

Abschlussbericht

zum DBU-Forschungsvorhaben

Ökologischer Rolle-zu-Rolle-Digitaldruck mit Pigmenttinten auf Textil

(AZ 32850/01)

Laufzeit: 01.03.2016 – 28.02.2018

durchgeführt von: Multi-Plot Europe GmbH
Industriestr. 1-3
34308 Bad Emstal



Projektleitung: Dipl.-Ing. Joachim Rees

in Kooperation mit: Hochschule Niederrhein
Forschungsinstitut für Textil und Bekleidung (FTB)
Webschulstr. 31
41065 Mönchengladbach



gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt



Bad Emstal im Mai 2018

An der Erstellung des Abschlussberichts haben mitgewirkt:



Multi-Plot Europe GmbH

Joachim Rees

Kontaktdaten:

E-Mail: j.rees@multiplot.de

Telefon: +49 (0) 56 24 / 9 23 58-00



Hochschule Niederrhein

Forschungsinstitut für Textil und Bekleidung (FTB)

Dr. Michael Korger

Christine Steinem

Prof. Dr.-Ing. Maïke Rabe

Kontaktdaten:

E-Mail: maïke.rabe@hs-niederrhein.de

michael.korger@hs-niederrhein.de

Telefon: +49 (0) 2161 / 186-6099

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	32850/01	Referat	31	Fördersumme	199.858 €
----	-----------------	---------	-----------	-------------	------------------

Antragstitel **Ökologischer Rolle-zu-Rolle-Digitaldruck mit Pigmenttinten auf Textil**

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
2 Jahre	1.3.2016	28.2.2018	

Zwischenberichte	28.2.2017
------------------	-----------

Bewilligungsempfänger	Multi-Plot Europe GmbH Industriestr. 1-3 34308 Bad Emstal	Tel	05624 / 92358-00
		Fax	05624 / 92358-15
		Projektleitung	
		Dipl.-Ing. Joachim Rees	
		Bearbeiter	
		J. Rees (M-Plot), M. Korger (HN)	

Kooperationspartner Hochschule Niederrhein (HN)
Forschungsinstitut für Textil und Bekleidung (FTB)
Webschulstr. 31
41065 Mönchengladbach

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Der konventionelle Siebdruck unter Verwendung von Schablonen und Pigmenttinten dominiert zurzeit die textile Druckindustrie. Im Vergleich dazu zeichnet sich der Digitaldruck auf Textil durch wesentliche ökologische Vorteile wie deutliche Einsparungen von Wasser und Chemikalien sowie Reduktion von Abfällen und Abwassermengen aus. Die fehlende Zuverlässigkeit des digitalen Pigmentdrucks verhinderte jedoch bisher eine breite wirtschaftliche Umsetzung. Durch das Angebot neuer Digitaldrucker, Druckkopftechnologien und Pigmenttinten soll in diesem Vorhaben ein speziell für den Heimtextilsektor ökologisches, wirtschaftliches und wettbewerbsfähiges Digitaldruckverfahren (Rolle-zu-Rolle) mit Pigmenttinten für den mittleren Produktionsmaßstab entwickelt werden. Das Angebot einer kompakten Digitaldrucklösung soll durch Einsatz eines energiesparenden und mit Carbonpulver beheizten Transferkalenders mit kurzen Vorlauf- und Aufheizraten für die anschließende Druckfixierung ergänzt werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Entwicklung einer komplett digitalisierten Prozesskette im digitalen Pigmentdruck soll durch eine Neuanpassung und Feinabstimmung der Hauptkomponenten untereinander in der Digitaldruckeinheit realisiert werden: Hardware (Drucker / Druckköpfe), Tinte, Software (RIP / Farbmanagement) und Textil. Neben der Anpassung einer Reihe gerätetechnologischer Parameter (z. B. Druckkopfansteuerung, Bemessung von Druckgeschwindigkeit, Tintenauftragsmenge und Reinigungszyklen) müssen nach Analyse der Tinten entsprechende Digitaldruckvorbehandlungen identifiziert und entwickelt werden, um ausreichende Konturenschärfe, Reib- und Waschechtheiten der Pigmentdrucke mit guten Griffeigenschaften zu erreichen. Gleichzeitig müssen für verschiedene Grundwaren durch gezieltes Farbmanagement standardisierte Druckprofile erprobt und erstellt werden, um eine gleich bleibende Druckqualität sicherzustellen. In der Gesamtheit soll dabei ein Höchstmaß an Flexibilität in Bezug auf Muster und Materialien geboten und eine durchgängige Darstellung entsprechender Farbkonzepte in einem digitalen Achtfarben-Druck ermöglicht werden. Für die Trockenfixierung nach dem Druck erfolgt eine energieeffiziente Anpassung und Optimierung des Kalenders bezüglich der Prozessvariablen, Heiz-Kennlinie und Warenführung. Abschließend soll der gesamte Prozess hinsichtlich seiner Umweltrelevanz bewertet werden.

Ergebnisse und Diskussion

In diesem Vorhaben wurde zunächst ein Rolle-zu-Rolle-Digitaldrucker erfolgreich für den digitalen Pigmentdruck mit acht Farben unter Einbezug eines Carbonkalenders für den anschließenden Fixierprozess auf Textil verfahrenstechnisch eingestellt und konfiguriert. In beiden Projektjahren verliefen die durchgeführten Drucktests nach Optimierung der Prozessvariablen (Umgebungsbedingungen, Wartungsintervalle, Einstellungen für Druckköpfe und Tintenfluss) und Erstellung von geeigneten Farbprofilen ohne nennenswerte Ausfälle. Als textile Substrate wurden verschiedene Baumwollgewebe (Leinwand, Satin und Biber) aus dem Heimtextilbereich (Bettwäsche) und auch Polyesterware für die Druckexperimente gewählt. In allen Fällen war das Aufbringen einer Digitaldruckpräparation auf das gewaschene Textil erforderlich, um die geforderten Druckqualitäten und Farbechtheiten zu erhalten. Ideal erwies sich das einfache Leinwandgewebe ausgerüstet mit einer wässrigen, kationischen Polyurethanbinder-Suspension (4-5 % Feststoffgehalt). Farbstärke (Farbbrillanz) und Konturenschärfe sind deutlich verbessert und die Farbechtheiten gegenüber Reiben (schwarz Note 4-5 (trocken/nass), CMY 3-4 bis 4-5), Waschen (schwarz 15 x 60 °C, Note 4-5) und Licht (CMYK Note \geq 6) genügen nach Norm den gestellten Anforderungen. Der Griff des Textils ist nicht wesentlich durch Pigmentdruck und Präparation beeinflusst. Die glatte Satin-Baumwollware zeigt im Vergleich nur leichte Einbußen in den Waschechtheiten, die auch unter Praxisbedingungen in einer Waschmaschine bestätigt wurden. Beim haarigen Biber-Flanelltextil wirkt sich der im Digitaldruck geringe Farbauftrag nachteilig aus, so dass dunkle Farbtöne blass wirken und auch die Reibechtheiten sind erniedrigt. Reines Polyestertextil liefert gute Druckqualitäten, jedoch sind hier die nassen Reibechtheiten verschlechtert. Abhilfe kann hier die Verwendung von Polyesterblends mit Baumwollanteil schaffen. Hinsichtlich der textilen Nachhaltigkeit zeigen die digitalen Pigmentdrucke nach geeigneter textiler Präparation (Ausnahme Biberware) erfreulicherweise einen sehr geringen Abrieb, speziell auch im Vergleich zum konventionellen Siebdruck mit Pigmenttinten, bei dem der Pigmentanteil auf dem Textil sogar höher ist.

Der ökoeffiziente Einsatz eines Carbonkalenders anstelle eines Ölkalenders zur Fixierung des Pigmentdrucks kann als eine preiswerte Alternative betrachtet werden, wenn kurze Metragen fixiert werden und hohe Flexibilität mit häufigen Aufheiz- und Abkühlphasen der Heizwalze gefragt ist.

Beim Siebdruck hat bei der ökologischen Bewertung neben einem bis zu 20fach höheren Chemikalien- bzw. Pastenauftrag die Fertigung und Reinigung (hoher Wasserverbrauch) der Druckschablonen den größten Impact im Vergleich zum Digitaldruck. Mit steigender Anzahl benötigter Spottfarben bzw. Schablonen (hoher Kostenfaktor) und abnehmenden Batchlängen wird der Digitaldruck auch in ökonomischer Hinsicht die kostengünstigere und sparsamere Technologie.

Eine direkte Gegenüberstellung des digitalen Pigmentdrucks mit dem digitalen Reaktivdruck ergibt einen um 75-80 % verringerten Chemikalienverbrauch bei der Textilpräparation und eine Energieersparnis von 60 % oder mehr bei Betrachtung des jeweiligen Fixiervorgangs, welcher beim Pigmentdruck zudem vollkommen wasser- und abwasserfrei verläuft. Im ökonomischen Sinn muss zusätzlich zur Zeit- und indirekten Kostenersparnis durch die Ressourcenschonung der zurzeit noch höhere Preis für die Pigmenttinten berücksichtigt werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Vorträge: 4th International Digital Textile Congress 2016 (15.-16.09.2016, Gent); Textile Day, Multi-Plot (28.07.2017, Bad Emstal); The Inkjet Conference TheIJC 2017 (24.-25.10.2017, Neuss/Düsseldorf); 7. PIUS-Länderkonferenz (13.-14.06.2018, Bielefeld).

Veröffentlichungen: A. Farnung, Multi-Plot: Textile Day wirft Blick in die Zukunft, Fachzeitschrift für Textilveredlung und Promotion TVP, 4, 2017, 39-41; M. Rabe, Forscher entwickeln Lösung für sparsamen digitalen Pigmentdruck auf Textil, Coating, 5, 2018, 14-15.

Fazit

Die Projektpartner konnten zeigen, dass der digitale Pigmentdruck sowohl von der Verfahrens- und Maschinenteknik als auch von den erhaltenen Druckergebnissen im Heimtextilbereich gut einsetzbar ist. Die gleichbleibende Qualität und Echtheit der Drucke auf Baumwollgewebe wurde durch Ausrüstung mit geeigneten Digitaldruckpräparationen sichergestellt. Die Ressourcenschonung im Vergleich zum konventionellen Siebdruck und digitalen Reaktivdruck wurde demonstriert. Für eine industrielle Nutzung muss sich nun die Stabilität einer solch kompakten Digitaldrucklösung in längeren Praxistests beweisen. Die Einsatzmöglichkeiten dieser umweltfreundlichen Technologie für andere die Individualisierung betreffenden Geschäftsbereiche (z. B. Tapetendruck, Drucke im Objektbereich) sollten verfolgt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	8
2	Einführung / Motivation	9
2.1	Konventioneller Textildruck vs. Digitaldruck	10
2.2	Digitaler Reaktivdruck vs. Pigmentdruck	11
2.3	Zielsetzung	11
3	Methodik / Vorgehensweise	12
3.1	Auswahl von Druckmotiven, Textilwaren und Ausrüstungsmitteln.....	13
3.2	Maschinentechnische Optimierungen.....	15
4	Projektergebnisse.....	17
4.1	Druckbildqualität	17
4.1.1	Gesamtbildeindruck	17
4.1.2	Farbstärke / Farbintensität	18
4.1.3	Konturenschärfe.....	19
4.2	Farbechtheiten	20
4.2.1	Farbechtheit gegen Reiben (Reibechtheit)	20
4.2.2	Farbechtheit bei Wäsche (Waschechtheit)	22
4.2.3	Farbechtheit gegen Licht (Lichtechtheit)	25
4.3	Analyse der textilen Vorbehandlungsmittel und Tinten.....	25
4.4	Zusammenfassung und Bewertung	26
4.5	Sonstige Anwendungsfelder des digitalen Pigmentdrucks	29
5	Ausarbeitung eines Prozessmodells für die spezifischen Druckprozesse des digitalen Pigmentdrucks und Pigmentrotationsdrucks	30
6	Vergleich zwischen digitalem Pigmentdruck und Reaktivdruck – Ökologie und Ökonomie	36
7	Öffentlichkeitsarbeit	39
8	Danksagung	39
9	Literatur	40

Anhang

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Übersicht globaler Textildruckmarkt mit anteiligem Digitaldruck (ausgenommen DTG (Textildirektdruck), Großformat-Signage, Teppich/Fliesen) [3,4]...</i>	10
<i>Abbildung 2: Vergleich der Prozessschritte im A) digitalen Reaktiv- (oben) und B) Pigmentdruck (unten)</i>	11
<i>Abbildung 3: Darstellung des zu entwickelnden Digitaldrucksystems mit aufeinander abzustimmenden Einheiten</i>	12
<i>Abbildung 4: Arbeits- und Zeitplan.....</i>	12
<i>Abbildung 5: Druckbilder für Beurteilung der Konturenschärfe und Farbbrillanz</i>	14
<i>Abbildung 6: Digitaldrucker Teleios Grande G5 bei Multi-Plot mit Druckergebnissen der ersten Versuchsreihe</i>	15
<i>Abbildung 7: System zur Luftentfernung aus den Tintenschläuchen und acht Farbentanks mit Filter.....</i>	16
<i>Abbildung 8: Carbonkalender Heatjet 132 bei Multi-Plot mit zeitabhängiger Leistungsaufnahme</i>	16
<i>Abbildung 9: Druckresultate der ersten Versuchsreihe auf Baumwollware (schlechteste und beste Farbbrillanz).....</i>	17
<i>Abbildung 10: Gemessene Farbstärken (CMC / D65) von Vorder- und Rückseite ganzflächig schwarz bedruckter Textilmuster aus CO-Haustuchware.....</i>	18
<i>Abbildung 11: Schwarzflächen auf Baumwollware (oben Vorderseite, unten Rückseite; links: unbehandelt, Mitte: PT4-P10 100 g/l und 150 g/l, rechts P1-IA_DTG).....</i>	19
<i>Abbildung 12: Kreismuster auf Papier (links) und auf Baumwollware (rechts) ausgerüstet mit PT4-P10 100 g/l.....</i>	19
<i>Abbildung 13: Reibechtheiten (trocken / nass) nach DIN EN ISO 105-X12 (Crockmeter-Test) von ganzflächig schwarz bedruckten Textilmustern aus CO-Haustuchware (Bewertung nach DIN EN 20105-A03).....</i>	20
<i>Abbildung 14: Mikroskopaufnahme (Unterlicht) von Haustuchware vor (links) und nach dem Waschen (rechts).....</i>	21
<i>Abbildung 15: Waschechtheiten nach DIN EN ISO 105-C06 C1S (5 x 30 min @ 60 °C @ pH = 10,5) von ganzflächig schwarz bedruckten Textilmustern aus CO-Haustuchware (Bewertung nach DIN EN 20105-A02).....</i>	23
<i>Abbildung 16: Schwarzflächen vor (unterhalb) und nach 15 Waschzyklen (oberhalb) auf A: CO Haustuch, B: CO Satin, C: CO Biber, D: PES (jeweils digitaler Pigmentdruck) im Vergleich zu E (Siebdruck Pigment auf CO Haustuch) und F (digitaler Reaktivdruck auf CO Satin)</i>	24
<i>Abbildung 17: Ermittelte Farbechtheiten von Reaktivdruck digital, Pigmentdruck digital und Pigmentdruck konventionell (Siebdruck) im Vergleich</i>	27
<i>Abbildung 18: Abrasionsverhalten schwarzer Drucke nach Touren Martindale (DIN EN ISO 12947-2, 12 kPa, Bewertung nach DIN EN 20105-A02)</i>	28

Abbildung 19: Scheuerproben nach 5.000 Touren Martindale (DIN EN ISO 12947-2, 12 kPa) von A: Digital Pigm. Biber CO, B: Digital Pigment Satin CO, C: Digital Pigm. PES, D: Digital Pigm. Haustuch CO, E: Siebdruck Pigm. Haustuch CO und F: Digital Reaktiv Satin CO	28
Abbildung 20: verschiedene Druckmuster vom Digitaldruck mit dgen-Pigmenttinten auf bedruckbarer Tapete	29
Abbildung 21: schematische Aufstellung der Prozessmodule unter Berücksichtigung von Input-, Output- und Zwischenproduktflüssen	30
Abbildung 22: Produktsystem für den Rotationsdruck auf Carina bei Junkers & Müllers	32
Abbildung 23: Produktsystem für den digitalen Pigmentdruck auf Carina bei Multi-Plot	33
Abbildung 24: Vergleichende Darstellung der Inputströme im Rotations- und Digitaldruck (Pigment)	34
Abbildung 25: Leistungsaufnahme des Carbonkalenders Heatjet 132 im Vergleich zu der eines Ölkalenders entsprechender Kapazität bei Aufheizen auf 165 °C Solltemperatur im Leerlauf	35
Abbildung 26: Leistungsaufnahmen von Carbonkalender (Heatjet 71) und Dämpfer (B-STeam) im Vergleich	37
Abbildung 27: Dämpfer B-STeam von SETeMa B.V. an der Hochschule Niederrhein	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Waschechtheiten nach DIN EN ISO 105-C06 C1S (15 x 30 min @ 60 °C @ pH = 10,5) von ganzflächig schwarz bedruckten Textilmustern (Bewertung nach DIN EN 20105-A02)	24
Tabelle 2: Darstellung einzelner Prozessschritte im Textildruck und deren umweltrelevanten Einflussfaktoren.....	33
Tabelle 3: Grundlegende Zusammensetzung einer Digitaldruckpräparation für Reaktivdruck	36
Tabelle 4: Strom- und Wasserverbrauch beim digitalen Reaktivdruck im Vergleich zum Pigmentdruck (* geschätzter Wert, ** bei 60-70 % Restfeuchte)	38

Abkürzungen

CO	Baumwolle
DTG	Direct-To-Garment (Textildirektdruck)
PES	Polyester
PFDP	Prepared For Digital Printing (für Digitaldruck ausgerüstet)
PFP	Prepared For Printing (für den Textildruck vorbehandelt, z. B. gebleicht und gewaschen)
PU	Polyurethan

1 Zusammenfassung

In diesem Vorhaben wurde zunächst ein Rolle-zu-Rolle-Digitaldrucker erfolgreich für den digitalen Pigmentdruck mit acht Farben unter Einbezug eines Carbonkalenders für den anschließenden Fixierprozess auf Textil verfahrenstechnisch eingestellt und konfiguriert. In beiden Projektjahren verliefen die durchgeführten Drucktests nach Optimierung der Prozessvariablen (Umgebungsbedingungen, Wartungsintervalle, Einstellungen für Druckköpfe und Tintenfluss) und Erstellung von geeigneten Farbprofilen ohne nennenswerte Ausfälle. Als textile Substrate wurden verschiedene Baumwollgewebe (Leinwand, Satin und Biber) aus dem Heimtextilbereich (Bettwäsche) und auch Polyesterware für die Druckexperimente gewählt. In allen Fällen war das Aufbringen einer Digitaldruckpräparation auf das gewaschene Textil erforderlich, um die geforderten Druckqualitäten und Farbechtheiten zu erhalten. Ideal erwies sich das einfache Leinwandgewebe ausgerüstet mit einer wässrigen, kationischen Polyurethanbinder-Suspension (4-5 % Feststoffgehalt). Farbstärke (Farbbrillanz) und Konturenschärfe sind deutlich verbessert und die Farbechtheiten gegenüber Reiben (schwarz Note 4-5 (trocken/nass), CMY 3-4 bis 4-5), Waschen (schwarz 15 x 60 °C, Note 4-5) und Licht (CMYK Note ≥ 6) genügen nach Norm den gestellten Anforderungen. Der Griff des Textils ist nicht wesentlich durch Pigmentdruck und Präparation beeinflusst. Die glatte Satin-Baumwollware zeigt im Vergleich nur leichte Einbußen in den Waschechtheiten, die auch unter Praxisbedingungen in einer Waschmaschine bestätigt wurden. Beim haarigen Biber-Flanelltextil wirkt sich der im Digitaldruck geringe Farbauftrag nachteilig aus, so dass dunkle Farbtöne blass wirken und auch die Reibecktheiten sind erniedrigt. Reines Polyestertextil liefert gute Druckqualitäten, jedoch sind hier die nassen Reibecktheiten verschlechtert. Abhilfe kann hier die Verwendung von Polyesterblends mit Baumwollanteil schaffen. Hinsichtlich der textilen Nachhaltigkeit zeigen die digitalen Pigmentdrucke nach geeigneter textiler Präparation (Ausnahme Biberware) erfreulicherweise einen sehr geringen Abrieb, speziell auch im Vergleich zum konventionellen Siebdruck mit Pigmenttinten, bei dem der Pigmentanteil auf dem Textil sogar höher ist.

Der ökoeffiziente Einsatz eines Carbonkalenders anstelle eines Ölkalenders zur Fixierung des Pigmentdrucks kann als eine preiswerte Alternative betrachtet werden, wenn kurze Metragen fixiert werden und hohe Flexibilität mit häufigen Aufheiz- und Abkühlphasen der Heizwalze gefragt ist.

Beim Siebdruck hat bei der ökologischen Bewertung neben einem bis zu 20fach höheren Chemikalien- bzw. Pastenauftrag die Fertigung und Reinigung (hoher Wasserverbrauch) der Druckschablonen den größten Impact im Vergleich zum Digitaldruck. Mit steigender Anzahl benötigter Spotfarben bzw. Schablonen (hoher Kostenfaktor) und abnehmenden Batchlängen wird der Digitaldruck auch in ökonomischer Hinsicht die kostengünstigere und sparsamere Technologie.

Eine direkte Gegenüberstellung des digitalen Pigmentdrucks mit dem digitalen Reaktivdruck ergibt einen um 75-80 % verringerten Chemikalienverbrauch bei der Textilpräparation und eine Energieersparnis von 60 % oder mehr bei Betrachtung des jeweiligen Fixiervorgangs, welcher beim Pigmentdruck zudem vollkommen wasser- und abwasserfrei verläuft. Im ökonomischen Sinn muss zusätzlich zur Zeit- und indirekten Kostenersparnis durch die Ressourcenschonung der zurzeit noch höhere Preis für die Pigmenttinten berücksichtigt werden.

Für eine industrielle Nutzung muss sich nun die Stabilität einer solch kompakten Digitaldrucklösung in längeren Praxistests beweisen.

2 Einführung / Motivation

Der gesamte Textildruckmarkt unterliegt aufgrund zunehmender Weltbevölkerung, vermehrtem Wohlstand und immer schneller wechselnder Modezyklen einem steten Wachstum mit Wachstumsraten von jährlich über einem Prozent [1]. Diesbezüglich wird die Textilindustrie üblicherweise in zwei Marktsegmente eingeteilt: in den Soft-Signage-Druck (Werbegrafiken gedruckt auf Textil für Displays, Banner und Fahnen) und den industriellen Textildruck mit einem mehr als doppelt so großem Marktvolumen. Der industrielle Textildruck umfasst die Bekleidung (anteilig 54 %), Heimtextilien (textile Hausausstattung) (anteilig 38 %) und technische Textilien (anteilig 8 %) [2]. Besonders hier werden noch überwiegend konventionelle, analoge Textildrucktechniken angewendet, die einen außerordentlich hohen Wasser- und Chemikalienverbrauch verursachen. Unter allen aufkommenden Digitaldrucktechnologien ist der digitale Textildruck mit Pigmenttinten dasjenige Verfahren, welches unter ökologischen Gesichtspunkten der Vorreiter ist. Es konnte sich jedoch in der Praxis vor allem auch im Heimtextilsektor bis heute aus technischen Gründen noch nicht etablieren. Dieses Vorhaben trägt dazu bei, dass der Pigmentdruck auf Textil mit Digitaldrucktechnologie im angestrebten Produktionsmaßstab Einzug in den industriellen Textildruckmarkt erhält und damit deutlich zur Umweltentlastung beisteuert.

