



Technische Universität Graz
Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik

Dissertation

UNTERSUCHUNG DER URSACHE
FÜR KLEINRÄUMIGE DRUCKBILDSTÖRUNGEN
IM HEATSET WEB OFFSET DRUCK
AN UNGESTRICHENEN PAPIEREN

vorgelegt von

Elmar-Rainer Wind

19. Juli 2011

Begutachter

Prof. Dr. Wolfgang Bauer

Prof. Dr. Harald Großmann

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzen Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Ich versichere, dass ich dieses Dissertationsthema bisher weder im In- und Ausland (einem Beurteiler oder einer Beurteilerin) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Datum

(Unterschrift)

Untersuchung der Ursache für kleinräumige Druckbildstörungen im Heatset Web Offset Druck an ungestrichenen Papieren

von

Elmar-Rainer Wind

Die vorgestellte Arbeit zeigt, welche Papiereigenschaften einen Einfluss auf die Druckqualität im Heatset Web Offset Druck an ungestrichenen Papieren hinsichtlich des Mottling haben und zu welchem Anteil sie dafür verantwortlich sind. Die dafür in Frage kommenden Papiereigenschaften wurden aufgrund der Kenntnisse der Wechselwirkung zwischen Druckfarbe und Papier ausgewählt und umfassen Formation, Druckfarbenpenetration, Papierweiße, Brechungsindex, Glanz und Topografie. Die orts aufgelöste Messung dieser Eigenschaften ist unumgänglich, denn nur lokal orts aufgelöste Messverfahren können Daten für die lokale Variation der Papiereigenschaften als Ursache für das Mottling liefern. Nach der Messung werden die gewonnenen Bilder registriert und anschließend punktweise mit dem Druckbild korreliert. Als Methode dient dazu die lineare multiple Regressionsanalyse zur Kombination der unterschiedlichen Papiereigenschaften mit dem Druckbild. Für die Auswertung wurde ein industrieller Heatset Web Offset Druckversuch durchgeführt, ein weiterer Druckversuch zur Kontrolle der Ergebnisse wurde im Labormaßstab bearbeitet. Im Industriedruck sind vor allem die Formation und die Druckfarbenpenetration für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich. Jedoch können bei diesem Druck die Papiereigenschaften nicht am unbedruckten Papier sondern nur nach der Entfernung der Druckfarbe gemessen werden. Aus diesem Grund wurde ein Labordruckversuch initiiert, an dem alle Papiereigenschaften tatsächlich am unbedruckten Papier gemessen werden können. Zusätzlich kann die lokale Variation der Papierweiße erfasst werden. Diese Papiereigenschaft bewirkt, dass sich die Ergebnisse im Labordruck vom Heatset Web Offset Druck unterscheiden. Hier beeinflusst vor allem die Papierweiße das Ergebnis des Druckbildes, die Druckfarbenpenetration korreliert schwächer. Die Formation ist als erklärende Variable deutlich untergeordnet. Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich auch bei einem Bogenoffset Druckversuch, bei dem ebenfalls die Messung der Papierweiße durchgeführt werden konnte. Bei allen ausgewerteten Druckversuchen wird jedoch auch deutlich, dass die Oberflächeneigenschaften Brechungsindex, Glanz und Topografie gegenüber den anderen Papiereigenschaften deutlich untergeordnet sind, beziehungsweise auch inkonsistente Ergebnisse liefern.

Schlagwörter: Heatset Web Offset, ungestrichene Papiere, Druckqualität, Mottling, Formation, Druckfarbenpenetration, Papierweiße, orts aufgelöste Messverfahren

Possible causes for small-scale print inhomogenities in heatset web offset printing of uncoated papers

from

Elmar-Rainer Wind

This work presents an approach to identify paper properties that influence the print quality, especially mottling, in heatset web offset printing of uncoated papers. At the same time this method allows an analysis to which extent these properties are responsible for mottling. The possible paper properties are selected based on existing knowledge regarding the interaction of printing ink and paper and contain formation, ink penetration, brightness, refractive index, gloss and topography. The space resolved measurements of these paper properties are essential, as only local measurement methods can generate data for the local variation of the paper properties that influence mottling. After the measurements the results were registered and point wise correlated to the printing image. The method is a multiple linear regression model which combines the different paper properties with the printed image. The method was used on an industrial heatset web offset printing trial and for the examination of the results the papers were printed in the laboratory. In the commercial heatset web offset print formation and ink penetration are primarily responsible for the explanation of the printing image. In this print trial the paper properties cannot be measured on the unprinted paper. This can be only done after the printing ink has been removed. That is the reason for a laboratory printing trial, where all paper properties can be measured on the unprinted paper too. Additionally the local variation of the paper brightness can be determined. With the local paper brightness as another paper property for the models, the results are different from the heatset web offset print. In laboratory printing the brightness of the unprinted paper becomes the dominating factor regarding mottling, the correlation of ink penetration is weaker. The formation as an explanatory variable becomes clearly less important. A similar result is observed in a sheet fed offset printing trial, where all paper properties were also measured on the unprinted paper. All evaluated printing trials show, that the paper surface properties refractive index, gloss and topography are minor important for the explanation of the printed image compared to the other properties.

Keywords: Heatset web offset, uncoated paper, print quality, mottling, formation, ink penetration, brightness, space-resolved measurements

Danksagung

Mein Dank gilt Prof. Wolfgang Bauer, der in den vier Jahren meiner Anstellung das Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik leitete und so den Grundstein legte, damit ich am Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik arbeiten, lernen und meine Dissertation schreiben durfte.

Ich danke meinem Betreuer und Projektleiter Dr. Ulrich Hirn für die Aufnahme in sein Projektteam und die lückenlose Unterstützung in allen Belangen bezüglich meiner Arbeit an der Dissertation. Viele seiner Ideen und Einwürfe, aber auch fachlich geführte Diskussionen über die unterschiedlichsten Themen der Arbeit prägen das Ergebnis maßgebend.

Ich danke meinem Gutachter Prof. Dr. Wolfgang Bauer für die konstruktive Kritik, den wertvollen Anregungen und seiner Erfahrung in der behandelten Thematik, wodurch viele Arbeitspunkte erleichtert wurden.

Weiters möchte ich Hannes danken, der bei vielen Diskussionen seinen Standpunkt aus einem etwas anderen Blickwinkel vertreten hat, und so wertvolle Information zum einen oder anderen Thema beigetragen hat.

Mein weiterer Dank gilt den Labor-Kollegen Heidi, Harry, Irmi, Manu, Ingrid, Babsi und Kerstin, welche eine Vielzahl der unterschiedlichsten anfallenden Arbeiten für meine Dissertation mit größter Sorgfalt, Genauigkeit und Engagement abhandelten.

Ein besonderer Dank gilt unserer Sekretärin Claudia für die Hilfe und Aufopferung bei allen instituts- und arbeitsrelevanten Angelegenheiten.

Ein großer Dank gilt meiner Familie. Meinen Eltern Auguste und Edmund sowie meiner Schwester Karola danke ich für die kompromisslose Unterstützung, ihr entgegengebrachtes Vertrauen und die Aufopferung während meiner Studien- und Forschungszeit.

Ich danke meiner Frau Tanja, mit der ich bis jetzt die schönste und spannendste Zeit meines Lebens verbringen durfte, die in jeder Lebenslage hinter mir steht und mir Kraft und Rückhalt gibt.

Elmar-Rainer Wind
Graz, 19. Juli 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ursachen für Mottling im Heatset Web Offset Druck	2
1.2	Hintergrund	3
1.3	Wissenschaftliche Neuerungen	3
1.4	Publikationsliste	4
1.5	Aufbau der Arbeit	5
2	Druckverfahren	7
2.1	Offsetdruck	8
2.1.1	Rollenoffsetdruck	11
2.1.2	Bogenoffsetdruck	12
2.2	Labordruck - System Prüfbau	13
3	Bedruckbarkeit im Offsetdruck	14
3.1	Grundlagen	15
3.2	Wichtige Arbeiten zu den gestrichene Papiere	17
3.3	Druckfehler	18
3.3.1	Mottling	18
3.3.2	Analyse von Mottling	22
3.3.3	Ursachen und Einflussfaktoren für Mottling	23
4	Lokale Modellierung der Farbübertragung	29
4.1	Multiple Regressionsanalyse	30
4.2	Lokale Modellierung	31
4.2.1	Methodik der lokalen Modellierung	32
4.2.2	Ergebnis	37
4.2.3	Arbeitsablauf bei Analyse von Web Offset-, Labor- und Bogenoffset-Druck	39
5	Ortsaufgelöste Messungen von lokalen Papiereigenschaften	43
5.1	β -Radiografie - Formationsmessung	44
5.2	Oberflächeneigenschaften - Surfoptic	45

5.2.1	Funktionsweise und Messprinzip	45
5.2.2	Evaluierung	48
5.3	Topografie - Infinite Focus	61
5.3.1	Funktionsweise und Messprinzip	61
5.3.2	Evaluierung	62
5.4	Bildgewinnung - Scans	73
5.5	Druckfarbenpenetration	74
5.5.1	Tauchpenetrationstest	74
5.5.2	Einfluss des Wischtests auf die Papiereigenschaften	76
5.5.3	Farbentfernung beim Offsetdruck	84
6	Probenmaterial	90
6.1	Heatset Web Offset Druckversuch	91
6.1.1	Papiere	91
6.1.2	Drucksujet	92
6.2	Visuelle Beurteilung	92
6.2.1	Methode des paarweisen Vergleiches	96
6.2.2	Ergebnisse der visuellen Beurteilung am Probensatz pmc2009	96
6.2.3	Vergleich der Beurteilung mit externen Beobachtern	102
7	Ergebnisse der lokalen Modellierung	104
7.1	Heatset Web Offset Druck	105
7.1.1	Problematik bei gestrichenen Papieren	106
7.1.2	Ergebnisse und Diskussion	106
7.2	Prüfbau Labordruck	117
7.2.1	Optimierung des Prüfbaudruckes	118
7.2.2	Ergebnisse und Diskussion	120
7.3	Bogenoffsetdruck	132
7.3.1	Ergebnisse und Diskussion der <i>ungestrichenen</i> Papiere	133
7.3.2	Ergebnisse und Diskussion der <i>gestrichenen</i> Papiere	139
7.3.3	Fazit zum Bogenoffset Druckversuch	143
7.4	Wechselwirkung der erklärenden Papiereigenschaften	144
7.4.1	Zusammenhang Formation - Druckfarbenpenetration	145
7.4.2	Zusammenhang Formation - Druckfarbenpenetration - Papierweiße	146
7.4.3	Zusammenhang Formation - Brechungsindex und Glanz	150
7.4.4	Zusammenhang Druckfarbenpenetration - Brechungsindex und Glanz	150
7.4.5	Schlussfolgerung	153
7.5	Vergleich Industrie- und Labordruck	153
7.6	Abschließende Betrachtung der Ergebnisse	155

8 Zusammenfassung, Schlussfolgerung und Ausblick	158
8.1 Zusammenfassung	159
8.2 Schlussfolgerung	161
8.3 Ausblick	162
A Visuelle Beurteilung mittels Paarvergleich	164
Literaturverzeichnis	168

Abbildungsverzeichnis

2.1	Statistik der Druckverfahren	8
2.2	Komponenten eines Druckwerkes	9
2.3	Belichtung der Druckplatten	10
2.4	Prüfbau Probedruckgerät	13
3.1	Bogenoffset-Druckwerk mit Farb- und Feuchtwerk	15
3.2	Druckflächen mit gutem und wolkeigem Druck	19
3.3	Backtrap Mottle - Mechanismus	20
3.4	Water Interference Mottle	21
3.5	Midtone Mottle - Yule-Nielsen Schatten	21
4.1	Klebebandmarkierung	34
4.2	Maps von registrierten Papiereigenschaften	35
4.3	Axiale Ausrichtung der Papierproben	36
4.4	Scatterplots der korrelierenden Papiereigenschaften	37
4.5	Aufbau des Ergebnisplots	39
4.6	Markierung der Papiere	41
5.1	Ergebnisbild β -Radiografie	44
5.2	Funktionsweise Surfoptic	46
5.3	Glanzmessung Surfoptic	47
5.4	Rauigkeitsmessung Surfoptic	48
5.5	Wiederholbarkeit Glanz LWC-Papier	51
5.6	Satinageversuch Glanz LWC Papier	52
5.7	Wiederholbarkeit Brechungsindex LWC-Papier	54
5.8	Satinageversuch Brechungsindex LWC Papier	55
5.9	Wiederholbarkeit Makrorauigkeit LWC-Papier	56
5.10	Satinageversuch Makrorauigkeit LWC Papier	57
5.11	Wiederholbarkeit Mikrorauigkeit LWC-Papier	58
5.12	Satinageversuch Mikrorauigkeit LWC Papier	59
5.13	R^2 -Tabelle Evaluierung	59
5.14	Probenbereitung für Evaluierung IFM	63

5.15	Vergleich der Objektive am Sackpapier	64
5.16	Ergebnis Objektiv-Vergleich Kraftsack-Papier	65
5.17	Vergleich der Objektive am WFC-Papier	67
5.18	Ergebnis Objektiv-Vergleich WFC Papier	69
5.19	Vergleich von drei Topografie-Messungen	71
5.20	Ergebnis Wiederholbarkeit Topografie SC-A Papier	72
5.21	Vermeidung von Moree-Effekt durch Entrasterung	73
5.22	Struktur nach Tauchpenetrationstest	75
5.23	Lokale Druckfarbenpenetration	77
5.24	Wischtest an LWC Papier	78
5.25	Topografie-Vergleich unbedruckt - gewischt	81
5.26	Glanz-Vergleich unbedruckt - gewischt	82
5.27	Offset-Farbdrucke für Tauchpenetrationstest	85
5.28	Strukturanalyse-Plot Gelbe Wischfarbe	86
5.29	Offset-Farbdrucke nach schwarzer Wischfarbe	88
5.30	Strukturanalyse-Plot Schwarze Wischfarbe	89
6.1	Druck-Sujet	93
6.2	Druck-Sujet - obere Hälfte	94
6.3	Druck-Sujet - untere Hälfte	95
6.4	Farbflächen für Paarvergleich	97
6.5	Blasendiagramm SC-Papiere	98
6.6	Rangfolge & PV-Index SC Papiere	100
6.7	Gesamtbewertung SC-Papiere	101
6.8	Gesamtbewertung SC-Papiere inklusive externe Beobachter	103
7.1	Ergebnisplots Papier SCB9 - schlechter Druck	108
7.2	Doppelprobe Papier SCB9 Hautton	109
7.3	Ergebnisplots Papier SCA13 - guter Druck	111
7.4	Ergebnisplots Zusammenfassung aller Papiere - Teil 1	114
7.5	Ergebnisplots Zusammenfassung aller Papiere - Teil 2	115
7.6	Vergleich Doppelproben	116
7.7	Vergleich Prüfbaudruck - Heatset Web Offset Druck	118
7.8	Prüfbaudruck Detailansicht	119
7.9	Vergleich Prüfbau-Standarddruck - optimierter Prüfbaudruck	120
7.10	IPZ Rasterdruckform für Prüfbau	120
7.11	Ergebnisplots Papier SCB1	123
7.12	Zusammenfassung Voll- und Halbton SC Papier	126
7.13	Zusammenfassung Halbton Cyan C50 ohne Papierweiße	127
7.14	Ergebnisplots Papier LWC16	129
7.15	Zusammenfassung Voll- und Halbton WFC und LWC Papier	131

7.16	Druck-Sujet Bogenoffsetdruck	134
7.17	Ergebnisplots Zusammenfassung der SC-Papiere - Teil 1	137
7.18	Ergebnisplots Zusammenfassung der SC-Papiere - Teil 2	138
7.19	Ergebnisplots Zusammenfassung der gestrichenen Papiere - Teil 1 . . .	141
7.20	Ergebnisplots Zusammenfassung der gestrichenen Papiere - Teil 2 . . .	142
7.21	Wechselwirkung Formation - Druckfarbenpenetration	146
7.22	Wechselwirkung Formation - Papierweiße	148
7.23	Wechselwirkung Druckfarbenpenetration - Papierweiße	149
7.24	Wechselwirkung Formation - Brechungsindex	151
7.25	Wechselwirkung Formation - Glanz	151
7.26	Wechselwirkung Druckfarbenpenetration - Glanz	152
A.1	Paarvergleich	164
A.2	Dominanzmatrix	166
A.3	Kombinierte Dominanzmatrix	167

Tabellenverzeichnis

2.1	Zusammensetzung der Offsetdruckfarben	12
4.1	Variablen der einfachen Regressionsanalyse	30
4.2	Modellvergleich der R^2	37
4.3	Erklärung der Variablen des Ergebnisplots	38
5.1	Brechzahl für unterschiedliche Materialien	47
5.2	R^2 Objektiv-Vergleich Kraftsack-Papier	65
5.3	R^2 Objektiv-Vergleich WFC Papier	69
5.4	R^2 Wiederholbarkeit Topografie SC-A Papier	72
5.5	R^2 -Vergleich unbedruckt-gewischt mit Übereinstimmung	80
5.6	R^2 -Vergleich unbedruckt-gewischt ohne Übereinstimmung	84
6.1	Farbdichtewerte der Druckwerke	91
6.2	Papiersorten	92
7.1	Erklärende Variablen für Heatset Web Offset Druck	106
7.2	Erklärende Variablen für Prüfbau Labordruck	122
7.3	Gestrichene Papiersorten für den Prüfbaudruck	128
7.4	Erklärende Variablen im Bogenoffsetdruck	134
7.5	Gestrichene Papiersorten für den Bogenoffset Druck	139
7.6	Zusammenfassung der Ergebnisse aller Druckverfahren	156

Einleitung

Dieses Kapitel motiviert die Ursachenfindung für Mottling an Heatset Web Offset bedruckten ungestrichenen Papieren und untermauert die Notwendigkeit dieser Arbeit. Weiters wird der Hintergrund, die wissenschaftlichen Neuerungen sowie der Aufbau dieser Dissertation zusammengefasst.

1.1 Ursachen für Mottling im Heatset Web Offset Druck

Mottling in Druckwerken ist einer der einflussreichsten Parameter in der visuellen Bestimmung der Druckqualität. Diese Inhomogenität des Druckbildes - auch Wolkigkeit genannt - tritt vor allem in den Drucktechniken Heatset Web Offset und Bogenoffset auf.

Bereits seit vielen Jahren wird die Forschung zur Verringerung des Mottlings seitens der Papier- und Druckindustrie vorangetrieben, allerdings beschränkten sich Anfangs die Arbeiten dazu mehrheitlich auf gestrichene Papiersorten.

Parallel zu den Vormachtstellung der gestrichenen Papieren wurde jedoch auch dem Rollenoffsetdruck von ungestrichenen Papieren über die Jahre hinweg immer mehr Bedeutung zugesprochen, da immer mehr großvolumige Druckwerke, wie zum Beispiel Flugblätter, Inlays oder auch gesamte Zeitschriften im Heatset Web Offset Druck auf ungestrichenen Papieren erzeugt werden. Genau aus diesem Grund ist es notwendig, sich auch mit der Druckqualität und dem Mottling bei ungestrichenen Papiersorten zu beschäftigen. Ein weiterer Grund, der diese Arbeit motiviert, ist die Tatsache, dass bei Reklamationen von Druckwerken auch häufig Mottling als Ursache genannt wird. Da solche Beanstandungen der Druckqualität meist auch mit hohen Kosten für die Druckerei und den Papierhersteller verbunden sind, ist das gemeinsame Ziel, das Phänomen des Mottlings zu verringern und auch eine genaue Kenntnis über die Entstehung dieser Druckunruhe zu erlangen.

In dieser Arbeit soll die Methode „Lokale Modellierung der Farbübertragung“ angewendet werden, mit der gezielt unterschiedliche Papiereigenschaften wie Formatation, Druckfarbenpenetration oder auch die verschiedensten Oberflächeneigenschaften bestimmt werden können, welche für einen wolkigen Ausdruck verantwortlich sein können.

Ermöglicht wird diese Art der Druckanalyse erst durch die Entwicklung von neuartigen hochauflösenden lokalen Messverfahren, mit denen die gewünschten Papiereigenschaften großflächig erfasst werden können.

Eine weitere Stärke dieses Ansatzes ist die quantitative Bestimmung, zu welchem Anteil die einzelnen Papiereigenschaften das Mottling beeinflussen. Die daraus resultierenden Ergebnisse zeigen dem Papierhersteller, wo gegebenenfalls im Papierherstellungsprozess Optimierungen hinsichtlich einer speziellen Papiereigenschaft durchgeführt werden könnten.

Ein weiterer Vorteil dieser Methode gegenüber den traditionellen Verfahren zur Beurteilung von Druckwerken ist die Fülle an Messdaten. Oftmals werden in der Industrie viele zeitaufwändige Einzelversuche zur Druckanalyse durchgeführt, in der hier gezeigten Methode werden jedoch mit einer Auswertung auf einer größeren Fläche mehrere tausende Messpunkte analysiert und ausgewertet. Jeder dieser Messpunkte entspricht einem Einzelversuch mit unterschiedlichen Charakteristiken und

die Gesamtheit dieser Messpunkte lässt ein schlüssiges Ergebnis für eine großflächige Papierprobe zu.

In der gesamten Arbeit wird ausschließlich der Bedruckstoff *Papier* als treibender Faktor für das Mottlings betrachtet und erforscht. Andere mögliche Einflüsse auf die Druckqualität wie die Druckmaschine, die Druckfarbe, das Feuchtmittel oder eben auch der gesamte Druckprozess werden außer acht gelassen.

1.2 Hintergrund

Alle in dieser Dissertation dargestellten Arbeiten zu den Ursachen des Mottlings im Heatset Web Offset Druck sind im Zuge des Forschungsprojektes „Modellierung der Farbübertragung aus lokalen Papiereigenschaften“ entstanden. Es handelt sich dabei um ein von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft unterstütztem Projekt, welches am Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik durchgeführt wurde. Weitere finanzielle und auch wissenschaftliche Unterstützung erhielt das Projekt von mehreren namhaften europäischen Firmen aus der Papierindustrie, zu denen neben den Papierherstellern auch ein Maschinenhersteller und ein Pigmentlieferant zählen. Das Hauptforschungsgebiet dieses Projektes beschäftigt sich mit der orts aufgelösten Messung von lokalen Papiereigenschaften. Diese gewonnenen Daten bilden die Grundlage für die statistische lokale Modellierung der Farbübertragung für die Druckverfahren Tiefdruck, Flexodruck und Heatset Web Offset Druck.

1.3 Wissenschaftliche Neuerungen

Die während dieser Arbeit entstandenen wissenschaftlichen Neuerungen sollen an dieser Stelle erwähnt werden:

- **Druckfarbenpenetration im Offsetdruck**

Mit der Weiterentwicklung eines am Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik entwickelten Wischtests wurde ein Verfahren zur Darstellung der Druckfarbenpenetration im Heatset Web Offset und Bogenoffset Druck erarbeitet. Dazu wird die bedruckte Papierprobe in eine definierte Wischflüssigkeit für eine bestimmte Zeit eingetaucht. Während dieser Zeit löst sich die an der Oberfläche befindliche Druckfarbe und wird anschließend mit einem Tissue abgewischt. Die im Papier zurückbleibende Druckfarbe wird als der Teil angesehen, welcher während und nach dem Druckvorgang ins Papier einpenetriert ist.

- **Lokale Modellierung im Offsetdruck**

Die lokale Modellierung der Farbübertragung wurde in erster Linie für den Tiefdruck entwickelt und auch an diesem erprobt, da man bei dieser Drucktechnik einen größeren Zusammenhang zwischen den Papiereigenschaften und den

Druckfehlern erwartete [LECHTHALER, 2007]. Durch einige Modifikationen der lokalen Modellierung für den Tiefdruck konnte auch für den Offsetdruck ein reproduzierbares Verfahren entwickelt werden, welches schlüssige Ergebnisse liefert.

- **Quantifizierung der Papiereigenschaften**

Die Ergebnisse der lokalen Modellierung der Farbübertragung zeigen nicht nur, welche Papiereigenschaften mit dem Druckbild korrelieren, sondern auch zu welchem Anteil diese verglichen mit den anderen im Modell befindlichen Papiereigenschaften das Druckbild beeinflussen. Es ist eine gezielte Bewertung des Einflusses jeder Papiereigenschaft auf das Druckbild möglich.

1.4 Publikationsliste

Folgend werden die Publikationen, die während meiner Forschungstätigkeit an dieser Dissertation veröffentlicht wurden, chronologisch aufgelistet:

- HIRN, U., LECHTHALER, M., WIND, E., BAUER, W.: Linear regression modeling of local print density in gravure printed SC paper; Papermaking Research Symposium, Kuopio (Finnland), Juni 2009
- WIND, E., FEIRER, V., HIRN, U., BAUER, W.: Prediction of ink transmission in flexo printed packaging paper based on topography information, 13th Day Of Slovene Paper Industry and 36th International Annual Symposium DITP, Bled (Slovenien), November 2009
- WIND, E., HIRN, U., BAUER, W.: Modeling printing ink transfer from local paper properties; COST - The Future Needs of the Paper Industry, Brüssel (Belgien), November 2009
- WIND, E., HIRN, U., BAUER, W.: Mottle von im Tiefdruck bedruckten SC-Papieren, PTS-Seminar Wechselwirkung zwischen Druckfarbe und Papier, München (Deutschland), Dezember 2009
- WIND, E., HIRN, U., BAUER, W.: Neue und traditionelle Verfahren zur Bewertung der Bedruckbarkeit im Offset-Druck; Österreichische Papierfachtagung, Graz (Österreich), Mai 2010
- WIND, E.: Papiereigenschaften & Druckqualität, Papier aus Österreich, Ausgabe 6/10, Seiten 30-31, Juli 2010
- FEIRER, V., WIND, E., HIRN, U., BAUER, W.: Modeling Print Coverage in Flexo Print and Print Unevenness in Heatset Web Offset, SCA Research Seminars SCA R&D Center, Sundsvall (Schweden), Oktober 2010

- WIND, E., HIRN, U., BAUER, W.: New and Classic Ways to Evaluate Printability in Offset Printing, PTS-Symposium Papier und Bedruckbarkeit, München (Deutschland), November 2010
- HIRN, U., WIND, E., BAUER, W.: Local Variations in Paper Structure and their Effect on Print Unevenness, Sappi Europe R&D Meeting, Gratkorn (Österreich), Jänner 2011
- WIND, E., HIRN, U., BAUER, W.: Untersuchung der Ursachen für Mottling im Offsetdruck, 7. Minisymposium Verfahrenstechnik, Book of Abstracts, Seiten 60-64, Technische Universität Graz (Österreich), Juni 2011

1.5 Aufbau der Arbeit

Die weiteren Kapiteln nach der Einleitung dieser Arbeit sind wie folgt aufgebaut:

In **Kapitel 2** „*Druckverfahren*“ werden die unterschiedlichen Offsetdruckverfahren vorgestellt und sowohl die maschinenbaulichen und auch die drucktechnischen Hauptmerkmale angeführt. Zusätzlich wird das gängigste Labordruckverfahren für den Offsetdruck - das System Prüfbau - beschrieben.

Das **Kapitel 3** „*Bedruckbarkeit im Offsetdruck*“ beschäftigt sich mit den Grundlagen der Farbübertragung des Druckbildes auf das Papier. Weiters werden die am meisten beobachteten Druckfehler besprochen, wobei hier dem Mottling besondere Bedeutung zukommt. Die verschiedenen Formen des Mottlings und die auftretenden Mechanismen und Einflussfaktoren werden detailliert aufgezeigt. Die in diesem Kapitel beschriebenen beeinflussenden Papiereigenschaften des Mottlings bilden die Grundlage der orts aufgelösten Messungen von lokalen Papiereigenschaften in **Kapitel 5**.

In **Kapitel 4** „*Lokale Modellierung der Farbübertragung*“ werden die Grundlagen der Theorie der multiplen linearen Regressionsanalyse erklärt. Weiters wird detailliert der Aufbau, die Vorgehensweise und die Darstellung der Ergebnisse einer Auswertungsprozedur anhand eines Beispiels gezeigt. Abschließend wird das Messprogramm für die unterschiedlichen Druckversuche besprochen.

Das umfangreiche **Kapitel 5** „*Orts aufgelöste Messungen von lokalen Papiereigenschaften*“ gibt einen detaillierten Überblick über die unterschiedlichen Techniken zur orts aufgelösten Messung der lokalen Papiereigenschaften, welche nach **Kapitel 3** für wolkigen Ausdruck verantwortlich sind. Es wird jeweils der Messaufbau, das Messprinzip und die durchgeführte Evaluierung (soweit vorhanden) für die folgenden Messtechniken besprochen:

- Surfotie - Oberflächeneigenschaften
- IFM - Topografie
- Beta Radiografie - Formation
- Tauchpenetrationstest - Druckfarbenpenetration
- Scanner - Bildaufnahme

Der Methode „Tauchpenetrationstest“ zur Untersuchung der Druckfarbenpenetration wird hierbei besondere Bedeutung zugesprochen, da diese Vorgehensweise eine der wissenschaftlichen Neuerungen dieser Arbeit ist.

In **Kapitel 6** „*Probenmaterial*“ wird der eigens für diese Arbeit durchgeführte industrielle Druckversuch vorgestellt. Nach dem Druck wurde eine Einstufung der Papier- und Druckqualitäten anhand einer groß angelegten visuellen Beurteilung mittels Paarvergleich durchgeführt. Die daraus resultierende Reihung der Papiere dient als Standard-Reihenfolge zur Papierauswahl für alle weiteren Untersuchungen.

Das **Kapitel 7** „*Ergebnisse der lokalen Modellierung*“ zeigt die Vorgehensweise und Ergebnisse der lokalen Modellierung anhand eines industriellen Heatset Web Offset Druckes, eines Prüfbau Labordruckes sowie eines 2-Farben Bogenoffset Druckes. Weiters wurden mögliche unterschiedliche Wechselwirkungen zwischen den erklärenden Papiereigenschaften abseits der Druckqualität untersucht und abschließend ein Vergleich der Ergebnisse aus den durchgeführten Drucken besprochen.

In **Kapitel 8** „*Schlussfolgerung, Zusammenfassung und Ausblick*“ werden die wichtigsten Arbeiten und Erkenntnisse dieser Dissertation nochmals übersichtlich zusammengefasst und reflektiert. Die Schlussfolgerungen sollen Auskunft über die Stärken und Schwächen der getätigten Arbeiten geben und den Nutzen dieser Arbeit unterstreichen. Der Ausblick soll einen Hinweis darauf geben, welche weiterführenden Arbeiten als sinnvoll erachtet werden, und in welchen Arbeitsgebieten noch Aufklärungsbedarf vorhanden ist.

Anhang A „*Visuelle Beurteilung mittels Paarvergleich*“ beschreibt die Methodik und Vorgehensweise der visuellen Beurteilung mittels Paarvergleich.

Druckverfahren

In diesem Kapitel werden die Grundlagen des Offsetdruckes besprochen. Dabei werden auch die Unterschiede zwischen Heatset Web Offset, Coldset und Bogenoffset Druck erfasst. Weiters wird das Labordruckverfahren System Prüfbau vorgestellt.

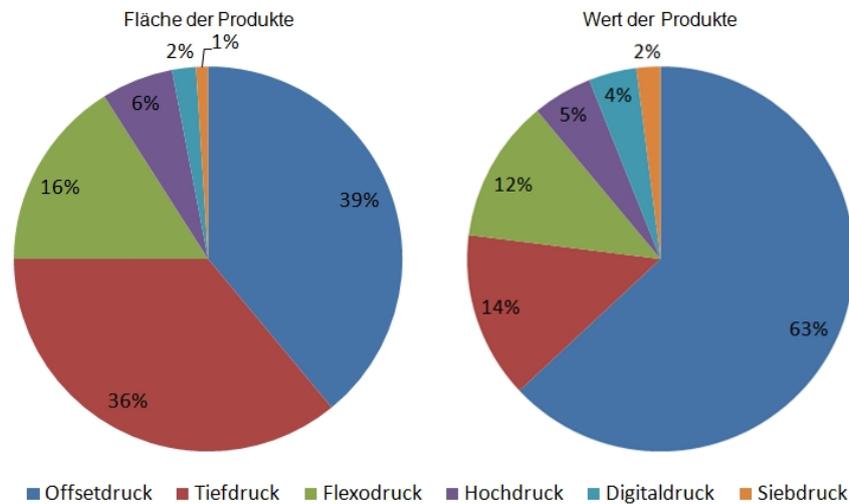


Abbildung 2.1 Der Offsetdruck ist sowohl nach der bedruckten Fläche als auch nach dem Wert der Produkte das am meisten angewendete Druckverfahren gefolgt von Tief- und Flexodruck. Der Digitaldruck spielt noch eine deutlich untergeordnete Rolle [BVDM, 2008].

2.1 Offsetdruck

Die unterschiedlichen Arten des Offsetdruckes wie Heatset Web, Coldset und Bogen sind sowohl nach der bedruckten Fläche als auch nach dem Wert der bedruckten Produkte (Abbildung 2.1) die am stärksten angewandten Druckverfahren am Markt [BVDM, 2008]. Das Hauptanwendungsgebiet des Offsetdruckes liegt bei Zeitungen, Magazinen aller Art, Werbebroschüren und Büchern. Ein wirtschaftlicher Druck lässt sich im Bogenoffsetdruck bereits ab einigen Tausend Auflagen, im Heatset Web Offset Druck ab einer Auflage von etwa 30.000 Drucken vertreten. Die unterschiedlichen Arten des Offsetdruckes unterscheiden sich vor allem nach der Art der Trocknung und der eingesetzten Druckfarbe. In weiterer Folge soll das Prinzip des Offsetdruckes erklärt und die Unterschiede der einzelnen Arten aufgezeigt werden.

Eine sehr ausführliche Erörterung des Offsetdruckes mit seinen verschiedenen Techniken gibt KIPPHAN [2000]. Der Vollständigkeit halber sollen jedoch hier nochmals die wichtigsten Punkte und Baugruppen angeführt werden.

Der Offsetdruck ist ein indirektes Flachdruckverfahren, bei dem sich die druckenden und nicht druckenden Stellen auf einer Ebene befinden. Dabei verhalten sich die druckenden Stellen der Druckplatte hydrophob oder auch wasserabstoßend und sind oleophil. Die nicht druckenden Stellen zeigen ein hydrophiles, also wasseranziehendes und in weiterer Folge oleophobes Verhalten. Einen schematischen Aufbau des Druckwerkes zeigt Abbildung 2.2. Die nicht druckenden Stellen (wasseranziehend) der Druckform werden vom Feuchtwerk mit einer dünnen Feuchtmittelschicht (Wasser

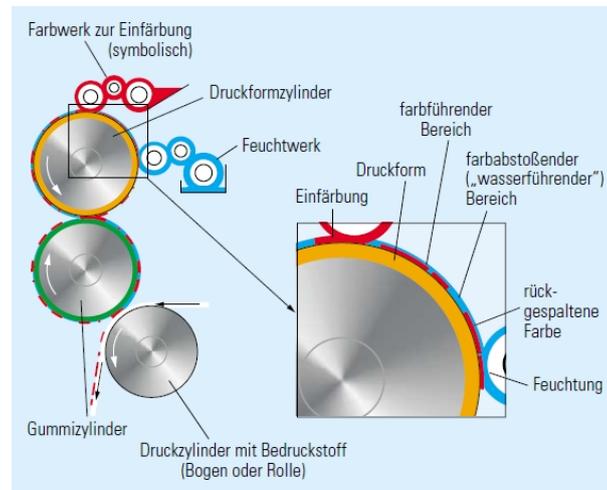


Abbildung 2.2 Diese Abbildung zeigt eine schematische Darstellung eines Offsetdruckwerkes. Nach dem Feuchtmittel wird die Druckfarbe auf den Druckformzylinder aufgetragen und anschließend an den Gummizylinder übergeben. Von diesem wird das Druckbild auf den Druckzylinder mit dem Bedruckstoff übertragen [KIPPHAN, 2000].

und Zusatzstoffe) überzogen. Nach dem Feuchtmittelauftrag erfolgt der Farbauftrag auf die druckenden Stellen (wasserabstoßend) der Druckform. Vom Druckformzylinder werden die Komponenten Feuchtmittel und Druckfarbe auf den Gummizylinder übergeben, von welchem das Druckbild auf den Druckzylinder mit dem Bedruckstoff übertragen wird.

Der Prozess des Offsetdruckes ist sehr komplex und von vielen chemischen und physikalischen Bestandteilen und Materialien abhängig. Die einflussreichsten Komponenten dieses Vielparametersystem sind demnach:

- Druckform
- Farbwalzen
- Gummituch (Gummizylinder)
- Druckfarbe
- Feuchtmittel
- Bedruckstoff
- Druckmaschine

Nur ein einwandfreies Zusammenwirken dieser aufgezählten Komponenten kann die erforderliche Druckqualität gewährleisten.

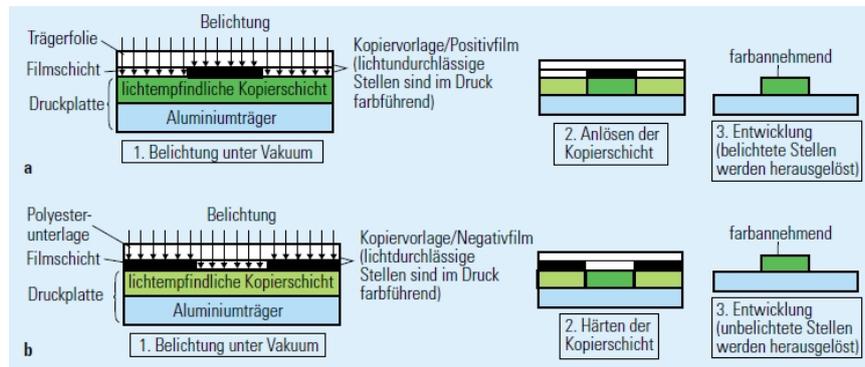


Abbildung 2.3 Abbildung (a) zeigt die Entwicklung einer positiven Druckplatte, bei der im Positivfilm (Kopiervorlage) die lichtdurchlässigen Stellen im Druck farbführend sind. Abbildung (b) zeigt die Entwicklung einer negativen Druckplatte, bei der im Negativfilm (Kopiervorlage) die lichtdurchlässigen Stellen im Druck farbführend sind [KIPPHAN, 2000].

Bei den Druckplatten handelt es sich um etwa $0,3\text{ mm}$ dünne Platten, welche einfach auf einen Plattenzylinder aufgespannt werden können. Bei den Materialien der Druckplatte handelt es sich um Metalle - hauptsächlich Aluminium, oder Kunststoffdruckfolien. Auf dieses Grundmaterial wird die bildgebende oder auch farbführende Kopierschicht aufgetragen. Dabei handelt es sich im Allgemeinen um ein Polymer. Heutzutage werden vorbeschichtete Aluminiumdruckplatten in den Druckereien verwendet. Die Informationsgebung für farbführende und nicht farbführende Stellen auf der Druckplatte wird dann durch Belichtung und anschließende Entwicklung erwirkt. Dabei wird zwischen zwei Reaktionen zur Entwicklung der Druckplatte unterschieden: die Positivkopie (Abbildung 2.3 (a)) und die Negativkopie (Abbildung 2.3 (b)). Bei der positiven Druckplatte wird die Kopierschicht durch Licht zersetzt, die unbelichtete farbgabende Stelle bleibt auf dem Trägermaterial erhalten. Der umgekehrte Vorgang findet bei der Negativkopie statt. Hier werden die farbführenden Stellen durch das Licht gehärtet, die unbelichteten Stellen werden herausgelöst.

Bei der Druckfarbe handelt es sich im Offsetdruck um hochviskose Mischungen aus den Bestandteilen Farbpigmente, Bindemittel, Zusatzstoffe und Trägersubstanzen. Die Farbpigmente sind organischer oder anorganischer Natur und befinden sich in einer Größenordnung von $0,1$ bis $2,0\ \mu\text{m}$. Bindemittel in der Druckfarbe sind notwendig, um die pulverförmigen Farbpigmente an den Bedruckstoff zu binden. Weiters bilden die Bindemittel eine Schutzschicht um die Pigmente aus. Um besondere Eigenschaften der Druckfarbe zu erzielen, werden diverse Zusatzstoffe hinzugefügt. Als Trägersubstanzen fungieren bei den Offsetfarben mineralische und pflanzliche Öle, welche die Transportfunktion der Farbe ermöglichen und durch die Trocknung entfernt werden können. Je nach Art des Offsetdruckes erfolgt die Trocknung durch Wegschlagen, Oxidation oder Verdunstung der Trägersubstanz.

Das Feuchtmittel dient zur Benetzung der nicht bildgebenden Stellen der Druck-

platte und weiters zur Separierung der Druckfarbe von den bildgebenden Stellen. Es besteht zum Großteil aus Wasser und erhält die gewünschten Eigenschaften durch verschiedene Zusatzstoffe.

Vor allem auf die Druckfarbe und das Feuchtmittel wird großes Augenmerk gelegt, da ein ungenügendes Zusammenspiel dieser beiden den Druckprozess maßgebend beeinflusst. Das Zusammentreffen dieser beiden Komponenten auf dem Druckformzylinder ist stark von den Oberflächenspannungen der Flüssigkeiten geprägt. Nur bei exakter Einstellung aufeinander ist eine Separierung von Druckfarbe und Feuchtmittel möglich. Dabei soll im konventionellen Offsetdruck das Feuchtmittel einen pH-Wert zwischen 4,8 - 5,5 aufweisen und das verwendete Wasser einen Härtegrad zwischen 8 und 12 °dH haben.

Das Farbwerk hat während dem Druckvorgang die Aufgabe, die Druckplatte kontinuierlich mit Farbe zu versorgen, von dem anschließend ein dünner Farbfilm auf den Bedruckstoff übertragen wird. Eine wichtige Aufgabe des Farbwerk ist es weiters, eine konstante Farbschichtdicke auf den druckenden Stellen der Druckplatte und in weiterer Folge auch auf den bedruckten Stellen am Bedruckstoff zu gewährleisten.

Das Feuchtwerk im konventionellen Offsetdruck hat die Aufgabe, die nicht druckenden Stellen mit einem etwa 2 μm dünnen Feuchtmittelfilm zu versorgen. Da das Feuchtmittel über Farbe, Platte und Gummituch ebenfalls mit verdrückt wird, gilt hier gleiches wie beim Farbwerk, das Feuchtmittel muss kontinuierlich zugeführt werden.

Als Druckwerk wird die Gesamtheit aus Farb- und Feuchtwerk, Plattenzylinder mit der Druckplatte, dem Gummizylinder und dem Druckzylinder angesehen. Dabei wälzt der Plattenzylinder Farb- und Feuchtmittel auf den Umfang des Gummizylinders ab, dieser wiederum wälzt auf den Druckzylinder ab, auf dem sich der Bedruckstoff befindet. Die Zone, in der sich Gummi- und Druckzylinder berühren, wird Druckspalt oder auch Nip genannt.

2.1.1 Rollenoffsetdruck

Die Rollenoffsetmaschinen sind Fließproduktionslinien, welche kontinuierlich von einer Papierrolle die gesamte Bahnlänge durch die Maschine führen. Beide Seiten des Papiers werden dabei hintereinander im Schön- und Widerdruck bedruckt. Aufgrund der Beschaffenheit einer Rollenoffsetmaschine ist der Einsatz erst ab einer größeren Anzahl von Drucken wirtschaftlich zu vertreten. Differenziert wird bei den Rollenoffsetmaschinen nach dem Heatset-Verfahren für Akzidenzen, Illustrationen, Zeitschriften, Flugblätter, usw. und Zeitungsdruckmaschinen, welche nach dem Coldset-Verfahren arbeiten. Wesentlicher Unterschied dabei ist die Art der Trocknung der Druckfarbe, aber auch die Zusammensetzung dieser beiden Druckfarben unterscheidet sich deutlich, wie in Tabelle 2.1 zu sehen ist. Die Trocknung erfolgt beim Heatset Web Offset nur zu einem geringen Teil durch Wegschlagen und hauptsächlich durch das Aufblasen von heißer Luft auf den Bedruckstoff, wodurch die Trägersubstanz

	Heatset Web Offset	Coldset Web Offset	Bogenoffset
Pigment	10-20%	10-20%	10-20%
Hartharz	20-30%	5-20%	25-35%
Alkydharz	5-15%	0-5%	5-15%
Mineralölverdünnung	20-40%	30-55%	0-30%
Pflanzliches Öl	(0-10%)	(30-55%)	30-0%
Additive	8-10%	1-5%	8-12%
Trockenstoffe	-	-	1-8%

Tabelle 2.1 Detaillierte Aufstellung über die Zusammensetzung von Offsetdruckfarben in den unterschiedlichen Drucktechniken [SIEGWERK, 2004].

verdunstet wird. Dies ist vor allem deshalb nötig, weil beim Akzidenzdruck höherwertige gestrichene Papiere verwendet werden, die weniger saugfähig sind. Der Coldset Offset Druck wird meist nur auf ungestrichenen Papieren angewendet, und bei diesen reicht der Effekt des Wegschlagens zur Trocknung der Druckfarbe völlig aus. Nach dem Durchlaufen der Druck- und Trockeneinheit einer Rollenoffsetmaschine gelangt die Papierbahn in den Falzapparat, wo die Papierbahn gefaltet und auf die geforderte Seitenanzahl zugeschnitten wird.

2.1.2 Bogenoffsetdruck

In erster Linie unterscheidet sich der Bogenoffsetdruck vom Rollenoffsetdruck dadurch, dass der Bedruckstoff bereits in einem bestimmten zugeschnittenen Format der Druckmaschine zugeführt wird und das auch die Druckgeschwindigkeit deutlich unter der der Rollenmaschinen liegt. Nach dem Bedrucken der Oberseite des Papiers wird dieses entweder außerhalb oder in der Maschine gewendet und nachfolgend auf der Unterseite die Farbe aufgetragen. Anschließend erfolgt die Trocknung der Druckfarbe zu einem geringen Teil durch Wegschlagen, zu einem ebenfalls geringen Teil durch eine kurze Trockenstrecke nach den Druckwerken. Der Rest der aufgetragenen Druckfarbe härtet durch eine chemische Reaktion mit der Luft oxidativ aus. Die detaillierte Zusammensetzung der Bogenoffsetdruckfarbe kann aus Tabelle 2.1 entnommen werden. Eine Bogenoffsetmaschine baut wesentlich kompakter als eine Rollenoffsetmaschine, wodurch das Investitionsvolumen deutlich geringer ausfällt. Aus diesem Grund kann diese Druckmaschine auch bereits bei kleineren Auflagen wirtschaftlich betrieben werden.



Abbildung 2.4 Diese Abbildung zeigt das Prüfbau Probedruckgerät, wie es am Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik in Verwendung ist. Es verfügt über zwei aufeinanderfolgende Druckwerke sowie vier Einfärbewerke.

2.2 Labordruck - System Prüfbau

Die Mehrzweck Probedruckmaschine von PRÜFBAU¹ ermöglicht die Untersuchung der chemisch-physikalischen Vorgänge und Wechselwirkungen während des Offsetdruckprozesses im Labormaßstab (Abbildung 2.4). Bedruckt werden dabei Papierstreifen mit einer Breite von 47 mm. Der Auftrag der Druckfarbe auf die Druckwalze erfolgt dabei in einem kleineren Verreibewerk, welches einem konventionellen Farbwerk nachempfunden ist. Es können sowohl ein Vollton als auch unterschiedliche Rastertöne in Anlehnung an eine industrielle Offsetdruckmaschine gedruckt werden. Dabei gibt es spezielle Prüfvorschriften für eine Vielzahl von Untersuchungen in Bezug auf die Druckqualität, wie zum Beispiel das Wegschlagverhalten oder die Offsetfähigkeit eines Druckpapiers [ZINS, 2004].

¹prüfbau Dr.-Ing. H. Dürner GmbH, Peissenberg (Deutschland). www.pruefbau.de

Bedruckbarkeit im Offsetdruck

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der Farbübertragung im Offsetdruck behandelt. Weiters werden die verschiedenen Mechanismen des Mottling beschrieben und gezeigt, wie dieser wolkige Ausdruck erfasst und analysiert werden kann. Bezogen auf das Mottling werden die unterschiedlichen Einflussfaktoren, wie zum Beispiel Formation, optische Eigenschaften oder auch die Druckfarbenpenetration angeführt.

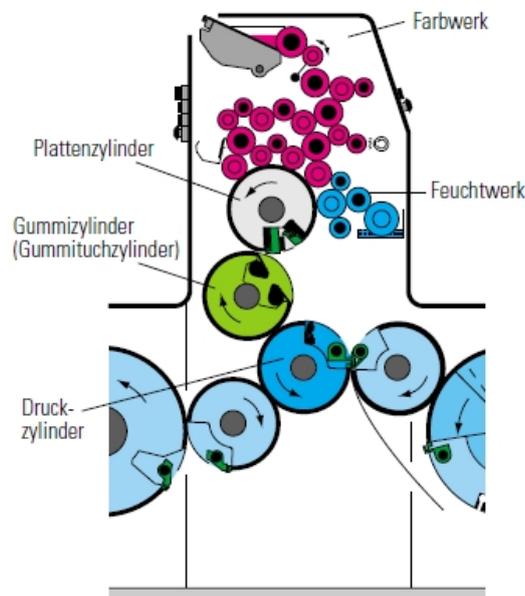


Abbildung 3.1 Druckwerk einer Bogenoffset Druckmaschine mit den wichtigsten Komponenten für die Farbübertragung auf den Bedruckstoff. Es handelt sich dabei um ein indirektes Druckverfahren, da die Farbe erst nach einem Zwischenträger, dem Gummizylinder, von der Druckplatte auf den Bedruckstoff übertragen wird. [KIPPHAN, 2000]

3.1 Grundlagen

Beim Offsetdruck handelt es sich um das wichtigste Flachdruckverfahren, bei dem sowohl die druckenden als auch die nicht druckenden Flächen auf der Druckform in einer Ebene sind. Dabei sind die druckenden Stellen farbführend und die nicht druckenden Stellen farbabweisend. Ermöglicht wird dies durch grenzflächenphysikalische Vorgänge. Beim Offsetdruck handelt es sich um ein indirektes Druckverfahren, da die Druckfarbe von der Druckplatte zuerst auf einen Zwischenträger, dem Gummizylinder, und erst darauf anschließend auf den Bedruckstoff übertragen wird. Beim hier behandelten konventionellen Offsetdruck werden die nicht druckenden Stellen mit dem Feuchtmittel benetzt, wodurch die Farbannahme an diesen Stellen verhindert wird. Um die Druckform einzufärben, müssen beim Offsetdruck zwei unterschiedliche Stoffströme betrachtet werden. Zum einen handelt es sich um den Farbtransport, zum anderen um den Transport des Feuchtmittels (Abbildung 3.1). Folgend soll der komplexe Vorgang der Farbübertragung im Offsetdruck etwas genauer beleuchtet werden.

Ein umfangreiches Werk zum Thema Bedruckbarkeit und in weiterer Folge der Interaktion zwischen Druckfarbe und Papier legten LYNE AND ASPLER [1982] vor. Die

grundlegende Arbeit zum Thema Farbübertragung und die erste mathematische Beschreibung wurde jedoch von WALKER AND FETSKO [1955] verfasst. Der Prozess der Farbübertragung ist demnach abhängig von den drei Eigenschaften Farbabdeckung, Immobilisation der Druckfarbe und Spaltung der Druckfarbe. Darauf basierend entstanden zahlreiche weitere Arbeiten, wobei sich SÄRELÄ ET AL. [2002] mit der Evaluierung der Theorie der Farbübertragung an Hand des Coldset Web Offset Druckes beschäftigten. Diese erweiterten das bereits bestehende Modell um weitere Eigenschaften, welche für die Farbübertragung verantwortlich sind. Dazu zählen die zu bedruckende Oberflächenbeschaffenheit, der Druck und die Geometrie im Pressnip, die Rheologie der Druckfarbe [WANG ET AL., 1998], die Beschaffung des Gummituches und die Druckgeschwindigkeit.

Mit einem speziellen Teilprozess der Farbübertragung im Offsetdruck beschäftigte sich LIND [1985]. Sie untersuchte den Vorgang der Farbübertragung vom Druckzylinder auf den Gummizylinder und behandelt damit auch das Thema des Rückspaltens der Druckfarbe. Demnach beginnt das Setzen der Druckfarbe bereits auf dem Gummizylinder, und die Stabilität im Druckprozess kann erst erreicht werden, wenn sich eine Übermenge an Druckfarbe auf diesem befindet. Ein numerisches Modell zur Farbübertragung in einem Druckspalt mit finiten Elementen berechneten BOHAN ET AL. [1998]. Dabei wurde das Zusammenspiel zwischen dem Druckfarbenfilm und dem porösen Medium Papier modelliert. Augenmerk wurde auf den Punktzuwachs als Druckqualitäts-Parameter gelegt. Das Modell funktioniert gut bei hohen Tonwertstufen und größeren Druckpunkten. Bei niedrigen Tonwertstufen dürfte das viskoelastische Verhalten des Papiers oder aber auch eine unterschiedliche Farbübertragung der Druckpunkte das Modell negativ beeinflussen.

Eine Simulation des Verhaltens der Druckfarbe während des Druckvorganges zeigten TAKITA ET AL. [2004]. Die Simulationsergebnisse der zu erwarteten Druckdichte auf dem Bedruckstoff deckten sich annähernd mit denen aus einem realen Druck. Die Druckfarbe und das Feuchtmittel sowie das Zusammenwirken dieser beiden Komponenten ist ebenfalls Inhalt zahlreicher Arbeiten. Eine detaillierten Überblick über das Zusammenspiel von Feuchtmittel und Druckfarbe zeigt ASPLER [1993] und ASPLER [2006]. Weiters geben MICALE ET AL. [1989] eine ausführliche Zusammenfassung über die gewichtige Rolle der Feuchtmittel im Offsetdruck. Sie beleuchten sowohl die mathematischen Gleichungen für die Berechnung von Oberflächen- und Grenzflächenspannungen als auch die Messmethoden dazu.

Eine umfassende Analyse der Oberflächen von druckenden und nicht druckenden Stellen auf der Druckplatte und den Einfluss von verschiedenen Zusatzstoffen auf die Oberflächenenergie präsentieren LIU ET AL. [2006B]. Sie zeigen, dass Druckprobleme durch eine genaue Kenntnis der Oberflächenenergien der beteiligten Komponenten ermittelt und beeinflusst werden können. So führen kationische Zusätze (im Feuchtmittel) zu Anlagerungen auf den nicht druckenden Stellen und verändern dadurch

3. Bedruckbarkeit im Offsetdruck Wichtige Arbeiten zu den gestrichene Papiere 3.2

die Oberflächenenergie und auch die Topografie dieser, was in weiterer Folge Probleme beim Druck hervorrufen kann.

In einer früheren Arbeit beschäftigten sich bereits KARTTUNEN AND LINDQVIST [1982] mit der Entwicklung der Messmethoden zur Interaktion zwischen Druckfarbe und Feuchtmittel (Oberflächenspannungen der Einzelkomponenten und auch Grenzflächenspannung zwischen den beiden) sowie der Simulation dieser beiden Stoffströme in einer Druckeinheit. Durch das Simulationsmodell ist es möglich, die optimalen Druckkonditionen in Bezug auf das Zusammenwirken von Druckfarbe und Feuchtmittel zu finden. Eine neuartige Untersuchungsmethode zur Entstehung und dem Verhalten einer Druckfarben-Feuchtmittel Emulsion zeigen LIU ET AL. [2008A] und HOHNE ET AL. [2008]. Beide Arbeiten zeigen auf unterschiedliche Weise die Beobachtung der Feuchtmittelverteilung in der Druckfarbe mit konfokaler Mikroskopie.

3.2 Wichtige Arbeiten zu den gestrichene Papiere

Bereits seit vielen Jahren wird seitens der Papier- und Druckindustrie die Forschung zur Verbesserung der Druckqualität und zur Verringerung des Mottlings für gestrichene Papiersorten betrieben. Dazu existieren eine Vielzahl von Literaturstellen, die viele Aspekte dieser Problematik behandeln, einen standardisierten Lösungsansatz zur Vermeidung von Mottling gibt es allerdings nicht. Folgend sollen hier der Vollständigkeit halber nur einige wichtige Arbeiten zu den gestrichenen Papieren genannt werden, da das Hauptthema dieser Arbeit die ungestrichenen Papiere darstellen.

Einen ausführlichen Überblick über die Grundlagen der Farbübertragung bei gestrichenen Papieren im Heatset Web Offset Druck geben ASPLER AND LÉPOUTRE [1991], weiters fassten GANE AND SEYLER [1994] sowie STRÖM [2005] das grundlegende Zusammenspiel zwischen der Druckfarbe und dem Bedruckstoff zusammen.

In einer weiteren Arbeit befassten sich XIANG ET AL. [1999] und XIANG AND BOUSFIELD [1999] mit dem Einfluss des Feuchtmittels auf die Druckqualität, und parallel dazu untersuchten sie auch die Entwicklung der Zügigkeit der Druckfarbe aufgrund der Feuchtung und die daraus resultierenden Veränderungen im Druckprozess. Sie zeigten, dass durch das Herabsetzen der Zügigkeit der Druckfarbe durch das Feuchtmittel das Wegschlagen der Druckfarbe beeinflusst wird und die Variation daraus zu wolkigem Ausdruck führen kann.

