}) - \overline{rang(x_k^{(j)})}))}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (rang(x_k^{(i)}) - \overline{rang(x_k^{(i)})})^2 \sum_{k=1}^n (rang(x_k^{(j)}) - \overline{rang(x_k^{(j)})})^2}}$$

Der Rangkorrelationskoeffizient nimmt wie beim Pearson-Korrelationskoeffizient die Werte zwischen [-1,1] an.

## 3. Kendall-Korrelation:

Diese Korrelation ist, wie die Spearman-Korrelation, ohne die Voraussetzung gleicher Rangintervalle anwendbar.



Die Kendall-Korrelationskoeffizienten hängen hier von der Anzahl der Inversionen der Werte eines Parameters ab. Hier werden die Werte in einem Parameter in Ränge konvertiert, danach werden sie in die folgende Formel eingesetzt. [Chok10]

$$\tau = \frac{\sum_i^n i = 1 \sum_i^n j = 1 \operatorname{sgn}(x_i - x_j) \operatorname{sgn}(y_i - y_j)}{n(n-1)}$$

Wobei

$$\operatorname{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases}; \quad \operatorname{sgn}(y_i - y_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } (y_i - y_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (y_i - y_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (y_i - y_j) < 0 \end{cases}$$

### 6.3.2 Varianzanalyse (ANOVA)

Eine Varianzanalyse (ANOVA – analysis of variance) ist ein statistisches Verfahren zur Bewertung von Mittelwertunterschieden zwischen den sogenannten Parametern (oder Faktoren). Mit dieser können so Einflüsse einzelner Faktoren aufgezeigt und Signifikanzen ermittelt werden. Bevor hierzu Berechnungen angestellt werden, wird vorab eine Hypothese (Nullhypothese) formuliert, die durch die Berechnungen und einen entsprechenden Mittelwertunterschied entweder bestätigt oder verworfen wird. Im Allgemeinen werden die Thesen so formuliert, dass diese verworfen werden sollen, wenn eine Varianz der Mittelwerte nachweisbar ist. Im gewählten Beispiel soll nachgewiesen werden, ob die Druckverfahren (Flexodruck, Offsetdruck und Inkjetdruck) einen Einfluss beim Überdrucken von Etiketten darstellen. Die Null-Hypothese lautet daher: „Die Druckverfahren haben keinen Einfluss auf die zu erzielende optische Dichte der Druckmuster.“ Der Einfluss der Faktoren wird, wie schon erwähnt, durch die Berechnung von Mittelwertunterschieden realisiert. Hierzu werden im konkreten Beispiel die Messwerte (Differenzen der optischen Dichte) von Druckmustern miteinander verglichen, während einzelne Faktoren im Druckprozess, hier Druckverfahren, variiert worden sind.

Tabelle 6-3: Tabelle zur Erklärung von Datenqualitäten (Parametermerkmalen) und Ebenen (Parameterstufen)

Parameter (Faktoren)	Parametermerkmal	Ebenen (Parameterstufen)
Druckverfahren	qualitativ/nominal	Inkjet; Offset; Flexo
Siebdruckfarbendichte	quantitativ/numerisch	1,06 g/m <sup>3</sup> ; 1,63 g/m <sup>3</sup>
Primerverwendung	qualitativ/nominal	ja; nein

Dieses Verfahren kann sowohl für die Einflussermittlung von nominalen oder qualitativen Parametern als auch numerischen oder quantitativen Parametern benutzt werden (siehe obere Tabelle 6-3). Die Einflussparameter nennt man Parameter (Faktoren), die verschiedenen Werte

der Einflussparameter nennt man Ebenen oder Parameterstufen. Im gewählten Beispiel sind es zwei Parameter und drei Parameterstufen (siehe untere Tabelle 6-4).

Tabelle 6-4: Input- und Outputparametern für Varianzanalysebeispiel

Differenz der optische Dichte	Druckverfahren
0.05	Inkjet
-0.05	Inkjet
-0.19	Offset
0.01	Flexo
-0.02	Flexo
0.04	Inkjet
0.52	Offset

Mit dem F-Test, als Varianzanalyseverfahren (ANOVA), wird die Gesamtvariabilität zerlegt in die Variabilität zwischen den Gruppen (Druckverfahren) und die Variabilität innerhalb der Gruppen (Residuals oder Freiheitsgrade). Im Allgemeinen wird hierzu von der gegebenen Verteilung die Varianz zwischen den Parameterstufen und innerhalb der Parameterstufen berechnet. Im konkreten Beispiel sind das die drei Druckverfahren Flexodruck, Inkjetdruck und Offsetdruck. Die Berechnung der Signifikanz einzelner Parameter wird wie folgt durchgeführt: Hierzu werden zuerst die Differenzen von Parametern innerhalb einer Versuchseinstellung berechnet. Der Einzelmesswert wird vom Mittelwert der Versuchseinstellung abgezogen und anschließend quadriert. Das geschieht mit allen Einzelwerten innerhalb einer Versuchseinstellung, der erzeugte Wert ist die Quadratsumme innerhalb einer Versuchseinstellung (interne Quadratsumme). Die gleiche Rechenprozedur geschieht auch zwischen den einzelnen Versuchseinstellungen; dazu wird der Mittelwert der Versuchseinstellungen jeweils vom Mittelwert aller Versuchseinstellungen abgezogen. Der errechnete Wert wird als Quadratsumme zwischen den Versuchseinstellungen bezeichnet (externe Quadratsumme). Danach wird die ermittelte Quadratsumme aller Versuchseinstellungen noch einmal durch die Freiheitsgrade der möglichen Einstellung minus einen Freiheitsgrad geteilt. Bei der Quadratsumme in einer Versuchseinstellung wird der errechnete Wert durch die möglichen Parameterstufen geteilt. Nun erhält man die mittleren Quadratsummen innerhalb einer Versuchseinstellung und die mittlere Quadratsumme über alle Versuchseinstellungen. Im letzten Schritt wird die mittlere Quadratsumme aller Versuchseinstellungen durch die mittlere Quadratsumme in einer Versuchseinstellung geteilt, so erhält man den F-Wert. Im nachfolgenden Beispiel sind die beschriebenen Rechenprozeduren anhand unseres Beispiels der optischen Dichte bei Variierung der Druckverfahren nochmals detailliert dargelegt.

**Beispiel:**

ANOVA–Formeln nach Rößler/Ungerer [RöUnoD]:

y: in diesem Beispiel die Differenz der optischen Dichte.

X: Faktor der Druckverfahren (Inkjet, Flexo, Offset)

$y_{inkjet}$ : Die Summe aller optischen Dichten für Inkjet und  $\overline{y_{inkjet}}$  ist der Mittelwert davon

$y_{offset}$ : Die Summe aller optischen Dichten für Offset und  $\overline{y_{offset}}$  ist der Mittelwert davon

$y_{flexo}$ : Die Summe aller optischen Dichten für Flexo und  $\overline{y_{flexo}}$  ist der Mittelwert davon

$\overline{y..}$ : Mittelwert aller optischen Dichten

$SQE = (\overline{y_{inkjet}} - \overline{y..})^2 + (\overline{y_{offset}} - \overline{y..})^2 + (\overline{y_{flexo}} - \overline{y..})^2$  ist die externe Quadratsumme

$SQR = \sum_i^n ((y_{inkjet}^i - \overline{y_{inkjet}})^2 + (y_{offset}^i - \overline{y_{offset}})^2 + (y_{flexo}^i - \overline{y_{flexo}})^2)$  ist die interne Quadratsumme

$SQT = \sum_i^n ((y_{inkjet}^i - \overline{y..})^2 + (y_{offset}^i - \overline{y..})^2 + (y_{flexo}^i - \overline{y..})^2)$  ist die gesamte Quadratsumme

$MQE = \frac{SQE}{3-1}$  ist mittlere externe Quadratsumme,  $MQR = \frac{SQR}{n-3}$  ist mittlere interne

Quadratsumme,  $MQT = \frac{SQT}{n-1}$  ist die mittlere gesamte Quadratsumme.

$F = \frac{MQE}{MQR}$  ist der F-Wert für den ANOVA Test.

$F = \frac{MQE}{MQR}$  ist der F-Wert für den ANOVA-Test.

Die Varianzanalyse wird in R mit der `aov()`-Funktion berechnet.

```
aovfit <- aov(Differenz.der.optische.Dichte ~ as.factor(Druck..verfahren), data = df)
```

Die Ergebnisse werden in einer Tabelle (ANOVA-Tabelle) dargestellt. Es werden die F-Werte, p-Werte (Fehlerwahrscheinlichkeit) und die Signifikanzausprägung für die Bewertung des Einflusses benötigt. Im behandelten Beispiel sind die ermittelten Ergebnisse Abbildung 6-3 zu entnehmen. Beim Parameter Druckverfahren wurde eine sehr hohe Signifikanz ermittelt. Die Druckverfahren haben einen sehr großen Einfluss auf das zu erwartende Ergebnis. Dadurch kann die Nullhypothese „Die Druckverfahren haben keinen Einfluss auf die optische Dichte“ verworfen werden. Das bedeutet, die Alternativhypothese, dass die Druckverfahren einen Einfluss auf die optische Dichte ausüben, ist als erfüllt anzusehen. Der F-Wert ist ebenfalls sehr groß und liegt über dem kritischen F-Wert. Der kritische F-Wert ist abhängig von den Freiheitsgraden der untersuchten Faktoren und dem gewählten Konfidenzintervall. Er kann in Tabellen nachgeschlagen werden und ist im Programm für statistische Auswertungen hinterlegt. Auch der p-Wert sollte bei der Beurteilung eines Faktoreinflusses berücksichtigt werden, umso ausgeprägter ein Parameter ist, umso kleiner ist dieser Wert. Der p-Wert stellt die Fehlerwahrscheinlichkeit einer falschen Signifikanz eines Parameters dar. Der Schwellwert im gewählten Beispiel (95 % Konfidenzintervall) liegt bei 0,05, welches einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % entspricht. Alle p-Werte, die kleiner als 0,05 sind, führen zu einer Signifikanz. Ebenfalls wird die Signifikanz grafisch mit Sternen gekennzeichnet. Bei drei Sternen ist ein Faktor sehr signifikant bei keinem Stern ist kein Einfluss des Faktors ermittelbar.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
as.factor(Druck..verfahren)	2	0.753	0.3766	37.16	2.87e-15	***
Residuals	327	3.314	0.0101			
---						
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Abbildung 6-3: Ergebnistabelle der Varianzanalyse (ANOVA) in R-Studio

### 6.3.3 Effektanalyse (t-Test)

Für eine Effektanalyse können zwei verschiedene Algorithmen verwendet werden. Die anwendbaren Algorithmen sind abhängig von der Datenmenge, Datenverteilung und dem angewendeten mathematischen Ansatz bei der statistischen Versuchsplanung. Der `lm()`-Algorithmus wird in R-Studio für lineare Modelle verwendet, er setzt strikte linear verteilte Daten voraus. Er kann verwendet werden, um eine Regression, Varianzanalyse oder Kovarianzanalyse durchzuführen. Der `glm()`-Algorithmus kann auf mehrere Ansätze und Datenverteilungen angewendet werden. Er kann beispielsweise bei Binominal- und Poisson-Datenverteilungen, aber auch bei Gauß-Verteilungen (Normalverteilungen) angewendet werden. Die Daten müssen dazu normalverteilt sein. Dazu ist ein t-Test durchzuführen. Man vergleicht hier einen Schätzwert mit seinem Standardfehler. [Dorm10] Ist der Wert größer als der Standardfehler (kritischer Wert), ist ein Parameter als signifikant anzusehen.

Das lineare Modell wird mit der folgenden Gleichung definiert [Dorm10]:

$$X : N(\mu = f(X), \sigma)$$

Das generalisierte lineare Modell ist ein verallgemeinertes Modell, das durch die folgenden Gleichungen beschrieben werden kann, wenn die Daten normalverteilt sind und zwei Stufen  $X_A$  und  $X_B$  vorliegen:

$$y \sim N(\mu = aX_A + bX_B)$$

1. Bei der Analyse von Parametern (Parameter  $X$ ) mittels t-Test aus einer Stichprobe, um den zu erwartenden Wert zu ermitteln, wird folgende Formel angewendet:

$$t = \frac{\bar{x} - A}{SE_{\bar{x}}} = \frac{\bar{x} - A}{sd_x / \sqrt{n}}$$

Damit ist  $\bar{x}$  der Mittelwert der Stichprobe,  $A$  ist eine Konstante oder der zu erwartende Wert,  $SE_{\bar{x}}$  ist der Standardfehler,  $sd_x$  ist die Standardabweichung der Stichprobe  $X$  und  $n$  ist die Anzahl der Werte in der Stichprobe  $X$ . Kritische t-Werte sind ebenfalls in T-Verteilungstabellen nachzulesen und in Statistiksoftware hinterlegt. Auch diese sind von den Freiheitsgraden der untersuchten Parameter und dem gewählten Konfidenzintervall abhängig. [Dorm10]

2. Vergleich zweier gepaarter Stichproben (Wechselwirkungen)

Wenn zwei Stichproben (gepaarte Stichproben)  $(x1_i, x2_i)$  auf Wechselwirkungen untersucht werden sollen, die Proben normalverteilt sind und der t-Test Anwendung findet, kann in diesem Fall folgende Formel verwendet werden:

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n (x1_i - x2_i)}{SE_{x1_i - x2_i}} \quad [\text{Dorm10}]$$

Die Summe der in der Klammer ermittelten Subtraktion  $(x1_i - x2_i)$  ist die Differenz der Stichproben. [Dorm10]

3. Wenn Differenzen mittels t-Test aus zwei ungepaarten Stichproben ohne Wechselwirkung betrachtet werden, wird die nachfolgende Formel angewendet. Es gilt: Ist der erste Wert  $x1_1$  von der Stichprobe  $X1$  unabhängig vom ersten Wert  $x2_1$  von der Stichprobe  $X2$ , so sind die Stichproben ungepaart. Hier wird der t-Test mit der folgenden Gleichung berechnet [Dorm10]:

$$t = \frac{\bar{x1} - \bar{x2}}{SE_{\text{Differenzen}}} ; SE_{\text{Differenzen}} = \sqrt{\frac{S1^2}{n1} + \frac{S2^2}{n2}}$$

Dabei wird die Differenz der Mittelwerte beider Stichproben durch den Standardfehler der Differenzen geteilt. Es wurde der t-Test für die Analyse ungepaarter Stichproben angewendet.