2.1 Konventioneller Textildruck vs. Digitaldruck

Der Digitaldruck auf Textil verringert im Vergleich zum konventionellen Textildruck mit Flach- und Rotationsschablonen den Zeitaufwand für die Produktentwicklung und die Produktionszeiten bei gleichzeitig hoher Flexibilität erheblich. Man ist in der Lage, mit hoher Präzision in kurzer Zeit neue Musterungen oder Prototypen herzustellen, auf Änderungen einzugehen und schnell Optimierungen durchzuführen. Die wesentlichen ökologischen Vorteile sind dabei:

- Signifikante Reduktion des Wasserverbrauchs
- Minimierung eingesetzter Chemikalienmengen (Verdicker, Farbstoffpalette)
- Verzicht auf Druckschablonen (Ressourcenschonung)
- Reduktion von Abfällen (keine Restdruckpasten)

Dennoch beträgt nach aktuelleren Zahlen von 2016 der Marktanteil des digitalen Inkjetdrucks am gesamten Textildruckmarkt nur etwa 4-5 % [3,4]. Obwohl sich im textilen Digitaldruckmarkt seit 2011 eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von 30-40 % bestätigte, wird die übergroße Mehrheit textiler Flächen von ca. 34 Mrd. m² pro Jahr noch mit konventionellen Drucktechniken bedruckt, davon über die Hälfte mit Pigmentdruck (siehe Abb. 1).

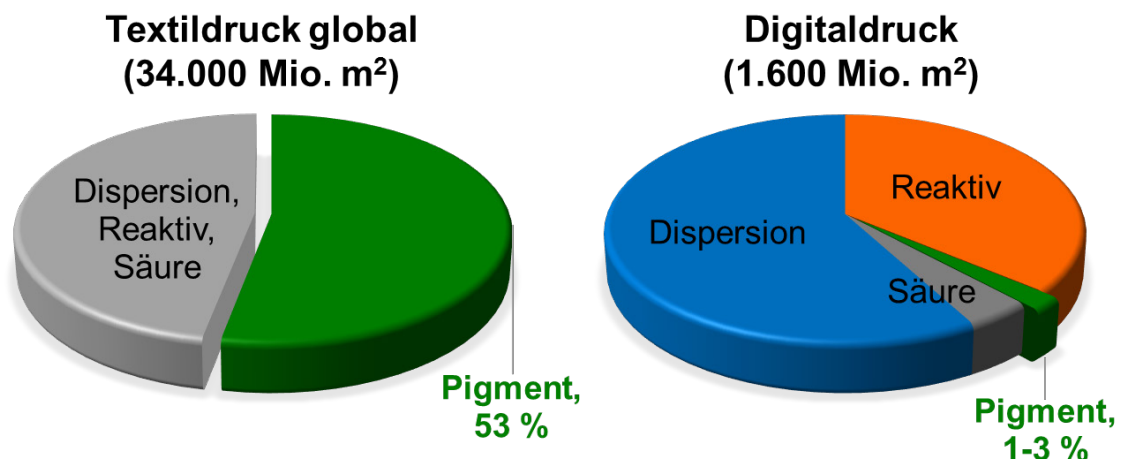


Abbildung 1: Übersicht globaler Textildruckmarkt mit anteiligem Digitaldruck (ausgenommen DTG (Textildirektdruck), Großformat-Signage, Teppich/Fliesen) [3,4]

Speziell im Heimtextilsektor (Kissen, Bett- und Tischdecken, Vorhänge, Gardinen, Rollos etc.) dominiert noch die herkömmliche analoge Drucktechnologie mit Pigmentpasten. Die Verwendung von Pigmentpasten ermöglicht gegenüber anderen Farbstoffsystemen (Reaktiv-, Dispersions- oder Säurefarbstoffen) eine einfachere und kostensparende Prozessführung und liefert die folgenden entscheidenden Vorteile:

- Pigmente preiswerter als Farbstoffe
- kein Dämpf- und Waschprozess nach dem Druck notwendig (wasserfreie Fixierung)
- Vielseitigkeit (Druck auf verschiedenen Textilsubstraten wie Baumwolle (CO), Wolle (WO), Polyester (PES) und Blends)
- höhere UV-Stabilität bei allen Farben (bessere Lichtechtheiten)

Die fehlende Zuverlässigkeit in Prozesstechnik und Qualität des digitalen Pigmentdrucks verhinderte trotz ökologischer Vorteile bisher eine breite wirtschaftliche Umsetzung (Marktanteil am Digitaldruckmarkt nur etwa 1-3 %, Abb. 1).

2.2 Digitaler Reaktivdruck vs. Pigmentdruck

Die Flexibilität der Digitaldrucktechnologie wird dahingehend eingeschränkt, dass wie beim Textildruck allgemein verschiedene textile Materialien unterschiedliche Arten von Tinten benötigen. Eine Ausnahme stellen die Pigmenttinten dar, mit deren Verwendung der Druckprozess nahezu unabhängig vom textilen Substrat wird. Diese Tintensysteme enthalten Binder, die einen Polymerfilm oder -verbund bilden, um die Pigmente auf dem Textil zu fixieren. Man erreicht dadurch jedoch nicht ganz so gute Druckqualitäten mit kleinerem Farbraum [5] und der textile Griff wird negativ beeinträchtigt. Aufgrund der bisher noch nicht vollständig gelösten Probleme im digitalen Pigmentdruck werden vor allem cellulosische Textilien (CO, Viskose (CV)), die auch im Heimtextilbereich z. B. für Kissen-, Tisch- und Bettbezüge große Verwendung finden, digital mit Reaktivtinten bedruckt. Hier werden zwar gute Reibechtheiten erreicht (direkte Kopplung des Farbstoffes an das Textil über OH-Gruppen), jedoch ist die ökologische Belastung deutlich erhöht.

Ersetzt man die Reaktivtinten im Digitaldruck mit Pigmenttinten, werden Dämpf- und Waschprozesse nach dem Druck überflüssig (siehe Abb. 2 mit Einsparungen).

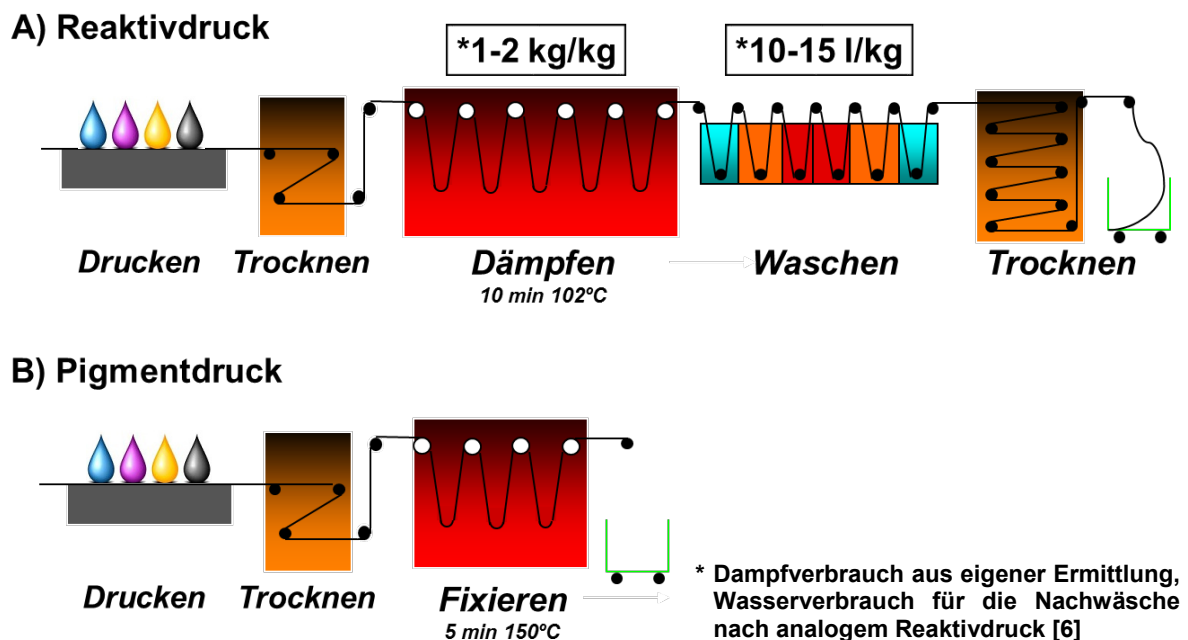


Abbildung 2: Vergleich der Prozessschritte im A) digitalen Reaktiv- (oben) und B) Pigmentdruck (unten)

Dadurch werden Wasser, Energie und Chemikalien eingespart. Beim Pigmentdruck wird als Nachbehandlung lediglich eine Fixierung mit Trockenhitze benötigt.

2.3 Zielsetzung

Ziel dieses Vorhabens war es, ein innovatives und praxistaugliches Digitaldruckverfahren – bestehend aus einem Rolle-zu-Rolle-Drucker (multi-pass Scanning-

Prinzip, sowohl Druckköpfe als auch Textilware bewegen sich) mit einem neuartigen Pigmenttinten / Druckkopfsystem und Trocken-Fixiereinheit – zu entwickeln (siehe Abbildung 3). Für eine energiesparende Fixierung wurde der innovative Einsatz eines Transferkalenders untersucht, der mit Carbonpulver anstelle von Öl zum Erwärmen der Kalandervalze arbeitet.

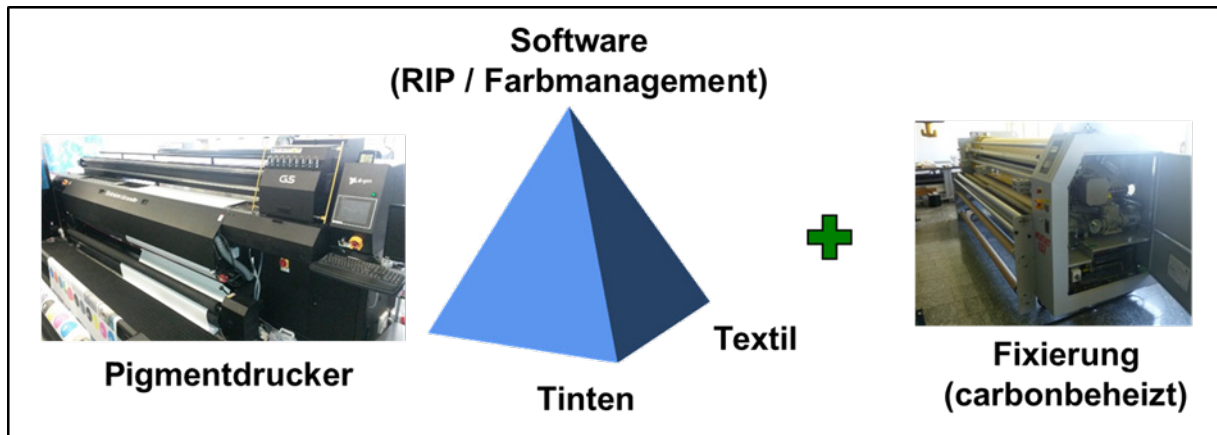


Abbildung 3: Darstellung des zu entwickelnden Digitaldrucksystems mit aufeinander abzustimmenden Einheiten

Dieses Digitaldrucksystem soll für die industrielle Produktion vor allem im Heimtextilbereich vom mittleren und langfristig auch bis zum großen Maßstab tauglich sein.

3 Methodik / Vorgehensweise

Partner 1 (MP): Multi-Plot Europe GmbH
Partner 2 (FTB): Forschungsinstitut für Textil und Bekleidung der Hochschule Niederrhein

Arbeitspakete (AP)	Partner	Zeitraum (geplant 1.1.2016 - 31.12.2017)																								Mon
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	Auswahl unterschiedlicher Druckgrundwaren	MP, FTB																								
2	Entwicklung / Optimierung von Testschablonen und Druckdessins	FTB																								
3	Erstellung des Farbmanagements	MP, FTB																								
4	Gerätetechnische Einstellung / Optimierung Digitaldrucker	MP																								
5	Gerätetechnische Einstellung / Optimierung Fixiereinheit	MP																								
6	Entwicklung / Untersuchung geeigneter Digitaldruckvorbehandlungen	FTB																								
7	Qualitätsanalyse der Pigmentdrucke	FTB																								
8	Entwicklung von Schnelltests zur Warenbeurteilung	FTB																								
9	Ökologische und ökonomische Gesamtbeurteilung	MP, FTB																								
10	Dokumentation, Bewertung und Verbreitung der Ergebnisse	MP, FTB																								

Abbildung 4: Arbeits- und Zeitplan

In der gegebenen Projektlaufzeit von 24 Monaten wurden gemäß Arbeitsplan folgende Schritte unternommen:

- Einrichtung und Konfiguration des Digitaldruckers sowie Carbonkalenders
- Erzeugung von Farbprofilen für den digitalen Pigmentdruck
- Auswahl und Entwurf von digitalen Testbildern zur Qualitätsbeurteilung und für Farbechtheitsprüfungen der Digitaldruckmuster

- Auswahl von Textilwaren und Festlegung der zu erreichenden Anforderungen – speziell der Farbechtheiten – für die Digitaldruckmuster
- Identifikation und Evaluation verschiedener textiler Ausrüstungsmittel, die zur Verbesserung der Druckqualitäten und -beständigkeiten vor dem Druck auf die Textilmuster appliziert wurden.
- Nachweis der geforderten Reib-, Wasch- und Lichteigenschaften
- Ermittlung der Energieverbräuche (kWh) von carbon- und ölbeheizter Fixiereinheit im Vergleich für den digitalen Pigmentdruck sowie vom Dämpfprozess für den digitalen Reaktivdruck
- ökologische Bewertung (u. a. Druckabriebverhalten, Chemikalieneinsatz, Energie- und Wassereinsparungen) des digitalen Pigmentdrucks im Vergleich zum konventionellen Rotationsdruck bzw. digitalen Reaktivdruck

Erste Druckvorversuche auf unbehandeltem Gewebe zeigten schnell, dass die für Heimtextilien geforderten Gebrauchseigenschaften nicht direkt erreicht werden konnten. In einer ersten ausführlichen Versuchsreihe (Juli 2016) wurden daher bei Multi-Plot verschiedene textile Druckmuster im A3-Format, die zuvor an der Hochschule Niederrhein mit einer Auswahl an Digitaldruckpräparationen ausgerüstet wurden (PFDP, prepared for digital printing), mit Prüfmustern bedruckt. Das Hauptaugenmerk der anschließenden Auswertung bei der Hochschule Niederrhein lag auf der erreichten Druckqualität (Farbbrillanz und Konturenschärfe) und der Farbechtheit gegenüber Reiben und Waschen.

Nach Analyse der ersten Druckresultate erfolgte eine weitere ausführliche Versuchsreihe (Dezember 2016) bei Multi-Plot. Hier wurden zudem zwei neue textile Grundwaren bedruckt und der Auftrag der textilen Digitaldruckpräparationen im Vorfeld weiter variiert auch mit dem Ziel, den Chemikalieneinsatz durch optimierte Kombinationen zu reduzieren.

Weiterhin wurden zu Vergleichszwecken entsprechende Druckmuster mit Pigmenttinten eines anderen Anbieters (*Eden PG MV von Bordeaux Digital PrintInk Ltd.*) im Technikum einer Niederlassung bei Eschweiler hergestellt und beurteilt.

Anhand der ermittelten Druckqualitäten sowie Farbechtheiten gegenüber Reiben, Waschen und Licht wurden für bestimmte Grundwaren ein passender Digitaldruckprozess mit geeigneter Digitaldruckvorbehandlung identifiziert und im Vergleich zum konventionellen Rotationsdruck bzw. digitalen Reaktivdruck bewertet.

3.1 Auswahl von Druckmotiven, Textilwaren und Ausrüstungsmitteln

Zur Beurteilung der Konturenschärfe wurde ein digitales Druckbild entworfen und zur Ermittlung des Gesamtbildeindrucks bzw. der Farbbrillanz eine passende Vorlage gewählt (Bild „Barcelona“, siehe Abbildung 5).



Abbildung 5: Druckbilder für Beurteilung der Konturenschärfe und Farbbrillanz

Für die Ermittlung der Reib- und Waschechtheiten wurden die Textilproben einfarbig und ganzflächig bedruckt.

Für die **erste** Versuchsreihe wurde eine einfache Haustuchware aus **Baumwolle** (PFP, gebleicht und gewaschen) von der *Bierbaum Unternehmensgruppe GmbH & Co. KG* als Anbieter von Bettwäsche gewählt. Zum Vergleich wurden Druckversuche auf gewaschener und ausgerüsteter **Polyesterware**, bereitgestellt von der *Colorprint Textilveredlungsgesellschaft mbH*, durchgeführt (textiltypische Spezifikationen in Anhang 1). Für die Drucke wurden die A3-Textilmuster jeweils auf einem Textilläufer fixiert. Zusätzlich wurden verschiedene für den Digitaldruck (mit Solvent-, UV- und Latextinten) beschichtete Textilmedien (*Mediatex*[®]) der Fa. *Junkers und Müllers GmbH* mit den Testbildern Rolle-zu-Rolle bedruckt. Hier sollte die generelle Eignung des Pigmentdrucks für textiles Banner-, Display- und Rollomaterial untersucht werden.

Nach Produkthanbieterrecherche wurden zunächst vier verschiedene Digitaldruckvorbehandlungen (PT1 bis PT4) von vier unterschiedlichen Anbietern selektiert, die aktuell für den digitalen Pigmentdruck auf Wasserbasis angeboten werden. Zusätzlich wurden vier verschiedene Textilhilfsmittel ausgewählt (zwei Polyurethan-Vernetzer (PT5 und PT6), ein Schiebefestmittel mit Weichgriff PT7 und ein Textilweichmacher PT8), um separat deren Einfluss auf Druckqualität und Farbechtheit zu untersuchen. Eine Übersicht über die hier verwendeten Digitaldruckpräparationen befindet sich in Anhang 2. Die jeweiligen A3-Muster aus Baumwolle und Polyester wurden an der Hochschule Niederrhein mittels Foulard ausgerüstet (3,5 bar, 2 Durchgänge, Flottenaufnahme 75 – 85 % für Baumwolle, 80 – 95 % für Polyester) und getrocknet (Baumwolle 90 s, Polyester 120 s bei 100 °C).

In der **zweiten** Versuchsreihe wurden zwei weitere Grundwaren von der *Bierbaum Unternehmensgruppe GmbH & Co. KG* hinzugenommen, darunter eine glatte **Satin-Ware** und ein **Biber-/Flanell**stoff aus Baumwolle (textiltypische Spezifikationen in Anhang 1). Letzterer stellt aufgrund seiner Haarigkeit eine Herausforderung für den Digitaldruck dar. Der Auftrag von Vorbehandlungsmitteln auf die Textilwaren wurde für Optimierungsuntersuchungen (in Einsatzmenge und Kombinationen) variiert. Der

Einsatz von zwei Dispersionen auf einfacher Kieselsäurebasis (*Aerodisp*[®] von *BASF*) wurde untersucht.

3.2 Maschinentechnische Optimierungen

Zunächst wurde bei Multi-Plot der Digitaldrucker *Teleios Grande G5* von *dgen* (siehe Abbildung 6) in Betrieb genommen und drucktechnisch konfiguriert. Der Drucker hat eine Breite von 330 cm und ist mit acht Ricoh-Gen-5-Piezodruckköpfen für acht Farben bestückt: vier Grundfarben CMYK (cyan, magenta, gelb und schwarz) sowie light cyan (LC), light magenta (LM), orange (OR) und blau (BL). Verwendet werden die Pigmenttinten *PG-5KR* von *dgen*.

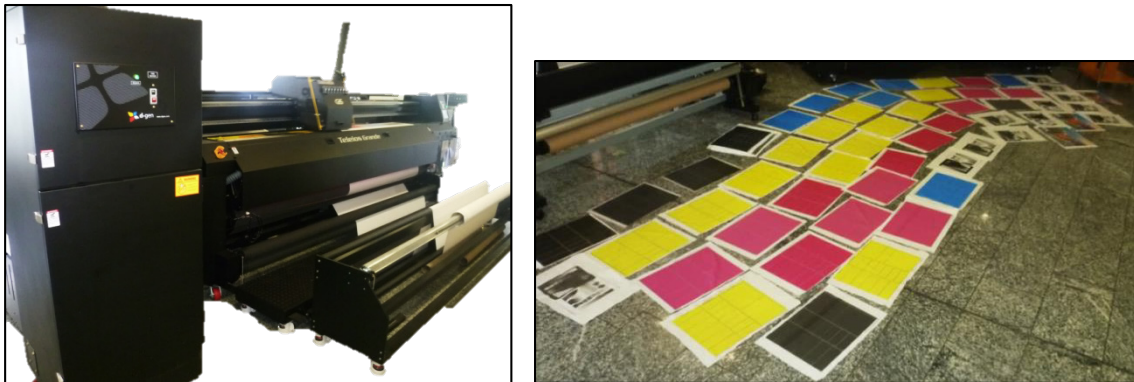


Abbildung 6: Digitaldrucker *Teleios Grande G5* bei Multi-Plot mit Druckergebnissen der ersten Versuchsreihe

Die Druckverhältnisse im Tintensystem (Überdruck zum Tintenausstoß (Säuberung) bzw. Unterdruck um Tinte im Druckkopf zu halten) wurden eingestellt. Es folgte eine Optimierung der Wartungs- und Reinigungszyklen, um einen langfristigen Betrieb zu gewährleisten. Speziell die Pigmenttinte Magenta führte in der Startphase zu Problemen und Ausfällen, die dann behoben wurden. Falls sich noch störende Luft im Tintensystem einer Farbe befand, sammelte sich diese am Druckschlitten in einem Schlauchstück, das sich am Auslass des jeweiligen Druckkopfes anschloss (siehe Abbildung 7), und konnte zeitweise durch Öffnen eines Verschlusses erfolgreich entfernt werden. Die acht Tintentanks a 5 l wurden jeweils über Filter nachgefüllt, um das Risiko von Düsenverstopfungen durch zuvor agglomerierte Partikel zu minimieren. Wichtige Parameter, um das Risiko von Düsenverklebungen durch die in der Tinte enthaltenen Binderpolymere zu verhindern, sind die Umgebungsbedingungen am Druckerstandort. Wichtig war eine relative Luftfeuchtigkeit von 60-65 % und eine Temperatur von unter 30 °C. Als gute und zuverlässige Lösung stellte sich zudem heraus, wenn der Tintenablaufkanal, über den das zu bedruckende Textil und der Druckschlitten läuft, ständig feucht gehalten wird. Dies wurde durch einen dünnen Schwamm gewährleistet, der mit Wasser getränkt ist.



Abbildung 7: System zur Luftentfernung aus den Tintenschläuchen und acht Farbentanks mit Filter

Die auch in der Startphase auftretenden Probleme (Treiber und Kommunikation) bei Einsatz der RIP-Software (Raster Image Processor) *Texprint* von *ErgoSoft V.14* wurden durch Aktualisierung zur neuen Version *ErgoSoft RIP V.15* im Laufe des ersten Projektjahres behoben. Die im Colour-Management festgelegten Druckprofile wurden neu erstellt und getestet. Die Einstellung des Tintenauftrags lag bei $< 200\%$ für ein sattes Schwarz. Für die nachfolgenden Versuche wurden weitere Einstellungen festgelegt:

- Abstand Druckkopf zu Textil: 3,5 mm
- Druckauflösung: 600 x 2400 dpi
- Geschwindigkeit: 8-Pass-Modus, unidirektional (hohe Qualität)

Nach dem Druck trockneten die Drucke kurz bei Raumtemperatur und wurden anschließend mit dem Carbonkalandar *Heatjet 132* bei Multiplot fixiert. Die Trockenwalze ist zu 75 % mit Carbonpulver gefüllt, deckt die Breite des Digitaldruckers ab und hat einen Durchmesser von 345 mm. Ein Nadelfilz aus meta-Aramid presst das bedruckte Textil während des Trockenprozesses an die beheizte Walze. Gewählte Einstellungen für die Fixierung:

- Temperatur: 165 °C
- Geschwindigkeit: 0,3 m/min, entspricht einer Trocknungszeit von ca. 3 min

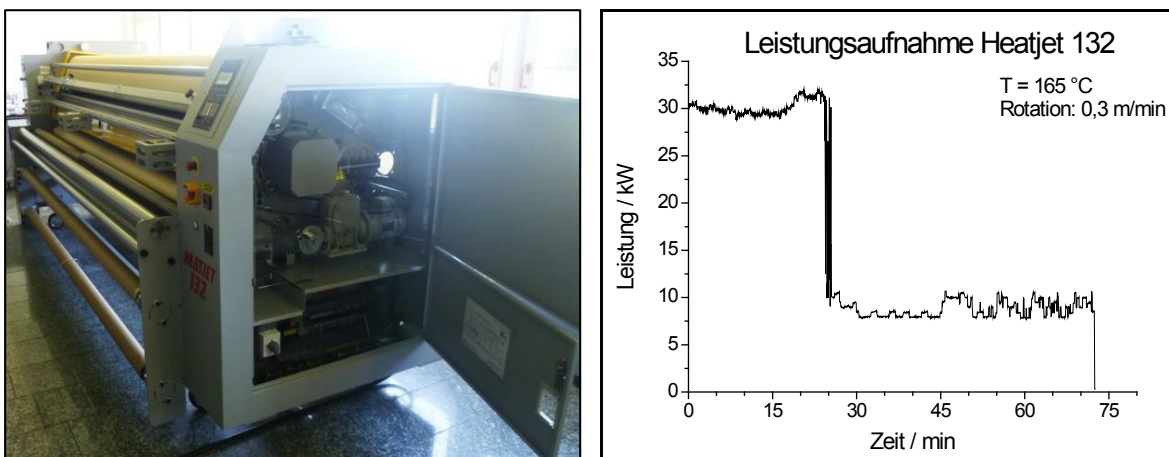


Abbildung 8: Carbonkalandar Heatjet 132 bei Multi-Plot mit zeitabhängiger Leistungsaufnahme

Die Leistungsaufnahme wurde mit einem Leistungsmesser (Smartmeter *Voltcraft® VSM-100*) erfasst (siehe Abbildung 8). Die Aufheizzeit bis zur Solltemperatur 165 °C liegt bei etwa 25 Minuten (30 kW), dann tritt Regelung zur Aufrechterhaltung der Temperatur ein (8-10 kW).