Einen Überblick über das Auftreten von Mottling basierend auf dem Einfluss der Formation des Rohpapiers auf die Ausbildung der Strichschicht zeigt ENGSTRÖM [1994]. Er beleuchtet dabei hauptsächlich papierbasierende Ursachen für schlechte Druckqualität aber auch den Einfluss der Kalandrierung auf diese.

Eine Übersicht über die Entwicklung des Druckglanzes bei gestrichenen Papieren gibt DONIGIAN [2006]. Dieser Glanz ist eine wichtige Eigenschaft von Druckwerken und soll in den meisten Fällen stark ausgeprägt sein. Druckglanz ist demnach meist

durch das Wegschlagen der Druckfarbe und durch die Porosität der Strichschicht gesteuert.

Einen Zusammenhang der Porenstruktur des Strichauftrages und der Druckqualität erarbeiteten CHINGA AND HELLE [2003]. Demnach ist weder eine offenere noch eine geschlossener Porenstruktur für das Auftreten von Mottling verantwortlich, sondern eher die Verteilung dieser. Je ungleichmäßiger die Verteilung der offenen und geschlossenen Oberfläche, desto stärker ist die Tendenz zu ungleichmäßigem Ausdruck. Die Rolle der Dichterverteilung der Poren wurde auch von PRESTON ET AL. [2002] behandelt. Sie fanden heraus, dass das Wegschlagen der Druckfarbe bei einer konstanten Nummer von Poren bezogen auf eine bestimmte Fläche bei größeren Poren schneller von sich geht. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass auch durch sehr feine Pigmente, welche zu einer feinen Porenverteilung führen, ebenfalls ein sehr schnelles Wegschlagen der Druckfarbe beobachtet werden kann. Der Einfluss der großen Poren auf die Wegschlagrate ist jedoch gegenüber der kleinen Poren deutlich untergeordnet.

OZAKI ET AL. [2008] zeigen, dass auch die Dicke der Strichschicht für wolkigen Ausdruck verantwortlich sein kann. Sie kamen zu dem Schluss, dass eine uneinheitliche Strichschichtdicke zu einem ungleichmäßigem Druck aufgrund der Variation in der Druckfarbenaufnahme an der Oberfläche der Strichschicht führt. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch GLIESE AND GANE [2005]. Laut ihrer Arbeit ist ebenfalls die Gleichmäßigkeit der Strichdicke bzw. der Strichstruktur für die Qualität des Druckbildes verantwortlich. Sie weisen jedoch auch darauf hin, dass es viele weitere Einflüsse für wolkigen Druck gibt. Dazu zählen Rohpapiereigenschaften, Wechselwirkungen in der Streichfarbe, Unterschiede in der Streichfarbenkonsolidierung- sowie Trocknung und Satinage.

3.3 Druckfehler

Das Zusammenwirken von Druckplattenzylinder, Gummizylinder, Druckfarbe und Feuchtmittel sowie dem Papier beim Offsetdruckverfahren ist kompliziert. So ist es nicht verwunderlich, dass ein auftretendes Problem in einer der aufgezählten Komponenten sofort zu einem unerwünschten Druckergebnis führen kann. Die gängigsten Druckprobleme listet KIPPHAN [2000] auf. Einen weitreichenderen und detaillierten Überblick gibt ULLRICH [2010]. Die unterschiedlichen Druckfehler sollen hier nicht weiter behandelt werden, da die Konzentration dieser Arbeit auf das Mottling beschränkt ist.

3.3.1 Mottling

Mottling bezeichnet im Allgemeinen wolkigen oder ungleichmäßigen Auftrag der Druckfarbe auf den Bedruckstoff und findet hauptsächlich im Offsetdruck als Begriff für Druckunregelmäßigkeiten Gebrauch. In Abbildung 3.2 sind dazu Beispiel-Bilder

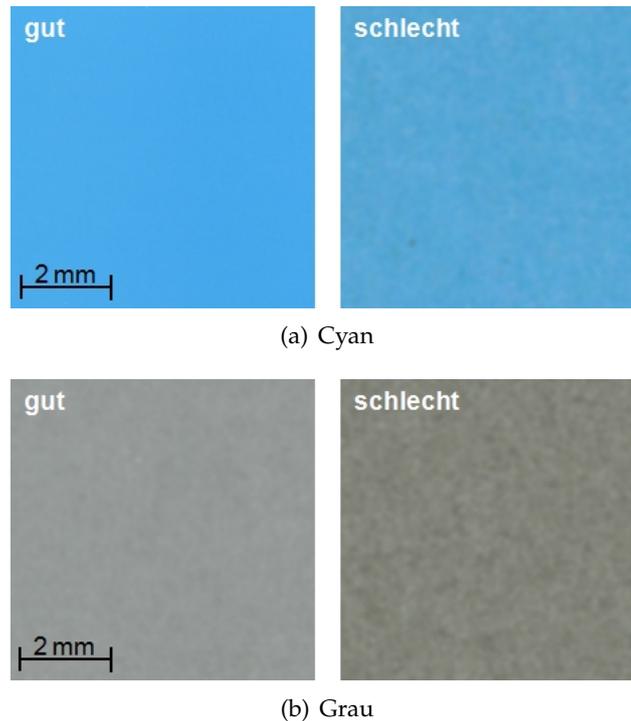


Abbildung 3.2 Druckflächen mit homogenem Druckbild (links) und wolkigem Druck (rechts) in Cyan (a) und Grau (b).

für guten (links) und wolkigen (rechts) Ausdruck in den Druckflächen Cyan (a) und Grau (b) dargestellt. Es gibt dabei mehrere Mechanismen, durch welche Mottling hervorgerufen werden kann. Die mehrheitlich auftretenden Mottling-Arten wurden von KOLSETH [2005] oder BAUER [2008] zusammengefasst und sollen folgend erklärt werden.

Backtrap Mottle - Rückspalt-Mottle Dieser Mechanismus tritt überwiegend bei Mehrfarben-Druckmaschinen in den Druckfarben der ersten Druckwerke auf. Die Ursache dafür liegt in einem lokal unterschiedlichen Wegschlagverhalten der Druckfarben in den Bedruckstoff (Abbildung 3.3). Durch diese unterschiedliche Immobilisierung der Druckfarbe kann es zu einer ungleichmäßigen Spaltung des Druckfilmes auf den nachfolgenden Drucktüchern und Druckbögen kommen. Der übertragene Farbfilm auf die Papieroberfläche ist demnach mehr oder weniger ungleichmäßig dick, und dies führt in weiterer Folge zu einem wolkigen Erscheinungsbild der bedruckten Fläche [ALBERT, 2008].

Water Interference Mottle - Wasser beeinflusstes Mottling Dieser Mechanismus tritt ebenfalls bei Mehrfarben-Druckmaschinen auf. Verursacht wird das Mottling vor allem in den vorderen Farbwerken, wo das aufgebrauchte Feuchtmittel nicht vollstän-

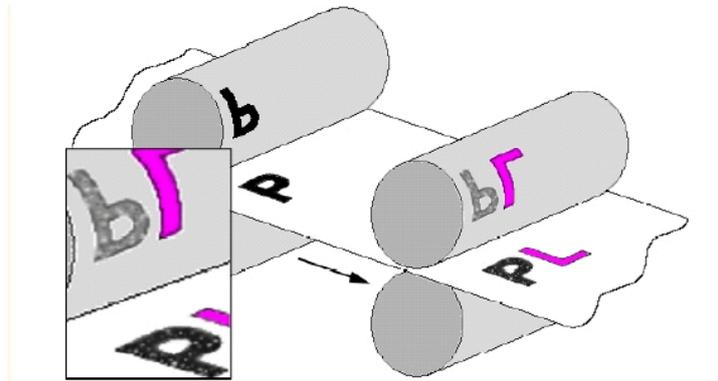


Abbildung 3.3 Die Abbildung zeigt, dass der Buchstabe aus dem ersten Druckwerk im zweiten Druckwerk auf die Druckplatte rückgespalten wird. Kommt es dabei zu einer ungleichmäßigen Spaltung der Druckfarbe, so ist der Druckfilm auf dem Papier unterschiedlich dick. Dies wird in weiterer Folge als wolkiger Ausdruck bezeichnet. [SALMELA, 2003]

dig von der Papieroberfläche vor dem Erreichen des nächsten Farbwerkes aufgenommen wird. Durch unvollständiges Wegschlagen verhindert es die gleichmäßige Übertragung der Druckfarbe auf das Papier und ein Mottlingeffekt kann sich zeigen (Abbildung 3.4).

Midtone Mottle - Raster Mottling Diese Art des Mottlings zeigt sich hauptsächlich in den Tonwertstufen 30 bis 60% und kann sowohl beim Einfarben- als auch beim Mehrfarbendruck auftreten. Zurückzuführen ist diese Druckunregelmäßigkeit auf die optischen Eigenschaften des Bedruckstoffes, vor allem durch ein unterschiedliches Lichtbrechungs- und Lichtadsorptionsverhalten, wodurch eine lokale Variation der Weiße hervorgerufen wird. Auch gleichmäßig geformte und gleich große Rasterdruckpunkte können eine Unruhe im Raster erzeugen. Dies kann auf die Unregelmäßigkeiten im Lichtfang zurückgeführt werden und korreliert häufig mit der Formation und der lokalen Opazität des Papiers (Abbildung 3.5).

Papieroberflächen-Mottling Wolkiger Ausdruck wird durch defekte in der Papieroberfläche (z.B. Körnigkeit, Streifigkeit, Sieb- oder Filzabdrücke,...) hervorgerufen, welche bereits vor dem Druck visuell wahrnehmbar sind.

Druckmaschinen Mottling Wolkiger und ungleichmäßiger Ausdruck kann auch durch eine inkorrekte Einstellung der Druckmaschine verursacht werden. Dazu zählen unter anderem eine fehlerhafte Belichtung der Druckplatte, ein ungleichmäßiger Transfer der Druckfarbe auf die Druckplatte und oder den Bedruckstoff sowie eine zu hohe Farbführung.

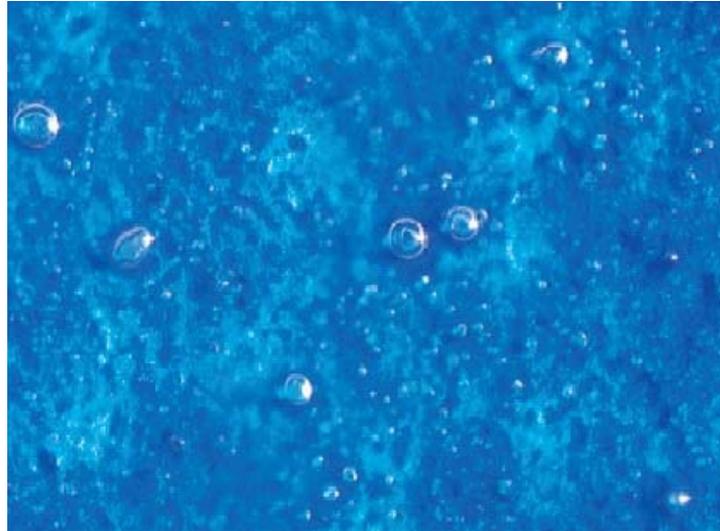


Abbildung 3.4 Darstellung einer Druckfläche, welche eine ungleichmäßige Farbübertragung und Wasserblasen aufgrund von Water Interference Mottle zeigt. [BAUER, 2008]

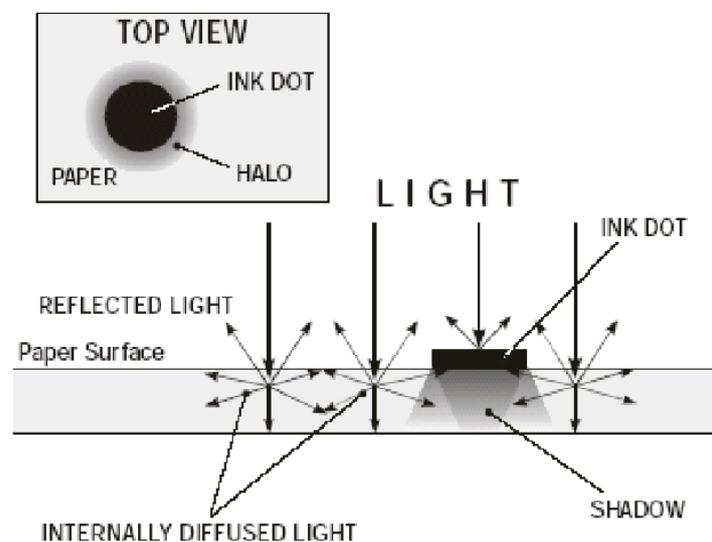


Abbildung 3.5 Der Yule-Nielsen Schatten ist ein Effekt, welcher zu Midtone-Mottle führen kann. Dieser wird hervorgerufen durch die Adsorption und Brechung des Lichtes am Papier. Das Licht erscheint um den Druckpunkt diffus und erzeugt einen Schatten, wodurch der Druckpunkt größer als tatsächlich erscheint. [BAUER, 2008]

3.3.2 Analyse von Mottling

Da der wolkige Ausdruck im Offsetdruck seit jeher eines der Hauptprobleme dieser Drucktechnik ist, gibt es dazu zahlreiche Arbeiten über die Analyse von Mottling, den dazugehörigen Ursachen und der Bekämpfung dieser. Anfangs wurde jedoch mehrheitlich an Hand der gestrichenen Papieren an der Ursachenforschung gearbeitet.

Schon früh diskutierte MARTON [1981] unterschiedliche Druckprobleme im Offsetdruck und die Ursachen dafür. So kann eine instabile Druckfarben-Feuchtmittel Interaktion wie auch eine ungleichmäßige Oberflächentopografie des Bedruckstoffes das Druckbild beeinflussen. Weiters beeinflusst die Füllstoffmenge und die damit verbundene Verteilung die Blatt- und Oberflächenrupffestigkeit, was wiederum den Hang zum Rupfen steuert.

Mit der Analyse und den dazugehörigen Lösungen bei gestrichenen Papieren beschäftigen sich NISHIOKA ET AL. [1986]. Nach deren Ausführungen ist die Ungleichmäßigkeit der Strichoberfläche für wolkigen Ausdruck verantwortlich. Eine qualitative Aufwertung und Vergleichmäßigung der Strichschicht sowie einer Steigerung der Druckqualität kann durch spezielle Latex Binder erreicht werden. Auch LOUMAN [1990] führte einen Streichversuch mit unterschiedlichen Latex Bindern in Kombination mit oxidierte Stärke durch. Hier zeigten sich ebenfalls deutliche Unterschiede im Druckverhalten, welche jedoch nicht durch das Trocknungsverhalten aufgrund der eingesetzten Binder hervorgerufen wurde. Weiters zeigte er, das Farbabstoßen am Bedruckstoff aufgrund der Benetzung von druckenden Stellen durch Wischwasser zu Mottling führen kann.

Etwas weitläufiger bearbeiten FALTER AND SCHMITT [1988] die Herkunft und die Beurteilungs-Methoden des Mottlings. So zählen zu den beeinflussenden Komponenten der Druckqualität das Papier (vor allem die Formation), die Druckfarbe und in weiter Folge auch der gesamte Druckprozess. Mit einer ausführlichen Zusammenfassung über die Vorhersage und die Prüfung der Druckqualität legt ASPLER [1992] ein umfassendes Werk vor. Er behandelt unter anderem den Einfluss des unbedruckten Papiers hinsichtlich der Zusammensetzung und der optischen Eigenschaften auf die zu erwartende Druckqualität. So zeigte er, dass die Kompressibilität, die Porosität und auch die Formation die Druckqualität beeinflussen können. Die Schlüsseleigenschaften für gute Bedruckbarkeit und Druckqualität zählt RECHER [1994] auf. Dazu zählen von der Papierseite die Formation, Oberflächenfestigkeiten, Zweiseitigkeit, Opazität und die Papierweiße.

Den Einfluss des Wegschlagens der Druckfarbe auf das Mottling in Bezug auf die Interaktion zwischen Druckfarbe und Papier beschreibt HAENEN [2000]. Demnach ist der beste Weg zur Reduzierung von wolkigem Druck die gleichzeitige Verbesserung der Ölaufnahme des Striches und die Haftung zwischen Papier und Druckfarbe.

Zur Prüfung und Vorhersagen von Druckmottle werden häufig auch geeignete Labormethoden verwendet. Ein geläufiges Labordruckgerät zur Analyse und Beurtei-

lung der Bedruckbarkeit im Offsetdruck ist das System Prüfbau. Dieses Gerät zur Ursachenfindung für Druckprobleme verwendeten unter anderen LAVELLE ET AL. [1989] und COCKERLINE [1992]. Mittels geeigneter Ausrüstung lassen sich mit dem Prüfbau sowohl einfache Volltondrucke wie auch das Zusammenspiel Feuchtmittel und Druckfarbe im Labor reproduzieren. Zur Kontrolle der Druckqualität dient auch der IGT Bedruckbarkeitstester. Dieser wird unter anderem von NIESSNER AND SCHMIDT [1970] zur Beurteilung des Wegschlagverhaltens verwendet. Ein weiteres Labordruckgerät zur Untersuchung der Druckqualität ist die Vandercook Proofing Press und wird in der Arbeit von SANDREUTER [1994] verwendet. Gezeigt werden dabei unterschiedliche Tests zur Stabilität von Druckfarbe und Papier, zum Mottling oder auch zum Verhalten der Papieroberfläche mit dem Feuchtmittel.

Bildanalytische Untersuchung von Mottling

Mottling-Analyse mittels einer stochastischen Frequenz Verteilung anhand digitalisierter Druckproben betreiben ROSENBERGER ET AL. [2003]. Diese Methode ist ein objektives Mittel zur Einschätzung des Einflusses von Druckerpresse, Druckfarbe und Papier auf die Druckqualität hinsichtlich Mottling. Ein sehr umfangreiches Werk mit aktuellen Untersuchungsmethoden von Mottling stellte FAHLCRANTZ [2005] in seiner Dissertation zur Verfügung. Er zeigt die Verwendung von Frequenz- und Texturanalysen zur Erkennung und Charakterisierung von Mottling. Den Einsatz des STFI-Mottling Ruler zeigen LINDBERG ET AL. [2008]. Ein Vergleich der Ergebnisse mit der visuellen Bewertung durch das menschliche Auge korreliert demnach sehr hoch. Weiters zeigen sie den Gebrauch eines Mottling-Maßstabes zur Bewertung von industriell bedruckten Papieren.

Drucktests

In den Papierherstellungsbetrieben werden zur Kontrolle der Druckqualität oftmals Drucktests durchgeführt. Diese werden zum Teil im Labormaßstab an einem Prüfbau Probedrucksystem oder aber auch zum Großteil an konventionellen Druckmaschinen durchgeführt. Dazu verwendet jede Firma eigens erstellte Drucksujets, mit denen die aktuellen Druckprobleme erfasst und analysiert werden können. Die Analyse erfolgt dabei meist mittels einer visuellen Beurteilung durch erfahrenen Drucktechniker.

3.3.3 Ursachen und Einflussfaktoren für Mottling

Zu den beeinflussenden Faktoren des Heatset Web Offset Druckes in Bezug auf die Druckqualität zählen neben dem Papier mit den charakteristischen Eigenschaften weiters die Druckfarbe und das Feuchtmittel. Bezüglich den zu verwendenden Druckpapieren wurden die generellen Anforderungen sowie die Zusammensetzung von ungestrichenen SC Papieren für eine akzeptable Druckqualität bereits von MÄNTYNEN

ET AL. [1986] besprochen. Welche gezielten Papiereigenschaften jedoch Einfluss auf die Druckqualität im Offsetdruck haben, wird ebenso seit vielen Jahren untersucht. Ein breiter Überblick über Papiereigenschaften, welche die Druckqualität von ungestrichenen Papieren im Heatset Web Offset Druck beeinflussen, wurde von JORDAN ET AL. [1998] gegeben. Detaillierte Untersuchungsergebnisse zu den einzelnen beeinflussenden Eigenschaften des Bedruckstoffes sollen hier folglich erläutert werden.

Einfluss der Formation Mit denen durch die Formation hervorgerufenen und zusammenhängenden Papiereigenschaften ist der Einfluss der Formation auf die Druckungleichmäßigkeit unumstritten. Detaillierte Grundlagen zur Formation, der Formationsmessung und auch der Beurteilung zeigen PRAAST AND GÖTTSCHING [1991].

KAJANTO [1989] zeigt in einer seiner Arbeiten, dass etwa ein Viertel der Variation des Druckbildes durch die Formation erklärt werden kann. Einen Grund für die schwache Korrelation sieht er in der nicht vorhandenen Auflösung in z-Richtung der Formation. Die Druckqualität ist meist durch die Struktur einer sehr dünnen Schicht an der Papieroberfläche beeinflusst. In einer anderen Arbeit beschäftigt sich KAJANTO [1990] mit dem gleichen Problem. Hier beleuchtet er mittels Labor- und Industriedruck den Einfluss der Formation auf das Druckbild. Im Industriedruck ist die Korrelation jedoch nicht sehr stark, dennoch benennt er die Formation als besten Parameter zur Vorhersage von Druckunregelmäßigkeiten.

Den Zusammenhang zwischen Druckungleichmäßigkeit von Volltonflächen und Formation bei ungestrichenen Offsetpapieren im Praxisdruck untersuchten NESS AND GÖTTSCHING [1996]. Dazu wurde sowohl ein Mottling-Index als auch ein Formations-Index ermittelt. Sie zeigten, dass die beiden berechneten Indizes gut miteinander korrelieren.

In einer Studie zeigen SHALLHORN AND HEINTZE [1996], dass der größte Anteil der Variation in der subjektiven Beurteilung von ungestrichenen Druckproben auf die Formation, das Papiervolumen und die Oberflächenglätte zurückzuführen ist. Dies erklären sie dadurch, dass die Druckungleichmäßigkeit im Makro-Scale-Bereich bedingt ist durch die Verteilung von Fasern an der Oberfläche, welche die Druckfarbe aufnehmen. Dies wiederum steht im Zusammenhang mit der Volumen-Verteilung von Fasern und Füllstoffen im Papier, welche die Formation bestimmen. In weiterer Folge wird die Verteilung der Fasern, welche an der Oberfläche vorhanden sind, durch Pressen und Kalandrierung beeinflusst.

Die Messung des Mottlings in bestimmten Größenordnungen durch eine Wavelet-basierte Technik im Zusammenhang mit der Formation zeigen BERNIE ET AL. [2004B] und BERNIE ET AL. [2006]. Die Ergebnisse wurden mit einer Formationsmessung korreliert und zeigen, dass der größte Zusammenhang in einem Formations-Bereich von 5 - 8 mm erreicht wird. Demnach haben kleinere körnige und größere wolkige Strukturen nur einen geringen Einfluss auf einen ungleichmäßigen Ausdruck.

SCHULZ ET AL. [2004] zeigen, dass die Formation auch indirekt für einen ungleich-

mäßigen Ausdruck verantwortlich ist. Durch die Formation wird die Variation der Weiße beeinflusst und diese ist in weiterer Folge ebenfalls für wolkigen Druck verantwortlich.

Einfluss der optischen Eigenschaften Optische Eigenschaften wie Glanz, Brechungsindex oder auch die Variation der Weiße des Papiers beeinträchtigen in einem gewissen Rahmen die Druckqualität. Der Einfluss der Papierweiße indirekt hervorgerufen durch die Formation wurde bereits im Abschnitt „*Einfluss der Formation*“ von SCHULZ ET AL. [2004] diskutiert.

Der Einfluss des Brechungsindex auf die Druckqualität wurde unter anderen von PRESTON ET AL. [2008] untersucht. Dabei interpretieren sie den Brechungsindex als eine Maßzahl für die Porosität der Papieroberfläche.

Die allgemeine Rolle des Papierglanzes und in weiterer Folge auch des Druckglanzes bewerten FETSKO AND ZETTLEMOYER [1962]. Demnach kann mit einer dickeren Druckfarbenschicht ein höherer Druckglanz erreicht werden, was jedoch den Mottling Effekt des Druckes verstärkt. Höherer Glanz kann auch durch die Verwendung von Farbpartikeln mit kleineren Partikelgrößen erreicht werden. Hier muss jedoch erwähnt werden, dass die Eigenschaften der Farbpigmente sich stärker bei gestrichenen als bei ungestrichenen Papieren auswirken. Weiters kann der Druckglanz durch eine weniger poröse Papierstruktur erhöht werden, was wiederum den Effekt mit sich zieht, dass eine periodischen Ungleichmäßigkeit im Druck entstehen kann. Zusammenfassend geben sie an, dass der Druckglanz und die Gleichmäßigkeit des Glanzes von der Interaktion zwischen den Druckfarben, dem verwendeten Papierrohstoffen und den Druckkonditionen abhängen.

Dass auch durch Druckfarbenpenetration hervorgerufene optische Eigenschaften einen Einfluss auf die Druckqualität haben, wird ebenfalls bereits in der Literatur diskutiert. Mit der Penetration der Druckfarbe in den Bedruckstoff und in weiterer Folge mit der Problematik des Durchdruckens befassten sich ANTOINE ET AL. [2008] und ANTOINE AND GREGERSEN [2008]. Demnach beeinflusst Separierung und die Eindringtiefe der öligen Phase der Druckfarbe sowohl den Glanz als auch die Farbdichte des Bedruckstoffes. Einen ähnlichen Ansatz wählten auch ERIKSEN AND GREGERSEN [2007]. Sie zeigten ebenfalls anhand der Eindringtiefe der Druckfarbe ins Papier eine Veränderung der optischen Eigenschaften Lichtstreuung und Brechungsindex.

Einfluss der Topografie Die Topografie und deren Einfluss auf die Farbübertragung und in weiterer Folge auch auf die Druckqualität ist ebenfalls ein Gebiet, auf dem bereits seit Jahre Forschung betrieben wird.

Einen umfangreichen Überblick über verschiedene Messtechniken und ihre Anwendungen für die Topografiemessung von Papieren zeigt CHINGA [2009]. Zwei maßgebende Einflüsse der Topografie auf schlechte Farbübertragung und Druckqualität bei ungestrichenen Papieren benannten GREGERSEN ET AL. [1994]. Demnach verur-

sachen lokale Faser-Peaks, welche sich von der restlichen Papiertopografie abheben, schlechte oder fehlende Farbübertragung. Durch den höheren Druck zwischen Papier und Druckplatte wird die Druckfarbe an solchen Faser-Peaks „ausgequetscht“ und die Farbe gelangt an benachbarte Stellen, wo weniger Druck vorherrscht (siehe auch Prüfbau Labordruck in Kapitel 7.2.1). Als zweiten Ansatz erkennen sie die fehlende Farbübertragung an Stellen, wo kein Kontakt zwischen Druckfarbe und Papier hergestellt werden kann. Als Ursache dafür gelten Poren und Hohlräumen zwischen den Fasern. Die Technik des Offsetdruckes soll jedoch diese beiden Einflüsse durch die flexible Druckplatte (Gummituch) verringern, auf der anderen Seite verhindert die hohe Viskosität der Druckfarbe das Eindringen dieser in die Hohlräume und die Vergleichmäßigung auf der Papieroberfläche.

Die Arbeiten von DICKSON [2006] und DICKSON AND CHINGA [2008] zeigen, dass der Einfluss der Topografie auf das Druckbild gegenüber der Formation jedoch etwas untergeordnet ist. Bei schlechter Druckqualität tendiert die Variation der Formation zur dominierenden Papiereigenschaft, bei guter Druckqualität liefern sowohl die Formation als auch die Topografie gleichwertige Ergebnisse in Bezug auf die Erklärung des Druckbildes.

Als die wichtigste Variable zur Beschreibung des Zusammenwirkens von kleinräumigen Topografieunterschieden in Bezug auf das lokale Druckbild beschreiben METTÄNEN ET AL. [2009] die Oberflächentopografie in Kombination mit der dazugehörigen lokalen Varianz.

Den Einfluss der Rauigkeit, welche in weiterer Folge auch die Topografie widerspiegelt, haben HABEKOST ET AL. [2010] untersucht. Sie zeigten dabei, dass eine Korrelation zwischen der Topografie und dem sichtbaren wolkigen Ausdruck vorherrscht. Das Mottling verbessert sich umso mehr, je besser die Oberflächenqualität des verwendeten Papiers ist.

Einfluss des Faserstoffes Die zusammenhängenden Einflüsse von Fasergröße, Faserqualität und die Quantität, Qualität und Art der Feinstoffe in Bezug auf die Struktur des Blattes und die daraus resultierende Druckqualität zeigen CORSON ET AL. [2004] anhand eines Newsprint-ähnlichen Laborblatt. Demnach produzieren dünnwandige Fasern von jungem Holz generell Blätter mit besseren optischen Eigenschaften, wodurch die Druckqualität im Halb- und Vollton besser ausfällt als bei älteren dickwandigen Fasern. Jedoch bewirkt ein höherer Anteil an Feinstoffe keinen Anstieg in der Druckqualität.

BERNIE ET AL. [2004A] zeigen, dass die Zusammensetzung des zu bedruckenden Papiers auch Einfluss auf eine Zweiseitigkeit der Druckqualität in Bezug auf Mottling bewirken kann. Demnach verursacht eine unterschiedliche Anordnung von Fasern, Fein- und Füllstoffen, welche durch den Papierherstellungsprozess hervorgerufen wird, auch ein unterschiedliches Druckergebnis. So kann ein Papier auf der einen

Seite eine gute und auf der gegenüberliegenden Seite eine weniger gute Druckqualität erreichen.

Einfluss der Füllstoffpigmente Ein umfassendes Werk über den Einfluss der mineralischen Strukturen auf die Porenverteilung und Bedruckbarkeit bei ungestrichenen SC-Papieren legt LORUSSO [2001] in ihrer Dissertation vor. Hauptteile ihrer Arbeit sind dabei die Charakterisierung von SC-Papieren, der Effekt der Papierstruktur auf die Druckqualität sowie der Einfluss von Füllstoffen auf die Papiereigenschaften.

Einen groß angelegten Druckversuch führten AIN ET AL. [2002] durch. Dabei wurde eine Vielzahl von SC-A Papieren auf einer Heatset Web Offset Presse verdruckt und die Unterschiede im Druckbild und der Druckqualität aufgrund der unterschiedlichen Pigmenten-Typen dargestellt. Demnach bringt PCC deutliche Vorteile gegenüber Kaolin bei der Papierweiße und auch bei der Opazität. Durch die unterschiedlichen Füllstoffe kann sich auch das Volumen oder aber auch die Porosität des Papiers ändern. In einer weiteren Arbeit von AIN AND STEVENS [2003] wird nochmals auf die Unterschiede von PCC und Kaolin eingegangen. Auch hier bestätigen sie nochmals, dass durch den Einsatz von PCC die Anzahl der feinen internen Papier-Poren im μm -Bereich ansteigen und dadurch die Absorptionsrate des Papiers deutlich erhöhen. Durch diese Veränderungen in der Papierstruktur kann die Performance der Offset-Presse und die daraus resultierende Druckqualität durchaus gesteigert werden.

Einfluss der Druckfarbenpenetration In seiner Arbeit zeigt KLEMM [1999], dass die Qualität des Druckes auch durch die Druckfarbenpenetration beeinflusst wird. Er vergleicht sowohl das Wegschlagverhalten und die Penetration der Druckfarbe von gestrichenen und ungestrichenen Papieren. Bei den ungestrichenen SC-Papieren sieht er die großporige Oberfläche als treibende Kraft für das Eindringen der Druckfarbe ins Papier, welche eine Trennung der flüssigen und festen Phase der Druckfarbe nicht zulassen. Es kommt daher zu einer raschen Penetration der gesamten Farbe in den Papierverbund. Dies wiederum hat Einfluss auf die Farbdichte und die nachfolgende Trocknung und führt letztendlich zu einem nicht optimalen Druckergebnis.

Ein paar Jahre zuvor beschäftigte sich GRACE [1993] mit dem Durchdrucken im Zeitungsdruck. Auch hier ist die Druckfarbenpenetration eine treibende Kraft für die Beeinflussung der Druckqualität. Beinhaltet ein Papier mehr Feinstoffe, so entstehen mehrere kleine Poren, welche so die Druckfarbe separieren und mehr flüssige Phasenanteile der Druckfarbe aufnehmen können. Im Gegenzug wird durch die feineren Poren die Tiefe der Penetration der Farbpigmente reduziert.

Ein Zweischichten-Modell zur Klärung der Entstehung von Druckunregelmäßigkeiten für ungestrichene Papiere mit geringem Druckfarben-Holdout zeigt KAJANTO [1992]. Das Ergebnis des Modelles gibt an, dass neben dem Lichtstreuungskoeffizienten und der Druckfarbenmenge auch die Tiefe der Druckfarbenpenetration für einen unregelmäßigen Druck verantwortlich ist.

Ein dazu unterschiedliches Ergebnis bringen VOURA ET AL. [2008]. Sie untersuchten mittels Serienschnitttechnik den Einfluss der Druckfarbenpenetration auf das Druckergebnis im Tiefdruck. Es wird gezeigt, dass die Variation der Druckfarbenpenetration stärker die Farbdichte und die Homogenität des Druckes beeinflusst als die Eindringtiefe der Druckfarbe im speziellen. Demnach bestimmt das Porenvolumen des Papiers und die Variation der Druckfarbenpenetration das Druckergebnis.

Einen weiteren theoretischen Ansatz zur Beschreibung des Effektes der Druckfarbenpenetration auf die Qualität des Druckes mittels Modellbildung untersuchten YANG AND KRUSE [2000]. Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer bestimmten Menge an Druckfarbe das Druckbild mit mehr Druckfarbenpenetration eine höhere Lichttransmission aufweist als das Papier mit weniger Druckfarbenpenetration. Demnach wird die Farbwiedergabe des Druckbildes durch die Druckfarbenpenetration verringert.

Erst kürzlich veröffentlichten ZHANG AND WANG [2011] eine Studie über das Penetrationsverhalten und Übertragung der Druckfarbe an ungestrichenen Offsetpapieren. Untersucht wurde dabei die Penetrationstiefe und Farbdichte in Abhängigkeit vom Pressendruck und der Druckgeschwindigkeit in Bezug auf die Druckqualität. Sie zeigten, dass bei einem Offsetpapier mit einem Flächengewicht von 80 g/m^2 eine Druckfarbenpenetrationstiefe zwischen 60 und $63 \mu\text{m}$ durch eine optimale Einstellung von Pressdruck und Druckgeschwindigkeit erreicht werden kann, was in weiterer Folge zu einer guten Druckqualität führt.

Einfluss der Druckfarbe Einen frühen Ansatz zur Bekämpfung des Mottling im Offsetdruck durch die Änderung der Druckfarbe zeigt NIESSNER [1980]. Er stellte fest, dass bei einer langsam wegschlagenden Druckfarbe mit niedrigem Tack das Mottling im Druckbild schwächer auftritt. Weiters spricht eine langsam wegschlagende Druckfarbe auch gegen die Anforderung einer heutigen modernen Offsetdruckfarbe, was RANKIN [2002] in einem groß angelegten Feldversuch zeigt. Er untersucht den Einfluss der Druckfarbe auf den Heatset Web Offset Druck von ungestrichenen SC Papieren. In einer Vielzahl von Testdrucken wurden verschiedene Druckfarben getestet und das Druckergebnis in Bezug auf Stauben, Druckglanz, Mottling, Punktspreitung sowie Farbwiedergabe im Vergleich mit einem gestrichenen LWC-Referenzpapier untersucht. Die Ergebnisse zeigen unabhängig vom Wegschlagverhalten der Druckfarbe, dass durch einen höheren Tack durchaus gute Druckqualitäten ähnlich dem LWC-Papier erreicht werden können.

Den Einfluss der Druckfarbe im Bezug auf die Druckeigenschaften, der Rheologie und des Filtrationsverhalten der Druckfarbe untersuchten KOIVULA ET AL. [2010]. Dabei wurde die Druckqualität im Bezug auf die Farbdichte und den Glanz gemessen. Sie zeigen, dass vor allem die Farbdichte des Druckes mehr durch die Druckfarbe beeinflusst wird als der Glanz, dieser hängt meist vom Glanz des Bedruckstoffes ab.

Lokale Modellierung der Farbübertragung

Dieses Kapitel beschreibt die theoretischen Grundlagen der multiplen Regressionsanalyse und in weiterer Folge die Anwendung auf die lokale Modellierung der Farbübertragung. Anhand eines Beispiels wird die Vorgehensweise einer lokalen Modellierung durchexerziert. Abschließend werden die Messprogramme der einzelnen Druckversuche besprochen.

4.1 Multiple Regressionsanalyse

Die Theorie der Regressionsanalyse wird zum Beispiel von PINNEKAMP AND SIEGMANN [2001] beschrieben. Der Vollständigkeit halber soll hier nochmals die Grundidee der linearen einfachen und der multiplen linearen Regression wiedergegeben werden.

Die Regressionsanalyse ist ein statistisches Verfahren, das die Änderung einer Variable beschreibt, die durch die Änderung einer weiteren Variable hervorgerufen wird. Durch eine einfache mathematische Funktion kann der Zusammenhang dieser beiden Variablen hergestellt werden:

$$Y = f(X) + \epsilon \quad (4.1)$$

Var.	Erklärung
Y	abhängige Variable (Zielvariable)
X	erklärende Variable (Prädiktor)
ϵ	Störkomponente

Tabelle 4.1 Erklärung der Variablen der einfachen Regressionsanalyse

Bei dieser Art der Analyse wird angenommen, dass die abhängige Variable Y durch die unabhängige Variable X erklärt wird. Es wird angestrebt, eine Funktion $f(X)$ zu finden, die bereits den Großteil der Variabilität der vorhandenen Daten erklärt, damit der Fehler ϵ vernachlässigbar ist. In der Regel ist es üblich, die Parameter der gesuchten Regressionsfunktion zu schätzen. Die so geschätzte Variable Y wird mit dem Dachsymbol gekennzeichnet $Y \rightarrow \hat{Y}$. Es wird dann von einer YX -Regressionsfunktion gesprochen.

$$\hat{Y} = f(X) + \epsilon \quad (4.2)$$

Aus der Definition $\hat{\epsilon} = Y - \hat{Y}$ folgt der Schätzansatz $Y = \hat{Y} + \hat{\epsilon}$. Die quantifizierten Beziehungen beziehen sich dabei immer auf einen empirischen Datensatz (x_i, y_i) mit $i = 1, 2, \dots, n$ Stichproben der Grundgesamtheit, wodurch dann von einer y_x -Regressionsfunktion gesprochen wird:

$$\hat{y}_i = f(x_i) \quad (4.3)$$

beziehungsweise

$$y = \hat{y}_i + e_i \quad (4.4)$$

Die Variable e_i steht dabei für das Residuum und beschreibt die Abweichung des tatsächlichen vom (angepassten) Wert. Alle oben angeführten Ausführungen beziehen sich auf Einfachregressionen, die nur zwei Variablen berücksichtigen. Wird jedoch die Beziehungen zwischen drei oder mehreren Variablen untersucht, wie es bei der lokalen Modellierung der Farbübertragung der Fall ist, spricht man von Mehrfachregressionen oder multipler Regression:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (4.5)$$

Bei der multiplen linearen Regression im Falle der lokalen Modellierung der Farbübertragung findet eine Linearkombination der erklärenden Papiereigenschaften Anwendung:

$$Y = \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_3 + \beta_4 * X_4 + \beta_5 * X_5 + \beta_6 * X_6 + \beta_n * X_n \quad (4.6)$$

Zielvariable:

- Y = lokale Farbdichte

Erklärende Variablen:

- X_1 = lokale Formation (flächenbezogene Masse)
- X_2 = lokale Druckfarbenpenetration
- X_3 = lokale Papierweiße
- X_4 = lokaler Brechungsindex
- X_5 = lokaler Glanz
- X_6 = lokale Topografie
- X_n = gegebenenfalls eine weitere lokale Papiereigenschaften
- $\beta_1 \dots \beta_n$ = im Modell geschätzte Koeffizienten

4.2 Lokale Modellierung

Die Methode der lokalen Modellierung wurde von HIRN AND LECHTHALER [2006] am Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik entwickelt und über die Jahre sukzessive verbessert [HIRN ET AL., 2008].

Die Grundidee dieser Methode ist die lokale Korrelation des Druckbildes, oder auch die Variation der lokalen Farbdichte, mit unterschiedlichen Papiereigenschaften

an der exakt gleichen Stelle des Papiers. Dazu müssen zuerst die lokalen Papiereigenschaften sowie auch die lokale Farbdichte anhand definierter Ortskoordinaten x und y ermittelt werden. Anschließend wird eine statistische Modellbildung basierend auf der multiplen linearen Regressionsanalyse durchgeführt. Die multiple Regressionsanalyse beruht darauf, dass die Zielgröße mit mehreren beschreibenden Variablen erklärt wird. Das Ergebnis dieser Modellbildung zeigt, ob ein Zusammenhang zwischen den jeweiligen Papiereigenschaften und dem Druckbild besteht.

Den Grundstein zur Methodik der lokalen Modellierung wurde von KAJANTO [1989] gelegt. Es handelte sich dabei jedoch nur um die Übereinstimmung von *zwei* Variablen, wobei er den Einfluss der lokalen Masse auf die lokale Farbdichte im Offsetdruck untersuchte. Zur Berechnung der Übereinstimmung verwendete er eine Kreuzkorrelation, Unterschiede in der Auflösung der beiden Messungen umging er durch eine Low-Pass-Filterung und Zooming. Das Ergebnis dieser Untersuchung war, dass die Formation sehr wohl einen signifikanten Einfluss auf das Druckbild hat. Es zeigte sich, dass Stellen mit hoher Masse zu Stellen mit hoher Farbdichte führen, der umgekehrte Effekt war bei Stellen mit geringer Masse sichtbar. Eine ähnliche Vorgehensweise - die orts aufgelöste punktweise Korrelation der unterschiedlichen Papiereigenschaften mit dem Druckbild - wird auch in den Arbeiten von zum Beispiel DICKSON [2006], DICKSON AND CHINGA [2008] sowie METTÄNEN ET AL. [2009] verwendet.

Die Neuerung, welche die lokale Modellierung von HIRN AND LECHTHALER [2006] und HIRN AND BAUER [2008] beinhaltet und wodurch sich diese von anderen unterscheidet, ist die Tatsache, dass nicht mehr nur der Einfluss von ausschließlich *einer* erklärenden Variable untersucht werden kann, sondern *mehrere* erklärende Variablen das Modell beschreiben. Dies wird durch die multiple lineare Regression ermöglicht. Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode mit den dazugehörigen mathematischen Formeln ist bei LECHTHALER [2007] zu finden.

Die Methode der lokalen Modellierung wurde seit der Einführung schon an mehreren unterschiedlich Probensätzen angewendet und präsentiert. Den Einfluss eines Soft-Nip-Kalanders auf die Kompressibilität und die Topografie von SC-Papieren zeigten HIRN ET AL. [2008], die lokale Modellierung des Druckbildes anhand eines im Tiefdruck bedruckten Probensatz zeigten HIRN ET AL. [2009B] und WIND ET AL. [2009], die Modellierung der lokalen Variation der Druckdichte im Industrie- und Labordruck an im Tiefdruck bedruckten SC-Papieren zeigten HIRN ET AL. [2010]. Die erste Arbeit in Bezug auf im Heatset Web Offset bedruckte SC-Papiere zeigte WIND ET AL. [2010].

4.2.1 Methodik der lokalen Modellierung

Um einen Probensatz mit der lokalen Modellierung auswerten zu können, sind mehrere Arbeitsschritte notwendig:

1. Markierung des Papiers
2. Registrierung anhand der Markierung
3. Modellbildung der aufeinander registrierten Datensätze

Eine umfassende und detaillierte Beschreibung dieser Arbeitspunkte wurde anhand eines Labor-Tiefdruckes von SC-Papieren von HIRN ET AL. [2008] gezeigt. Die wichtigsten Erkenntnisse sollen an dieser Stelle nochmals besprochen werden.

Markierung des Papiers

Zuerst wird eine ausgewählte Stelle des Papiers so markiert, dass eine eindeutige Lage anhand eines Koordinatensystems erkennbar ist. Die Markierung wird in diesem Beispiel mit einem L-förmigen Klebeband gesetzt, wobei die Innenseite des Klebebandes die x - und y -Achse definiert (Abbildung 4.1). Mittlerweile wird für die Markierung ein Architektur-Laser verwendet, der in periodischen Abständen Löcher mit einem Durchmesser von 0,3 mm in das Papier schießt.

Folgend soll das Koordinatensystem der unregistrierten Papierprobe mit den Achsen x' und y' und die registrierte Probe mit x und y bezeichnet werden. Wichtig bei dieser Art der Markierung ist, dass diese in allen lokal gemessenen Papiereigenschaften eindeutig sichtbar ist. Die in Abbildung 4.2 dargestellten Bilder der Formation und des unbedruckten und bedruckten Papiers wurden anhand dieses L-förmigen Klebebandes markiert und zugeschnitten und zeigen genau ein und den selben Ausschnitt des Papiers. Das oberste Bild zeigt die Papierprobe nach dem Labordruck mittels dem Tiefdruck, die mittlere Abbildung zeigt die orts aufgelöste Formation und das untere Bild zeigt die Variation der lokalen Papierweiße. Alle Bilder sind in einer Auflösung von $127 \mu m$ dargestellt.

Registrierung anhand der Markierung

Die Registrierung der Messungen erfolgt in drei Schritten: Zuerst wird ein fixes Koordinatensystem anhand der Markierung definiert, darauf folgend werden die Papiere axial ausgerichtet und abschließend werden die Daten punktweise extrahiert. Für die axiale Ausrichtung wird ein Ziel-Bild T mit den Datenpunkten in einem x - y -Koordinatensystem aus der Messung der Papiereigenschaft S mit den Datenpunkten im x' - y' -Koordinatensystem mittels einer Koordinaten-Transformation definiert (Abbildung 4.3). Aufgrund der Tatsache, dass alle Messungen mit unterschiedlichen Auflösungen in undefinierten Lagen gemessen wurden, wird die Vereinheitlichung der Papiereigenschaften mittels einer rigiden Koordinatentransformation durchgeführt. Die Variable t beschreibt dabei die Translation und die Variable φ die Rotation, um die Form der Ausgangsprobe beizubehalten.

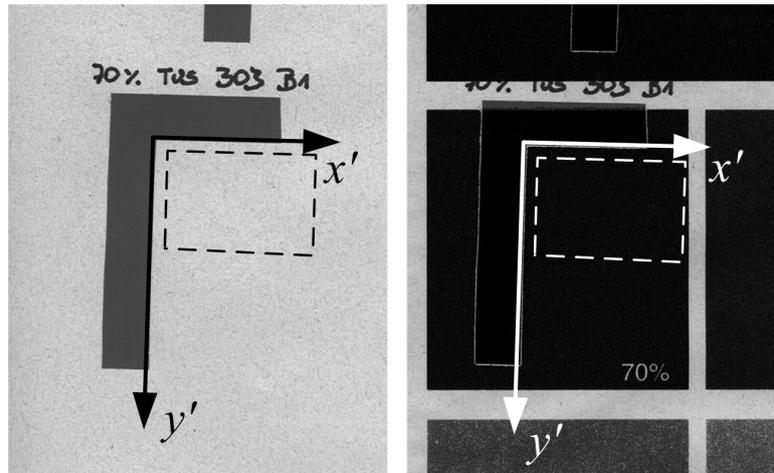


Abbildung 4.1 Darstellung der Klebebandmarkierung am unbedruckten (links) und am anschließend bedruckten (rechts) Papier. Die innere Kante definiert dabei das Koordinatensystem und ist in allen lokal gemessenen Papiereigenschaften für die Messgeräte sichtbar. [HIRN ET AL., 2008]

Die Vereinheitlichung der Auflösungen der gemessenen Papiereigenschaften basiert auf einer Änderung der Pixelgröße. Dazu wird ein Skalierungs-Faktor definiert, welcher das Verhältnis zwischen der Ziel-Pixelgröße und der gemessenen Pixelgröße darstellt.

$$s = p_t/p_2 \quad (4.7)$$

Die Zielpixelgröße p_t ist dabei vom Anwender frei wählbar. Bei einem Skalierungs-Faktor von $s > 1$ verringert sich die Auflösung und auch die Gesamtanzahl der Pixel erniedrigt sich. Zur Erstellung des 2D-Datensatzes mit den Zielkoordinaten x, y aus den Quell-Koordinaten x', y' wird der Translations-Vektor \mathbf{t} , der Skalierungs-Faktor s sowie die Rotations-Matrix \mathbf{r} mit einem Rotationswinkel φ in folgender Form benötigt:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \mathbf{t} + s \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \cdot \mathbf{r} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + s \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (4.8)$$

Modellbildung der aufeinander registrierten Datensätze

Für die beispielhafte Modellbildung wird ein SC-A Papier mit 56 g/m^2 vermessen und ausgewertet. Aufgrund der großen Messfläche ergeben sich dabei eine hohe Anzahl an Messwerten, wodurch eine plausible Aussage über die Ergebnisse getätigt werden kann. Beginnend wird die Formation (flächenbezogene Masse) mit dem β -Radiographen bei einer Auflösung von $50 \mu\text{m}$ und die Variation der Papierweiße (Abbildung 4.1 links) mittels eines Scanners bei einer Auflösung von $21 \mu\text{m}$ gemessen. Darauf anschließend wird das Papier mittels einer Einlehnertiefdruck-

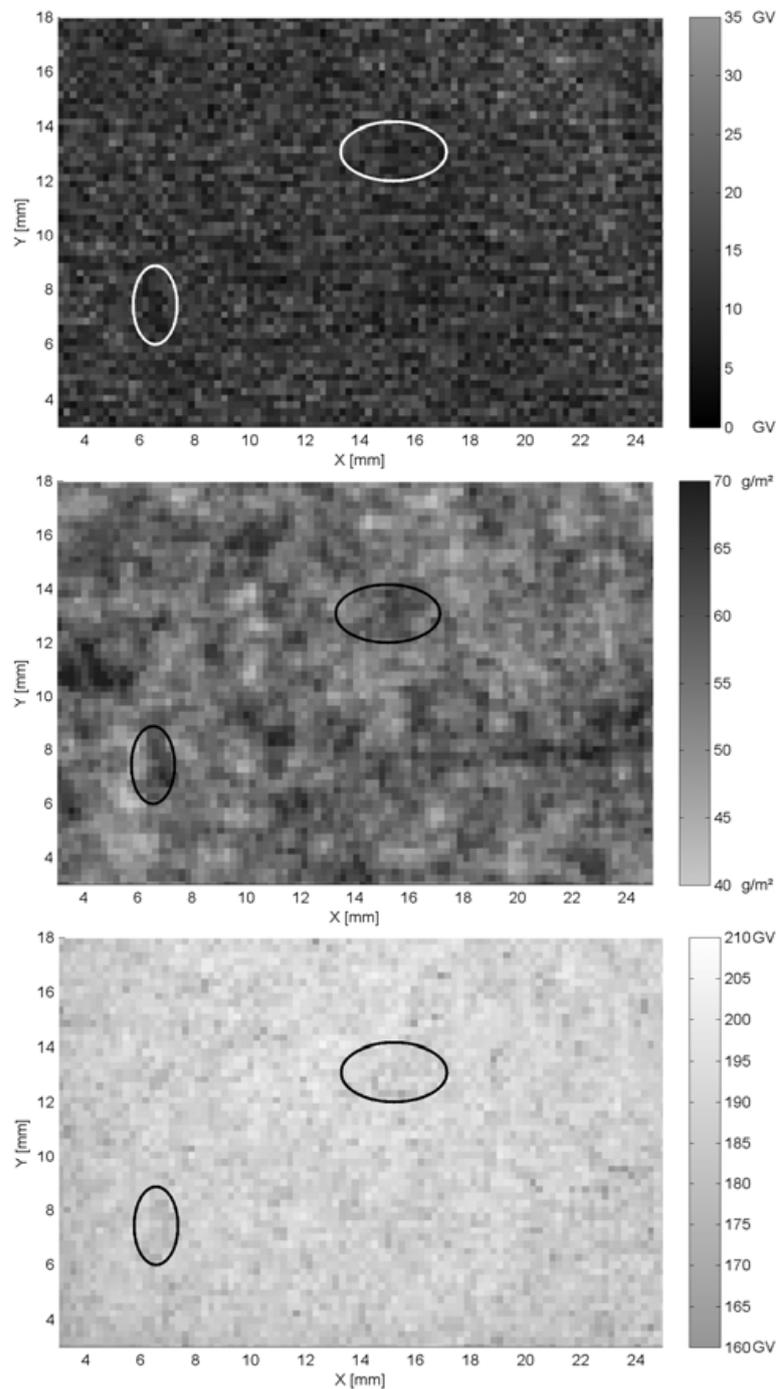


Abbildung 4.2 Darstellung von registrierten 2-dimensionalen Papiereigenschaften eines SC Papiers bei einer Auflösung von $127 \mu\text{m}/\text{Pixel}$. Dargestellt ist die laborbedruckte Probe im Tiefdruck (oben), die Formation (Mitte) und das unbedruckte Papier (unten). Regionen mit höherer Druckdichte decken sich mit Regionen an höherer lokaler flächenbezogener Masse und geringerer lokaler Papierweiße. [HIRN ET AL., 2008]

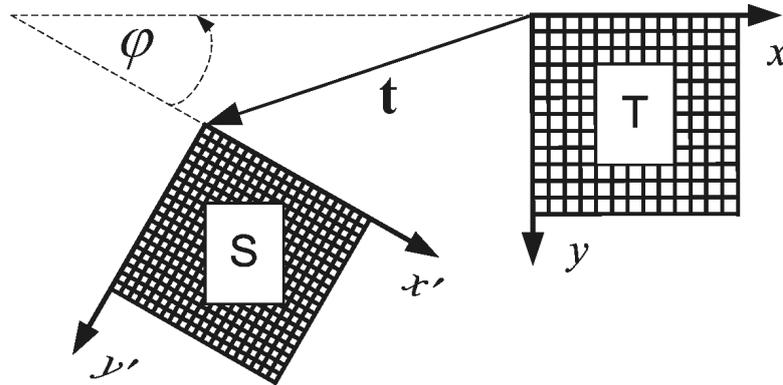


Abbildung 4.3 Registrierung der Messung einer Papiereigenschaft S zum ausgerichteten Ziel-Bild T . Die Koordinaten x und y werden anhand der Ausgangskordinaten x' und y' generiert. Da alle Messungen in unterschiedlichen Auflösungen und Lagen gemessen werden, wird eine rigide Koordinatentransformation durchgeführt. Die Variable t steht dabei für die Translation und φ für die Rotation. [HIRN ET AL., 2008]

Probedruckmaschine mit einer 70% Tonwertstufe (Abbildung 4.1 rechts) bedruckt und wieder eingescannt. Die Registrierung der Proben erfolgt nach der oben beschriebenen Methode und anschließend werden aus den Bildern die Datenpunkte als Grauwerte extrahiert. Abschließend werden die unterschiedlichen Grauwerte der gemessenen Papiereigenschaften punktweise miteinander korreliert und das Bestimmtheitsmaß R^2 errechnet. Die Ergebnisse der Korrelationen sind in Abbildung 4.4 anhand der unterschiedlichen Scatter-Plots dargestellt. Der linke Plot zeigt die Korrelation zwischen dem Druckbild und der Formation und sagt aus, dass hellere Stellen nach dem Druck auf Stellen mit geringerer flächenbezogener Masse zurückzuführen sind. Der Wert des Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt dabei 0,12. Der mittlere Plot vergleicht das Druckbild mit der lokalen Variation der Weiße des unbedruckten Papiers. Hier zeigt sich, dass hellere Stellen im Druckbild mit Stellen höherer Weiße mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,13$ korrelieren. Der rechte Scatter-Plot zeigt den Zusammenhang zwischen der lokalen Papierweiße und der lokalen flächenbezogenen Masse (Formation). Die lokale Weiße des unbedruckten Papiers ist höher an Stellen mit geringerer lokaler Masse bei einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,20$. Generell kann hierzu gesagt werden, dass die Werte für das R^2 eher gering sind, jedoch aber deutlich eine Tendenz der Ergebnisse erkennbar ist.