## 6.4 Resultate der drei Analyseverfahren

### 6.4.1 Ergebnisse der Korrelationsmatrix

Bei einer Korrelation werden Abhängigkeiten zwischen zwei Parametern untersucht. Es werden hierzu Inputparameter und Störgrößen wie beispielsweise die Sekundärschichthöhe oder Umgebungstemperatur, mit Outputparametern, wie der Bewertung der Homogenität der Proben durch Probanden, verglichen. Wenn die Korrelationsmatrix im Querformat gelesen wird, sind die Inputparameter sowie Störgrößen auf der Senkrechten und die Ausgabeparameter auf der Waagerechten dargestellt. In den entsprechenden Quadranten ist immer der Korrelationskoeffizient einer bestimmten Parameterbeziehung zwischen einem Input- oder Störgrößenparameter und einem Outputparameter dargestellt. Positive Korrelationen sind hierbei mit einem blauen Farbton und negative Korrelationen mit einem gelben bis roten Farbton dargestellt. Je stärker die Parameterbeziehung zwischen Parametern ist, umso höher ist einerseits der Zahlenwert des Korrelationskoeffizienten und andererseits die Farbtonintensität des Korrelationskoeffizienten. Parameterbeziehungen mit einem Korrelationskoeffizienten von weniger als 0,2 sind als sehr gering anzusehen, Korrelationskoeffizienten bis 0,5 weisen eine geringe Abhängigkeit auf, ab 0,5 bis 0,8 ist eine mittlere Abhängigkeit gegeben und Korrelationskoeffizienten mit einem Wert über 0,8 weisen eine starke Beziehung auf. Anhand eines Ausschnittes der für den Flexodruck erstellten Korrelationsmatrix soll eine beispielhafte Ergebnisdarlegung erfolgen (Abbildung 6-4). Es ist ein sehr starker Korrelationskoeffizient zwischen dem Eingabeparameter „Sekundärschichthöhe in Mikrometer“ gegenüber den messtechnischen Messgrößen (blaue Rahmen in Korrelationsmatrix) und Bewertungen durch die Probanden (grüne Rahmen in Korrelationsmatrix) festgestellt worden. Zur Erklärung: Es wurde im oberen blauen Rahmen die „Sekundärschichthöhe in Mikrometer“ mit der „Differenz der Tonwertzunahme des 40 %-Rasterfeldes“ kovariiert. Im unteren blauen Rahmen wurde die „Gesamthöhe (gesamte Dicke)“, die Addition aller theoretisch auftragbaren Druckschichten und der Sekundärschichthöhe ebenfalls mit der „Differenz der Tonwertzunahme des 40 %-Rasterfeldes“ korreliert.

	Differenz.der.optische.Dichte	Differenz.der.Tonwertzunahmemessa.	Differenz.der.Tonwertzunahmemessa.	Differenz.der.Tonwertzunahmemessa.	Differenz.der.Tonwertzunahme.Vollb.	Differenz.der.Tonwertzunahme.Vollb.	Differenz.der.Tonwertzunahme...80 F	Differenz.der.Tonwertzunahme...80 F	Differenz.der.Tonwertzunahme...40 F	Differenz.der.Tonwertzunahme...40 F	Delta.E.vom.Vollton	Delta.E.vom.80.Prozent.Raster	Delta.E.vom.40.Prozent.Raster	Mittelwert.Homogenitaet.40	Median.Homogenitaet.40	Mittelwert.Kantenwaernehmung.40	Median.Kantenwaernehmung.40	Mittelwert.Glanzintensitaet.40	Median.Glanzintensitaet.40	Mittelwert.Homogenitaet.80	Median.Homogenitaet.80	Mittelwert.Kantenwaernehmung.80	Median.Kantenwaernehmung.80	Mittelwert.Glanzintensitaet.80	Median.Glanzintensitaet.80	Mittelwert.Homogenitaet.100	Median.Homogenitaet.100	Mittelwert.Kantenwaernehmung.100	Median.Kantenwaernehmung.100	Mittelwert.Glanzintensitaet.100	Median.Glanzintensitaet.100
Sekundaerschichthoehe....µm.	-0.16	0.23	0.64	0.11	0.21	-0.12	-0.09	-0.22	0.41	0.13	0.36	0.6	-0.63	-0.6	-0.8	-0.8	-0.23	-0.23	-0.46	-0.47	-0.81	-0.81	-0.07	-0.11	-0.3	-0.27	-0.75	-0.74	0.09	0.09	
Primer.Dichte	0.05	0.07	0.04	0.05	0.09	0.05	0.09	0.05	0.05	-0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.1	0.16	0.09	0.11	0.05	0.05	
Flexo.Primer.Viskositaet.mPas	-0.07	0.11	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	-0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.09	0.09	0.07	0.07	0.09	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.1	0.16	0.09	0.11	0.05	0.05	
Primer.Oberflaechenspannung..mN.m.	0.05	0.07	0.04	0.05	0.09	0.05	0.09	0.05	0.05	-0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.1	0.16	0.09	0.11	0.05	0.05	
Primer.Dichte.1	0.05	0.07	0.04	0.05	0.09	0.05	0.09	0.05	0.05	-0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.1	0.16	0.09	0.11	0.05	0.05	
Siebdruck.I.Schichtdicke....µm.	0.1	0.05	0.19	0.07	0.04	-0.05	-0.05	0.14	-0.09	-0.18	0.15	-0.16	-0.09	-0.14	-0.11	-0.29	-0.28	-0.11	-0.09	-0.17	-0.18	-0.28	-0.29	-0.07	-0.11	-0.24	-0.26	-0.17	-0.31	0.05	
Siebdruck.I.Viskositaet.mPas	0.05	0.05	0.19	0.07	0.04	-0.05	-0.05	0.14	-0.09	-0.18	0.15	-0.16	-0.09	-0.14	-0.11	-0.29	-0.28	-0.11	-0.09	-0.17	-0.18	-0.28	-0.29	-0.07	-0.11	-0.24	-0.26	-0.17	-0.31	0.05	
Siebdruck.II.Schichtdicke....µm.	0.15	-0.12	-0.13	-0.14	0.1	0.08	-0.11	-0.18	-0.13	0.16	-0.05	-0.09	0.13	0.12	0.08	0.07	0.1	0.2	0.13	0.12	0.09	0.05	0.1	0.05	0.1	0.15	0.11	0.11	-0.14	0.03	
Siebdruck.II.Viskositaet.mPas	0.05	0.05	0.19	0.07	0.04	-0.05	-0.05	0.14	-0.09	-0.18	0.15	-0.16	-0.09	-0.14	-0.11	-0.29	-0.28	-0.11	-0.09	-0.17	-0.18	-0.28	-0.29	-0.07	-0.11	-0.24	-0.26	-0.17	-0.31	0.05	
gesamte.Dicke	-0.09	0.15	0.48	0.16	0.21	-0.16	-0.09	-0.19	0.29	0.18	0.28	0.5	-0.45	-0.43	-0.59	-0.61	-0.11	-0.11	-0.28	-0.3	-0.58	-0.6	-0.1	-0.17	-0.14	-0.51	-0.51	0.05	0.05		

Abbildung 6-4: Ausschnitt einer Korrelationsmatrix für den Flexodruck

Es wurde ein positiver Korrelationskoeffizient von 0,64 ermittelt, sodass ein mittelstarker Einfluss feststellbar ist (siehe Abbildung 6-4). Mit einem ansteigenden Höhenunterschied zwischen dem Primärsubstratniveau und dem Sekundärschichtniveau ist mit einer Zunahme der Differenz der Tonwertzunahme zu rechnen (siehe Abbildung 6-5, linkes Diagramm). Die Beobachtungen sind damit zu begründen, dass zwischen beiden Niveaus ein unproportionales Abbildungsverhältnis/Wiedergabegabequalität der Druckqualität vorliegt, wenn beide Niveaus mit ein und derselben Druckform überdruckt werden. Die Flächendeckung der Rasterfläche auf dem Niveau der Sekundärschicht (erhabenes Niveau) nimmt mit steigender Sekundärschichthöhe stärker zu als auf dem Primärsubstrat (unteres Niveau) und somit auch die Differenz. Der Korrelationskoeffizient ist positiv, weil die Schichtdicke und auch die Differenz des Tonwertes zwischen beiden Niveaus ansteigen. In den nachfolgenden Streudiagrammen sind diese Beobachtungen nochmals für die Korrelation der Gesamtdicke „gesamte Dicke“ mit „Differenz der Tonwertzunahme des 40 %-Rasterfeldes“ veranschaulicht.

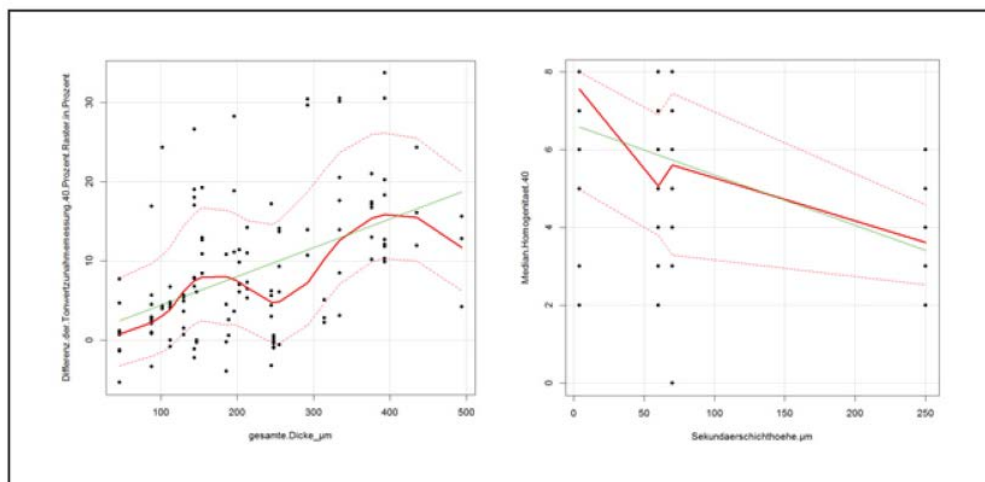


Abbildung 4 Streudiagramme Differenz der Tonwertzunahme der 40 %-Rasterfläche zur Gesamtdicke (links) und Median der Homogenitätsbewertung der 40 %-Rasterfläche zur Sekundärschichthöhe (rechts)

Der Korrelationskoeffizient im unteren blauen Kasten weist mit 0,48 auch noch eine mittelstarke Abhängigkeit auf, jedoch ist beim Vergleich der beiden blau eingerahmten Korrelationskoeffizienten eine abnehmende Abhängigkeit feststellbar. Diese Abnahme kann damit begründet werden, dass beim Überdruck der Sekundärschicht eine Niveauangleichung vollzogen wird. Diese Angleichung kann jedoch den unproportionalen Tonwertzuwachs des Sekundärschichtniveaus nicht gänzlich egalisieren. In den grünen Kästen sind ebenfalls sehr starke Korrelationen zwischen den Eingangsparametern „Sekundärschichthöhe in Mikrometer“ und „Gesamthöhe (gesamte Dicke)“ und der Homogenität sowie Kantenwahrnehmung aller Flächendeckungen (40 %- und 80 %-Raster und 100 %-Vollfläche) ermittelt worden. Diese weisen jedoch starke negative Korrelationskoeffizienten auf, weil mit ansteigendem Höhenunterschied ein ansteigender Homogenitätsunterschied und eine markanter werdende Kante einhergeht (siehe Abbildung 6-5, rechtes Diagramm). Bei Betrachtung des Korrelationskoeffizienten der Homogenitätsbewertung ist ausgehend von der 40 %-Rasterfläche über die 80 %-Rasterfläche bis hin zur 100 %-Vollfläche beim Median (0,6 – 0,47 -0,27) ein abnehmender Farbunterschied bzw. Unterschied der Homogenität erkennbar. Aufgrund von zunehmenden Flächendeckungen erreichen diese bei 100 % Flächendeckung ihr Maximum und Farbunterschiede sind nicht bis kaum noch wahrnehmbar. Auch können hier Farbwahrnehmungseffekte (Mac Adams Ellipsen), also die Abnahme der Farbempfindung im

gesättigten Farbbereich, angeführt werden. Der Korrelationskoeffizient der Kantenwahrnehmung hingegen ist über alle Flächendeckungsgrade (0,75 – 0,81) relativ konstant. Auch hier liegt eine starke negative Anhängigkeit vor, sodass mit ansteigender Sekundärschichthöhe die Kantenwahrnehmung zunimmt und die Muster eine schlechtere Bewertung erhalten. Das Überdrucken der Sekundärschicht (siehe unterer grüner Rahmen) reduziert auch hier den starken negativen Zusammenhang um 0,17-0,2 beider Bewertungskriterien (Homogenität und Kantenwahrnehmung). Es ist auch hier immer noch ein mittelstarker linearer Zusammenhang ermittelbar.