4 Projektergebnisse

4.1 Druckbildqualität

4.1.1 Gesamtbildeindruck

Nach Bedrucken der verschieden ausgerüsteten Haustuchware aus Baumwolle ergaben sich deutliche Qualitätsunterschiede. Bei Verwendung des nicht ausgerüsteten Textils oder von zu geringen Konzentrationen an Ausrüstungsmitteln (siehe Abbildung 9 links) ergaben sich nur blasser Farben; ebenfalls keine guten Ergebnisse brachte der Einsatz von Vernetzern oder Weichgriffmitteln allein. Zwei Digitaldruckvorbehandlungen zeigten die besten Ergebnisse (siehe Abbildung 9 Mitte und rechts). Die Digitaldruckpräparation PT4-P10 wurde in 3 verschiedenen Konzentrationen eingesetzt: 50 g/l, 100 g/l und 150 g/l. Es stellte sich heraus, dass der Einsatz von nur 100 g/l anstatt 150 g/l kaum Qualitätseinbußen zur Folge hatte. Hier kann somit 1/3 der Chemikalienmenge eingespart werden.



Abbildung 9: Druckresultate der ersten Versuchsreihe auf Baumwollware (schlechteste und beste Farbbrillanz)

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

- mit unbehandelter Baumwollware können keine gebrauchsfertigen Drucke ausreichender Brillanz erzeugt werden, die Farben erscheinen blass
- eine Minimierung der eingesetzten (empfohlenen) Konzentration der Digitaldruckpräparation ist zum Teil möglich; hier sind die speziellen Anforderungen für den jeweiligen Gebrauch ausschlaggebend
- bei der Versuchsreihe mit anderen Pigmenttinten wurde noch ein etwas farbintensiveres Druckbild erreicht, jedoch war der Griff deutlich schlechter und der Druck fühlbar, was nicht akzeptabel ist

4.1.2 Farbstärke / Farbintensität

Mit Verwendung eines Spektralphotometers konnten die farblichen Unterschiede der bedruckten Textilmuster deutlich messbar gemacht werden. Dafür wurde exemplarisch die Farbstärke einer jeweils schwarz bedruckten Fläche (Vorder- und Rückseite) gemessen (Remissionskurve). Die Farbstärken der unbehandelten Textilprobe wurden als Standard gesetzt (100 %). Wie in Abbildung 10 zu erkennen ist, liegt die Farbstärke der Vorderseiten der behandelten Textilproben stets über 100 % (bis zu ca. 260 %) und die der Rückseiten immer darunter (bis zu ca. 18 %). Auch hier stechen wie auch vorher deutlich zwei Präparationen heraus, die dafür sorgen, dass die Pigmente vermehrt auf der Oberfläche verbleiben und nicht ins Textil dringen: die Digitaldruckpräparation für Textildirektdruck PT1-IA_DTG und PT4-P10 in allen eingesetzten Konzentrationen.

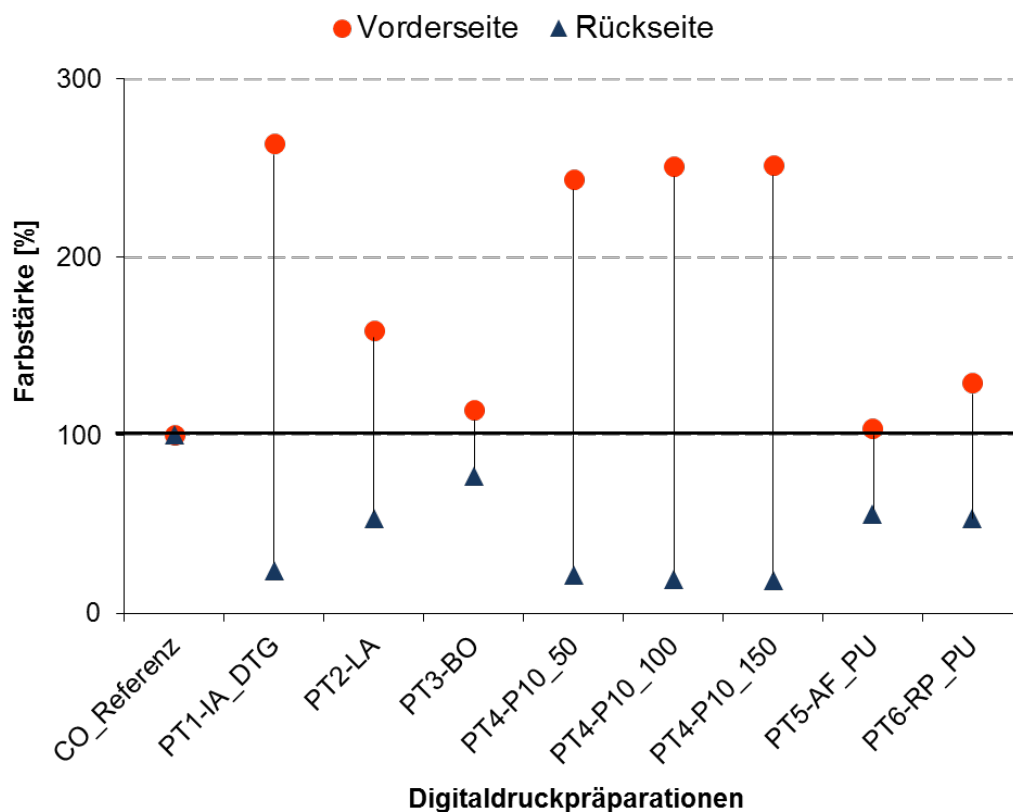


Abbildung 10: Gemessene Farbstärken (CMC / D65) von Vorder- und Rückseite ganzflächig schwarz bedruckter Textilmuster aus CO-Haustuchware

Das Ergebnis dieser Drucke im Vergleich zum Druck auf unbehauelter Baumwollware wird deutlich in Abbildung 11 veranschaulicht.

Auch stellt sich deutlich heraus, dass der ausschließliche Gebrauch von vernetzenden Polymeren (PT5 und PT6) als Digitaldruckpräparation nicht ausreicht, um die Farbpigmente an der Oberfläche des Textils zu halten.

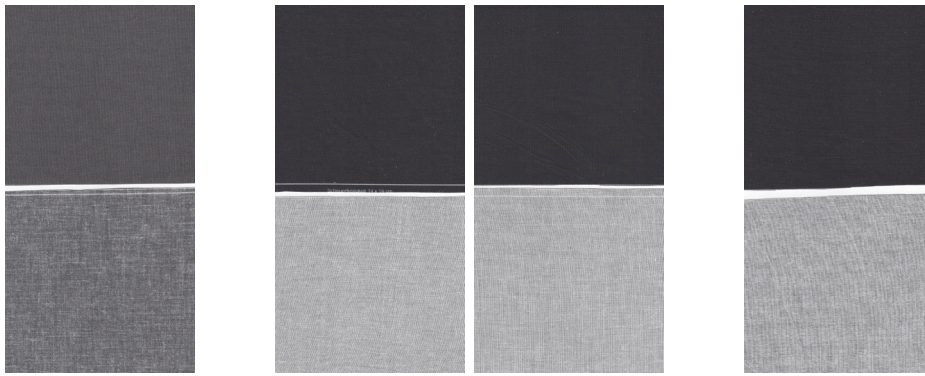


Abbildung 11: Schwarzflächen auf Baumwollware (oben Vorderseite, unten Rückseite; links: unbehandelt, Mitte: PT4-P10 100 g/l und 150 g/l, rechts P1-IA_DTG)

Zusätzlich wurden auch die absoluten Helligkeiten im CIEL*a*b*-Farbraum bestimmt [Helligkeit/Luminanz L^* , von $L^*=0$ (schwarz) bis $L^*=100$ (weiß)], bei denen für die beiden Präparationen PT1-IA_DTG und PT4-P10 gute Schwarzwerte (25-26) für die Druckseite erreicht werden. Bei den anderen Präparationen liegen die Werte deutlich über 30, was eher einem dunklen Grau entspricht. Bei den Polyester Mustern liegen die Schwarzwerte bei Verwendung der Präparationen PT1-IA_DTG und PT4-P10 ebenfalls mit Werten von 23-25 im sehr guten Bereich.

In der 2. Versuchsreihe wurden unter Verwendung neuer Kombinationen von Digitaldruckpräparationen keine wesentlich besseren Ergebnisse erzielt. Betrachtet man die zusätzlich untersuchte glatte Satinware sowie haarige Biberware fällt auf, dass die Vorbehandlungen kaum einen Einfluss auf die Farbintensitäten haben. Satinware liefert durchwegs gute Farbintensitäten, bei der Biberware zeigen die Vorbehandlungen leicht aufhellende Wirkung (L^* -Werte von 30 bis zu 35). Dies untermauert die Schwierigkeit der Verwendung von haariger Textilware im Digitaldruck. Der konventionelle Siebdruck kann hier durch Auftragen von mehr Pigmentpartikeln pro Flächeneinheit ein satteres Schwarz liefern. Eine tabellarische Übersicht der erzielten Ergebnisse befindet sich in den Anhängen 3.1 und 3.2.

4.1.3 Konturenschärfe

Um die Konturenschärfe der einzelnen Textildrucke beurteilen zu können, wurde jeweils die Anzahl der erkennbaren Linien und die Liniendicken eines gedruckten Kreismusters unter dem Lichtmikroskop im Vergleich zu einem Druckbild auf Papier ermittelt bzw. gemessen (siehe Abbildung 12).

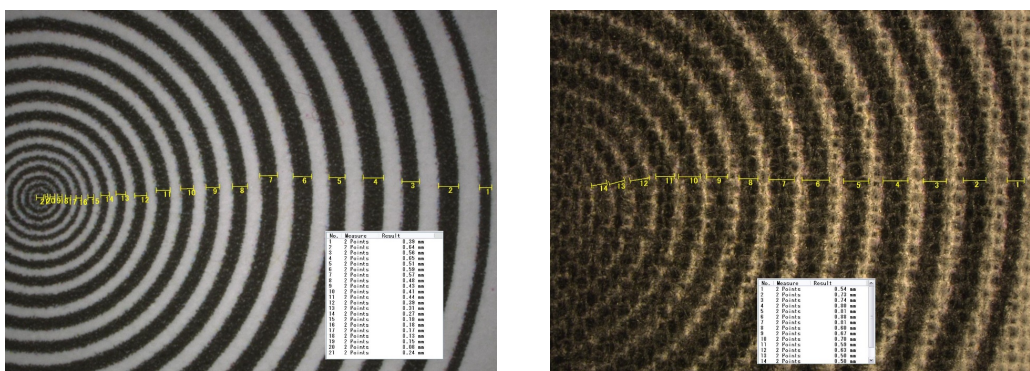


Abbildung 12: Kreismuster auf Papier (links) und auf Baumwollware (rechts) ausgerüstet mit PT4-P10 100 g/l

Die Auswertung der Druckergebnisse der 1. Versuchsreihe auf Baumwollware befindet sich in Anhang 4. Die beiden Digitaldruckpräparationen mit bester Farbintensität lieferten auch diesmal die besten Konturenschärfen, also die geringsten Abweichungen zum auf dem Papier gedruckten Muster. Für eine gute Konturenschärfe war sogar eine um 2/3 geringere Konzentration des eingesetzten Vorbehandlungsmittels ausreichend (PT4-P10), um die gleich guten Resultate zu erzielen. Die notwendige Einsatzmenge einer Digitaldruckpräparation lässt sich jedoch nur nach Prüfung der geforderten Reib- und Waschbeständigkeiten bemessen, wie im Folgenden zu sehen ist.

4.2 Farbechtheiten

4.2.1 Farbechtheit gegen Reiben (Reibecktheit)

Zur Bestimmung der Farbechtheit gegen Reiben (trocken und nass) bildet die Prüfnorm DIN EN ISO 105-X12 die Grundlage. Das Anforderungsprofil für z. B. Bettwäsche¹ gibt eine **trockene Reibecktheit von Note 4-5** und eine **nasse Reibecktheit von Note 3-4** gemäß Bewertung im Graumaßstab zur Bewertung des Anblutens vor, die eingehalten werden müssen (nach DIN EN 20105-A03, Bewertungsskala von 1 bis 5; 5 bedeutet kein Farbabrieb). Abbildung 13 zeigt die ermittelten Reibecktheiten für schwarze Druckmuster (CO-Haustuchware) der 1. Versuchsreihe.

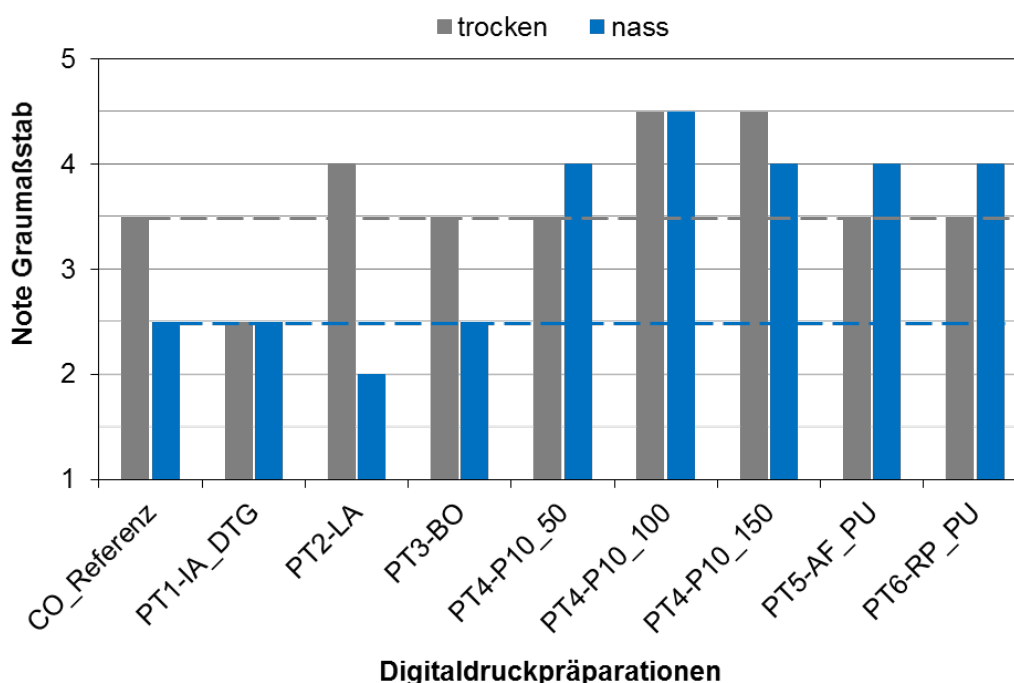


Abbildung 13: Reibecktheiten (trocken / nass) nach DIN EN ISO 105-X12 (Crockmeter-Test) von ganzflächig schwarz bedruckten Textilmustern aus CO-Haustuchware (Bewertung nach DIN EN 20105-A03)

Beste und ausreichende Ergebnisse (trocken und nass Note 4,5) ergeben sich mit Verwendung von PT4-P10 100 g/l als Digitaldruckpräparation. Insgesamt erhält man

¹ Auskunft Kontakt Bierbaum Unternehmensgruppe GmbH & Co. KG

für die im Fokus stehende Haustuchware aus Baumwolle ohne Digitaldruckpräparation ungenügende trockene Reibechtheiten von 2,5 bis 4 für die Farben CMYK, während nach Ausrüstung mit PT4-P10 die Reibechtheiten auf 3,5 bis 4,5 ansteigen, obwohl diese Drucke wie vorher beschrieben deutlich farbtiefer und sich daher auch mehr Pigmenttinte an der Oberfläche befindet. Auch die nasse Reibechtheit liegt hier bei sehr guten Werten von 3 bis 4,5. Eine Gesamtübersicht der Reibechtheiten der 1. Versuchsreihe ist in den Anhängen 5.1 und 5.2 zu finden. Unzureichende Werte sowohl in der trockenen als auch in der nassen Reibechtheit liefert jedoch die Digitaldruckpräparation PT1-IA_DTG, die bisher sehr gute Resultate in Farbstärke und Konturenschärfe zeigte. Diese Präparation ist wohl auf hohe Druckbildqualität ausgelegt, wie sie z. B. im T-Shirt-Direktdruck wünschenswert ist, jedoch bewirkt sie keinen zusätzlichen Schutz gegen einen Abrieb des Druckes. Die Verwendung von ausreichend Vernetzpolymeren auf Polyurethanbasis in den Präparationen PT5-AF_PU und PT6-RP_PU hingegen liefert hier erwartungsgemäß gute Ergebnisse, nur wird auf solcher Binderbasis allein kein schönes Druckbild erhalten.

Da vom Anbieter von PT4-P10 noch weitere Produkte verfügbar sind (P11 für zusätzliche Echtheitsverbesserung, P12 für Griffverbesserung, P15 für haarige Substrate, Druck auf Maschenware), wurde in der 2. Versuchsreihe versucht, speziell durch Kombinationen der angebotenen Mittel die Reibechtheiten mit geringstmöglichem Chemikalieneinsatz zu maximieren. Untersucht wurden hier die Farbdrucke schwarz und zusätzlich magenta, da magenta nach Versuchsreihe 1 durchschnittlich die schlechtesten Reibechtheiten lieferte. Entscheidende Verbesserungen in der Reibechtheit konnten jedoch nicht erzielt werden, ein Einsatz von insgesamt 75-100 g/l in der Ausrüstungsflotte waren angebracht. In der 2. Versuchsreihe führte ein zur Entfernung von Schlichteresten vorgeschalteter Waschvorgang dazu, dass das Baumwollgewebe etwas dicker und dichter wurde (Schrumpfprozess, siehe Abbildung 14), so dass nach dem Druck auf unbehalteter Ware die Farbstärke zwar zunahm (mehr Pigmente auf der Oberfläche), doch die trockene und nasse Reibechtheit sich um jeweils 1 Note verschlechterte. Entscheidend zeigte sich hier, dass sich nach Auftragen einer Digitaldruckpräparation der Unterschied in der Rohware nicht mehr merklich bemerkbar machte, was die Wichtigkeit einer solchen PFDP-Präparation herausstellt, um einheitlich zufriedenstellende Druckergebnisse zu erzielen.

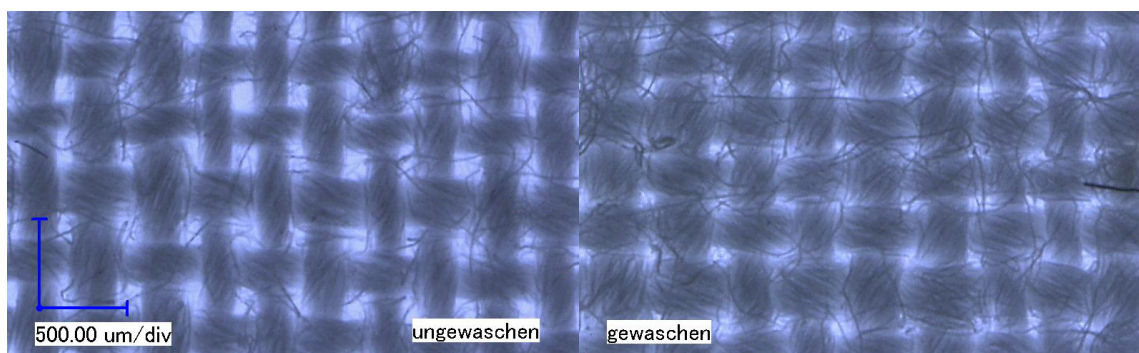


Abbildung 14: Mikroskopaufnahme (Unterlicht) von Haustuchware vor (links) und nach dem Waschen (rechts)

Aus der Gesamtübersicht der Reibechtheiten für die 2. Versuchsreihe in den Anhängen 5.3-5.5 lassen sich noch folgende Ergebnisse ableiten:

- Auf Satinware aus Baumwolle konnten geeignete Kombinationen von Ausrüstungsmitteln (P10/P11/P12) für ausreichende Reibechtheiten gefunden werden. Die haarige Biberware zeigte ungenügende, nasse Reibechtheiten mit den getesteten Kombinationen, auf der Polyesterware wurden nasse Reibechtheiten von nur durchschnittlich 1-3 erreicht.
- Gute Reibechtheiten auf Haustuch- und Polyesterware (3-4,5) liefert die Digitaldruckpräparation PT3-BO, wenn sie unverdünnt eingesetzt wird. Der stark saure Charakter der Vorbehandlung (Xi: Reizend) zeigt sich jedoch als ökologisch bedenklich.
- Die unzureichenden Reibechtheiten bei Verwendung des Ausrüstungsmittels PT1-IA_DTG mit exzellentem Druckbild konnten auch dann nicht verbessert werden, wenn wie empfohlen höhere Trocknungstemperaturen nach dem Ausrüstungsvorgang verwendet wurden.
- Der Einsatz von Kieselsäure in Kombination mit einem Vernetzer und Weichgriffmittel als Ausrüstungsflotte brachte keinen Erfolg. Die guten Reibechtheiten bei Polyesterware sind der Tatsache geschuldet, dass die Tinte beim Druck doch tief in die Textilware vordringt (niedrige Farbstärke).
- Beim Druck auf Werbemedien und Rollotextilien, bei denen üblicherweise Reibechtheiten von 4 gefordert werden², ergaben sich auf der beschichteten Seite, dort wo das Druckbild brillant ist, Noten von maximal 3 bis 3,5. Bessere Echtheiten zeigten die Drucke teilweise auf der unbehandelten Seite; hier waren jedoch die Druckqualitäten schlechter (matt, unscharf). In diesem Sektor können für den Pigmentdruck demnach nicht einfach die gebräuchlichen Medien übernommen werden.
- Die Verwendung anderer Pigmenttinten (*Eden PG MV* von *Bordeaux*) mit derselben Art von Druckköpfen und vergleichbarer Hardwarekonfiguration für den Druck auf verschieden ausgerüsteter Haustuch- und Polyesterware brachte keine Verbesserung in den Reibechtheiten ein – auch nicht speziell auf Polyester oder in Kombination mit dem von demselben Anbieter angebotenen Vorbehandlungsmittel.