Mittels einer Kombination der einzelnen Modelle Formation und Druckbild sowie der Papierweiße und Druckbild kann ein neues Modell mit der Zielvariable Druckbild und den erklärenden Variablen Formation und Papierweiße erstellt werden. Das daraus berechnete R^2 beträgt 0,17 und ist demnach höher als die beiden vorher berechneten Modelle. Eine Gegenüberstellung der errechneten Werte des Bestimmtheitsmaß ist in Tabelle 4.2 dargestellt. Das erweiterte Modell mit zwei Prädiktoren hebt gegen-

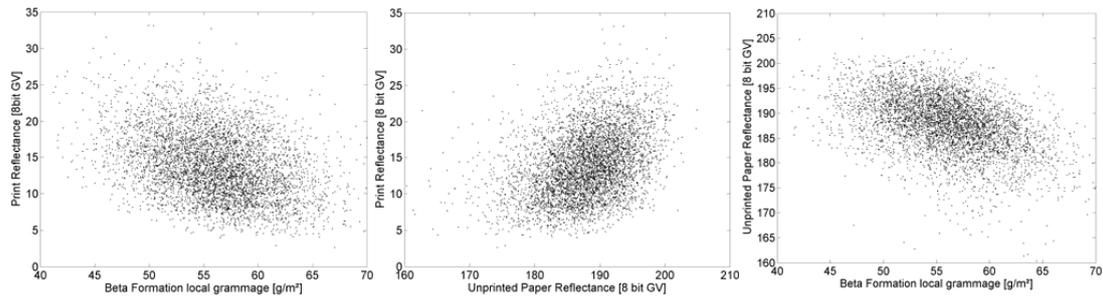


Abbildung 4.4 Darstellung der Scatter-Plots der Korrelationen zwischen dem lokalen Druckbild, der lokalen flächenbezogenen Masse und der lokalen Variation der Papierweiße eines SC-A Papiers. Jeder Punkt des Scatter-Plots entspricht genau einem Punkt der Messfläche aus Abbildung 4.2 bei einer Auflösung von $127 \mu\text{m}$. Es ist die Tendenz zu erkennen, dass hellere Stellen im Druckbild auf Stellen mit geringerer flächenbezogener Masse (links, $R^2 = 0,12$) und höherer Weiße (Mitte, $R^2 = 0,13$) zurückzuführen sind. Die lokale Weiße des unbedruckten Papiers ist den Stellen höher, an denen eine geringere flächenbezogene Masse gemessen wurde (rechts, $R^2 = 0,20$). [HIRN ET AL., 2008]

Modell	R^2
Druckbild = Formation und Papierweiße	0,17
Formation und Druckbild	0,12
Papierweiße und Druckbild	0,13

Tabelle 4.2 Gegenüberstellung der Werte des Bestimmtheitsmaß R^2 der Modelle Formation und Druckbild, Papierweiße und Druckbild sowie dem kombinierten Modell mit der Zielvariable Druckbild und den erklärenden Variablen Formation und Papierweiße. Das kombinierte Modell mit einem R^2 von 0,17 hebt sich von den einzelnen Modellen ab. [HIRN ET AL., 2008]

über den anderen beiden Modellen das Bestimmtheitsmaß an und zeigt, dass beide Papiereigenschaften gemeinsam mehr Erklärkraft bezüglich des Druckbildes haben.

4.2.2 Ergebnis

In den Auswertungen der unterschiedlichen Druckversuche mit der oben gezeigten Methode, die in den weiteren Kapiteln dieser Arbeit präsentiert werden, werden immer Modelle mit mehreren erklärenden Papiereigenschaften gebildet, welche mit dem Druckbild als Zielvariable korreliert werden. Der Grundaufbau des Ergebnisplots ist in Abbildung 4.5 dargestellt. Dieser Plot wurde über die Jahre immer wieder adaptiert und unterscheidet sich bereits deutlich von der Urform von HIRN AND LECHTHALER [2006], welche von LECHTHALER [2007] im Zuge seiner Dissertation ausführlich im Bezug auf die dazu verwendete Mathematik erklärt wurde. Um den Ergebnisplot verständlich und lesbar zu machen, wird dieser hier nochmals detailliert besprochen.

Type	Erklärung
R^2_{alle}	Gesamtes R^2 des Modells, welches durch alle Prädiktoren beschrieben wird. Signalisiert wird dies durch die rote Linie.
$R^2_{alleine}$	Erklärkraftanteil, wenn der Prädiktor das Modell alleine erklärt.
$R^2_{exklusiv}$	Anteil des R^2 , den <i>nur dieser</i> Prädiktor exklusiv erklärt, wenn auch alle anderen Prädiktoren im Modell enthalten sind.
$R^2_{redundant}$	Anteil des R^2 , der auch durch die anderen Prädiktoren erklärt werden kann.

Tabelle 4.3 Beschreibung der Variablen des Ergebnisplot der lokalen Modellierung aus Abbildung 4.5.

Zum besseren Verständnis sind auf der x-Achse nur die beiden erklärenden Variablen Formation und Papierweiße aus Kapitel 4.2.1 „Methodik der lokalen Modellierung“ aufgetragen, in der Folge werden auch deutlich mehr Prädiktoren verwendet. Als Zielvariable wird das Druckbild herangezogen. Die y-Achse gibt den Wert des Erklärkraftanteiles R^2 an. Die unterschiedlichen Typen betreffend des R^2 sind in Tabelle 4.5 angeführt:

Folgend wird der Ergebnisplot hinsichtlich der beiden erklärenden Prädiktoren Formation (R^2_F) und Papierweiße (R^2_P) betrachtet. Der alleinige Erklärkraftanteil der Formation $R^2_{F\text{ alleine}} = 0,12$ lässt sich in einen redundanten Anteil ($R^2_{F\text{ redundant}} = 0,08$) und einen exklusiven Anteil ($R^2_{F\text{ exklusiv}} = 0,04$) aufspalten. Das gleiche gilt auch für die Papierweiße, hier kann der alleinige Erklärkraftanteil $R^2_{P\text{ alleine}} = 0,13$ ebenfalls in einen redundanten Anteil ($R^2_{P\text{ redundant}} = 0,08$) und einen exklusiven Anteil ($R^2_{P\text{ exklusiv}} = 0,05$) zerlegt werden.

Betrachtet man nun die Prädiktoren im hier gezeigten Fall mit genau 2 erklärenden Variablen, so lässt sich erkennen, dass der fehlende Anteil der Formation von $R^2_{F\text{ alleine}}$ auf R^2_{alle} durch den exklusiven Anteil der Papierweiße $R^2_{P\text{ exklusiv}}$ eingebracht wird. Auch hier gilt wieder das gleiche für die Papierweiße. Der fehlende Anteil von $R^2_{P\text{ alleine}}$ auf R^2_{alle} wird durch den exklusiven Anteil der Formation $R^2_{F\text{ exklusiv}}$ eingebracht. Demnach ergibt sich das R^2_{alle} immer aus der Summe des alleinigen Anteils einer Variable und dem exklusiven Anteil der anderen Variable, aus denen das Modell gebildet wird.

Die redundanten Anteile der Formation $R^2_{F\text{ redundant}}$ und der Papierweiße $R^2_{P\text{ redundant}}$ können jeweils auch durch die andere Variable erklärt werden, wodurch dieser Erklärkraftanteil nicht nur dieser einen Variable zugeschrieben werden kann.

Werden die Prädiktoren nun hinsichtlich der Erklärkraft bezogen auf die Zielva-

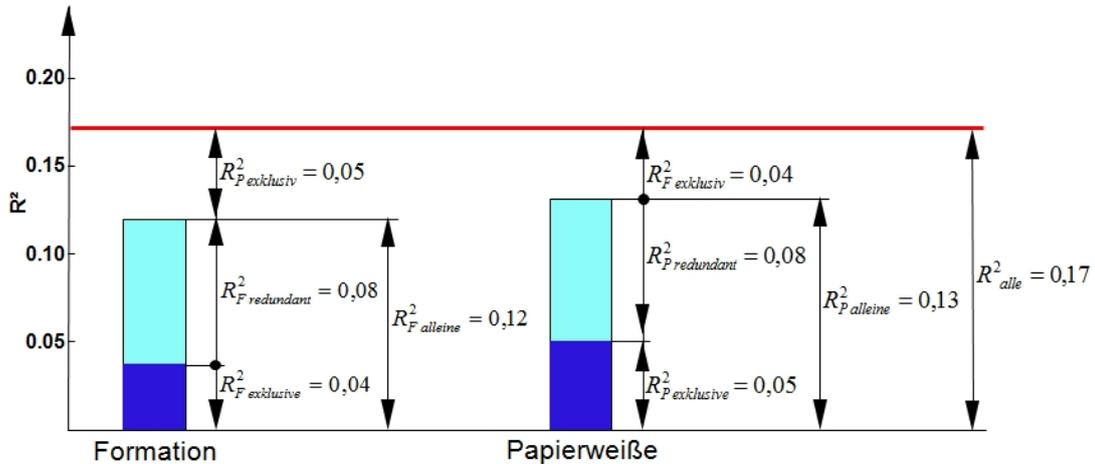


Abbildung 4.5 Darstellung des Ergebnisplots der lokalen Modellierung anhand der zwei erklärenden Variablen Formation und Papierweiße aus dem oben gezeigten Beispiel. Die darin enthaltenen Typen des R^2 sind in Tabelle 4.3 erklärt.

riable beobachtet, so lässt sich erkennen, dass der alleinige Erklärungsteil der Formation ($R_{F\text{ alleine}}^2$) höher ist als der der Papierweiße ($R_{P\text{ alleine}}^2$). Das bedeutet, dass die Formation mehr an der Variation des Druckbildes erklären kann als die Papierweiße. Beschreiben beide Prädiktoren das Modell gleichzeitig, lässt sich erkennen, dass der exklusive Anteil der Formation ($R_{F\text{ exklusiv}}^2$) ebenfalls höher ist als der der Papierweiße ($R_{P\text{ exklusiv}}^2$).

Abschließend kann gesagt werden, dass die Eigenschaft Papierweiße einen etwas höheren Anteil an der gesamten Erklärungskraft $R_{\text{alle}}^2 = 0,17$ (rote Linie im Plot) beiträgt.

Anhand dieses Ergebnisplots lässt sich relativ einfach erkennen, welche Prädiktoren oder Papiereigenschaften einen höheren (Papierweiße) oder auch geringeren Einfluss (Formation) auf das Druckbild haben. Weiters zeigt sich anhand der exklusiven Erklärungsteile, wie hoch die Relevanz dieser Papiereigenschaft gegenüber den anderen Papiereigenschaften in Bezug auf die Zielvariable ist.

4.2.3 Arbeitsablauf bei Analyse von Web Offset-, Labor- und Bogenoffset-Druck

Die Vorgehensweise im Messablauf ist davon abhängig, ob es sich um einen Heatset Web Offset- oder Labor- und Bogenoffsetdruck handelt. Die Unterschiede werden im Folgenden hier erklärt. Weiters soll erwähnt werden, dass die Art der Markierung zwischen den Drucken ebenso unterschiedlich ist. Am Heatset Web Offset Druck wurde die Markierung mit einem Klebebandfenster durchgeführt (Abbildung 4.6 (a)), die Probensätze für den Labordruck und Bogenoffsetdruck wurden mit einer Lasermarkierung versehen (Abbildung 4.6 (b)). Von der Lasermarkierung wurde erwartet, dass zum einen die Registrierung schneller und einfacher durchgeführt werden kann und

dass auch die Exaktheit des Musters gegenüber dem Klebeband deutlich gesteigert wird.

Heatset Web Offset Druck

Im Heatset Web Offset Druck hat man nicht die Möglichkeit die Eigenschaften des unbedruckten Papiers vor dem Druck zu messen, da in unserem Fall auf einer konventionellen Heatset Web Offset Presse von der Rolle gedruckt wurde. So beginnt die Auswertung mit der Messung des Druckbildes (Kapitel 5.4). Anschließend wird die Farbe mittels eines abgeänderten Wischtests (Kapitel 5.5), welcher von ENZI ET AL. [2004] entwickelt wurde, vom Papier entfernt und so auf den „unbedruckten“ Zustand zurückgeführt. Diese Art der Farbentfernung hat keinen Einfluss auf die zu messenden Papiereigenschaften gegenüber der Messung am tatsächlich unbedruckten Papier, wie in Kapitel 5.5.2 gezeigt und bestätigt wird. Nach der Farbentfernung werden anschließend folgende Papiereigenschaften gemessen:

- Formation (Kapitel 5.1)
- Druckfarbenpenetration (Kapitel 5.5)
- Glanz und Brechungsindex (Kapitel 5.2)
- Topografie (Kapitel 5.3)

Aus diesen hier angeführten Messungen wird anschließend der Datensatz für die Auswertung mittels der lokalen Modellierung generiert.

Labor- und Bogenoffsetdruck

Im Labordruck (Kapitel 2.2), ist es möglich, die Papiereigenschaften des unbedruckten Papiers vor dem Druck zu messen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Variation der Weiße als weitere Papiereigenschaft zu den erklärenden Variablen hinzuzufügen. Bei den gestrichenen Papieren wird weiters auch noch das Bild eines Durchlicht-Scans als Prädiktor aufgenommen.

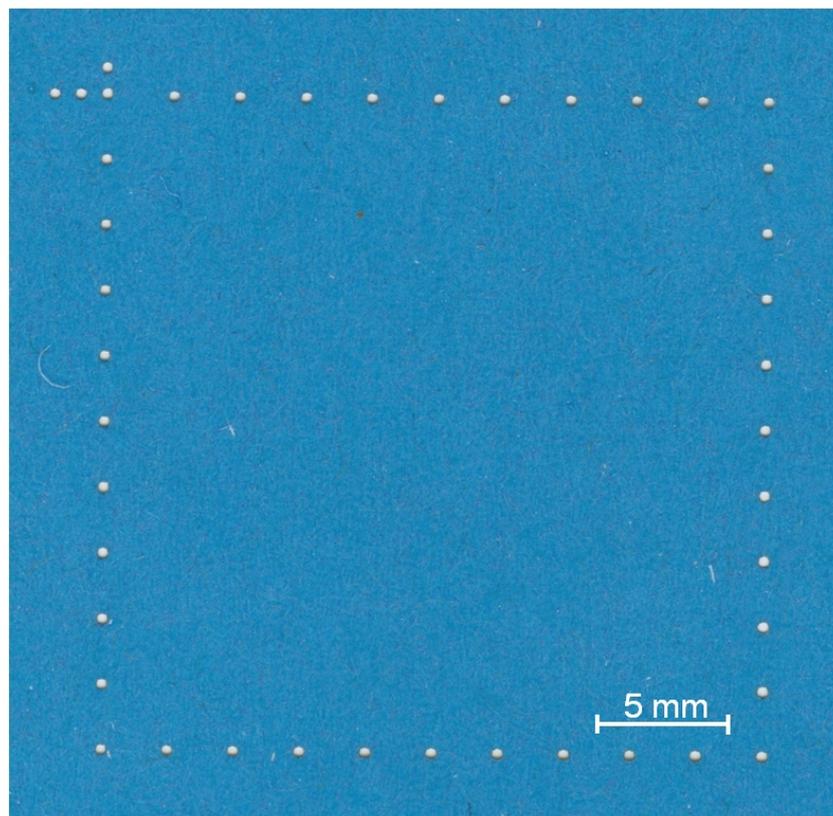
Auch der Bogenoffsetdruck wurde so angelegt, dass die Papiereigenschaften im unbedruckten Zustand messbar waren. Dabei war wichtig, dass das Drucksujet so klein wie möglich war, sodass alle Messungen auch an dieser Papiergröße durchgeführt werden können. Letztendlich wurde ein Drucksujet in A4-Größe gewählt und die Messungen der Papiereigenschaften stellten keine Problem dar.

Zur Erklärung des Druckbildes werden also folgende Variablen gemessen:

- Formation
- Druckfarbenpenetration (nur ungestrichene Papiere)



(a) Klebebandmarkierung



(b) Lasermarkierung

Abbildung 4.6 Abbildung (a) zeigt die Markierung der Papierprobe mittels Klebeband, Abbildung (b) stellt die neue Markierungs-Technik mittels Laser dar.

- Glanz und Brechungsindex
- Topografie
- *Variation der Weiße*
- *Durchlicht-Scan (nur gestrichene Papiere im Labordruck)*

Sind die Messungen am unbedruckten Papier abgeschlossen, erfolgt der Labor- oder Bogenoffsetdruck. Danach wird wieder das Druckbild mit dem Scanner erfasst. Gleich wie beim Heatset Web Offset Druck wird dann aus den durchgeführten Messungen der Datensatz für die lokale Modellierung erstellt.

Ortsaufgelöste Messungen von lokalen Papiereigenschaften

In diesem Kapitel werden die verschiedenen ortsaufgelösten Messprinzipien der zu messenden Papiereigenschaften erklärt, welche in Kapitel 3.3.3 als hauptverantwortliche Einflussfaktoren für Mottling im Offsetdruck genannt werden. Dazu zählen Formation, Druckfarbenpenetration, Brechungsindex, Glanz und Topografie.

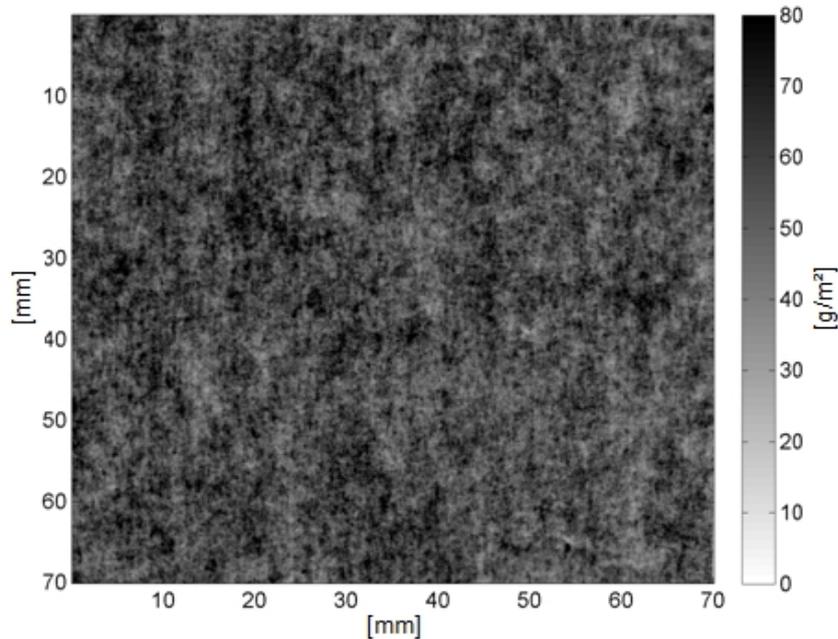


Abbildung 5.1 Ergebnisbild der Formationsmessung mit dem Beta Radiografen. Dunkle Stellen zeigen hohe Masse, helle Stellen hingegen weisen auf geringere Masse hin [HIRN ET AL., 2009A].

5.1 β -Radiografie - Formationsmessung

Die Rolle der Formation in Bezug auf die Druckqualität im Offsetdruck wurde bereits in Kapitel 3.3.3 ausführlich behandelt. Demnach spielt die Formation eine gewichtige Rolle in Bezug auf das Mottling. Die Formation wird im Zuge dieser Arbeit mit einem flächigen FUJIFILM BETA-STRAHLER-SYSTEM von ¹ gemessen, die Bildgewinnung erfolgt mit einem FUJIFILM BAS-1800II IMAGING PLATE SCANNER bei einer Auflösung von 50 μm pro Pixel.

Die Probe wird in der Strahlenkammer so angeordnet, dass sie zwischen dem Strahler und dem Detektor positioniert ist. Durch die Masse des Papiers wird die Elektronenstrahlung abgeschwächt und der Detektor empfängt je nach lokaler Masse eine mehr oder weniger abgeschwächte Strahlung. Nach der Bildgewinnung werden aus der Messung Grauwert-Bilder erzeugt, bei denen Flächen mit hoher Masse dunkel und jene mit geringerer Masse hell dargestellt werden. Eine detaillierte Beschreibung zur Formationsmessung mittels β -Strahlen geben KELLER AND PAWLAK [2001], weitere Arbeiten zur Verwendung der β -Radiografie im Vergleich mit anderen Formationsmesstechniken wurden von PAWLAK AND KELLER [2001], AVIKAINEN AND ERKKILÄ [2003] und KELLER ET AL. [2004] veröffentlicht. Eine beispielhafte Darstellung des Ergebnis einer Formationsmessung an einem SC-A Papier zeigt Abbildung 5.1.

¹Fujifilm Holdings Corporation, Tokio (Japan). www.fujifilm.com

5.2 Oberflächeneigenschaften - Surfoptic

Das SURFOPTIC IMAGING REFLECTOMETER Messgerät ² ist ein optisches Messverfahren, welches zur Bestimmung von Glanz, Brechungsindex und Oberflächenrauigkeit verwendet wird. Der Geräteaufbau und die Methode wird ausführlich in den Arbeiten von ELTON [2007], ELTON AND PRESTON [2006A] und ELTON AND DAY [2009] beschrieben. Der große Vorteil besteht darin, dass diese drei Papiereigenschaften in nur einem Arbeitsgang gemessen werden können. Mit dem Messgerät können sowohl statistisch Mittelwerte für eine bestimmte Anzahl an Messpunkten ausgegeben werden, es gibt jedoch auch die Möglichkeit, die Messungen lokal orts aufgelöst mit Hilfe von 2-dimensionalen Landkarten auszuwerten. In der hier gezeigten Arbeit wird ausschließlich die 2-dimensionale Landkarte als Messergebnis verwendet. Die Messung erfolgt dabei in einer Auflösung von 200 μm pro Pixel.

Wie die nachfolgende Evaluierung in Kapitel 5.2.2 zeigen wird, erzielt das Messgerät vor allem bei gestrichenen und glatten Papieren die besten Ergebnisse. Wohl aus diesem Grund gibt es zu diesem Messgerät hauptsächlich nur Literatur, in welcher gestrichene Papiere behandelt werden. So zeigen etwa ELTON ET AL. [2005], ELTON AND PRESTON [2006B] und PRESTON ET AL. [2008] unter Verwendung des Surfoptic-Messgerätes den Einfluss der Strichoberfläche auf das Mottling im Druckbild. Sie bedienen sich dabei der Messung des Brechungsindex, mit welchem es möglich ist, eine Maßzahl für die räumliche Variationen in der Oberflächenporosität und der Farbverteilung nach dem Druck zu erfassen. Sie kommen zu dem Schluss, dass für einen hochwertigen Druck die Variation der Strichporosität so gering wie möglich sein soll. Diese Papiereigenschaft erscheint demnach als erklärende Variable für die lokale Modellierung der Farbübertragung als sehr vielversprechend und ist im Messprogramm bereits berücksichtigt (Kapitel 4.2.3).

Ein Modell für den Glanz von gestrichenen Papieren basierend auf Rauigkeitsmessungen zeigt ELTON [2008]. Unterschieden wird dabei in zwei Rauigkeitsklassen, welche beide mit dem Surfoptic-Messgerät erfasst werden können. Demnach beeinflusst vor allem die Verteilung der Oberflächenneigungen und deren Anisotropie die Ausbildung des Glanzes.

5.2.1 Funktionsweise und Messprinzip

Zum besseren Verständnis soll die Funktionsweise und das Messprinzip des Surfoptic-Messgerätes zusätzlich zu der in Kapitel 5.2 zusammengefassten Literatur nochmals erklärt werden. Eine schematische Darstellung der Funktionsweise zeigt Abbildung 5.2. Dabei werden zwei Laser mit unterschiedlichen Wellenlängen von 635 und 670 μm so angeordnet, dass sie einen parallelen Lichtstrahl mit einem Durchmesser von 1 mm erzeugen. Weiters erzeugen optische Linsen und ein Kol-

²Dayta Systems Ltd, Bristol (Großbritannien). www.surfoptic.com

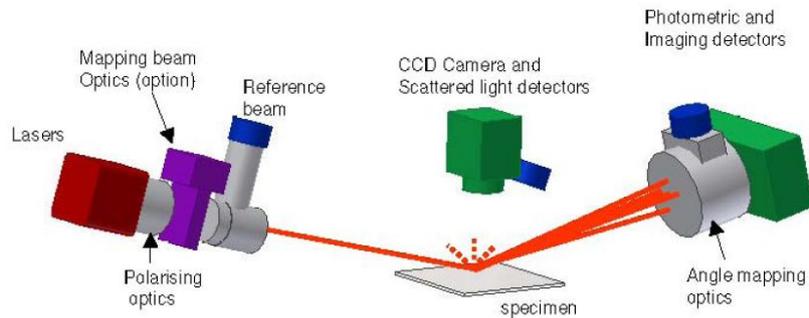


Abbildung 5.2 Schematische Darstellung der wichtigsten Komponenten und der Funktionsweise des Surfoptic-Messgerätes [ELTON, 2007].

limator (Gerät zur Erzeugung eines parallelen Strahlenverlaufes) einen Lichtstrahl. Dieser wird durch einen doppelbrechenden Kristall polarisiert und trifft in einem Winkel von 75 Grad auf die Papieroberfläche. Der Strahl berührt die Oberfläche und wird durch diese je nach Oberflächenbeschaffenheit mehr oder weniger gestreut und reflektiert. Diese reflektierten Strahlen werden durch eine optische Linse mit einem Durchmesser von 25 mm aufgefangen, anschließend gebündelt und von einem CMOS-Sensor und Photodioden aufgefangen. Zur Messung der Intensität der Streuung befindet sich über dem Messpunkt eine CCD-Kamera, welche einen Akzeptanzwinkel von 20 Grad aufweist [ELTON, 2007]. Durch das hier beschriebene Verfahren lassen sich anschließend drei Papiereigenschaften berechnen, die folgend erklärt werden sollen.

Glanz

Die Glanzmessung mit dem Surfoptic-Messgerät gleicht der Methode nach Tappi in dem Punkt, dass ebenfalls unter einem Einfallswinkel von 75 Grad gemessen wird (Tappi Norm T480 om-09). Im Falle des Surfoptic trifft ein Laserstrahl unter einem Winkel von 75 Grad auf die zu messende Papieroberfläche und wird je nach der vorhandenen Oberflächenbeschaffenheit mehr oder weniger gestreut oder aber auch reflektiert. Ein gegenüberliegender Photosensor mit einem definierten Akzeptanzwinkel fängt das reflektierte Licht auf und anhand dieser Intensität wird der Glanz bestimmt. Folglich ist der Glanz abhängig von der Oberfläche der Papierprobe und ist ein Maß für die Reflexion unter geringem Auftreffwinkel. Daraus folgend ergibt eine geringe Streuung einen hohen Glanz und entgegengesetzt dazu eine hohe Streuung einen geringen Glanz. Abhängig vom Akzeptanzwinkel der Photodiode werden insgesamt vier unterschiedliche Glanzwerte vom Gerät berechnet. Im Fall dieser Dissertation werden ausschließlich Glanzwerte unter einem Akzeptanzwinkel von nominal 2 Grad verwendet.

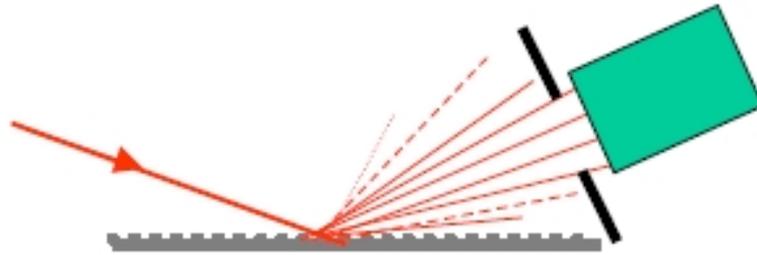


Abbildung 5.3 Prinzip der Glanzmessung des Surfoptic-Messgerätes. Der auf das Papier auftreffende Laserstrahl wird reflektiert und von einem gegenüberliegenden Photosensor erfasst und ausgewertet [ELTON, 2007].

Material	Brechungsindex
Vakuum	exakt 1
Luft	≈ 1
Wasser	1,33
Zellulose	1,53
Kaolin	1,57
Kalziumkarbonat	1,61
Titandioxid	2,6

Tabelle 5.1 Brechzahlen für wichtige Materialien der Papierherstellung. [PAULER, 1998]

Effektiver Brechungsindex (Materialkonstante)

Der Brechungsindex ist abhängig von der Oberfläche und der Zusammensetzung der Papierprobe und ist eine optische Materialeigenschaft. Sie gibt an, um welchen Faktor die Wellenlänge und die Phasengeschwindigkeit des Lichtes kleiner sind als im Vakuum. Beispielhaft sind dazu in Tabelle 5.1 einige für die Papierherstellung wichtige Brechzahlen angegeben. Es ist zu beachten, dass der *effektive* Brechungsindex eine Mischung aus dem Brechungsindex der Materialien und dem darin enthaltenen Leervolumen (Luft) ist. Verringert sich beispielsweise das Leervolumen einer Papierprobe durch eine Satinage, so verändert sich auch der effektive Brechungsindex. Eine offene poröse Schicht ergibt einen kleinen Brechungsindex, umgekehrt ergibt eine geschlossene weniger poröse Schicht einen hohen Brechungsindex. Es wird also deutlich, dass mit Hilfe des gemessenen effektiven Brechungsindex Rückschlüsse auf die Papier- oder Strichoberfläche und die dazugehörige Porenstruktur getätigt werden können. Im Falle des Surfoptic-Messgerätes wird der Brechungsindex mit Hilfe der Intensität des reflektierten Lichtstrahls aus den Fresnel-Gleichungen berechnet.

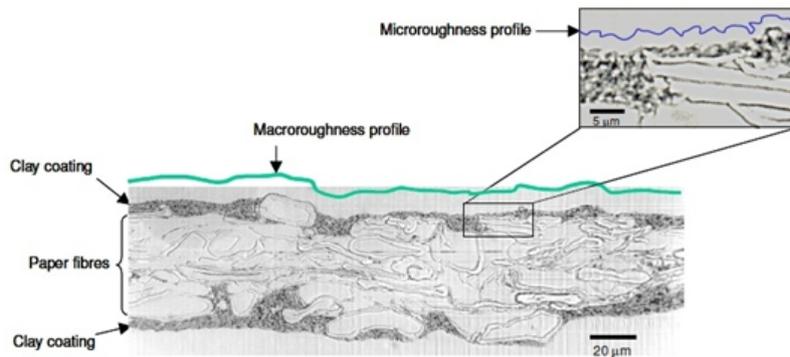


Abbildung 5.4 Unterscheidung zwischen Mikro- (blaues Profil) und Makro-Rauigkeit (grünes Profil). Die Makrorauigkeit erfasst die Kontur des Rohpapiers, die Mikro- Rauigkeit kann feinste Unebenheiten in der Oberfläche des Papiers oder der Strichschicht erkennen [ELTON, 2007].

Surfopic-Rauigkeit

Diese Papiereigenschaften werden durch die Oberflächenrauigkeit und die Topografie der Papierprobe bestimmt und sind ein Maß für die Reflexion, welche von der Wellenlänge, dem Einfallswinkel und der Oberflächenrauigkeit abhängig sind. Gemessen wird die Rauigkeit über den Winkel der Lichtreflexion, wobei eine steiler Winkel eine starke Rauigkeit und eine flacher Winkel eine geringe Rauigkeit hervor bringt. Das Messgerät teilt die Rauigkeit in folgende zwei Klassen ein: Mikro- und Makrorauigkeit.

- **Mikrorauigkeit**
Dieser Parameter erfasst Unebenheiten, deren Größenordnung gleich oder kleiner der Wellenlänge des einfallenden Lichtes sind und wird auch optische Rauigkeit genannt. In Abbildung 5.4 ist dies durch das blaue Rauigkeitsprofil dargestellt. Damit werden zum Beispiel feinste Unebenheiten in der Oberfläche der Strichschicht erfasst.
- **Makrorauigkeit**
Diese Papiereigenschaft erfasst Unebenheiten, die größer sind als die Wellenlänge des einfallenden Lichtes. In Abbildung 5.4 ist dies durch das grüne Rauigkeitsprofil dargestellt. Damit können Unebenheiten wie die Kontur des Rohpapiers erfasst werden.

5.2.2 Evaluierung

Die mit dem Surfopic Imaging Reflectometer gemessenen Oberflächenparameter werden bei der lokalen Modellierung der Farbübertragung (Kapitel 4.2) als erklärende Variablen verwendet. Da jedoch die gemessenen Papiereigenschaften nicht im-

mer einwandfrei interpretierbar sind, wurde eine Evaluierung des Messgerätes von STULTSCHNIK [2010] im Zuge seiner Bachelor-Arbeit durchgeführt. Dabei wurden sowohl die Reproduzierbarkeit als auch auf die Wiederholbarkeit der Messungen evaluiert und ausgewertet. Insgesamt wurden vier verschiedene Papiersorten mit insgesamt 7 unterschiedlichen Papieren vermessen: ein Kopierpapier und von den Sorten SC-A, LWC und WFC jeweils ein unsatiniertes und ein satiniertes Papier aus einer Erzeugung. Die Messung erfolgt auf einer mittels Laser markierten Fläche von $3 \times 3 \text{ cm}$ und als Vorschub wurde eine Schrittgröße von $0,2 \text{ mm}$ gewählt. Als Standard-Messrichtung wurde quer zur Maschinenrichtung festgelegt, ausgewählte Messungen wurden auch in Maschinenrichtung durchgeführt. Das Messprogramm wurde hinsichtlich der Reproduzierbarkeit und der Wiederholbarkeit der Ergebnisse unterteilt:

- Ein Satinage-Versuch umfasste die Entwicklung der optischen Eigenschaften durch Satinage, wobei unsatinierte Papiere gemessen und anschließend mit einem Laborkalender in zwei Stufen geglättet wurden. Die Ergebnisse der beiden Messungen wurden anschließend verglichen. Da die Effekte der Kalandrierung bekannt sind, ist eine Kontrolle der Messergebnisse unproblematisch.
- Die optischen Unterschiede zwischen kalandrierten und unkalandrierten Papieren aus einer Erzeugung wurden gemessen und miteinander verglichen.
- Zur Beurteilung der Wiederholbarkeit wurde ein und die selbe Stelle von satinierten Papieren mehrmals gemessen und miteinander korreliert. Weiters wurde die Messrichtung des einfallenden Laserstrahles von Quer zur Maschinenrichtung auf Maschinenrichtung verändert, um zu kontrollieren, ob die gemessenen Papiereigenschaften sich aufgrund der Messrichtung ändern.

Ergebnisse der Evaluierung

Folgend sollen die Ergebnisse aus den durchgeführten Versuchen gezeigt werden. Die erhaltenen Messungen wurden mittels der Lasermarkierungen aufeinander registriert und gleichzeitig von den fehlerhaften Messpunkten bereinigt. Aus diesen Datensätzen wurden anschließend Scatterplots erstellt und das Bestimmtheitsmaß R^2 errechnet. An dieser Stelle solle erwähnt werden, dass frühere Untersuchungen während der Entwicklung des Registrierungstools ergeben haben, dass ein möglicher Registrierungsfehler das Bestimmtheitsmaß um etwa 5% verringern kann. Eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse soll anhand des LWC Papiers und des Messparameters *Glanz* erfolgen, da für dieses Papier das umfangreichste Messprogramm durchgeführt wurde. Die weiteren Parameter Brechungsindex, Makro- und Mikrorauigkeit werden in komprimierter Form dargestellt und zusammengefasst.

Glanz Die Scatterplots der Wiederholbarkeitsversuche sind in Abbildung 5.5 dargestellt. Dabei zeigen die Abbildungen 5.5 (a) und (b) die Korrelationen von jeweils

2 völlig unabhängigen Messungen der gleichen Fläche. Bei beiden Scatterplots wird jeweils ein R^2 von über 0,85 erreicht, was einen guten linearen Zusammenhang widerspiegelt. Die dazugehörige Regressionsgerade ist in rot in den Plot eingezeichnet. Zum Vergleich ist die Regressionsgerade für $R^2 = 1$ in schwarz eingetragen, und es ist erkennbar, dass sich die Lage der Geraden nur leicht unterscheiden. Demnach ist der Zusammenhang der unterschiedlichen Messungen sehr hoch und es kann eine gute Wiederholbarkeit der Glanzmessung an einem LWC Papier angegeben werden.

In den Abbildungen 5.5 (c) und (d) soll nun der Zusammenhang zwischen den gemessenen Proben in CD und MD gezeigt werden. In (c) ist auf der y-Achse die Messung des unsatinierten Papiers in MD-Richtung gegen die Messung in CD-Richtung auf der x-Achse dargestellt. Es zeigt sich, dass die Messwerte in MD-Richtung ein etwas höheres Niveau haben, als die Messwerte in CD-Richtung, was jedoch bekannt und plausibel ist. Die Regressionsgerade ist dabei leicht parallel nach links verschoben, das R^2 erreicht einen Wert von 0,71. Bei der satinierten Probe unter (d) ist der gleiche Effekt erkennbar, die Regressionsgerade verschiebt sich allerdings etwas weiter parallel nach links, das Bestimmtheitsmaß verringert sich auf 0,54. Der Zusammenhang scheint auf den ersten Blick nicht allzu hoch zu sein. Aufgrund der Tatsache, dass sich jedoch durch die Orientierung des Papiers auch die Orientierung der Oberfläche, der Fasern und der Füllstoffe ändert, kann die Korrelation als ausreichend betrachtet werden.

In Abbildung 5.6 sind nun die Ergebnisse des Satinageversuches dargestellt. Dazu sind im Bild (a) auf der x-Achse die Werte der Glanzmessung des Papiers LWC1 und auf der y-Achse die Messwerte des selben Papiers nach der Laborkalandrierung aufgetragen. Sind die Glanzwerte im unsatinierten Zustand noch im Bereich zwischen 0 und 5, steigen diese nach der Kalandrierung auf Werte zwischen 12 und 40. Das Messgerät erkennt also einen deutlichen Effekt der Kalandrierung, jedoch erhöht die Satinage den Glanz nicht linear. Die Regressionsgerade ist rot durch die Punktwolke gekennzeichnet und das Bestimmtheitsmaß ist mit einem Wert für R^2 von 0,40 nicht sehr hoch. Dieser geringe Wert von R^2 dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Satinage inhomogen auf das Papier einwirkt.

Unter (b) ist nun auf der y-Achse die zweimalig kalandrierte Probe gegen die einmalig kalandrierte Probe auf der x-Achse aufgetragen. Die Regressionsgerade ist dabei parallel zur 45 Grad Linie nach links verschoben und zeigt, dass sich die Glanzwerte nach der zweiten Kalandrierstufe konstant und homogen erhöht haben. Das Bestimmtheitsmaß erreicht einen Wert von 0,78. Diese beiden Plots zeigen einen sehr deutlichen Effekt der Kalandrierung anhand der Glanzmessung am LWC Papier.

Zusammenfassung - Glanz Die Wiederholbarkeit zwischen drei untersuchten Messungen liegt in etwa bei 85%. Im Vergleich der beiden Strahlrichtungen CD zu MD korreliert das unsatinierte Papier zu 70% und das satinierte zu 55%. Generell sind die Messwerte in MD etwas höher, was aus der Praxis bekannt ist.

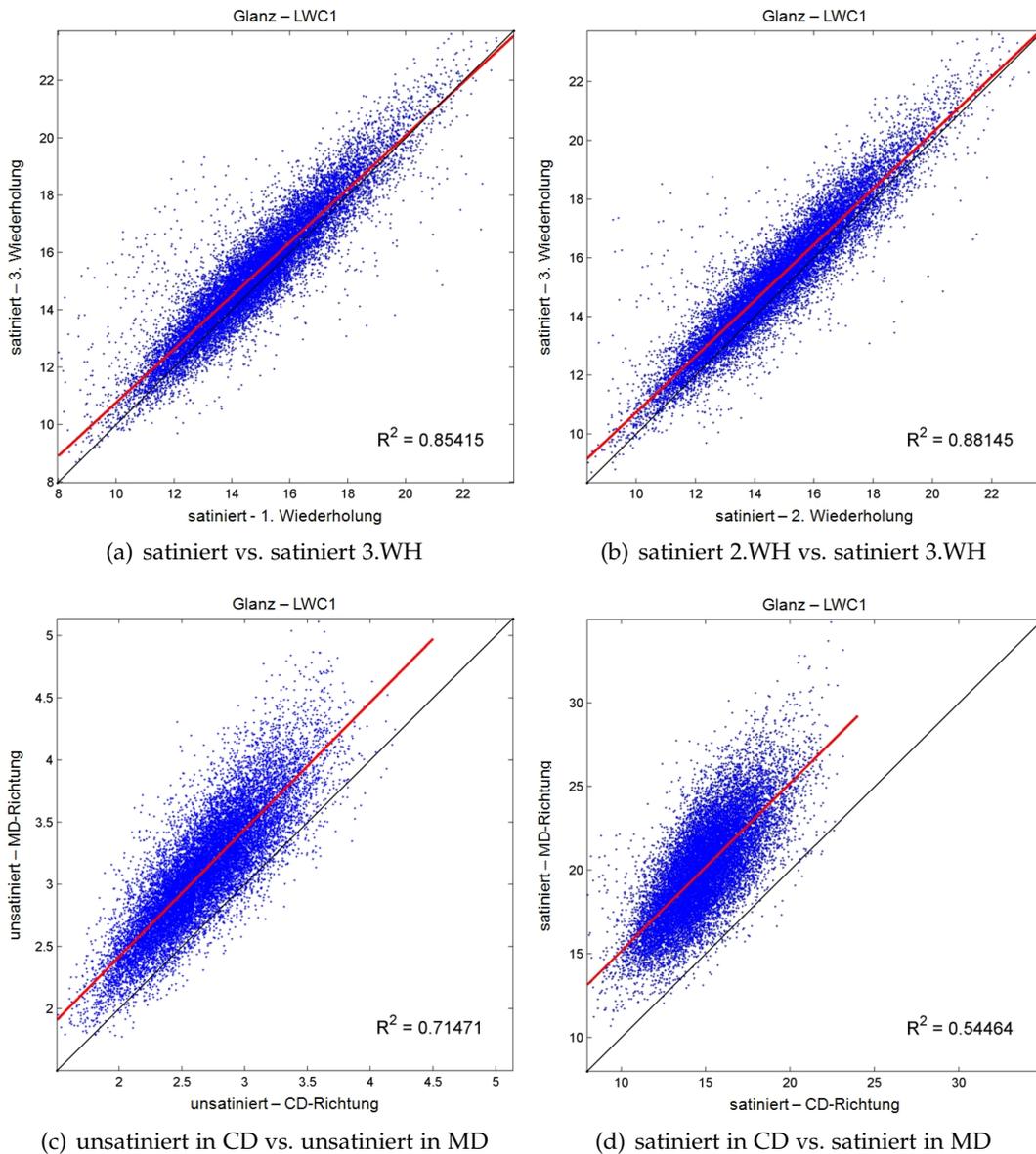


Abbildung 5.5 Wiederholbarkeit der Messung des Glanzes am LWC-Papier. Unter (a) und (b) sind die Mehrfach-Messungen erfasst, die Grafiken unter (c) und (d) zeigen die Messungen von ein und dem selben Papier in CD- und MD-Richtung. Die optimale Regressionsgerade mit Wert 1 ist in schwarz, die tatsächliche Regressionsgerade der Punktwolke in rot eingezeichnet. Je mehr sich der Wert des R^2 an 1 annähert, desto linearer ist der Zusammenhang der zu vergleichenden Messungen.

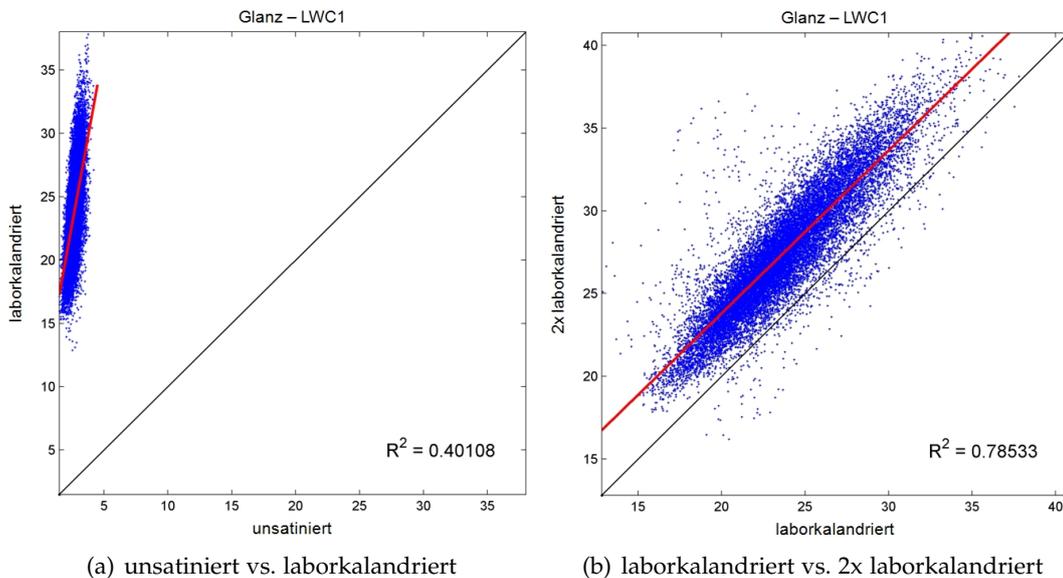


Abbildung 5.6 Ergebnisse des Satinageversuches anhand des Glanzes im unsatinierten und satinierten Zustand am LWC-Papier. Abbildung (a) zeigt den eher nicht linearen Anstieg des Glanzes nach einmaligem Kalandrieren, Bild (b) zeigt den Anstieg der Werte nach einer weiteren Kalandrierung. Die Messwerte steigen dabei linear um einen gewissen Wert an, wodurch sich die Regressionsgerade parallel zur Idealen nach links verschiebt.

Beim Satinageversuch liegt die Korrelation zwischen einem unsatinierten und einem laborcalandrierten Muster bei etwa 40%. Die Satinage verändert die Oberfläche des unsatinierten Papiers demnach sehr deutlich. Aufgrund der geringen Korrelation kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Erhöhung des Glanzes nicht linear von sich geht. Damit ist gemeint, dass verhältnismäßig unkalandrierte Bereiche mit wenig Glanz nach dem Kalandrieren nicht ebenfalls weniger Glanz aufweisen müssen als Bereiche, die im unkalandrierten Zustand schon höheren Glanz hatten.

Der Vergleich zwischen zwei Satinagestufen fällt mit einem Wert von 70% für das R^2 plausibel aus. Hier zeigt die annähernd parallel verschobene Regressionsgerade der Punktwolke bezogen auf die idealen Regressionsgeraden, dass hier sehr wohl eine lineare Erhöhung des Glanzes bewirkt wird. Bereiche mit niedrigem Glanz weisen auch nach der weiteren Kalandrierung geringen Glanz gegenüber den Stellen am Papier auf, welche schon nach der ersten Satinagestufe einen höheren Glanz hatten, und auch nach der zweiten Satinage noch haben.

Zusammenfassung Brechungsindex Die Auswertung des Messparameters Brechungsindex ist in Abbildung 5.7 (Wiederholbarkeit) und 5.8 (Satinageversuch) dargestellt. An dieser Stelle sollen jedoch nur mehr die zusammengefassten Beobachtungen erläutert werden.

Die Wiederholbarkeit zwischen mehreren Aufnahmen liegt abermals um die 85% und deckt sich somit sehr gut mit der Wiederholbarkeit des Glanzes. Die Korrelation zwischen den Messungen in CD und MD sind etwas unterschiedlicher. Bei den unsatinierten Papierproben wird ein R^2 von 45% erreicht. Die errechnete Regressionsgerade kreuzt dabei die ideale Regressionsgerade mittig, wodurch nicht erkennbar ist, ob die Werte in MD konstant höher oder niedriger ausfallen. Generell sollte hier jedoch bedacht werden, dass der Brechungsindex als Materialkonstante sowohl in CD als auch in MD gleichermaßen erfasst werden sollte. Dies ist hier jedoch nicht der Fall, wodurch die Richtigkeit der Messung des Brechungsindex mit dem Surfoptic in Frage gestellt werden könnte. Das gleiche Phänomen tritt auch bei der Messung der satinieren Proben auf. Die Werte fallen in MD konstant höher aus gegenüber der Messung in CD, die Regressionsgerade verschiebt sich dadurch etwas nach links.

Ein Zusammenhang im Zuge des Satinageversuches zwischen einer unsatinierten und einer laborkalandrierten Probe kann durch das Messgerät nicht festgestellt werden. Der Plot stellt nur eine sehr enge Punktwolke dar, das R^2 liegt bei 0,15. Eine Korrelation zwischen zwei Satinagestufen ist auch beim Brechungsindex deutliche erkennbar. So wird ein Wert von 0,67 für das R^2 errechnet, die Regressionsgerade schiebt sich deutlich nach links. Dies bedeutet deutlich höhere Werte für den Brechungsindex nach zweimaligem Kalandrieren, was aufgrund der Dichtezunahme durch die Satinage erklärt werden kann.

Zusammenfassung Makrorauigkeit Die Ergebnisplots der Makrorauigkeit sind in Abbildung 5.9 (Wiederholbarkeit) und 5.10 (Satinageversuch) dargestellt.

Die Wiederholbarkeit zwischen mehreren Messungen liegt bei einem Wert um 83%, und befindet sich somit auf dem Niveau der beiden vorher behandelten Messparameter Glanz und Brechungsindex. Die Korrelation zwischen den Messungen in CD und MD sind sowohl beim unsatinierten als auch beim satinieren Papier nicht vorhanden. Erschwerend hinzu kommt hier die Tatsache, dass die Messung der Makrorauigkeit im unsatinierten Zustand eine sehr hohe Anzahl an Messfehlern hervorbringt, wodurch nur mehr wenige Messpunkte in die Auswertung einfließen. Demnach funktioniert die Messung der Makrorauigkeit auf rauen unkalandrierten Papierproben nicht.

Der Satinageversuch zeigt keinen Zusammenhang zwischen einem unsatinierten und einem laborkalandrierten Papier. Hier tritt wieder der Effekt der Fehlmessungen am unkalandrierten Papier in Erscheinung. Die Korrelation zwischen den Satinagestufen liegt in etwa bei 74% und befindet sich ebenfalls auf dem Niveau der Messungen Glanz und Brechungsindex. Die zweite Satinagestufe verglichen zur ersten gibt an, dass sich die Makrorauigkeit etwas verringert, was durch eine nochmalige Glättung plausibel erscheint.

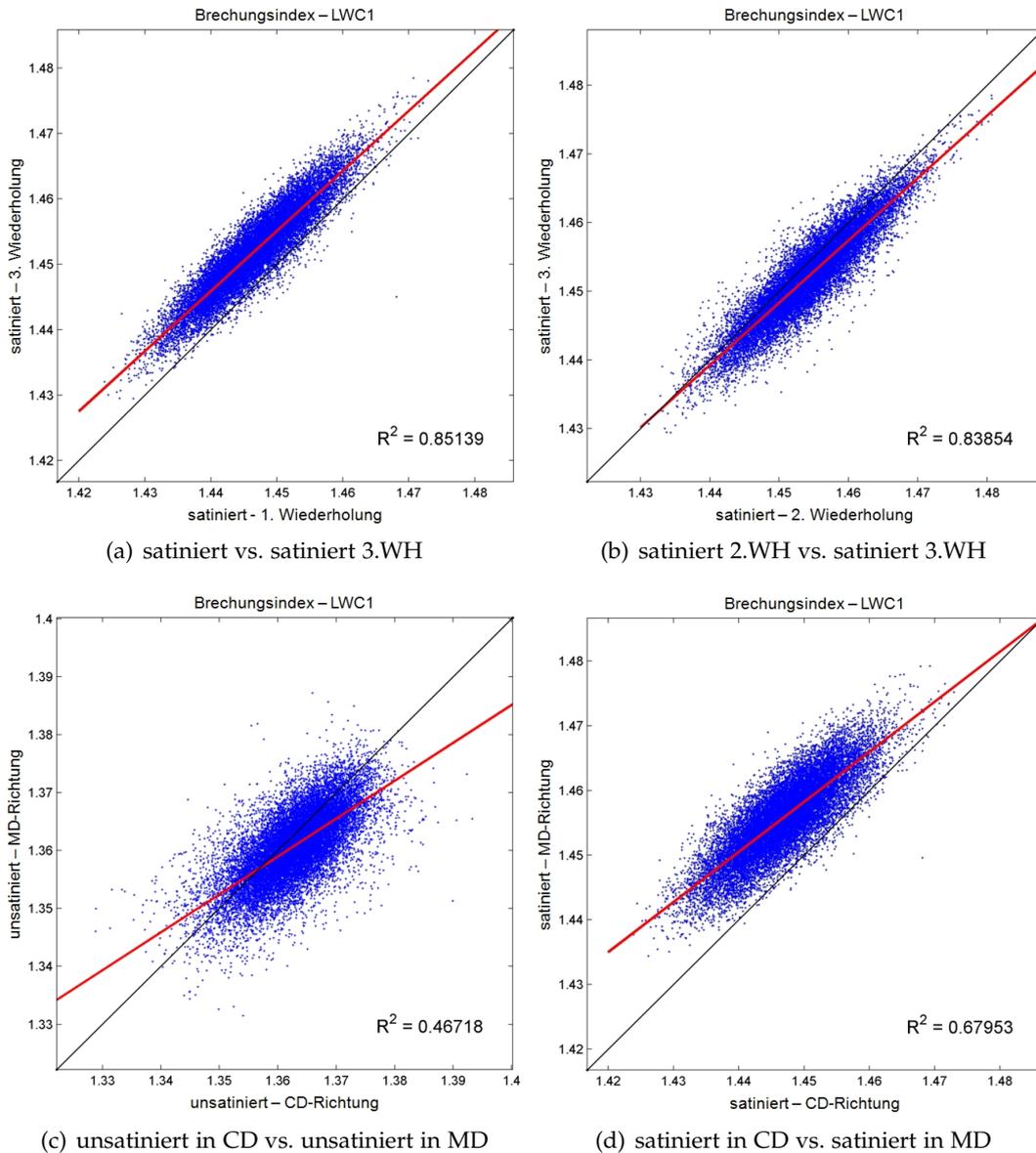


Abbildung 5.7 Wiederholbarkeit der Messung des Brechungsindex am LWC-Papier. Unter (a) und (b) sind die Mehrfachen-Messungen erfasst, welche eine gute Korrelation aufweisen. Die Grafiken unter (c) und (d) zeigen die Messungen von ein und dem selben Papier in CD- und MD-Richtung, wobei die Übereinstimmung hier weniger ausgeprägt ist.

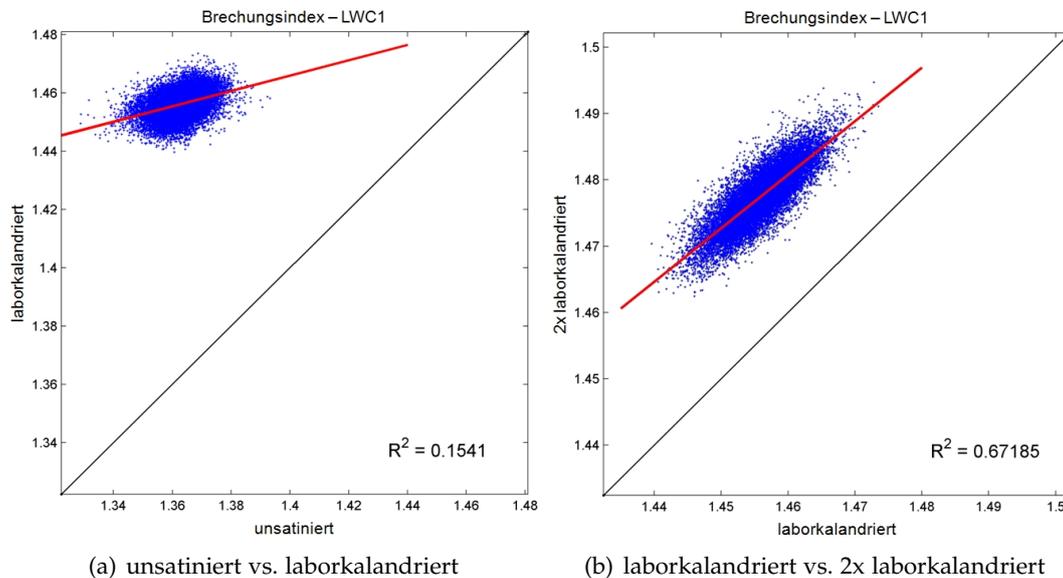


Abbildung 5.8 Ergebnisse des Satinageversuches anhand des Brechungsindex im unsatinierten und satinierten Zustand am LWC-Papier. Abbildung (a) zeigt einen nicht linearen Anstieg des Brechungsindex nach einmaligem Kalandrieren, Bild (b) zeigt den Anstieg der Werte nach einer weiteren Kalandrierung. Die Messwerte steigen dabei konstant um einen gewissen Wert an, wodurch sich die Regressionsgerade in etwa parallel zur Idealen nach links verschiebt.

Zusammenfassung der Mikrorauigkeit Die zusammengefassten Plots der Mikrorauigkeit sind in Abbildung 5.11 und 5.12 dargestellt. Die Wiederholbarkeit zwischen mehreren Messungen der selben Papierprobe liegt bei 20% und ist dadurch nicht gegeben. Auch der Vergleich zwischen CD- und MD-Richtung im unsatinierten und satinierten Zustand bringt keinen Zusammenhang.

Ein Vergleich der Messungen aus dem Satinageversuch liefert ebenfalls in keinem der beiden Fälle einen Zusammenhang.

Ergebnisse der weiteren Papiere Die Ergebnisse der weiteren untersuchten Papiere (WFC, SC und Copy) werden nun anhand der Tabelle in Abbildung 5.13 diskutiert. In dieser sind die Werte des Bestimmtheitsmaßes aller Vergleiche dargestellt und können auch mit denen von der LWC-Papier verglichen werden. Beim WFC und bei den ungestrichenen Papieren wurden nur ausgewählte Messungen durchgeführt und berechnet. Die detaillierte Auswertung zu diesen Papieren mit den dazugehörigen Plots sind bei STULTSCHNIK [2010] einzusehen.