Nach der Selektion nach Druckverfahren ist vor allem erkennbar, dass besonders bei kontaktbehafteten Druckverfahren (Flexodruck und Offsetdruck) eine starke Korrelation zwischen dem Niveauunterschied und Farbabstandsmaßen in den Rasterflächen bis hin zum Optimum feststellbar sind. Alle Selektionen weisen diese Proportionen und Abhängigkeiten auf. Weitere Selektionen zielen darauf ab eine Beurteilung von einzelnen Parametern auf dessen Einfluss zu ermitteln. Diese führte zu einer Selektion der erfassten Daten nach gewissen Gesichtspunkten. Diese Gesichtspunkte resultierten vornehmlich aus den bei der Versuchsdurchführung gemachten Beobachtungen und Ergebnissen der Probandenstudie von Frau Gute. Es sollten Beobachtungen zum Einfluss der einzelnen drei Druckverfahren, der Art des verwendeten Siebdruckfluides, der Verwendung von Primer als Haftvermittler und Einsatz von Deckweiß als Transparenzminderer sowie prozesstechnischer Einflussgrößen in den Druckverfahren untersucht werden. Im Flexodruck erfolgte eine Selektion nach Druckformherstellern und Klebebandhärte, die Daten im Offsetdruck wurden nach Gummituchhersteller getrennt und der Inkjetdruck erfuhr eine Selektion nach der Tropfengröße. Die Selektionen zeigten, dass einzelne Parameter einen Einfluss auf die Outputparameter haben. Es ist dann zu beobachten, dass die Korrelationskoeffizienten stark variieren und in manchen Matrizen sehr viele Korrelationskoeffizienten eine mittelstarke Beziehung aufweisen (siehe Abbildung 6-6). Aufgrund der Komplexität, die in diesem Bericht schwer darstellbar ist, wird an dieser Stelle auf den digitalen Datenträger verwiesen. Auf diesem sind alle erzeugten Korrelationsmatrizen mit unterschiedlichen Selektionsschwerpunkten hinterlegt.



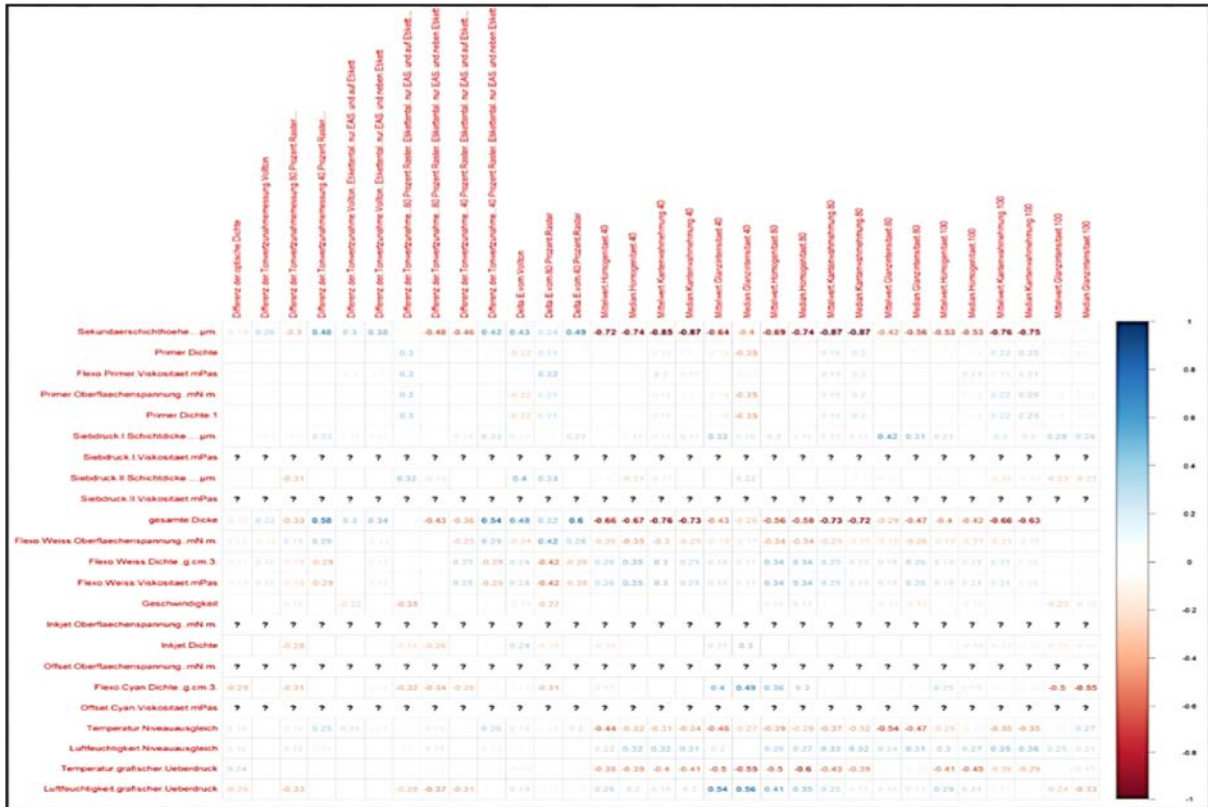


Abbildung 6-6: Veranschaulichung der Variation der Korrelationskoeffizienten nach Selektion Flexodruckweißverwendung und Einsatz von Siebdruckdeckweiß

Es ist anhand einer Korrelationsmatrix eine Aussage über den einzelnen Parametereinfluss nur schwer möglich, obwohl quantitative Zusammenhänge sehr gut aufzeigbar sind. Des Weiteren sind nominale oder qualitative Daten nicht auswertbar und auch eine Berechnung des Korrelationskoeffizienten aus zwei Datengruppen ist nicht möglich, wenn die Standardabweichung 0 ist. Hier werden die nicht ermittelbaren Korrelationskoeffizienten in Form eines Fragezeichens dargestellt (siehe Abbildung 6-6). Deshalb wurde, um die Stärke von Einflüssen ermitteln zu können, mit weiteren Werkzeugen gearbeitet. Diese sollen die einzelnen Einflüsse (Haupteffekte) auf das zu erzielende Ergebnis aufzeigen. Hierzu wird im nächsten Schritt eine Varianzanalyse durchgeführt.

### 6.4.2 Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA)

Weitere Aussagen über Einflussparameter im Prozess des Überdruckens soll eine Varianzanalyse liefern. Mit einer Varianzanalyse ist es möglich über die quantitativen Daten hinaus auch qualitative Daten verarbeiten zu können. Des Weiteren können Unterschiede zwischen Parametern festgestellt werden.

Weil der mathematische Hintergrund und die Deutung der Einflussausprägung mit dessen Kennwerten schon ausführlich diskutiert wurden, wird auf das entsprechende Kapitel verwiesen. Die Ergebnisse zeigten, dass im Verfahren der Varianzanalyse weitere stark beeinflussende Parameter bestimmt werden konnten. Diese sind in entsprechenden Tabellen im Anhang A getrennt nach Druckverfahren nachzulesen. Aus Platzgründen wird nachfolgend eine zusammengefasste Tabelle eingefügt, die den Parametereinfluss in den drei Druckverfahren darstellt. Diese ist nicht mit der Varianztabelle zu verwechseln (alle Druckverfahren), in der eine

Varianzanalyse mit allen zusammengefassten Daten aus den drei Druckverfahren durchgeführt wurde (Anhang Tabelle A9). Anhand der Tabelle 6-5 ist ersichtlich, dass die Druckverfahren und die Sekundärschicht einen sehr großen Einfluss auf das zu erwartende Ergebnis ausüben. Das Primärsubstrat, das Siebdruckfluid, beide Siebdruckschichten (Siebdruckschicht I + II) sowie die Umgebungstemperatur im Niveauegleich und die Luftfeuchtigkeit beim Niveauegleich üben einen starken Einfluss aus. Noch einen geringen Einfluss auf das zu erwartende Ergebnis haben der Primerhersteller, die Geschwindigkeit, die Klebebandhärtenvariierung im Flexodruck bei der Fläche, die Hersteller der Cyanfarben in Offset- und Flexodruck, die Gesamtdicke und die Temperatur des grafischen Überdrucks. Bei den geringen Signifikanzen der Einflussparameter Hersteller Flexoweiß, Flexoweißverwendung, Primerverwendung und der Störgröße Luftfeuchtigkeit im grafischen Überdruck kann ein Einfluss angezweifelt werden. Die ermittelten Werte lagen teilweise nur knapp oberhalb des Signifikanzniveauschwellwertes (p-Wert 0,05) oder nur in einer Kategorie wurde eine Signifikanz ermittelt und das nur in einem Druckverfahren. Dadurch sollten diese Werte als kritisch angesehen werden, weil sie auch Produkt der Versuchsstreuung sein könnten. Mithilfe der Varianzanalyse sind einzelne beeinflussende Parameter ermittelbar, jedoch soll eine Validierung mit einer Effektanalyse erfolgen. In dieser Analyse wird ein anderes mathematisches Verfahren angewendet, der t-Test.

Tabelle 6-5: Signifikanztabelle Varianzanalyse (ANOVA)

<b>Einflussparameter</b>	<b>Signifikanz allgemein</b>	<b>Erläuterung</b>
Druckverfahren	***	Druckverfahren sehr hohe Signifikanz
Primärsubstrat	**	Flexodruck hohe bis sehr hohe Signifikanz Homogenität und Kantenwahrnehmung (visuell), hohe Signifikanz Tonwertzunahme und Delta E bei den Rasterflächen 40 % und 80 % (messtechnisch)
		Inkjetdruck sehr hohe Signifikanz Homogenität, Glanzintensität und Kantenwahrnehmung (visuell); sehr hohe Signifikanz Delta E Rasterfläche 40 %, 80 % und Tonwertzunahme Rasterfläche 40 % (messtechnisch)
		Offsetdruck hohe Signifikanz bei Rasterflächen 40 %, 80 % bei allen Untersuchungsgrößen (visuell/messtechnisch)
Sekundärschicht	***	Flexodruck und Offsetdruck sehr hohe Signifikanz in allen Kategorien außer Glanzintensität (visuell)
		Inkjetdruck sehr hohe Signifikanz bei Homogenität und Kantenwahrnehmung (visuell); sehr hohe Signifikanz bei Delta E und 40 % Raster (messtechnisch)
Hersteller Primer	*	Flexodruck keine Relevanz
		Inkjetdruck sehr hohe Signifikanz Homogenität (visuell) und Delta E, Tonwertzunahme Rasterfläche 40 % und Volltonfläche (messtechnisch)
		Offsetdruck geringe bis hohe Signifikanz bei der Homogenität Rasterfläche 80 % und Volltonfläche (visuell)
Primerverwendung	(*)	Offsetdruck geringe Signifikanz bei Glanzintensität und Kantenwahrnehmung (visuell)

		Flexodruck und Inkjetdruck keine Relevanz
Siebdruckfluid	**	Flexodruck hohe bis sehr hohe Signifikanz Glanzintensität und Kantenwahrnehmung (visuell); hohe Signifikanz Tonwertzunahme Rasterfläche 40 %, geringe Signifikanz Delta E (messtechnisch)
		Inkjetdruck hohe bis sehr hohe Signifikanz Homogenität, Glanz und signifikant Kantenwahrnehmung 100 % (visuell); sehr hohe Signifikanz bei Delta E Rasterfläche 40 % und 80 % (messtechnisch)
		Offsetdruck Signifikanz Glanzintensität Volltonfläche (visuell), geringe bis hohe Signifikanz beim EAS-Etikett und Tonwertzunahme Rasterfläche 80 % und Volltonfläche (messtechnisch)
Siebdruckschicht I	**	Flexodruck hohe Signifikanz Kantenwahrnehmung, geringe Signifikanz Glanzintensität (visuell)
		Inkjetdruck hohe Signifikanz Glanzintensität Rasterfläche 80 % und Volltonfläche (visuell); hohe Signifikanz Tonwertzunahme Volltonfläche bei EAS-Etikett (messtechnisch)
		Offsetdruck hohe Signifikanz Kantenwahrnehmung (visuell); hohe Signifikanz Tonwertzunahme vom EAS-Etikett Rasterfläche 80 % und Volltonfläche (messtechnisch)
Siebdruckschicht II	**	Flexodruck hohe Signifikanz Kantenwahrnehmung, geringe Signifikanz Homogenität Rasterfläche 40 % (visuell); hohe Signifikanz Tonwertzunahme und Delta E von Rasterfläche 40 %
		Inkjetdruck hohe Signifikanz Glanzintensität und Kantenwahrnehmung, geringe Signifikanz Homogenität (visuell); hohe Signifikanz Tonwert Volltonfläche bei EAS-Etikett (messtechnisch)
		Offsetdruck hohe Signifikanz Homogenität Rasterfläche 80 % und Glanzintensität 100 % (visuell); geringe Signifikanz Tonwertzunahme der Rasterfläche 80 % und Volltonfläche beim EAS-Etikett sowie Delta E Volltonfläche (messtechnisch)
Gesamtdicke	*	Flexodruck hohe Signifikanz Tonwert Vollton beim EAS-Etikett, geringe Signifikanz bei Tonwertzunahme Rasterfläche 40 % (messtechnisch)
		Inkjetdruck hohe bis sehr hohe Signifikanz Glanzintensität (visuell)
		Offsetdruck hohe Signifikanz bei Homogenität Rasterfläche 40 % und 80 % (visuell); hohe Signifikanz Tonwert Vollton beim EAS-Etikett (messtechnisch)
Hersteller Flexoweiß	(*)	Flexodruck keine Relevanz
		Inkjetdruck geringe Signifikanz Glanzintensität Rasterfläche 40 % (visuell)
		Offsetdruck geringe Signifikanz Kantenwahrnehmung 40 % (visuell)
Flexoweißverwendung	(*)	Flexodruck hohe Signifikanz Tonwert Vollton beim EAS-Etikett (messtechnisch)
		Inkjetdruck geringe Signifikanz Glanzintensität Rasterfläche Rasterfläche 80 % und Volltonfläche sowie Kantenwahrnehmung (visuell); geringe Signifikanz bei Rasterflächen 40 % und 80 % des EAS-Etiketts zu Primärs substrat und Delta E (messtechnisch)
		Offsetdruck geringe Signifikanz bei Glanzintensität und Kantenwahrnehmung Rasterflächen 80 % und Volltonfläche (visuell); hohe Signifikanz Tonwert Vollton beim EAS-Etikett (messtechnisch)
Geschwindigkeit	(*)	Flexodruck hohe Signifikanz Vollton beim EAS-Etikett (messtechnisch); geringe Signifikanz Homogenität Vollton (visuell)