4.2.2 Farbechtheit bei Wäsche (Waschechtheit)

Bei der 1. Versuchsreihe wurde für schwarze Testdrucke der Farbverlust bei Wäsche nach Prüfnorm DIN EN ISO 105-C06 C1S (30 min, 60 °C, pH = 10,5; 25 Stahlkugeln) bestimmt. Gemäß Anforderungsprofil für Bettwäsche werden beim Waschen sowohl für das Anbluten / Anfärben von Begleitgewebe als auch für den Farbverlust Noten von 4-5 verlangt (Bewertungsskala von 1 bis 5, 5 bedeutet kein Anbluten bzw. kein Farbverlust). Wie für Pigmenttinten erwartet, ergaben sich bei allen Proben für das Anbluten von Begleitgewebe Noten von 4,5 oder 5 (siehe Anhang 6.1), da Pigmente ohne helfende Bindersubstanzen keine Affinität zu den Fasern aufweisen.

² Auskunft Kontakt *Junkers & Müllers GmbH*

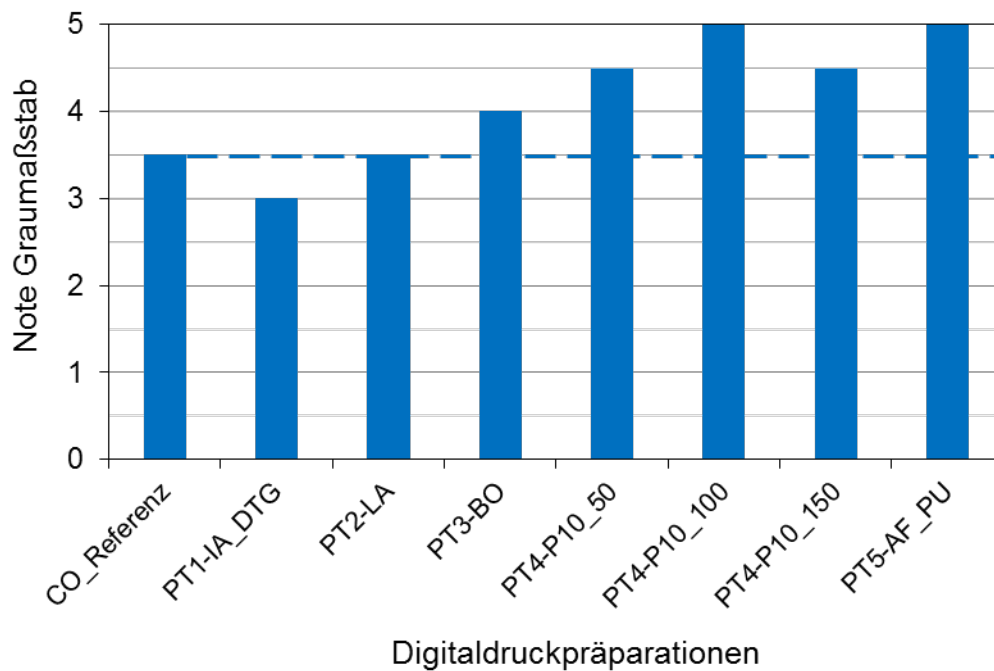


Abbildung 15: Waschechtheiten nach DIN EN ISO 105-C06 C1S (5 x 30 min @ 60 °C @ pH = 10,5) von ganzflächig schwarz bedruckten Textilmustern aus CO-Haustuchware (Bewertung nach DIN EN 20105-A02)

Wie in Abbildung 15 zu erkennen ist, ergeben sich nach fünf Wäschen bei zwei Drucken auf digital präparierter Haustuchware idealerweise keine Farbverluste (Note 5) mit nahezu gleichbleibender Farbstärke, und zwar bei Verwendung der vielversprechenden Präparation PT4-P10 100 g/l und des Polyurethanvernetzers PT5-AF_PU. Auf der Polyesterware waren die Waschechtheiten mit maximal 4 bis 4,5 wieder etwas schlechter. Eine Gesamtübersicht der ermittelten Waschechtheiten und Farbstärken befindet sich in den Anhängen 6.2-6.4.

Die Verwendung einiger Vorbehandlungen lieferte hier teilweise schlechtere Waschechtheiten und Farbstärken der Testmuster als das bedruckte Muster ohne Vorbehandlung (Note 3,5). In diesen Fällen zeigt die Pigmenttinte selbst eine bessere Affinität zur textilen Oberfläche als die jeweils verwendete Digitaldruckpräparation. Bei einigen Testmustern konnte wohl eine Migration der Pigmente während der Waschvorgänge von der Vorderseite (Farbstärkenabnahme) zur Rückseite (Farbstärkenzunahme) beobachtet werden.

Von der 2. Versuchsreihe wurde zunächst für jede untersuchte Ware diejenige mit jeweils der Digitaldruckpräparation ausgewählt, deren Anwendung auch zuvor die beste Reibecktheit lieferte. Zusätzlich mit den unpräparierten Druckmustern wurden die schwarzen Testdrucke nach Prüfnorm DIN EN ISO 105-C06 C1S bis zu 15 Waschzyklen unterworfen und bewertet (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Waschechtheiten nach DIN EN ISO 105-C06 C1S (15 x 30 min @ 60 °C @ pH = 10,5) von ganzflächig schwarz bedruckten Textilmustern (Bewertung nach DIN EN 20105-A02)

Ware	Digitaldruckpräparation	Note nach Graumaßstab				
		Waschzyklen (60 °C)				
		1x	3x	5x	10x	15x
Haustuch Baumwolle	keine	4,5	4	3,5	2,5	2,5
	100 g/l P10	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	100 g/l (P10:P11:P12 = 2:1:1)	4,5	4	2,5	2,5	2,5
Satin Baumwolle	keine	4,5	3,5	2,5	2,5	1,5
	100 g/l (P10:P11:P12 = 2:1:1)	5	4,5	3,5	3	3
Biber Baumwolle	keine	3	1,5	1	1	1
	100 g/l P15 (kalandriert)	4,5	4,5	5	5	4,5
Polyester	keine	4	3	2,5	2	2
	100 % BO; 130 °C; 2,5 min	4,5	3,5	2,5	1,5	1,5
	100 g/l (P10:P11 = 1:1)	4	3,5	3	3	3
Vergleich						
Haustuch	Siebdruck Pigment	4,5	5	5	4	4
Satin	Reaktivdruck digital	4,5	4,5	5	4,5	4,5

In Abbildung 16 ist für jede Textilware das beste Waschresultat mit der geringsten Änderung der Farbe nach 15 Wäschen dargestellt (A-D), zusätzlich die Resultate für einen ebenfalls untersuchten Siebdruck mit Pigment (E) bzw. digitalen Reaktivdruck (F). Anzumerken ist, dass die Waschechtheit des digitalen Pigmentdrucks auf Haustuchware (A) nach Präparation mit PT4-P10 100 g/l sogar eine halbe Echtheitsnote besser ausfällt (Note 4,5) als die des konventionellen Pigmentdrucks (Note 4). Die geringste Farbänderung zeigt erwartungsgemäß der digitale Reaktivdruck (F), da der Reaktivfarbstoff hier ohne Binder direkt an die Faser gekoppelt ist. Eine Gesamtübersicht der dabei ermittelten Farbstärken und Helligkeiten L* (bzw. Schwarzwerte) befindet sich in Anhang 7.1.

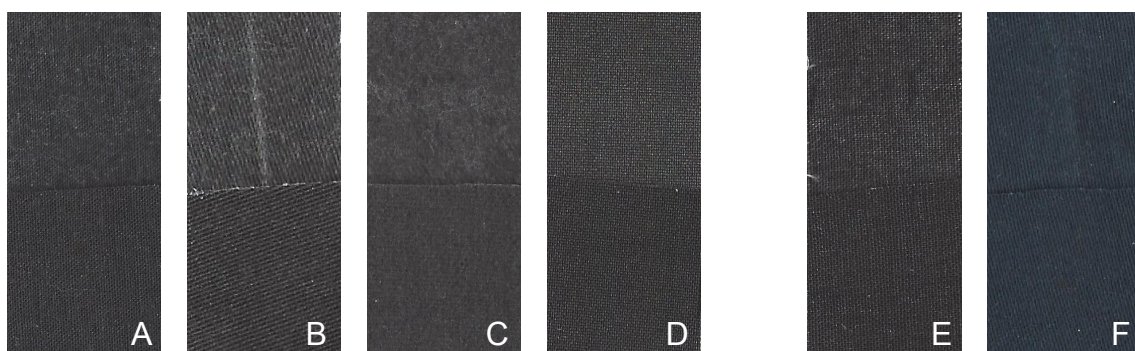


Abbildung 16: Schwarzflächen vor (unterhalb) und nach 15 Waschzyklen (oberhalb) auf A: CO Haustuch, B: CO Satin, C: CO Biber, D: PES (jeweils digitaler Pigmentdruck) im Vergleich zu E (Siebdruck Pigment auf CO Haustuch) und F (digitaler Reaktivdruck auf CO Satin)

Zusätzlich wurden die Testdrucke in schwarz und magenta aus der 2. Versuchsreihe und auch die Drucke, die mit den Pigmenttinten des anderen Anbieters (*Bordeaux Eden PG MV*) durchgeführt wurden, länger andauernden Waschzyklen entsprechend einer Haushaltswäsche mit Feinwaschmittel bei 60 °C unterworfen (siehe Anhänge 7.2 und 7.3). Dies sollte mehr die Praxistauglichkeit abbilden. Hier stellt sich nach 10 Wäschen heraus, dass für die CO-Haustuchware mehrere Kombinationen von

Digitaldruckpräparationen ausreichende Waschechtheiten der Note 4,5 bewirken, ähnlich verhält es sich für die CO-Satinware. Bei der CO Biberware war allein die Verwendung der Präparation P15 100 g/l mit einer resultierenden Echtheitsnote von 4-4,5 wirkungsvoll. Ungenügende Waschechtheiten von 3,5 und kleiner zeigten sich vermehrt bei der bedruckten Polyesterware. Auffällig war wiederum, dass die Präparation PT1-IA_DTG mit sehr guter Druckbildqualität, jedoch unzureichenden Reibechtheiten auch durchwegs ungenügende Waschechtheiten lieferte, oft gleich oder sogar schlechter als beim nicht präparierten Textil. Das enthaltene Bindersystem bietet hier keinen Schutz gegen Reiben und Waschen.

4.2.3 Farbechtheit gegen Licht (Lichtechtheit)

Drucke mit Pigmenttinten zeichnen sich dadurch aus, dass sie besonders hohe Lichtechtheiten besitzen. Im Heim- und Dekotextilbereich wird ein Lichtechtheitstyp von 5 angestrebt (Bewertungsskala blauer Lichtechtheitstyp aus Wolle von 1 bis 8, 1 = sehr niedrig, 8 = sehr hoch). Ermittelt wurden die Lichtechtheitstypen von 60 verschiedenen ausgewählten Druckmustern (Farben CMYK, verschiedene Präparationen, verschiedene Textilsubstrate) nach der Prüfnorm DIN EN ISO 105-B02: Farbechtheit gegen künstliches Licht: Xenonbogenlicht. Gewählt wurde das Verfahren 3, bei dem die Proben in zwei Stufen etwa 200 h lang belichtet wurden (gilt für Mindestanforderung Lichtechtheitstyp 5). Ausnahmslos ergaben sich für alle Muster Lichtechtheiten von Note 6 oder höher, keines der untersuchten Muster zeigte eine Farbverblassung.

4.3 Analyse der textilen Vorbehandlungsmittel und Tinten

Um Zusammenhänge bei einer wirkungsvollen Vorbehandlung für den digitalen Pigmentdruck ermitteln und Empfehlungen zur Auswahl einer geeigneten Vorbehandlung tätigen zu können, wurden die eingesetzten Ausrüstungsmittel und Tinten analysiert. Es wurden die jeweiligen pH-Werte, Leitfähigkeiten und Ionogenitäten (letztere durch Niederschlagsnachweis mit einem kationischen bzw. anionischen Textilhilfsmittel in Lösung) bestimmt (siehe Anhang 8). Dabei lassen sich folgende Relationen erkennen:

- Die Pigmenttinten zeigen anionischen Charakter und sind leicht basisch; vorteilhaft wirken sich leicht saure, kationische Hilfsmittel aus (PT4-P10), indem sie den gedruckten Tintentropfen ohne Verlaufen scharf an Ort und Stelle belassen (gute Konturenschärfe und Farbtintensität).
- Eine hohe Farbstärke (Verbleiben des Tintentropfens an der Textiloberfläche) wird bei Verwendung der Digitaldruckpräparationen mit hoher Leitfähigkeit (PT4-P10, PT1-IA_DTG) erreicht (z. B. durch zugegebene Salzmengen wie Calciumchlorid). Beobachtungen: Die Pigmenttinte koaguliert gut in leicht und stark saurer Lösung sowie bei Anwesenheit zweiwertiger Ionen wie Ca^{2+} oder Mg^{2+} (Calcium- oder Magnesiumchlorid), dagegen gar nicht oder schlechter in leicht und stark basischer Lösung sowie bei Anwesenheit einwertiger Ionen wie Na^+ (Natriumchlorid).

- Die Digitaldruckpräparation PT3_BO ist als einzige leicht anionisch und liefert auf der untersuchten PES-Ware die besten Echtheitswerte. Jedoch hat sie bei effektivem Einsatz in unverdünnter Lösung im Vergleich zu den übrigen Mitteln deutlich sauren Charakter (pH = 2,9), was ökologisch und produktions-/umgangstechnisch problematisch ist (flüchtige Säure).

4.4 Zusammenfassung und Bewertung

In diesem Projekt wurde versucht, mit einem zuverlässigen Digitaldrucksystem Pigmentdrucke auf textilen Substraten herzustellen, die in der Druckqualität und Farbechtheiten dem Anwendungsbereich genügen. Als textiles Substrat wurde zentral eine Haustuchware aus Baumwolle gewählt, die üblicherweise für den konventionellen Siebdruck auf Textil mit Pigmentpasten zur Herstellung von Bettwäsche gewählt wird. Für den Digitaldruck reicht die übliche textile Vorbehandlung (PFP, gebleicht und gewaschen) nicht aus, da der Pigmenttinte entscheidende Bestandteile fehlen, welche die Wechselwirkung zwischen textiler Oberfläche und Pigmenttinte – dazu gehören kapillare Kräfte sowie Adsorptions-, Absorptions- und Agglomerationsverhalten – ideal kontrollieren können. Daher wird eine zusätzliche Digitaldruckpräparation für das Textil benötigt (PFDP), um das gewünschte Verhalten zu erreichen: Der Tintentropfen sollte beim Auftreffen auf die Textiloberfläche nur leicht penetrieren und so an der Oberfläche für hohe Farbtiefe und Druckschärfe sorgen und weiterhin im anschließenden Fixierprozess durch ein aktiviertes Bindersystem die erforderlichen Echtheiten auf dem Textil liefern. Überaus erfolgreich war der Einsatz des untersuchten Präparationsgemisches P10 auf wässriger Polyurethanbasis mit kationischem Charakter mit einem Feststoffgehalt von etwa 45 %. Die Verwendung von max. 100 g/l in der textilen Ausrüstungsflotte (Flottenaufnahme um die 70 %) war ausreichend. Ein relativ hoher Salzgehalt von über 10 % Calciumchlorid lässt wohl das gute Koagulationsverhalten der Tinte auf dem Textil vermuten und damit einen hohen Schwarzwert bzw. eine hohe Farbtiefe erzeugen. Der Griff des Textils nach dem Druck ist nach Meinung von Probanden ebenfalls angenehm weich.

In Abbildung 17 sind die ermittelten Farbechtheiten des digitalen Pigmentdruckes im Vergleich zu den der bei der *Bierbaum Unternehmensgruppe GmbH & Co. KG* konventionell mit schwarzer Pigmentpaste bedruckten Haustuchware dargestellt. Erfreulicherweise übertreffen die nasse Reibechtheit und Waschechtheit des digitalen Pigmentdruck sogar die des konventionellen Siebdruckes, welcher ja mehr Pigmentpartikel pro Oberflächeneinheit aufweist. Zusätzlich wurde an der Hochschule Niederrhein die für Reaktivdruck vorpräparierte Satinware aus Baumwolle digital mit Reaktivtinten (9 Farben) bedruckt, anschließend gedämpft, gewaschen und getrocknet. Abbildung 17 zeigt die davon ermittelten Farbechtheiten. Während die Waschechtheit und Reibechtheiten erwartungsgemäß auf hohem Niveau liegen, sieht man deutliche Einbußen in den Lichtechtheitszahlen (bis zu Note 3). Bei hohen Anforderungen bezüglich Lichtechtheiten ist der digitale Pigmentdruck eindeutig im Vorteil.

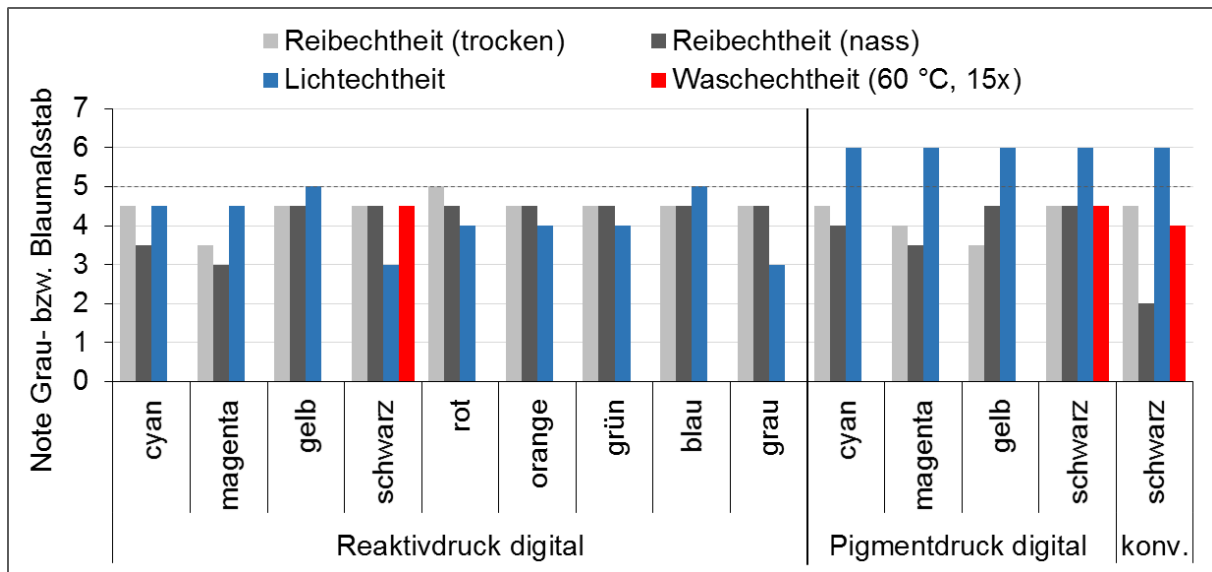


Abbildung 17: Ermittelte Farbechtheiten von Reaktivdruck digital, Pigmentdruck digital und Pigmentdruck konventionell (Siebdruck) im Vergleich

Betrachtet man nun die Eignung der anderen untersuchten Textilwaren für den digitalen Pigmentdruck nach geeigneter Digitaldruckpräparation, so zeigt die Satinware aus Baumwolle ebenfalls gute Resultate; leichte Einschränkungen gibt es hier in der Beständigkeit gegenüber Waschen. Die glatte Textiloberfläche erschwert hier wohl die Haftung der Präparation auf dem Textil. Bei haariger Biberware kann eine gute Waschechtheit mit der Präparation P15 erreicht werden, jedoch liegt hier prinzipiell das Problem, dass haarige Textilien anfällig gegenüber Reiben sind. Im Vergleich zum konventionellen Druck mit Pigmentpasten wird im Digitaldruck auch weniger Farbpigment aufgetragen und die Farben erscheinen dann eher blass. Die ermittelte Helligkeit L^* eines schwarzen Druckes liegt hier bei erhöhten $L^* = 30$ im Vergleich zu den gewünschten Schwarzwerten von sonst um die $L^* = 25$. Die Textilware aus reinem Polyester stellt die größte Herausforderung für einen digitalen Pigmentdruck dar. Die verwendeten Präparationen bzw. deren Kombinationen schneiden hier besonders schlecht bei den nassen Reibechtheiten ab (Noten 1 bis 3,5). Alternativ wären hier PES/CO-Blends als textiles Substrat für den digitalen Pigmentdruck gut anwendbar.

Im Sinne der Nachhaltigkeit von Textilien ist es auch sehr interessant zu prüfen, inwiefern mit dem Inkjetverfahren bedruckte Textilien eher dazu neigen, ihren Druck durch Abrieb zu verlieren. Abbildung 18 zeigt das Abrasionsverhalten verschiedener schwarzer Textildrucke, Abbildung 19 dazu die resultierenden Muster nach insgesamt 5.000 Touren Martindale.

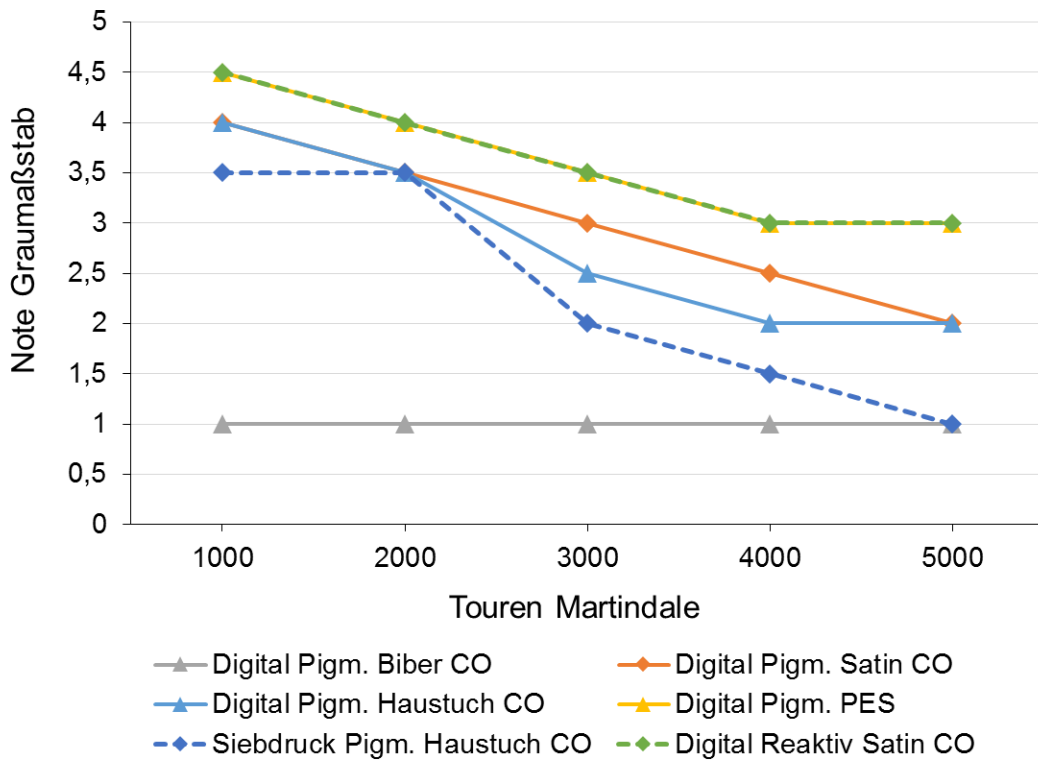


Abbildung 18: Abrasionsverhalten schwarzer Drucke nach Touren Martindale (DIN EN ISO 12947-2, 12 kPa, Bewertung nach DIN EN 20105-A02)

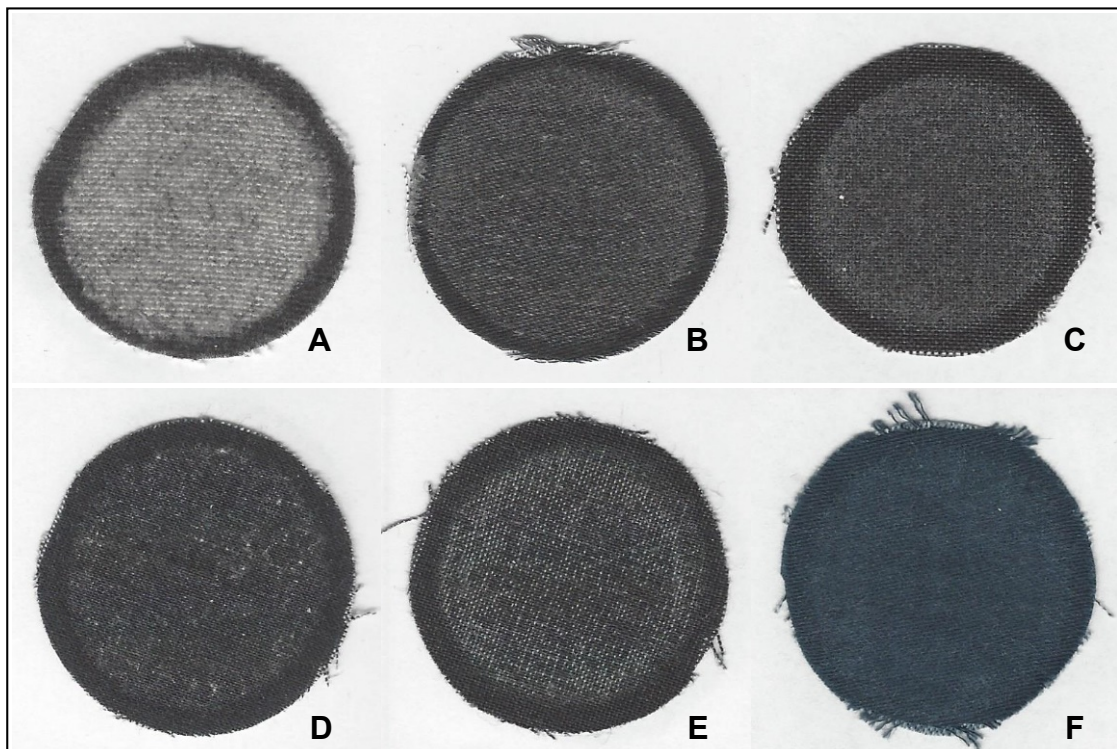


Abbildung 19: Scheuerproben nach 5.000 Touren Martindale (DIN EN ISO 12947-2, 12 kPa) von **A:** Digital Pigm. Biber CO, **B:** Digital Pigment Satin CO, **C:** Digital Pigm. PES, **D:** Digital Pigm. Haustuch CO, **E:** Siebdruck Pigm. Haustuch CO und **F:** Digital Reaktiv Satin CO

Getestet wurden die digitalen Pigmentdrucke auf vier verschiedenen Substraten (A-D mit der jeweils besten Digitaldruckpräparation) im Vergleich zum konventionellen Siebdruck mit Pigmentpasten (E) und digitalem Reaktivdruck (F). Abgesehen vom Druck auf CO-Biberware (A) zeigen die restlichen digitalen Pigmentdrucke weniger Abrieb als der konventionelle Siebdruck (E), was sich auch ökologisch als äußerst positiv herausstellt. Obwohl sich beim konventionellen Siebdruck mehr Pigment an der Oberfläche befindet und abgerieben werden sollte, um die gleiche Note Graumaßstab in der Änderung der Farbe zu erhalten, fällt die Bewertung des Siebdrucks in allen Abriebstufen schlechter aus. Dies beschreibt die gute Fixierung der Inkjet-Pigmenttinte auf der Textiloberfläche in guter Konkurrenz zur Inkjet-Reaktivtinte, bei der die Reaktivfarbstoffe direkt an die CO-Textilfaser koppeln und idealerweise erst bei Faserabtrag mit abgerieben werden.