Das WFC-Papier erreicht bei der Evaluierung der Wiederholbarkeit bei mehreren Messungen der selben Stelle bei den Parametern Glanz, Brechungsindex und Makro-

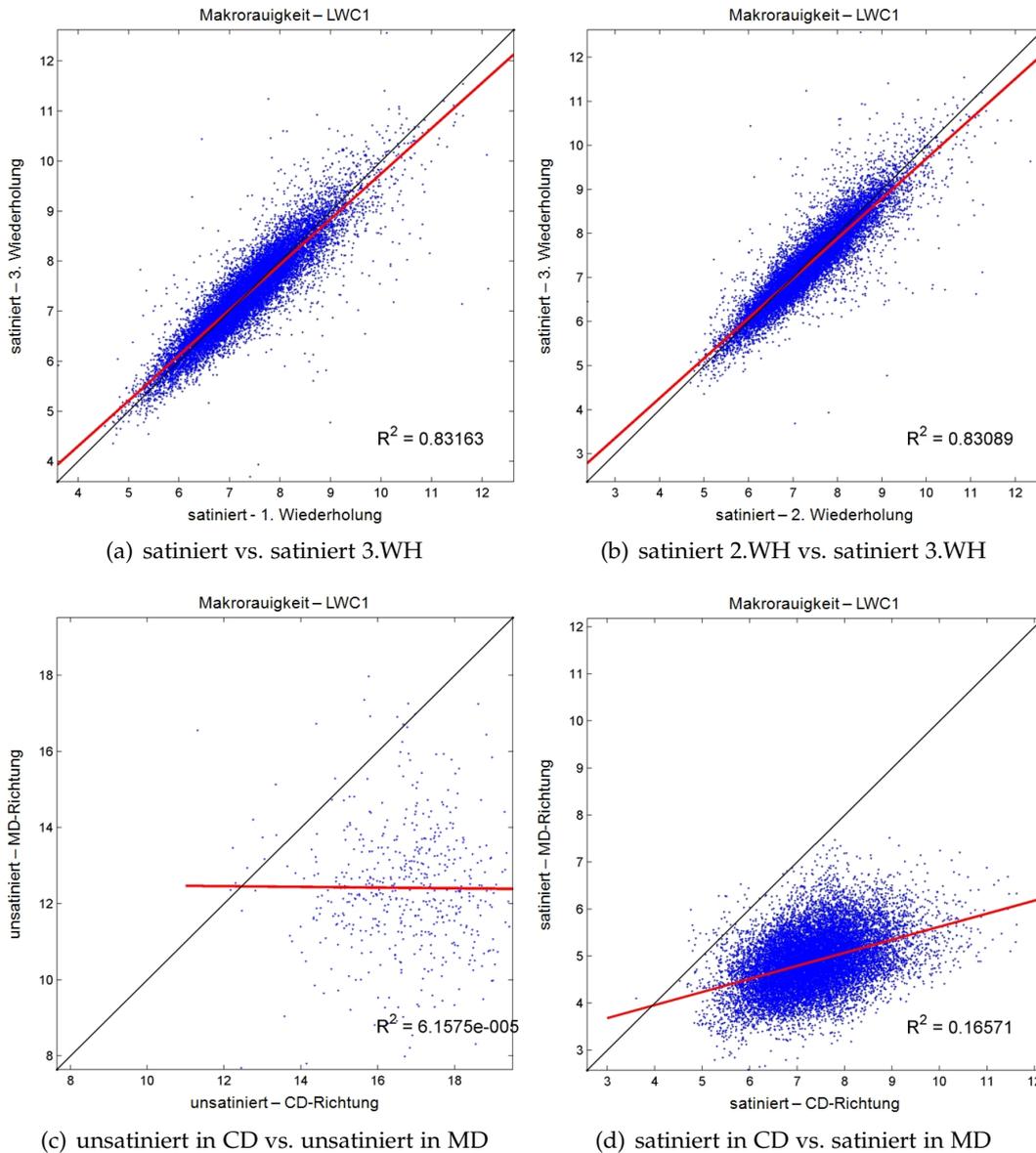


Abbildung 5.9 Wiederholbarkeit der Messung der Makrorauigkeit am LWC-Papier. Unter (a) und (b) sind die Mehrfach-Messungen erfasst, welche eine gute Korrelation aufweisen, hingegen keine Korrelation zeigen die Grafiken unter (c) und (d), welche die Messung von ein und der selben Fläche in CD- und MD-Richtung zeigen.

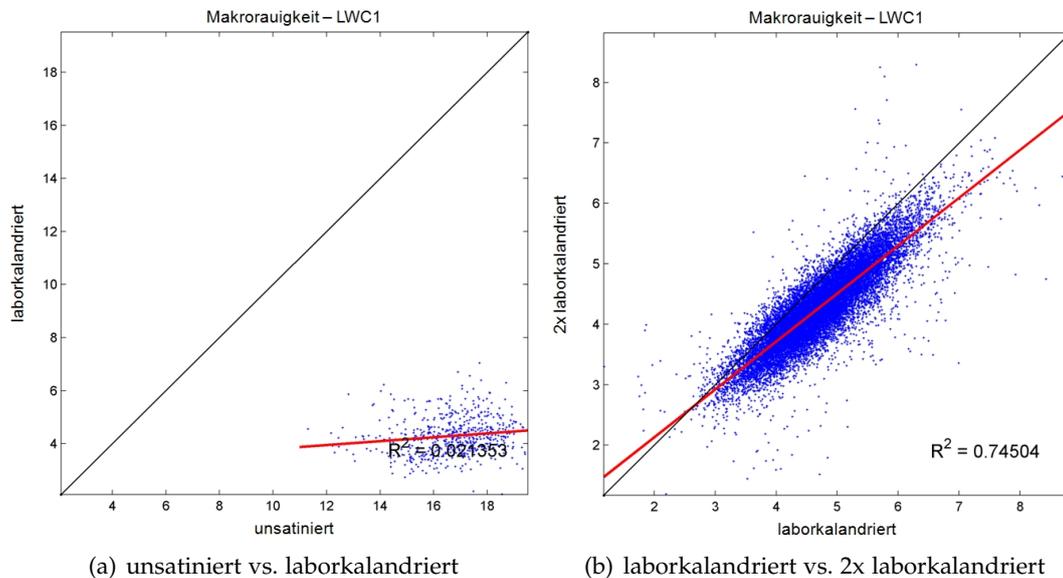


Abbildung 5.10 Ergebnisse des Satinageversuches anhand der Makrorauigkeit im unsatinierten und satinierten Zustand am LWC-Papier. Abbildung (a) zeigt keine Korrelation nach der Satinage des Rohpapiers, nach einer weiteren Satinage-Stufe zeigen die beiden Messungen nach der Kalandrierung eine Korrelation von 74% (Abbildung (b)). Weiters ist aus dem Plot ersichtlich, dass die Makrorauigkeit durch die zweite Satinigestufe leicht abnimmt.

rauigkeit ein R^2 um 0,85. Dieser Wert ist mit den Ergebnissen aus dem LWC Papier vergleichbar.

Ein Zusammenhang der Ergebnisse des Satinageversuches ist nur zwischen der ersten und der zweiten Satinigestufe bei den Parametern Glanz und Brechungsindex erkennbar und liegt in etwa um 55%. Bei der Mikro- und Makrorauigkeit beträgt der Zusammenhang zwischen den Satinigestufen lediglich um die 15%, was keinen zufriedenstellenden Wert darstellt.

Die Ergebnisse des SC Papiers weisen bei den Parametern Glanz, Brechungsindex und Makrorauigkeit eine Wiederholbarkeit bei der Mehrfach-Messung von 85% auf, und befinden sich dadurch auf dem gleichen Niveau wie die gestrichenen Papiere.

Da das SC und das Copy Papiere nur einmal kalandriert wurden, kann nur der Zusammenhang zwischen unkalandriert und kalandriert hergestellt werden. Dieser Vergleich bringt jedoch kein verwertbares Ergebnis und zeigt keine Korrelation.

Fazit zur Surfaptic-Evaluierung

- Der Registrierungsfehler bei der Auswertung dieser Serie liegt in einer Größenordnung um 5%, wodurch der Einfluss der Registrierung gering ist.

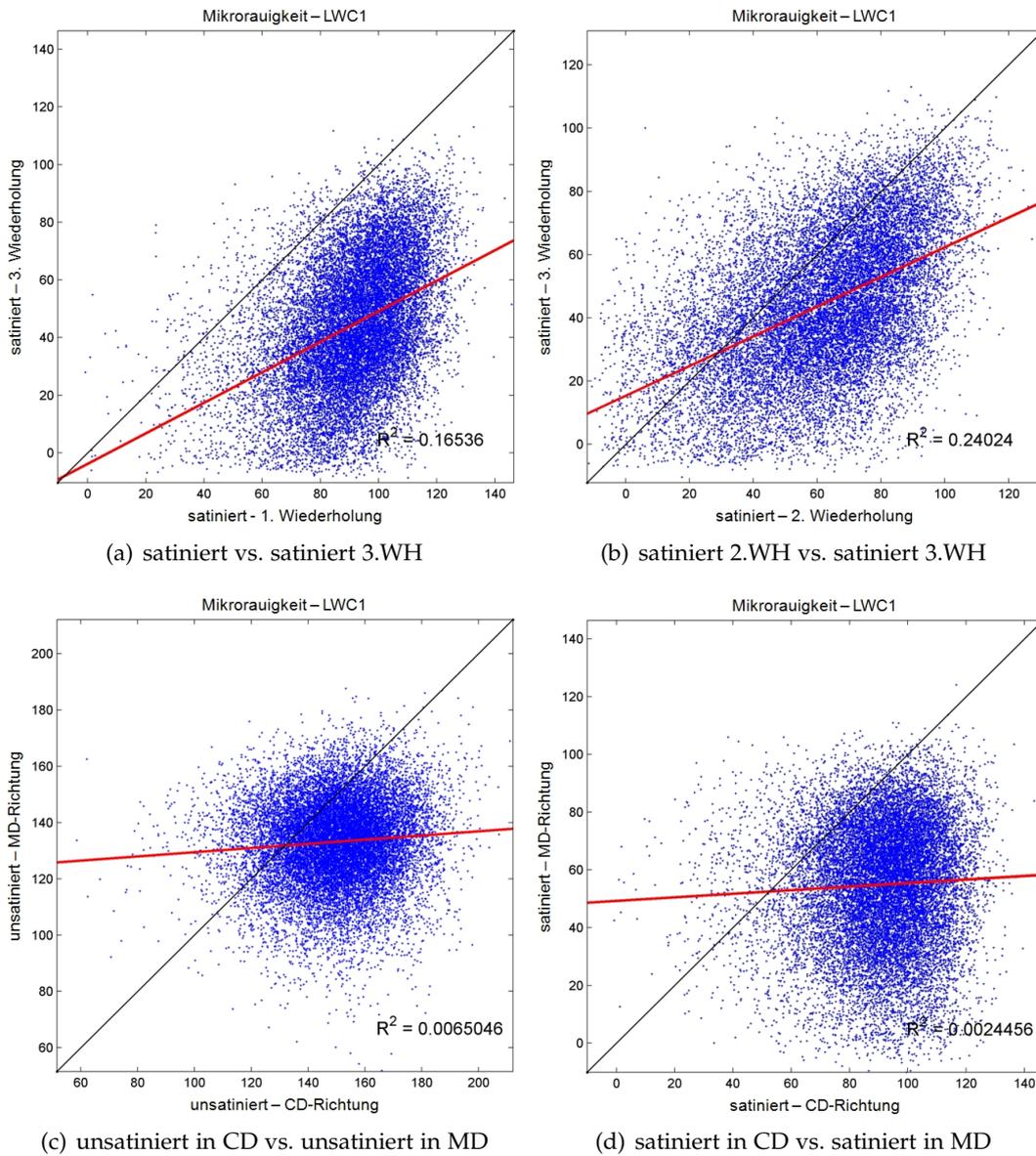


Abbildung 5.11 Wiederholbarkeit der Messung der Mikrorauigkeit am LWC-Papier. Unter (a) und (b) sind die mehrfachen Messungen erfasst, welche nur eine sehr geringe Korrelation aufweisen. Eine brauchbare Wiederholbarkeit ist demnach nicht gegeben. Die Grafiken unter (c) und (d) zeigen die Messungen von ein und dem selben Papier in CD- und MD-Richtung. Auch hier ist bei keinem der Papiere ein verwendbarer Zusammenhang erkennbar.

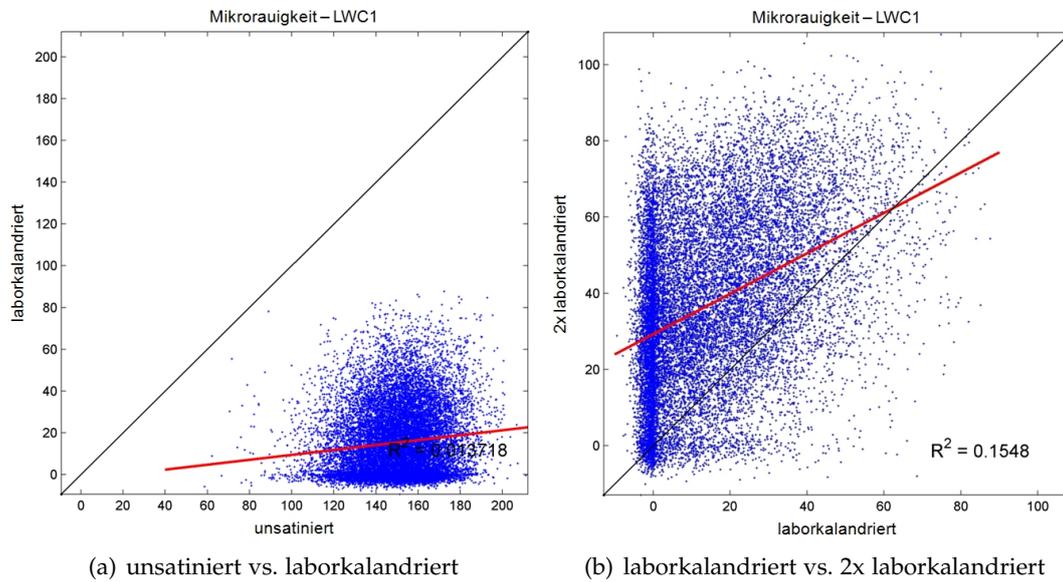


Abbildung 5.12 Ergebnisse des Satinageversuches anhand der Mikrorauigkeit im unsatinierten und satinieren Zustand am LWC-Papier. Beide Abbildungen (a) und (b) zeigen keine Zusammenhänge.

	LWC Papier				WFC Papier				SC Papier				Copy Papier			
	Glanz	Brechungsindex	Makrorauigkeit	Mikrorauigkeit	Glanz	Brechungsindex	Makrorauigkeit	Mikrorauigkeit	Glanz	Brechungsindex	Makrorauigkeit	Mikrorauigkeit	Glanz	Brechungsindex	Makrorauigkeit	Mikrorauigkeit
Wiederholbarkeitsversuch																
Wiederholung I	0.854	0.851	0.831	0.165	0.847	0.710	0.921	0.321	0.853	0.812	0.903	0.303				
Wiederholung II	0.881	0.838	0.830	0.240												
unsatiniert CD zu MD	0.714	0.460	0.000	0.006												
satiniert CD zu MD	0.544	0.670	0.165	0.002												
Satinageversuch																
unsatiniert - laborkalandriert	0.401	0.154	0.021	0.013	0.047	0.006	0.001	0.003	0.035	0.022	0.000	0.000	0.150	0.027	0.000	0.000
laborkalandriert - 2x laborkalandriert	0.785	0.671	0.745	0.154	0.472	0.526	0.168	0.120								

Abbildung 5.13 Die Tabelle zeigt die errechneten R^2 aller Versuche, welche im Zuge der Evaluierung des Surfoptic-Messgerätes durchgeführt wurden. Beim WFC, SC und Copy Papier wurden nur ausgewählte Messungen realisiert und ausgewertet.

- Der Parameter Glanz weist bei allen Papiersorten eine sehr gute Wiederholbarkeit auf. Die Entwicklung mittels Satinage ist bei dieser Messeigenschaft deutliche erkennbar und bringt die erwarteten Ergebnisse. Noch besser kann der Zusammenhang zwischen zwei Satinagestufen erfasst werden. Beim Vergleich zwischen den Messrichtungen CD zu MD werden die aus der Praxis bekannten Ergebnisse erzielt, dass der Glanz in MD etwas höher ist.
- Der Brechungsindex weist ebenfalls bei allen Papiersorten eine sehr gute Wiederholbarkeit auf. Die Entwicklung mittels Kalandrierung ist nur zwischen den beiden Satinagestufen zu erkennen. Bedenklich ist allerdings das Ergebnis bei Veränderung der Messrichtung von CD auf MD. Der Brechungsindex ist eine Materialkonstante und sollte nicht von der Strahlrichtung der Messung abhängig sein, die Messungen zeigen jedoch etwas anderes. Aufgrund dieser Tatsachen muss an dieser Stelle die Richtigkeit der Messung des Brechungsindex angezweifelt werden.
- Bei der Makrorauigkeit gilt in Bezug auf die Wiederholbarkeit das gleich wie für Glanz und Brechungsindex, sie ist in hohem Maße gegeben. Die Entwicklung mittels Kalandrierung ist ähnlich dem Brechungsindex nur zwischen den beiden Satinagestufen zu erkennen. Bei der Veränderung der Messrichtung von CD auf MD zeigt sich hier ebenfalls, dass dieses Messprinzip nicht für diese Art der Messung geeignet zu sein scheint, da zwischen den beiden Messungen kein Zusammenhang besteht.
- Die Mikrorauigkeit zeigt weder bei der Wiederholbarkeit noch bei den Satinageversuchen vertrauenswürdige Ergebnisse. Deshalb erscheint die Messung der Mikrorauigkeit mit dem Surfoptic-Messgerät als gänzlich unbrauchbar und wird in Zukunft nicht mehr weiter verfolgt.

5.3 Topografie - Infinite Focus

Das INFINITE FOCUS³ ist ein Messgerät zur Beurteilung von technischen Oberflächen im Mikro- und Nanobereich und wird im Verlauf dieser Arbeit zur Topografiebestimmung herangezogen. Das Funktionsprinzip des Infinite Focus - kurz IFM - beruht auf der geringen Schärfentiefe einer optischen Vergrößerung, wodurch die Oberfläche vertikal gescannt wird [DANZL, 2006; SCHERER, 2008]. Diese Art der Bildgewinnung wird Fokus-Variation genannt und der große Vorteil dieses Messsystems liegt darin, dass sowohl die Topografie als auch die Farbinformation in einem Schritt aufgenommen werden kann. Als Ergebnis eines Messvorganges erhält man einen 3D-Datensatz mit einer genauen lokalen topografischen Information.

Eine weitere Stärke des IFM ist die softwarebasierende Oberflächenanalyse der getätigten Messungen in Bezug auf Rauheit und Glätte. Dieses Gerät wurde in erster Linie für den Einsatz an Metallen und anderen glatten Oberflächen entwickelt, und erst in weiterer Folge mehr und mehr in die Papierindustrie, vor allem zur Druckbeurteilung, eingeführt [SCHERER ET AL., 2007].

Einen Vergleich zwischen verschiedenen Messsystemen zur Beurteilung von Rauigkeit und Topografie in der Papierindustrie wurde von LECHTHALER AND BAUER [2006] durchgeführt. Sie zeigten dabei im Vergleich mit traditionellen direkten Messverfahren, dass der Fokus-Sensor des IFM als indirektes Messverfahren durchaus zur Erfassung von Topografie und Farbinformation geeignet ist. Einen weiteren Vergleich zur optischen Topografiebewertung von grafischen Papieren bearbeiteten KLEIN ET AL. [2009]. In ihrer Arbeit zeigten sie, dass das Ergebnis der Fokusvariation anhand von REM-Untersuchungen verifiziert werden konnte. Sie wiesen jedoch auch darauf hin, dass aufgrund der hohen Auflösung Einschränkungen in Bezug auf die Messflächengröße hingenommen werden müssen.

5.3.1 Funktionsweise und Messprinzip

Das Messprinzip des IFM basiert auf der Fokus-Variation, bei der die geringe Tiefenschärfe der Optik dazu verwendet wird, um die Tiefeninformation einer Oberfläche zu extrahieren. Dazu wird die Variation der Schärfe abhängig von der Topografie der Oberfläche relativ zum Abstand der Optik analysiert. Bei der eigentlichen Bildaufnahme wird die Distanz zwischen Papier und Objektiv in einem bestimmten z-Bereich zueinander verändert, wobei dabei kontinuierlich Bilder aufgenommen werden. Dies hat zur Folge, dass für jede beliebige Tiefenposition bestimmte Bereiche der Messfläche scharf oder unscharf abgebildet werden. Anschließend wird für jede Position der Probe die abgebildete Schärfe und aus der Variation der Schärfewerte die Tiefe berechnet. Dies führt letztendlich zu einer genauen 3-dimensionalen Darstellung der Papierprobe [ALICONA, 2009].

³Alicona Imaging GmbH, Grambach bei Graz (Österreich). www.alicon.com

Im Zuge dieser Arbeit wurden alle Topografie-Messungen mit dem IFM G3 durchgeführt. Zum Zweck der Fokus-Variation wird dabei der Proben Tisch in z-Richtung bewegt. Beim neueren IFM G4 geschieht dies mittels einer in z-Richtung beweglichen Optik.

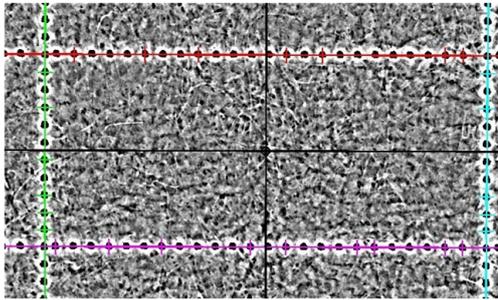
5.3.2 Evaluierung

Im Zuge des gesamten Forschungsprojektes wurde die Topografie von grafischen Papieren permanent mit dem IFM vermessen, wobei bei sehr glatten WFC-Papieren mehrmals das Ergebnis angezweifelt wurde. Aus diesem Grund und der Tatsache, dass die Topografie-Messung für die lokale Modellierung benötigt wird, wurde eine Evaluierung des Messsystems durchgeführt. Diese teilt sich in einen Vergleich der unterschiedlichen Objektive und der Wiederholbarkeit der Messungen. Als Papierproben wurde ein sehr raues Kraft-Sack-Papier, ein stark kalandriertes SC-Papier und ein sehr glattes WFC Papier herangezogen.

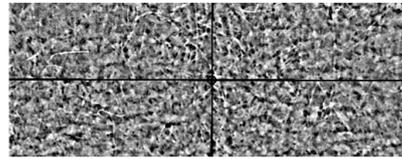
Objektiv-Vergleich

Für die Evaluierung der Auflösungsgenauigkeit der verschiedenen Objektive des IFM werden ein Sackpapier und ein WFC Papier vermessen. Beide Papiermuster werden für eine einwandfreie Registrierung lasermarkiert. Anschließend werden die Papierproben jeweils mit einer 5-fachen, 10-fachen und 20-fachen Vergrößerung vermessen. Dabei werden alle Messungen mit einer lateralen Auflösung von $1/8$ gemessen. Dies bedeutet, dass von der tatsächlich gemessenen Auflösung nur jeder achte Messpunkt für die Datenausgabe verwendet wird. Aus den gewonnenen Topografiedaten werden unter Anwendung eines Hochpassfilters Topografie-Maps erzeugt. Diese erstellten Topografie-Maps werden anhand der Lasermarkierungen registriert und auf eine bestimmte Größe getrimmt, sodass keine Randartefakte mehr vorhanden sind (Abbildung 5.14). Abgeschlossen wird der Objektiv-Vergleich mit einer Modellierung der Übereinstimmung (R^2) der Messungen mittels der linearen Regressionsanalyse.

Ein Beispiel für die unterschiedlich genaue Darstellung der Papiertopografie aufgrund der verschiedenen verwendeten Objektive ist in Abbildung 5.15 anhand eines Kraftsack-Papiers zu sehen. Dabei sind in der oberen Bildhälfte jeweils die Originalaufnahmen mit der gemessenen Auflösung zu sehen, die unteren Bilder zeigen jeweils die Modellierungsauflösung von $254 \mu\text{m}$. Das linke Bilder-Paar (a) wurde mit 5-facher Vergrößerung bei einer Auflösung von $12,8 \mu\text{m}$ gemessen, die mittleren Bilder (b) mit 10-facher Vergrößerung bei einer Auflösung von $6,4 \mu\text{m}$ und die rechten beiden Bilder (c) mit 20-facher Vergrößerung bei einer Auflösung von $3,2 \mu\text{m}$. Vergleicht man die Messungen der Original-Aufnahmen, sind deutliche Unterschiede in der Detailgenauigkeit zwischen den einzelnen Auflösungsstufen erkennbar. Werden zu diesem Vergleich auch die down-gesampelten Bilder hinzugezogen, zeigt sich, dass sich die Unterschiede aus den Original-Aufnahmen auch in diesen Bildern weiter führen: Je



(a) Topografie-Map mit eingezeichnete Registrierung



(b) Getrimmte Topografie-Map

Abbildung 5.14 (a) zeigt eine Topografie-Map mit eingezeichnete Registrierung anhand der Lasermarkierung. Aufgrund der 4 farblich eingezeichneten Linien wird der Mittelpunkt errechnet, von dem aus sich das Koordinatensystem definiert. (b) zeigt eine bereits beschnittene Topografie-Map, welche so für die Berechnung der Übereinstimmung herangezogen wird.

höher die Auflösung des Objektivs, desto schärfer und detailgenauer erscheinen die gezeigten Topografie-Bilder.

Ergebnisse des Kraftsack-Papiers In Abbildung 5.16 und Tabelle 5.2 sind die Ergebnisse der Modellierungen des Kraft-Sack-Papiers dargestellt. Die Tabelle ist so zu lesen, dass zum Beispiel die 5-fache Topografie mit der 10-fachen Topografie erklärt wird und dabei ein R^2 von 0,84 erreicht. Demnach liegt der Informationsverlust der 5-fachen Vergrößerung bei etwa 15% gegenüber der 10-fachen Vergrößerung, was ein akzeptables Ergebnis darstellt. Bei den Vergleichen der 20-fachen Vergrößerung mit der 5- und 10-fachen Vergrößerung wird lediglich ein R^2 von knapp über 0,50 erreicht, was doch einen deutlichen Informationsverlust gegenüber der hohen Auflösung wiedergibt. Hierzu ist zu sagen, dass der visuelle Zusammenhang zwischen der 10- und 20-fachen Vergrößerung deutlich größer ist als zwischen der 5- und der 20-fachen Vergrößerung, was jedoch durch die Modellierung bei annähernd gleichem R^2 nicht festgestellt werden kann.

Die hier aufgelisteten Werte besitzen auch Gültigkeit, wenn sich die Zielvariable und die erklärende Variable umkehrt, z.B. wenn die 20-fache Topografie mit der 10-fachen Topografie erklärt wird, ist der Wert für R^2 ebenfalls bei 0,58. Dieser Effekt des Vertauschens der Zielvariable und der erklärenden Variable ist im Diagramm dieser Abbildung ebenfalls deutlich ersichtlich.

Zusammenfassung des Objektiv-Vergleichs beim Kraft-Sack-Papier Der Informationsverlust von 10- auf die 5-fache Vergrößerung liegt in etwa bei 15% und kann als zufriedenstellend angesehen werden. Bei der 20- auf die 5-fache Vergrößerung liegt der Informationsverlust über die Topografie bereits bei 45%. Auch dieser Wert ist im

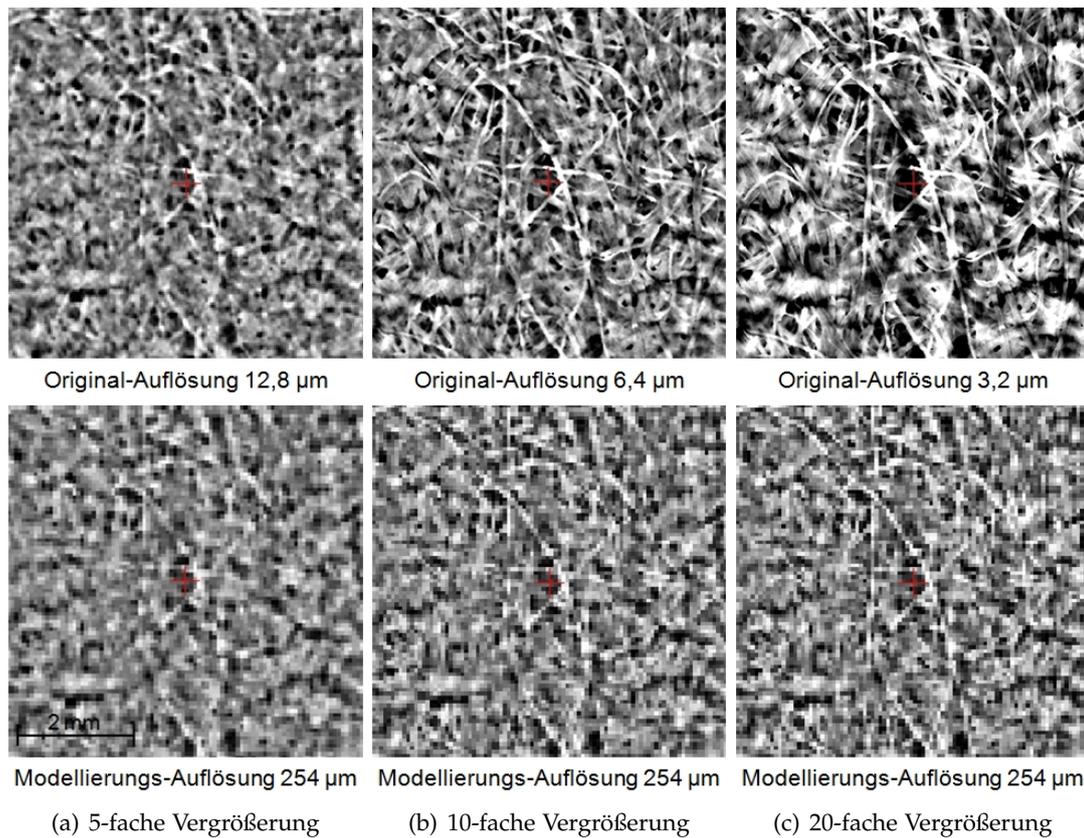


Abbildung 5.15 Diese Darstellung zeigt in der oberen Bildhälfte einen definierten Bereich der Oberfläche eines Kraftsack-Papiers in 5-facher Vergrößerung bei einer Auflösung von $12,8 \mu\text{m}$ (a), 10-facher Vergrößerung bei einer Auflösung von $6,4 \mu\text{m}$ (b) und 20-facher Vergrößerung bei einer Auflösung von $3,2 \mu\text{m}$ (c). Die untere Bildhälfte zeigt jeweils die Messungen nach dem Downsampling auf eine Modellierungsauflösung von $254 \mu\text{m}$. Die Farbkodierung zwischen schwarz und weiß entspricht $40 \mu\text{m}$. Deutlich erkennbar sind die Unterschiede aufgrund der verschiedenen Auflösungen sowohl in den Original-Auflösungen als auch in der Modellierungsauflösung: Je höher die Auflösung, desto schärfer und detailgenauer sind die erhaltenen Bilder.

erkläre	mit	Übereinstimmung
Topografie 5-fach	Topografie 10-fach	$R^2 = 0,84$
Topografie 5-fach	Topografie 20-fach	$R^2 = 0,54$
Topografie 10-fach	Topografie 20-fach	$R^2 = 0,58$

Tabelle 5.2 Werte für die Übereinstimmung der Objektivive des Kraftsack-Papier, welche in Abbildung 5.16 grafisch dargestellt sind. Auflistung der Werte für R^2 , wenn die Topografie aus der 1. Spalte mit der 2. Spalte erklärt wird.

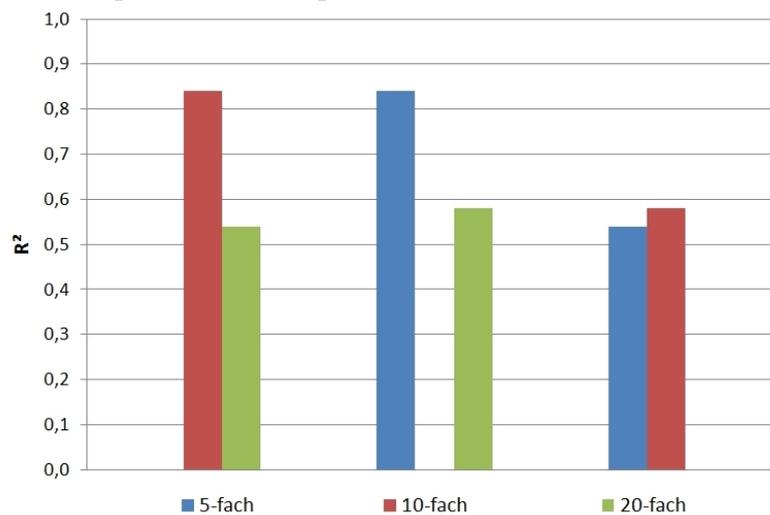


Abbildung 5.16 Ergebnisse des Objektiv-Vergleiches des Kraftsack-Papiers. Die Erklärkraft zwischen 5- und 10-facher Vergrößerung liegt bei 0,84. Die Übereinstimmung zwischen 5- und 20-facher sowie 10- und 20-facher Vergrößerung liegt etwas über 0,50.

Allgemeinen akzeptabel, da sich die Aufnahmegenauigkeit und auch die Pixelgröße bei der hohen Auflösung enorm verbessert. Etwas abgeschwächter ist der Informationsverlust von der 20- auf die 10-fache Vergrößerung. Dieser beträgt in etwa 40%, und zeigt ebenfalls, dass die hohe Auflösung deutlich mehr Genauigkeit liefert.

Ergebnisse und Schwierigkeiten beim WFC-Papier Der Objektiv-Vergleich wurde in Bezug auf die Oberflächentopografie gegenüber dem sehr rauen Kraftsack-Papier auch an einem sehr glatten WFC Papier durchgeführt (Abbildung 5.17). Die Messung erfolgte mit den gleichen Objektiven wie beim Kraft-Sack-Papier. Die obere Bildhälfte zeigt wieder die Originalaufnahmen mit den gemessenen Objektiven, dazugehörig sind in der untere Bildhälfte die Messungen jeweils bei der Modellierungsauflösung von $254 \mu m$ dargestellt.

Das linke Bilder-Paar (a) zeigt die Messung mit dem 5-fach Objektiv, bei der jedoch schwerwiegende Probleme auftraten. So zeigt diese Messung ein deutliches Messrauschen und das generierte Topografiebild gleicht in etwa der Oberflächenstruktur eines Golfballes. Es werden Strukturen gemessen, die auf diesem Papier nicht vorhanden sind.

Die Darstellung der mittleren Bilder (b) mit dem 10-fach Objektiv zeigen deutliche Unterschiede in der Topografie gegenüber der 5-fach Messung. Hier erscheint das Papier glatter und homogener, was eher der Oberflächengüte eines WFC Papiers entspricht. Es sind sehr sanfte Strukturen über die gesamte Oberfläche erkennbar, welche bei der Messung mit 20-facher Vergrößerung (c) noch etwas verstärkt werden. Werden die Original-Bilder wieder mit den down-gesampelten Topografie-Bildern verglichen, so zeigen auch diese, dass die deutlicher sichtbaren Strukturen der höher auflösenden Objektive auch an den Bilder in Modellierungsauflösung erkennbar sind. Das jedoch bei diesem Papier keine deutlicheren Strukturen mit dem IFM messbar sind, lässt sich bereits aus der Abbildung 5.17 erkennen und ist auf zwei Dinge zurückzuführen:

1. ist bei einem WFC Papier eine homogene und hohe Oberflächengüte mit geringer Rauigkeit gegeben und
2. ist die vertikale Auflösung des IFM in z-Richtung beim 5- und 10-fach Objektiv deutlich zu gering, um die feinen Unebenheiten der Oberfläche des WFC Papiers zu erkennen.

Ergebnisse des WFC Papiers In Abbildung 5.18 und Tabelle 5.3 sind die Ergebnisse der Modellierungen des WFC Papiers dargestellt. Die Tabelle ist gleich zu lesen wie beim Kraftsack-Papier und zeigt, dass zum Beispiel die 5-fache Topografie mit der 10-fachen Topografie erklärt wird und dabei ein R^2 von 0,03 erreicht. Dieses Ergebnis zeigt, was bereits in Abbildung 5.17 erkennbar war: das 5-fach Objektiv misst nicht das Gleiche wie das 10- oder 20-fach Objektiv. Einzig der Vergleich zwischen 10- und

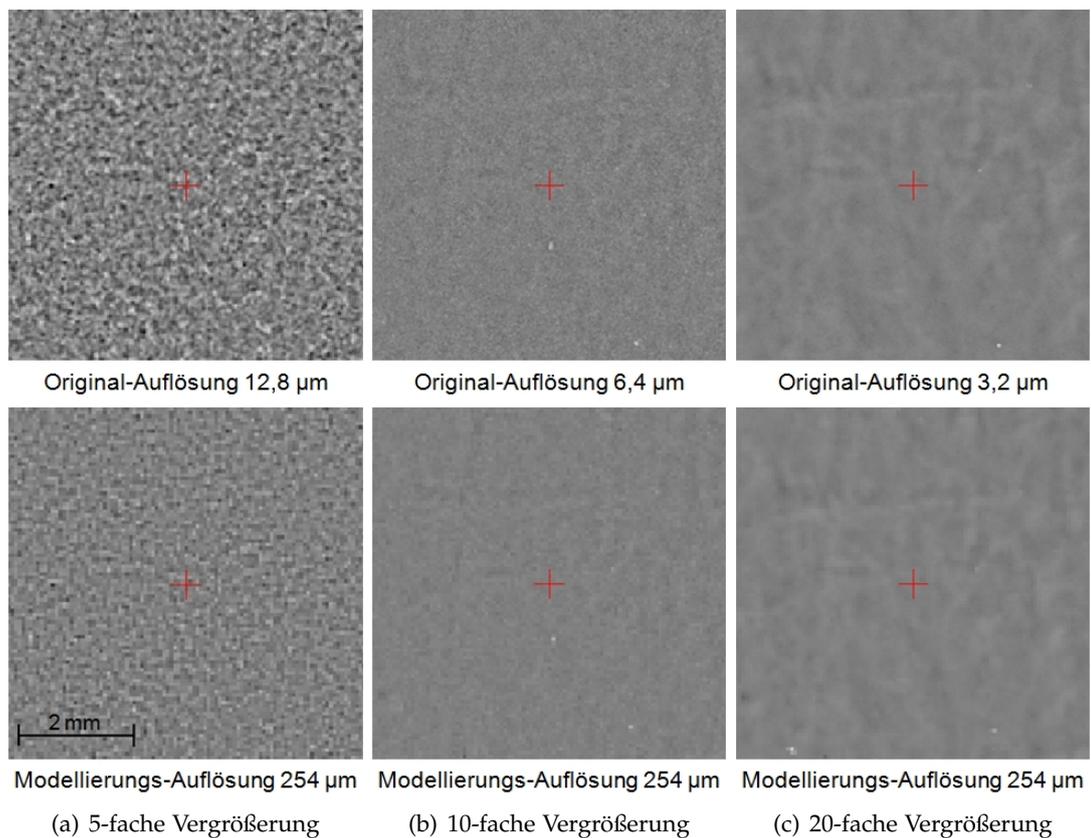


Abbildung 5.17 Die Darstellung zeigt in der oberen Bildhälfte einen definierten Bereich der Oberfläche eines WFC Papiers in verschiedenen Auflösungen. Die dazugehörigen Bilder in der Modellierungsauflösung von 254 μm sind in der unteren Bildhälfte angeführt. Die Farbkodierung zwischen schwarz und weiß entspricht 12 μm . Die 5-fache Vergrößerung bei einer Auflösung von 12,8 μm (a) zeigt ein deutliches Messrauschen, welches nicht als korrekt angesehen werden kann. Die 10-fache Vergrößerung bei einer Auflösung von 6,4 μm (b) zeigt sehr sanfte Strukturen, welche bei einem gestrichenen Papier dieser Qualität üblich sind und diese Strukturen werden bei der Messung mit 20-facher Vergrößerung und einer Auflösung von 3,2 μm (c) noch etwas verdeutlicht.

20-facher Vergrößerung zeigt eine Übereinstimmung von etwa 20%, was jedoch soviel bedeutet, dass vom 20-fachen zum 10-fachen Objektiv ein Informationsverlust von etwa 80% vorliegt.

Dieses Ergebnis verdeutlicht nochmals, dass für ein hochwertiges glattes WFC Papier die Messung mit dem 5-fach Objektiv für eine Oberflächenanalyse nicht ausreicht. Die vertikale Auflösung in z-Richtung scheint einfach zu groß zu sein, um diese feinen Unebenheiten eines so glatten Papiers zu erfassen. Auch die Übereinstimmung zwischen dem 10- und dem 20-fachen Objektiv ist sehr gering ausgefallen. Demnach müssten hochwertige gestrichenen Papiere mindestens bei 20-facher Vergrößerung vermessen werden, um tatsächlich eine quantitative und qualitative Aussage über die Topografie und die Oberflächengüte zu bekommen. Bei diesem Objektiv ist jedoch nur mehr eine limitierte Messfläche aufgrund der Fülle an Daten möglich, wodurch dieses Objektiv keine Alternative für die Messung zur lokalen Modellierung der Farübertragung darstellt.

Abschließende Zusammenfassung zum Objektiv-Vergleich Aufgrund der hier erhaltenen Ergebnisse bleibt das Standard-Objektiv zur Topografie-Messung das 5-fache. Bei allen Papieren außer den WFC Papieren reicht eine Auflösung von $12,8 \mu\text{m}$ aus, da bei den weiteren Arbeiten mit den Daten ohnehin ein Downsampling durchgeführt wird. Das 10-fach Objektiv liefert zwar eine bessere Detailgenauigkeit aufgrund der $6,4 \mu\text{m}$ Pixelgröße und einer feineren vertikalen Auflösung in z-Richtung, andere Nachteile überwiegen jedoch. So ist der Mehraufwand an Zeit gravierend, die Beschränkung der Messfläche ist ebenfalls bedeutend und seitens des IFM kann nur eine gewisse Datenmenge verarbeitet werden.

Weiters hat der Objektiv-Vergleich gezeigt, dass die Übereinstimmungen der einzelnen Objektive ausreichen, um relevante Ergebnisse erzielen zu können. Bei den WFC Papieren kann mit der 5-fachen Vergrößerung keine objektive Aussage über die Topografie gemacht werden. Aus diesem Grund wären Messungen mit höherer Auflösung gefordert, diese werden jedoch durch die geringere Fläche und die viel längere Messdauer stark beschränkt.

Wiederholbarkeit

Der zweite Teil der IFM Evaluierung beschäftigt sich mit der Wiederholbarkeit der Messungen. Dazu wurde ein lasermarkiertes SC-A Papier drei mal mit 5-facher Vergrößerung vermessen. Es wurde darauf geachtet, dass es bei jeder Messung der Papierprobe zu einer Neupositionierung dieser auf dem Saugtisch kam und dass auch das gesamte Messsystem IFM neu gestartet wurde. Nach dem Neustart wurde ebenfalls das Objektiv neu auf die Probe eingestellt und positioniert. Nach der Registrierung der gewonnenen Topografie-Bilder wurde abschließend wieder die Übereinstimmung der Proben mittels der linearen Regression errechnet.

erkläre	mit	Übereinstimmung
Topografie 5-fach	Topografie 10-fach	$R^2 = 0,033$
Topografie 5-fach	Topografie 20-fach	$R^2 = 0,004$
Topografie 10-fach	Topografie 20-fach	$R^2 = 0,164$

Tabelle 5.3 Werte für die Übereinstimmung der Objektivive des WFC-Papier, welche in Abbildung 5.18 grafisch dargestellt sind. Auflistung der Werte für R^2 , wenn die Topografie aus der 1. Spalte mit der 2. Spalte erklärt wird.

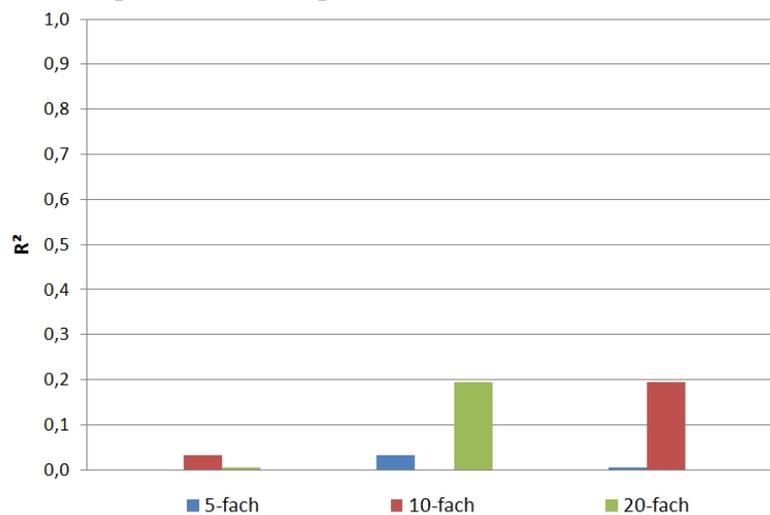


Abbildung 5.18 Im Gegensatz zu der Auswertung des Kraftsack-Papiers ist hier am WFC-Papier deutlich zu erkennen, dass nur zwischen der 10- und 20-fachen Vergrößerung ein Zusammenhang besteht. Dieser fällt jedoch mit einem R^2 von 0,19 gering aus. Das 5-fach Objektiv misst demnach nicht die gleiche Topografie wie die beiden höher auflösenden Objektivive, wodurch auch keine Zusammenhang zustande kommt.

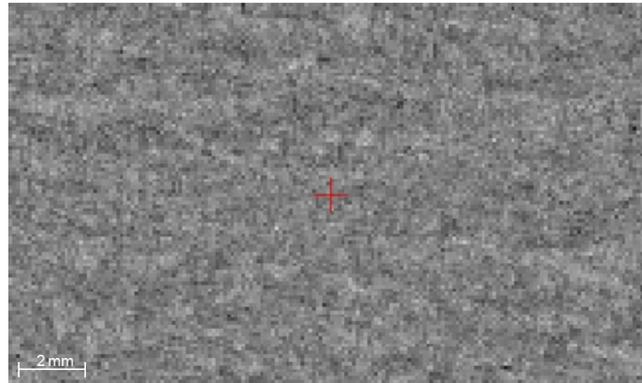
Optische Übereinstimmung bei Topografie In Abbildung 5.19 sind die drei erzeugten Topografie-Messungen nach der Registrierung und Trimmung nebeneinander dargestellt. Beim visuellen Vergleich dieser Messungen durch das menschliche Auge sind nur geringe Unterschiede erkennbar.

Für eine detaillierte Auswertung wurde wieder ein Ergebnisplot der linearen Regressionsanalyse erzeugt (Abbildung 5.20 und Tabelle 5.4). In diesem Fall wurde die Modellierungsauflösung auf $63,5 \mu m$ verfeinert. Dieser Plot zeigt, dass der Wert für R^2 , wenn die Messung 1 durch die Messung 2 erklärt wird, bei 0,84 liegt. Auch bei den anderen beiden Vergleichen wird ein Wert von 0,78 erreicht. Diese Werte sind sehr hoch und repräsentieren gute Ergebnisse der Wiederholungsmessungen. In Bezug auf die Höhe der Übereinstimmung ist zu bedenken, dass durch einen möglichen Registrierungsfehler das R^2 herabgesetzt werden kann.

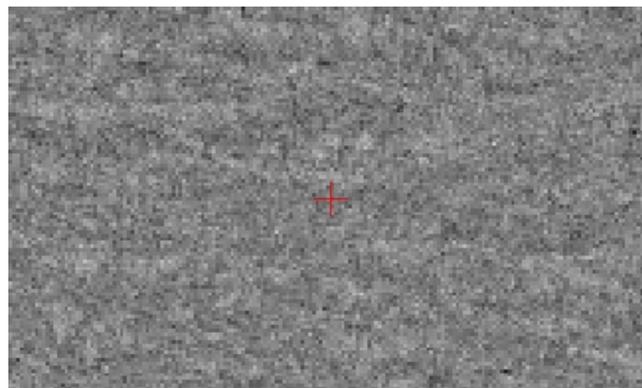
In Abbildung 5.20 und Tabelle 5.4 wieder ein Diagramm mit den Werten für R^2 dargestellt. In diesem Plot ist wieder erkennbar, dass die Werte der Übereinstimmung gleich bleiben, wenn man die erklärende Variable und die Zielvariable vertauscht. Ebenfalls angegeben sind die Pixelgröße der Messung ($12,8 \mu m$) und die Modellierungsauflösung ($63,5 \mu m$).

Zusammenfassung der Wiederholbarkeitsversuche Die Versuche ergaben eine hohe Übereinstimmung der drei Messungen. Diese liegt zwischen 78 und 84%. Warum der Wert für R^2 nicht noch höher ist, kann durch die übereinstimmungsmindernden Einflussfaktoren erklärt werden. Dazu zählen bei der Topografie vor allem das Ein-ebenen der Probe und die Anwendung eines Hochpassfilters. Weiters kann auch die Registrierung den Grad der Übereinstimmung etwas mindern.

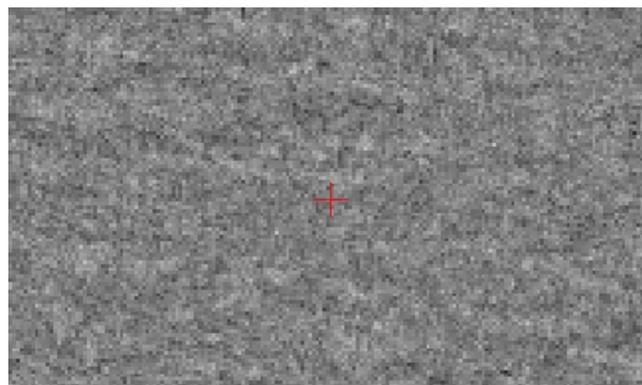
Abschließend kann gesagt werden, dass aufgrund der Ergebnisse der Wiederholbarkeitsversuche in Bezug auf die Topografie ein plausibles Messergebnis zu erwarten ist.



(a) Messung 1



(b) Messung 2



(c) Messung 3

Abbildung 5.19 Darstellung von drei wiederholten Topografie-Messungen an ein und der selben Stelle. Vergleicht man diese Bilder untereinander visuell, sind nur sehr geringe Unterschiede erkennbar.

erkläre	mit	Übereinstimmung
Topografie Messung 1	Topografie Messung 2	$R^2 = 0,85$
Topografie Messung 1	Topografie Messung 3	$R^2 = 0,78$
Topografie Messung 2	Topografie Messung 3	$R^2 = 0,78$

Tabelle 5.4 Werte für die Übereinstimmung der Topografiemessungen des SC-A Papiers, welche in Abbildung 5.20 grafisch dargestellt sind. Auflistung der Werte für R^2 , wenn die Topografie aus der 1. Spalte mit der 2. Spalte erklärt wird.

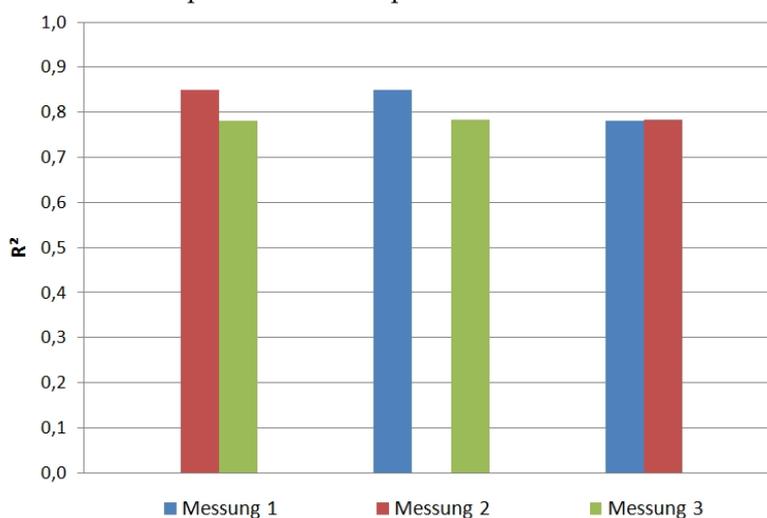


Abbildung 5.20 Der Zusammenhang aller drei Messungen am SC-A Papier bewegt sich in etwa um einen Wert für R^2 von 0,80. Modelliert wurden diese Messungen bei einer Auflösung von $63,5 \mu m$, was gegenüber des Objektiv-Vergleichs deutlich feiner ist. Die durchaus hohen Werte für das R^2 zeigen, dass die Wiederholbarkeit des IFM gegeben ist - in Anbetracht dessen, dass ein Registrierungsfehler die Übereinstimmung herabsetzt.

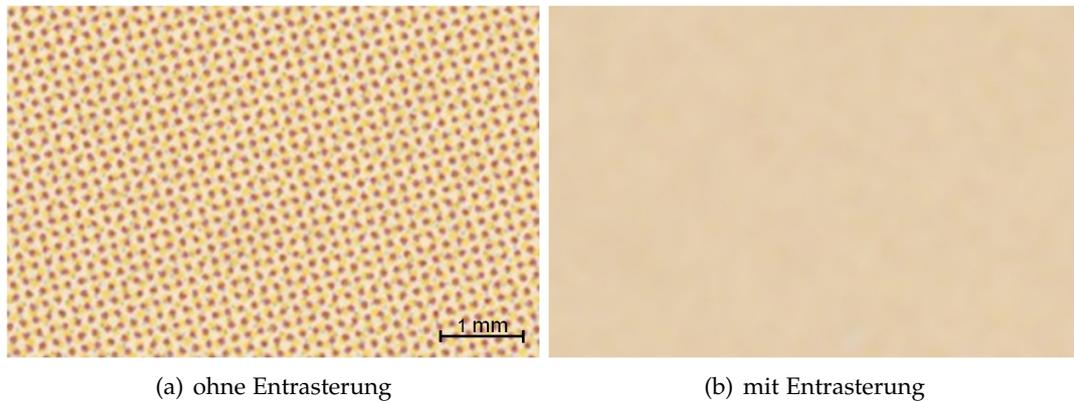


Abbildung 5.21 Darstellung eines Hauttons mit der Farbzusammenstellung C5+M20+Y35 anhand eines WFC Papiers ohne (a) und mit Entrasterung (b). Beim Bild ohne Entrasterung sind die Druckpunkte deutlich erkennbar, welche aufgrund der Überlagerung dreier Punktmuster zu einem Moree-Effekt führen. Das entrasterte Bild lässt die einzelnen Druckpunkte verwischen und so entsteht eine homogene Farbfläche im gewünschten Hautton.

5.4 Bildgewinnung - Scans

Zur Bildgewinnung des Druckbildes, der Variation der Weiße und der Druckfarbenpenetration wird ein hochwertige Flachbett-Scanner mit der Modellbezeichnung EPSON PERFECTION 4990 ⁴ verwendet. Gescannt wird bei einer Auflösung von 1200 dpi, was einer Pixelgröße von $21,167 \mu\text{m}$ entspricht. Ist das zu scannende Druckbild mit einem Rasterton bedruckt, wird eine Entrasterung zur Vermeidung von Moree-Effekten angewendet. Die Entrasterung erfolgt mittels der Scan-Software SILVERFAST AI ⁵, und wird genau auf den bedruckten Raster (Angabe in Linien pro Zentimeter l/cm) abgestimmt. Abbildung 5.21 zeigt dazu jeweils einen Rasterton ohne (a) und mit Entrasterung (b). Im Bild ohne Entrasterung sind die einzelnen Druckpunkte und das durch Überlappung mehrerer Punktmuster entstandene Moree-Muster deutlich erkennbar. Die Entrasterung bewirkt, dass die Druckpunkte verwischt werden, und so eine homogene Farbfläche erzeugt wird.

Das menschliche Auge erkennt im Gegensatz zum Scanner diesen Hautton als homogene Farbfläche, der Scanner als Punktmuster. Aus diesem Grund dient die Entrasterung zum einen der Vermeidung des Moree-Effektes, zum anderen soll auch die Bildverarbeitung gleich dem menschlichen Auge mit einer einheitlichen homogenen Farbfläche verfahren.

⁴Seiko Epson Corporation, Nagano (Japan). www.epson.at

⁵LaserSoft Imaging AG, Kiel (Deutschland). www.silverfast.com

5.5 Druckfarbenpenetration

Der Einfluss der Druckfarbenpenetration auf das Druckbild wurde bereits in Kapitel 3.3.3 besprochen. Durch welche Mechanismen jedoch die Penetration der Druckfarbe überhaupt stattfindet, untersuchten KENT AND LYNE [1989] in ihrer Arbeit. Demnach hat die lokale Geometrie der Porenverteilung neben der Rheologie der Druckfarbe und der Emulsion Druckfarbe-Feuchtmittel den größten Einfluss.

Einen chromatographischen Ansatz zur Untersuchung der Penetration und Separation der Druckfarbe zeigen MATTILA ET AL. [2003] anhand ungestrichener Papiere im Coldset Web Offset Druck. Sie stellten fest, dass die Penetration und Separation stark von der Oberflächenbeschaffenheit des Papiers abhängig ist. Glattere Papiere mit weniger Poren tendieren stärker zur Trennung der Druckfarbenkomponenten und behindern mehr die Penetration der Druckfarbe.