		Inkjetdruck hohe Signifikanz Glanzintensität Volltonfläche (visuell)
		Offsetdruck geringe Signifikanz Homogenität Volltonfläche und Rasterfläche 40 % (visuell)
<b>Störgrößen</b>	<b>Signifikanz allgemein</b>	<b>Erläuterung</b>
Temperatur Niveausgleich	**	Flexodruck sehr hohe Signifikanz Tonwertzunahme Rasterfläche 80 % und Volltonfläche EAS-Etikett (messtechnisch); geringe Signifikanz Kantenwahrnehmung Volltonfläche (visuell)
		Inkjetdruck sehr hohe Signifikanz bei Tonwert Volltonfläche EAS-Etikett (messtechnisch); hohe Signifikanz Homogenität Rasterfläche 40 % und geringe Signifikanz Glanzintensität Rasterfläche 40 %, 80 % (visuell)
		Offsetdruck sehr hohe Signifikanz Tonwertzunahme Volltonfläche EAS-Etikett (messtechnisch); hohe Signifikanz Homogenität Rasterfläche 40 % und geringe Signifikanz Glanzintensität Rasterfläche 80 % und Volltonfläche (visuell)
Luftfeuchtigkeit Niveausgleich	**	Flexodruck sehr hohe Signifikanz Homogenität und Kantenwahrnehmung (visuell); geringe bis hohe Signifikanz Tonwertzunahme Rasterfläche 80 % und Volltonfläche EAS-Etikett (messtechnisch)
		Inkjetdruck und Offsetdruck sehr hohe Signifikanz Tonwertzunahme Volltonfläche EAS-Etikett (messtechnisch)
Temperatur grafischer Überdruck	*	Flexodruck geringe Signifikanz Homogenität Rasterfläche 80 % und Glanzintensität Rasterfläche 40 % (visuell); hohe Signifikanz Tonwertzunahme Rasterfläche 40 % und Volltonfläche EAS-Etikett sowie Delta E Rasterfläche 80 % (messtechnisch)
		Inkjetdruck hohe Signifikanz bei Glanzintensität (visuell)
		Offsetdruck hohe Signifikanz Tonwertzunahme Volltonfläche EAS-Etikett (messtechnisch)
Luftfeuchtigkeit grafischer Überdruck	(*)	Flexodruck und Inkjetdruck hohe Signifikanz Tonwertzunahme Volltonfläche EAS-Etikett (messtechnisch)
		Offsetdruck geringe Signifikanz bei Homogenität Rasterfläche 80 % und Volltonfläche sowie Glanzintensität Volltonfläche (visuell)
<b>prozesstechnische Einflussparameter</b>	<b>Signifikanz allgemein</b>	<b>Erläuterung</b>
Hersteller Flexoform	-	keine Relevanz
Hersteller Druckfarbe „Cyan“	*	Flexodruck hohe Signifikanz Homogenität (visuell)
		Offsetdruck geringe Signifikanz Homogenität Rasterfläche 40 % (visuell); geringe Signifikanz bei Delta E Rasterfläche 40 % und Volltonfläche (messtechnisch)
InkjetEinstellung	-	keine Relevanz

„Tropfengröße“		
Hersteller Gummituch	-	keine Relevanz
Klebebandtyp Flexodruck beim Raster	(*)	Flexodruck geringe Signifikanz Delta E Rasterfläche 80 % (messtechnisch)
Klebebandtyp Flexodruck beim Fläche	*	Flexodruck geringe Signifikanz Homogenität Rasterfläche 40 % (visuell); sehr hohe Signifikanz optische Dichte (messtechnisch)

#### 6.4.3 Ergebnisse der Effektanalyse (t-Test)

Mit der Effektanalyse ist es ebenfalls möglich Parametereinflüsse zu ermitteln. Durch einen Vergleich zwischen Parameterstufen ist in einer Effektanalyse mittels t-Test auch eine Güte dieser Parameterstufen bestimmbar, also ob ein positiver oder negativer Einfluss auf das zu erwartende Ergebnis vorliegt. Des Weiteren können die ermittelten Werte in Form von Effektdiagrammen ausgegeben werden; dies ist besonders der Ursachenforschung dienlich. Analog zur Varianzanalyse wurde aus Platzgründen eine zusammengefasste Tabelle der signifikanten Einflussgrößen aus allen drei Druckverfahren erstellt. Die ausführlichen Tabellen A6 - A8 sind im Anhang zu finden. Auch hier wird noch einmal darauf hingewiesen, dass ebenfalls eine Tabelle A5 im Anhang mit dem gesamten Datensatz aller 330 Versuchseinstellungen erzeugt wurde. Die hier abgebildete Tabelle 6-6 stellt nur die zusammengefasste Version der Signifikanzen der drei separaten Druckverfahren dar. Dadurch kann es zu einer Variation einiger Ergebnisse kommen. Die in der Effektanalyse ermittelten Ergebnisse zeigen im Vergleich mit der Varianzanalyse die gleichen Tendenzen der stark beeinflussenden Parameter, jedoch fällt größtenteils der Ausprägungsgrad geringer aus. So sind die Druckverfahren und die Sekundärschicht die stärksten Einflussgrößen, gefolgt vom Siebdruckfluid mit einem starken Einfluss. Das Primärsubstrat, die Siebdruckschicht (Siebdruckschicht I + II), die Geschwindigkeit, die Umgebungstemperatur beim Niveaueausgleich, Luftfeuchtigkeit beim Niveaueausgleich, die Umgebungstemperatur beim grafischen Überdruck, die Klebebandvariierung im Flexodruck beim Vollflächenelement sowie die Hersteller der Druckfarbe Cyan für Offsetdruck und Flexodruck üben, laut Ermittlungen, nur noch einen geringen Einfluss aus. Scheinbare Signifikanzen sind bei den Einflussgrößen Primerverwendung, Gesamtdicke und bei der Luftfeuchtigkeit im grafischen Überdruck ermittelt worden. Ein erheblicher Unterschied ist bei den prozesstechnischen Einflussgrößen der einzelnen Druckverfahren ermittelt worden. Diese weisen jetzt beim Einflussparameter Hersteller Gummituch einen starken Einfluss auf, auch ist der Einflussparameter Hersteller Flexoform und die InkjetEinstellung (Tropfengröße) gering signifikant. Diese Ergebnisse könnten das Produkt eines Alpha-Fehlers sein und sollten, um eine sichere Aussage treffen zu können, weiteren Untersuchungen unterworfen werden.

Tabelle 6-6 Signifikanztabelle für Effektanalyse (t-Test)

Einflussparameter	Signifikanz allgemein	Erläuterung
Druckverfahren	***	Druckverfahren haben eine sehr hohe Signifikanz
Primärsubstrat	*	Flexodruck geringe bis hohe Signifikanz bei der Homogenität und Glanzintensität (visuell), geringe Signifikanz bei Tonwertzunahmen und Delta E (messtechnisch)
		Inkjetdruck hohe Signifikanz bei Homogenität, geringe Signifikanz Glanzintensität Rasterfläche 40 % (visuell); sehr hohe Signifikanz Tonwertzunahme Rasterfläche 40 % (messtechnisch) und geringe bis hohe Signifikanz bei Delta E Rasterfläche 40 %, 80 % und optische Dichte (messtechnisch)
		Offsetdruck hohe Signifikanz Homogenität 40 % (visuell); sehr hohe Signifikanz Tonwertzunahme, geringe Signifikanz Delta E Rasterfläche 40 % (messtechnisch)
Sekundärschicht	***	Flexodruck und Offsetdruck sehr hohe Signifikanz in allen Kategorien außer Glanzintensität
		Inkjetdruck hohe Signifikanz bei Tonwertzunahme Rasterfläche 40 % und 80 %, geringe Signifikanz bei Homogenität Rasterfläche 40 % Homogenität und Kantenwahrnehmung Rasterfläche 80 % und Volltonfläche (visuell)
Hersteller Primer	-	keine Relevanz
Primerverwendung	(*)	Flexodruck geringe Signifikanz Tonwertzunahmen Rasterflächen 40 % und 80 % (messtechnisch)
		Inkjetdruck keine Relevanz
		Offsetdruck geringe Signifikanz Tonwertzunahmen Rasterflächen 80 % (messtechnisch)
Siebdruckfluid	**	Flexodruck hohe bis sehr hohe Signifikanz bei Glanzintensität und Kantenwahrnehmung, geringe Signifikanz Homogenität (visuell); geringe Signifikanz bei Delta E Rasterfläche 40 % und Volltonfläche (messtechnisch)
		Inkjetdruck hohe bis sehr hohe Signifikanz Glanzintensität, geringe Signifikanz Homogenität und Kantenwahrnehmung 100 % (visuell); hohe Signifikanz bei Delta E Rasterfläche 40 % und 80 % (messtechnisch)
		Offsetdruck geringe Signifikanz Tonwertzunahme beim EAS-Etikett Rasterfläche 80 % und Tonwertzunahme Rasterfläche 80 %; Delta E Volltonfläche (messtechnisch)
Siebdruckschicht I	*	Flexodruck geringe Signifikanz bei Kantenwahrnehmung Rasterfläche 80 % und Volltonfläche (visuell); geringe Signifikanz bei Delta E Rasterfläche 40 % (messtechnisch)
		Inkjetdruck hohe Signifikanz bei Tonwertzunahme Rasterfläche 40 % und 80 % (messtechnisch)
		Offsetdruck geringe Signifikanz Tonwertzunahme beim EAS-Etikett Rasterfläche 80 % (messtechnisch); geringe Signifikanz bei Homogenität Rasterfläche 40 % und Glanzintensität Rasterfläche 80 % (visuell)

Siebdruckschicht II	*	Flexodruck hohe Signifikanz bei Kantenwahrnehmung, geringe Signifikanz bei Homogenität und Glanzintensität Volltonfläche (visuell); geringe Signifikanz Delta E Rasterfläche 80 %
		Inkjetdruck hohe Signifikanz bei Tonwertzunahme Rasterfläche 40 % und 80 % (messtechnisch)
		Offsetdruck geringe Signifikanz bei Homogenität Rasterfläche 80 % und Glanzintensität 100 % (visuell); geringe Signifikanz Delta E Volltonfläche (messtechnisch)
Gesamtdicke	(*)	Flexodruck und Offsetdruck keine Relevanz
		Inkjetdruck hohe Signifikanz bei Tonwertzunahme Rasterfläche 40 % und 80 % (messtechnisch)
Hersteller Flexoweiß	(-)	Flexodruck und Offsetdruck keine Relevanz
		Inkjetdruck geringe Signifikanz Tonwertzunahmen Rasterfläche 40 % (messtechnisch)
Flexoweißverwendung	-	keine Relevanz
Geschwindigkeit	*	Flexodruck geringe Signifikanz Vollton beim EAS-Etikett (messtechnisch); geringe Signifikanz Homogenität Vollton (visuell)
		Inkjetdruck hohe Signifikanz Glanzintensität Volltonfläche (visuell)
		Offsetdruck hohe Signifikanz Homogenität Volltonfläche (visuell)
<b>Störgrößen</b>	<b>Signifikanz allgemein</b>	<b>Erläuterung</b>
Temperatur Niveausgleich	*	Flexodruck geringe bis hohe Signifikanz Tonwertzunahme Rasterfläche 80 % und Volltonfläche EAS-Etikett (messtechnisch); hohe Signifikanz Kantenwahrnehmung Rasterfläche 40 % und Volltonfläche (visuell)
		Inkjetdruck keine Relevanz
		Offsetdruck sehr hohe Signifikanz optische Farbdichte und geringe Signifikanz bei Delta E Rasterfläche 40 % und Volltonfläche (messtechnisch)
Luftfeuchtigkeit Niveausgleich	*	Flexodruck hohe Signifikanz Homogenität und Kantenwahrnehmung, Glanzintensität Rasterfläche 40 % (visuell)
		Inkjetdruck keine Relevanz
		Offsetdruck hohe Signifikanz optische Farbdichte und geringe Signifikanz bei Delta E Volltonfläche (messtechnisch); geringe Signifikanz Homogenität Volltonfläche (visuell)
Temperatur grafischer Überdruck	*	Flexodruck geringe Signifikanz Homogenität und Kantenwahrnehmung, Glanzintensität Rasterfläche 40 % (visuell)
		Inkjetdruck geringe Signifikanz Rasterfläche 80 % und Volltonfläche (messtechnisch); geringe Signifikanz Tonwertzunahme Rasterfläche 80 % (messtechnisch)
		Offsetdruck geringe Signifikanz bei Delta E Volltonfläche (messtechnisch); geringe Signifikanz Homogenität Volltonfläche (visuell)