4.5 Sonstige Anwendungsfelder des digitalen Pigmentdrucks

Bei Multi-Plot wurden zudem unter Verwendung eines geschaffenen Farbprofils mit Erfolg Druckversuche mit den dgen-Pigmenttinten auf bedruckbarer Tapete durchgeführt und Muster erstellt (siehe Abbildung 20).

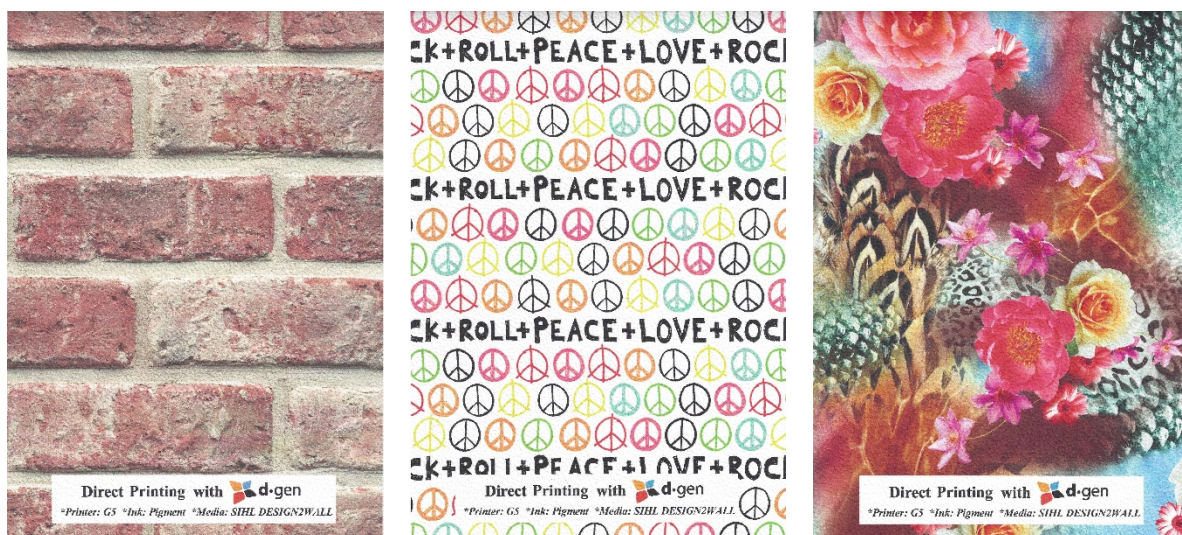


Abbildung 20: verschiedene Druckmuster vom Digitaldruck mit dgen-Pigmenttinten auf bedruckbarer Tapete

Pigmenttinten enthalten im Vergleich zu Solvent- oder auch Latextinten keine Lösemittel und sind ein guter Ersatz für giftige, UV-härtende Tintensysteme. Die Lichtechtheitszahlen liegen auch hier bei sehr guter Note 6 oder höher. Ebenfalls sehr gute Druckergebnisse lieferte der Druck auf Glasgewebe, welches im Bauwesen in öffentlichen Gebäuden Verwendung findet und nach dem Druck bezüglich des Brandverhaltens die Baustoffklasse A2 erfüllt (nicht brennbar mit in geringem Umfang brennbaren Substanzen).

5 Ausarbeitung eines Prozessmodells für die spezifischen Druckprozesse des digitalen Pigmentdrucks und Pigmentrotationsdrucks

Für eine vergleichende Sachbilanz ist es essentiell, einzelne Prozesse in Form von Prozessmodellen abzubilden, und so eine Identifikation der In- und Outputströme zu erleichtern. Die zugehörigen sachbilanziellen Daten müssen zusammengetragen und ein Produktsystem nach DIN EN ISO 14040:2009-11 ausgearbeitet werden, welches schematisch in die jeweiligen Prozessmodule unterteilt ist (siehe Abbildung 21). Das Ziel ist die Darstellung eines profunden Modells, welches auf den Prinzipien der Ökobilanz basiert.

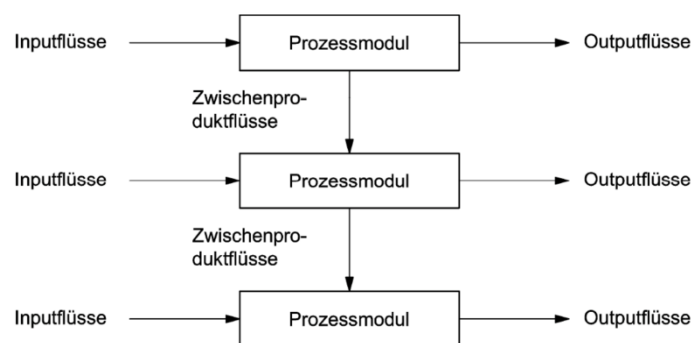


Abbildung 21: schematische Aufstellung der Prozessmodule unter Berücksichtigung von Input-, Output- und Zwischenproduktflüssen³

Zur Erstellung eines solchen Produktsystems stehen unterschiedliche Software-Varianten zur Verfügung, die teilweise mit textilspezifischen Datenbanken verbunden sind. Unter den Gesichtspunkten Umfang und Zielrichtung der verknüpften Datenbanken, Preis, Benutzerfreundlichkeit, Service und Darstellungsmöglichkeiten der Ergebnisse wurden folgende Software-Tools in der Demo-Version begutachtet: SimaPro von Pré Consultants / GreenDelta, GaBi von thinkstep, Umberto NXT LCA vom Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH und Open LCA von GreenDelta. Alle Software-Varianten sind theoretisch für die Nutzung in diesem Themengebiet geeignet. Sie unterscheiden sich hauptsächlich in der Benutzeroberfläche, den durchzuführenden Schritten, den Funktionen und dem Support. Eine Auswahl kann abhängig von Budget, Zielgruppe, Einsatzzweck und Vorkenntnissen individuell getroffen werden. In den folgenden Untersuchungen wurde die GaBi Software aufgrund der übersichtlichen Benutzeroberfläche des guten Supports verwendet. Bei der Nutzung der Demoversion war der Zugriff auf spezifizierte Datenbanken allerdings nur begrenzt möglich. Grundsätzlich können mit Hilfe einer solchen Software vordefinierte Prozesse integriert werden, für akkurate Ergebnisse ist es jedoch empfehlenswert, die individuellen Prozessmodule exakt zu untersuchen. Die Vielzahl der möglichen Einflussfaktoren kombiniert mit dem hohen Zeit- und Personalaufwand und der Tatsache, dass die einzelnen Prozessfaktoren für die neuartige Technologie des Digitaldrucks in der verwendeten Demoversion nicht als

³ DIN EN ISO 14040:2009-11, p. 22

Datensatz vorliegt, führte dazu, dass die Erstellung einer vollständigen, aussagekräftigen Ökobilanz in diesem Zeitrahmen nicht realistisch ist. Daher wurde das Hauptaugenmerk auf die Bestimmung und Bewertung der wichtigsten Energieströme, Emissionen, Wasserverbräuchen und den Chemikalieneinsatz gelegt.

Im Rahmen des Projektes lag der Fokus entsprechend auf der Ausarbeitung von Prozessmodulen, die das Verfahren des digitalen Pigmentdruckes dem des konventionellen Rotationsdruckes (Pigment) gegenüberstellen und diese miteinander vergleicht. Die im Vorfeld festgelegten Systemgrenzen umfassen die Vorbehandlung, den Druck und die Nachbehandlung. Alle notwendigen Schritte innerhalb dieser Grenzen wurden exemplarisch untersucht und bewertet. Detaillierte Betrachtungen wurden exemplarisch in den Produktionsstätten Junkers & Müllers GmbH in Mönchengladbach (Vorbehandlung und Rotationsdruck) und Multiplot Europe GmbH in Bad Emstal (digitaler Pigmentdruck) vorgenommen. Die für dieses Szenario betrachtete Grundware war das 100 %-PES-Gewebe „*Carina transparent 200*“ mit doppelseitiger pigmentcolorierter Polymerbeschichtung von Junkers & Müllers. Dabei wurden zunächst alle beitragenden Faktoren wie Maschinen, Transportwege und -mittel explizit mit einbezogen. Die erhobenen Daten wurden sofern möglich für eine spätere Verwendung der GaBi-Software angepasst.

Folgende Abbildung 23 zeigt die erarbeiteten Prozessschritte des konventionellen Pigmentdrucks vom Rohgewebe bis zum veredelten Stoff:

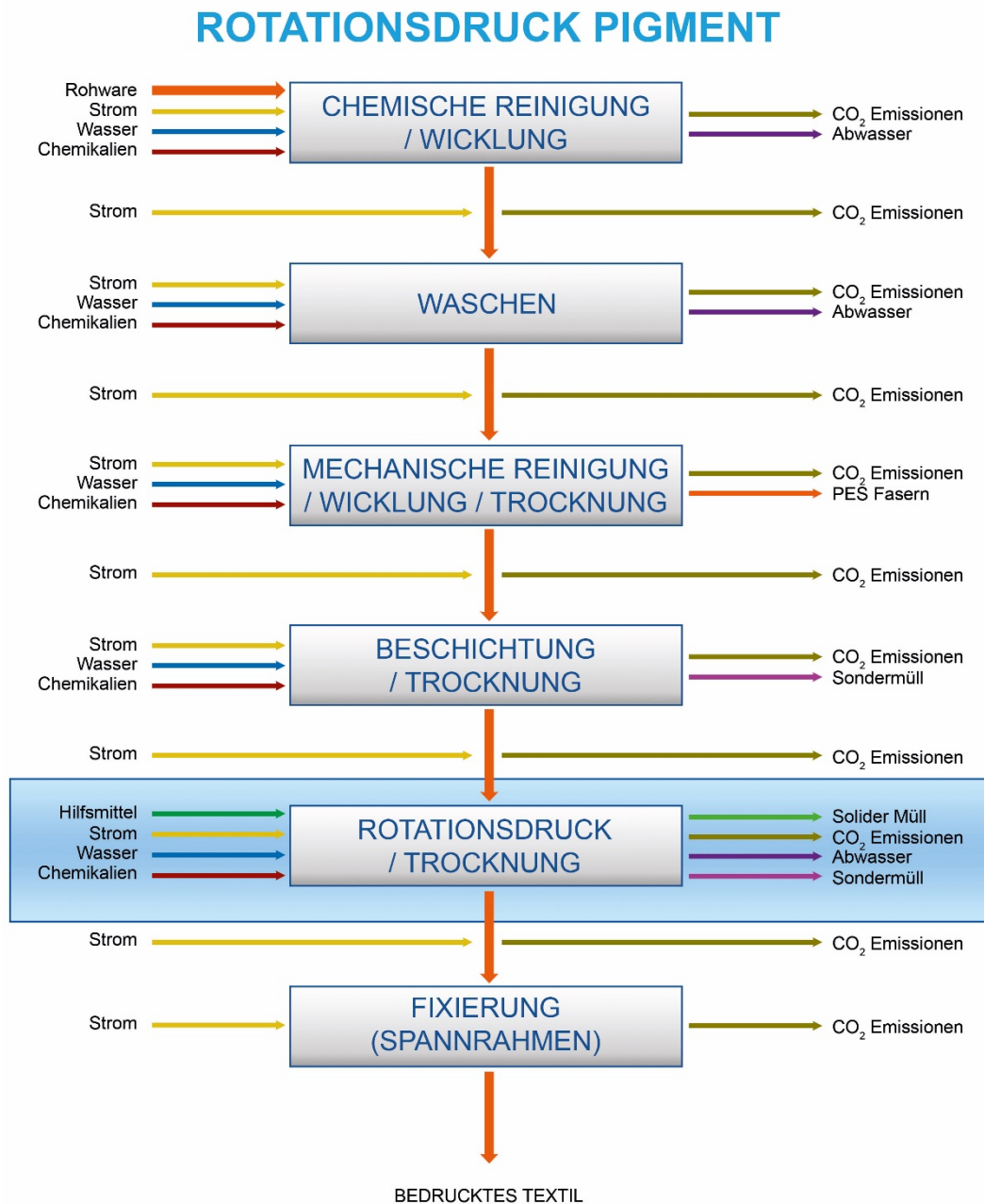


Abbildung 22: Produktsystem für den Rotationsdruck auf Carina bei Junkers & Müllers

Im Vergleich dazu stehen die Prozessschritte des digitalen Pigmentdrucks. Beide Prozesse sind von der Rohware bis zur Vorbehandlung des Textils (PFP) identisch. Die Unterschiede liegen in den finalen Druck- und Fixierprozessen. Die abweichenden Schritte sind in folgender Abbildung dargestellt (siehe Abbildung 23).

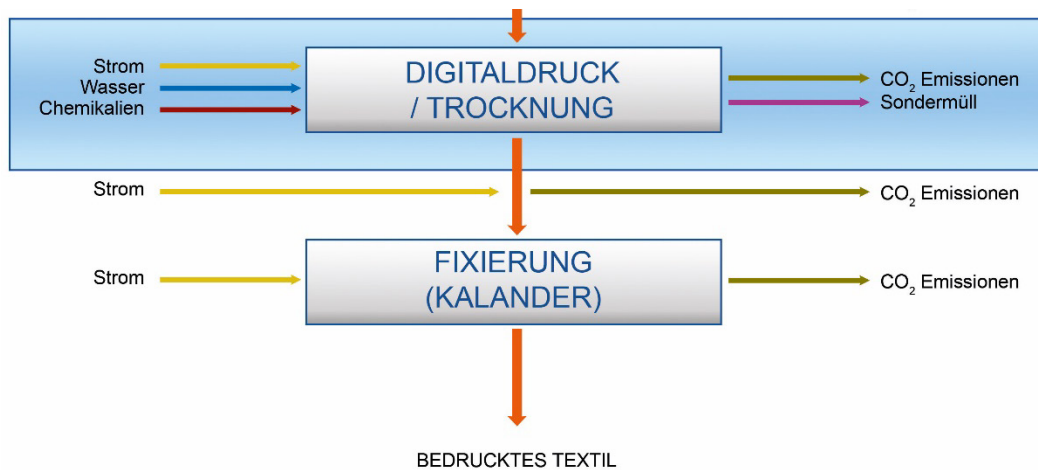


Abbildung 23: Produktsystem für den digitalen Pigmentdruck auf Carina bei Multi-Plot

Eine detaillierte Aufstellung der Prozesse in Tabelle 2 erlaubt die Identifizierung möglicher Analogien in den verschiedenen Produktionssystemen.

Tabelle 2: Darstellung einzelner Prozessschritte im Textildruck und deren umweltrelevanten Einflussfaktoren

Prozesse	Einflussfaktoren [Energie, Emissionen, Abwasser, Abfallprodukte]
Chemische Reinigung	Wicklung, Kontrolle, Öffnung, Säuberung, Bleiche (Foulard), Verweilen > Einsatzmenge Bleichmittel > Entsorgung Abwasser > kontinuierliche Rotation auf der Wickeleinheit während Verweilzeit
Waschen	Waschen, Verweilen > Wäsche im Gegenstromverfahren (5 Kammern) > Temperaturen von 40 °C – 90 °C > Einsatzmenge Chemikalien > Entsorgung Abwasser > Rotation während Verweilzeit
Mechanische Reinigung	Fixierung: Wicklung, Säuberung, Bleiche (Foulard), Trocknung > Wickeln und Bürsten (PES) > Absaugung entstehende PES-Fasern > Einsatz Chemikalien > Trocknung im Spannrahmen > Katalyse der Abluft (Katalyse von chemischem Gas zu CO ₂)
Beschichtung	Pasten- (Schaum)herstellung, Beschichtung, Trocknung > Chemikalien der Beschichtungspaste > Anrühren, Transport, Temperierung und Lagerung der Paste > Abfallprodukte Paste > Beschichtung / Trocknung im Spannrahmen > Katalyse der Abluft > regelmäßige Reinigung der Maschinen > Abfallprodukte Paste > doppelseitige Beschichtung > Prozesswiederholung
Rotationsdruck	Druck, Trocknung > Chemikalien der Druckpaste > Anrühren und Lagerung der Paste > Anfertigung und Lagerung Schablonen > Kleber Druckband

	<ul style="list-style-type: none"> > regelmäßige Säuberung und Erneuerung > Einstellen Farben, Andrucke <ul style="list-style-type: none"> > Abfallprodukte Paste > Säuberung Maschine und Schablone <ul style="list-style-type: none"> > Abfallprodukte Paste > Absaugung Trockenreste > Trocknung Spannrahmen (165 °C) <ul style="list-style-type: none"> > Katalyse Abluft
Fixierung	<ul style="list-style-type: none"> Thermofixierung im Spannrahmen > Katalyse der Abluft
Digitaldruck	<ul style="list-style-type: none"> (Warenlieferung/Transport), Druck, Trocknung (> Lieferung der Ware <ul style="list-style-type: none"> > Fahrzeug, Strecke, Verbrauch, Emissionen) > Tinteneinsatz <ul style="list-style-type: none"> > Abfallprodukte Düsenreinigung > Trocknung <ul style="list-style-type: none"> > Säuberung Abluft mit Carbonfiltersystem
Fixierung	<ul style="list-style-type: none"> Fixierung mit Carbonkalender > Heizen der Kalenderrollen

Somit konnte aufgrund der identischen Vorbehandlungsprozesse der Schwerpunkt auf die Gegenüberstellung der Druck- und Fixierungsprozesse gelegt werden. Folgende an ein Sankey-Diagramm angelehnte Darstellung (siehe Abbildung 24) zeigt die relevanten Unterschiede im Bereich der Inputströme auf. Die Daten wurden dabei von Herrn Albrecht Gebhard der Fa. *SPGPrints B.V.* auf firmeneigenen Kalkulationen beruhend zur Verfügung gestellt:

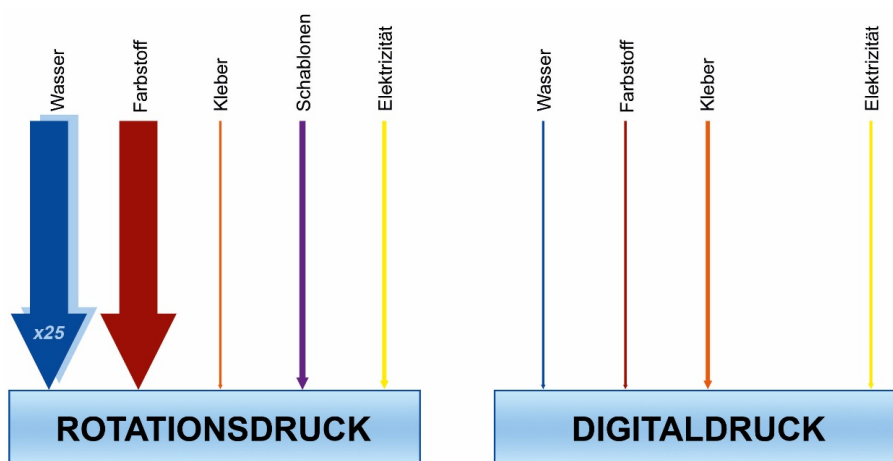


Abbildung 24: Vergleichende Darstellung der Inputströme im Rotations- und Digitaldruck (Pigment)

Einer der ausschlaggebenden Faktoren ist der Wasserverbrauch. Beim Rotationsdruck werden allein für die Reinigung der Schablonen bis zu 6000 Liter pro Zyklus benötigt, wogegen durch den punktgenauen Minimalauftrag der Tinte beim Digitaldruck nur ein Bruchteil dessen für die Reinigung der Düsenköpfe eingesetzt werden muss. Der zweite entscheidende Bereich ist die Menge der benötigten Druckpaste bzw. Tinte. Beim Rotationsdruck ist der Verbrauch für eine zu 100 % bedeckte Fläche um das 20fache höher als beim Digitaldruck. Die Verluste sind aufgrund der nötigen Anmischung der Farben und Reinigung der zugehörigen Schablonen deutlich höher. Beim Digitaldruck kann mit Hilfe des CMYK-Systems

jede gewünschte Farbe direkt auf dem Textil erzeugt werden. Es entstehen nur geringe Verluste durch die Reinigung der Düsen. Gleichzeitig bedeuten die Designerstellung, die Herstellung, Lagerung und das Recycling der Rotationschablonen und die Stand- bzw. Rüstzeiten für das vorherige Anpassen aufeinander einen deutlichen Mehraufwand, der beim Digitaldruck komplett entfällt. Des Weiteren ist es sowohl beim Rotationsdruck wie auch beim Digitaldruck notwendig, einen Kleber auf dem Druckband aufzubringen, um das Substrat beim Transport durch die Maschine zu fixieren. Die Auftragsmenge bezogen auf die Fläche ist gleich einzuschätzen, allerdings muss das Druckband beim Digitaldruck dreimal öfter gereinigt und erneuert werden. Für den abschließenden Fixierprozess und den damit verbundenen Energieverbrauch wurde in diesem Projekt ein Carbonkalanders anstelle eines herkömmlichen Ölkalanders erfolgreich eingesetzt, bei dem Carbonpulver anstatt Öl zum Heizen der Kalanderrolle eingesetzt wird. Abbildung 25 zeigt die Leistungsaufnahmen beider Kalandertypen im Leerlauf. Die Leistung eines Ölkalanders entsprechender Kapazität (Warenbreite 3200 mm, Walzendurchmesser 365 mm, Ölvolumen 260 l) wurde bei der Fa. *Klieverik Heli B.V.* erfasst.