Den Einfluss der Druckfarbenpenetration unter Berücksichtigung des Feuchtmittels beleuchten LIU ET AL. [2006A] und LIU ET AL. [2008B]. Dabei bedienen sie sich eines Laser Scanning Confocal Mikroskop zur Aufzeichnung der Entmischung der Emulsion Feuchtmittel-Offsetdruckfarbe nach dem Druck auf das Papier. Demnach steuert das Feuchtmittel die Druckfarbenpenetration insofern, dass bei guter Abtrennung des Feuchtmittels die Viskosität der Druckfarbe ansteigt und deshalb weniger tief in das Papier einpenetriert.

Eine Methode zur Quantifizierung der Penetration der Druckfarbe mittels SEM (Scanning electron microscope) und Bildanalyse zeigen ERIKSEN AND GREGERSEN [2005]. Demnach reduziert ein steigender Anteil an Feinstoffen die Druckfarbenpenetration. Auch der Einfluss einer stärkeren Kalandrierung führt unter bestimmten Umständen zu einer geringeren Druckfarbenpenetration.

5.5.1 Tauchpenetrationstest

Für die orts aufgelöste Messung der lokalen Druckfarbenpenetration wird das bedruckte Papier einem Tauchpenetrationstest unterzogen. Dieser wurde von ENZI ET AL. [2004] am Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik für den Tiefdruck entwickelt. Dabei wird ein bedrucktes Papier in eine definierte Messflüssigkeit getaucht, welche die Druckfarbe auflöst. Anschließend wird diese an der Papieroberfläche gelöste Druckfarbe abgewischt. Die erhaltene Struktur ist in Abbildung 5.22 dargestellt. Demnach beschreiben die hellen Stellen eine geschlossene Papieroberfläche, an denen die Poren in der Papierstruktur zu klein sind für das Einpenetrieren von Farbpigmenten. Die Druckfarbe befand sich an diesen Stellen hauptsächlich an der Papieroberfläche und konnte deshalb nahezu vollständig entfernt werden. Die dunklen Stellen signalisieren eine offene Papieroberfläche, an denen die Druckfarbe einpenetrieren kann. Deshalb kann nur der an der Papieroberfläche befindliche Teil der Druckfarbe entfernt werden, die einpenetrierte Druckfarbe bleibt erhalten.

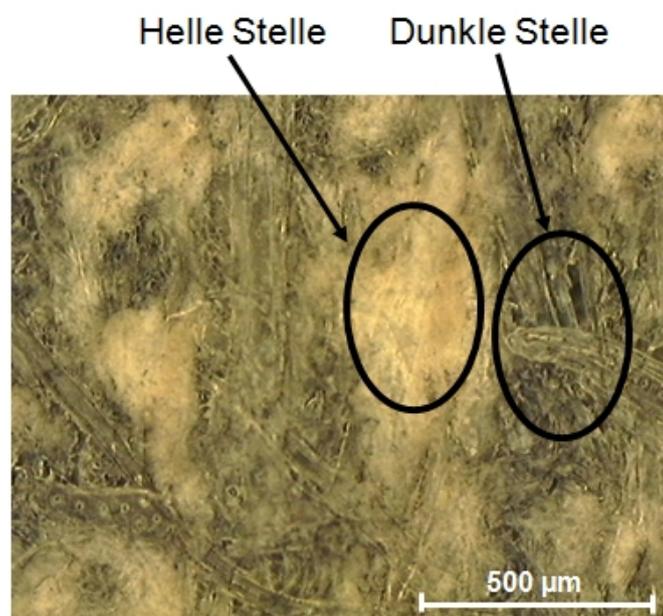


Abbildung 5.22 Darstellung der Papierstruktur nach dem Tauchpenetrationstest. Die hellen Stellen beschreiben eine geschlossene Papieroberfläche, an denen keine Druckfarbe ins Papier einpenetriert ist, und deshalb nahezu vollständig entfernt werden konnte. Die dunklen Stellen hingegen signalisieren eine offene Papieroberfläche, die einpenetrierte Druckfarbe bleibt nach dem Tauchpenetrationstest in der Papierstruktur erhalten. [ENZI ET AL., 2004]

Um diesen Test auch für den Offsetdruck nutzen zu können, musste dieser Wischtest für die gewünschten Bedürfnisse im Offsetdruck modifiziert werden. Letztendlich wird als Tauchflüssigkeit für den Offsetdruck ein Gemisch aus 70% Toluol und 30% Offsetfarbe verwendet, gewischt wird mit handelsüblichem Tissue-Papier. Das Ziel dieses Tauchpenetrationstests im Offsetdruck ist das selbe wie im Tiefdruck, nämlich die Entfernung der an der Oberfläche befindlichen Druckfarbe, und daraus resultierend die Sichtbarmachung der einpenetrierten Druckfarbe ins Papier (Abbildung 5.23). An den sehr hellen weißen Stellen am gewischtem Papier (b) konnte die Druckfarbe nahezu vollständig entfernt werden, was auf eine sehr geringe Druckfarbenpenetration hinweist. Daraus lässt sich in weiterer Folge schließen, dass an diesen Stellen die gewünschte Farbsättigung erreicht wurde. Sind am gewischtem Papier dunkle Stellen zu erkennen, ist dort mehr Druckfarbe einpenetriert. Demnach war weniger Druckfarbe an der Oberfläche des Papiers vorhanden, was auf eine geringere Farbsättigung des Druckbildes schließen lässt. Aus dem Effekt von wenig oder mehr ins Papier einpenetrierte Druckfarbe resultiert möglicherweise eine Variation in der Farbsättigung und in weiterer Folge ein unregelmäßiger Druck.

5.5.2 Einfluss des Wischtests auf die Papiereigenschaften

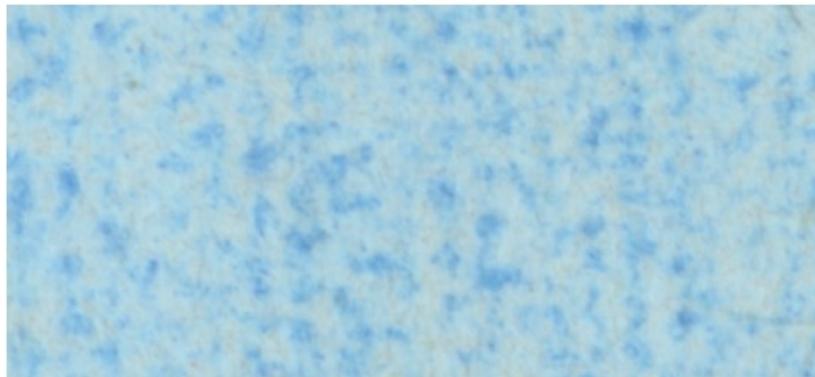
Wie bereits in Kapitel 4.2.3 beschrieben wurde, ist die Farbentfernung für die Durchführung der lokalen Modellierung im Industriedruck grundlegend. Jedoch wird bei diesem Tauchpenetrationstest das Papier unterschiedlichen äußeren Einflüssen ausgesetzt. Zum einen wird beim Tauchen in das Toluol-Farbgemisch das Papier gefeuchtet, bei der eigentlichen Farbentfernung mittels Wischen mit Tissue-Papier werden mechanische Kräfte auf das Papier aufgebracht und zum anderen muss abschließend das Papier wieder trocknen. Dabei hat Toluol den großen Vorteil, dass es eine unpolare Flüssigkeit ist, und deshalb die Fasern nicht zum Quellen bringt. Weiters verdampft es sehr schnell an der Luft, wodurch das Papier möglichst schnell wieder trocknet. Zur Untersuchung der hier beschriebenen Einflüsse auf die Struktur- und Oberflächeneigenschaften des Papiers wurde ein umfangreicher Versuch durchgeführt. Die Vorgehensweise und die Ergebnisse werden nachstehend vorgestellt.

Prüfbaueversuch: Vorher - Nachher Vergleich

Die Motivation des Prüfbaueversuches ist die Kontrolle, ob sich durch das Einwirken des Toluols und des Wischens mit dem Tissue die Papieroberfläche und die Papierstruktur verändert oder nicht. Diese Überprüfung ist für die nachfolgenden Arbeiten bei der lokalen Modellierung der Farbübertragung von höchster Wichtigkeit, da dieser Wischtest für die Messungen der Papiereigenschaften am „unbedruckten Papier“ maßgebend ist. Verändert sich durch diesen Wischtest das Papier zu stark, können keine Papiereigenschaften gemessen werden, welche das unbedruckte Papier beschreiben sollen. Dazu zählen die Druckfarbenpenetration, der Brechungsindex, der



(a) bedruckt



(b) gewischt

Abbildung 5.23 Darstellung einer im Heatset Web Offset bedruckten Fläche eines SC-A Papiers (a) und derselben Fläche nach dem Wischtest (b). Die an der Oberfläche befindliche Druckfarbe wurde entfernt, zurück bleibt nur mehr der Anteil der Druckfarbe, welcher in das Papier einpenetriert ist.

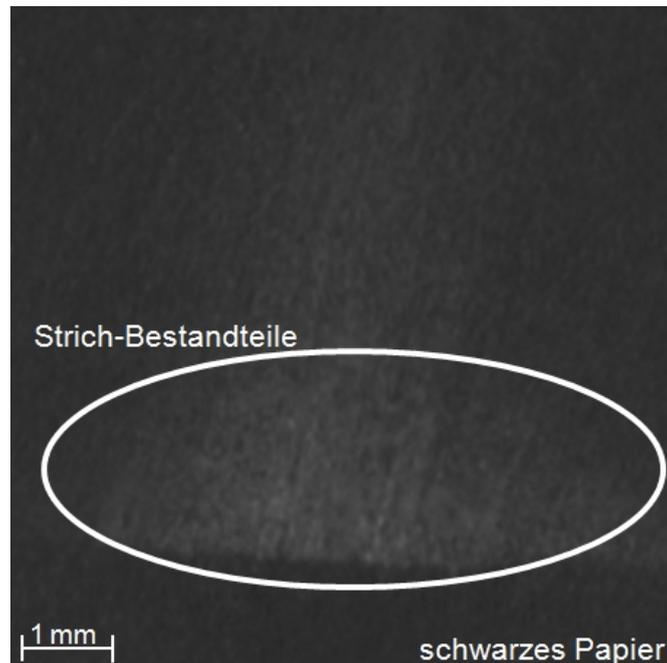


Abbildung 5.24 Die Abbildung zeigt, dass nach dem Wischtest Streichpigmente auf die schwarze Unterlage gelangt sind. Der Wischtest löst demnach nicht nur die Druckfarbe, sondern auch die Strichschicht an.

Glanz und die Topografie. Sollte dies also der Fall sein, kann nur mehr die Formation zur Erklärung des Druckbildes herangezogen werden und die gesamte Auswertungsroutine der lokalen Modellierung muss in Frage gestellt werden.

Problematik bei gestrichenen Papieren Der Prüfbauversuch an den gestrichenen Papieren konnte nicht durchgeführt werden, da durch den Tauchpenetrationstest nicht nur die Druckfarbe angelöst wird, sondern auch Bestandteile des Striches. Dies wurde durch einen einfachen Versuch sichtbar (Abbildung 5.24) gemacht. Es wurde ein gestrichenes LWC Papier auf ein schwarzes Papier gelegt und anschließend mit der Standard-Wischflüssigkeit behandelt. Am schwarzen Papier sind nach dem Wischvorgang deutlich weiße Stellen erkennbar, an denen Strichbestandteile vom Papier hin gewischt wurden. Das Papier wird also durch den Wischtest beschädigt. Das hat zur Folge, dass sich die Papieroberfläche zwischen dem bedruckten und dem gewischten Zustand deutlich verändert, sodass dieser Vorgang der Farbentfernung auf die gestrichenen Papiere nicht angewendet werden kann.

Prüfbauversuch an den ungestrichenen Papieren Für die Durchführung des Prüfbauversuches wurden 2 für den Heatset Web Offset Druck relevante ungestrichene SC Papiere ausgewählt. Jeweils ein SC-A und ein SC-B Papier stammen aus dem eigens für diese Dissertation angefertigten Probensatz pmc2009 (siehe Kapitel 6.1). Die

Papiere wurden für eine genaue Registrierung mittels eines rechteckigen Musters auf einer Fläche von 15 x 25 mm lasermarkiert.

Um nun zu erkennen, ob die Papieroberfläche und deren Struktur nach dem Tauchpenetrationstest unverändert bleiben, werden verschiedene Messungen an den Proben durchgeführt:

- Topografie und Auflicht-Aufnahme mittels IFM
- Glanz, Brechungsindex Makro- und Mikrorauigkeit mittels Surfoptic

Diese angeführten Messungen werden insgesamt dreimal an den markierten Proben durchgeführt:

1. im unbedruckten Zustand
2. nach dem Bedrucken mit dem Prüfbau Probedrucksystem (gewogener Andruck)
3. nach der Farbentfernung mit dem Tauchpenetrationstest

Anschließend werden die Messungen anhand der Lasermarkierungen registriert und mittels linearer Regression miteinander verglichen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei allerdings auf den Vergleich zwischen unbedruckter und gewischter Papierprobe, da ja Voraussetzung ist, dass das Papier nach dem Wischvorgang gegenüber dem unbedruckten Papier die Eigenschaften behält - die Oberfläche und Topografie der gewischten Probe soll der unbedruckten Fläche entsprechen. Die Formation wurde bei dieser Versuchsreihe nicht berücksichtigt, da bereits frühere Untersuchungen am Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik zeigten, dass die Formation durch den Wischtest nicht verändert oder beeinflusst wird. Durch den Wischtest bleibt nur die einpenetrierte Druckfarbe in der Papierstruktur erhalten, und die Pigmente dieser Druckfarbe sind so fein verteilt, dass sie damit keine Unterschiede in der Formation im Gegensatz zum unbedruckten Papier hervorrufen.

Ergebnisse des Vorher-Nachher-Vergleiches Folgend sollen ausgewählte Ergebnisse des Prüfbauversuches gezeigt und erläutert werden.

In Abbildung 5.25 sind zwei Topografiemessungen des SC-B Papiers gegenübergestellt. Das obere Bild (a) zeigt das unbedruckte, das untere (b) das Papier nach dem Tauchpenetrationstest. Die Messung mit dem IFM wurde bei einer Auflösung von 12,8 μm durchgeführt und für den Vergleich auf eine Modellierungsauflösung auf 254 μm (Sichtbarkeitsgrenze des menschlichen Auges) verkleinert. Bereits durch einen visuellen Vergleich lassen sich Zusammenhänge über weite Bereiche der zu untersuchenden Fläche erkennen, was sich durch ein R^2 von 0,70 durch die lineare Regression bestätigt. Dieser Wert erscheint bei genauerer Betrachtung als durchaus plausibel, worauf bereits zuvor in Kapitel 5.3.2 eingegangen wurde.

Papier	Glanz	Makrorauigkeit	Topografie
SC-A	0,58	0,82	0,60
SC-B	0,76	0,76	0,70

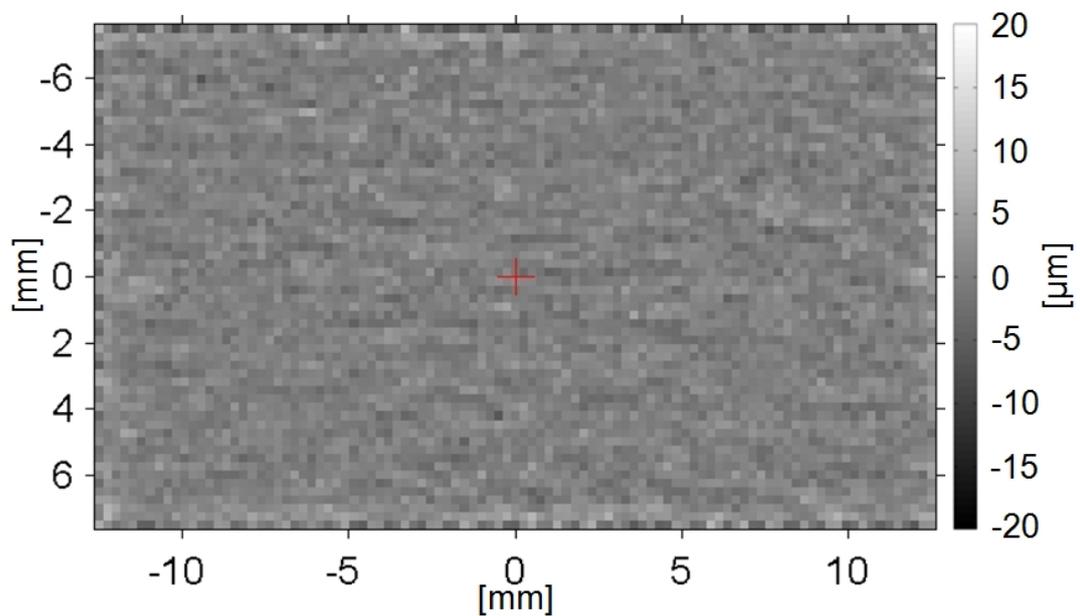
Tabelle 5.5 Die Tabelle zeigt eine Übersicht der Papiereigenschaften, welche im unbedruckten und gewischten Zustand eine gute Übereinstimmung (R^2) vorweisen. Beim SC-A Papier liegen die Werte zwischen 0,58 und 0,82, beim SC-B Papier befinden sich alle Werte um 0,75.

Vergleicht man die Werte der Übereinstimmung des Vorher-Nachher-Vergleiches nun mit dem R^2 der Messungen aus dem Wiederholbarkeitsversuch (Modellierungsauflösung $63,5 \mu m$ - bei einer Modellierungsauflösung von $254 \mu m$ wurden ähnliche Ergebnisse erzielt), so kann gesagt werden, dass der Wert für R^2 aus dem Prüfbauversuch, unter Einfluss der beiden Prozessschritte bedrucken und wischen, sehr hoch ist. Dies ist ein weiteres Indiz, dass das Toluol und der Wischvorgang die Papieroberfläche bei den ungestrichenen Papieren nicht verändert.

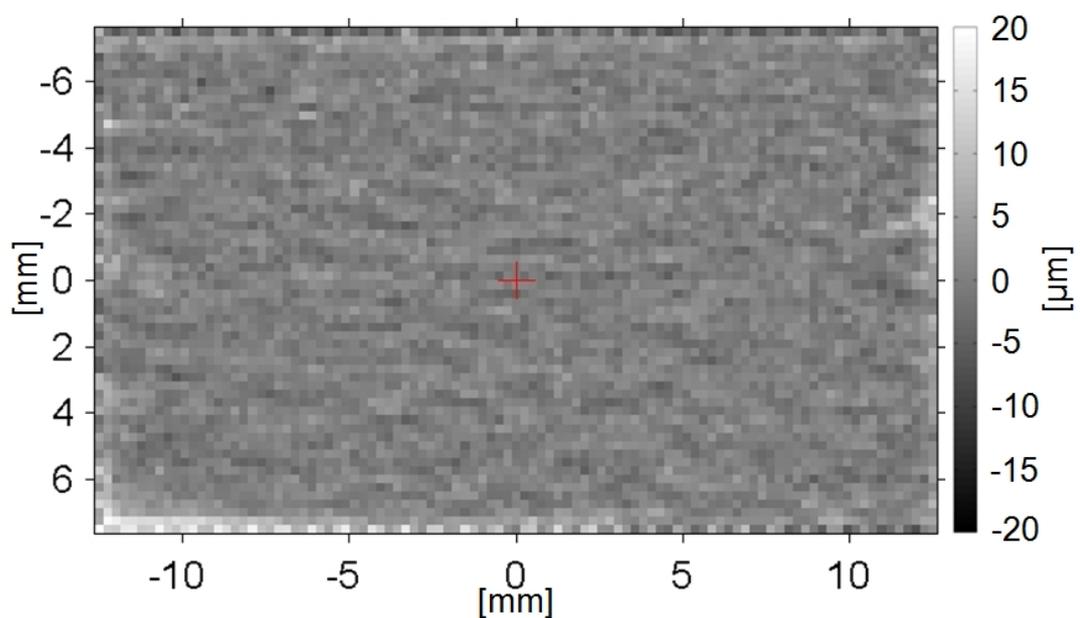
Eine weitere relevante Papiereigenschaft für den Vergleich vor und nach dem Tauchpenetrationstest ist der Glanz. Die beiden Messungen des SC-B Papiers sind in Abbildung 5.26 gegenübergestellt. Die Messung des Glanzes mit dem SOS erfolgt bei einer Auflösung von $50 \mu m$, die Modellierungsauflösung wurde gleich wie bei der Topografie auf $254 \mu m$ downgesampelt. Hier erscheinen die Übereinstimmungen der beiden Messungen aufgrund der ausgeprägten und großflächigen Strukturen noch deutlicher. Mittels der linearen Regression wird ein R^2 von 0,76 errechnet.

Nach den beispielhaft gezeigten Ergebnissen soll nun die gesamte Auswertung der Papiervergleiche im unbedruckten und gewischten Zustand behandelt werden (Tabelle 5.5). Die Auflistung zeigt nur Papiereigenschaften, welche auch eine deutliche Übereinstimmung zwischen den Messungen zeigen. Alle errechneten R^2 werden bei der von uns üblicherweise verwendeten Modellierungsauflösung von $254 \mu m$ errechnet. Aufgrund der vorhergehenden detaillierten Behandlung des SC-B Papiers soll hier mit diesem Papier fortgefahren werden. Alle drei markanten Papiereigenschaften Glanz, Makrorauigkeit und Topografie weisen beim Vergleich unbedruckt zu gewischt ein R^2 um 0,75 auf. Die Makrorauigkeit wird dabei im selben Schritt wie der Glanz mit dem SOS gemessen, die Topografiemessung erfolgt mit dem IFM. All diese Werte sind durchaus als hoch anzusehen, da zu bedenken ist, dass die Papieroberfläche mittels Toluol und mechanischer Kraft während des Tauchpenetrationstest beaufschlagt wurde. Beim SC-A Papier liegen die Werte der Übereinstimmung für den Glanz und die Topografie bei etwa 0,60, und sind damit etwas niedriger als beim SC-B Papier. Der Wert für die Makrorauigkeit liegt mit 0,82 jedoch etwas höher als beim SC-B Papier.

Die weiteren gemessenen Papiereigenschaften Brechungsindex und Mikrorauig-

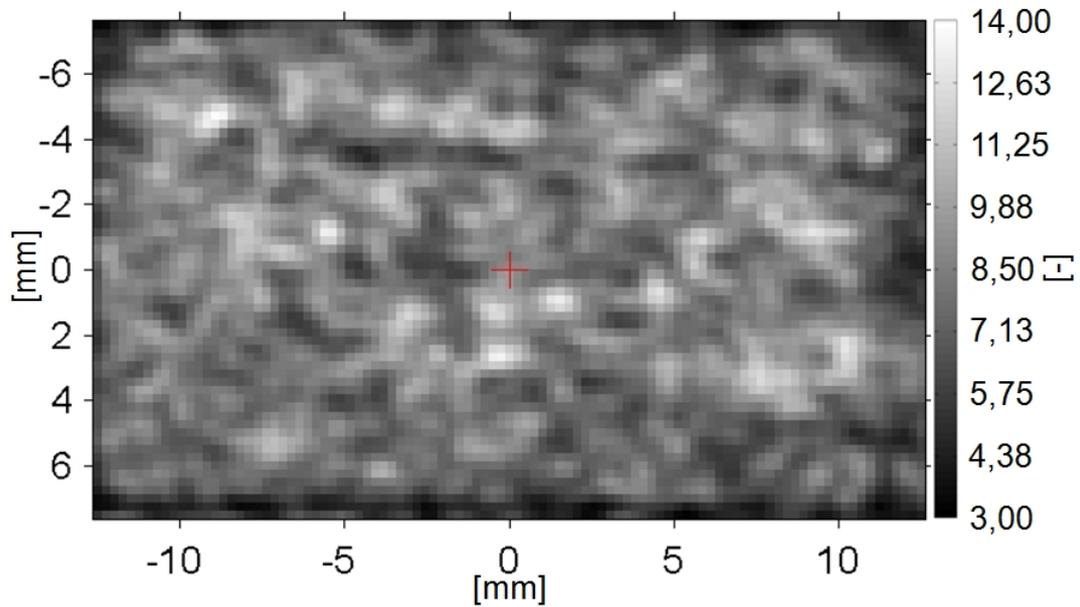


(a) Topografie unbedruckt

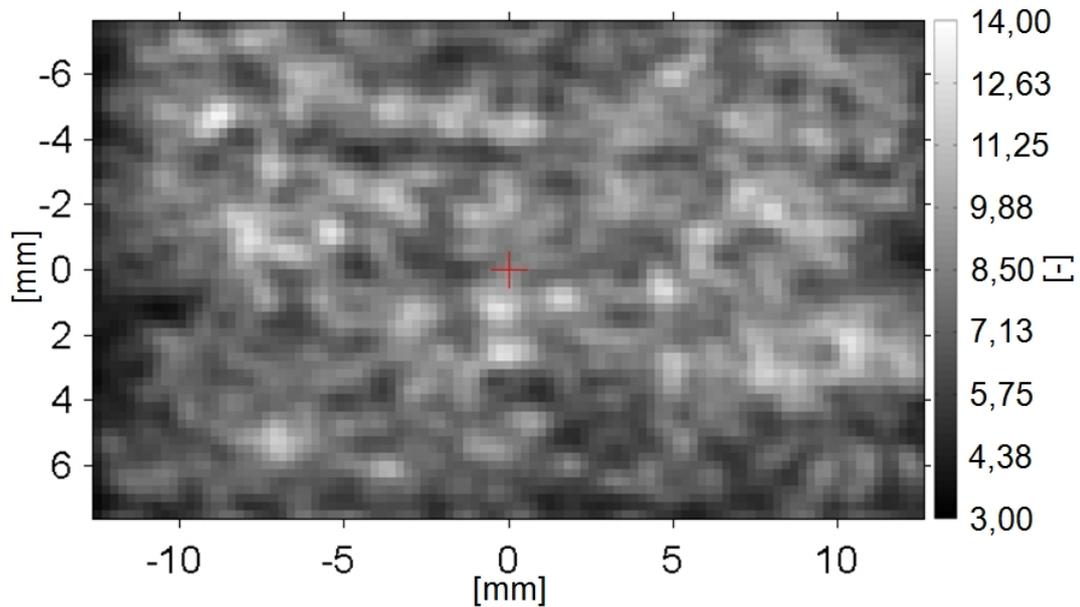


(b) Topografie gewischt

Abbildung 5.25 Bild (a) zeigt die Topografie eines unbedruckten SC-B Papiers, Bild (b) die gleiche Fläche nach dem Tauchpenetrationstest. Visuell lassen sich über weite Bereiche Übereinstimmungen der beiden Messungen erkennen, errechnet wird ein R^2 von 0,70.



(a) Glanz unbedruckt



(b) Glanz gewischt

Abbildung 5.26 Bild (a) zeigt die ortsaufgelöste Glanzmessung eines unbedruckten SC-B Papiers, Bild (b) die gleiche Fläche nach dem Tauchpenetrationstest. Aufgrund der ausgeprägten und großflächigen Strukturen ist hier eine visuelle Übereinstimmung der beiden Messungen erkennbar, errechnet wird ein R^2 von 0,76.

keit zeigen nur wenig Übereinstimmung vor und nach dem Wischtest. In der folgenden Zusammenfassung wird darauf noch detailliert eingegangen.

Zusammenfassung Papiereigenschaften mit Übereinstimmung Die Übereinstimmung der Topografie ist zufriedenstellend, da nach zwei oberflächenbeanspruchenden Prozessen (Drucken und Farbentfernung) noch immer ein befriedigendes R^2 erreicht wird. Auch der visuelle und optische Vergleich zeigt eine hohe Deckung. Der Glanz und die Makrorauigkeit weisen ebenfalls eine hohe Übereinstimmung vor dem Druck und nach dem Wischen auf. Bei der Auflichtaufnahme wird aufgrund der hohen Tiefenschärfe mehr Information über den Faserverbund als über die einpenetrierte Druckfarbe gesammelt, wodurch ebenfalls eine hohe Übereinstimmung errechnet wird.

Zusammenfassung Papiereigenschaften ohne Übereinstimmung Die Messungen der lokalen Papiereigenschaften Brechungsindex und Mikrorauigkeit mit dem SOS, die Bildgewinnung mittels Scanner und die diffuse Aufnahme der Papiere mit dem IFM zeigen sowohl beim SC-A als auch beim SC-B Papier keine Übereinstimmungen. Die Ergebnisse dazu sind in Tabelle 5.6 angeführt.

Bei den Messungen der Mikrorauigkeit und des Brechungsindex kann nur geringe oder keine Übereinstimmung im unbedruckten und gewischten Zustand erzielt werden. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass die einpenetrierten Farbpigmente die Papieroberfläche in einer sehr kleinen Größenordnung beeinflussen (Poren im μm -Bereich), in welchem diese beiden Papiereigenschaften empfindlichere Messwerte liefern als Glanz, Makrorauigkeit oder Topografie. Dies führt beim Brechungsindex dazu, dass die einpenetrierte Druckfarbe in den Poren und im Faserverbund zu einem geänderten Materialmix führt, wodurch sich wiederum zum unbedruckten Papier ein unterschiedlichen Brechungsindex ergibt. Es lässt sich weiters daraus schließen, dass die Papieroberfläche zwar zu einem gewissen Teil verändert wird, dies jedoch in einer Größenordnung passiert, welche für diese Untersuchungen nicht ausschlaggebend ist.

Ein weiterer Grund für die schlechten Ergebnisse beim Vergleich der Mikrorauigkeit liegt mit Sicherheit auch darin, dass die Wiederholbarkeit dieses Messparameters nicht gegeben ist (siehe dazu Kapitel 5.2.2).

Die Aufnahmen der Papiere im unbedruckten und gewischten Zustand mit dem Scanner und bei diffuser Beleuchtung mit dem IFM haben keine Übereinstimmung ergeben, was zum einen an der geringen Auflösung als auch an der Tatsache liegen kann, dass hauptsächlich die Farbinformation der Papierproben gemessen wird. Durch den Tauchpenetrationstest bleibt die in das Papier einpenetrierte Druckfarbe nach dem Wischen erhalten, wodurch das Papier an bestimmten Stellen gefärbt ist. Wird nun eine unbedruckte mit einer gewischten Probe verglichen, so erscheint die unbedruckte Fläche weiß und die gewischte Papierprobe bläulich eingefärbt (stärkere Penetration) mit weißen unbedruckten Stellen (geringe bis keine Penetration).

Papier	Brechungsindex	Mikrorauigkeit	Scanner	Diffuse Aufnahme
SC-A	0,02	0,02	0,01	0,00
SC-B	0,08	0,04	0,05	0,01

Tabelle 5.6 Die Tabelle zeigt eine Übersicht der Papiereigenschaften, welche im unbedruckten und gewischten Zustand nur eine geringe oder keine Übereinstimmung (R^2) vorweisen.

Werden diese Bilder anschließend aufeinander modelliert, ergibt sich wenig Übereinstimmung.

Fazit zum Prüfbauversuch Die oben besprochenen Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass durch das Einwirken des Toluols und der mechanischen Belastung durch das Wischen mit Tissue nur eine unerhebliche Veränderungen der Papierstruktur- und Oberfläche eintritt. Der Tauchpenetrationstest ist zur Erarbeitung der Druckfarbenpenetration im Zuge der lokale Modellierung der Farbübertragung anwendbar und liefert stimmige Ergebnisse.

5.5.3 Farbentfernung beim Offsetdruck

Die Entwicklung des Tauchpenetrationstest zur Sichtbarmachung der Druckfarbenpenetration wurde für den Tiefdruck entwickelt [ENZI ET AL., 2004]. Bei diesen Arbeiten wurden immer Voll- oder Halbtöne in schwarzer Farbe gedruckt, wodurch die Auswahl des Farbzusatzes der Wischflüssigkeit auch auf schwarze Tiefdruckfarbe fiel. Bei den farblich unterschiedlich bedruckten Flächen (Abbildung 5.27), welche folglich für die lokale Modellierung der Farbübertragung im Offsetdruck behandelt werden, kann dies jedoch nicht von vornherein eindeutig entschieden werden. Aus diesem Grund wurde mit den folgenden Versuchen geklärt, welcher Farbzusatz zur Wischfarbe bei allen Farbflächen die Druckfarbenpenetration am besten darstellt. Dazu werden alle vier unterschiedlichen Farbflächen - zusätzlich zum Toluol - mit den Farbzusätzen Gelb, Cyan und Schwarz dem Tauchpenetrationstest unterzogen und anschließend eingescannt. Die Zusammensetzung der Wischfarbe besteht dabei aus 70% Toluol und 30% Druckfarbe. Die Druckfarben sind handelsübliche Heatset Web Offset Farben, welche uns von SUN CHEMICAL⁶ sowie der DRUCKEREI LEYKAM⁷ zur Verfügung gestellt wurden. Die Auswertung erfolgte daraufhin mit einem Strukturanalyse-Tool (kurz SAT-Tool), welches seit längerer Zeit am Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik intern genutzt wird. Als zufriedenstellendes Ergebnis der Analyse mit dem SAT-Tool wird erwartet, dass nach dem Wischen die Papierstruktur maßgebend ist (zum Beispiel eine periodische Siebmarkierung), und nicht die Texturen des Druckes.

⁶Sun Chemical Ltd., Wexham Springs (Großbritannien). www.sunchemical.com

⁷Leykam Druck GmbH & Co KG, Graz (Österreich). www.leykamletsprint.com

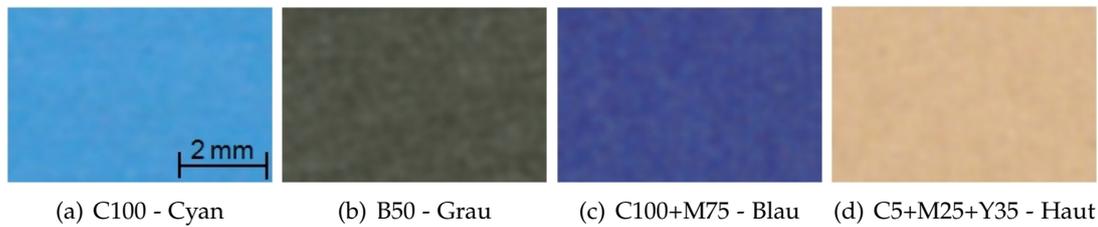


Abbildung 5.27 Für die oben dargestellten Farbflächen soll der Farbzusatz für die Wischflüssigkeit des Tauchpenetrationstest für die lokale Modellierung der Farbübertragung festgelegt werden.

Weiters sollen sich die Kurven des Ergebnis-Plots der unterschiedlichen Farbflächen eines Papiers in etwa gleichen.

Ergebnisse der Tauchpenetrationstests mit unterschiedlichen Wischfarben

Folgend sollen die Ergebnisse der Tauchpenetrationstests mit den unterschiedlichen Wischfarben diskutiert werden. Untersucht wurde ein SC-A Papier (P7), bei der Wischfarbe ändert sich nur der Farbzusatz, die Rezeptur bleibt unverändert.

Wischfarbe Gelb und Cyan Diese beiden Wischfarben bringen nicht das geforderte Ergebnisse. Beispielhaft dafür ist der Strukturanalyse-Plot der gelben Wischfarbe in Abbildung 5.28 dargestellt. Die x-Achse des Diagramms gibt die Wellenlänge des Filters an, auf der y-Achse ist der Kontrast der Strukturgröße bei bestimmter Wellenlänge aufgetragen. Das Papier P7 hat eine starke Siebmarkierung von der Erzeugung, welche durch mehr (Lila) oder weniger (Haut) intensive Peaks von der Strukturanalyse auch erfasst wurden, jedoch sollten diese Peaks eher gleich stark ausgeprägt sein. Demnach ist es mit der gelben Wischfarbe nicht möglich, bei allen Farbflächen die Papierstruktur in gleichen Maßen herauszuarbeiten. Der gleiche Schluss lässt sich auch für die Wischfarbe Cyan fällen, wobei hier die Streuung der Ergebnisse etwas geringer war. Abschließend lässt sich sagen, dass sich diese beiden Wischfarben nicht für die Darstellung der Druckfarbenpenetration bei unterschiedlich bedruckten Flächen im Offsetdruck eignen.

Wischfarbe Schwarz Das Ergebnis des Versuches mit der schwarzen Wischfarbe brachte abschließend das erwartete Ergebnis. Die Druckfarbenpenetration der vier getesteten Farbflächen des SC-A Papiers P7 nach dem Tauchpenetrationstest ist in Abbildung 5.29 dargestellt. Die Flächen erscheinen sehr ähnlich und auch die Siebmarkierung des Papiers ist in allen Farbflächen erkennbar. Der dazugehörige Strukturanalyse-Plot ist in Abbildung 5.30 dargestellt. Die x-Achse des Diagramms gibt wieder die Wellenlänge des Filters an, auf der y-Achse ist der Kontrast der Strukturgröße bei bestimmter Wellenlänge aufgetragen. Eine sehr eindeutige Überdeckung

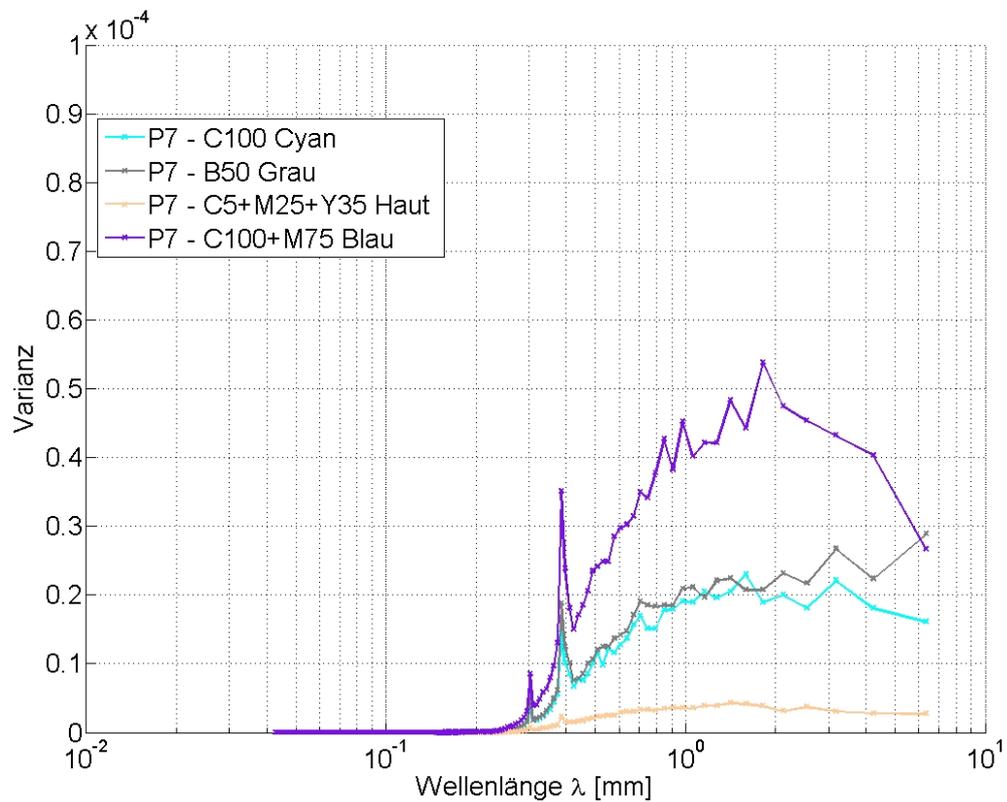


Abbildung 5.28 Darstellung des Ergebnisplot des SAT-Tools für den Tauchpenetrationstest mit der gelber Wischfarbe anhand des Papier P7. Auf der x-Achse ist die Wellenlänge des Filters aufgetragen, auf der y-Achse die Energie der Strukturgröße bei bestimmter Wellenlänge. Die Kurven unterscheiden sich stark, der Peak aus der Siebmarkierung ist bei der im Hutton bedruckten Fläche nur andeutungsweise erkennbar.

der unterschiedlichen Farbflächen ist bis zu einer Wellenlänge von etwa 0,7 mm feststellbar, darüber hinaus streuen die Kurven stärker. Das Papier zeigt zwei sehr deutliche Peaks bei den Wellenlängen 0,3 und 0,4 mm, welche auch von der Intensität her über alle Farbflächen annähernd gleich ausgeprägt sind. Genau so ein Ergebnis wurde erwartet, wenn die gewählte Wischfarbe für den Tauchpenetrationstest bei verschiedenen Farbflächen geeignet sein soll. Das Strukturanalyse-Tool erfasst eindeutig die Papierstruktur mit der Siebmarkierung. Vergleicht man nun die beiden Plots der gelben Wischfarbe (Abbildung 5.28) mit der schwarzen Wischfarbe (Abbildung 5.29), so ist deutlich zu erkennen, dass die Streuung der Kurven deutlich geringer ist.

Aufgrund der hier behandelten Tatsachen, liefert die schwarze Wischfarbe das beste Ergebnis nach dem Tauchpenetrationstest und erscheint als das geeignete Mittel für die Darstellung der Druckfarbenpenetration.

Zusammenfassung Auswahl der Wischfarbe Die schwarze Wischfarbe zeigt hauptsächlich die Papierstruktur. Die Peaks beim SC-A Papier P7 sind deutlich ausgeprägt und unterscheiden sich nur unmerklich in der Intensität. Die Farbflächen mit hohem Farbauftrag gruppieren sich ähnlich wie die Farbfläche mit niedrigem Farbauftrag. Demnach eignet sich die schwarze Wischfarbe am besten für die Darstellung der Druckfarbenpenetration bei den unterschiedlichen Offset-Druckflächen, was durch die Strukturanalyse bestätigt wird.

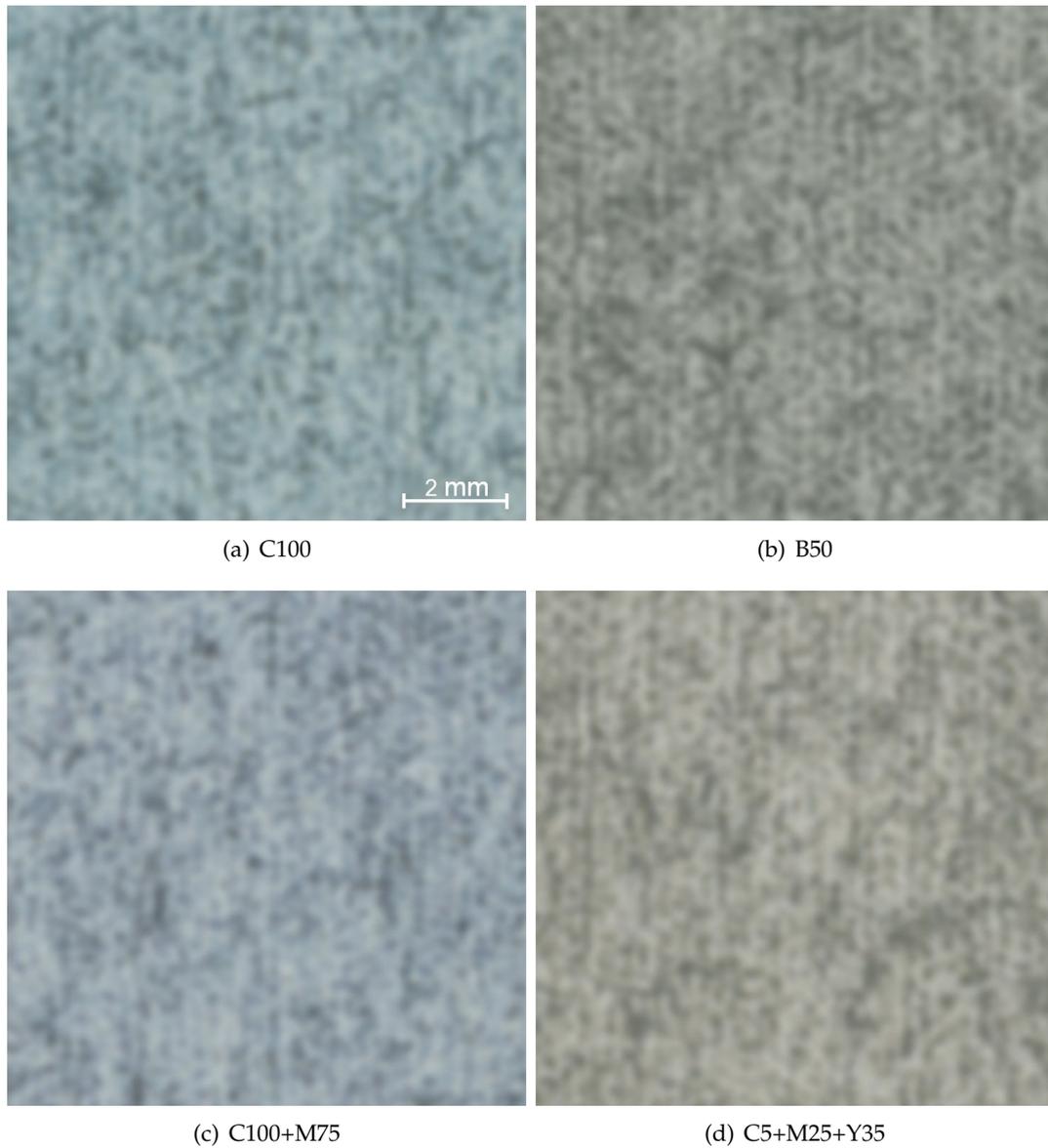


Abbildung 5.29 Darstellung der vier Farbflächen des SC-A Papiers P7 nach dem Tauchpenetrationstest mit schwarzer Wischfarbe. Die Druckfarbenpenetration erscheint bei allen Flächen ähnlich, ebenso ist die Siebmarkierung bei allen erkennbar. Die Papierstruktur überwiegt die Druckstruktur.

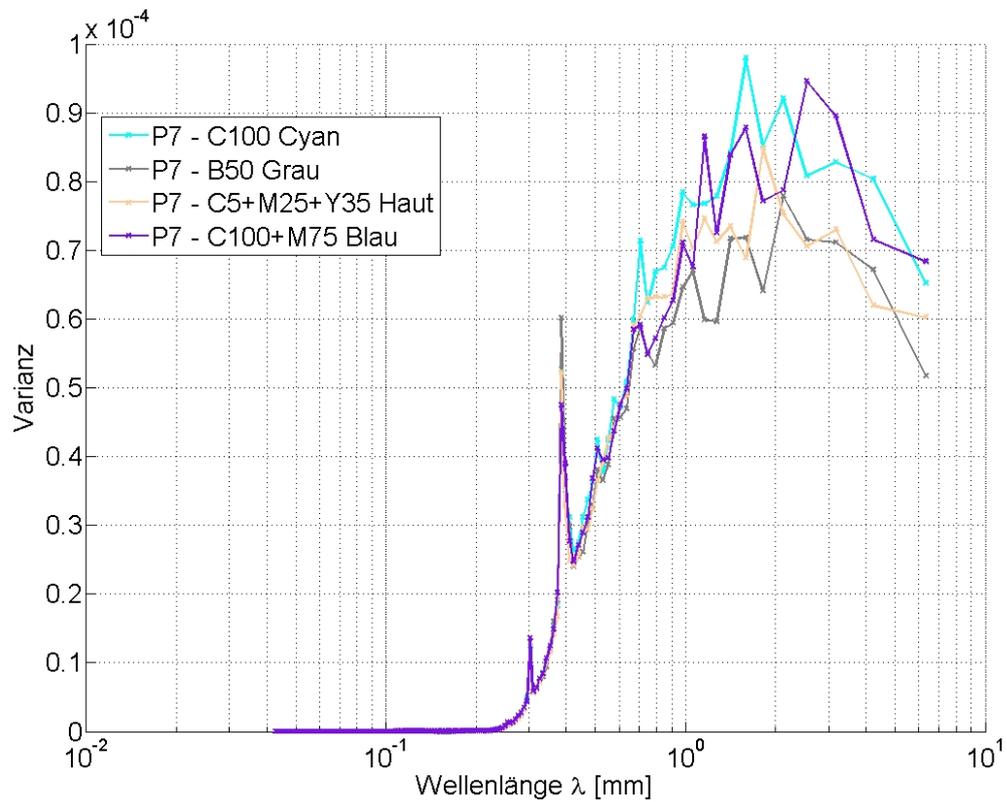


Abbildung 5.30 Darstellung des Ergebnisplot des SAT-Tools für den Tauchpenetrationstest mit der schwarzen Wischfarbe. Auf der x-Achse ist die Wellenlänge des Filters aufgetragen, auf der y-Achse die Energie der Strukturgröße bei bestimmter Wellenlänge. Das P7 zeigt zwei einheitlich intensive Peaks, welche eindeutig von der Papierstruktur und der Siebmarkierung kommen. Die Streuung der Kurven ist gering, und die beiden Papiere lassen sich eindeutig unterscheiden.

Probenmaterial

Für die Durchführung der lokalen Modellierung am Heatset Web Offset Druck wurde ein umfangreicher industrieller Druckversuch durchgeführt. Anschließend wurde mit Hilfe einer groß angelegten visuellen Beurteilung mittels Paarvergleich eine Rangfolge nach der Druckqualität erstellt. Die daraus resultierende Reihung der Papiere dient als Standard-Reihenfolge zur Papierauswahl für alle weiteren zu untersuchenden Teil-Probensätzen.

Soll-Farbdichten	SC-Papiere	andere Papiere
Schwarz	1,70	1,70
Cyan	1,25	1,40
Magenta	1,20	1,20
Gelb	1,15	1,25

Tabelle 6.1 Werte für die Ziel-Farbdichten beim Druckversuch.

6.1 Heatset Web Offset Druckversuch

Im Zuge des Forschungsprojektes „Modellierung der Farbübertragung aus lokalen Papiereigenschaften“ wurde im März 2009 ein Heatset Web Offset Druckversuch durchgeführt. Da die OMYA AG¹ (Projektteilnehmer) eine langjährige erfolgreiche Kooperation mit der Druckerei PMC² hält, wurde diese auch für den Druckversuch ausgewählt. Die Fokussierung dieses Druckversuches wurde dabei auf LWC- und SC-Papiere gelegt. Begleitend sollen auf Wunsch anderer Projektteilnehmer aber auch WFC- und Dünndruckpapiere verdruckt werden. Gedruckt wurde auf einer Heatset Web Offset Presse vom Typ KBA COMPACTA C215³ mit 5 Druckwerken. Der Druckspalt besteht bei dieser Maschine aus zwei Gummi-Zylindern. Die Druckmaschine wurde mit den von der Druckerei empfohlenen Standardeinstellungen betrieben, lediglich die Farbdichtewerte wurden für die geforderten Bedürfnisse abgeändert und sind in Tabelle 6.1 angeführt. Für die ungestrichenen Papiere wurden Farben vom Typ „Revolution“ des Herstellers STEHLIN + HOSTAG⁴ verwendet. Bei den gestrichenen Papieren kamen Farben des Typs „HS Pulsar Standard“ der Firma SUN CHEMICAL⁵ zum Einsatz. Das Feuchtwasser beinhaltete kein Isopropanol und als Feuchtmittelzusatz wurde „Fount H-2003“ der Firma BÖTTCHER⁶ verwendet.

6.1.1 Papiere

Insgesamt wurden 15 Papiere der verschiedenen Hersteller und Projektteilnehmer bedruckt. Folgend sind die Papiere in Tabelle 6.2 nach den Sorten aufgelistet, in welcher Reihenfolge sie auch verdruckt wurden. Nach den ungestrichenen Papieren wurde die Druckmaschine gereinigt und auf einen Farbtyp für gestrichene Papiere umgestellt. Die Papiere können durch die Codierung der Namen in den später gezeigten Auswertungen nicht dem Hersteller zugeordnet werden.

¹Omya AG, Oftringen (Schweiz). www.omya.com

²print media corporation, Oetwil am See (Schweiz). www.pmcoetwil.ch

³Koenig & Bauer Aktiengesellschaft, Würzburg (Deutschland). www.kba.com

⁴Stehlin + Hostag AG, Lachen (Schweiz). www.stehlinhostag.ch

⁵Sun Chemical AG, Geroldswil (Schweiz). www.sunchemical.com

⁶Felix Böttcher GmbH & Co. KG, Köln (Deutschland). www.boettcher.de

Bezeichnung	Papiersorte	Flächengewicht
SCA7	SC-A+	56 g/m ²
SCA15	SC-A+	57 g/m ²
SCA13	SC-A+	56 g/m ²
SCB1	SC-B	55 g/m ²
SCB6	SC-B	55 g/m ²
SCB9	SC-B	52 g/m ²
DD	4 x Dünndruck	60 g/m ²
LWC16	LWC matt	60 g/m ²
LWC3	LWC matt	60 g/m ²
LWC16	LWC matt	60 g/m ²
LWC10	LWC glänzend	60 g/m ²
LWC14	LWC glänzend	60 g/m ²
WFC5	WFC glänzend	90 g/m ²

Tabelle 6.2 Auflistung der Papiersorten in der Druck-Reihenfolge.

6.1.2 Drucksujet

In Abbildung 6.1, 6.2 und 6.3 ist das eigens für diesen Druckversuch entworfenen Sujet dargestellt. Es wurde in Zusammenarbeit mit OMYA entwickelt und entspricht vollständig den gestellten Anforderungen. Es wurden hauptsächlich Flächen gedruckt, welche zur Untersuchung des Druckverhaltens in Bezug auf Mottling dienen. Dazu kamen auch Felder mit zwei oder mehr übereinander druckenden Farbwerken für die Untersuchung des Backtrap Mottling, und unterschiedliche Rasterdruckflächen in verschiedenen Tonwertstufen für die Ermittlung von Midtone Mottle. Um eine problemlose Einstellung der Druckmaschine sicherzustellen, wurden auch Farbkeile zur Regulierung der Farbdichten und Testbilder für den optischen Gesamteindruck des bedruckten Bogens angebracht. Ein weiteres Augenmerk wurde darauf gelegt, dass die bedruckten Flächen im Schöndruck auf der Widerdruckseite unbedruckt sind und umgekehrt. Nur so kann sichergestellt werden, dass bei den unterschiedlichen Messungen der Papiereigenschaften keine Effekte durch den Widerdruck hervorgerufen werden. Dieses Vorgehen ist etwas fern der Praxis, für die Grundlagenforschung zur Herkunft des Druckbildes aber legitim.

6.2 Visuelle Beurteilung

Der gewonnene Probensatz „pmc2009“ wird für alle weiteren Untersuchungen im Zuge der hier gezeigten Arbeiten verwendet, und wurde deshalb zu Beginn einer visuellen Beurteilung mittels Paarvergleichs unterzogen. Dadurch kann der gesamten Probensatz in eine Rangfolge basierend auf den Druckqualitäten eingeteilt werden. Die Bewertung der Papiere wurde unter Normlicht D65 durchgeführt.



Abbildung 6.1 Druck-Sujet für den Heatset Web Offset Druckversuch

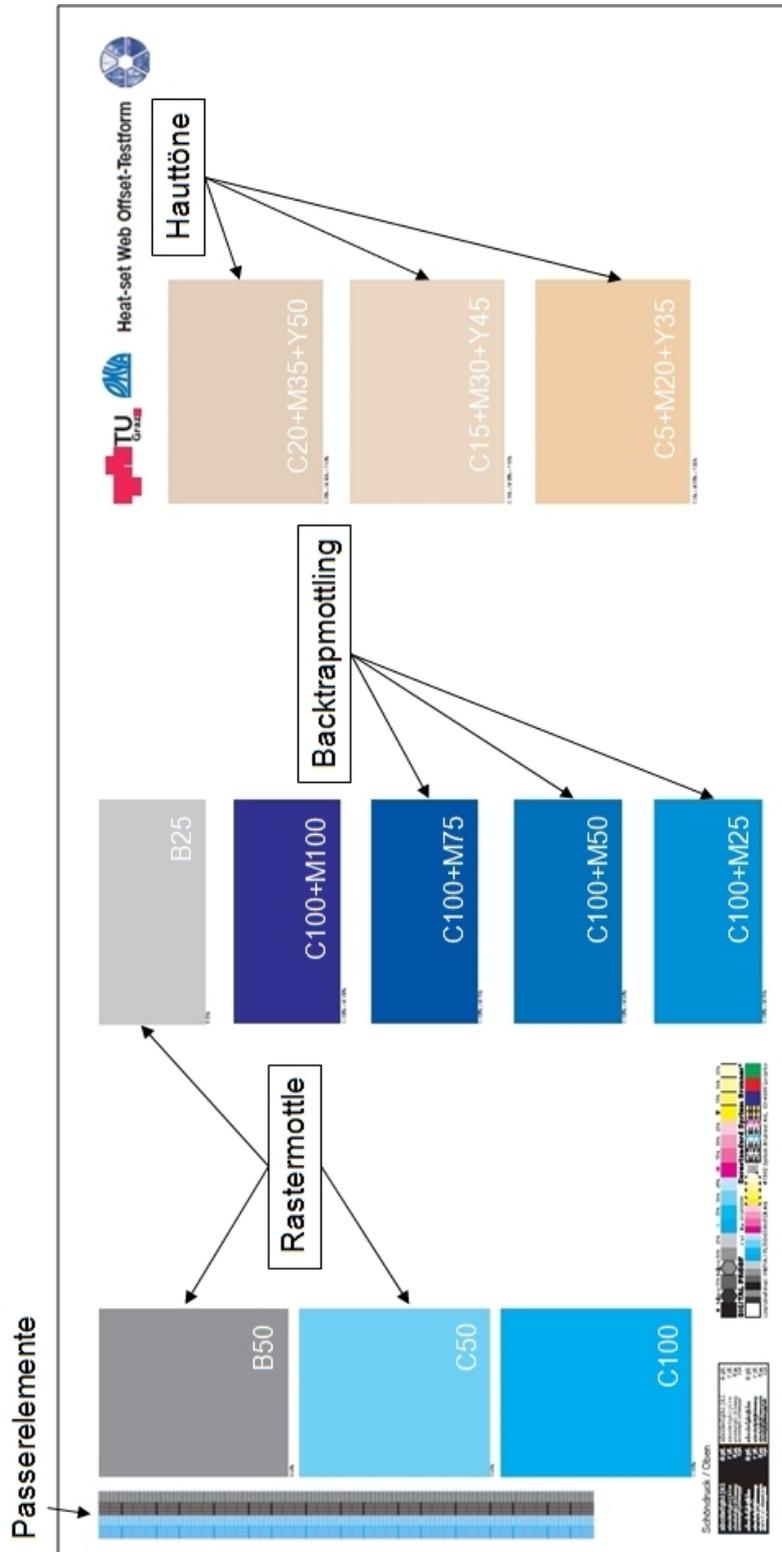


Abbildung 6.2 Detaillierte Darstellung der oberen Hälfte des Druck-Sujets inklusive der CMYK-Werte und Zweck der einzelnen Farbflächen.