Luftfeuchtigkeit grafischer Überdruck	(*)	Flexodruck keine Relevanz
		Inkjetdruck geringe Relevanz Tonwertzunahme Rasterfläche 80 % (messtechnisch); geringe Signifikanz Glanzintensität Rasterfläche 80 % und Volltonfläche (visuell)
		Offsetdruck hohe Signifikanz bei Homogenität Rasterfläche 40 % und 80 % (visuell); hohe Signifikanz Delta E Rasterfläche 40 % und 80 % (messtechnisch)
<b>prozesstechnische Parameter</b>	<b>Signifikanz allgemein</b>	<b>Erläuterung</b>
Hersteller Flexoform	(*)	Flexodruck und Offsetdruck keine Relevanz
		Inkjetdruck geringe Signifikanz bei Homogenität und Glanzintensität Rasterfläche 40 % (visuell)
Hersteller Druckfarbe	*	Flexodruck geringe Signifikanz Homogenität Rasterfläche 40 % und Glanzintensität Volltonfläche (visuell)
		Offsetdruck geringe Signifikanz Homogenität Rasterfläche 80 % (visuell); geringe Signifikanz bei Delta E Rasterfläche 40 % und Volltonfläche (messtechnisch)
InkjetEinstellung (Tropfengröße)	(*)	Inkjetdruck geringe Signifikanz Homogenität und Glanzintensität Volltonfläche (visuell)
Hersteller Gummituch	**	Offsetdruck hohe Signifikanz Homogenität Rasterfläche 80 % und Volltonfläche (visuell)
Klebebandtyp Flexodruck beim Raster	-	Flexodruck keine Relevanz
Klebebandtyp Flexodruck beim Fläche	*	Flexodruck geringe Signifikanz Tonwertzunahme Rasterfläche 80 % und Volltonfläche EAS-Etikett, hohe Signifikanz Delta E Rasterfläche 80 % (messtechnisch)

## 6.5 Fazit der statistischen Versuchsauswertung

Anhand der statistischen Auswertung der Daten mit drei verschiedenen mathematischen Verfahren konnten erste Erkenntnisse über die im Prozess des Überdrucks beeinflussenden Hauptfaktoren aufgezeigt werden. Diese sind hauptsächlich die Sekundärschicht, das Druckverfahren und das Siebdruckfluid, welche als sehr stark beeinflussende Parameter in allen Verfahren ermittelt werden konnten. Des Weiteren haben auch die Art des Primärsubstrates und die Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) einen starken Einfluss auf das zu erwartende Ergebnis. Weil jedoch alle statistischen Verfahren andere Ansätze haben und deshalb die ermittelten Ergebnisse variieren, ist nur von diesen Parametern eine Signifikanz sicher nachweisbar. Erschwerend kam hinzu, dass ein großer Umfang verschiedenartiger Parameter und Parameterstufen untersucht wurde, die jeweils alle unterschiedliche Anforderungen hatten. Dadurch sollten die bei den statistischen Auswertungen



ermittelten Daten im Detail betrachtet werden, um Optimierungen oder weitere zielgerichtete Untersuchungen durchführen zu können. Beispielsweise stellt eine Volltonfläche andere technische Anforderungen als ein Raster, hier konnte als beeinflussender Parameter auf die Kantenwahrnehmung die Geschwindigkeit ermittelt werden. Mit zunehmender Geschwindigkeit ist die überdruckte Kante stärker wahrnehmbar.

Kritisch betrachtet muss darauf hingewiesen werden, dass in der Drucktechnik eine Diversität an relevanten Daten und Datenqualitäten vorherrscht, die zur Ergebnisermittlung benötigt werden. Hierzu zählen ordinalskalierte Daten aus Probandenstudien zur Ermittlung der Musterqualität durch den Menschen und intervallskalierte Daten der messtechnischen Qualitätsbeurteilung. Dadurch liegt eine gemischte Datenqualität aus qualitativen und quantitativen Daten vor, die in der Auswertung berücksichtigt werden müssen. Diese werden zwangsläufig eine unterschiedliche Datenverteilung aufweisen. Deshalb ist keine mathematische Methode (Korrelation, Varianzanalyse, Effektanalyse) vollständig für die erzeugten Daten geeignet, weil nicht gleichzeitig unterschiedliche Modelle angewendet werden können. Sonst wären die Daten nicht mehr vergleichbar, weil mit zweierlei Maß gemessen wurde. Deshalb wurden einerseits drei verschiedene Verfahren zur Validierung der Verfahren untereinander und andererseits für einen größtmöglichen Erkenntnisgewinn eingesetzt.

Dieser Umstand lässt nur eine sichere Aussage über sehr stark signifikante (3 Sterne) und stark signifikante Einflussparameter (2 Sterne) auf dessen Einfluss auf die Druckqualität zu. Für eine sichere Aussage über Parameter mit geringer Signifikanz müssen Wiederholungsversuche durchgeführt werden, um unter anderem ein Alpha-Fehler-Risiko und ein Beta-Fehler-Risiko aufgrund einer zufälligen Versuchsstreuung ausschließen zu können.

Auch haben Wechselwirkungen zwischen Parametern im Prozess nach den Haupteffekten (beeinflussenden Parametern) eine elementare Bedeutung, jedoch konnten diese aufgrund des zu Anfang festgelegten Parameterumfangs und des daraus resultierenden statistischen Versuchsplanes nicht in die Betrachtung mit einbezogen werden. Bei einer vollfaktoriellen Versuchsplanung kann dieser Aspekt berücksichtigt werden.

Alle Ergebnisse wurden in eine Excel-basierte Datenbank eingetragen. Aus dieser Datenbank können alle Ergebnisse extrahiert werden. Weiterhin wurde auf Basis der Methode KNN (k nearest neighbour) folgende Möglichkeit implementiert: Auf Basis der eingegebenen Parameter wird die nächste wahrscheinliche Probe mit den Kennwerten und mit dem fotografierten Probenbild angezeigt. Damit ist ein Interessent in der Lage, sich die zu erwartenden Proben für seine spezifischen Verhältnisse anzeigen zu lassen.

## 7 Hinweise für die Praxis

Bei den Versuchen wurden zahlreiche Beobachtungen gemacht und Schwierigkeiten dokumentiert. Wenn diese bei einer Wiederholung der Versuche berücksichtigt werden, kann das zu einer besseren Musterqualität führen.

Diese Komplikationen sind teilweise maschinenspezifisch und müssen bei Industriemaschinen nicht zwingend auftreten, weil wesentlich mehr Druckwerke zur Verfügung stehen (an der verfügbaren Versuchsmaschine sind nur 4 Druckwerke verfügbar). So könnten bei industriellen

Druckmaschinen bestenfalls alle Schritte in einem Durchgang erfolgen und Komplikationen durch Lagerung und Umspulen vermieden werden. Nachfolgend sind einzelne Aspekte aufgeführt, die bei der Versuchsdurchführung zu Komplikationen geführt haben oder bei denen ein Optimierungspotenzial erkannt wurde. Teilweise können durch die gemachten Erfahrungen erste Lösungsansätze abgeleitet werden.

### **1. Hinweise zur Etikettenapplikation**

Bei dünnen Verbundmaterialien, hier ist besonders das Etikettenpapier zu nennen, wurden, wenn das Etikett nicht exakt mittig auf die Bahn positioniert wurde, Falten in die Bahn eingezogen. Diese potenzierten sich im Nachgang von Werk zu Werk bis sich die Substratbahn teilweise übereinanderlegte. Diese Falten wurden hauptsächlich durch die Umlenkspindeln verursacht, welche die Substratbahn und das applizierte Etikett auf der Oberseite berührten sowie mit einem Filz oder Gummierung versehen waren. Abhilfe kann eine korrekte Positionierung des Etiketts bringen. Wenn das Problem weiterhin bestehen bleibt, sollte eine Überprüfung oder Erneuerung der Spindelbeschichtung (Gummierungs- oder Filzerneuerung) erfolgen. Anschließend sollte eine Überprüfung des Spindelrundlaufes vorgenommen werden. Teilweise wurde als schnelle Zwischenlösung zur Minderung der Reibung um die entsprechenden Spindeln Silikonpapier gewickelt. Die Falten zogen sich so teilweise wieder heraus. Die Bahnspannung sollte vorher bestmöglich auf das Primärsubstrat angepasst werden, um einer Faltenbildung schon hier vorzubeugen.

### **2. Hinweise zur UV-Härtung von unterschiedlichen Farben und Farbschichten**

Für die Härtung der Siebdruckschichten von bis zu 120 µm wurden spezielle Gallium-Indium UV-Lampen eingesetzt. Sie wurden für diesen speziellen Anwendungsfall vom Hersteller (Uviterno) empfohlen und brachten bei den Vorversuchen mit dem Siebdruckweiß (deckende Farbe mit hoher Pigmentkonzentration) gute bis sehr gute Ergebnisse. Es konnten mit dem Siebdruckweiß Schichtdicken von bis zu 120 µm bei einer Prozessgeschwindigkeit von 30 m/min gehärtet werden. Ebenfalls wurde dieser Lampentyp beim Siebdrucklack von Weilburger Graphics eingesetzt. In Diskussion mit einem Vertreter von IST Metz wurde angemerkt, dass bei transparenten Fluiden (Siebdrucklack Weilburger Graphics) mit herkömmlichen UV-Lampen (Quecksilber-Lampen) bessere Ergebnisse erzielt werden können. Dies ist bei Folgeversuchen zu überprüfen. Prinzipiell wurden für die dicken Siebdruckschichten und das Flexoweiß Gallium-Indium-Lampen eingesetzt. Für alle Buntfarben (Lesemarken-Schwarz und Cyan aller Druckverfahren) wurden die normalen Quecksilber-Lampen verwendet.

Weitere offene Punkte, die in Bezug auf die UV-Härtung noch abgeklärt werden müssen, sind der Einfluss der Reflektoren in den UV-Strahlköpfen und die erreichte Tiefenhärtung. Dieses könnte noch zu einer Verbesserung der Ergebnisse führen.

Einige Experten empfehlen, dass die UV-Strahlköpfe ein Alter von 5 Jahren nicht übersteigen sollten, weil danach der Wirkungsgrad abnimmt. Die speziellen Gallium-Indium-UV-Lampen wurden am IDD in noch originalverpackte neue Strahlenköpfe eingebaut, jedoch soll auch bei diesen Lampen eine Minderung des Wirkungsgrades eintreten. Die Problematik wurde zum Verständnis mit einem spröder werdenden Autoreifen verglichen, bei dem mit zunehmendem Alter der Weichmacher verloren geht.

Die Tiefenhärtung und Haftung auf den Materialien wurde aus Zeitgründen und durch fehlende Messgeräte nicht untersucht. Diese muss noch abgeklärt werden.

### **3. Hinweise zur Farbauswahl im Siebdruck und Offsetdruck**

Für das zur Verfügung gestellte Siebdruckweiß wurde aus Gründen der Vorwettbewerblichkeit ein zweites geeignetes Siebdruckfluid gesucht. Nach Vorversuchen wurde ein weiterer Siebdrucklack mit den besten Ergebnissen (im Hinblick auf Elastizität und keine Lufteinschlüsse) gefunden. Einschränkend bei diesem Lack war jedoch, dass er nicht für alle Substratklassen geeignet ist. Durch die nur bedingte Eignung für Papier und die hohe Schichtdicke führte dieser teilweise beim Bilderdruckpapier zum Verblocken der Druckrollen. Andere Aspekte, die ebenfalls zum Verblocken einzelner Einstellungen der Druckrollen führten, sind die Wickelspannung und die Lagerung der Druckrollen sowie die Wahl des verwendeten UV-Lampentyps. Es wird dazu geraten für den Niveaueausgleich in dicken Schichten aufgrund der erreichten Prozessgeschwindigkeit eine pigmentarme Druckfarbe zu verwenden. Sollte eine opake Fläche vorgesehen sein, kann eine deckende Farbschicht in geringer Schichthöhe bis ca. 20 µm im Siebdruck oder bis 5 µm im Flexodruck appliziert werden.

Bei Wiederholungsversuchen sollten Trockenoffsetfarben verwendet werden. Das konnte bei den Versuchsdurchführungen nicht gewährleistet werden, weil keine zwei migrationsarmen Trockenoffsetdruckfarben (Aspekt Vorwettbewerblichkeit) beschafft werden konnten. Mit Trockenoffsetfarben sollte man schneller das Prozessfenster der optimalen Farbwiedergabe erreichen, weil keine Verzögerung durch eine Einstellung der Farb-Wasserbalance auftritt. Es werden so weniger Laufmeter pro Versuchseinstellung benötigt und der Einfluss von Wasser kann aus den Betrachtungen eliminiert werden, dies würde zu einer besseren Vergleichbarkeit der Druckverfahren untereinander.