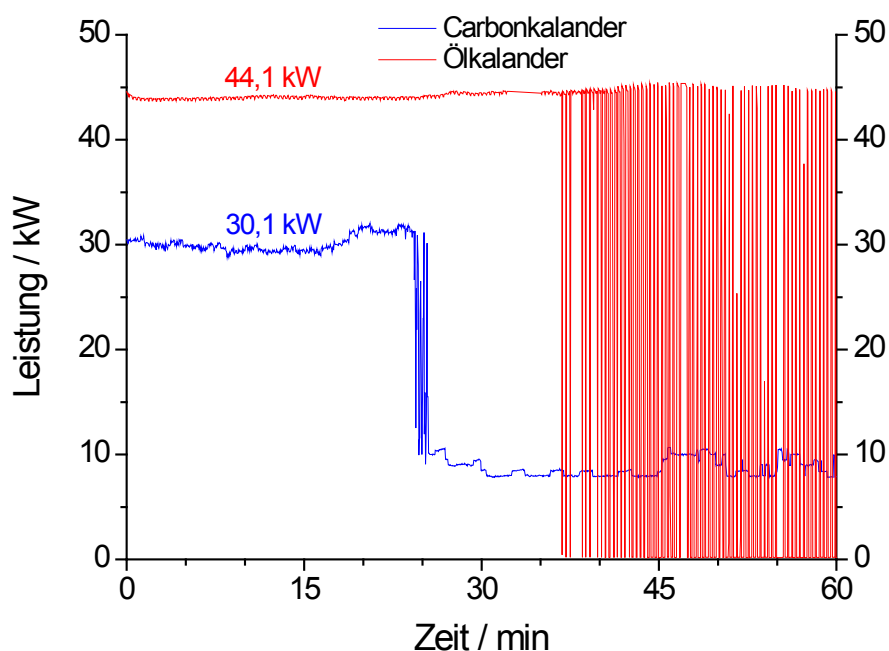


Abbildung 25: Leistungsaufnahme des Carbonkalanders Heatjet 132 im Vergleich zu der eines Ölkalanders entsprechender Kapazität bei Aufheizen auf 165 °C Solltemperatur im Leerlauf

Der Carbonkalanders benötigt etwa 24 min bei durchschnittlich 30,1 kW, um bis 165 °C aufzuheizen, während der Ölkalanders etwa 38 min bei durchschnittlich 44,1 kW benötigt. Die schnellere Aufheizrate mit weniger Energieumsatz (12,04 kWh im Vergleich zu 27,93 kWh) erklärt sich über die höhere Wärmekapazität von Öl im Vergleich zu Carbon. Anschließend folgt das Regelverhalten der Kalanders, um die Temperatur zu halten. Im Leerlauf nimmt der Carbonkalanders durchschnittlich etwas mehr Leistung auf als der Ölkalanders (9,3 kW im Vergleich zu 8,7 kW). Mit einem kleineren Carbonkalanders für Warenbreiten bis 1700 mm konnte gezeigt werden, dass verglichen mit Leerlauf für die Fixierung von Pigmentdruck bei Warendurchlauf keine signifikante Veränderung der Leistungsaufnahme erfolgte.

In Verbindung mit der kürzeren Aufheizzeit mit weniger Energieeintrag ist der Carbonkalandar demnach vor allem dann eine interessante preiswerte Alternative zum Ölkalandar, wenn kurze Metragen bearbeitet werden müssen und der Drucker Flexibilität bzgl. Einsatz und variabler Temperaturführung braucht. Im Produktionsbetrieb sind die Wärmeverluste vor allem durch Wärmeabstrahlung und Wärmespeicherung im Transportband gegeben, was durch die Bauform des jeweiligen Kalanders bestimmt ist. Eine abschließende ökologische und ökonomische Gesamtbeurteilung muss daher in der jeweils praxisnahen Benutzung beim Anwender erfolgen.

Insgesamt sind neben der Ökoeffizienz die Zeitersparnis, Flexibilität und das Aufkommen neuer Geschäftsmodelle (digitale Wertschöpfungsketten / Industrie 4.0) Triebfedern der Digitaldrucktechnologie, die monetär schwer zu quantifizieren sind. Entscheidender Kostenfaktor ist beim Rotationsdruck die Produktion der Siebe (300-400 € pro Spotfarbe), so dass allein die Druckkosten bis zu einer bestimmten Batchlänge höher als beim Digitaldruck sind. Für einen 4-Farben-Reaktivdruck liegt die Grenze bei etwa 2000 m bedrucktem Textil [7]. Mit steigender Anzahl von Spotfarben und abnehmenden Batchlängen wird der Digitaldruck auch in ökonomischer Hinsicht die kostengünstigere und sparsamere Technologie.

6 Vergleich zwischen digitalem Pigmentdruck und Reaktivdruck – Ökologie und Ökonomie

Eine gute Bilanzaufstellung gelingt, wenn man den Digitaldruckprozess mit Pigmenttinten (vom Inkjetdruck bis hin zur Druckfixierung) dem mit Reaktivtinten hinsichtlich Chemikalien-, Wasser-, Dampf- und Stromverbrauch einmal gegenüberstellt. Der digitale Reaktivdruck wird für Substrate aus Naturfasern eingesetzt und bietet sehr gute Farbechtheiten. Im Vergleich zum digitalen Pigmentdruck wird hier eine spezielle Präparation aufgetragen, die dafür sorgt, dass Farbstoff und Faser direkt miteinander koppeln. Dafür essentiell ist ein nachgeschalteter Dämpfvorgang, der direkt nach dem Drucken und der ersten Vortrocknung durchgeführt wird. Anschließend muss die Ware gewaschen werden, um überschüssige Farbe und Präparation wieder zu entfernen, und wieder getrocknet werden. Eine übliche Digitaldruckpräparation für Reaktivdruck auf Baumwolle setzt sich in etwa zusammen aus:

Tabelle 3: Grundlegende Zusammensetzung einer Digitaldruckpräparation für Reaktivdruck

Komponente	Anteil in %	Funktion
Harnstoff	10-12	bindet Wasser im Dämpfprozess, erhöht Fixiergrad
Natriumcarbonat	3-4	Kopplungsreagenz Farbstoff ↔ Faser
Verdicker (synthet.)	3-4	Migrationsinhibitor für Konturenschärfe und Farbintensität
sonstige Zusätze	1-2	Reduktionsinhibitor für Farbstoffe; Netzmittel; Entschäumer
Weichwasser	Rest	

Die Präparation mit Feststoffgehalt um die 20 % (alles voran Harnstoff und Alkali) wird nach der Fixierung wieder ausgewaschen und die Chemikalien gelangen ins Abwasser. Beim Pigmentdruck enthielten die Präparationen in der Verwendung max. 4-5 % Feststoffgehalt, in den erfolgreichen Fällen hauptsächlich Binderpolymere (auf Polyurethanbasis) und Penetrationskontrollmittel. Hier wird demnach der Chemikalieneinsatz deutlich gesenkt und auch die Abwasserlast reduziert.

Zur weiteren Gegenüberstellung wurde als funktionelle Einheit das Satin-Baumwolltextil (130 g/m²) der Breite 1600 mm gewählt. Für den Pigmentdruck reicht die Fixierung nach dem Druck mit einem Carbonkalanders aus. In Abbildung 26 ist die Leistungsaufnahme des bei Multi-Plot vermessenen *Heatjet 71* (Heizwalzendurchmesser = 215 mm) gezeigt, der für eine Warenbreite von 1700 mm ausgelegt ist.

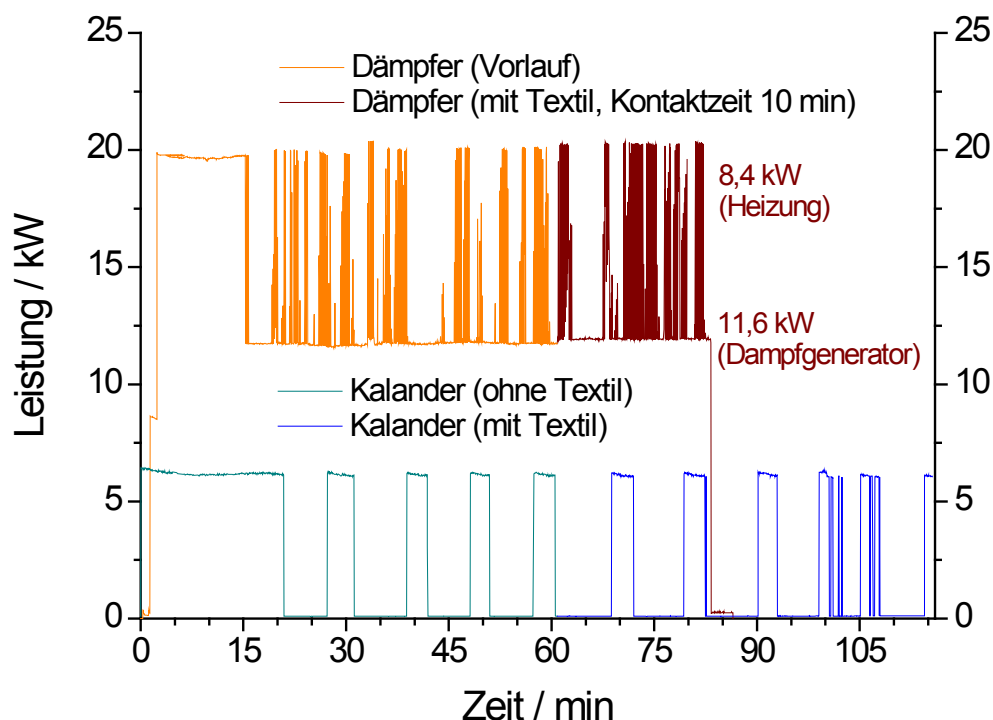


Abbildung 26: Leistungsaufnahmen von Carbonkalanders (*Heatjet 71*) und Dämpfer (*B-STeaM*) im Vergleich

Sowohl ohne als auch mit Textildurchlauf errechnet sich für eine Arbeitstemperatur von 165 °C und einem Durchlauf von 0,2-0,3 m/min (Kontaktzeit ca. 3 min) eine mittlere Leistungsaufnahme von 1,8-2 kW. Der Reaktivdruck wurde mit dem Digitaldrucker *MS JP5 evo* (Druckbreite 1800 mm) mit Antelos-Tinten der Fa. *Solunaris GmbH* an der Hochschule Niederrhein durchgeführt. Anschließend wurde für die Fixierung der Dämpfer *B-STeaM* (für eine max. Warenbreite von 2200 mm, 1 m/min bei 101 °C Sattedampf, Verweilzeit 10 min) der Fa. *SETeMa* durchgeführt (siehe Abbildung 27). Abbildung 26 zeigt die Leistungsaufnahme des Dämpfers, der zudem eine einstündige Vorlaufzeit benötigt, um sich zu stabilisieren. Die mittlere Leistungsaufnahme während des Textildurchlaufs beträgt 14 kW. Der Wasserverbrauch liegt bei ermittelten 17 l/h (ohne Vorlauf). Da die für die Nachwäsche verwendete Industriewaschmaschine nicht zeitgemäß ist und schon effizientere Roll-to-Roll-Waschsysteme mit z. B. Gegenstrom-Wärmetauscher angeboten werden, erfolgt hier eine Abschätzung des durchschnittlichen

Wasserverbrauchs mit etwa 10 l/kg. Beim abschließenden Trocknungsprozess wird die Energiezufuhr berücksichtigt, um eine Restfeuchte von 60-70 % zu entfernen (Hauptenergiebeitrag ist die Verdampfungswärme von Wasser mit 2257 kJ/kg = 0,627 kWh/kg). Für 100 kg der gewählten Textilware, die in etwa 500 m Lauflänge entspricht, ergeben sich dann vergleichsweise folgende Energie- bzw. Wasserverbräuche:

Tabelle 4: Strom- und Wasserverbrauch beim digitalen Reaktivdruck im Vergleich zum Pigmentdruck (* geschätzter Wert, ** bei 60-70 % Restfeuchte)

Druck	Fixierung	Laufmeter [m]	Durchsatz [m/min]	Leistung [kW]	Verbrauch		
					Energie [kWh]	Wasserfluss [l/h]	Wasser [l]
Pigment	Carbonkalandar	500	0,25	1,9	63		
Reaktiv	Dämpfer	500	1	14	117	17	142
	Waschen*	500			x		1000
	Trocknen**	500			40		
	Gesamt					157 + x	1142

Demnach können durch Pigmentdruck anstelle von Reaktivdruck Energieeinsparungen von 60 % oder mehr erreicht und pro 1000 m bedrucktem Textil etwa 2,28 m³ Wasser eingespart werden. Nach ökologischen Aspekten ist der Pigmentdruck eindeutig zu favorisieren.



Abbildung 27: Dämpfer B-STeaM von SETeMa B.V. an der Hochschule Niederrhein

In ökonomischer Hinsicht ist festzuhalten, dass im Digitaldruck die Kosten für Pigmenttinten zurzeit noch etwa doppelt so hoch sind wie für Reaktivtinten [7], was in die Kostenkalkulation für die jeweilige textile Präparation mit einbezogen werden muss, obwohl im Reaktivdruck etwa die vier- bis fünffache Chemikalienmenge benötigt wird. Die indirekten Kosten, die durch Pigmentdruck eingespart werden, werden letztendlich weiter bestimmt durch den bereits vorhandenen Maschinenpark

des Druckanbieters und auf die Primärenergien, auf die er z. B. für die Dampferzeugung zurückgreifen kann. Die kurze, wasser- und abwasserfreie Prozessführung beim Pigmentdruck im Vergleich zum zeitintensiven Reaktivdruck jedoch sprechen allgemein in wirtschaftlicher Hinsicht für den Pigmentdruck.

7 Öffentlichkeitsarbeit

Das Projekt und seine Ergebnisse wurden auf verschiedenen Veranstaltungen in Vorträgen präsentiert:

- J. Rees, M. Muth, M. Niggeweg, C. Steinem, M. Korger, M. Rabe, Eco-efficiency increase in textile printing by offering a reliable compact solution for digital pigment printing on textiles, 4th International Digital Textile Congress 2016, University College Gent, Gent, 15.-16. September **2016**.
- M. Korger, M. Niggeweg, C. Steinem, M. Rabe, J. Rees, Öko Pi-Tex – Digitaler Pigmentdruck (R2R) auf Textil, Textile Day, Multi-Plot, Bad Emstal, 28. Juni **2017**.
- J. Rees, M. Korger, M. Niggeweg, C. Steinem, M. Muth, M. Rabe, Eco-friendly roll-to-roll solution for digital pigment printing on textiles, The Inkjet Conference TheIJC 2017, Neuss/Düsseldorf, 24.-25. Oktober **2017**.
- J. Rees, Ökologischer Rolle-zu-Rolle-Digitaldruck mit Pigmenttinten auf Textil, 7. PIUS-Länderkonferenz, Bielefeld, 13.-14. Juni **2018**.

Veröffentlichungen:

- A. Farnung, Multi-Plot: Textile Day wirft Blick in die Zukunft, Fachzeitschrift für Textilveredlung und Promotion TVP, 4, **2017**, 39-41.
- M. Rabe, Forscher entwickeln Lösung für sparsamen digitalen Pigmentdruck auf Textil, Coating, 5, **2018**, 14-15.

Multi-Plot hat und wird weiterhin die Projektergebnisse auf renommierten Messen aus dem Textil- und Digitaldruckbereich vorstellen, darunter FESPA, Druckleitmesse Drupa (Düsseldorf), Fachmesse für visuelle Kommunikation Viscom (Frankfurt), Leitmesse für Textilveredlung und Promotion TV TecStyle Visions (Stuttgart), Heimtextil (Frankfurt) und Sportmesse ISPO (München).

8 Danksagung

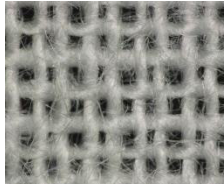

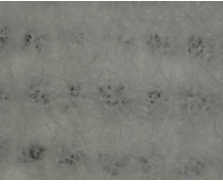
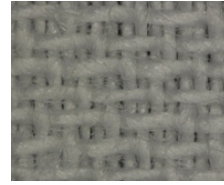
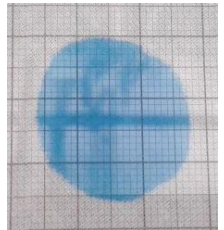
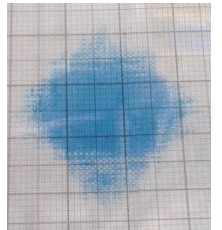
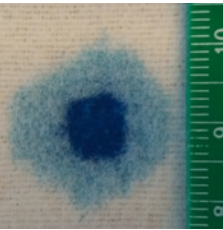
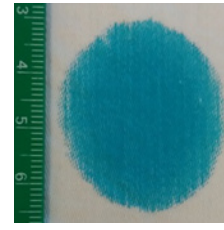
Unser Dank gilt zunächst der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung dieses Vorhabens. Weiterhin möchten wir der *Bierbaum Unternehmensgruppe GmbH & Co. KG*, *Colorprint Textilveredlungsgesellschaft mbH* und *Junkers & Müllers GmbH* für die Bereitstellung von Textilwaren danken. Der Fa. *Klieverik Heli B.V.* danken wir für die Möglichkeit der Leistungsmessungen des Ölkalanders in ihrem Technikum. Zusätzlich gilt unser Dank *Bordeaux Digital PrintInk Ltd.* für die Bereitstellung von Pigmenttinten und Durchführung von Druckversuchen im

Technikum sowie verschiedenen Zulieferern aus der Textilchemiebranche. Zuletzt danken wir allen Personen und Mitarbeitern, die an den Projektuntersuchungen beteiligt waren und uns mit weiterführenden Ideen und Anregungen während des Projektes produktiv begleitet haben.

9 Literatur

- [1] Ujiie, H., State of Art of Inkjet Textile Printing: Status Report 2012, 28th International Conference on Digital Printing Technologies, Quebec, Canada, **2012**.
- [2] Ujiie, H., Fabric Finishing: Printing Textiles, in: Sinclair, R. (Hrsg.), Textiles and Fashion – Materials Design and Technology, Woodhead Publishing, Cambridge **2015**.
- [3] Wills, R., Opinion: Pigment inks for high speed printing – A promising solution, Digital Textile, **2017**, 5, 26-28.
- [4] Orozco, M. C., Global Developments in Digital Textile Printing, European Digital Textile Conference, Messe Heimtextil, Frankfurt, 10. Januar **2018**.
- [5] Appelbaum, R., Pigmenttinten als interessante Alternative im Digitaldruck, Textilveredlung, **2012**, 5/6, 6-8.
- [6] Schöneberger, H.; Schäfer, T.; Beste verfügbare Techniken in Anlagen der Textilindustrie, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 20094329, 13, **2003**.
- [7] Gherzi Textil Organisation; Digital textile printing, Melliand International, 3, **2017**, 152-156.

Anhang 1: Textile Grundwaren

	Haustuchware (<i>Bierbaum</i>)	Polyesterware (<i>Colorprint</i>)	Biberware (<i>Bierbaum</i>)	Satinware (<i>Bierbaum</i>)
Mikroskop- aufnahme (100fache Vergrößerung)				
Bindung	Leinwand	Leinwand	Leinwand	Atlas
Material	Baumwolle	Polyester	Baumwolle	Baumwolle
Flächengewicht (g/m ²)	110	178	150	130
Dicke ⁴ (mm)	0,33	0,42	1,11	0,58
Kettfadendichte (pro cm)	29	22	19	52
Schussfadendichte (pro cm)	24	20	13	30
Absorptions- vermögen ⁵ (Einsinkzeit in s)	2,3	8,8	3,7	0,9
Absorptions- vermögen ⁵ (Tropfenform)				

⁴ Die Dicke wurde mit einem Dickenmesser (J-40-V von Schmidt, 0,5 kPa) bestimmt.

⁵ Das Absorptionsvermögen wurde gemäß TEGEWA-Tropftest (mit definiert aufgetropfter Farbstofflösung) bestimmt.

Anhang 2: Übersicht untersuchter Digitaldruckpräparationen (1. Versuchsreihe)

Nr.	Bezeichnung	Eigenschaften / Bemerkungen
PT 1	IA_DTG	Fertigmischung, milchig-trübe Präparation für DTG
PT 2	LA	Fertigmischung, milchig-trübe Suspension
PT 3	BO	Fertigmischung, klare Lösung, pH = 3 (sauer)
PT 4	P10	Fertigmischung, kationisch, pH = 4-6, Polyurethan-Basis
PT 5	AF_PU	Vernetzer, Polyurethan, pH = 7-9, nicht ionogen
PT 6	RP_PU	Vernetzer, Polyether-polyurethan, kationisch, pH = 4,5-5
PT 7	FER_SSG	Schiebefestmittel, Kieselsäure-Basis, kationisch
PT 8	TUB220	Weichgriffmittel, nicht ionogen

Anhang 3.1: Messwerte für Farbstärken und Helligkeiten (L* im CIEL*a*b*-Farbraum) der 1. Versuchsreihe