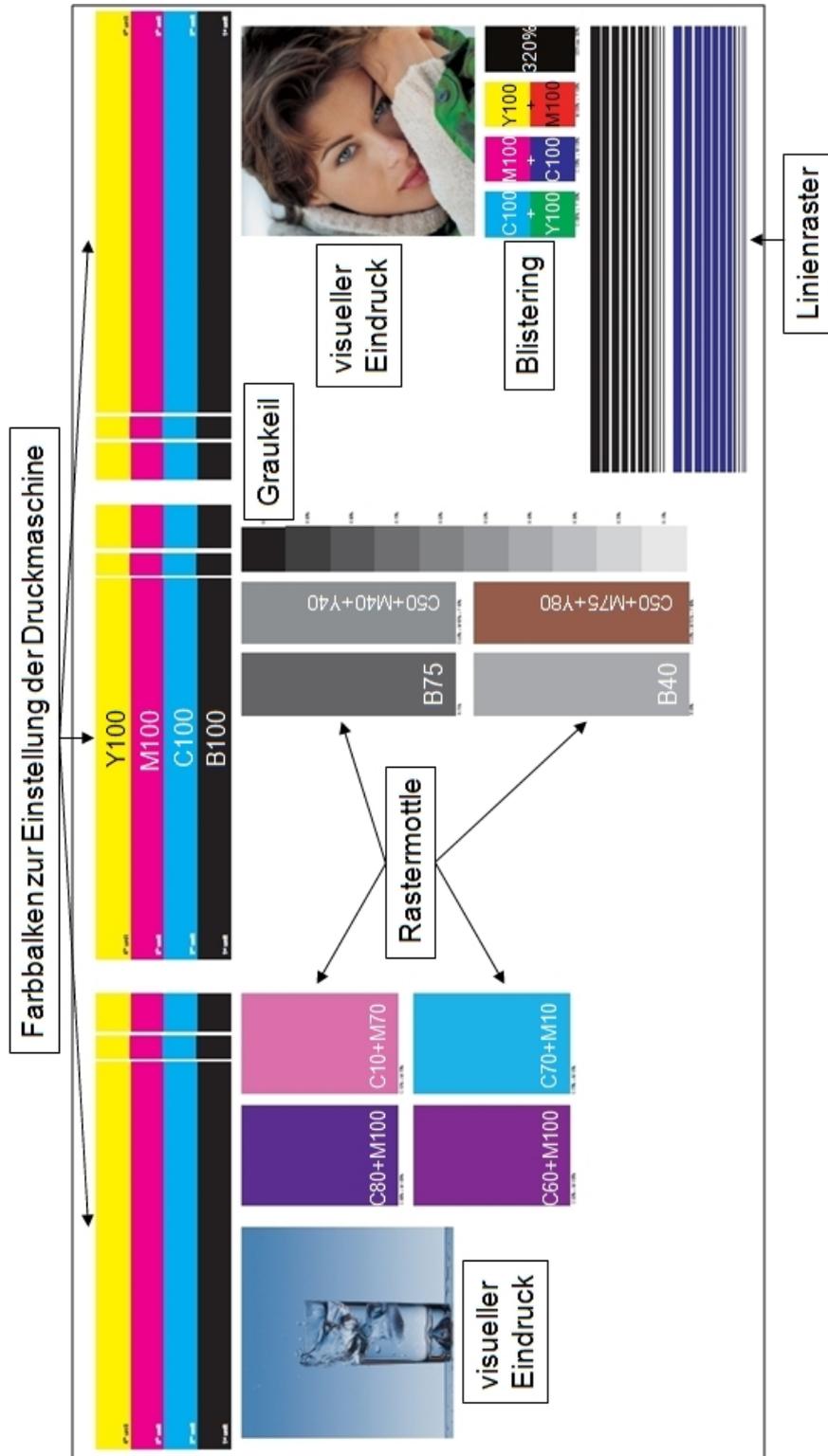


Abbildung 6.3 Detaillierte Darstellung der unteren Hälfte des Druck-Sujets inklusive der CMYK-Werte und Zweck der einzelnen Farbflächen.

Die Dünndruckpapiere wurden vorweg aus dem Paarvergleich ausgenommen, da ein über alle Bereiche sehr schlechtes Druckbild vorherrschte. Bei den Vollflächen entstand das schlechte Druckbild hauptsächlich durch das starke Rupfen der Dünndruckpapiers im Druckspalt, was auch am Aufbau am Gummi-Zylinder beobachtet werden konnte. In den Rastertönen und feinen Linien war das Auftreten von Fehlstellen etwas geringer und wurde durch die sehr unruhige Topografie hervorgerufen.

6.2.1 Methode des paarweisen Vergleiches

Die Methode des Paarvergleichs ist eine einfache Vergleichsmethode zur visuellen Beurteilung, bei der einzelne Objekte, in diesem Fall Probedrucke, paarweise miteinander verglichen werden [CHAREZA ET AL., 1985]. Der große Vorteil des Paarvergleiches liegt darin, dass nicht nur eine Rangliste erstellt werden kann, sondern auch Qualitätsabstände zwischen den einzelnen Papieren errechnet werden können. Die Kontrolle der Urteile der Beobachter erfolgen dabei durch statistische Tests, wodurch das Gesamtergebnis der Beurteilungen verifiziert werden kann. Ein weiterer Vorteil dieser Methode liegt darin, dass nur geringe Ansprüche an die Fachkompetenz der Beurteiler gestellt werden, es können auch Laien in den Beurteilerkreis aufgenommen werden. Dabei ist jedoch auf die einzelnen Urteilskonsistenzen zu achten, und bei Bedarf soll die Anzahl der Testpersonen erhöht werden. Die Methodik der visuellen Beurteilung mittels Paarvergleich wird im Anhang A beschrieben, hier folgen ausschließlich die erhaltenen Ergebnisse.

6.2.2 Ergebnisse der visuellen Beurteilung am Probensatz pmc2009

Insgesamt werden 11 Proben miteinander verglichen:

- eine Serie mit 5 Proben aus der Papierqualität LWC/WFC
- eine Serie mit 6 Proben aus der Papierqualität SC
- eine Serie mit allen 11 Proben über beide Papierqualitäten

Die Papierproben wurden von 20 Mitarbeiter des Institutes für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik beurteilt (sowohl Fachpersonal als auch Laien) und folgende Ergebnisse werden aus den Urteilen abgeleitet:

- eine Rangliste der jeweils zu vergleichenden Proben
- die Urteilskonsistenz aller Beobachter über die einzelnen Beurteilungen
- der PV-Index

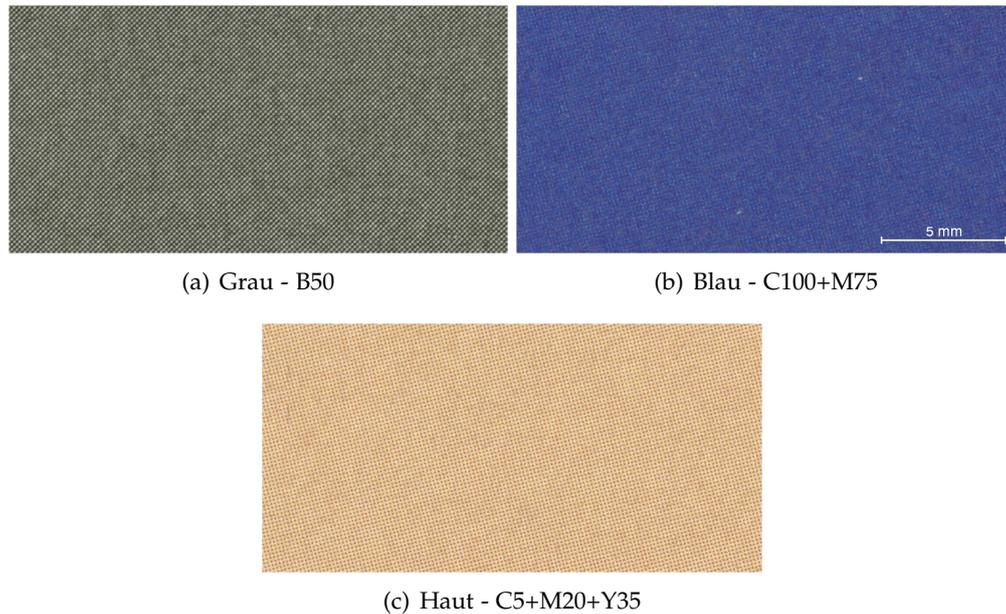


Abbildung 6.4 Die drei zu vergleichenden Farbflächen und ihre genaue Bezeichnungen nach der Farbzusammensetzung.

Aussage der Urteilkonsistenz Die Urteilkonsistenz über alle Beurteilungen erreichte einen Wert von $0,738 \pm 0,185$. Dies ist der berechnete Mittelwert von 20 Beobachtern mit jeweils 9 Serien, was insgesamt 180 Urteilkonsistenzen ergibt. Dieser Wert ist überdurchschnittlich hoch im Vergleich mit anderen Urteilkonsistenzen aus Paarvergleichen, welche am IPZ durchgeführt wurden. [CHAREZA ET AL., 1985] stellten hierzu fest, dass bei einer Urteilkonsistenz von 0,75 die Wahrscheinlichkeit, dass die Beobachter ihre Urteile nicht dem Zufall überlassen, größer als 99% ist.

Definition der zu vergleichenden Farbflächen In Abbildung 6.4 sind die 3 zu vergleichenden Farbflächen dargestellt:

- Grau → B50 (Raster-Mottle, Halbton)
- Blau → C100+M75 (Backtrap-Mottle)
- Haut → C5+M20+Y35 (Raster-Mottle, Hautton)

Bewertung der ungestrichenen SC-Papiere

Da für die gesamte lokale Modellierung der Farbübertragung im Heatset Web Offset Druck nur die ungestrichenen Papiere herangezogen werden können, wird hier auch nur das Ergebnis der visuellen Beurteilung dieser SC-Papiere detailliert gezeigt.

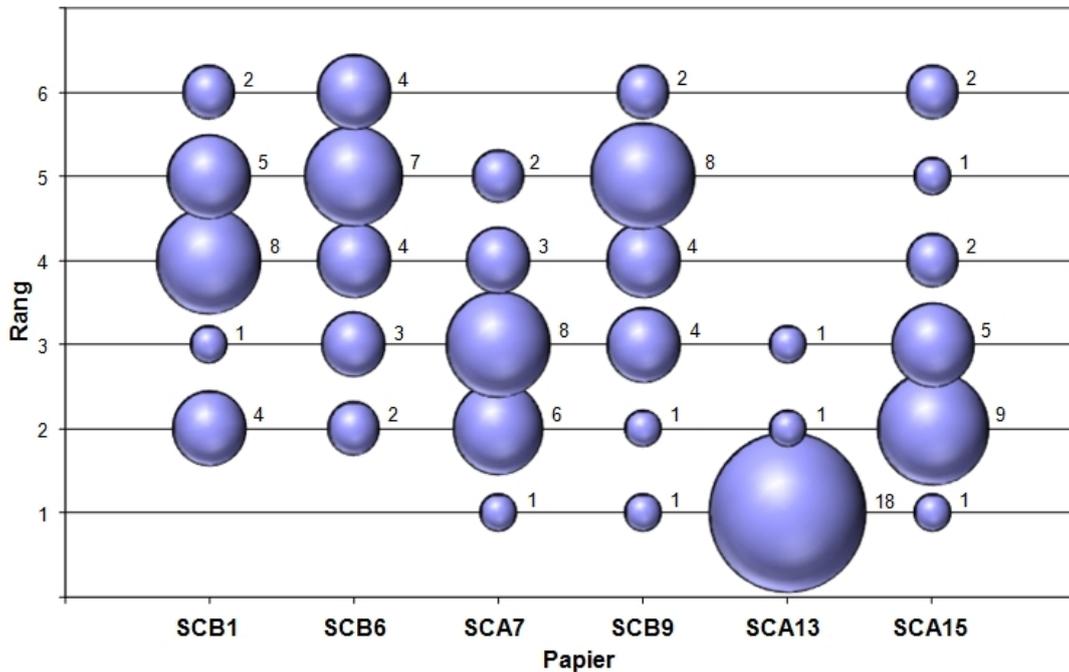


Abbildung 6.5 Blasendiagramm für die blaue Farbfläche der SC-Papiere. Auf der x-Achse sind die Bezeichnungen der Papiere aufgelistet, die y-Achse zeigt die Ränge von unten (Rang 1) nach oben (Rang 6). Die Größe der Blasen geben dabei die Anzahl an, wie oft ein Papier auf diesen Rang gewertete wurde.

An den gestrichenen Papieren funktioniert die Methode der lokalen Modellierung im Heatset Web Offset Druck nicht, da an diesen Papieren die Druckfarbe nicht ohne Beschädigung der Papieroberfläche entfernt werden kann, und so auch keine Papierreigenschaften am gewischten Papier gemessen werden können (siehe dazu Kapitel 5.5.2).

Blasendiagramm - SC-Papiere Farbton Blau In Abbildung 6.5 ist ein Blasendiagramm für die SC-Papiere für den blauen Farbton dargestellt. Auf der x-Achse sind die Bezeichnungen der Papiere zu finden, auf der y-Achse sind die Ränge von unten (1. Rang) nach oben (6. Rang) aufgetragen. Die Größe der Blasen geben dabei die Werte an, wie oft ein Papier auf einen bestimmten Rang gewertet wurde. Die Papiere sind in dieser Darstellung noch nicht nach der Rangfolge geordnet.

SCA13 ist mit einer Anzahl von 18 Bewertungen auf Platz 1 am Besten einzustufen. Auch die Streuung ist bei diesem Papier gering, sie umfasst lediglich die Plätze 1 bis 3. Auf Rang 2 der Wertung findet sich das Papier SCA15, bei dem jedoch bereits eine starke Streuung der Urteile auftritt. Es wurde sowohl auf Platz 1 als auch auf den letzten Platz gereiht. Bei SCB6 und SCB9 lässt sich nach den ersten Auswertungen keine Entscheidung fällen, welches Papier am Schlechtesten bewertet wurde.

Rangfolge & PV-Index - SC-Papiere Farbton Blau Abbildung 6.6 zeigt die Rangfolge und den PV-Index für die SC-Papiere für den blauen Farbton in einem Diagramm. Auf der x-Achse ist die Bezeichnung der Papiere bereits nach der bewerteten Rangfolge angeordnet. Auf der linken y-Achse ist zum einen der PV-Index und auf der rechten y-Achse zum anderen die Rangfolge aufgetragen.

Das Papier SCA13 wurde am Besten bewertet, das Papier SCB6 am Schlechtesten. Korrespondierend dazu ist nun die cyan-farbene Linie, welche die Rangfolge der Papiere wiedergibt, in das Diagramm eingezeichnet und stellt eine Gerade dar. Aufgrund dieser Linie sind die Abstände zwischen den Papieren und deren Qualitäten alle gleich. Es liegt immer genau ein Platz dazwischen.

Hier tritt nun die Nützlichkeit des PV-Index in Erscheinung. Der PV-Index ist blau-strichliert eingezeichnet und die Richtung dieser Linie geht von links oben nach recht unten, da ja das am Besten bewertete Papier den höchsten und das am Schlechtesten bewertete Papier den niedrigsten PV-Index besitzt. Im Gegensatz zu der Linie mit den Rangfolgen sind jedoch die Abstände zwischen den Papieren im PV-Index nicht mehr gleich. So beträgt der Abstand zwischen SCA13 (Rang 1) und SC15 (Rang 2) in etwa 70 Punkte, die Papiere SCA15 (Rang 2) und SCA7 (Rang 3) liegen beinahe auf einer Waagerechten, der Unterschied beträgt lediglich 2-3 Punkte.

Durch diese Darstellung lässt sich erkennen, das zum Beispiel die Papiere SCA15 und SCA7 zwar durch einen Rang getrennt sind, der eigentliche Unterschied aufgrund des PV-Indexes ist jedoch fast nicht vorhanden. Ähnliches kann über die 3 SCB-Papiere am Ende der Rangfolge gesagt werden. Der Unterschied zwischen denen liegt nur bei ca. 5 Punkten, und es kann festgestellt werden, dass diese Papiere annähernd gleich schlecht bewertet wurden.

Der PV-Index ermöglicht eine genauere Unterscheidung der Papiere und macht den Paarvergleich aufgrund der errechneten Zahlenwerte zu einem visuellen Messverfahren. Die zusätzlich eingezeichnete rot-strichlierte Linie gibt die mittlere Qualität der untersuchten Probenserie wieder (PV-Index bei 100). Daher ist erkennbar, dass diese Linie des mittleren PV-Index den Probensatz in 2 Hälften aufteilt.

Gesamtbewertung - SC-Papiere In Abbildung 6.7 ist nun die Gesamtbewertung für die SC-Papiere über alle drei Farbflächen dargestellt. Auf der x-Achse sind die Papier bezeichnet und bereits nach der Rangfolge geordnet, wie sie auf der y-Achse aufgetragen sind. Die Farben der Kugeln geben den Rang in der gewählten Farbfläche an.

Hier lässt sich keine eindeutige Reihung der ersten 3 Papiere festlegen. Jedes Papier belegt jeweils mit einer unterschiedlichen Farbfläche die Plätze 1 bis 3. Bei den 3 schlechteren Papieren ist die Unterscheidung einfacher. SCB6 belegte in zwei Farbflächen den letzten Rang.

Die gesamte Rangfolge der SC-Papiere wurde abschließend anhand des blauen

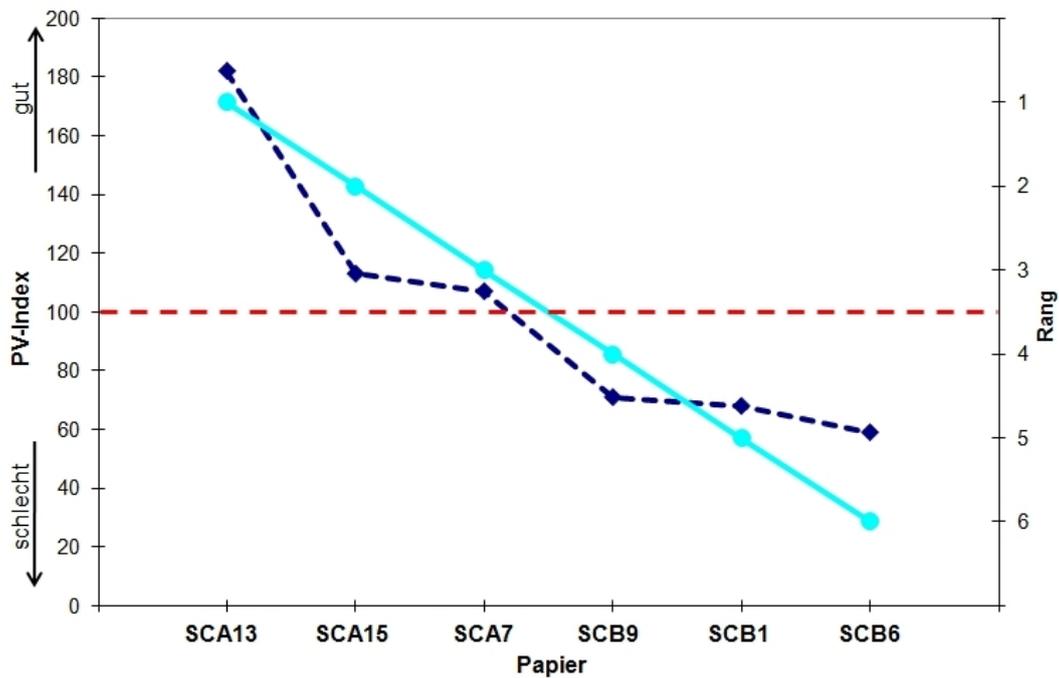


Abbildung 6.6 Rangfolge & PV-Index der bewerteten Probenserie für die SC-Papiere im Farbton Blau. Auf der x-Achse sind die Papiere aufgetragen und bereits nach der bewerteten Reihenfolge aufgelistet. Die linke y-Achse zeigt den PV-Index und die rechte y-Achse gibt die Rangfolge wieder. Die cyan-farbene Gerade bezieht sich auf die Rangfolge (rechte y-Achse) und die dunkelblaue strichlierte Linie auf den PV-Index (rechte y-Achse). Die rot strichlierte Gerade gibt die mittlere Qualität der untersuchten Probenserie an.

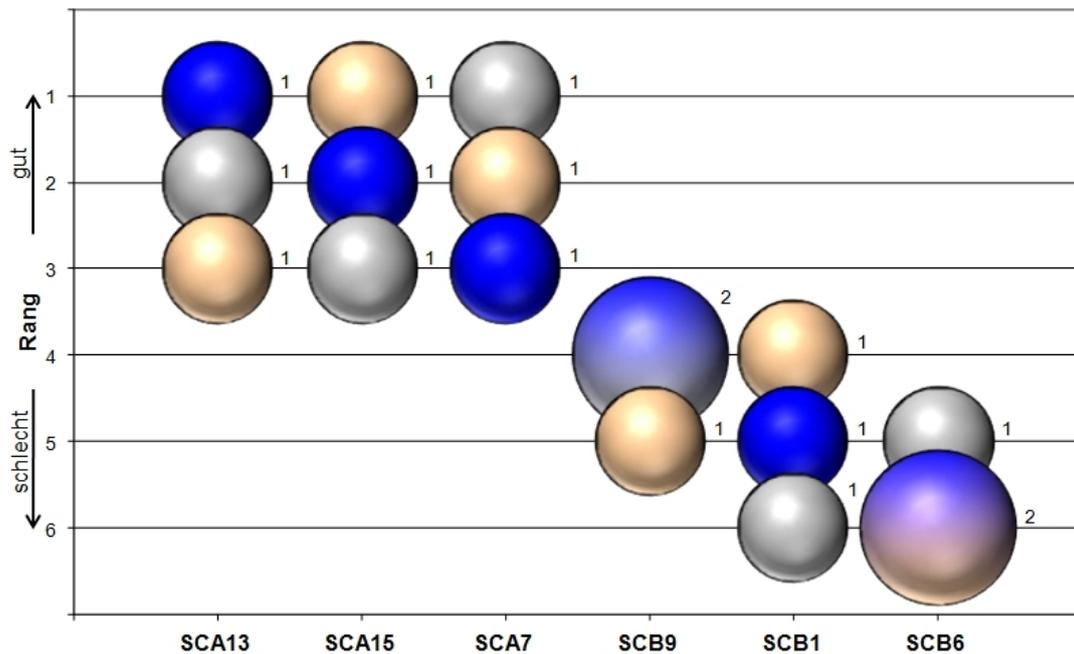


Abbildung 6.7 Gesamtbewertung der SC-Papiere über alle drei Farbflächen. Auf der x-Achse sind die Papiere bezeichnet und bereits nach der Rangfolge geordnet, wie sie auf der y-Achse aufgetragen sind. Die Farbe der Kugeln geben den Rang in der gewählten Farbfläche an.

Farbfeldes festgelegt, da dieses Feld am anfälligsten auf wolkgigen Ausdruck ist, und das aussagekräftigste Ergebnis liefert.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die ungestrichenen Papiere durch den visuellen Paarvergleich deutlich in die Qualitäten SC-A und SC-B aufgeteilt werden.

Zusammenfassung über die visuelle Bewertung mittels paarweisen Vergleich

- Aufgrund des statistisch berechneten PV-Index lässt sich nicht nur eine Rangfolge erstellen, sondern auch Qualitätsunterschiede lassen sich für jede beurteilte Fläche aufzeigen.
- Es wurde ein aussagekräftiges Ergebnis aufgrund der vielen Beobachter erzielt.
- Die Urteilkonsistenz von 0,738 kann als sehr hoch eingestuft werden und lässt das Ergebnis der Beurteilung glaubwürdig erscheinen.
- Obwohl der Paarvergleich für die Beurteilung eines Probensatzes eine sehr zuverlässige Methode darstellt, muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Aufwand für diesen Vergleich sehr hoch ist (Paarvergleich durch alle Personen + Auswertung).

- Es muss damit gerechnet werden, dass sich bei vielen Beobachtern auch ein höhere Streuung zwischen den einzelnen Beurteilungen einstellen kann.
- Die visuelle Beurteilung zeigt, dass die Papiere in den verschiedenen Farbfeldern unterschiedlich bewertet werden. Im Vollton Cyan ist SCA13 am besten bewertet, im Grauton das SCA7 und im Hautton das SCA15. Demnach ist eine aussagekräftige Bewertung eines Probensatzes nicht anhand einzelner Farbflächen zu fällen, sondern muss auf die Gesamtheit des zu Beurteilenden Druckes gelegt werden.

6.2.3 Vergleich der Beurteilung mit externen Beobachtern

Parallel zur visuellen Beurteilung mittels dem paarweisen Vergleich am Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik wurden auch Probensätze an drei Papierlieferanten des Druckversuches gesandt. Diese führten die visuelle Bewertung des Probensatzes nach deren Standards durch. Die Ergebnisse dieser nun vier Bewertungen sind in Abbildung 6.8 anhand eines Blasendiagrammes dargestellt. Als Basis wurde die Bewertung des IPZ (Rot) herangezogen, wodurch auch die Rangfolge der Papiere bestimmt wurde. Hinzu kommen nun die Ergebnisse der Bewerter 2 (Blau), 3 (Grün) und 4 (Gelb). Vergleicht man nun die Bewertung des IPZ mit Bewerter 2, so decken sich die Ränge der Papiere von 1 bis 4, die Papiere SCB9 und SCB1 werden jedoch besser bewertet. Die Bewertungen von Beobachter 3 und 4 bewegen sich um die Rangfolge des IPZ, wobei sich Bewerter 4 vor allem bei den Papieren SCA13 und SCB9 weiter von der Basis entfernt.

Trotz der Streuung der Beurteilungen bei dem einen oder anderen Papier wird die Rangfolge des IPZ weiterhin als Basis verwendet. Der Vergleich zeigt gut, dass sich auch Spezialisten von unterschiedlichen Firmen bei der Bewertung des Druckbildes nicht immer einig sind. Jedoch kann auch gesagt werden, dass sich niemand komplett mit seiner Beurteilung von den anderen abhebt, wodurch diesem Ergebnis hohe Bedeutung geschenkt werden kann.

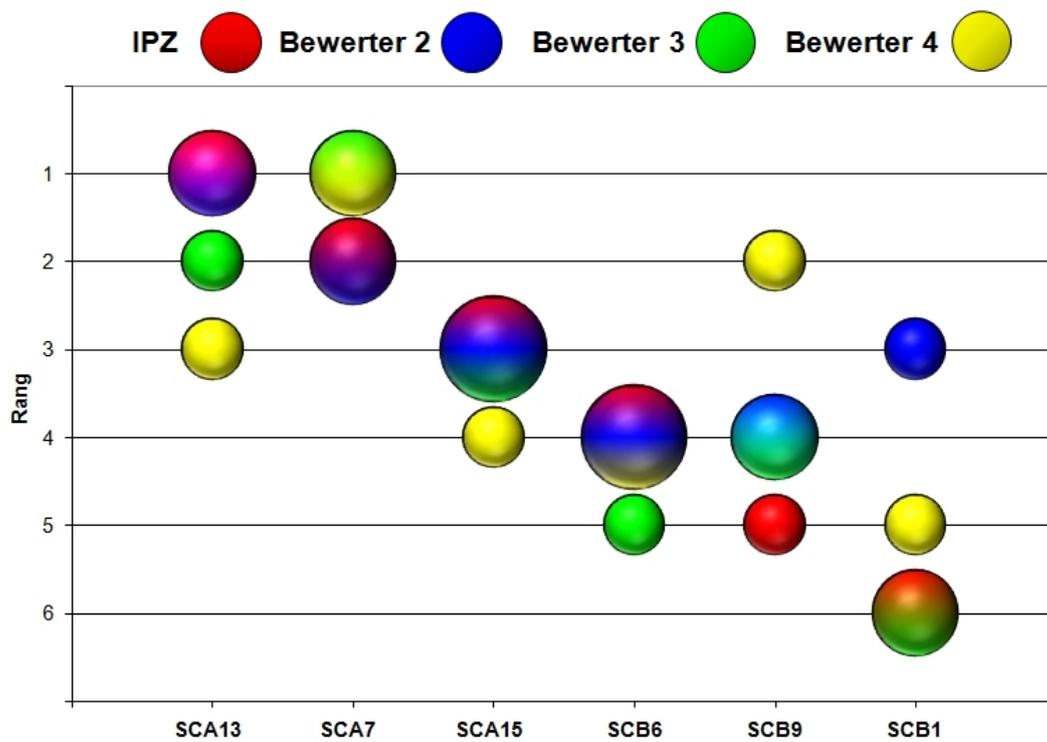


Abbildung 6.8 Zusammenfassung des Beurteilungsergebnisses des Institut für Papier-, Zellstoff und Fasertechnik und drei externen Beobachtern aus der Papierindustrie.

Ergebnisse der lokalen Modellierung

In diesem Kapitel wird die detaillierte und umfangreiche Auswertung der lokalen Modellierung der Farbübertragung anhand eines industriellen Heatset Web Offset Druckversuches, eines Prüfbau Labordruckes sowie eines 2-Farben Bogenoffset Druckes gezeigt und diskutiert. Zur Überprüfung der erhaltenen Modelle wurden weiters die Wechselwirkungen zwischen den erklärenden Papiereigenschaften abseits der Druckqualität untersucht. Ein Vergleich der Ergebnisse zwischen den unterschiedlichen Drucken rundet das Kapitel ab.

7.1 Heatset Web Offset Druck

Die Vorgehensweise der lokalen Modellierung im Heatset Web Offset Druck wurde bereits in Kapitel 4.2 ausführlich behandelt. Weiters zeigt Kapitel 5.5, dass die Farbentfernung im Offsetdruck zur Erlangung der Druckfarbenpenetration bei den ungestrichenen Papieren funktioniert. Ebenfalls wurde die Wahl des Farbzusatzes zur Wischfarbe entschieden. Der schwarze Farbzusatz erreicht demnach das zuverlässigste Ergebnis bei der Darstellung der Druckfarbenpenetration. Basierend auf diesen Ausführungen soll nun die lokale Modellierung der Farbübertragung im Heatset Web Offset Druck durchgeführt werden.

Für die Durchführung der lokalen Modellierung wurde aus dem gesamten Probensatz pmc2009 (Kapitel 6.1) ein gesonderter Probensatz entnommen. Dieser beinhaltet alle ungestrichenen Papiere (drei SC-A und drei SC-B Papiere von unterschiedlichen Herstellern) in den Grammaturen zwischen 55 und 57 g/m^2 . Die Rangliste aus dem visuellen Paarvergleich, welcher die Druckqualität dieser Papiere beurteilt, ist dem Kapitel 6.2 zu entnehmen. Demnach unterteilt sich die Druckqualität in jeweils ein gutes, ein Mittel und ein schlecht druckendes Papier der Sorten SC-A und SC-B. Zur Markierung der Papierproben wurde ein Klebeband-Fenster mit einer Größe von 15 x 25 mm angebracht, da zu diesem Zeitpunkt des Arbeitsfortschritts die Lasermarkierung noch nicht ausgereift beziehungsweise nur sehr teuer verfügbar war. Der dadurch hervorgerufene etwas größere Registrierungsfehler verändert die Ergebnisse jedoch nicht erheblich. Die in diesem Versuch behandelten Farbflächen wurden bereits in Abbildung 5.27 dargestellt, hier soll der Vollständigkeit halber nochmals die Farbzusammensetzung der einzelnen Flächen angeführt werden:

- Cyan → C100 (Vollton, nicht in Paarvergleich enthalten)
- Grau → B50 (Raster-Mottle, Halbton)
- Blau → C100+M75 (Backtrap-Mottle)
- Haut → C5+M20+Y35 (Raster-Mottle, oft schlecht druckender Hautton)

Als Zielvariable für die lokale Modellierung wird der Scan des Druckbildes verwendet. Die durch den Scan erhaltene lokale Lichtremission wird bei einer Pixelgröße von 21,2 μm gemessen. Nach der Gewinnung der Zielvariable werden die Papierproben dem Tauchpenetrationstest mit schwarzer Wischfarbe unterzogen. Diese Farbentfernung ermöglicht die Messung der Papiereigenschaften im „gewischten“ unbedruckten Zustand (unter der Druckfarbe) und macht auch die Druckfarbenpenetration sichtbar. Die erklärenden Variablen für die lokale Modellierung werden nun an den gewischten Papieren gemessen und sind in Tabelle 7.1 aufgelistet.

Nach der Datengewinnung werden die gewonnenen Bilder anhand der Fenstermarkierung registriert und anschließend auf eine einheitliche Pixelgröße von 254 μm

Variable	Auflösung	Messsystem
Formation	50 μm	β -Radiografie
Druckfarbenpenetration	21,2 μm	Scanner
Glanz	200 μm	Surfoptic Imaging Reflectometer
Brechungsindex	200 μm	Surfoptic Imaging Reflectometer
Topografie	12,8 μm	Infinte Focus Measurement

Tabelle 7.1 Auflistung der erklärenden Variablen für die lokale Modellierung der Farbübertragung Heatset Web Offset Druck. Gemessen werden diese an den gewischten Papierproben nach dem Tauchpenetrationstest.

down-gesampelt. Abschließend wird an dem Probensatz die lokale Modellierung mittels multipler linearer Regressionsanalyse durchgeführt. Der daraus resultierende Ergebnisplot wurde bereits in Kapitel 4.2.2 ausführlich erklärt.

7.1.1 Problematik bei gestrichenen Papieren

Die lokale Modellierung an den gestrichenen Papieren konnte nicht in dieser Art durchgeführt werden, dass die Modelle eindeutige Ergebnisse liefern. Hauptgrund dafür ist das Fehlen von erklärenden Papiereigenschaften.

Grund dafür ist die Tatsache, dass durch den Tauchpenetrationstest nicht nur die Druckfarbe angelöst wird, sondern auch Bestandteile des Striches (Kapitel 5.5.2, wodurch die Papieroberfläche verändert beziehungsweise beschädigt wird. Das hat zur Folge, dass die Messung der erklärenden Papiereigenschaften am „unbedruckten“ Papier nicht durchgeführt werden kann und bis auf die Formation keine Papiereigenschaften für die Modellierung des Druckbildes übrig bleiben.

7.1.2 Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden Kapitel sollen die Ergebnisse der lokalen Modellierung der Farbübertragung für die ausgewerteten SC-A und SC-B Papiere diskutiert werden. Die Plots und Zusammenhänge der einzelnen Farbflächen sollen vorerst anhand des Papiers SCB9 - hierbei handelt es sich um eine schlechtere Druckqualität - genauer erklärt werden (Abbildung 7.1).

Die Diagramme zeigen jeweils auf der x-Achse die erklärenden Variablen Auf der linken y-Achse ist der Wert des R^2 abzulesen, die rechte y-Achse bewertet die Koeffizienten der Prädiktoren. Im Teilbild (a) ist der Ergebnisplot der Volltonfläche Cyan dargestellt. An diesem ist zu erkennen, dass alle erklärenden Variablen gemeinsam ein R^2 von etwa 0,22 erzielen (rote Linie). Dabei hat die β -Formation den höchsten Erklärungsteil, deren exklusiver Anteil gegenüber den anderen Variablen ebenfalls sehr hoch und maßgebend ist. Die Druckfarbenpenetration hat ebenfalls noch einen maßgebenden Anteil an der Höhe des R^2 , der exklusive Anteil ist jedoch der Beta-

Formation deutlich untergeordnet. Der exklusive Anteil der Variablen Brechungsindex und Topografie ist sehr klein, und trägt deshalb kaum zum gesamten R^2 bei. Die Variable Glanz zeigt keinen Zusammenhang mit der Zielvariable.

Werden nun die Vorzeichen der Koeffizienten bei den beiden maßgebenden Papiereigenschaften beobachtet, so gibt ein positives Vorzeichen wie im Falle der Formation an, dass bei dunkleren Stellen im Formationsbild (höhere flächenbezogene Masse) auch ein dunklerer Druckpunkt zu erwarten ist. Den umgekehrten Effekt repräsentiert das negative Vorzeichen bei der Druckfarbenpenetration. Zeigt das Bild der Druckfarbenpenetration einen dunklere Stelle am Papier (mehr einpenetrierte Druckfarbe), ist ein hellerer Druckpunkt zu erwarten.

Die graue Farbfläche (b) mit 50% Farbauftrag zeigt gegenüber dem Cyan-Druck ein etwas unterschiedliches Bild. Das gesamte R^2 liegt bei etwa 0,42. Hier sind zwei Variablen nahezu gleichwertig maßgebend für die Höhe des R^2 , nämlich die Beta-Formation und die Druckfarbenpenetration. Die Vorzeichen verhalten sich dabei gleich wie im Cyan-Vollton. Die restlichen drei Variablen Brechungsindex, Glanz und Topografie zeigen keinen Zusammenhang mit dem Druckbild. Vergleicht man nun die beiden Plots von Cyan und Grau kann festgestellt werden, dass das R^2 im Vollton deutlich geringer ist als im grauen Halbton. Demnach wird der Druck in Cyan durch Eigenschaften beeinflusst, welche in diesem Modell nicht erfasst werden. Beim Grauton hingegen haben die gemessenen Papiereigenschaften deutlich mehr Erklärkraft am Druckergebnis.

Die blaue Farbfläche mit einem Farbauftrag von insgesamt 175% besitzt ein etwas geringeres R^2 als Grau. Hier ist zu bedenken, dass nach dem 100% Cyan Vollton nochmals 75% Magenta auf den Vollton aufgedruckt werden. Das R^2 dieses Farbtons liegt nahe an dem des grauen Halbtons und gleicht sich auch nach den gleichwertig beeinflussenden Papiereigenschaften Formation und Druckfarbenpenetration sowie den Vorzeichen der Koeffizienten. Das kann damit zu tun haben, dass durch die lokale Modellierung der Farbübertragung vermehrt der Rasterton der Farbe Magenta als der Cyan-Vollton erfasst wird. Der Erklärkraftanteil des Brechungsindex ist den anderen beiden stark untergeordnet. Glanz und Topografie zeigen keine Übereinstimmung mit dem Druckbild und wären vernachlässigbar.

Der Rasterton Haut mit einem Farbauftrag von insgesamt 60% weist in etwa ein gleiches R^2 wie der graue Halbton auf, was bei in etwa gleicher Farbauftragsmenge plausibel ist. Im Hautton ist die Beta-Formation beinahe für den gesamten Erklärkraftanteil verantwortlich, das Vorzeichen des Koeffizienten ist wie bei den anderen Modellen positiv. Druckfarbenpenetration, Brechungsindex und Glanz haben zwar wenn sie alleine das Modell beschreiben einen markanten Erklärkraftanteil, der exklusive Anteil ist jedoch bei allen drei Variablen vernachlässigbar klein. Die Topografie zeigt wieder keine Übereinstimmung mit der Zielvariable.

Um zu zeigen, dass die Ergebnisse nachvollziehbar sind, wurden alle Untersuchungen zur Kontrolle an Doppelproben durchgeführt. Die Gegenüberstellung einer

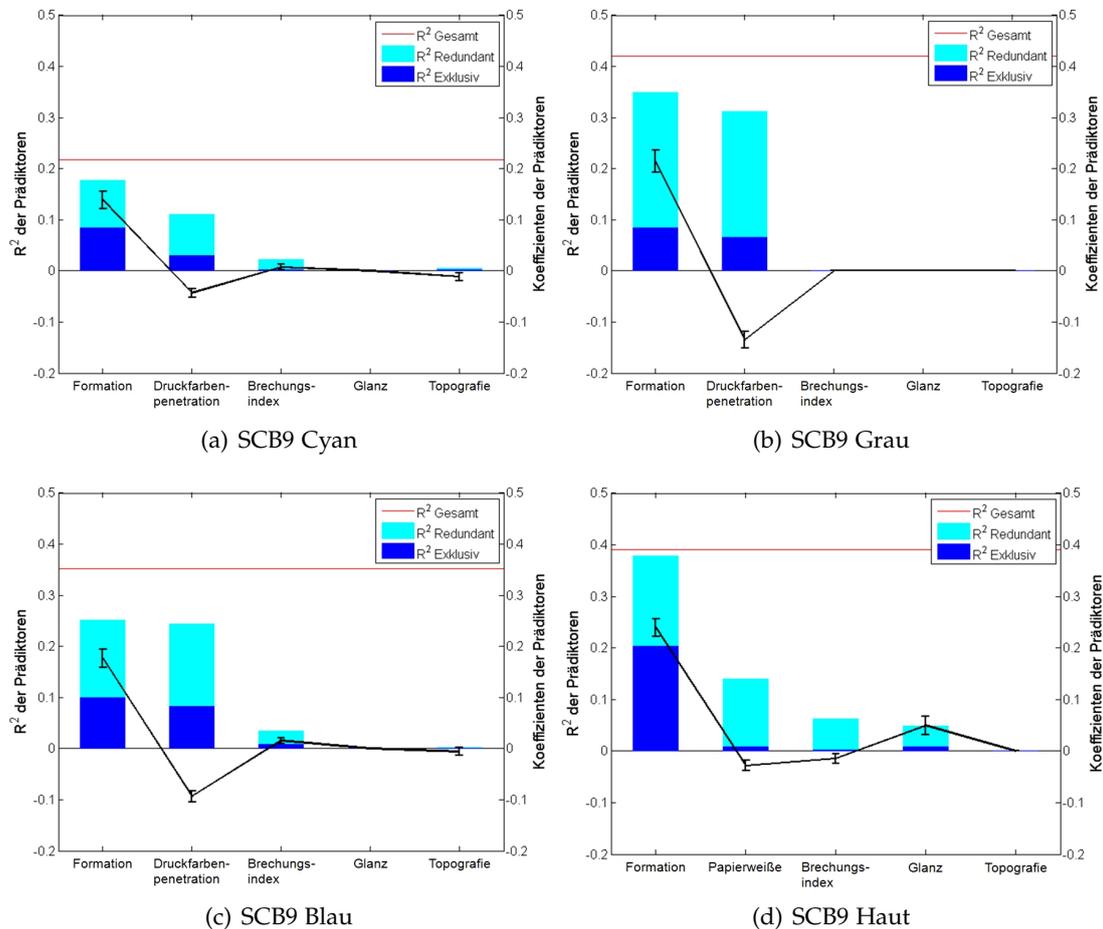


Abbildung 7.1 Darstellung der Ergebnisplots der vier Farbflächen des Papiers SCB9 (schlechter Druck). Auf der x-Achse sind die erklärenden Variablen angeführt, die y-Achse zeigt den Wert der Übereinstimmung (R^2) mit der Zielvariable. Die rote Linie in den Plots zeigt die Höhe des gesamten R^2 . Dieses ist bei Papieren mit weniger Farbauftrag höher (Grau, Haut), und bei Fläche mit viel Farbauftrag niedriger (Cyan, Blau). Demnach sind Volltöne weniger problematisch beim Drucken und beinhalten weniger Druckstörungen als Rastertöne. Dadurch können bei den Rastertönen mehr Übereinstimmungen zwischen Zielvariable und Prädiktoren gefunden werden. Die Plots zeigen, dass hauptsächlich Beta-Formation und Druckfarbenpenetration Einfluss auf das Druckbild haben, die Surfoptic-Messungen und die Topografie jedoch keine oder nur sehr wenig Erklärungskraft besitzen.

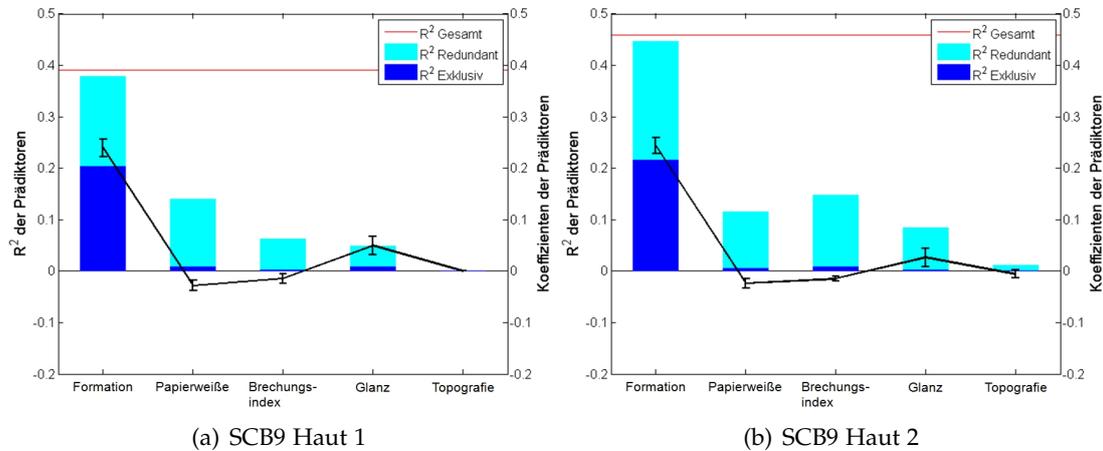


Abbildung 7.2 Gegenüberstellung der Plots der Doppelproben des Papiers SCB9. Der Wert des gesamten R^2 unterscheidet sich etwas, die maßgebende Variable ist jedoch bei beiden Papieren (a) und (b) die Beta-Formation. Die anderen Variablen zeigen jeweils eine Übereinstimmung mit der Zielvariable, wenn sie das Modell alleine beschreiben, besitzt aber nur einen sehr kleinen exklusiven Anteil gegenüber der Beta-Formation.

dieser Doppelproben ist anhand der Farbfläche Haut des Papier SCB9 dargestellt (Abbildung 7.2). An den beiden Plots ist zu erkennen, dass sich die Werte für das gesamte R^2 etwas unterscheiden, die maßgebende Variable ist jedoch bei beiden Proben die Formation. Die anderen Variablen zeigen zwar alle einen Erklärunganteil wenn sie alleine das Modell beschreiben, der exklusive Anteil jedoch ist gegenüber der Formation deutlich untergeordnet. Bei den anderen Farbflächen des Papier SCB9 sind die Übereinstimmungen der Doppelproben ähnlich gut wie im Hautton. Aufgrund dessen kann gesagt werden, dass die Vorgehensweise und die Auswertung der lokalen Modellierung im Heatset Web Offset plausible und reproduzierbare Ergebnisse liefert.

Die Ergebnisse der beiden weiteren Papiere SCB1 und SCB6 mit schlechtem Druckbild decken sich mit denen des Papiers SCB9. Es zeigen die gleichen Variablen Übereinstimmung mit der Zielvariable und auch der Vergleich der Doppelproben ist ident. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich anschließend an die Auswertung der Papiere mit gutem Druckbild in Abbildung 7.4 und 7.5.

Um auch die Ergebnisse der Papiere mit gutem Druckbild zu zeigen, werden die Ergebnisplots anhand des Papiers SCA13 diskutiert. Diese unterscheiden sich in wenigen Details von den Modellen der schlechten Druckbilder. Dazu sind die Ergebnisplots der vier Farbflächen in Abbildung 7.3 dargestellt. Wie bereits erwähnt, weist das SCA13 Papier nun eine gute Druckqualität auf. Das könnte dazu führen, dass weniger Druckinhomogenitäten erfasst werden, wodurch auch der Zusammenhang

mit den gemessenen Papiereigenschaften etwas verringert werden könnte, was sich in einem niedrigerem R^2 bemerkbar machen würde.

Auch beim guten Druck ist zu beobachten, dass das R^2 bei den Rastertönen (Grau, Haut) größer ist, als bei den Volltönen (Cyan, Blau). Im Gegensatz zu den schlecht bedruckten Papieren (SCB1, SCB6 und SCB9) zeigt hier der Brechungsindex Übereinstimmung mit der Zielvariable. Im grauen Farbton besitzt dieser sogar einen exklusiven Anteil an Erklärkraft, der nicht vernachlässigbar ist. Im Hautton ist wiederum die Auffälligkeit zu beobachten, dass beinahe das gesamte R^2 alleine von der β -Formation erklärt wird. Ansonsten haben in den unterschiedlichen Farbflächen die selben Variablen Einfluss auf das Druckbild wie vorher bei SCB9 besprochen. Der Vergleich der Doppelproben wurde ebenfalls durchgeführt und zeigt gute Übereinstimmungen.

Interpretation der Ergebnisse

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Ergebnisplots zu den unterschiedlichen Farbflächen und Papierqualitäten wurde oben bereits besprochen. Nun soll die Gesamtauswertung aller sechs untersuchten Papiere genauer betrachtet werden (Abbildung 7.4 und 7.5).

Der grundlegende Aufbau der Ergebnisplots ist bereits bekannt, die x-Achse zeigt die erklärenden Variablen und auf der linken y-Achse ist der Wert der Übereinstimmung (R^2) der Prädiktoren mit der Zielvariable aufgetragen. Die Balken der Plots gliedern sich nun so, dass für jedes der sechs untersuchten Papiere jeweils eine Doppelprobe vermessen wurde - das heißt, das in weiterer Folge 12 Balken pro erklärender Variable sichtbar sind. Die ersten 6 Balken fassen dabei die Ergebnisse der SC-B Papiere in der Reihenfolge SCB1 - SCB6 - SCB9, die zweiten 6 Balken die Ergebnisse der SC-A Papiere in der Reihenfolge SCA7 - SCA13 - SCA15. Die hellblauen Balken zeigen wieder den Wert der Übereinstimmung, wenn jeweils nur ein Prädiktor mit der Zielvariable korreliert wird. Die dunkelblauen Balken zeigen das R^2 , wenn alle Prädiktoren gemeinsam das Modell beschreiben und geben ausschließlich den exklusiven Anteil an Erklärkraft an. Das bedeutet, dass die Information dieser dunkelblauen Balken in keiner anderen erklärenden Variable vorhanden ist. Daraus resultiert, dass der hellblaue Balken nur den redundanten Anteil des Bestimmtheitsmaß erklärt und von der Wichtigkeit dem dunkelblauen Balken untergeordnet ist.

Die rote Linie in den Diagrammen zeigt den Mittelwert des R^2 , der aus allen einzelnen Modellen pro Papier errechnet wird. Auf der rechten y-Achse ist der Koeffizient der Prädiktoren aufgetragen und bewertet die schwarze Linie im Plot. Ein positives Vorzeichen wie im Falle der Formation gibt dabei an, dass bei dunkleren Stellen im Formationsbild (höhere flächenbezogene Masse) auch ein dunklerer Druckpunkt zu erwarten ist. Den umgekehrten Effekt repräsentiert das negative Vorzeichen bei der Druckfarbenpenetration. Zeigt das Bild der Druckfarbenpenetration einen dunkleren Punkt (mehr einpenetrierte Druckfarbe) ist ein hellerer Druckpunkt zu erwarten. Sind

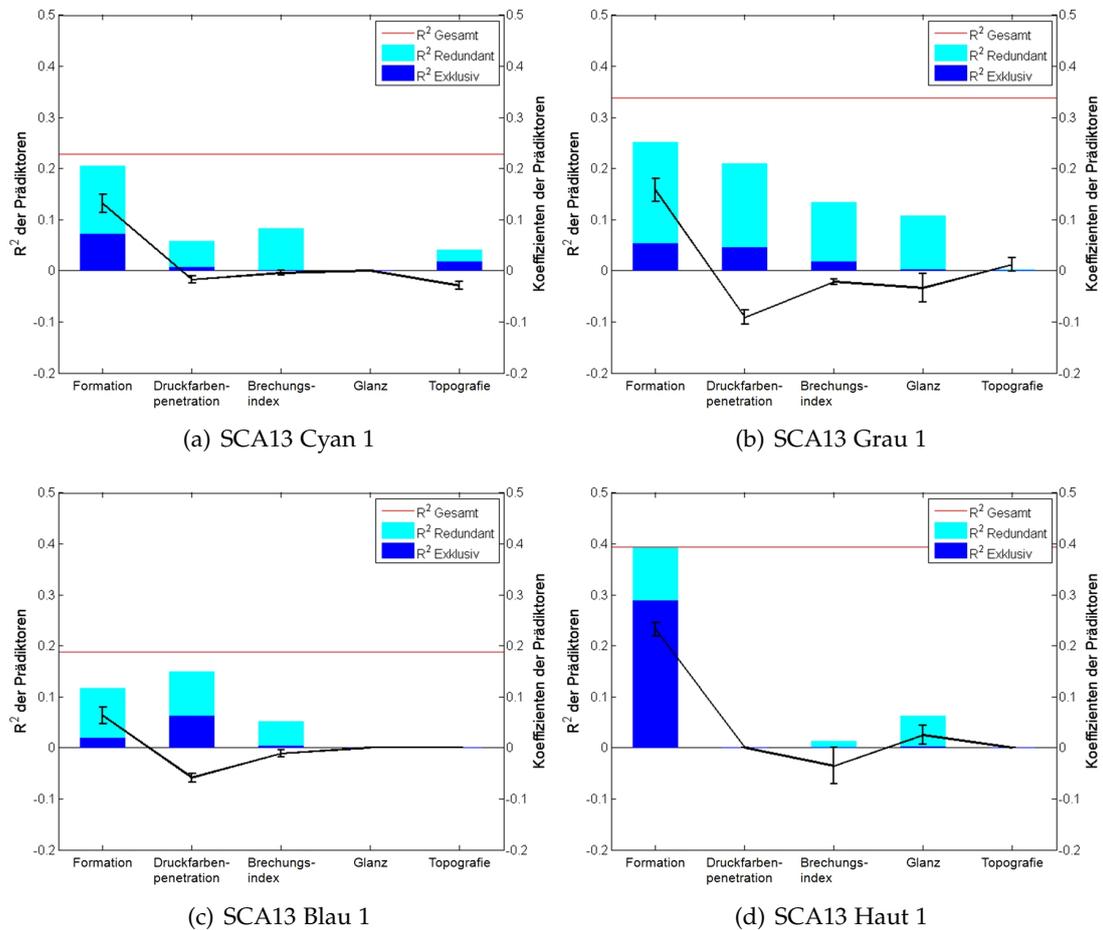


Abbildung 7.3 Darstellung der vier Ergebnisplots der vier Farbflächen des Papiers SCA13 (guter Druck). Auf der x-Achse sind die erklärenden Variablen angeführt, die y-Achse zeigt den Wert der Übereinstimmung (R^2) mit der Zielvariable. Die rote Linie in den Plots zeigt die Höhe des gesamten R^2 . Dieses ist bei Papieren mit weniger Farbauftrag höher (Grau, Blau), und bei Flächen mit viel Farbauftrag niedriger (Cyan, Blau). Die Plots zeigen, dass hauptsächlich Beta-Formation und Druckfarbenpenetration Einfluss auf das Druckbild haben. Im Gegensatz zu den schlecht bedruckten Papieren zeigt aber hier auch der Brechungsindex etwas mehr Einfluss, vor allem in der Grau bedruckten Farbfläche.

die Vorzeichen der Koeffizienten für eine Papiereigenschaft unregelmäßig (wechselnd positiv und negativ), kann keine eindeutige Aussage über den Einfluss dieser auf das Druckbild getätigt werden.

Die Abbildung 7.4 (a) zeigt den Ergebnisplot des 100% Cyan Volltons. Es ist deutlich zu erkennen, dass hauptsächlich die Formation für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich ist. Die Werte der Koeffizienten sind dabei stetig positiv, was bedeutet, dass Stellen mit höherer flächenbezogener Masse einen dunkleren Druckpunkt ergeben. Alle anderen Variablen in diesem Modell sind der Formation deutlich untergeordnet und die Vorzeichen der Koeffizienten für die Druckfarbenpenetration, den Brechungsindex und den Glanz sind unterschiedlich. Lediglich die Vorzeichen der Koeffizienten der Topografie zeigen konstante negative Werte an, jedoch ist der Wert der Übereinstimmung mit dem Druckbild sehr gering, der exklusive Anteil bewegt sich mehrheitlich nur um einen Wert für R^2 von 0,02. Dennoch soll die Topografie beim 100% Cyan Vollton nicht völlig außer acht gelassen werden. Der Mittelwert des gesamten R^2 fällt mit etwas mehr als 0,2 gering aus.