### **4. Hinweise zur Lagerung und Wickelspannung der Druckrollen**

In der Versuchsdurchführung wurden Mischrollen gefertigt, welche das Handling und die Abläufe vereinfachen sollten. Es wurden verschiedene Substratklassen und Sekundärschichten auf einer Druckrolle kombiniert, dadurch wurde ein zeitaufwendiger Wechsel, der in Hinblick auf die zu verwendende Siebdruckfarbe und das angewendete Druckverfahren entsteht, minimiert. Dadurch ergaben sich unterschiedliche Wickelspannungen in einer Rolle. Auftretende Folgen sind die schon beschriebene Verblockung einzelner Mustereinstellungen bis zum Rollenkern hin. Druckrollen aus einer Substratklasse erhöhen zwar den Aufwand, könnten aber zur Vermeidung einer Verblockung und somit zu einer besseren Musterqualität führen, weil eine gleichbleibende Wickelspannung in der Druckrolle existiert.

Weitere Ursachen der Verblockung sind in der Lagerung der Druckrollen zu sehen. Aufgrund fehlender Einrichtungen und aus Platzgründen wurden die Rollen stehend gelagert. Durch eine hängend gelagerte Rolle kann eine Verblockung vermieden werden.

### **5. Hinweise zum Optimierungspotenzial in den Druckverfahren**

Aufgrund der unterschiedlichen Niveaus zwischen Primärsubstrat, Sekundärschicht und der applizierten Farbschichten entstehen bei den konventionellen (kontaktbehafteten) Druckverfahren unterschiedliche Druckspannungen und Reibungskräfte, wenn eine gleichmäßige Einfärbung erreicht werden soll. Dies führt im Bereich der Sekundärschicht zu einer unnormalen Abnutzung der in Kontakt stehenden Materialien.

Im Offsetdruck könnte ein weicheres oder ein dickeres Gummituch verwendet werden. Durch dieses könnte eine bessere Farbübertragung auf alle Niveaustufen und auf Unebenheiten erreicht werden. Der Höhengsprung könnte besser ausgeglichen werden. In den Offsetdruckwerken der Firma Gallus können leider nur selbstklebende Gummitücher bis 2 mm Dicke verwendet werden.

Die Haltbarkeit der Flexodruckplatten könnte durch eine Flexodruckplatte mit verschiedenen Härten verbessert werden. Bei Fotopolymerplatten könnte eine Endhärtung bei der Belichtung im Kontaktbereich mit dem Etikett verhindert werden. So ist die Platte in diesem Bereich weicher und somit kompressibler. Das könnte zu einer noch besseren Kompressibilität und geringen Reibung in der Kontaktzone führen.

Ebenfalls bietet sich der Inkjetdruck bis zum Niveaueausgleich als verschleißloses Verfahren zur Applizierung von Primer und Deckweiß an, weil keine Reibung und dadurch Abnutzung in der erhabenen Niveauzone auftritt.

## 8 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Forschungsarbeiten werden die Grenzen der Überdruckbarkeit unterschiedlicher Materialien und unter Einwirkung eines Dickensprungs mit verschiedenen Druckverfahren ermittelt. Der Dickensprung wurde durch das Aufspenden von verschiedenen Folien-, Papier-, EAS-Etiketten und eine Lackschicht erzeugt. Als Substrate wurden Etikettenpapier, Bilderdruckpapier und Polypropylenfolie verwendet. Für die Untersuchung der Überdruckbarkeit werden die Druckverfahren Offsetdruck, Flexodruck und Inkjet-Druck eingesetzt. Es soll die Frage beantwortet werden, welche Schichtdicken mit welcher Qualität überdruckt werden können. Von besonderem Interesse ist neben der Oberflächenbeschaffenheit der gedruckten Schichten auch der Kantenübergang zwischen den zu überdruckenden Schichten.

In 330 Versuchseinstellungen wurden nach der Methode der statistischen Versuchsplanung Proben auf einer industriellen Rollendruckmaschine hergestellt. Dazu werden ca. 600 kg Farbe und Lack sowie ca. 210 000 Etiketten benötigt. Durch Messung von Glanz, Farbdichte und CIELab-Werten an verschiedenen Stellen werden die Proben charakterisiert. Weiterhin wurden zwei Versuchsreihen mit visuellen Abmusterungen durchgeführt. In der ersten Versuchsreihe werden 51 Probandenversuche (30 männlich, 20 weiblich) nach dem Prinzip des Paarvergleichs und der Rangfolge durchgeführt. Eine zweite Versuchsreihe wurde mit 3 Probanden (männlich) zur Profilierung der Druckqualität über alle 330 Versuchseinstellungen durchgeführt.

Zur Bestimmung der Korrelationen werden auf die Ergebnisse statistische Verfahren angewendet. Bei der Varianzanalyse zeigte sich ein sehr großer Einfluss der Druckverfahren und der Sekundärschicht. Primärschicht, Siebdruckfluid und Siebdruckschichten haben einen großen Einfluss. Die Druckgeschwindigkeit hat einen vergleichsweise geringen Einfluss. Aus der Effektanalyse konnten wertvolle Detailerkennnisse abgeleitet werden. Allerdings wurden bei beiden Verfahren auch die Grenzen hinsichtlich Datenqualität und Datenmenge deutlich.

Die Proben und die Ergebnisse wurden in einer Mustermappe und in Versuchsprotokollen dokumentiert. Alle Daten und Bilder der Proben wurden in eine Excel-basierte Datenbank

aufgenommen. Aus dieser Datenbank können alle Ergebnisse extrahiert werden. Weiterhin wurde auf Basis der Methode KNN (k nearest neighbour) folgende Möglichkeit implementiert: Auf Basis der eingegebenen Parameter wird die nächste wahrscheinliche Probe mit den Kennwerten und mit dem fotografierten Probenbild angezeigt. Die Excel-basierte Datenbank ist auf Anfrage bei den Autoren erhältlich.

## 9 Literatur

- [Afar12] AFARA, I.: *Maßnahmen zur Erhöhung der Lichteinheit eines mit sublimierbaren Druckfarben bedruckten Polyestersubstrats*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Dissertation, 2012  
<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/3018>
- [Amer03] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS: *Standard Guide for Designing and Conducting Visual Experiments* (amerikanischer Standard Nr. ASTM E1809 - 96(2009)), 2003
- [Auge07] AUGESTAD, J.: *BASF Future Business und Polyera kooperieren in Entwicklung und Vermarktung neuartiger Halbleiter*. URL [http://www.process.vogel.de/management\\_und\\_it/chemiepark\\_management/articles/63558](http://www.process.vogel.de/management_und_it/chemiepark_management/articles/63558). - abgerufen am 2009-06-02
- [Behl93] BEHLER, H.: *Die Randstruktur von Druckpunkten - eine experimentelle Untersuchung der Farbspaltungsströmung*. Darmstadt, Technische Hochschule Darmstadt, Dissertation, 1993
- [BeZZ07] BERTHOLDT, U. ; ZINS, L. ; ZIMMERMANN, C.: *Entwicklung eines Schnelltests zur Bestimmung der Tonwertzunahmen von Papieren im Offsetdruck - ein Versuch, Fogra-Forschungsbericht* (Nr. 42.017). München : Fogra, 2007
- [Böck04] BÖCKENHOLT, U.: *Comparative judgements as an alternative to ratings: Identifying the scale origin*. Psychological Methods, Vol. 9. No. 4. 453–465. o.O., 2004
- [Born13] BORNEMANN, N.: *Characterization and Investigation of Large-Are, Ultra-Thin Gravure Printed Layers*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Dissertation, 2013  
<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/3847>
- [BoSD12] BORNEMANN, N. ; SAUER, H. M. ; DÖRSAM, E.: *Experimental Investigation of the Filling and Emptying of Gravure Cells, MSE Konferenz* (Poster). Darmstadt, 2012
- [Boua08] BOUABID, A.: *Numerische und experimentelle Untersuchungen zum mechanisch-drucktechnischen Verhalten von Offsetdrucktüchern unter besonderer Berücksichtigung ihrer hyper- und schaumelastischen Eigenschaften*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Dissertation, 2008  
<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/1006>
- [Bröt97] BRÖTZ, H.: *Ein Beitrag zur Farbübertragung in Nassoffsetfarbwerken unter besonderer Berücksichtigung des Feuchtmittels*. Darmstadt, Technische Hochschule Darmstadt, Dissertation, 1997
- [Bvdm12] BVDM BUNDESVERBAND DRUCK UND MEDIEN E. V.: *Die deutsche Druckindustrie in Zahlen*. Wiesbaden, 2012
- [Cam11] CAMLINE DATENSYSTEME FÜR DIE MICROELECTRONIC GMBH (Hrsg.): *Cornerstone Fundamentals User's Guide Revision 5.1*. Petershausen, 2011

- [CaPa97] CASTILLO, M. E. G. ; PATERA, A. T.: *Three-dimensional ribbing instability in symmetric forward-roll film-coating processes*. In: *Journal of Fluid Mechanics* Bd. 335 (1997), S. 323–359
- [Chok10] Chok, N. S.: *PEARSON'S VERSUS SPEARMAN'S AND KENDALL'S CORRELATION COEFFICIENTS FOR CONTINUOUS DATA*. Masterthesis. University of Pittsburgh, 2010.
- [CIHG13] CLAYPOLE, T. C. ; HAMBLYN, S. ; GETHIN, O.: *The effective of engagement and image carrier profile on the printing of conductive lines by flexography*. In: *Advances in Printing and Media*. Chemnitz, 2013
- [DöBo16] DÖRING, N.; BORTZ, J.: *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. 5., vollst. überarb., akt. u. erw. Aufl. 2016. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer.
- [Dörs16] DÖRSAM, E.: *Gesprächsnotiz zu [Gute2016]*. Darmstadt, 2016
- [Dole01] DOLEZALEK, F. ; BUNDESVERBAND DRUCK UND MEDIEN E. V. (Hrsg.): *ProzessStandard Offsetdruck: Wege zu konstanter Qualität von Vorstufe bis zum Druckprodukt : Print und Media Forum AG, 2001 — ISBN 9783980770866*
- [Dorm10] DORMANN, C.: *Parametrische Statistik*. Freiburg: Springer, 2010
- [Dreh10] DREHER, M.: *Mit zeitgemäßen Werkzeugen zum Prozess-Standard Flexodruck*. In: *VDD-Seminar*. Darmstadt, 2010
- [Dreh11] DREHER, M.: *Kontrolliertes Drucken wird immer einfacher*. In: *ProFlex 2011 Dokumentation zur 64. DFTA-Fachtagung*. Kassel, 2011
- [Esch06] ESCH, F.-R.: *Impulse im Regal - Die Bedeutung der Verpackung für die Kaufentscheidung am POS*. Gießen: Institut für Marken- und Kommunikationsforschung der Justus-Liebig-Universität Gießen, 2006
- [Fedu10] FEDUTINA, M.: *Durchführung und Auswertung von Farbdiskriminierungsexperimenten auf einem Flüssigkristallbildschirm*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Masterthesis, 2010
- [Fern13] FERNANDES, F. C.: *Durchführung und Auswertung eines visuellen Experiments zur Optimierung von Gamut Mapping*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Masterthesis, 2013
- [Foun99] FOUNDATION OF FLEXOGRAPHIC TECHNICAL ASSOCIATION (Hrsg.): *Flexography: Principles & Practices*. Fifth Edition. Aufl. Ronkonkoma, 1999
- [Genu10] GENUIT, K.: *Sound-Engineering im Automobilbereich: Methoden zur Messung und Auswertung von Geräuschen und Schwingungen*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010
- [GeSS09] GEMEINHARDT, J. ; SABA, S. ; SKOCZOWSKI, R.: *Einfluss der Lackierung auf das farbliche Aussehen eines Offsetdrucks auf Papier und Karton, Fogra-Forschungsbericht (Nr. 32.152)*. München : Fogra, 2009
- [Glüc76] GLÜCK, M.: *Untersuchung des Rollverhaltens von Mehrwalzen-Systemen unter Einbeziehung einer viskoelastischen Walze*. Darmstadt, TH Darmstadt, 1976