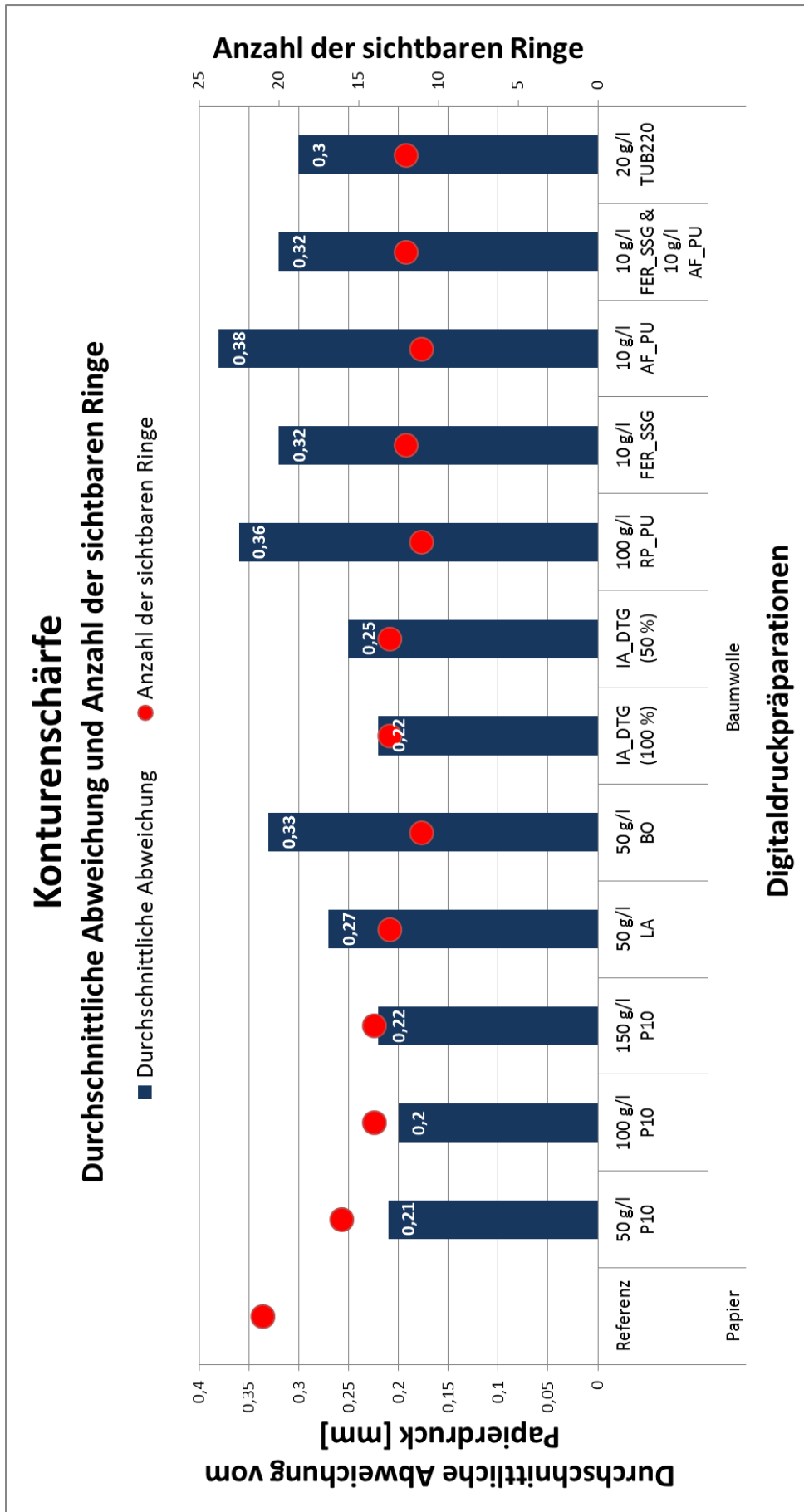
Ware	Digitaldruckpräparation	Farbstärke / -abstand				Helligkeit L*	
		vorne		hinten		vorne	hinten
		%	CMC ΔE	%	CMC ΔE		
Haustuch Baumwolle (Bierbaum)	ohne	100,0	-	100,0	-	39,1	48,5
	50 g/l P10	243,5	6,9	21,6	9,7	26,3	71,6
	100 g/l P10	251,1	7,2	19,2	10,4	26,1	71,9
	150 g/l P10	252,0	7,2	18,3	10,6	26,0	73,1
	50 g/l P11	132,7	2,2	67,9	2,7	34,4	57,0
	50 g/l LA	158,7	3,5	53,4	4,3	32,3	59,6
	50 g/l BO	114,5	1,1	76,9	1,8	36,5	54,8
	IA_DTG (100%)	263,7	7,4	24,0	9,2	25,2	68,6
	IA_DTG (50%)	254,0	7,1	25,3	8,9	25,9	69,3
	100 g/l RP_PU	129,7	2,0	53,4	4,3	35,0	59,7
	10 g/l FER_SSG	148,8	3,0	72,6	2,2	33,1	54,7
	10 g/l AF_PU	103,9	0,4	55,5	4,0	38,1	60,1
	10 g/l FER_SSG & 10 g/l AF_PU	141,0	2,6	60,9	3,4	33,7	57,5
	20 g/l TUB220	111,3	0,9	38,4	6,4	37,9	63,9
Polyester (Colortex)	150 g/l P10					23,1	73,5
	50 g/l LA					34,5	60,3
	50 g/l BO					34,4	56,7
	IA_DTG (100%)					24,6	71,7
	10 g/l FER_SSG					33,9	56,0
	10 g/l AF_PU					39,3	53,7
	20 g/l TUB220					35,7	62,0

Anhang 3.2: Messwerte für Helligkeiten (L* im CIEL*a*b*-Farbraum)
der 2. Versuchsreihe

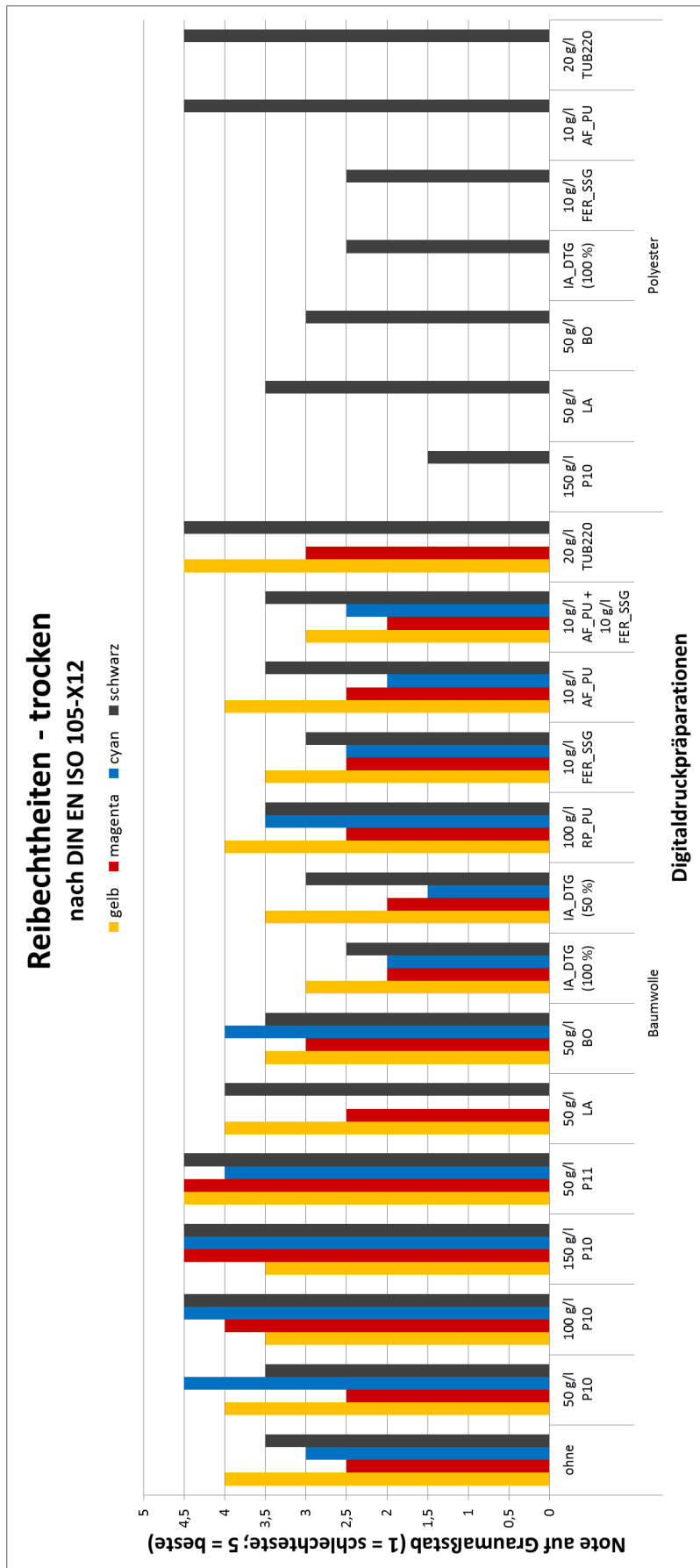
Ware	Digitaldruckpräparation	Helligkeit L*	
		vorne	hinten
Haustuch Baumwolle (Bierbaum)	100 g/l P15	26,5	70,9
	150 g/l P15	26,0	70,4
	100 % LA, 165 °C	26,4	73,1
	100 % BO, 130 °C	24,3	74,0
	100 % IA_DTG, 100 °C	23,9	75,3
	100 % IA_DTG, 130 °C	23,6	75,7
	100 % IA_DTG, 165 °C	23,8	75,9
	100 % IA_DTG, 100 °C + 100 °C direkt vor Druck	24,0	75,6
	100 % IA_DTG, 100 °C + 130 °C direkt vor Druck	24,2	75,7
	100 % IA_DTG, 100 °C + 165 °C direkt vor Druck	23,6	75,2
	50 g/l P10 + 25 g/l P11	25,8	75,3
	50 g/l P10 + 50 g/l P11	26,8	74,8
	50 g/l P10 + 25 g/l P12	26,7	76,5
	50 g/l P10 + 50 g/l P12	25,7	75,1
	100 g/l P10 + 25 g/l P12	28,3	78,1
	25 g/l P10 + 25 g/l P11 + 25 g/l P15	25,9	73,1
	50 g/l P10 + 25 g/l P11 + 25 g/l P12	27,3	76,9
	50 g/l P10 + 50 g/l P11 + 50 g/l P15	24,6	73,9
	1 % AerodispW925 + 100 g/l RP_PU	26,3	71,1
	10 % AerodispW925 + 100 g/l RP_PU	25,5	73,7
1 % AerodispW925 + 100 g/l RP_PU + 20 g/l TUB220	30,5	78,5	
10 % AerodispW925 + 100 g/l RP_PU + 20 g/l TUB220	31,7	73,7	
10 % AerodispWK7330 + 100 g/l RP_PU	26,4	75,7	
10 % AerodispWK7330 + 100 g/l RP_PU + 20 g/l TUB220	28,2	77,6	
Satinware Baumwolle (Bierbaum)	ohne	27,3	71,2
	50 g/l P10	26,2	77,5
	100 g/l P10	26,0	78,4
	150 g/l P10	25,8	79,5
	100 % BO	25,8	76,7
	100 % IA_DTG	24,6	77,8
	50 g/l P10 + 25 g/l P11	26,1	77,1
	50 g/l P10 + 50 g/l P11	26,8	77,4
	50 g/l P10 + 25 g/l P12	27,9	78,3
	50 g/l P10 + 25 g/l P11 + 25 g/l P12	28,1	77,6

Ware	Digitaldruckpräparation	Helligkeit L*	
		vorne	hinten
Biberware Baumwolle (Bierbaum)	ohne	29,6	79,9
	100 % BO, 130 °C	31,0	82,7
	100 % IA_DTG	31,1	83,1
	50 g/l P10	34,3	83,1
	100 g/l P10	34,3	83,1
	50 g/l P15	30,4	82,1
	100 g/l P15 (vor Druck: kalandriert bei 100 °C, 1 min)	30,1	82,0
	100 g/l P15	30,0	82,3
	150 g/l P15	30,9	82,2
	50 g/l P10 + 50 g/l P15	31,9	82,4
	50 g/l P11 + 100 g/l P15	30,7	81,9
	50 g/l P10 + 50 g/l P11 + 50 g/l P15	32,4	82,5
Polyester (Colortex)	ohne	34,7	60,6
	100 % BO, 130 °C, Fixiertemp. 165 °C	26,0	72,7
	100 % BO, 130 °C, Fixiertemp. 180 °C	26,0	72,7
	50 g/l P10	22,2	73,2
	100 % IA_DTG, 165 °C	24,3	73,3
	100 g/l RP_PU, 100 °C	33,8	56,5
	50 g/l P10 + 25 g/l P11	22,8	73,2
	50 g/l P10 + 50 g/l P11	25,5	73,3
	75 g/l P10 + 75 g/l P11	24,6	73,4
	100 g/l P10 + 25 g/l P11	22,5	73,5
	100 g/l P10 + 50 g/l P11	23,1	73,2
	100 g/l P10 + 25 g/l P12	24,6	73,8
	10 % AerodispW925 + 100 g/l RP_PU	32,9	62,3
	10 % AerodispW925 + 100 g/l RP_PU + 20 g/l TUB220	34,1	70,7
	10 % AerodispWK7330 + 100 g/l RP_PU	33,3	65,2
10 % AerodispWK7330 + 100 g/l RP_PU + 20 g/l TUB220	33,5	71,3	

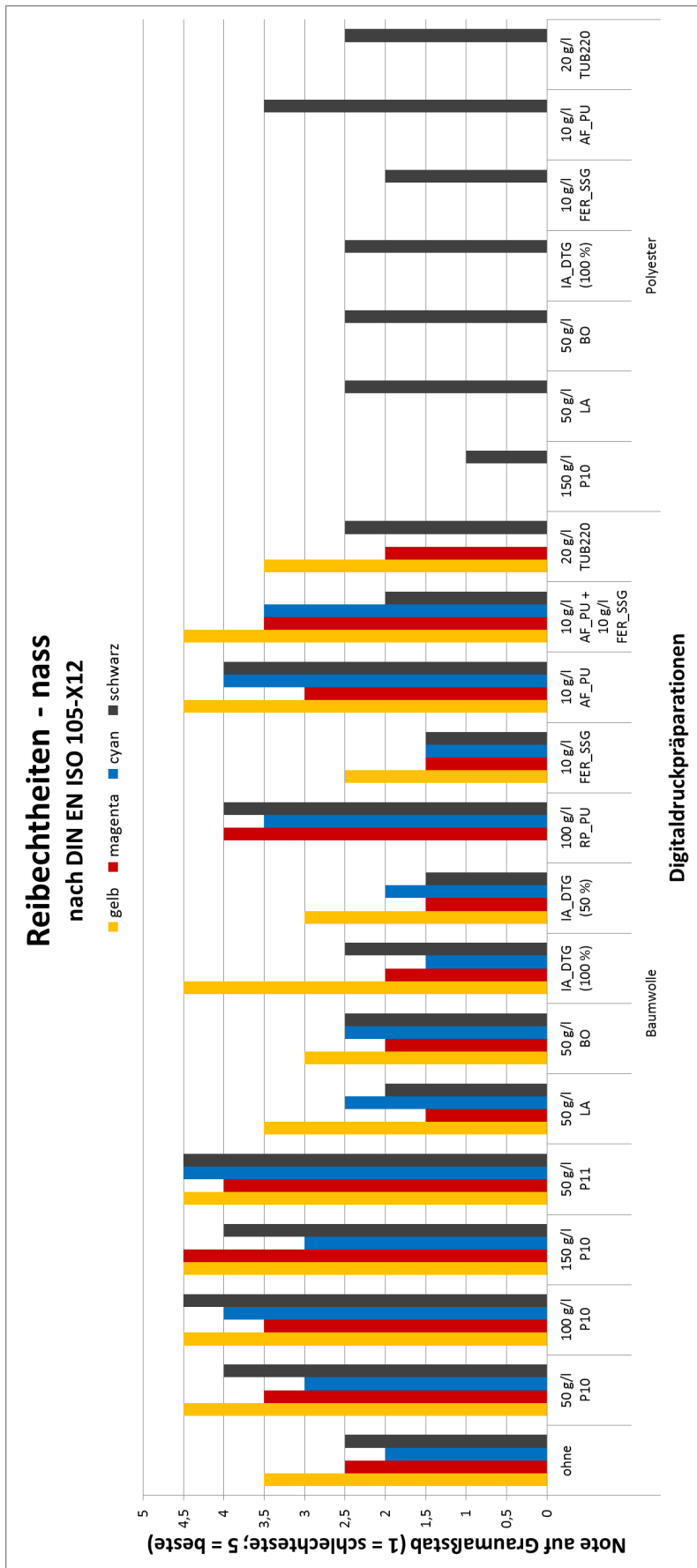
Anhang 4: Bestimmung der Konturenschärfe von der 1. Versuchsreihe



Anhang 5.1: Bestimmung der Farbechtheit gegen Reiben (trocken)
von der 1. Versuchsreihe

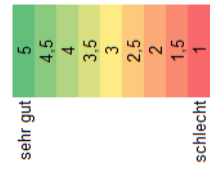


Anhang 5.2: Bestimmung der Farbechtheit gegen Reiben (nass)
von der 1. Versuchsreihe



Anhang 5.3: Übersichtsmatrix Farbechtheit gegen Reiben von der 2. Versuchsreihe

Ware > Farbe > Reibechtheit >	CO Hautuch (Bierbaum)				CO Satin (Bierbaum)				CO Biber (Bierbaum)				PES (Colorprint)			
	schwarz		magenta		schwarz		magenta		schwarz		magenta		schwarz		magenta	
	trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass
ohne Präparation	2,5	1,5	3,5	2,5	2,5	2	3	3	2	1	2,5	1,5	3	2,5	4,5	4
mit Pflanzschlichte	2,5	1,5	3,5	2												
ohne Präparation	4,5	3	4,5	4,5	2,5	2,5	3	4	3,5	1,5	4,5	2,5	4,5	3,5	3,5	3,5
100 % BO, 130 °C																
100 % BO, 130 °C, 2,5 min																
1 % Aerodisp W925, 100 g/l RP_PU, 20 g/l TUB220	2,5	1,5	4	3,5												
10 % Aerodisp W925, 100 g/l RP_PU	3	2	2,5	3,5									4	2,5	4,5	4,5
10 % Aerodisp W925, 100 g/l RP_PU, 20 g/l TUB220	4	1,5	3,5	3									4,5	2	4,5	3
10 % Aerodisp WK7330, 100 g/l RP_PU	2	1,5	2,5	2,5									3,5	2	4	3
10 % Aerodisp WK7330, 100 g/l RP_PU, 20 g/l TUB220	2,5	2	2,5	2,5									4	2,5	4	3
100 g/l RP_PU													4	2,5	4,5	3
100 % IA, DTG, 100 °C	2	1,5	2,5	2,5												
100 % IA, DTG, 130 °C	2	1,5	3	2,5												
100 % IA, DTG, 165 °C	2,5	1,5	3	2	3	1,5	2,5	3	2,5	1,5	2,5	1,5	3	2	3,5	3,5
100 % IA, DTG, 100 °C + 100 °C direkt vor Druck	2	1,5	3	2												
100 % IA, DTG, 100 °C + 130 °C direkt vor Druck	2	1,5	2,5	2,5												
100 % IA, DTG, 100 °C + 165 °C direkt vor Druck	2,5	1	2,5	2,5	2,5	2	3	3,5	2,5	1,5	2,5	2,5	2	1	3	1,5
50 g/l P10																
100 g/l P10					3	2,5	3	4	4	1,5	2,5	2				
150 g/l P10					4,5	3	2,5	4		1,5	3	2				
50 g/l P15									3	2	3	3				
100 g/l P15	4,5	4	4,5	4					4,5	2,5	4,5	2,5				
kein Kal.; 100 g/l P15																
Kalandern: 100 °C, 1 min vor Druck; 100 g/l P15																
150 g/l P15	4,5	3	4,5	4,5					4,5	1,5	4,5	4				
100 g/l P10 + 25 g/l P11																
100 g/l P10 + 25 g/l P12	4,5	3	4,5	3,5									1,5	1	2,5	1
100 g/l P10 + 50 g/l P11													2	1	2,5	2,5
50 g/l P10 + 25 g/l P11	4,5	2,5	2,5	4,5	2,5	2	4,5	4					1,5	1	2,5	1,5
50 g/l P10 + 25 g/l P12	4,5	3	4,5	3,5	4,5	2,5	2,5	3					3	1,5	2	1
50 g/l P10 + 50 g/l P11	4,5	2	4,5	4	3,5	2,5	2,5	3,5					2,5	1,5	2,5	1,5
50 g/l P10 + 50 g/l P12	4,5	3	4,5	3									2,5	1,5	2,5	1,5
50 g/l P10 + 50 g/l P15									4,5	1,5	4,5	2				
75 g/l P10 + 75 g/l P11													1,5	1,5	2	1,5
Kalandern: 50 g/l P11 + 100 g/l P15									4,5	2,5	4,5	4				
25 g/l P10 + 25 g/l P11 + 25 g/l P12	4	3	4	4												
50 g/l P10 + 25 g/l P11 + 25 g/l P12	4,5	4	4,5	4	4,5	3	4,5	3,5								
50 g/l P10 + 50 g/l P11 + 50 g/l P15	4,5	2,5	4,5	4					4,5	1,5	4,5	2,5				



Anhang 5.4: Übersichtsmatrix Farbechtheit gegen Reiben von bedruckten Werbemedien (Mediatex®) / Rolltextilien (mit bzw. ohne BS = Beschichtung)

Ware > Reibeinheit > Wareseite (Beschichtung) >	Bermuda PES				Allegro PES			
	trocken		nass		trocken		nass	
	ohne	mit BS	ohne	mit BS	ohne	mit BS	ohne	mit BS
schwarz 1	3,5	3	2	1,5	3	2,5	3	1
schwarz 2	3,5	3	1,5	2,5	3	3,5	3	1,5
cyan	3,5	3	4	2	4	3,5	3,5	2
gelb	4,5	3	3,5	1,5	4	3,5	4	2,5
magenta	4	2,5	3,5	3	3,5	3	3,5	2
orange	4,5	2,5	3	1	4	2,0	3,5	2
blau	3,5	2,5	3,5	1,5	3	3	4	2

Ware > Reibeinheit > Wareseite (Beschichtung) >	Air PES				Boticelli CO				Carina PES		sehr gut 5 4,5 4 3,5 3 2,5 2 1,5 schlecht 1
	trocken		nass		trocken		nass		trocken	nass	
	ohne	mit BS	ohne	mit BS	ohne	mit BS	ohne	mit BS	mit BS	mit BS	
schwarz 1	4	2,5	2	1,5	2,5	2	1,5	1,5	2,0	1,5	
schwarz 2	4	2	1,5	1	2,5	2,5	1,5	2			
cyan	3	1,5	3	3	2,5	2	1,5	3	2,5	2,5	
gelb	3	2,5	2	3,5	3	2,5	2	3,5	2,5	3,5	
magenta	3	1,5	2,5	3,5	2	2,5	1,5	3	2,0	2,0	
orange	2,5	2	1,5	3	3,5	2,5	2	3,5			
blau	3	2	3	3,5	2,5	1,5	1,5	3			

Anhang 5.5: Übersichtsmatrix Farbechtheit gegen Reiben von Drucken mit anderen Pigmenttinten (Bordeaux Eden PG MV)

Ware > Farbe Reibeinheit >	CO Haustuch (Bierbaum)				PES (Colorprint)			
	schwarz		magenta		schwarz		magenta	
	trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass
ohne Präparation	2,5	2	3	3,5	3	4	4	4,5
mit Restschichte, ohne Präparation	3	4,5	3	3,5				
100 % BO, 100 °C, 2,5 min	3	4,5	2,5	4,5	4,5	3	4	3
100 % BO, 130 °C, 2,5 min	3	4,5	3,5	4				
100 % BO, 165 °C, 2,5 min	3	4,5	3,5	4	3	3	3,5	2,5
50 g/l P10	3,5	3	3	3,5	3	1,5	3,5	2
100 g/l P10	3,5	2,5	3,5	3,5	2	1	2	2
150 g/l P10	4,5	2	4	2,5	1,5	1	1,5	1,5
50 g/l P10 + 25 g/l P11	3,5	2,5			3,5	1	3,5	2
50 g/l P10 + 25 g/l P12	4,5	4,5	4,5	3,5				
50 g/l P10 + 50 g/l P11	3,5	4	4	3,5	4	1	4	3
50 g/l P10 + 50 g/l P12	4	4,5	4,5	4				
75 g/l P10 + 75 g/l P11					2,5	1	3,5	1,5
100 g/l P10 + 25 g/l P11			4,5	4	1,5	1	1,5	1,5
100 g/l P10 + 25 g/l P12	4,5	3,5	4,5	3	1,5	1	2	1,5
100 g/l P10 + 50 g/l P11					2	1	3	2
50 g/l P10 + 25 g/l P11 + 25 g/l P12	4	4	4,5	3,5				
50 g/l P15	3,5	4,5	2,5	4,5				
100 g/l P15	3,5	2	4	4				
150 g/l P15	3,5	2,5	3,5	4,5				

Anhang 6.1: Farbechtheit bei Wäsche, Anbluten von Begleitgewebe nach DIN EN ISO 105-C06 C1S bei der 1. Versuchsreihe