In Abbildung 7.4 (b) sind die Ergebnisse des grauen Halbtons (50% Schwarz) dargestellt. Hier liefern sowohl die Formation als auch die Druckfarbenpenetration die maßgebenden Erklärungsteile der untersuchten Halbton-Fläche. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind ebenfalls stetig, bei der Formation positiv, bei der Druckfarbenpenetration negativ. Ein weiteres Indiz für die etwa gleiche Wichtigkeit dieser beiden Variablen sind die vorhandenen exklusiven Anteile der jeweiligen Messgröße. Glanz und Brechungsindex als weitere Variablen des Modells zeigen zwar redundante Anteile mit dem Druckbild, exklusive Anteile sind jedoch fast nicht vorhanden, und auch die Vorzeichen der Koeffizienten sind nicht konstant. Demnach sind diese beiden optischen Variablen zusammen mit der Topografie gegenüber den dominierenden Variablen untergeordnet und tragen nur sehr wenig zum Gesamtmodell bei. Der Mittelwert des gesamten R^2 liegt in etwa bei 0,4 und ist daher deutlich höher als bei der Cyan-Volltonfläche. Diese Erkenntnis wurde bereits vorhin bei der detaillierten Besprechung der einzelnen Papiere beobachtet. Auch über alle Papiere hält dieser Trend an, dass im Rasterton das Druckbild erheblich mehr durch die Papiereigenschaften erklärt werden kann, als im Vollton. Das bedeutet, dass im Halbton mehr Druckinhomogenitäten erkannt und auf Papiereigenschaften zurückgeführt werden können.

Der Ergebnisplot der blauen Farbfläche ist in Abbildung 7.5 (a) zu sehen. Bei diesem Druck handelt es sich um ein Farbfeld mit der Zusammensetzung 100% Cyan und 75% Magenta, welches sehr anfällig in Bezug auf Backtrap-Mottling ist. Die Ergebnisse gleichen sich in etwa mit denen des grauen Halbtons. Grund dafür könnte sein, dass bei der lokalen Modellierung der Farbübertragung vermehrt der Rasterdruck in der Farbe Magenta wahrgenommen wird, und dieser das Verhalten des Volltones überlagert. Gleich dem Rasterton in Grau weisen die Formation und die Druckfarbenpenetration sowohl einen redundanten als auch einen exklusiven Erklärungsteil auf, und auch die Vorzeichen der Koeffizienten sind stetig. Auch Glanz

und Brechungsindex verhalten sich ähnlich dem Rasterdruck. Ein redundanter Anteil ist vorhanden, die exklusiven Anteile jedoch sind gering und auch die Vorzeichen der Koeffizienten sind nicht konstant. Auch bei dieser Farbfläche gilt, dass gegenüber der Formation und der Druckfarbenpenetration die restlichen Variablen des Modells untergeordnet sind. Der Mittelwert des gesamten R^2 liegt bei etwa 0,3 und ist damit etwas höher als beim 100% Cyan-Vollton.

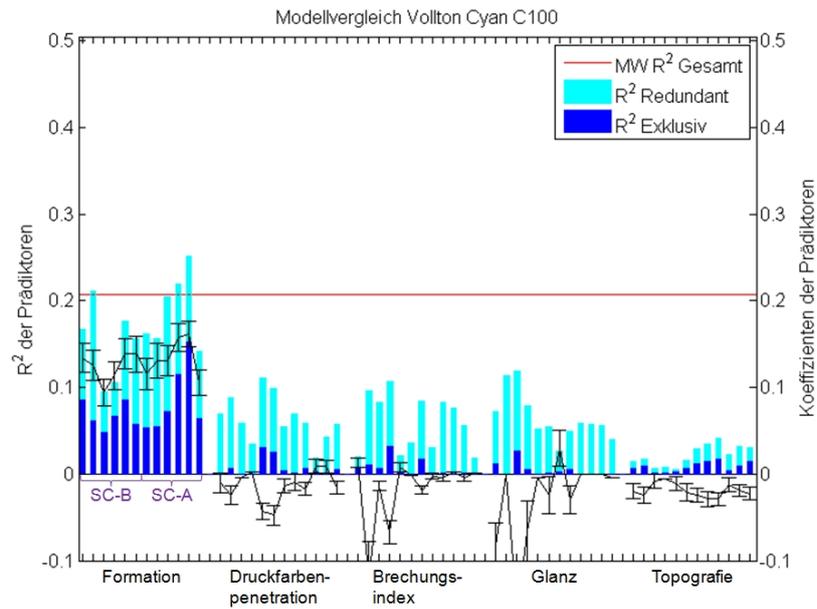
Die Ergebnisse der vierten untersuchten Farbfläche sind in Abbildung 7.5 (b) dargestellt. Dabei handelt es sich um einen Hautton mit der Zusammensetzung 5% Cyan, 20% Magenta und 35% Yellow, was in etwa einem Rasterton mit 60% entspricht. Der Plot zeigt, dass hauptsächlich die Formation für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich ist. Die Druckfarbenpenetration ist hier gleichermaßen untergeordnet wie Brechungsindex, Glanz und Topografie. Der Mittelwert des gesamten R^2 liegt in etwa bei 0,35 und ist somit ebenfalls deutlich höher als beim Cyan-Vollton und liegt nur etwas unterhalb des Halbton in Grau mit der Tonwertstufe 50%.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der vier Farbflächen macht deutlich, dass vor allem die Formation und die Druckfarbenpenetration für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich sind. Weiters sind die Vorzeichen der Koeffizienten bei den relevanten Farbflächen konstant. Die optischen Eigenschaften Glanz und Brechungsindex weisen wie auch die Topografie sehr widersprüchliche Ergebnisse auf und können bei den erstellten Modellen vernachlässigt werden, da die Erklärungskraft der Modelle dadurch nur gering gesteigert wird.

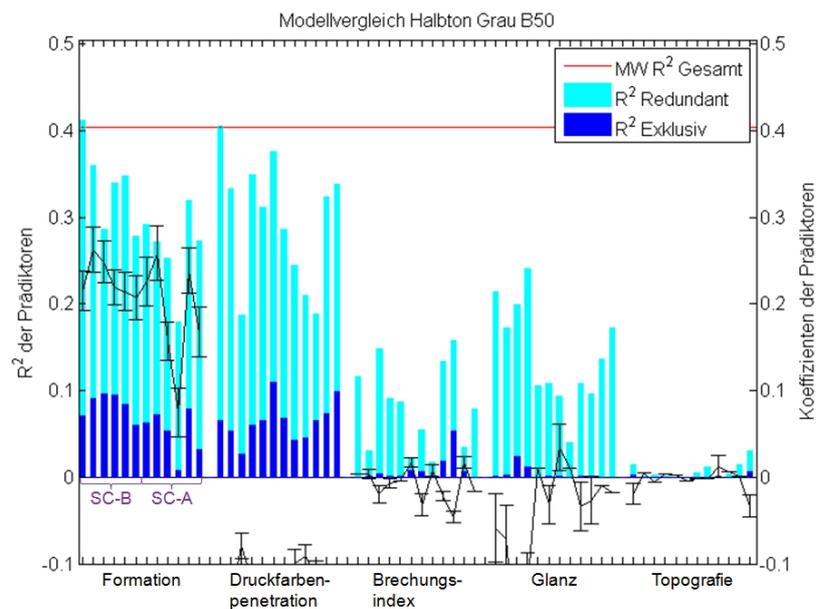
Beobachtet man diese Papiereigenschaften jedoch etwas genauer, so lässt sich erkennen, dass bei einem deutlichen exklusiven Anteil der einzelnen Papiere die Koeffizienten sehr wohl konstant im negativen Bereich sind. Dies bedeutet weiters, dass bei höherem Brechungsindex und höherem Glanz im Druckbild eine höhere Farbdichte erreicht wird. Weiters gibt höherer Brechungsindex und höherer Glanz den Hinweis auf ein glatteres Papier, was in Kapitel 5.2.2 durch die Steigerung der Kalandrierung festgestellt wurde.

Eine weitere Erkenntnis bei der Betrachtung von allen Ergebnisplots zeigt, dass bei mehr Farbauftrag, wie bei den Farbflächen Cyan und Blau, ein geringeres R^2 errechnet wird. Demnach ist der Einfluss auf das Druckbild bei diesen Farbtönen weniger von den gemessenen Papiereigenschaften abhängig, als von den nicht gemessenen oder den Druckkonditionen. Die blaue Farbfläche, bei dem über den Vollton Cyan noch der Rasterton in Magenta gedruckt wird, stellt hier einen Sonderfall dar. Nach den erhaltenen Ergebnissen kann darauf geschlossen werden, dass der Rasterton der beobachtete Effekt der lokalen Modellierung darstellt. Dies ist beim Vergleich der Abbildungen 7.4 (b) und 7.5 (a) deutlich zu erkennen. Dieses Ergebnis ist jedoch sehr überraschend, da die Mechanismen für den Druck-Mottle bei den beiden Flächen völlig unterschiedlich sind.

Bei den Raster-Farbflächen mit weniger Farbauftrag (Grau und Hautton) wird ein höheres R^2 erreicht. Hier ist der Einfluss des Bedruckstoffes auf die Druckqualität

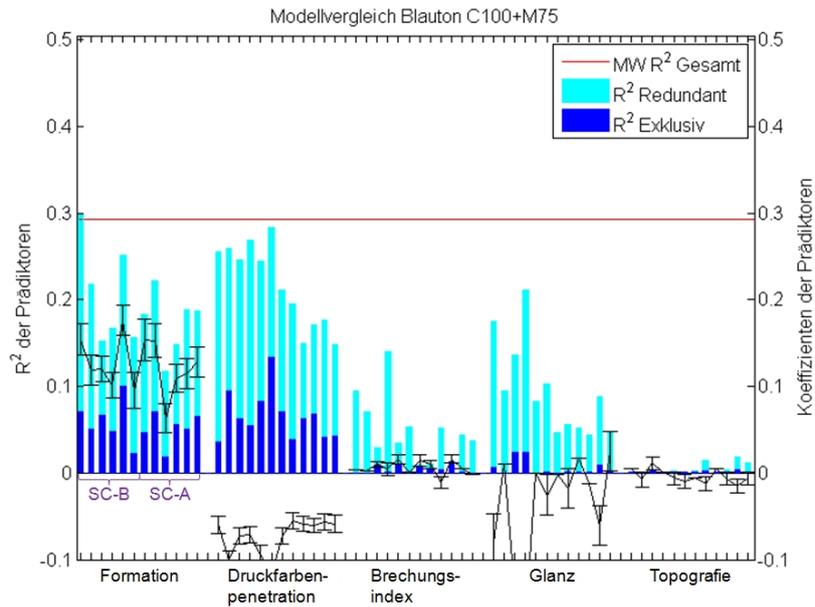


(a) Farbton Cyan - C100

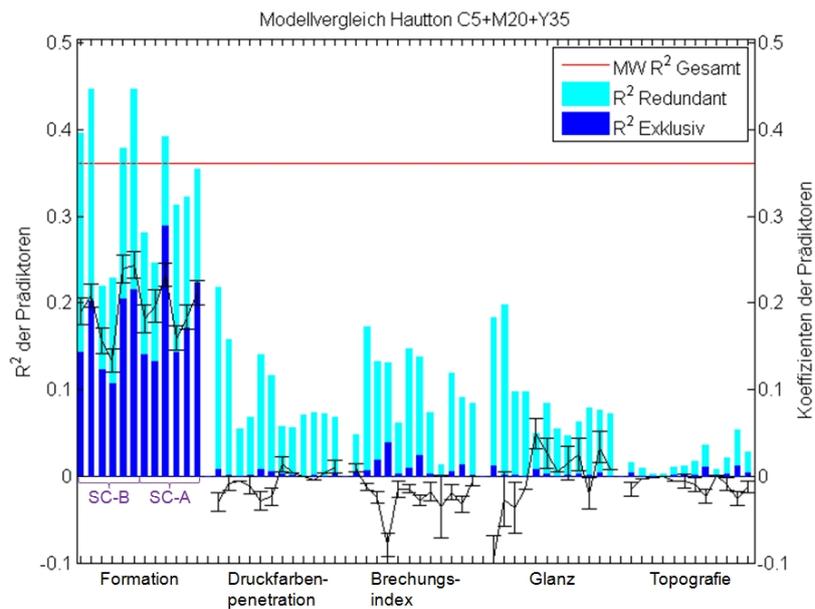


(b) Farbton Grau - B50

Abbildung 7.4 Darstellung der Ergebnisplots für die Farbflächen Cyan und Grau. Die Reihenfolge der SC-B Papiere lautet SCB1 - SCB6 - SCB9, die der SC-A Papiere lautet SCA7 - SCA13 - SCA15. Jeweils 2 Balken entsprechen einer Doppelprobe für jedes Papier. Es zeigt sich, dass die Formation die maßgebende Variable für die Erklärung der Variation des Druckbildes ist. Im Grau ist weiters die Druckfarbenpenetration von großer Bedeutung. Brechungsindex und Glanz sowie die Topografie zeigen nur eine sehr geringe Korrelation mit dem Druckbild.



(a) Farbton Blau - C100+M75



(b) Farbton Haut - C5+M25+Y35

Abbildung 7.5 Darstellung der Ergebnisplots für die Farbflächen Blau und Haut. Wieder lautet die Reihenfolge für die SC-B Papiere SCB1 - SCB6 - SCB9 und für die SC-A Papiere SCA7 - SCA13 - SCA15. Auch entsprechen wieder jeweils 2 Balken einer Doppelprobe für jedes Papier. Es zeigt sich, dass die Formation vor allem im Hautton die maßgebende Variable für die Erklärung der Variation des Druckbildes ist. Im Blauton ist auch die Druckfarbenpenetration von Bedeutung. Brechungsindex und Glanz sowie die Topografie zeigen nur eine sehr geringe Korrelation mit dem Druckbild.

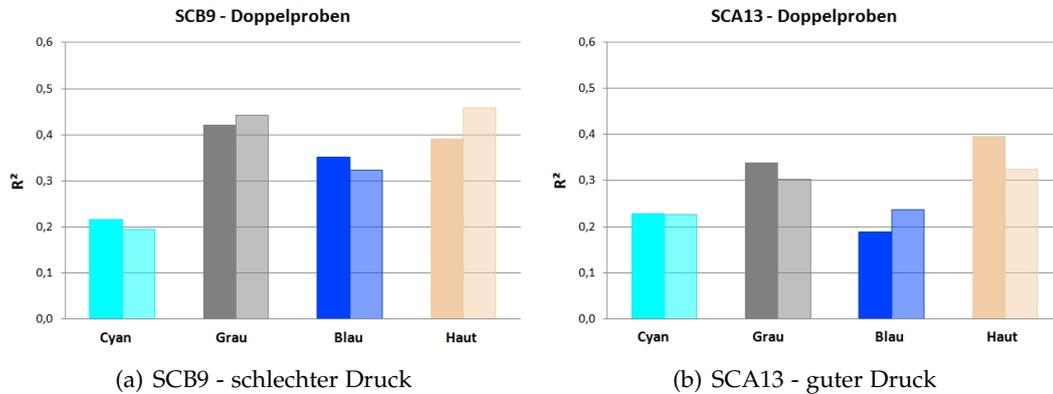


Abbildung 7.6 Diagramm mit den Ergebnissen der Doppelproben für Papier SCB9 (schlechter Druck) (a) und SCA13 (guter Druck) (b). Die Doppelproben stimmen bei dem schlechten Druck besser überein als beim guten Druck. Dennoch ist der Zusammenhang der beiden Proben des SCA13 ausreichend.

deutlicher sichtbar als bei den Farbflächen Cyan und Blau, wodurch der Einfluss der nicht gemessenen Papiereigenschaften oder des eigentlichen Druckvorganges etwas verringert wird.

Übereinstimmung der Doppelproben Die gesamte Auswertung des Probensatzes wurde, wie an den Detailerklärungen zu den Papieren SCB9 (schlechter Druck) und SCA13 (guter Druck), an Doppelproben durchgeführt. Durch diese Vorgehensweise werden zufällige Ergebnisse mehrheitlich ausgeschlossen und geben Aufschluss über die Reproduzierbarkeit des Resultats. In Abbildung 7.6 sind jeweils ein Diagramm für das SCB9 und für das SCA13 abgebildet. Die Ergebnisse der Doppelproben des schlechten Druckes stimmen sehr deutlich überein. Die Zusammenhänge bei den Ergebnissen des guten Druckes sind nicht so überzeugend, aber dennoch ausreichend, um die Zufälligkeit der Ergebnisse auszuschließen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Durchführung und Auswertung der Modellierung der Farbübertragung ausreichend wiederholbare Ergebnisse liefert, dass die Probengröße ausreichend ist und dass auch die Messverfahren und die Auswertungen stabil sind.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit In allen untersuchten Farbflächen sind die beiden Variablen Formation und / oder Druckfarbenpenetration mehr oder weniger hauptverantwortlich für die Erklärung des Druckbildes aus den Papiereigenschaften. Die Werte für R^2 sind bei Farbflächen mit weniger Farbauftrag höher (Grau und Haut) und bei den Farbflächen mit mehr Farbauftrag niedriger (Cyan und Blau). Eine Erklärung dafür wäre, dass durch den Mehrauftrag an Farbe gewisse Papiereigenschaften, welche Fehlstellen im Druck verursachen, überdeckt werden. Weiters ist

aus der Praxis bekannt, dass generell ein Vollton im Offset-Druck weniger problematisch ist als ein Rasterton.

Die beiden Variablen der Oberflächenmessung Brechungsindex und Glanz zeigen in allen Farbflächen stark inkonsistente Ergebnisse. Dennoch ist eine Information bezüglich des Druckbildes vorhanden, weshalb diese beiden Messungen nicht vernachlässigt werden sollten.

Bei den weiteren Modellierungen der Farbübertragung werden diese Surföptic-Messungen ebenfalls wieder durchgeführt, um so die Möglichkeit zu haben, mehr über die Wirkungsweise dieser Variablen zu erfahren.

Die Topografie zeigt nur im Vollton Cyan eine schwache Korrelation mit dem Druckbild, bei den anderen Farbflächen ist kein signifikanter Einfluss auf das Druckbild erkennbar. Dies kann sowohl an einer fehlerhaften oder ungenauen Messung, aber auch an der Datenaufbereitung liegen. Auch diese Variable wird bei weiteren Untersuchungen wieder gemessen und beobachtet.

7.2 Prüfbau Labordruck

Im Kapitel 7.1 wurden die Vorgehensweise und Ergebnisse der lokalen Modellierung anhand eines industriell erstellten Testdruckes im Heatset Web Offset Druck erläutert. Handhabungstechnisch ist bei einem Industriedruck die Farbentfernung für die Messungen der Papiereigenschaften am unbedruckten Papier unumgänglich. Nach dem Tauchpenetrationstest werden die Messungen am gewischten Papier vorgenommen, wobei die Messergebnisse denen am unbedruckten Papier entsprechen. Genau aus diesem Grund wurde die Auswertung der lokalen Modellierung der Farbübertragung an einem Labordruck mittels dem Prüfbau Probedruckgerät angestrebt. Hier hat man die Möglichkeit, die Papiereigenschaften am unbedruckten Papier direkt zu messen. Der Tauchpenetrationstest muss nur mehr zur Analyse der Druckfarbenpenetration durchgeführt werden.

Der Nachteil am Labordruck ist der deutliche Unterschied des Druckergebnis des Prüfbaudruckes gegenüber dem Industriedruck. Für die Aufnahme der Variation der lokalen Weiße als erklärende Variable in die lineare Regressionsanalyse wird dieser Qualitätsunterschied im Druck jedoch hingenommen.

Grundsätzlich wird zum Drucken der Papiere mittels Prüfbau die Methode des gewogenen Andruckes verwendet [NIESSNER AND SCHMIDT, 1972]. Als Druckfarbe wird eine Wegschlag-Testfarbe der HUBER FARBENFABRIK ¹ benutzt. Um dennoch die Druckqualität des Prüfbaudruckes an die Qualität einer Heatset Web Offset Presse anzunähern, wurde vor der Durchführung des Versuches der Prüfbaudruck im Bezug auf den Industriedruck optimiert.

¹Michael Huber München GmbH, Kirchheim (Deutschland). www.mhm.de

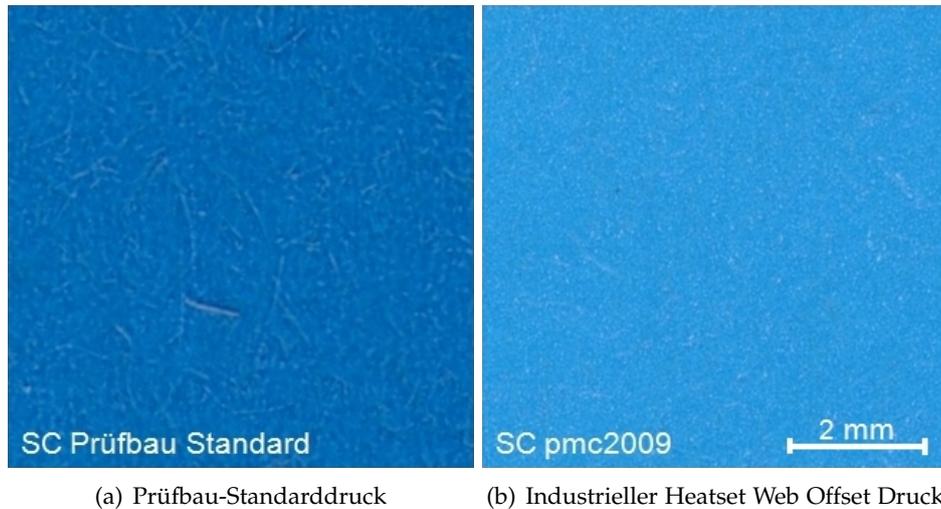


Abbildung 7.7 Gegenüberstellung des Prüfbau-Standardlabordruckes mit dem industriellen Heatset Web Offset Druck an einem SC Papier. Deutliche Unterschiede im Druckbild sind erkennbar.

7.2.1 Optimierung des Prüfbaudruckes

Aufgrund der mit freiem Auge erkennbaren starken Unterschiede im Druckbild zwischen Prüfbau-Labordruck und dem Industriedruck (Abbildung 7.7) an einem SC Papier wurde eine Optimierung der Prüfbaueinstellungen vorgenommen.

Anhand eines vergrößerten Ausschnittes (Abbildung 7.8) des Prüfbaudruckes sollen die Probleme und Unterschiede gegenüber dem Industriedruck gezeigt werden. Die in der Abbildung weiß markierten Stellen zeigen einzelne Fasern. An den Faser-Rändern sind dabei starke Quetschränder mit einer Ansammlung an Druckfarbe erkennbar und die Faseroberseite scheint nur sehr wenig Farbe aufgenommen zu haben. Dieser Druckfehler wurde bereits in Kapitel 3.3.3, Abschnitt „Einfluss der Topografie“ anhand der Arbeit von GREGERSEN ET AL. [1994] besprochen. Da dieses beschriebene Problem jedoch im Industriedruck nicht mehr zu erkennen ist, kann davon ausgegangen werden, dass der Anpressdruck im Labordruckgerät Prüfbau nach wie vor zu hoch gewählt ist. Demnach erscheint der spätere Ansatz, den Anpressdruck zu verringern, als zielführend.

Die oben gezeigten Druckbeispiele mittels dem Prüfbau Labordruckgerät wurden mit den folgenden empfohlenen Standardeinstellungen bedruckt, woraus sich eine Farbdichte von 2,00 einstellt.

- Druck: 600 N
- Farbmenge: 0,3 g
- Druckgeschwindigkeit: 0,5 m/s

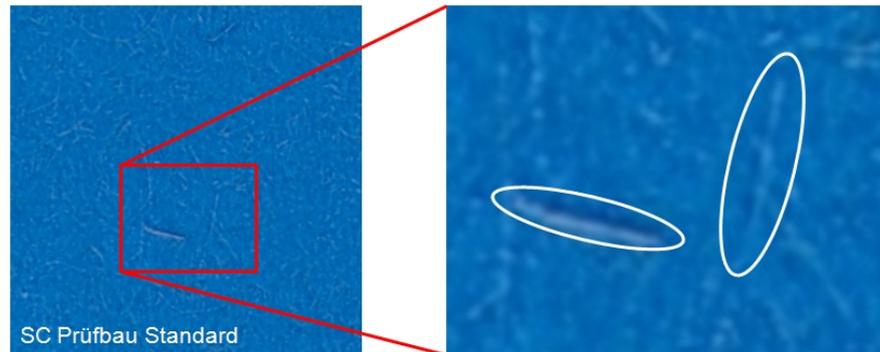


Abbildung 7.8 Vergrößerter Ausschnitt aus einem Prüfbau-Labordruck. Ein deutlich unruhiges Druckbild ist erkennbar, Quetschränder und weniger Farbe auf den Fasern sind sichtbar.

Mit Hilfe dieser drei veränderbaren Parametern wurde ein Testprogramm erarbeitet, bei dem jeweils zwei feststehende Parameter einem veränderbaren Parameter gegenüber stehen. Aus den daraus resultierenden 29 Versuchspunkten wurde mittels Farbdichtemessung, Strukturanalyse und visueller Bewertung der beste Druck ermittelt. Der erste Schritt war eine Anpassung der Farbdichte auf 1,47 - das war der Wert im Industriedruck. Die Quetschränder wurden dadurch etwas minimiert, das Druckbild wurde jedoch sehr hell und unruhig. Um ein besseres Druckbild zu erhalten wurde die Beibehaltung der Farbmenge von 0,3 g festgelegt. Es konnten also nur mehr die Parameter Druck und Geschwindigkeit verändert werden.

Als Ergebnis der gesamten Versuchsreihe wurden die neuen Standard-Parameter für Druck und Geschwindigkeit festgelegt, womit sich eine Farbdichte von 1,95 einstellen lässt:

- Druck: 350 N ↓
- Farbmenge: 0,3 g ↔
- Geschwindigkeit: 0,9 m/s ↑

Das Ergebnis des optimierten Prüfbaudruckes ist in Abbildung 7.9 dem Druck mit den ehemaligen Standardeinstellungen gegenübergestellt. Durch die Herabsetzung des Druckes und der Beschleunigung der Druckgeschwindigkeit konnte generell ein ruhigeres Druckbild erzeugt sowie die Bildung von Quetschrändern deutlich verringert werden. Durch diese gesetzten Maßnahmen wird die Druckfarbe nicht mehr von der Faser Oberfläche an den Rand der Faser gedrängt, was zur Vermeidung der Druckfarbenansammlung an den Faserrändern beiträgt. Weiters zeigte der Druck mit den neuen Standard-Parametern die geringste Varianz bei der Auswertung mit dem SAT-Tool des Instituts für Papier-, Zellstoff und Fasertechnik und überzeugte auch bei der visuellen Beurteilung.

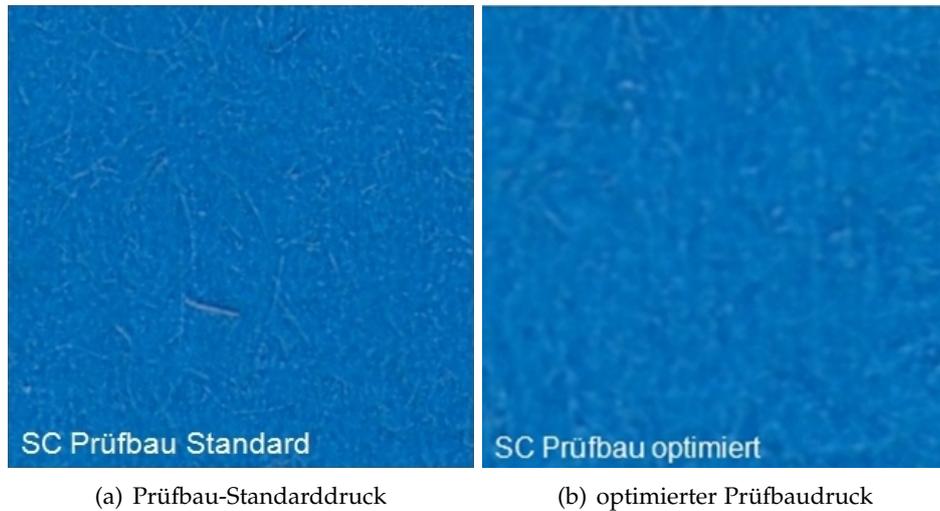


Abbildung 7.9 Gegenüberstellung des Prüfbau-Standardlabordruckes mit dem Druckbild des optimierten Prüfbaudruckes an einem SC Papier. Das optimierte Druckbild zeigt generell ein ruhigeres Druckbild sowie weniger Quetschränder als der Druck mit den Standardeinstellungen.

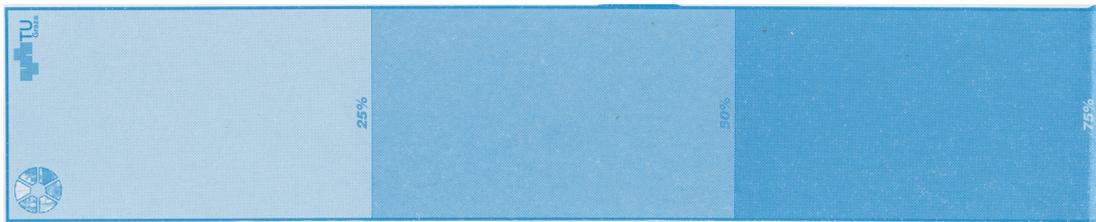


Abbildung 7.10 Druckbild der IPZ-Rasterdruckform für das Labordruckgerät Prüfbau.

Wie bereits aus der lokalen Modellierung der Farbübertragung am industriellen Druck (Kapitel 7.1) bekannt ist, verhalten sich in der Praxis die Volltöne weniger fehleranfällig im Bezug auf die Druckqualität als die Rastertöne. Aus diesem Grund wird beim Labordruck zusätzlich zur glatten Druckwalze auch eine extra dafür angefertigte Rasterdruckwalze verwendet (Abbildung 7.10). Mit der Rasterdruckwalze ist es möglich, die Tonwertstufen 25, 50 und 75% zu erzeugen. Sie verfügt in Anlehnung an den Industriedruck über eine Rasterweite von 70 l/cm unter einer Winkelung von 45 Grad.

7.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Wie bereits erwähnt, liegen die Vorteile des Prüfbaudruckes darin, dass gegenüber dem Industriedruck vorab an den unbedruckten Papierproben die gewünschten Papiereigenschaften gemessen werden können. Weiters kann mit der Variation der lo-

kalen Weiße eine weitere erklärende Variable in die Modellierung des Druckbildes aufgenommen werden.

Als Nachteil muss jedoch der Prüfbaudruck selbst angesehen werden. Dieser unterscheidet sich sehr stark von den industriellen Druckverfahren und Versuche haben gezeigt, dass die Qualität des Papiers im Prüfbaudruck weniger ausschlaggebend für die Druckqualität ist als im Heatset Web Offset oder Bogenoffsetdruck. Weiters gibt es im Prüfbaudruck den Effekt der Farbrückspaltung in den darauf folgenden Druckwerken nicht. Es können keine Druckunregelmäßigkeiten aufgrund eines Backtrap-Mottle erfasst werden.

Die im folgenden gezeigte Auswertung wurde an jeweils zwei SC-A und SC-B Papieren durchgeführt, welche auch bei der Modellierung am industriellen Heatset Web Offset Druck ausgewertet wurden. Weiters wurden auch gestrichene Papiere untersucht und die Ergebnisse werden anhand zweier LWC und einem WFC Papier gezeigt.

An den ausgewählten unbedruckten Papiere wurden zuerst Formation, Papierweiße, Topografie, Oberflächeneigenschaften und Auflicht-Scan gemessen. Anschließend wurden die Proben mit dem Prüfbau bedruckt, wobei jeweils eine Vollton- und eine Rastertonfläche mit 50% aufgebracht wurde. Zur besseren Kontrolle der Auswertung wurden jeweils Doppelproben hergestellt und vermessen. Nach dem Bedrucken wurden wieder die Topografie, die Oberflächeneigenschaften und der Auflicht-Scan erfasst. Gemessen wird jeweils eine laser-markierte Fläche von $25 \times 25 \text{ mm}$, deren eindeutige Lage durch ein asymmetrisches Muster sichergestellt wird. Als Zielvariable dient wie bereits bei den anderen lokalen Modellierungen wieder der Scan des Druckbildes, welcher bei einer Auflösung von $21,2 \mu\text{m}$ erzeugt wurde. Die erklärenden Variablen der Modelle sind in Tabelle 7.2 aufgezählt. Nach der Registrierung aller gemessener Papiereigenschaften anhand der Lasermarkierung werden die Proben auf eine Pixelgröße von $254 \mu\text{m}$ vereinheitlicht. Abschließend wird die lokale Modellierung mittels multipler linearer Regressionsanalyse durchgeführt. Zur Diskussion der Ergebnisse wird wieder der bereits aus Kapitel 4.2.2 bekannte Plot verwendet.

Ergebnisse und Diskussion der *ungestrichenen* Papiere

Im folgenden Kapitel sollen die Ergebnisse der lokalen Modellierung der Farbübertragung an Hand des Prüfbaudruckes diskutiert werden. Die Zusammenhänge der Plots sollen am Papier SCB1 (Abbildung 7.11) genauer erklärt werden, anschließend wird das Gesamtergebnis erläutert.

Die Diagramme zeigen jeweils auf der x-Achse die erklärenden Variablen inklusive der Papierweiße, die im industriellen Druck nicht erfasst werden kann. Auf der linken y-Achse ist der Wert des R^2 abzulesen, die rechte y-Achse bewertet die Koeffizienten der Prädiktoren. Im Teilbild (a) ist der Ergebnisplot der Volltonfläche Cyan

Variable	Auflösung	Messsystem
Formation	50 μm	Beta-Radiografie
Druckfarbenpenetration	21,2 μm	Scanner (nur ungestrichene Papiere)
Weißer-Variation	21,2 μm	Scanner
Durchlicht-Scan	12,7 μm	Durchlicht-Scanner (nur gestrichene Papiere)
Brechungsindex	200 μm	Surfoptic Imaging Reflectometer
Glanz	200 μm	Surfoptic Imaging Reflectometer
Topografie	12,8 μm	Infinte Focus Measurement

Tabelle 7.2 Auflistung der erklärenden Variablen für die lokale Modellierung der Farbübertrag mittels Prüfbau Labordruck. Alle Papiereigenschaften wurden an den unbedruckten Papierproben gemessen.

dargestellt. Die rote Linie darin gibt an, dass alle erklärenden Variablen gemeinsam ein R^2 von etwa 0,32 erreichen. Dabei hat die Variation der Weiße den höchsten Erklärungskraftanteil, deren exklusiver Anteil gegenüber den anderen Variablen ebenfalls sehr hoch ist. Die Druckfarbenpenetration und die Formation weisen zwar beide einen etwa gleich hohen redundanten Anteil vor, der exklusive Anteil bringt jedoch nur bei der Druckfarbenpenetration einen Mehrwert für das Modell. Der exklusive Anteil der Topografie kann die Erklärungskraft des Gesamtmodells ebenfalls nochmals ein wenig erhöhen. Die optischen Eigenschaften Brechungsindex und Glanz zeigen keinen Zusammenhang mit der Zielvariable.

Werden nun die Vorzeichen der Koeffizienten bei den beiden maßgebenden Papiereigenschaften beobachtet, so gibt ein positives Vorzeichen wie im Falle der Papierweiße an, dass bei dunkleren Stellen im Papier auch ein dunklerer Druckpunkt zu erwarten ist. Den umgekehrten Effekt repräsentiert das negative Vorzeichen bei der Druckfarbenpenetration. Zeigt das Bild der Druckfarbenpenetration einen dunkleren Stelle am Papier (mehr einpenetrierte Druckfarbe), ist ein hellerer Druckpunkt zu erwarten.

Die graue Halbtonfläche mit 50% Farbauftrag (b) zeigt gegenüber dem Cyan-Druck ein etwas unterschiedliches Bild. Das gesamte R^2 liegt bei etwa 0,62, und ist damit deutlich höher als im Vollton. Auch im Halbton ist die Variation der Papierweiße die maßgebende Variable zur Erklärung der Variation des Druckbildes. Die Formation und Topografie bringen jeweils einen geringen deutlich untergeordneten exklusiven Anteil zum Modell hinzu. Die Druckfarbenpenetration zeigt neben dem redundanten Anteil keine Exklusivität. Die Koeffizienten für die Papierweiße und die Formation weisen die erwarteten Vorzeichen auf. Der Brechungsindex und Glanz zeigen eine geringe Korrelation mit dem Druckbild, zusätzlich besitzen auch diese beiden Variablen keinen exklusiven Erklärungskraftanteil. Anhand dieser beiden Plots könnte davon ausgegangen werden, dass auch im Labordruck für den Vollton die gemessenen Papiereigenschaften nicht den nötigen Zusammenhang mit dem Druckbild lie-

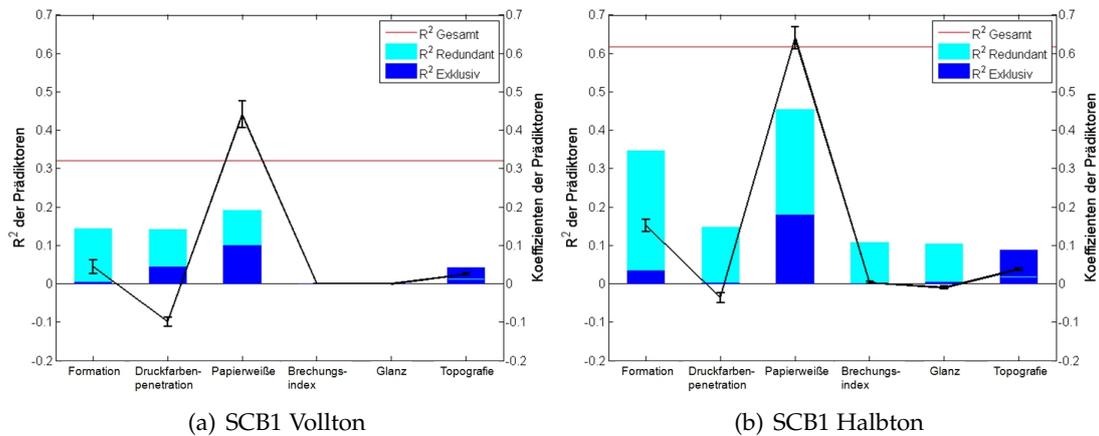


Abbildung 7.11 Darstellung der Ergebnisplots des Voll- und Halbtons des Papiers SCB1 (weniger gute Papierqualität). Auf der x-Achse sind die erklärenden Variablen angeführt, die y-Achse zeigt den Wert der Übereinstimmung (R^2) mit der Zielvariable. Die rote Linie in den Plots zeigt die Höhe des gesamten R^2 . Dieses ist beim Halbton (wenig Farbauftrag) höher als beim Vollton (hoher Farbauftrag). Demnach ist der Zusammenhang zwischen den gemessenen Papiereigenschaften und dem Druckbild im Vollton geringer als im Rasterton. Die Plots zeigen, dass hauptsächlich die Papierweiße den größten Einfluss auf das Druckbild hat, im Vollton zeigt auch die Druckfarbenpenetration einen exklusiven Anteil.

fern. Womöglich wird das Druckbild durch ungemessenen Papiereigenschaften oder aber auch durch den Druckprozess selbst stärker beeinflusst.

Interpretation der Ergebnisse

Die detaillierte Beschreibung der Ergebnisplots für den Voll- und Halbton wurden oben bereits besprochen. An dieser Stelle soll nun die Gesamtauswertung aller vier untersuchten Papiere genauer betrachtet werden. Der grundlegende Aufbau der Ergebnisplots ist bereits von der Auswertung des Industriedruckes bekannt und kann in Kapitel 7.1.2 nachgelesen werden. Der wesentliche Unterschied zum Plot aus dem Industriedruck ist der, dass es sich bei dieser Auswertung um 4 Papiere handelt, wodurch in weiterer Folge 8 Balken pro erklärende Variable sichtbar sind (Doppelprobe für jedes Papier). Die SC-B Papiere sind in der Reihenfolge SCB1 - SCB9 und die SC-A Papier in der Reihenfolge SCA13 - SCA15 angeführt.

Die Abbildung 7.12 (a) zeigt den Ergebnisplot des Cyan Vollton. Es ist deutlich sichtbar, dass hauptsächlich die Druckfarbenpenetration und die Variation der Papierweiße gleichwertig für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich sind. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind dabei für die Druckfarbenpenetration stetig negativ, was bedeutet, dass Stellen mit hoher Farbdichte im Gegenzug Stellen mit wenig einpenetrierter Druckfarbe ergeben.

Bei der Variable Papierweiße sind die Vorzeichen der Koeffizienten stetig positiv, was bedeutet, dass eine hohe Farbdichte an eher dunkleren Stellen des Papiers erreicht wird.

Auch die Topografie zeigt konstant geringe exklusive Anteile zur Erklärung des Modells, die Vorzeichen der Koeffizienten dabei sind ebenfalls konstant positiv. Da hier die Topografie zum ersten mal einen konstanten Einfluss auf das Druckbild hat, könnte eine mögliche Erklärung dafür sein, dass im optimierten Labordruck die Quetschränder zwar verringert wurden, jedoch aber immer noch vorhanden sind und so zu einem gewissen Anteil mit dem Druckbild korrelieren. Gegenüber den bereits erwähnten anderen Variablen ist die Topografie jedoch in aller Deutlichkeit untergeordnet.

Die erklärenden Variablen Formation, Brechungsindex und Glanz zeigen bei dieser Auswertung keinen exklusiven Anteil, auch sind in der Formation und im Glanz die Vorzeichen der Koeffizienten nicht konstant. Beim Brechungsindex sind die Koeffizienten konstant negativ, aber die Erklärungskraft des Modells wird nahezu nicht erhöht. Der Mittelwert des gesamten R^2 über alle Papiere liegt in etwa bei 0,46 und ist demnach deutlich höher als beim zuvor besprochenen Papier SCB1. Bei der Betrachtung des Gesamtplots für den Vollton hat es den Anschein, dass durch die hoch korrelierende Papierweiße mit dem Druckbild die Formation dadurch ersetzt wird. Im industriellen Heatset Web Offset Druck hingegen war im Vollton die Formation beinahe alleine für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich - natürlich unter dem Aspekt, dass die Variation der Papierweiße nicht messbar war.

In Abbildung 7.12 (b) sind die Ergebnisse des Halbtons dargestellt. Auch in diesem Plot ist deutlich zu sehen, dass die Papierweiße die maßgebende Variable zur Erklärung des Druckbildes ist. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind wieder konstant positiv, gleich dem Vollton in Cyan. Hier liefert auch wieder die Formation einen hohen redundanten Anteil zum Modell, es ist jedoch auch ein geringer exklusiver Anteil vorhanden. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind ebenfalls konstant positiv, was wieder bedeutet, dass die höhere Farbdichte im Druckbild von einer höheren lokalen Masse hervorgerufen wird.

Die Vorzeichen der Koeffizienten der Druckfarbenpenetration sind gleich wie im Vollton konstant negativ, die Variable selbst kann aber mit ihrem exklusiven Anteil das Gesamtmodell nicht verbessern. Die Topografie zeigt bei einigen Papieren einen exklusiven Anteil um etwa 10%, jedoch sind die Vorzeichen der Koeffizienten nicht konstant, wodurch diese erklärende Variable im Halbton aus dem Modell herausgenommen werden sollte. Die optischen Eigenschaften Brechungsindex und Glanz weisen einen geringen redundanten Erklärungskraftanteil vor, besitzen jedoch keine Exklusivität und sind ebenfalls für keine Verbesserung des Modells verantwortlich. Im Halbton liegt der Mittelwert des R^2 aller Papiere bei etwa 0,51, und ist deshalb nur geringfügig höher als beim Vollton. Diese Erkenntnis relativiert natürlich etwas die Aussage aus dem industriellen Druckversuch, dass für die Rastertöne ein besserer

Zusammenhang zwischen den gemessenen Papiereigenschaften und dem Druckbild hergestellt werden kann als beim Vollton. Das kann jedoch auch mit der zusätzlichen erklärenden Variable Papierweiße zusammenhänge, welche bei beiden Drucken gut mit dem Druckbild korreliert.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit Werden beide Auswertungen, sowohl für den Voll- als auch den Halbton, gemeinsam betrachtet, so wird deutlich, dass die Hereinnahme der Papierweiße ins Modell ein bedeutender Schritt ist.

Die Variation der Papierweiße ist bei beiden Farbflächen maßgebend für die Erklärung der Variation des Druckbildes. Im Vollton wird die Papierweiße noch mit der Druckfarbenpenetration zur Verbesserung des Modells verstärkt.

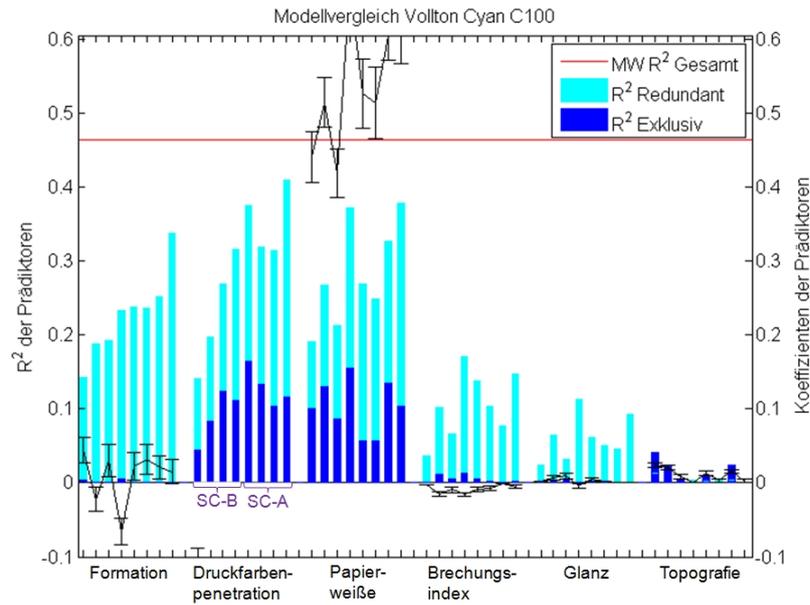
Die Formation liefert etwas widersprüchliche Ergebnisse. Im Vollton kann sie aufgrund der unterschiedlichen Vorzeichen der Koeffizienten und des nicht vorhandenen exklusiven Anteils keinen Mehrwert für das Modell erreichen. Im Halbton entsprechen die Vorzeichen der Koeffizienten den Erwartungen, der exklusive Anteil ist jedoch deutlich der Papierweiße untergeordnet. Die Auswertungen zeigen, dass durch die neue erklärende Variable Papierweiße die Wichtigkeit der Formation zur Erklärung der Variation des Druckbildes massiv abgeschwächt wird.

Nimmt man jedoch die Papierweiße als erklärende Papiereigenschaft aus dem Modell heraus, erhöht sich der Zusammenhang der Formation mit dem Druckbild (Abbildung 7.13). Die exklusiven Anteile der Formation mit dem Druckbild steigen deutlich an, der Einfluss aller anderen im Modell befindlichen Variablen bleibt gleich. Das R^2 des Plots verringert sich um etwa 10% gegenüber dem Modell mit der Papierweiße, und zeigt so nochmals, dass die Papierweiße zur Erklärung des Druckbildes sehr wichtig ist.

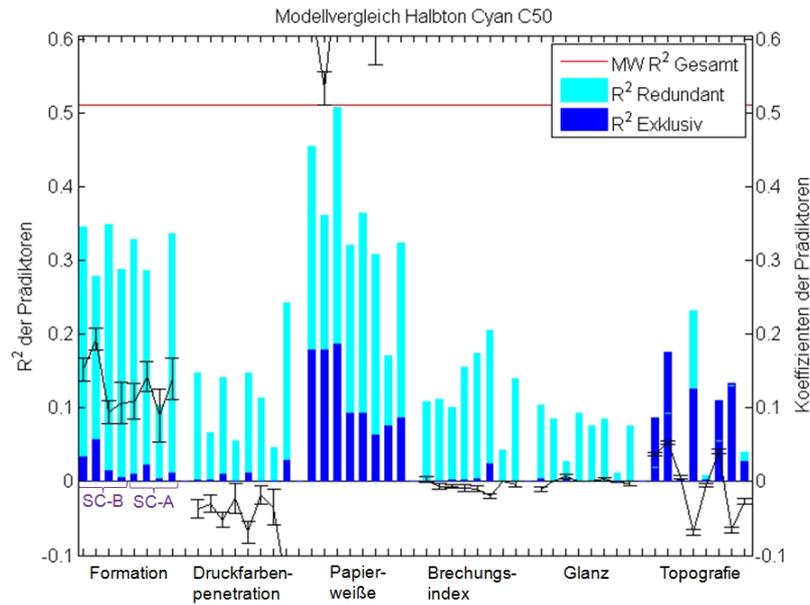
Die Variable Topografie zeigt bei fast allen Papieren im Voll- und Halbton jeweils exklusive Anteile, jedoch sind die Vorzeichen nur im Vollton konstant positiv. Im Halbton wechseln diese zwischen positiv und negativ und lassen deshalb keine zwingenden Aussagen über den Einfluss der Topografie zu, ob hohe oder tiefe Stellen für eine höhere Farbdichte im Druckbild verantwortlich sind.

Die optischen Eigenschaften Brechungsindex und Glanz zeigen bei beiden Drucken redundante Anteil mit wechselnden Vorzeichen und bringen keinen Mehrwert für das Modell mit sich. Bei der detaillierten Besprechung des Papiers SCB1 wurde erkannt, dass der Wert für das gesamte R^2 des Modells im Vollton deutlich niedriger war als im Halbton. Bei der Betrachtung aller ausgewerteten Papiere tritt dieser Effekt nur mehr sehr abgeschwächt ein. So ist das R^2 des Volltons nur um etwa 0,05 höher als im Halbton. Aufgrund der Vielzahl der untersuchten Papiere kann diese Differenz jedoch als bestätigt angesehen werden.

Auf die Ergebnisse der Doppelproben soll an dieser Stelle auch noch eingegangen werden. Im Großen und Ganzen zeigen die Doppelproben ähnliches Verhalten wie bereits zuvor im Heatset Web Offset Druck gezeigt wurde - sie stimmen gut



(a) Vollton Cyan C100



(b) Halbton Cyan C50

Abbildung 7.12 Darstellung der Ergebnisplots für den untersuchten Voll- und Halbton. Die Reihenfolge der SC-B Papiere lautet SCB1 - SCB9 und die der SC-A Papiere lautet SCA13 - SCA15. Jeweils zwei Balken entsprechen einer Doppelprobe für jedes Papier. Im Vollton sind hauptsächlich Druckfarbenpenetration und die Papierweiße für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich, im Halbton ist es nur die Papierweiße. Generell wird im Halbton ein etwas höheres R^2 als im Vollton errechnet.

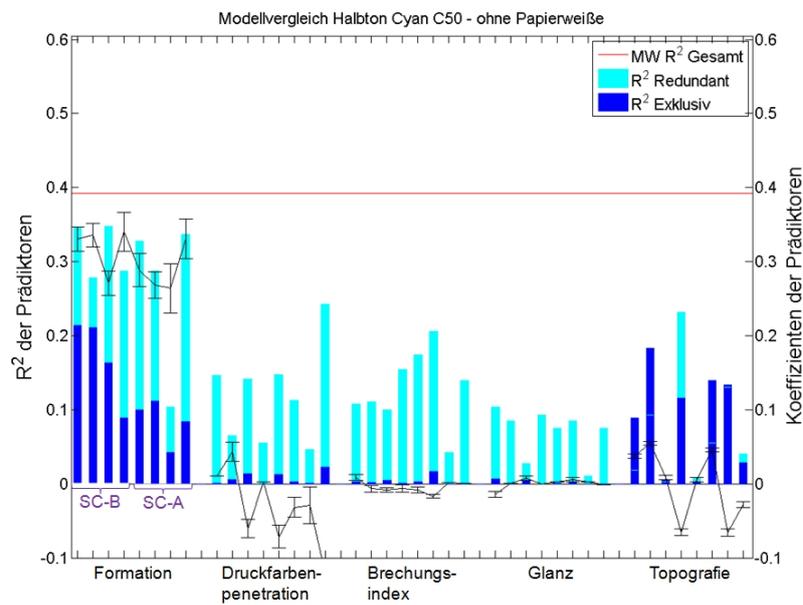


Abbildung 7.13 Darstellung der Ergebnisplots für den Halbton - ohne Papierweiße als erklärende Papiereigenschaft. Die Reihenfolge der SC-B Papiere lautet wieder SCB1 - SCB9 und die der SC-A Papiere lautet SCA13 - SCA15. Jeweils zwei Balken entsprechen einer Doppelprobe für jedes Papier. Die Formation stellt die maßgebende Variable dar und weist den größten Zusammenhang mit dem Druckbild auf. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind dabei konstant. Alle anderen erklärenden Variablen sind untergeordnet, die Topografie kann aufgrund der wechselnden Vorzeichen der Koeffizienten nicht eindeutig bewertet werden.

überein. Teilweise gehen die Doppelproben im Labordruck jedoch etwas auseinander. Betrachtet man zum Beispiel die Papierweiße in Abbildung 7.12 (a) und (b) anhand des Papiers SCB9 (3. und 4. Balken von links), so klaffen die Balken doch deutlich auseinander. Dies ist jedoch nicht weiter beunruhigend, da diese Beobachtung nur bei einem Papier auftritt. Als mögliche Ursache kann zum Zeitpunkt der Auswertung kein schlüssiger Grund angegeben werden. Es zeigt jedoch, dass auch bei einer Auswertung mittels Doppelproben die Ergebnisse immer genau beobachtet und die Richtigkeit abgeschätzt werden soll.

Ergebnisse und Diskussion der gestrichenen Papiere

Folgend werden die Ergebnisse der lokalen Modellierung der Farbübertragung an den gestrichenen Papieren im Prüfbau Druck diskutiert. Untersucht wurden dazu zwei LWC Papiere und ein WFC Papier (Tabelle 7.3), welche sich nach den Druckqualitäten im Heatset Web Offset Druck sehr deutlich unterscheiden. Die Beste Druckqualität zeigte dabei das WFC5-Papier, das schlechteste das LWC10-Papier, das LWC16-Papier lag dazwischen.

Vergleiche mit Modellen aus dem industriellen Heatset Web Offset Druckversuch können dabei nicht angestellt werden, da dort die Farbentfernung mit dem Wischtest nicht möglich war, wodurch keine Papiereigenschaften am gewischten Papier gemessen werden konnten. In weiterer Folge waren deshalb keine erklärenden Papiereigenschaften für die Modellierung vorhanden.

Die Zusammenhänge der Ergebnisplots der gestrichenen Papiere sollen am Papier LWC16 (Abbildung 7.14) genauer erklärt werden, anschließend wird das Gesamtergebnis erläutert.

Die Diagramme zeigen jeweils auf der x-Achse wieder die erklärenden Variablen inklusive der Papierweiße und dem Durchlicht-Scan. Auf der linken y-Achse ist der Wert des R^2 abzulesen, die rechte y-Achse bewertet die Koeffizienten der Prädiktoren. Im Teilbild (a) ist der Ergebnisplot der Volltonfläche Cyan dargestellt. Die rote Linie darin gibt an, dass alle erklärenden Variablen gemeinsam ein R^2 von etwa 0,06 erreichen. Dieser Wert fällt sehr gering aus, was soviel bedeutet, dass die gemessenen Papiereigenschaften nur in sehr geringem Maße das Druckbild erklären können. Am höchsten korrelieren noch Glanz und Brechungsindex mit der Zielvariable, die restlichen Prädiktoren bringen keinen Gewinn an Erklärkraft. Es zeigt sich hier sehr

Bezeichnung	Papiersorte	Flächengewicht
LWC10	LWC glänzend	60 g/m ²
LWC16	LWC matt	60 g/m ²
WFC5	WFC glänzend	90 g/m ²

Tabelle 7.3 Gestrichene Papiersorten für den Prüfbau Druck

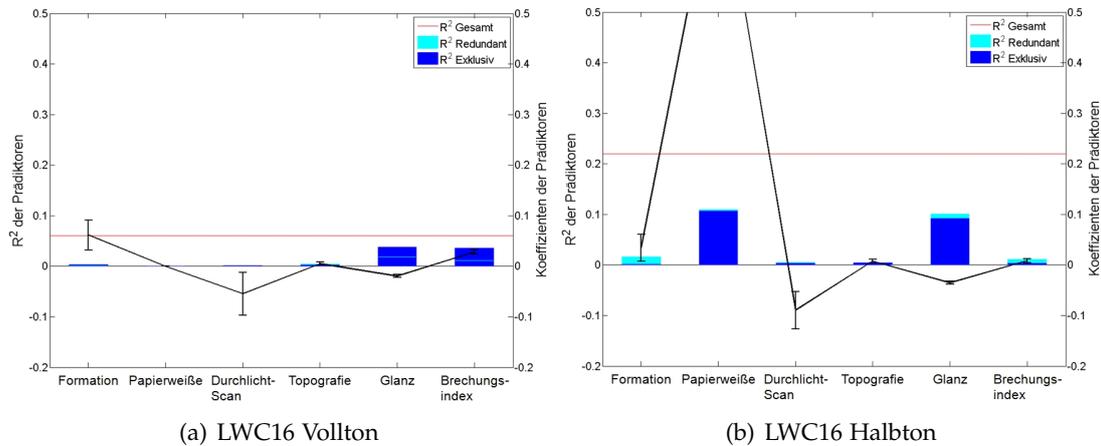


Abbildung 7.14 Darstellung der Ergebnisplots des Voll- und Halbtons des Papiers LWC16 (mittlere Druckqualität). Auf der x-Achse sind die erklärenden Variablen angeführt, die y-Achse zeigt den Wert der Übereinstimmung (R^2) mit der Zielvariable. Die rote Linie in den Plots zeigt die Höhe des gesamten R^2 . Dieses ist beim Halbton nahezu doppelt so hoch als beim Vollton. Demnach zeigen die gemessenen Papiereigenschaften im Halbton deutlich mehr Übereinstimmung mit dem Druckbild als im Vollton. Im Vollton kann keine bestimmende Variable bestimmt werden, im Halbton zeigen sowohl die Papierweiße, die Topografie und der Glanz gegenüber den anderen Variablen eine höhere Übereinstimmung.

deutlich, dass die gemessene Papiereigenschaft nur sehr schwach oder gar nicht mit dem Druckbild zusammenhängen. Hier bestimmen also andere nicht erfasste Papiereigenschaften oder Faktoren aus dem Druckprozess das Druckbild.