- [Grie13] GRIESHEIMER, S.: *Farbspaltungsphänomene von Druckfarben an strukturierten Oberflächen des Flexodrucks*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Dissertation, 2013; <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/3892>
- [Gute16] GUTE, H.: *Beitrag zur Erforschung von Einflussparametern im Prozess des Überdrucks mit Hilfe statistischer Versuchsplanung*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren, Masterthesis, 2016
- [Haas12] HAAS, M.: *Untersuchungen zum Verdrucken von Interferenzeffektfarben im Flexodruckverfahren*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Dissertation, 2012; <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/3011>
- [Hans09] HANSON, E.: *How an ink jet printer works*: Society for Imaging Science and Technology, 2009
- [HKSS11] HASSOLD, C. KNOTH, S., SEIFERT, M., STEUER, D.: *Formelsammlung Statistik I & II, Beschreibende Statistik, Wahrscheinlichkeitsrechnung, Schließende Statistik*. Helmut Schmidt Universität, Hamburg, 2011
- [Hein13] HEINISCH, U.: *Modesportart und Siebdruck*. In: *SIP Fachmagazin für Siebdruck & Digitaldruck* Bd. 29 (2013), Nr. 4
- [HePö03] HEINE, H. ; PÖLLER, M.: *Eigenschaften von Offset-Drucktüchern*. Wiesbaden: Bundesverband Druck und Medien, 2003
- [Helb93] HELBIG, T.: *Druckqualität: Grundlagen der Qualitätsbewertung im Offsetdruck*. Frankfurt, Polygraph Verlag, 1993
- [Hübl08] HÜBLER, A. C.: *Gedruckte Elektronik - Ende des Siliziums?* In: *it - Information Technology* Bd. 50 (2008), Nr. 3
- [Hüb91] HÜBNER, G.: *Ein Beitrag zum Problem der Flüssigkeitspaltung in der Drucktechnik*. Darmstadt, TH Darmstadt, 1991
- [Hupp08] HUPP, H.: *Qualitäts- und Prozesskontrolle gedruckter Interferenzeffektfarben erster Generation*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Dissertation, 2008  
<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/1016>
- [Ishi03] ISHIHARA, S.: *Ishihara's tests for colour deficiency - the series of plates designed as a test for colour deficiency*. Tokyo, Japan: Kanehara Trading Inc, 2003
- [Isot01] ISO/TC 130 DRUCKTECHNIK ; ISO INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (Hrsg.): *Graphische Technik - Prozesskontrolle von gerasterten Farbauszügen, Prüfdrucken sowie An- und Auflagendruck - Teil 5: Siebdruck* (Deutsche Norm Nr. DIN ISO 12647-5), 2001
- [Isot04] ISO/TC 130 DRUCKTECHNIK ; ISO INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (Hrsg.): *Graphische Technik - Prozesskontrolle für die Herstellung von Raster-Farbauszügen, Andruck, Prüfdruck und Auflagendruck - Teil 2: Flachdruckverfahren* (Deutsche Norm Nr. DIN ISO 12647-2), 2004
- [Isot05] ISO/TC 130 DRUCKTECHNIK ; ISO INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (Hrsg.): *Graphische Technik - Prozesskontrolle von gerasterten Farbauszügen,*

*Prüfdrucken sowie An- und Auflagendrucke - Teil 3: Zeitungsdruck* (Deutsche Norm Nr. DIN ISO 12647-3), 2005

- [Isot09] ISO/TC 130 DRUCKTECHNIK ; ISO INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (Hrsg.): *Graphische Technik. Spektrale Messung und farbmétrische Berechnung für graphische Objekte* (Deutsche Norm Nr. ISO 13655), 2009
- [Isot12] ISO/TC 130 DRUCKTECHNIK ; ISO INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (Hrsg.): *Drucktechnik - Prozesskontrolle für die Herstellung von autotypischen Farbausätzen, Prüfdrucken und Auflagendrucke - Teil 6: Flexodruck* (Deutsche Norm Nr. DIN ISO 12647-6), 2012
- [John08] JOHNSON, J.: *Aspects of Flexographic print Quality and relationship to some Printing Parameters*. Karlstad, Karlstad University, 2008
- [Kehr13] KEHREN, K.: *Optical Properties and Visual Appearance of Printed Special Effect Colors*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Dissertation, 2013  
<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/3503>
- [Kipp01] KIPPAN, H.: *Handbuch der Printmedien*. Berlin Heidelberg : Springer, 2001 — ISBN 3-540-67326-1
- [KMHT13] KLEIN, R. ; MEDER, G. ; HÖHNE, O. ; TOMASZEWSKI, J.: *The impact of paper on tone value increase in heatset web offset (HSWO)*. In: *Advances in Printing and Media*. Chemnitz, 2013
- [KnLy10] KNIGHT, E. ; LYNN, C.: *Industrial Inkjet for Dummies*. Hoboken : Wiley Publishing, Inc., 2010
- [Krau12] KRAUSHAAR, A.: *PSD ProzessStandard Digitaldruck*. München : Fogra Forschungsgesellschaft Druck e. V., 2012
- [KwKi07] KWON, K.-S. ; KIM, W.: *A waveform design method for high-speed inkjet printing based on self-sensing measurement*. In: *Sensors and Actuators A: Physical* Bd. 140 (2007), Nr. 1, S. 75–83
- [Matt12] MATTS, L.: *How RFID Is Changing The Pharma Cold Chain*. URL <http://www.americanthermal.com/how-rfid-changing-pharma-cold-chain>. - abgerufen am 2013-09-22
- [MeMS03] MEICHSNER, G. ; MEZGER, T. ; SCHRÖDER, J.: *Lackeigenschaften messen und steuern* : Vincentz Network GmbH & Co KG, 2003 — ISBN 9783878707394
- [Meye06] MEYER, K.-H.: *Technik des Flexodrucks*. 5. Aufl. St. Gallen : Rek & Thomas Medien AG, 2006 — ISBN 3905330-17-2
- [MGCR97] MEGAT AHMET, M. M. H. ; GETHIN, D.T. ; CLAYPOLE, T.C. ; ROYLANCE, B.J.: *A model for ink impression into a porous substrate*. In: *J. Physics* Bd. D. Applied Physics (1997), Nr. 30
- [MüBe11] MÜLLER-BENEDICT, V.: *Grundkurs Statistik in den Sozialwissenschaften: Eine leicht verständliche, anwendungsorientierte Einführung in das sozialwissenschaftlich notwendige statistische Wissen*. 5. Ausgabe. Wiesbaden: Springer, 2011
- [Nico06] NICOLAY, K. P.: *Verpackung ist Werbung pur*. In: *Druckmarkt - Das Managementmagazin für Publishing und Print* Bd. 45 (2006)



- [Paas01] PAASCH, U.: *Farbe in Druck und Medien*. Bd. 9 v. 11. Itzehoe : Verlag Beruf + Schule, 2001 — ISBN 3-88013-612-2
- [Pawl10] PAWLOWSKI, K.: *Untersuchung zur Bestimmung der Farbdichte druckfrischer Offsetfarben mit einem Druckinspektionssystem*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Dissertation, 2010  
<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/2761>
- [Pfei70] PFEIFFER, G.: *Beitrag zum Problem der Rollvorgänge in Druckmaschinen unter besonderer Berücksichtigung der visko-elastischen Eigenschaften von Walzenbezügen*. Darmstadt, TH Darmstadt, 1970
- [Pöll00] PÖLLER, M.: *Drucktechnisches Verhalten von Siebdruckrakeln, Fogra-Forschungsbericht* (Nr. 34.010). München : Fogra, 2000
- [PöLo02] PÖLLER, M.; LOIBL, D.: *Abrieb- und Scheuerfestigkeit von Offsetdruckfarbe auf mattgestrichenen Papieren, Fogra-Forschungsbericht* (Nr. 32.122). München : Fogra, 2002
- [PWGL05] PÖLLER, M. ; WORDEL, H. ; GEMEINHARDT, J. ; LOIBL, D.: *Richtwerte für die Standardisierung des Verpackungsdrucks, Fogra-Forschungsbericht* (Nr. 32.131). München : Fogra, 2005
- [QRBC13] QUESNE, B. ; REVERDY-BRUAS, N. ; BENEVENTI, D. ; CHAUSSY, D.: *Investigation into the causes of marbling on PVC printed with water-based inks*. In: *Advances in Printing and Media*. Chemnitz, 2013
- [Ranf10] RANFELD, C.: *Drucktechnische Herstellung eines funktionalen Demonstrators*. Chemnitz, Technische Universität Chemnitz, Diplomarbeit, 2010
- [RaSD11] RANFELD, C. ; SAUER, H. M. ; DÖRSAM, E.: *Using the Halo Effect in Flexographic Printing for the Manufacturing of Source/Drain-Structures for Thin Film Transistors*. In: *Proceedings of Large-area, Organic & Printed Electronics Convention (LOPE-C) 2011*, 2011
- [ReBa12] REHME, F.; BATZKE, W.: *Applikation von RFID-Tags auf Verpackungen* (persönliche Mitteilung). Dresden: Dresdner Verpackungstagung 2012, 2012
- [RöUnoD] RÖBLER, I., UNGERER, A.: *Kommentierte Formelsammlung multivarianter statistischer Verfahren*. Universität Duisburg-Essen. Ohne Datum
- [Runk15] RUNKLER, T. A.: *Data Mining Modelle und Algorithmen intelligenter Datensysteme*. München: Springer, 2015
- [SaBD11] SAUER, H. M.; BORNEMANN, N. ; DÖRSAM, E.: *Viscous fingering in functional flexo printing: an inevitable bug?* In: *Proceedings of Large-area, Organic & Printed Electronics Convention (LOPE-C) 2011*, 2011, S. 309–312
- [Salu12] SALUN, L.: *Methode zur Beschreibung von Piezo-Inkjetsystemen mit der Netzwerktheorie*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Dissertation, 2012  
<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/3330>
- [SCFH08] SUBRAMANIAN, V.; CHANG, J.B.; DE LA FUENTE VORNBROCK, A.; HUANG, D.C.; JAGANNATHAN, L.; LIAO, F.; MATTIS, B.; MOLESA, S.; U. A.: *Printed electronics for low-*

- cost electronic systems: Technology status and application development.* In: *Solid-State Circuits Conference, 2008. ESSCIRC 2008. 34th European*, 2008, S. 17–24
- [Sens12] Sensofar PLu neox 3D Optical Profiler. In: SENSOFAR-TECH, SL. (Hrsg.) (2012)
- [ShWi65] Shapiro, S. S., Wilk, M. B.: *An analysis of variance test for normality: complete samples*, *Biometrika* 52, 591–611, 1965
- [ShHL04] SHEN, W. ; HUTTON, B. ; LIU, F.: *A new understanding on the mechanism of fountain solution in the prevention of ink transfer to the non-image area in conventional offset lithography.* In: *J. Adhesion Sci. technol.* Bd. Vol. 18 (2004), Nr. 15 - 16
- [Sieb10] SIEBERTZ, K.: *Statistische Versuchsplanung: Design of Experiments (DoE)*. Heidelberg [u.a. : Springer, 2010 — ISBN 9783642054921 3642054927 9783642054938 3642054935
- [SMMT08] SHEN, W. ; MAO, Y. ; MURRAY, G. ; TIAN, J.: *Adhesion and anti-adhesion of viscous fluids on solid surfaces—A study of ink transfer mechanism in waterless offset printing.* In: *Journal of Colloid and Interface Science* Bd. 318 (2008), Nr. 2, S. 348–357
- [Soli13] *Solid Terrain Modeling*. In: SOLID TERRAIN MODELLING, INC. (Hrsg.) (2013)
- [Stah09] STAHL, S.: *Drucktechnologien für das Drucken funktionaler Strukturen*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Diplomarbeit, 2009
- [Stah13] STAHL, S.: *Einfluss der Druckform und der Fluidviskosität auf die Schichtdicke von im Tiefdruck hergestellten Funktionsschichten und deren Charakterisierung*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Dissertation, 2013  
<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/3529>
- [StSD10] STAHL, S.; SAUER, H. M. ; DÖRSAM, E.: *Development of measurement specifications for rheological tests on fluids for printed electronics.* In: *proceedings of Large-area, Organic & Printed Electronics Convention (LOPE-C) 2010*, 2010
- [Stie13] Stier, W.: *Empirische Forschungsmethoden*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013
- [Tesc10] TESCHNER, H.: *Druck- und Medientechnik*. 13. Auflage. Aufl. Konstanz : Dr.-Ing. Paul Christiani, 2010
- [ThDö11] THEOPOLD, A. ; DÖRSAM, E.: *Characterization of flexographic printing plates with regard to the field of printed electronics.* In: *Proceedings of LOPE-C Large-area, organic & printed electronics convention*. Frankfurt, 2011 — ISBN 9783000349577 300034957X
- [Thom11] THOMAS, C. D.: *Veredelten Verpackungen gehört die Zukunft.* In: *Der Druckspiegel* (2011), Nr. 8-9
- [TrGe06] TRABER, K. ; GEMEINHARDT, J.: *Grundlagen zur Standardisierung des Bogenoffsetdrucks mit UV-Farben auf saugende und nichtsaugende Bedruckstoffe, Fogra-Forschungsbericht* (Nr. 32.137). München : Fogra, 2006
- [Voß02] VOß, C.: *Analytische Modellierung, experimentelle Untersuchungen und dreidimensionale Gitter-Boltzmann Simulation der quasistatischen und instabilen Farbspaltung*. Wuppertal, Bergische Umiversität Wuppertal, Dissertation, 2002

- [Will07] WILLIAMS, A.: *Interinstrumentelle Übereinstimmung zwischen Farb- und Dichtemessungen, Farb- und Dichtemessungen* (Ifra Special Report). Darmstadt : Ifra, 2007
- [Witt00] WITT, C.: *Spektralphotometer*. URL <http://ccorner.cc.ohost.de/images/content/images/glossar/spektralfotom.png>. - abgerufen am 2013-09-13
- [WiPa04] WIXTED, J., PASHLER, H.: *Stevens' Handbook of Experimental Psychology: Methodology in Experimental Psychology*. 3. Ausgabe. John Wiley & Sons: o.O., 2004
- [Wurs13] WURSTER, H. (VORSTANDSMITGLIED UPM-KYMMENE): (persönliche Mitteilung), 2013
- [x-rite07] x-rite: *Farnsworth Munsell. 100 Hue Test Scoring Tool*, 2007