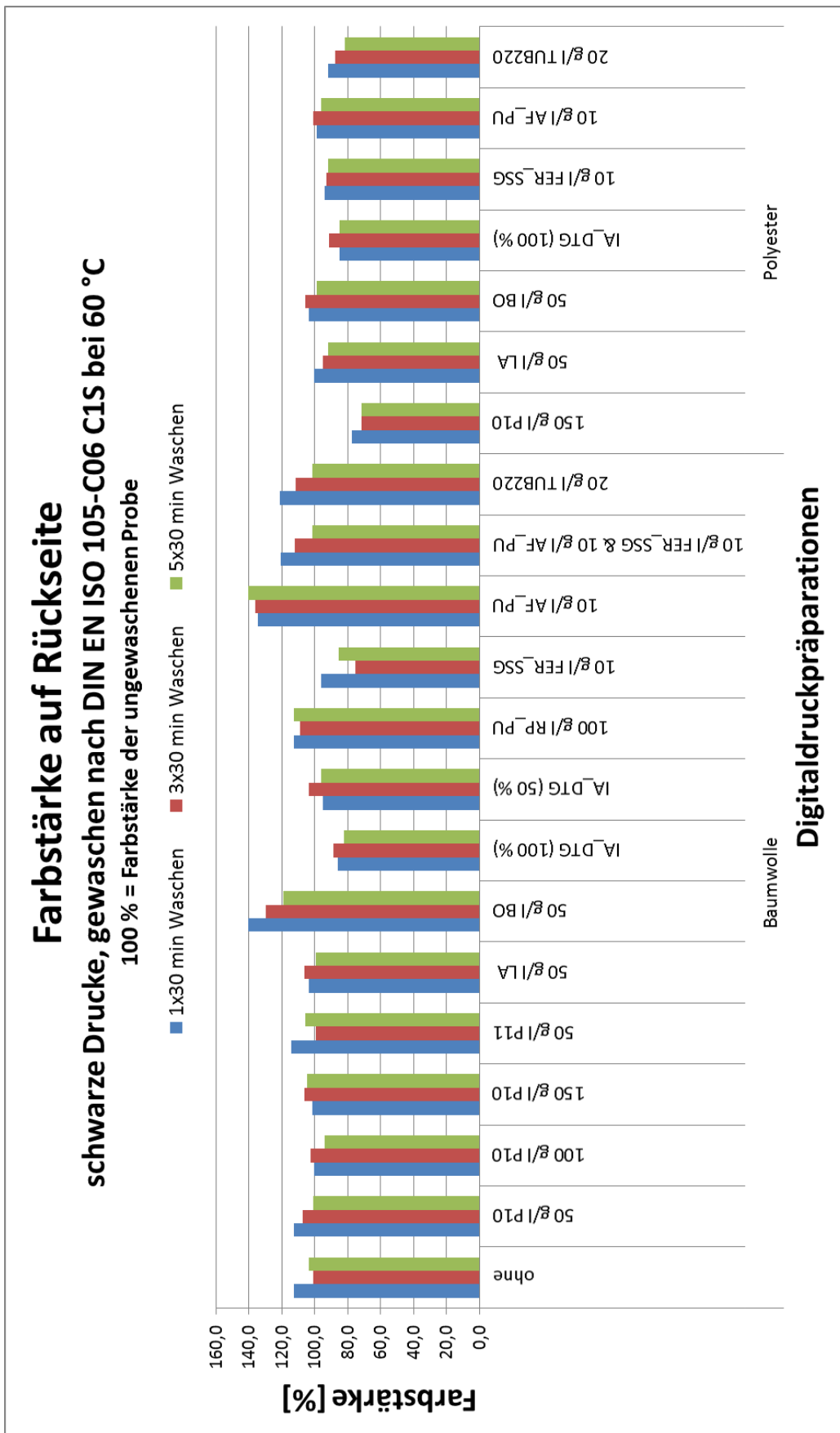
CTA = Triacetat, CO = Baumwolle, PA = Polyamid, PES = Polyester, PAN = Polyacryl, CV = Viskose

Textiles Substrat	Digitaldruck- präparation	gelb					magenta					cyan					schwarz							
		CTA	CO	PA	PES	PAN	CV	CTA	CO	PA	PES	PAN	CV	CTA	CO	PA	PES	PAN	CV	CTA	CO	PA	PES	PAN
Baumwolle	ohne	4,5	5	5	4,5	5	5	5	4,5	4,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	50 g/l P10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4,5	4,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	100 g/l P10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	150 g/l P10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	50 g/l P11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	50 g/l LA	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	50 g/l BO	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	IA_DTG (100 %)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	IA_DTG (50 %)	5	5	4,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	100 g/l RP_PU	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10 g/l FER_SSG	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
10 g/l AF_PU	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
10 g/l FER_SSG & 10 g/l AF_PU	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
20 g/l TUB220	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
150 g/l P10	N/A																							
50 g/l LA	N/A																							
50 g/l BO	N/A																							
IA_DTG (100 %)	N/A																							
10 g/l FER_SSG	N/A																							
10 g/l AF_PU	N/A																							
20 g/l TUB220	N/A																							
Polyester	ohne	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	50 g/l P10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	100 g/l P10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	150 g/l P10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	50 g/l P11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	50 g/l LA	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	50 g/l BO	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	IA_DTG (100 %)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	IA_DTG (50 %)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	100 g/l RP_PU	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10 g/l FER_SSG	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
10 g/l AF_PU	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
10 g/l FER_SSG & 10 g/l AF_PU	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
20 g/l TUB220	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
150 g/l P10	N/A																							
50 g/l LA	N/A																							
50 g/l BO	N/A																							
IA_DTG (100 %)	N/A																							
10 g/l FER_SSG	N/A																							
10 g/l AF_PU	N/A																							
20 g/l TUB220	N/A																							

Anhang 6.2: Farbechtheit bei Wäsche (schwarz) nach DIN EN ISO 105-C06 C1S (60 °C) bei der 1. Versuchsreihe

Ware	Digitaldruckpräparation	1x30 min Waschen				3x30 min Waschen				5x30 min Waschen				Note nach Graumaßstab
		vorne		hinten		vorne		hinten		vorne		hinten		
		%	CMC ΔE	%	CMC ΔE	%	CMC ΔE	%	CMC ΔE	%	CMC ΔE	%	CMC ΔE	
Baumwolle	ohne	105,8	0,5	112,5	0,9	94,5	0,7	100,8	0,4	84,7	1,6	103,7	0,3	3,5
	50 g/l P10	111,7	1,0	112,8	0,9	101,7	0,2	107,4	0,6	96,8	0,3	101,0	0,3	4,5
	100 g/l P10	107,4	0,6	100,7	0,6	107,0	0,7	102,7	0,7	96,7	0,4	94,0	0,7	5,0
	150 g/l P10	107,0	0,6	101,8	0,7	95,4	0,5	106,3	0,9	84,7	1,5	104,7	0,6	4,5
	50 g/l P11	106,0	0,5	114,2	0,9	103,0	0,4	99,2	0,3	104,1	0,4	105,8	0,4	5,0
	50 g/l LA	104,9	0,4	103,8	0,6	85,7	1,4	106,2	0,8	74,1	2,7	99,5	0,6	3,5
	50 g/l BO	97,7	0,3	140,6	2,3	87,2	1,2	130,0	1,8	78,2	2,1	119,2	1,2	4,0
	IA_DTG (100 %)	108,9	0,8	86,3	0,8	93,0	0,8	88,8	0,7	70,6	3,2	82,2	1,1	3,0
	IA_DTG (50 %)	100,2	0,4	95,3	0,3	77,6	2,4	103,8	0,6	78,1	2,3	96,3	0,5	2,5
	100 g/l RP_PU	111,5	0,9	112,7	0,7	109,3	0,7	108,9	0,6	120,6	1,2	112,8	1,0	5,0
	10 g/l FER_SSG	93,3	0,6	96,1	0,4	74,6	2,6	75,2	1,8	70,4	3,1	85,7	1,0	3,0
Polyester	10 g/l AF_PU	105,1	0,4	134,6	1,8	103,7	0,4	136,1	1,9	99,1	0,4	140,3	2,1	5,0
	10 g/l FER_SSG & 10 g/l AF_PU	101,7	0,3	120,9	1,2	90,4	0,9	112,3	0,8	88,8	1,1	101,8	0,2	3,0
	20 g/l TUB220	106,6	0,6	121,4	1,1	89,8	1,1	111,8	0,8	85,5	1,5	101,8	0,3	3,5
	150 g/l P10	93,7	0,6	77,3	1,1	84,3	1,6	71,5	1,4	75,3	2,7	71,4	1,4	4,0
	50 g/l LA	129,1	2,2	100,7	0,1	115,2	1,4	95,0	0,3	99,4	1,2	91,9	0,5	4,5
	50 g/l BO	93,3	0,6	104,0	0,3	90,0	0,9	106,0	0,4	82,9	1,6	99,0	0,1	4,0
	IA_DTG (100 %)	89,3	1,1	85,1	0,7	84,4	1,6	91,3	0,4	80,2	2,1	85,0	0,4	3,5
10 g/l FER_SSG	91,5	0,8	94,3	0,4	84,1	1,4	93,0	0,6	77,5	2,1	92,0	0,6	4,0	
10 g/l AF_PU	100,2	0,1	99,1	0,1	93,7	0,6	101,3	0,1	89,7	0,9	96,4	0,3	4,5	
20 g/l TUB220	84,1	1,4	91,9	0,5	73,6	2,6	87,7	0,8	69,7	3,0	82,0	1,1	3,5	

Anhang 6.4: Farbechtheit bei Wäsche, Farbstärke nach dem Waschen (Rückseite) bei der 1. Versuchsreihe



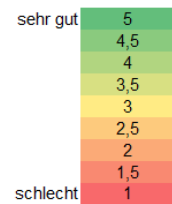
Anhang 7.1: Farbechtheit bei Wäsche (schwarz) nach DIN EN ISO 105-C06 C1S (60 °C) bei ausgewählten Textilmustern der 2. Versuchsreihe

Ware	Digitaldruckpräparation	Referenz	1x30 min Waschen			3x30 min Waschen			5x30 min Waschen		
		Helligkeit L*	Farbstärke / -abstand		Helligkeit ΔL*	Farbstärke / -abstand		Helligkeit ΔL*	Farbstärke / -abstand		Helligkeit ΔL*
			%	CMC ΔE		%	CMC ΔE		%	CMC ΔE	
Haustuch Baumwolle	keine	26,1	95,7	0,4	0,6	88,8	1,1	1,5	81,8	1,8	2,6
	100 g/l P10	26,3	110,1	0,9	-1,2	107,5	0,7	-0,9	95,3	0,4	0,6
	100 g/l (P10:P11:P12 = 2:1:1)	27,3	94,0	0,5	0,8	86,2	1,4	2,0	70,7	3,1	4,7
Satin Baumwolle	keine	27,0	96,5	0,4	0,5	81,6	1,8	2,7	73,3	2,8	4,2
	100 g/l (P10:P11:P12 = 2:1:1)	28,4	102,2	0,2	-0,3	94,9	0,6	0,7	83,8	1,6	2,4
Biber Baumwolle	keine	28,2	76,8	2,4	3,6	48,4	6,7	10,2	38,2	9,0	13,7
	100 g/l P15 (kalandriert)	30,5	106,4	0,6	-0,9	105,1	0,5	-0,7	99,7	0,2	0,0
Polyester	keine	35,1	90,9	0,8	1,4	79,4	1,9	3,3	71,9	2,7	4,8
	100 % BO; 130 °C; 2,5 min	26,1	94,8	0,7	0,7	80,6	2,1	2,8	72,5	3,0	4,3
	100 g/l (P10:P11 = 1:1)	25,5	87,5	1,3	1,7	82,7	1,7	2,5	77,9	2,3	3,2
Vergleich											
Haustuch	Siebdruck Pigment	24,1	108,5	0,8	-1,0	99,9	0,1	0,0	102,5	0,2	-0,3
Satin	Reaktivdruck digital	25,3	103,9	0,5	-0,5	107,9	0,8	-1,0	99,2	0,0	0,1

Ware	Digitaldruckpräparation	Referenz	10x30 min Waschen			15x30 min Waschen		
		Helligkeit L*	Farbstärke / -abstand		Helligkeit ΔL*	Farbstärke / -abstand		Helligkeit ΔL*
			%	CMC ΔE		%	CMC ΔE	
Haustuch Baumwolle	keine	26,1	70,4	3,2	4,6	66,5	3,8	5,5
	100 g/l P10	26,3	95,1	0,5	0,6	93,3	0,6	0,9
	100 g/l (P10:P11:P12 = 2:1:1)	27,3	69,1	3,3	5,0	59,5	4,8	7,2
Satin Baumwolle	keine	27,0	65,3	3,9	5,8	48,8	6,8	10,0
Baumwolle	100 g/l (P10:P11:P12 = 2:1:1)	28,4	78,0	2,2	3,4	76,3	2,4	3,7
Biber Baumwolle	keine	28,2	33,9	10,2	15,5	33,6	10,3	15,7
Baumwolle	100 g/l P15 (kalandriert)	30,5	99,5	0,5	0,1	92,8	1,0	1,1
Polyester	keine	35,1	65,1	3,6	6,3	63,5	3,8	6,7
	100 % BO; 130 °C; 2,5 min	26,1	53,1	6,1	8,6	47,0	7,2	10,4
	100 g/l (P10:P11 = 1:1)	25,5	74,9	2,7	3,8	75,3	2,6	3,7
Vergleich								
Haustuch	Siebdruck Pigment	24,1	90,1	1,0	1,3	87,0	1,3	1,7
Satin	Reaktivdruck digital	25,3	104,4	0,4	-0,5	100,3	0,3	-0,3

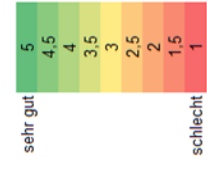
Anhang 7.2: Übersichtsmatrix Farbechtheit nach Haushaltswäschen (Feinwaschmittel, 60 °C, 1-5 ohne Schleudern, 6-10 mit Schleudern) von Drucken mit anderen Pigmenttinten (Bordeaux Eden PG MV)

Ware > Farbe > Anzahl Wäschen >	CO Haustuch (Bierbaum)								PES (Colorprint)							
	schwarz				magenta				schwarz				magenta			
	1	5	6	10	1	5	6	10	1	5	6	10	1	5	6	10
ohne Präparation	5	4,5	4	3,5	5	4,5	4,5	4	5	3,5	3,5	3	4,5	3,5	3	3
mit Restschlichte, ohne Präparation	5	4,5	4,5	4,5	5	5	4,5	4,5	5	4,5	3,5	3	5	4,5	4,5	4,5
100 % BO, 100 °C, 2,5 min	5	4,5	4,5	4	5	4,5	4,5	4,5	5	4,5	3,5	3	5	4,5	4,5	4
100 % BO, 130 °C, 2,5 min	5	4,5	4,5	4	5	4,5	4,5	4,5	4,5	4	3,5	3	5	4,5	4,5	4
100 % BO, 165 °C, 2,5 min	5	4,5	4	4	5	4,5	4,5	4	5	4,5	3,5	3	5	4,5	4	3,5
50 g/l P10	5	4,5	4	3,5	5	4,5	4,5	4	5	4	3	2,5	5	4,5	3,5	3
150 g/l P10	5	4,5	4	3,5	5	4,5	4,5	3,5	5	4,5	3	3	5	4,5	3,5	3,5
50 g/l P10 + 25 g/l P11	5	4,5	4,5	4	5	4,5	4,5	4								
50 g/l P10 + 25 g/l P12	5	4,5	4,5	4	5	4,5	4,5	4								
50 g/l P10 + 50 g/l P11	5	4,5	4,5	4	5	4,5	4,5	4,5	5	4,5	3,5	3	5	4,5	4	4
50 g/l P10 + 50 g/l P12	5	4,5	4,5	4	5	4,5	4,5	4								
75 g/l P10 + 75 g/l P11									5	4,5	3,5	3	5	4,5	4	3,5
100 g/l P10 + 25 g/l P11									5	4,5	3,5	3	5	4,5	3,5	3
100 g/l P10 + 25 g/l P12	5	4,5	4,5	4,5	5	4,5	4	3,5	5	4,5	3	2,5				
100 g/l P10 + 50 g/l P11									5	4,5	3	3	5	4,5	4	3,5
50 g/l P10 + 25 g/l P11 + 25 g/l P12	5	4,5	4,5	4	5	5	4,5	4								
50 g/l P15	5	4,5	4,5	4	5	4,5	4,5	4,5								
100 g/l P15	5	4,5	4,5	4,5	5	4,5	4,5	4,5								
150 g/l P15	5	5	5	4,5	5	4,5	4,5	4,5								



Anhang 7.3: Übersichtsmatrix Farbechtheit nach Haushaltswäschen (Feinwaschmittel, 60 °C, 1-5 ohne Schleudern, 6-10 mit Schleudern) von der 2. Versuchsreihe

Ware > Farbe >	CO Haustuch (Bierbaum)										CO Satin (Bierbaum)										CO Biber (Bierbaum)										PES (Colorprint)									
	schwarz					magenta					schwarz					magenta					schwarz					magenta														
Anzahl Wäschen >	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10										
ohne Präparation, ohne Schleichte	5	4	3,5	3,5	5	4,5	3,5	3,5	3,5	5	4	3,5	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3	2	5	4,5	3,5	2,5								
ohne Präparation, mit Restschlichte	5	4	3,5	3,5	5	4,5	3,5	3,5	3,5	5	4	3,5	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3	2	5	4,5	3,5	2,5								
100 % BO, 130 °C	5	4	3	3	5	4,5	3,5	3,5	3,5	5	4	3,5	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3	2	5	4,5	3,5	2,5								
100 % BO, 130 °C, 2,5 Min.	5	4,5	4,5	4	5	5	4	4	4	5	4,5	4,5	5	5	4,5	4,5	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	2,5								
1 % Aerodisp W925, 100 g/l RP, PU	5	4,5	4,5	4,5	5	4,5	4,5	4,5	4,5	5	4,5	4,5	5	5	4,5	4,5	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	2,5								
1 % Aerodisp W925, 100 g/l RP, PU, 20 g/l TUB220	5	4,5	4,5	4,5	5	4,5	4,5	4,5	4,5	5	4,5	4,5	5	5	4,5	4,5	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	2,5								
10% Aerodisp W925, 100 g/l RP, PU	5	5	4,5	4	5	4,5	4	4	4	5	4,5	4	5	5	4,5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	2,5							
10 % Aerodisp W925, 100 g/l RP, PU, 20 g/l TUB220	5	4,5	4	4	5	4,5	4	4	4	5	4,5	4	5	5	4,5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	2,5							
10 % Aerodisp WK7330, 100 g/l RP, PU	5	4,5	4,5	4	5	4,5	4	4	4	5	4,5	4	5	5	4,5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	2,5							
100 % IA, DTG, 100 °C	5	4,5	4	3,5	5	4,5	3,5	3,5	3,5	5	4,5	3,5	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	2,5								
100 % IA, DTG, 130 °C	5	4,5	3,5	3,5	5	4,5	3	3	3	5	4,5	3,5	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
100 % IA, DTG, 165 °C	5	4,5	4	3	5	4,5	3,5	2,5	2,5	5	5	3,5	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
100 % IA, DTG, 100 °C + 100 °C direkt vor Druck	5	4,5	4	3	5	4,5	4	3	3	5	4,5	4	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
100 % IA, DTG, 100 °C + 130 °C direkt vor Druck	5	4,5	4	3	5	4,5	4	3	3	5	4,5	4	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
100 % IA, DTG, 100 °C + 165 °C direkt vor Druck	5	4,5	4	3	5	4,5	4	3	3	5	4,5	4	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
50 g/l P10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							
100 g/l P10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							
150 g/l P10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							
50 g/l P15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							
100 g/l P15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							
kein Kal., 100 g/l P15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							
100 g/l P15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							
150 g/l P15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							
100 g/l P10 + 25 g/l P11	5	5	4	4	5	4,5	4	4	4	5	4,5	4	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
100 g/l P10 + 25 g/l P12	5	4,5	4	3,5	5	4,5	3,5	2,5	2,5	5	4,5	3,5	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
100 g/l P10 + 50 g/l P11	5	4,5	4	3,5	5	4,5	3,5	2,5	2,5	5	4,5	3,5	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
50 g/l P10 + 25 g/l P11	5	4,5	3,5	3	5	4,5	4	3,5	3,5	5	4,5	4	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
50 g/l P10 + 25 g/l P12	5	5	4	4	5	4,5	4	4	4	5	4,5	4	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
50 g/l P10 + 50 g/l P11	5	5	3,5	3	5	4,5	3,5	3	3	5	4,5	3,5	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
50 g/l P10 + 50 g/l P15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							
75 g/l P10 + 75 g/l P11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							
Kalander: 50 g/l P11 + 100 g/l P15	5	5	4,5	4,5	5	5	4,5	4	4	5	4,5	4	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
25 g/l P10 + 25 g/l P11 + 25 g/l P12	5	4,5	4	3,5	5	4,5	3,5	2,5	2,5	5	4,5	3,5	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
50 g/l P10 + 25 g/l P11 + 25 g/l P12	5	4,5	4	3,5	5	4,5	3,5	2,5	2,5	5	4,5	3,5	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								
50 g/l P10 + 50 g/l P11 + 50 g/l P15	5	5	4,5	4,5	5	4,5	4	4	4	5	4,5	4	5	5	4	4	5	5	2,5	1,5	5	5	2,5	1,5	5	4,5	3,5	2	5	4,5	3,5	3								



Anhang 8: Analyse der pH-Werte, Leitfähigkeiten und Ionogenitäten

Medium / Vorbehandlung		Temperatur [°C]	pH-Wert	Leitfähigkeit [µS]	Ionogenität
destilliertes Wasser		22,5	7,85	255	
weiches Wasser		22,6	7,91	600	
Leitungswasser		22,6	7,67	523	
Inkjet-Präparationen					
P10	unverdünnt	21,7	5,15	> 20000	kationisch
50 g/l P10	mit dest. Wasser	22,4	6,54	11760	
	mit weichem Wasser	22,7	6,61	12010	
	mit hartem Wasser	22,3	6,38	11790	
100 g/l P10	mit dest. Wasser	22,7	6,16	20000	
	mit weichem Wasser	22,4	6,16	> 20000	
	mit hartem Wasser	22,4	6,10	> 20000	
150 g/l P10	mit dest. Wasser	22,6	5,92	> 20000	
	mit weichem Wasser	22,3	5,90	> 20000	
	mit hartem Wasser	22,3	5,86	> 20000	
P11	unverdünnt	21,5	5,14	6080	nicht ionogen
50 g/l P11	mit dest. Wasser	22,5	6,34	1040	
LA	unverdünnt	22,2	6,24	9740	kationisch
50 g/l LA	mit dest. Wasser	22,8	7,48	1082	
	mit weichem Wasser	22,1	7,35	1093	
	mit hartem Wasser	21,9	7,30	1023	
BO	unverdünnt	21,8	2,89	1189	leicht anionisch
50 g/l BO	mit dest. Wasser	22,8	4,15	500	
	mit weichem Wasser	22,1	4,46	590	
	mit hartem Wasser	21,8	4,11	472	
IA_DTG	unverdünnt	21,7	5,03	14650	nicht ionogen
50/50 IA_DTG	mit dest. Wasser	22,7	7,15	8350	
	mit weichem Wasser	22,4	7,09	8340	
	mit hartem Wasser	23,8	7,45	8290	
RP_PU	unverdünnt	21	4,51	2830	nicht ionogen
100 g/l RP_PU	mit dest. Wasser	22,8	4,61	997	
	mit weichem Wasser	22,2	4,59	1054	
	mit hartem Wasser	22,7	4,61	1009	
FER_SSG	unverdünnt	21,5	4,11	> 20000	kationisch
10 g/l FER_SSG	mit dest. Wasser	22,9	5,09	745	
	mit weichem Wasser	22,4	5,08	797	
	mit hartem Wasser	22,6	5,11	762	
AF_PU	unverdünnt	21,5	8,18	3050	nicht ionogen
10 g/l AF_PU	mit dest. Wasser	23,2	7,67	564	
	mit weichem Wasser	22,1	8,22	636	
	mit hartem Wasser	22,7	7,75	559	
10 g/l FER_SSG + 10 g/l AF_PU	mit dest. Wasser	22,5	5,16	807	
	mit weichem Wasser	22,1	5,19	847	
	mit hartem Wasser	22,4	5,16	773	
TUB220	unverdünnt	21,6	3,83	4220	
20 g/l TUB220	mit dest. Wasser	22,9	5,34	633	
	mit weichem Wasser	22,1	5,82	760	
	mit hartem Wasser	22,6	5,35	623	
Pigment-Tinten (dgen)					
cyan		22,3	8,60	1088	anionisch
magenta		22,5	8,96	1230	anionisch
gelb		22,8	8,77	1326	anionisch
schwarz		22,6	8,17	1018	anionisch
orange		22,4	8,64	1110	anionisch
blau		22,3	8,73	1129	anionisch
light cyan		22,4	8,54	653	anionisch
light magenta		22,5	8,79	620	anionisch
Pigment-Tinten (Bordeaux Eden PG MV)					
cyan		19,6	8,27	853	anionisch
magenta		19,9	8,10	606	anionisch
gelb		19,4	8,21	806	anionisch
schwarz		19,9	7,98	1039	anionisch