Anhang

Anhang 1

Tabelle A1 Signifikanztabelle der Varianzanalyse der Daten aller Druckverfahren

alle Druckverfahren zusammengefasst	Differenz der Farbdichte Vollton	Differenz der Tonwert	Differenz der Tonwertzunahme 80% Raster	Differenz der Tonwertzunahme 40% Raster	Differenz der Tonwert EAS Etikettental zu Etikettenrand 100% Vollfläche	Differenz der Tonwert EAS Etikettental zu Primärsubstrat 100% Vollfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettental zu Etikettenrand 80% Rasterfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettental zu Primärsubstrat 80% Rasterfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettental zu Etikettenrand 40% Rasterfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettental zu Primärsubstrat 40% Rasterfläche	Differenz Delta E auf 100% Vollfläche	Differenz Delta E auf 80% Rasterfläche	Differenz Delta E auf 40% Rasterfläche	Mittelwert Homogenität 40% Rasterfläche	Median Homogenität 40% Rasterfläche	Mittelwert Homogenität 80% Rasterfläche	Median Homogenität 80% Rasterfläche	Mittelwert Homogenität 100% Vollfläche	Median Homogenität 100% Vollfläche	Mittelwert Glanzintensität 40% Rasterfläche	Median Glanzintensität 40% Rasterfläche	Mittelwert Glanzintensität 80% Rasterfläche	Median Glanzintensität 80% Rasterfläche	Mittelwert Glanzintensität 100% Vollfläche	Median Glanzintensität 100% Vollfläche	Mittelwert Kantenwahrnehmung 40% Rasterfläche	Median Kantenwahrnehmung 40% Rasterfläche	Mittelwert Kantenwahrnehmung 80% Rasterfläche	Median Kantenwahrnehmung 80% Rasterfläche	Mittelwert Kantenwahrnehmung 100% Vollfläche	Median Kantenwahrnehmung 100% Vollfläche
Druckverfahren	***	-	**	***		*	***		***	***				***	***			***	***	***	***	***	***	***	***	**	*			***	***
Primärsubstrat	***	-		***					**	*	***	***								*						*				*	
Sekundärschicht	***	-	**	***					***	*	***	***	***	***	*	***	***	***	***	*	*	*	*	*		***	***	***	***	***	***
Hersteller Primer		-													*																
Primerverwendung		-																													**
Primer Dichte		-																													
Primer Viskosität		-	*	*				*		*																					
Siebdruckfluid	*	-		**							***		*	*	*	*	*	*	*	**	*	***	***	***	***			**	***	***	***
Siebdruckschicht I		-								**				*		*	*	*	***	**	***	***	***	***	*	***	***	***	***	***	***
Siebdruckschicht II		-								***	*			**	**	**	***	**	**		*					***	***	***	***	***	***
Gesamtdicke		-							*					**	**	*	***									*	***	**	*	*	*
Hersteller Flexoweiß		-																													
Flexoweißverwendung	*	-		*			**		***	*	*									**	*	**	*	*	*	*	*	**	**	*	**
Flexoweiß Oberflächenenergie		-			*																*										
Flexoweiß Viskosität		-																													
Geschwindigkeit		-											*	***	**																
Temperatur Niveaueausgleich		-				*	*							*	*						**		*				*		*	*	**
Luftfeuchtigkeit Niveaueausgleich	*	-			**				***				*	**	**	*										**	**	***	**	**	**
Temperatur grafischer Überdruck		-													*																
Luftfeuchtigkeit grafischer Überdruck		-			**																					*					
Hersteller Flexoform		-					*									**	**	*	*	*	**	**	*	*	*						*



Tabelle A3 Signifikanztabelle der Varianzanalyse der Daten aus dem Inkjetdruck

Inkjetdruck	Differenz der Farbdichte Vollton																														
	Differenz der Tonwert 100% Vollfläche	Differenz der Tonwertzunahme 80% Raster	Differenz der Tonwertzunahme 40% Raster	Differenz der Tonwert EAS Etikettenrand zu Etikettenrand 100% Vollfläche	Differenz der Tonwert EAS Etikettenrand zu Primärsubstrat 100% Vollfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettenrand zu Etikettenrand 80% Rasterfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettenrand zu Primärsubstrat 80% Rasterfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettenrand zu Etikettenrand 40% Rasterfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettenrand zu Primärsubstrat 40% Rasterfläche	Differenz Delta E auf 100% Vollfläche	Differenz Delta E auf 80% Rasterfläche	Differenz Delta E auf 40% Rasterfläche	Mittelwert Homogenität 40% Rasterfläche	Median Homogenität 40% Rasterfläche	Mittelwert Homogenität 80% Rasterfläche	Median Homogenität 80% Rasterfläche	Mittelwert Homogenität 100% Vollfläche	Median Homogenität 100% Vollfläche	Mittelwert Glanzintensität 40% Rasterfläche	Median Glanzintensität 40% Rasterfläche	Mittelwert Glanzintensität 80% Rasterfläche	Median Glanzintensität 80% Rasterfläche	Mittelwert Glanzintensität 100% Vollfläche	Median Glanzintensität 100% Vollfläche	Mittelwert Kantenwahrnehmung 40% Rasterfläche	Median Kantenwahrnehmung 40% Rasterfläche	Mittelwert Kantenwahrnehmung 80% Rasterfläche	Median Kantenwahrnehmung 80% Rasterfläche	Mittelwert Kantenwahrnehmung 100% Vollfläche	Median Kantenwahrnehmung 100% Vollfläche	
Primärsubstrat		-	**								**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	*			**	**	**	**	**	**	
Sekundärschicht	***	-	***						*	*	***	**	**	***	*	**	*			*	*					***	***	***	***	***	***
Hersteller Primer		-										**	***	*	**	*															
Primerverwendung		-		*	*																										
Primer Dichte		-	*	*								*																			
Siebdruckfluid		-									***	***	*	*	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***			*	**	**	
Siebdruckschicht I		-		**	**								*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Siebdruckschicht II	*	-		***	*							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Gesamtdicke		-																	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**		
Hersteller Flexoweiß		-																*	***												
Flexoweißverwendung		-					*		*	*	*									**		*			*	*	*	*	*	*	
Hersteller Flexoform		-																													
Geschwindigkeit		-																						**	**						
Temperatur Niveaueausgleich	*	-		***	***							**	**								**	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Luftfeuchtigkeit Niveaueausgleich		-		**	**																										
Temperatur grafischer Überdruck		-								*								**	**	**	**	**	*	*	*	*	*	*	*	*	
Luftfeuchtigkeit grafischer Überdruck		-		**	*							*							**	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
InkjetEinstellung		-																					**	*	*	*	*	*	*	*	









Tabelle A7 Signifikanztabelle der Effektanalyse der Daten aus dem Inkjetdruck

Inkjetdruck	Differenz der Farbdichte Vollton	Differenz der Tonwertzunahme 100% Vollfläche	Differenz der Tonwertzunahme 80% Raster	Differenz der Tonwertzunahme 40% Raster	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettenrand 100% Vollfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettenrand zu Primärsubstrat 100% Vollfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettenrand 80% Rasterfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettenrand zu Primärsubstrat 80% Rasterfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettenrand 40% Rasterfläche	Differenz der Tonwertzunahme EAS Etikettenrand zu Primärsubstrat 40% Rasterfläche	Differenz Delta E auf 100% Vollfläche	Differenz Delta E auf 80% Rasterfläche	Differenz Delta E auf 40% Rasterfläche	Mittelwert Homogenität 40% Rasterfläche	Median Homogenität 40% Rasterfläche	Mittelwert Homogenität 80% Rasterfläche	Median Homogenität 80% Rasterfläche	Mittelwert Homogenität 100% Vollfläche	Median Homogenität 100% Vollfläche	Mittelwert Glanzintensität 40% Rasterfläche	Median Glanzintensität 40% Rasterfläche	Mittelwert Glanzintensität 80% Rasterfläche	Median Glanzintensität 80% Rasterfläche	Mittelwert Glanzintensität 100% Vollfläche	Median Glanzintensität 100% Vollfläche	Mittelwert Kantenwahrnehmung 40% Rasterfläche	Median Kantenwahrnehmung 40% Rasterfläche	Mittelwert Kantenwahrnehmung 80% Rasterfläche	Median Kantenwahrnehmung 80% Rasterfläche	Mittelwert Kantenwahrnehmung 100% Vollfläche	Median Kantenwahrnehmung 100% Vollfläche
	Primärsubstrat	*	-	**	***							*	**	***	***	***	***	***	***	***	*	*	*								
Sekundärschicht		-	**	***																							*			*	
Hersteller Primer		-																													
Primerverwendung		-																													
Primer Dichte		-		**																											
Primer Oberflächenenergie																															
Siebdruckfluid		-									**	***							*	*	*	***	***	***	***			*	*	**	
Siebdruckschicht I		-	**	**																											
Siebdruckschicht II		-	**	**																											
Gesamtdicke		-	**	**																											
Hersteller Flexform													*	*	*	*	*	**	*		*										
Hersteller Flexweiß		-		*						*																					
Flexweißverwendung		-																													
Geschwindigkeit		-																					**	**							
Temperatur Niveaueausgleich		-																													
Luftfeuchtigkeit Niveaueausgleich		-																													
Temperatur grafischer Überdruck		-	*																		*	**	**								
Luftfeuchtigkeit grafischer Überdruck		-								*																					
InkjetEinstellung		-																					*	**							



### Anhang 3

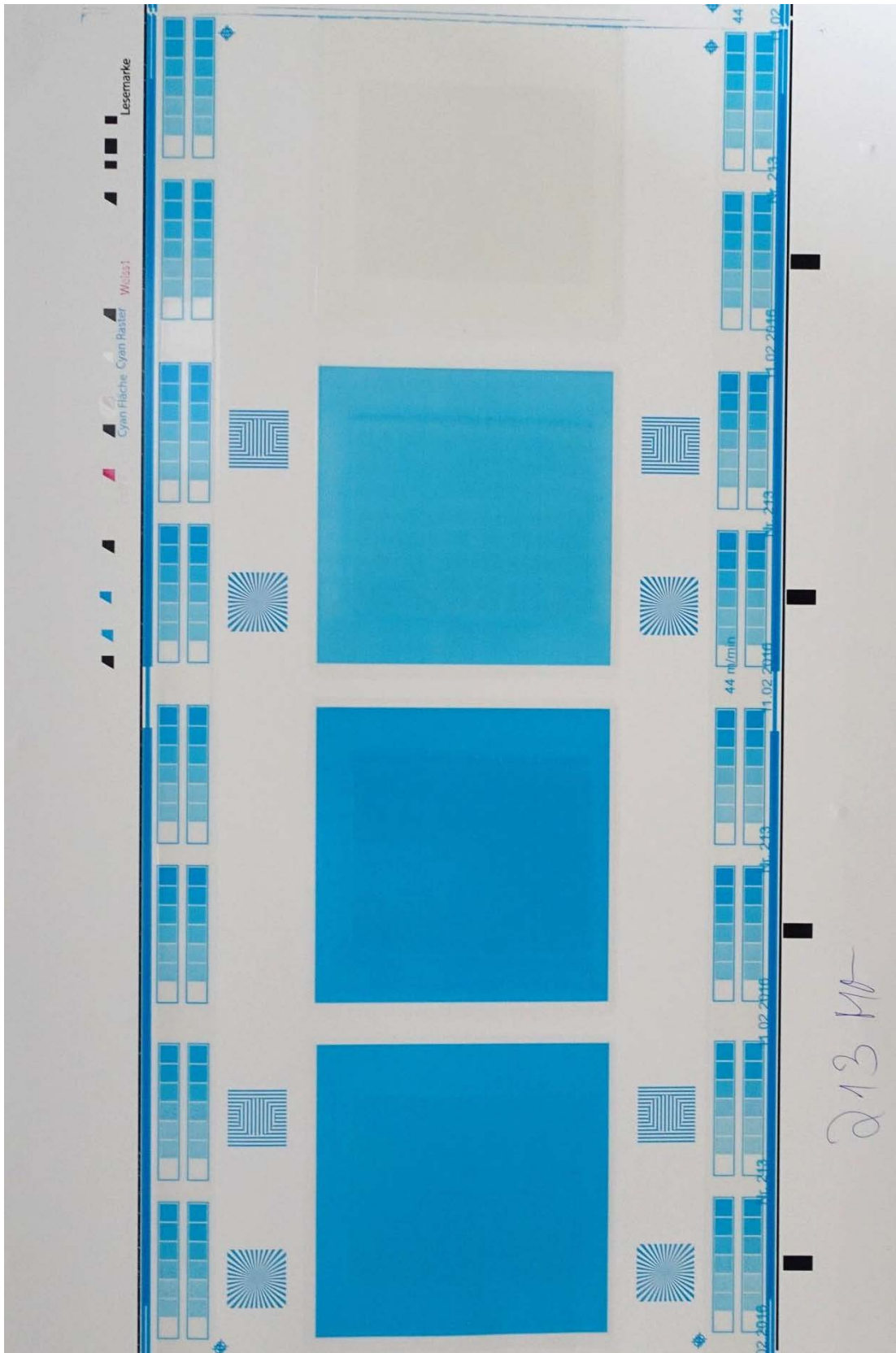


Abbildung A1: Zusammensetzung einer Druckprobe: Vollfläche, 80 % Raster, 40 % und Weißreferenz (v.l.n.r.); Probe mit einem überdruckten Folienetikett (Niveaueausgleich und grafischer Überdruck)