Die graue Halbtonfläche mit 50% Farbauftrag (b) zeigt gegenüber dem Cyan-Vollton Druck ein etwas höheres R^2 mit einem Wert von 0,22. Hier zeigt die Papierweiße und wieder der Glanz den größten Zusammenhang mit dem Druckbild, alle anderen Papiereigenschaften zeigen keine Korrelation mit der Zielvariable. Der Einfluss der Papierweiße auf das Druckbild konnte bereits bei den ungestrichenen Papieren beobachtet werden und scheint auch hier einen Zusammenhang mit dem Druckbild zu haben. Weiters deckt sich das positive Vorzeichen des Koeffizienten mit dem aus den ungestrichenen Papieren. Es bedeutet auch hier, dass an dunkleren Stellen im Papier auch ein dunklerer Druckpunkt zu erwarten ist.

Überraschend ist allerdings, dass der Glanz in gleichem Maße das Druckbild erklärt. Generell kann jedoch auch im Halbton gesagt werden, dass das Druckbild mehr durch andere Faktoren bestimmt wird als durch die hier gemessenen Papiereigenschaften.

Interpretation der Ergebnisse

Die detaillierte Beschreibung der Ergebnisplots für den Voll- und Halbton wurden oben bereits anhand des LWC16 besprochen. An dieser Stelle soll nun die Gesamtauswertung aller drei gestrichenen Papiere genauer betrachtet werden. Im Plot sind wieder für jedes Papier zwei Balken aus den Doppelproben angeführt. Insgesamt sind 6 Balken für drei Papiere dargestellt.

Die Abbildung 7.15 (a) zeigt den Ergebnisplot des Cyan Vollton. Es sind wieder für jedes Papier Doppelproben bestimmt worden und die Reihenfolge der Papiere lautet WFC5 - LWC10 und LWC16. Das gesamte R^2 über alle Papiere fällt mit 0,08 sehr niedrig aus. Die Vorzeichen der Koeffizienten bei Formation, Papierweiße und Glanz sind konstant, maßgebende Erklärungsteile sind jedoch nur in der Papierweiße und im Glanz vorhanden.

Topografie und Brechungsindex weisen auch einen geringen exklusiven Erklärungsteil auf, die Vorzeichen der Koeffizienten sind jedoch nicht konstant.

Der Durchlicht-Scan zeigt beim WFC Papier Erklärungsteile, bei den LWC Papieren ist dies nicht der Fall.

Zur Papierweiße muss gesagt werden, dass der Vergleich der Doppelproben nicht befriedigend ist. Auch die Erklärungsteile im Glanz beim WFC Papier variiert stark.

Generell spiegelt diese Zusammenfassung die Ergebnisse des LWC16 Papiers, welche oben besprochen wurden, wieder. Alle zu diesem Versuch gemessenen Papiereigenschaften können nur einen sehr geringen Teil des Druckbildes erklären. Demnach muss die Variation im Druckbild bei gestrichenen Papieren durch anderen Papiereigenschaften oder Mechanismen erklärt werden können.

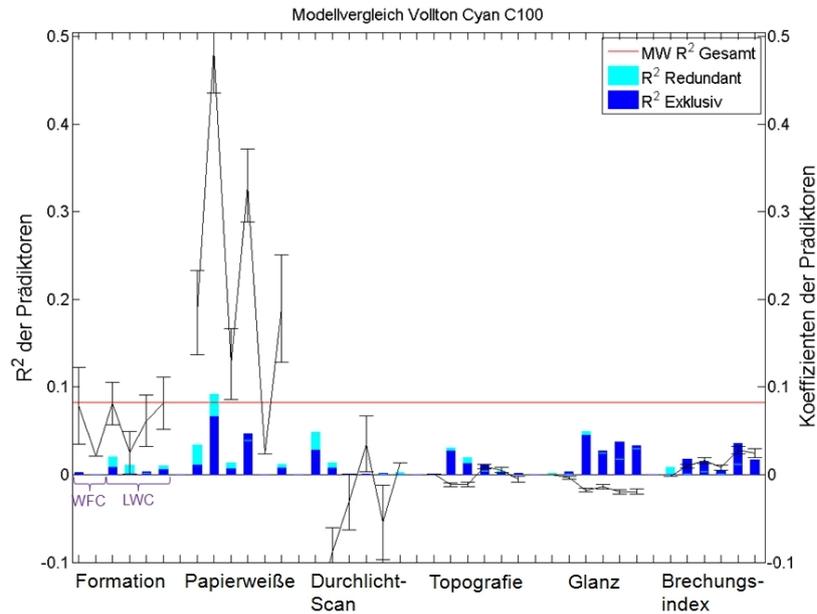
In Abbildung 7.15 (b) sind die Ergebnisse des Halbtons dargestellt. Der Mittelwert der R^2 über alle Papiere liegt bei 0,18 und ist damit höher als im Vollton.

Hier besitzen nur die Papierweiße und der Glanz konstante Vorzeichen der Koeffizienten, und bringen auch einen Erklärungsteil für das Modell.

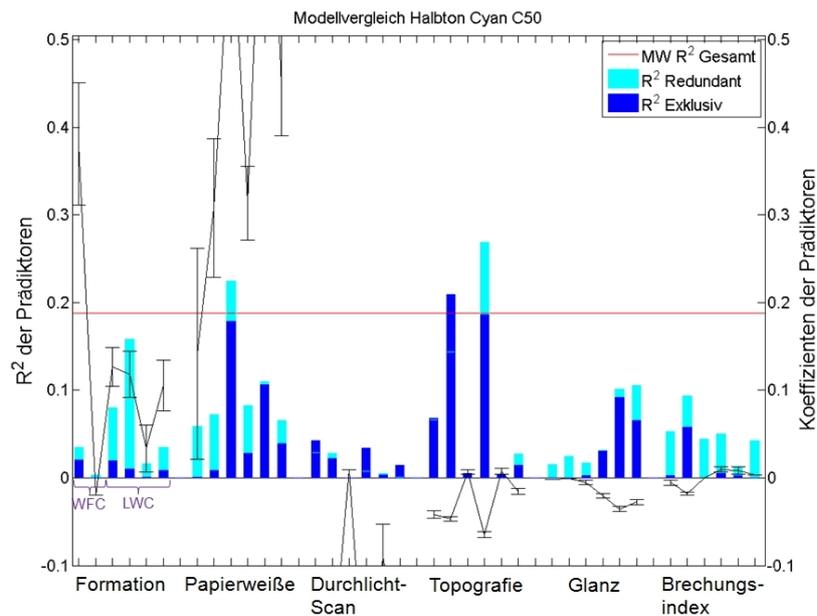
Formation, Durchlicht-Scan, Topografie und Brechungsindex zeigen unterschiedliche Vorzeichen in den Koeffizienten und auch die Doppelproben stimmen mehrheitlich nicht überein.

Auch hier tritt ein, was bereits bei den Volltönen besprochen wurde. Die erklärenden Papiereigenschaften können nur einen geringen Teil des Druckbildes erklären, der jedoch etwas höher ist als im Vollton.

Weiters ist bedenklich, dass der Vergleich der Doppelproben so schlecht ausfällt. Diese Tatsache lässt das gezeigte Ergebnis deutlich anzweifeln, da aus den anderen Modellierungen der Farbübertragung bekannt ist, dass die Doppelproben gut übereinstimmen.



(a) Vollton Cyan C100



(b) Halbton Grau B50

Abbildung 7.15 Darstellung der Ergebnisplots für den Voll- und Halbton. Für jedes Papier wurde eine Doppelprobe untersucht und die Reihenfolge der Papiere lautet WFC5 - LWC10 - LWC16. Über alle Papiere zeigt sich, dass im Vollton keine erklärende Variable maßgebend ist. Die gemessenen Prädiktoren können das Druckbild nicht erklären. Im Halbton ist das R^2 gegenüber dem Vollton höher, verantwortlich dafür sind die Papierweiße, die Topografie und auch der Glanz. Jedoch ist keine der Prädiktoren über die Gesamtheit der Papiere konstant vertreten.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit Positiv ist zu erwähnen, dass die Modellierung der Farbübertragung mit der Art dieses Labordruckes auch bei gestrichenen Papiere durchführbar ist.

Die Hinzunahme der Papierweiße zeigt auch bei den gestrichenen Papieren positive Effekte auf die Modelle, wenngleich diese gering ausfallen.

Der Durchlicht-Scan zeigt nur beim WFC Papier eine Korrelation mit dem Druckbild bei gleichen Vorzeichen in den Koeffizienten.

Negativ muss angesehen werden, dass die Wahl der erklärenden Variablen bei den gestrichenen Papieren eher unglücklich war. Papiereigenschaften mit Einfluss auf das Druckbild bei den ungestrichenen SC Papieren können nicht direkt auf die gestrichenen LWC und WFC Papiere umgelegt werden. Um hier bessere Modelle zu erreichen, müssen andere Papiereigenschaften, welche vor allem den Strich betreffen, gemessen werden.

Ein weiteres Problem stellt die starke Streuung der Doppelproben dar und auch die Tatsache, dass in allen Modellen andere erklärende Variablen besser mit dem Druckbild korrelieren.

7.3 Bogenoffsetdruck

In den beiden vorigen Abschnitten dieses Kapitels wurde die lokale Modellierung der Farbübertragung anhand eines industriellen Heatset Web Offset Druckes und eines Prüfbaudruckes im Labormaßstab gezeigt. Aus Sicht der lokalen Modellierung liegt der Vorteil im Heatset Web Offset Druck in der Art und Qualität des Druckes, der Vorteil des Prüfbaudruckes ist die Tatsache, dass die Farbentfernung mittels dem Wischtest nur zum Zweck der Sichtbarmachung der Druckfarbenpenetration durchgeführt wird.

Diese beiden genannten Vorteile können nun im Bogenoffsetdruck vereint werden. Die Druckqualität ist mit der des Heatset Web Offset Druckes vergleichbar und die Papiereigenschaften können direkt am unbedruckten Papier gemessen werden. Ermöglicht wird dies durch den Druck auf einer HEIDELBERGER GTO² mit 2 Farbwerken bei unserem Projektpartner NORSKE SKOG BRUCK³. Die Druckmaschine hat den großen Vorteil, dass auch Papier in der Größe A4 verarbeitet werden kann. Das ist die Papiergröße, die gerade noch in die Messsystemen zur Erfassung der Papiereigenschaften eingelegt werden kann.

Nachteilig muss jedoch erwähnt werden, dass bei einer Bogenoffset Druckmaschine mit nur 2 Farbwerken die Herkunft des Backtrap-Mottlings nur ansatzweise untersucht werden kann. Die erste druckende Farbe (Cyan) wird nur einmal rückgespalten, die zweite druckende Farbe (Magenta) gar nicht. Weiters ist eine Bogenoffset

²Heidelberger Druckmaschinen AG, Heidelberg (Deutschland). www.heidelberg.com

³Norske Skog Bruck GmbH, Bruck an der Mur (Österreich). www.norskeskog.at

Druckmaschine mit nur 2 Farbwerken nicht mehr Stand der Technik. Aktuell werden Druckmaschinen mit 4 oder mehr Farbwerken eingesetzt.

Für die Auswertung der lokalen Modellierung am Bogenoffsetdruck wurden jeweils zwei ungestrichene SC Papiere, zwei LWC Papiere sowie zwei WFC Papiere ausgewählt. Fünf dieser Papiere stammen wieder aus dem Probensatz pmc2009 (Kapitel 6.1), lediglich ein weiteres WFC Papier wurde neu in die Untersuchungen aufgenommen. Dazu erfolgt eine detaillierte Probenauflistung bei der Auswertung der jeweiligen Sorten.

Das Drucksujet wurde nach oben bereits genannten Kriterien in A4-Größe gewählt (Abbildung 7.16), wodurch pro Blatt und Papiersorte 4 aus den Farben Cyan und Magenta aufgebaute Farbflächen gedruckt werden konnten. Jeweils pro Viertel (Farbfläche) wurde eine Lasermarkierung mit einer Größe von 3 x 3 cm für die tatsächliche Messfläche angebracht, deren eindeutige Lage durch ein asymmetrisches Muster sichergestellt wird.

An den ausgewählten unbedruckten Papieren wurde zu Beginn die Papierweiße, die Oberflächeneigenschaften sowie die Topografie gemessen. Anschließend wurden die Papiere mit der Bogenoffset Druckmaschine und dem oben gezeigten Sujet bedruckt. Zur Kontrolle der Auswertung auf ihre Richtigkeit wurden jeweils Doppelproben hergestellt und vermessen. Nach dem Druck wurde der Scan des Druckbildes durchgeführt und weiters auch die Formation gemessen. Bei den ungestrichenen Papieren wurde abschließend auch noch der Tauchpenetrationstest zum Erhalt der Druckfarbenpenetration durchgeführt.

Als Zielvariable wird wie bei den bereits anderen lokalen Modellierungen wieder der Scan des Druckbildes heran gezogen, welcher bei einer Auflösung von 21,2 μm gemessen wurde. Die erklärenden Variablen für die Modellbildung sind in Tabelle 7.4 angeführt. Nachdem alle Papiereigenschaften erfasst wurden, werden die Proben anhand der Lasermarkierungen registriert und auf eine einheitliche Pixelgröße von 254 μm gebracht. Abschließend wird die Modellbildung mittels multipler linearer Regression durchgeführt. Zur Diskussion der Ergebnisse wird wieder der bereits aus Kapitel 4.2.2 bekannte Plot verwendet.

7.3.1 Ergebnisse und Diskussion der *ungestrichenen* Papiere

In diesem Abschnitt sollen nun die Ergebnisse der beiden ungestrichenen Papiere erläutert werden. Es handelt sich dabei um das SC-A Papier SCA13 (guter Druck nach dem Heatset Web Offset Druckversuch) und um das SC-B Papier SCB1 (schlechter Druck laut dem Heatset Web Offset Druckversuch) mit jeweils 60 g/m^2 Flächengewicht. Für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den anderen beiden Druckverfahren werden nur die folgenden Farbflächen ausgewertet und besprochen:

- Cyan \rightarrow C100 (Vollton)

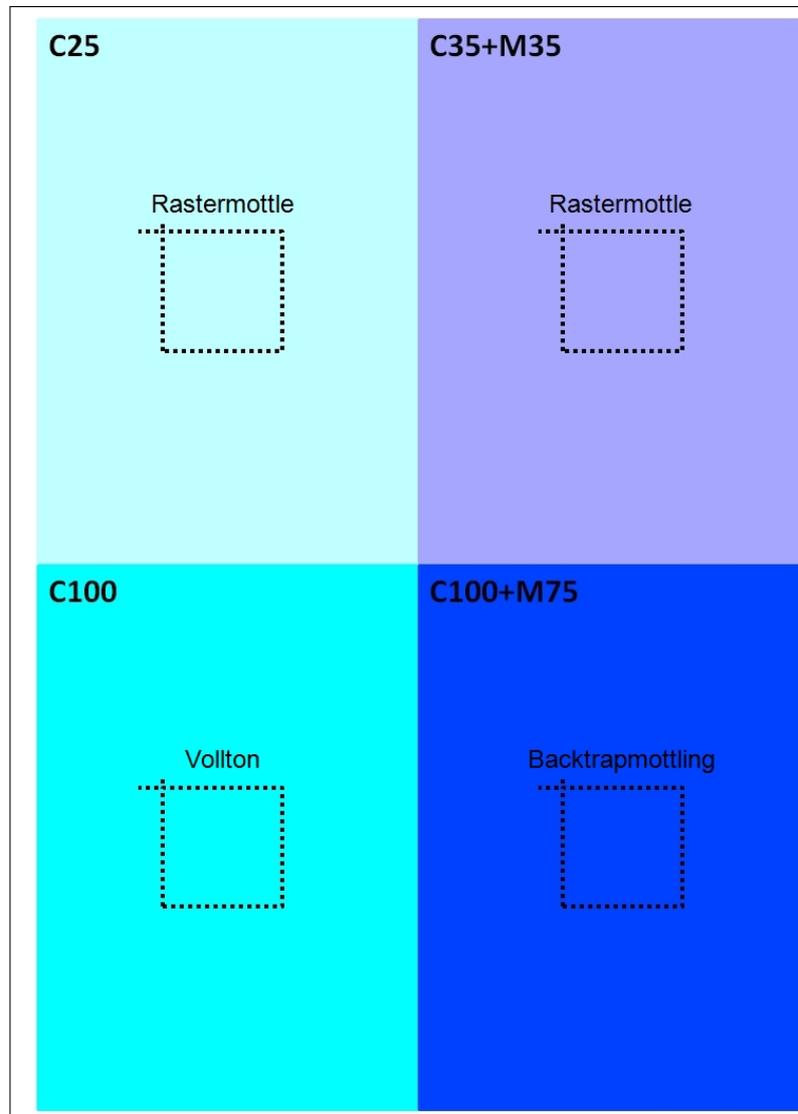


Abbildung 7.16 Druck-Sujet für den Bogenoffset Druck in A4 Größe mit vier unterschiedlichen Farbflächen.

Variable	Auflösung	Messsystem
Formation	50 μm	Beta-Radiografie
Druckfarbenpenetration	21,2 μm	Scanner (nur ungestrichene Papiere)
Weiß-Variation	21,2 μm	Scanner
Brechungsindex	200 μm	Surfoptic Imaging Reflectometer
Glanz	200 μm	Surfoptic Imaging Reflectometer
Topografie	12,8 μm	Infinte Focus Measurement

Tabelle 7.4 Auflistung der erklärenden Variablen für die lokale Modellierung der Farbübertrag beim Bogenoffsetdruck. Alle Papiereigenschaften wurden an den unbedruckten Papierproben gemessen.

- Blau → C100+M75
- Hellblau → C25 (Raster-Mottle)

Der Aufbau der Ergebnisplots ist bereits mehrfach bekannt. Auf der x-Achse sind die erklärenden Variablen und auf der linken y-Achse ist der Wert der Übereinstimmung (R^2) der Prädiktoren mit der Zielvariable aufgetragen. Die ersten beiden Balken (jeweils Doppelproben) zeigen das Papier SCB1, die zweiten beiden Balken das SCA13. Die hellblauen Balken zeigen wieder den Wert der Übereinstimmung, wenn jeweils nur ein Prädiktor mit der Zielvariable korreliert wird. Die dunkelblauen Balken zeigen das R^2 , wenn alle Prädiktoren gemeinsam das Modell beschreiben und geben ausschließlich den exklusiven Anteil an Erklärungskraft an. Das bedeutet, dass der Informationsgehalt dieser dunkelblauen Balken in keiner anderen erklärenden Variable vorhanden ist. Daraus resultiert, dass der hellblaue Balken nur den redundanten Anteil des Bestimmtheitsmaß erklärt und von der Wichtigkeit dem dunkelblauen Balken untergeordnet ist.

Die rote Linie in den Diagrammen zeigt den Mittelwert des gesamten R^2 , der aus allen einzelnen Modellen errechnet wird. Auf der rechten y-Achse ist der Koeffizient der Prädiktoren aufgetragen und bewertet die schwarze Linie im Plot. Ein positives Vorzeichen wie im Falle der Formation gibt dabei an, dass bei dunkleren Stellen im Formationsbild (höhere flächenbezogene Masse) auch ein dunklerer Druckpunkt zu erwarten ist. Sind die Vorzeichen der Koeffizienten für eine Papiereigenschaft unregelmäßig (wechselnd positiv und negativ), kann keine eindeutige Aussage über den Einfluss dieser auf das Druckbild getätigt werden.

In Abbildung 7.17 (a) ist nun der Ergebnisplot des Volltones Cyan dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass das Druckbild hauptsächlich durch die Papierweiße erklärt werden kann. Sowohl die redundanten als auch die exklusiven Anteile sind dabei den anderen erklärenden Variablen deutlich überlegen und beim SC-B Papier deutlich höher als beim SC-A Papier. Das Vorzeichen der Koeffizienten ist konstant positiv, was im Falle der Papierweiße bedeutet, dass dunklere Stellen des unbedruckten Papiers auch zu dunkleren Stellen am bedruckten Papier führen. Die Druckfarbenpenetration bringt ebenfalls noch einen exklusiven Anteil für das Gesamtmodell, jedoch bei konstantem *positiven* Vorzeichen der Koeffizienten. Bis jetzt zeigten alle Vergleiche der Druckfarbenpenetration mit dem Druckbild negative Vorzeichen, was auch als logisch anzusehen ist. Dunklere Stellen, an denen mehr Druckfarbe ins Papier einpenetriert, zeigen hellere Stellen im Druckbild. Aufgrund des hier erhaltenen positiven Vorzeichen wird jedoch der Schluss gezogen, dass im Bogenoffset Druck beim 100% Cyan Vollton die Druckfarbenpenetration nicht mit dem Druckbild korreliert und so aus dem Modell entfernt werden könnte. Die Formation korreliert nur sehr schwach mit dem Druckbild, der exklusive Erklärungskraftanteil ist dabei vernachlässigbar gering. Die restlichen Papiereigenschaften Brechungsindex, Glanz und Topografie

können das Modell nicht wesentlich verbessern. Der Mittelwert des gesamten R^2 liegt in etwa bei 0,25.

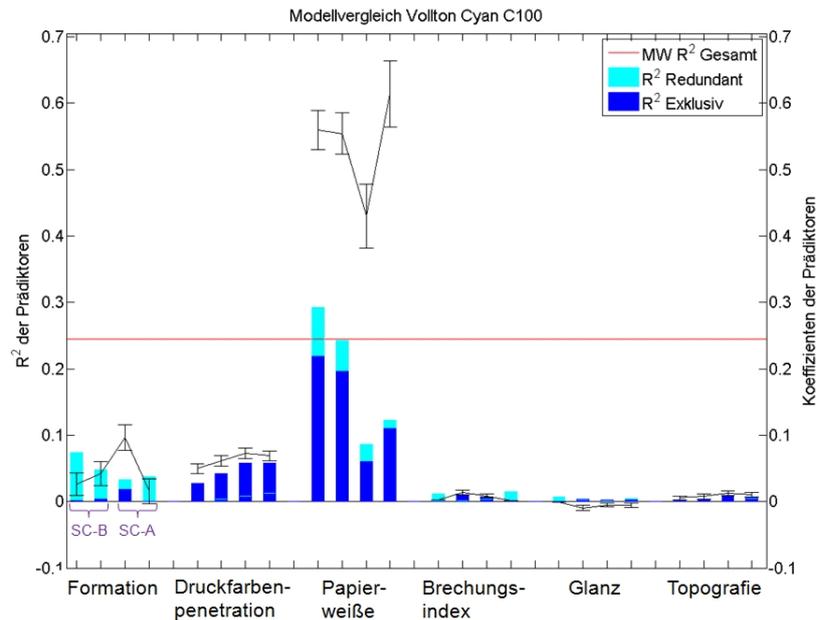
Der Ergebnisplot des blauen Farbfeldes mit der Zusammensetzung C100+M75 ist in Abbildung 7.17 (b) dargestellt. Hier zeigt sich gegenüber dem Vollton Cyan ein doch deutlich anderes Bild. Ausgenommen der Topografie zeigen alle Prädiktoren einen redundanten Erklärkraftanteil, der beim Brechungsindex und Glanz gegenüber der Formation, der Druckfarbenpenetration und der Papierweiße etwa geringer ausfällt. Die Balken beim SC-B Papier sind wieder etwas höher als die beim SC-A Papier. Vergleicht man die exklusiven Erklärkraftanteile, zeigt sich, dass vor allem die Druckfarbenpenetration und die Papierweiße am höchsten mit dem Druckbild korrelieren. Der exklusive Anteil der Formation ist etwas geringer und gleich hoch wie bei Brechungsindex und Glanz. Bei allen Papiereigenschaften sind die Vorzeichen der Koeffizienten konstant. Die Druckfarbenpenetration zeigt hier wieder negative Vorzeichen, wodurch diese Variable wieder im Modell beibehalten und als Richtig angesehen werden kann. Der Mittelwert des gesamten R^2 liegt mit knapp 0,49 deutlich über dem Wert des Cyan-Volltons.

Abbildung 7.18 zeigt den Ergebnisplot des hellblauen Rastertons in einer 25%igen Tonwertstufe von Cyan. Hier ist wieder die Papierweiße die maßgebende Papiereigenschaft, sowohl beim redundanten als auch beim exklusiven Erklärkraftanteil. Der redundante Anteil der Formation ist ebenfalls hoch, jedoch deutlich geringer als bei der Papierweiße. Die exklusiven Anteile sind sehr gering, außer beim zweiten Muster des SC-A Papiers. Dies wird jedoch aufgrund der fehlenden Bestätigung durch die erste Probe nur mit Vorsicht betrachtet. Das Vorzeichen der Koeffizienten ist bei der Papierweiße, der Formation und der Druckfarbenpenetration konstant. Im Falle der Druckfarbenpenetration wird jedoch wieder ein unerwartetes Vorzeichen errechnet, wodurch diese Papiereigenschaft aus diesem Modell, gleich wie im Cyan Vollton, wieder entfernt werden kann. Der Mittelwert des gesamten R^2 fällt mit einem Wert von knapp 0,6 nochmals deutlich höher aus als beim blauen Farbfeld.

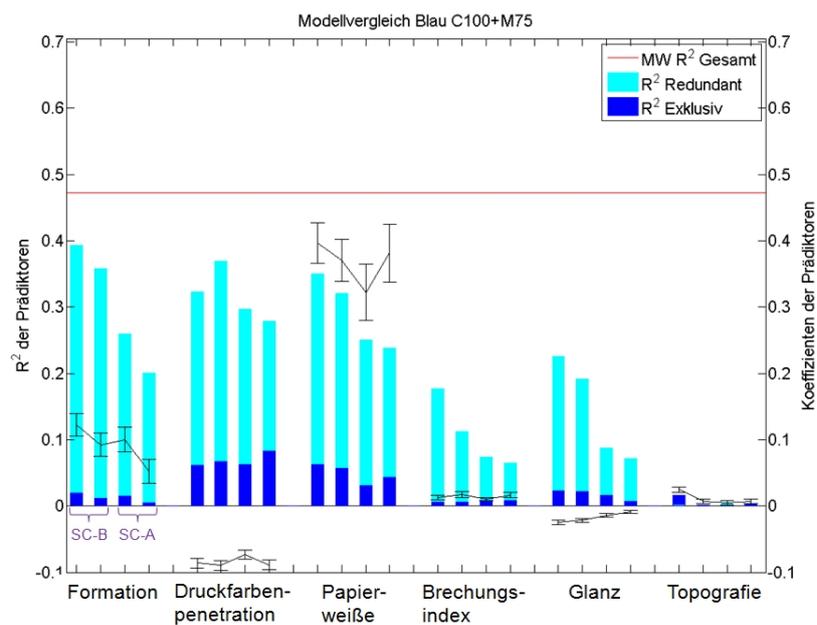
Die doch deutlich unterschiedlichen Ergebnisse bezüglich der Druckfarbenpenetration im Heatset Web Offset Druck und im Bogenoffsetdruck können womöglich auf die unterschiedliche Druckfarbenzusammensetzung (siehe dazu Kapitel 2.1) und die damit verbundene Eigenschaften zurück geführt werden. Demnach haben diese beiden Druckfarben ein ungleiches Eindringverhalten in den Bedruckstoff und korrelieren auch verschieden mit dem Druckbild.

Übereinstimmung der Doppelproben

Die Ergebnisse zeigen, dass die Balken der SC-B Papiere jeweils etwas höher sind als bei den SC-A Papieren. Dies wird auch bei der Betrachtung der Doppelproben bestätigt, welche zeigen, dass die Abweichungen innerhalb eines Papiers eher gering ausfallen. Einzig beim SC-A Papier im Rasterton Hellblau weichen die Doppelproben



(a) Farbton Cyan - C100



(b) Farbton Blau - C100+M75

Abbildung 7.17 Darstellung der Ergebnisplots für die Farbflächen Cyan (a) und Blau (b). Die ersten beiden Balken entsprechen dem SC-B Papier SCB1 und die zweiten beiden Balken dem SC-A Papier SCA13 (jeweils Doppelprobe). Im Farbfeld Cyan ist die Papierweiße maßgebend, jedoch auch die Druckfarbenpenetration bringt noch einen exklusiven Erklärungsteil in das Modell ein. Im Farbton Blau haben bei in etwa gleichem redundanten Erklärungsteil die Papierweiße und auch die Druckfarbenpenetration einen gleichwertigen exklusiven Anteil am Modell. Die Formation zeigt ebenso einen erheblichen redundanten Anteil, der exklusive ist jedoch den beiden erstgenannten Variablen deutlich untergeordnet.

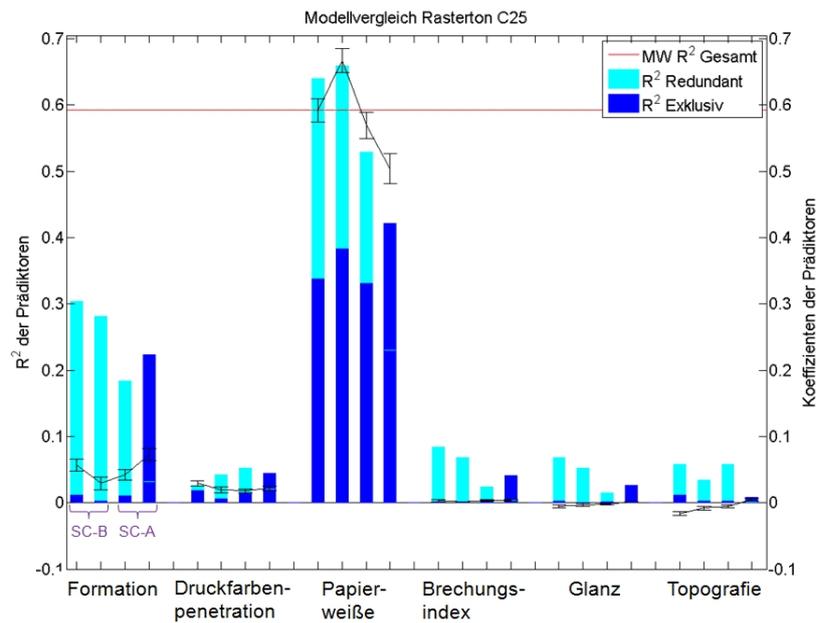


Abbildung 7.18 Darstellung des Ergebnisplots für den Rasterton Cyan mit einem Tonwert von 25%. Die Aufteilung der Balken erfolgt wieder nach dem SC-B Papier (SCB1) und dem SC-A Papier (SCA13) (jeweils Doppelproben). Hier zeigt sich, dass hauptsächlich die Papierweiße für die Erklärkraft des Druckbildes verantwortlich ist. Das zweite Muster des SC-A Papiers zeigt in der Formation einen doch sehr deutlichen exklusiven Erklärkraftanteil mit dem Druckbild. Dies wird hier aber aufgrund der fehlenden Bestätigung durch die ersten Probe mit Vorsicht betrachtet.

stark voneinander ab. Hier kann jedoch aufgrund der Ergebnisse des SC-B Papiers darauf geschlossen werden, dass die erste Probe des Papiers SCA13 das richtige Ergebnis zeigt.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Bei der Betrachtung aller besprochenen Farbflächen wird deutlich, dass vor allem die Papierweiße für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich ist. Die Druckfarbenpenetration ist in der blauen Farbfläche mitbestimmend, bei den anderen beiden Flächen kann sie jedoch aufgrund des falschen Vorzeichens der Koeffizienten aus dem Modell entfernt werden.

Die Formation zeigt hohe redundante Anteile in Blau und Hellblau, die exklusiven Anteile sind jedoch gering. Die Abweichung der Doppelprobe beim SC-A Papier wurde oben bereits besprochen. Auch im Bogenoffsetdruck bestätigt sich das Ergebnis des Prüfbau Druckes, dass durch die Hinzunahme der Papierweiße als erklärende Variable die Wichtigkeit der Formation massiv abgeschwächt wird (siehe dazu Kapitel 7.4.2).

Die restlichen Papiereigenschaften Brechungsindex, Glanz und Topografie zeigen zwar Zusammenhänge mit dem Druckbild, diese sind jedoch so gering, dass der Mehrwert der Modelle dadurch vernachlässigbar ist. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind dabei meist konstant, die Werte dazu jedoch sehr gering.

7.3.2 Ergebnisse und Diskussion der gestrichenen Papiere

Folgend werden die Ergebnisse der gestrichenen Papiere im 2-Farben Bogenoffset Testdruck diskutiert. Untersucht wurden dazu jeweils 2 Papiere der Sorten LWC und WFC (Tabelle 7.5). Zur Auswertung kommen die gleichen Farbflächen, welche bereits zuvor bei den ungestrichenen Papieren diskutiert wurden. Ein Vergleich mit den Ergebnissen aus dem Heatset Web Offset Druck ist nicht möglich, da bei diesem Druckversuch wegen bereits besprochener Probleme keine gestrichenen Papiere ausgewertet werden konnten (siehe dazu Kapitel 7.1.1).

Zur Diskussion der Ergebnisse werden wieder die soeben oben besprochenen Ergebnisplots angewendet. Dabei sind die Balken wieder unterteilt in die LWC Papiere

Bezeichnung	Papiersorte	Flächengewicht
LWC10	LWC glänzend	60 g/m ²
LWC16	LWC matt	60 g/m ²
WFC5	WFC glänzend	90 g/m ²
WFC51	WFC matt	90 g/m ²

Tabelle 7.5 Gestrichene Papiersorten für den Bogenoffset Druck

(Reihenfolge LWC10 - LWC16, jeweils Doppelproben) und in die WFC Papiere (Reihenfolge WFC5 - WFC51, jeweils Doppelproben).

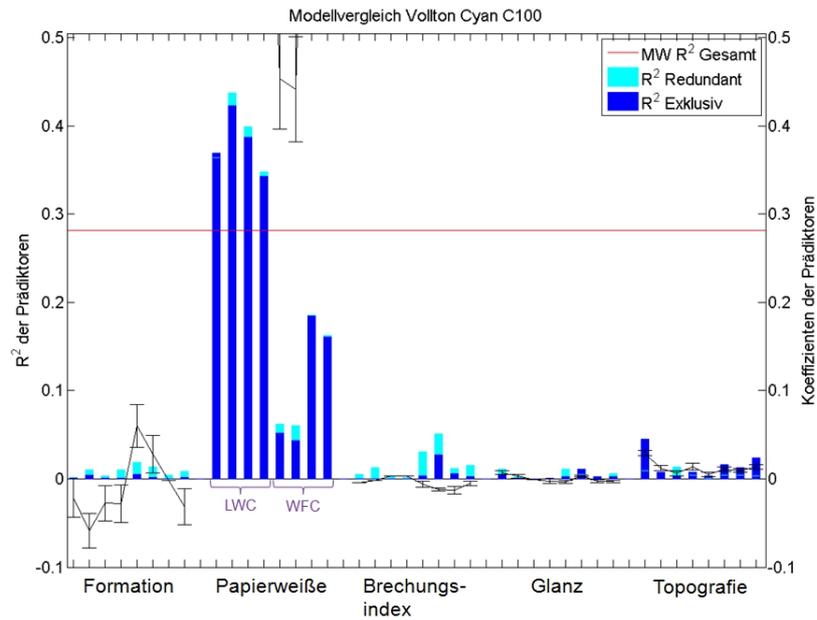
Der erste Ergebnisplot ist in Abbildung 7.19 (a) dargestellt. Dabei handelt es sich um einen Vollton in der Farbe Cyan. Es zeigt sich sehr deutlich, dass nur die Papierweiße einen Zusammenhang mit dem Druckbild aufweist. Dies ist daran erkennbar, dass der exklusive Erklärkraftanteil nahezu gleich hoch ist wie der redundante. Die Übereinstimmung ist bei den LWC Papieren deutlich höher als bei den WFC Papieren. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind dabei konstant positiv, und bestätigen nochmals, dass dunkle Stellen am unbedruckten Papier auch dunklere Stellen im Druckbild hervor rufen. Die restlichen im Modell enthaltenen Papiereigenschaften sind im Vergleich mit der Papierweiße untergeordnet und vernachlässigbar. Das mittlere R^2 aller Gesamtmodelle liegt in etwa bei 0,29 und ist damit sogar höher als bei den ungestrichenen Papieren. Zu diesem Wert muss allerdings gesagt werden, dass das R^2 der LWC Papiere deutlich höher ist als bei den WFC Papieren. Bei diesen zeigt sich wiederum, dass der Zusammenhang zwischen der Papierweiße und dem Druckbild beim matten WFC deutlich höher ist als beim glänzenden.

In Abbildung 7.19 (b) ist der Ergebnisplot der blauen Farbfläche mit der Zusammensetzung C100+M75 dargestellt. Hier ist ebenfalls wieder die Papierweiße bei allen Papieren für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich, jedoch weitaus nicht so stark wie beim Cyan Vollton. Weiters ist keine Unterscheidung zwischen den LWC und den WFC Papieren gegeben. Bei den LWC Papieren zeigt zusätzlich auch der Glanz eine Übereinstimmung mit dem Druckbild, welcher in etwa gleich stark ist wie die Papierweiße. Alle anderen Papiereigenschaften bringen nur wenig zusätzliche Erklärkraft zum Modell und auch die Vorzeichen der Koeffizienten sind bei diesen Papiereigenschaften nicht konstant. Der Wert des mittleren R^2 aller Modelle liegt lediglich bei etwa 0,15 und ist damit deutlich geringer als beim Cyan Vollton.

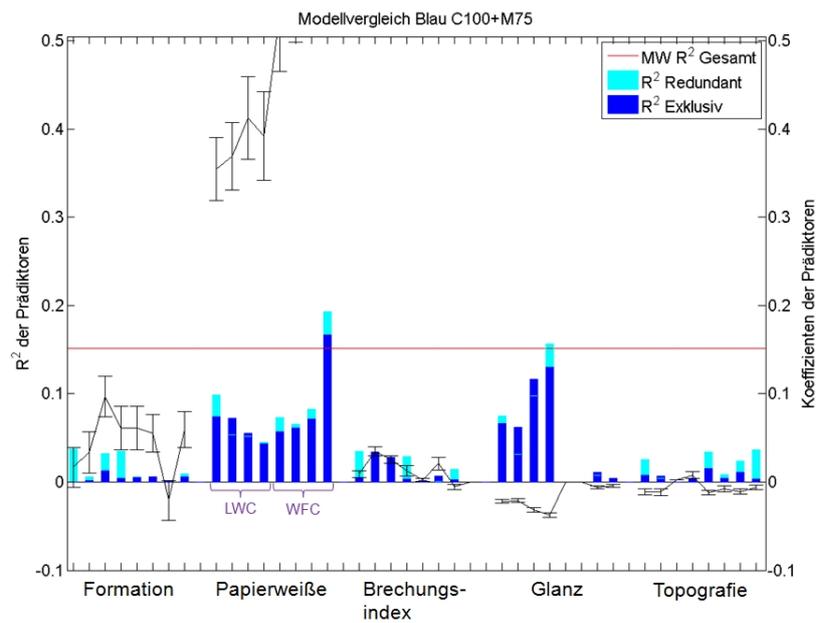
Der Ergebnisplot des Rastertons Hellblau ist in Abbildung 7.20 dargestellt. Dieser Plot deckt sich stark mit dem Cyan Vollton. Es ist wieder die Papierweiße hauptsächlich für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich. Die LWC Papiere korrelieren dabei besser mit der Zielvariable als die WFC Papiere. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind dabei konstant positiv. Die restlichen Papiereigenschaften dieses Modelles sind der Papierweiße stark untergeordnet und die Vorzeichen der Koeffizienten variieren zum Teil, wodurch diese Variablen das Modell nicht verstärken können. Das mittlere R^2 aller untersuchten Papiere liegt in etwa bei 0,33, wobei auch hier wieder gesagt werden muss, dass die R^2 -Werte Modelle für das LWC Papier deutlich höher sind als die Werte der WFC Papiere.

Übereinstimmung der Doppelproben

Beim Vollton Cyan stimmen die Doppelproben der einzelnen Papiere bei der maßgebenden Papiereigenschaft Papierweiße gut überein. In der Farbfläche Blau weichen



(a) Farbton Cyan - C100



(b) Farbton Blau - C100+M75

Abbildung 7.19 Darstellung der Ergebnisplots für die Farbflächen Cyan (a) und Blau (b). Die Reihenfolge der LWC Papiere lautet LWC10 - LWC16, die der WFC Papiere lautet WFC5 - WFC51. Jeweils 2 Balken entsprechen einer Doppelprobe für jedes Papier. In der Farbfläche Cyan kann durch die Papierweisse bei beiden Papiersorten ein erheblicher Anteil des Druckbildes erklärt werden. Beim LWC Papier ist dies jedoch deutlich ausgeprägter der Fall als beim WFC Papier. Im Blau-Ton ist ebenfalls die Papierweisse für beide Papiersorten für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich. Bei den LWC Papieren bringt zusätzlich der Glanz in etwa einen gleich hohen exklusiven Anteil in das Modell ein wie die Papierweisse.

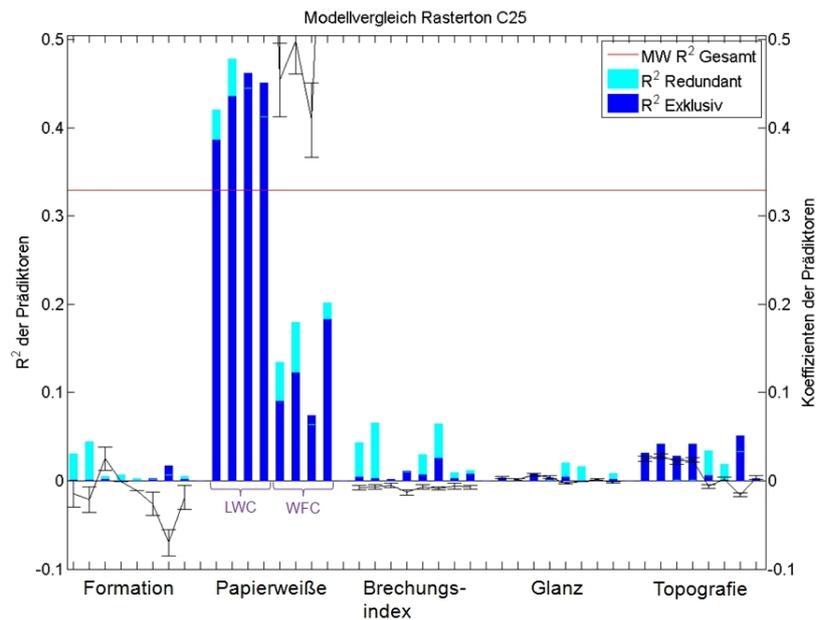


Abbildung 7.20 Darstellung des Ergebnisplots für den Rasterton Cyan mit einem Tonwert von 25%. Die Aufteilung der Balken erfolgt wieder nach den LWC Papieren (LWC10 - LWC16) und den WFC Papieren (WFC5 - WFC51) (jeweils Doppelproben). An diesem Rasterton ist erkennbar, dass wieder die Papierweiße den höchsten Erklärkraftanteil am Druckbild aufbringt. Bei den LWC Papieren ist sowohl der redundanten als auch der exklusive Erklärkraftanteil deutlich höher als bei den WFC Papieren.

lediglich die beiden Balken der Papierweiße des WFC51 etwas stärker ab. Im hellblauen Rasterton ist ebenfalls wieder die zweite Probe des WFC51 bei der Papierweiße deutlich höher. Hinsichtlich dieser beiden Ausreißer kann jedoch keine Empfehlung abgegeben werden, welcher der beiden WFC51 Proben tatsächlich das Richtige Ergebnis zeigt. Bei den hier nicht direkt angesprochenen Papiereigenschaften der unterschiedlichen Farbflächen ist die Übereinstimmung der Doppelprobe weniger wichtig, da diese Prädiktoren ohnehin keinen Zusammenhang mit dem Druckbild zeigen.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Bei der Betrachtung aller Ergebnisplots der drei Farbflächen wird deutlich, dass die Papierweiße am besten mit dem Druckbild korreliert. Im Cyan Voll- und Rasterton ist der Wert der Übereinstimmung bei den LWC Papieren mit einem Wert zwischen 0,4 und 0,5 sogar sehr hoch. Jedoch zeigt die Papierweiße auch bei den WFC Papieren einen deutlichen Zusammenhang mit der Zielvariable, was beim Prüfbau Druckversuch nicht der Fall war.

Bei der blauen Farbfläche verstärkt der Glanz bei den LWC Papieren die Modelle nicht unwesentlich, und bringt so ebenfalls einen gewissen Erklärungsteil zum Gesamtmodell ein. Ein Zusammenhang mit dem Druckbild bei den WFC Papieren ist jedoch nicht gegeben.

Im Bogenoffset Testdruck zeigt die Formation bei den gestrichenen Papieren keine Übereinstimmung mit dem Druckbild und auch die Vorzeichen der Koeffizienten sind nicht konstant. Versuche, bei denen die Papierweiße aus den Modellen entfernt wurde, ergaben keinen stärkeren Zusammenhang zwischen der Formation und dem Druckbild, wie es beim Prüfbau Probedruck bei den ungestrichenen Papieren (Abbildung 7.13) der Fall war. Modelle ohne Papierweiße zeigen nur mehr eine Übereinstimmung von 5-10% der Papiereigenschaften mit der Zielvariable. Demnach ist bei diesem durchgeführten Versuch der Einfluss der Formation auf das Druckbild nicht durch die Methode der lokalen Modellierung darstellbar.

Es ist jedoch bekannt, dass die Formation den Strichauftrag und die Gleichmäßigkeit des Striches beeinflusst, und das wiederum hat durchaus einen Einfluss auf die Druckqualität. Dieser indirekte Zusammenhang zwischen Formation und Druckqualität kann jedoch ebenfalls nicht durch diese Methodik gezeigt werden.

Die beiden restlichen Papiereigenschaften Brechungsindex und Topografie zeigen nur eine geringe Korrelation mit dem Druckbild und auch die Koeffizienten zeigen widersprüchliche Ergebnisse.

7.3.3 Fazit zum Bogenoffset Druckversuch

Die Bearbeitung und Auswertung des Bogenoffset Druckversuches mit 2-Farbwerken hat gezeigt, dass die Modellierung der Farbübertragung bei dieser Art des Druckes

(hohe Druckqualität) und der Durchführung (erklärende Papiereigenschaften am unbedruckten Papier gemessen) auch bei gestrichenen Papieren gut funktioniert und auch aussagekräftige Ergebnisse liefert. Verantwortlich dafür ist hauptsächlich die Hinzunahme der Papierweiße zu den erklärenden Papiereigenschaften, welche dann ja auch die maßgebende Variable für die Erklärung des Druckbildes war.

Es muss jedoch auch erwähnt werden, dass vor allem bei den WFC Papieren nur ein sehr geringes R^2 mit den eingesetzten erklärenden Papiereigenschaften erreicht werden konnte. Der Zusammenhang zwischen dem Papier und der Druckqualität muss also noch durch andere nicht gemessene Papiereigenschaften erklärt werden können.

Die Ergebnisse der ungestrichenen Papiere decken sich gut mit denen aus dem Heatset Web Offset Druckversuch. Die Papierweiße ist im Bogenoffset zur Erklärung des Druckbildes überragend, nimmt man diese jedoch aus dem Modell, wird der Einfluss der Formation wieder verstärkt, wodurch ein ähnliches Ergebnis wie im Heatset Web Offset Druck erreicht wird.

Bei den ungestrichenen Papieren wird vor allem im Vollton Cyan deutlich, dass auch hier andere Papiereigenschaften für die Erklärung des Druckbildes mitverantwortlich sind, da die Korrelation der Papiereigenschaften mit den Druckbild eher gering ausfällt.

7.4 Wechselwirkung der erklärenden Papiereigenschaften

Bei der Auswertung der lokalen Modellierung der Farbübertragung stellt sich die Frage, wie viel Information der erklärenden Variablen bereits in den anderen erklärenden Variablen vorhanden ist. Diese Frage wird vor allem darauf gestützt, dass alle Papiereigenschaften als Prädiktoren einen mehr oder weniger großen Erklärkraftanteil als redundante Variable besitzen, jedoch nur bestimmte davon konstant über alle Farbflächen einen exklusiven Anteil aufzeigen. Im Heatset Web Offset Druck sind das die Formation und die Druckfarbenpenetration sowie im Prüfbaudruck und Bogenoffsetdruck ebenfalls die Druckfarbenpenetration und hauptsächlich die Papierweiße.

Im Heatset Web Offset Druck ist die Druckfarbenpenetration in Abhängigkeit der Formation von Interesse, die nur im Blau- und Grauton einen exklusiven Erklärkraftanteil zeigt.

Im Labor- und Bogenoffset Druck ist vor allem das Zusammenwirken der Papierweiße und der Druckfarbenpenetration mit der Formation interessant, da die Formation nur mehr einen geringen exklusiven Erklärkraftanteil zu den Modellen bereitstellt.

Diese Auswertung soll an den ungestrichenen Papieren für die Druckverfahren Heatset Web Offset Druck und Prüfbaulabordruck klären, in welchem Ausmaß die Information von Brechungsindex und Glanz bereits durch die Papiereigenschaften Formation und Druckfarbenpenetration vorbestimmt sind. Die Stärke dieser Unter-

suchung der Wechselwirkungen liegt wieder in der Vielzahl an Messpunkten - mehr als 10.000 pro untersuchte Fläche - wodurch ein schlüssiges Ergebnis erwartet werden kann.

Die Auswertung des Bogenoffset Druckes wird hier nicht mehr explizit behandelt, da die ungestrichenen Papiere SCB1 und SCA13 bereits in den anderen beiden Druckversuchen behandelt und ausgewertet wurden. Für die gestrichenen Papiere wurde aufgrund der Tatsache, dass nur bei den LWC-Papieren die erklärende Variable Papierweiße einen Zusammenhang mit dem Druckbild zeigte, auf eine Analyse der Wechselwirkungen abgesehen.

Die Topografie wird aufgrund der nicht vorhandenen Korrelationen mit den anderen Papiereigenschaften hier nicht weiter berücksichtigt.

7.4.1 Zusammenhang Formation - Druckfarbenpenetration

Die erste Auswertung (Abbildung 7.21) zeigt den Zusammenhang zwischen der Formation und der Druckfarbenpenetration. Die Abbildung beinhaltet auf der x-Achse die verschiedenen gemessenen Papiere, weiters sind die Messungen aus dem Heatset Web Offset Druckversuch mit einem H, die Messungen aus dem Labordruck mit einem L gekennzeichnet. Die Farbcodierung der einzelnen Messflächen entspricht genau der bedruckten Flächen. Diese sind im Industriedruck Cyan, Grau, Blau und Haut und im Prüfbaudruck Cyan und der Cyan Halbton. Die Balken zeigen die Übereinstimmung zwischen den zu vergleichenden Papiereigenschaften und die Linien zeigen parallel die dazugehörigen Koeffizienten. Weiters ist der Plot unterteilt zwischen den SC-B Papieren auf der linken und den SC-A Papieren auf der rechten Seite.

Die Werte der Übereinstimmung schwanken je nach Papiersorte zwischen 10 und 40%, wobei die Druckfarbenpenetration aus der Formation resultiert. Die Werte der Koeffizienten sind konstant negativ. Aufgrund der Vorzeichen der Koeffizienten lässt sich der plausible Schluss ziehen, dass dunkle Stellen im Formationsbild (höhere lokale Masse) hellere Stellen im Bild der Druckfarbenpenetration (weniger einpenetrierte Druckfarbe) bewirken. Dazu zeigt KAJANTO [1991], dass eine höhere lokale Masse auf Faserflocken beruht und durch die Satinage des Papiers kommt es an diesen Stellen zu einer Flockenverdickung, wonach in diese Bereiche weniger Druckfarbe einpenetrieren kann.

Die hier gemessene Druckfarbenpenetration zeigt die maximal mögliche Druckfarbenaufnahme am unbedruckten Papier und sollte deshalb für alle Farbflächen gleich sein. In Abbildung 7.21 ist zu erkennen, dass die Unterschiede zwischen den Farbflächen nicht groß sind und dass sich auch die Ergebnisse aus Industrie- und Labordruck gleichen. Dennoch ist anzumerken, dass das Bestimmtheitsmaß bei den Halbtönen B50H und C50L gegenüber den anderen Flächen etwas höher ist.

Aufgrund des hier gezeigten Ergebnisses - die Druckfarbenpenetration korreliert mit der Formation in allen Farbflächen gleich - kann im Industriedruck davon aus-

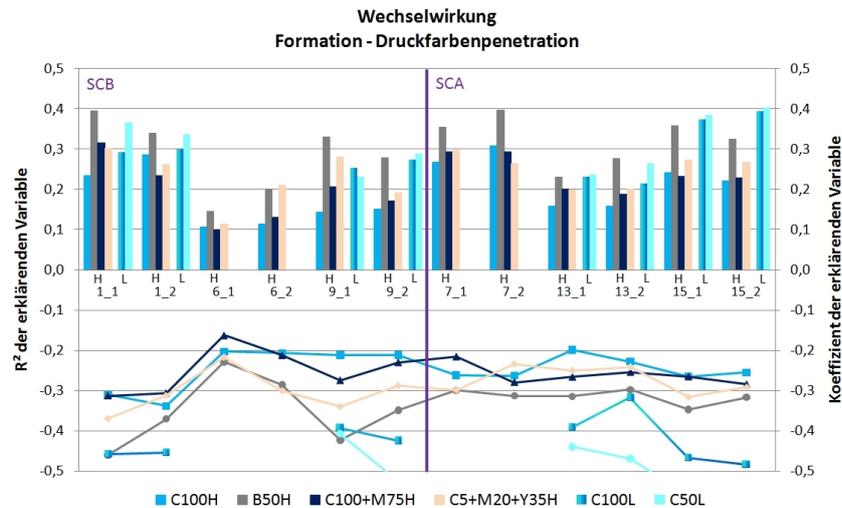


Abbildung 7.21 Das Diagramm zeigt, dass die Formation in einem Bereich zwischen 10 und 40% die Druckfarbenpenetration erklären kann. Die Unterschiede in den unterschiedlichen Farbflächen sowohl im Heatset Web Offset (H) als auch im Labordruck (L) sind vernachlässigbar, lediglich zwischen den diversen Papieren sind Unterschiede erkennbar. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind konstant negativ und geben an, dass Bereich mit hoher lokaler Masse (dunkle Stellen) hellere Stellen im Bild der Druckfarbenpenetration (weniger einpenetrierte Druckfarbe) bewirken.

gegangen werden, dass der unterschiedliche Einfluss der Druckfarbenpenetration auf das Druckbild (Abbildung 7.4 und 7.5) nicht zufällig ist und tatsächlich nur im Grau- und Blauton einen Teil der Druckinhomogenität erklären kann.

Auf den Labordruck bezogen fällt die Interpretation der Ergebnisse etwas anders aus. Hier zeigt sich bei den Ergebnissen (Abbildung 7.12), dass im Halbton Cyan keine der beiden Papiereigenschaften einen exklusiven Anteil an Erklärkraft am Druckbild hat. Im Vollton erklärt die Druckfarbenpenetration einen exklusiven Anteil, die Formation jedoch nicht. Wird jetzt das Ergebnis der Wechselwirkung herangezogen, dass in etwa 40% der Druckfarbenpenetration durch die Formation bestimmt werden, dann muss auch noch ein anderer Mechanismus die Druckfarbenpenetration beeinflussen, so dass dieser einen doch erheblichen Erklärkraftanteil gegenüber der Formation am Druckbild hat.

7.4.2 Zusammenhang Formation - Druckfarbenpenetration - Papierweiße

Bezüglich des Labordruckes wurde weiter oben bereits erwähnt, dass die Formation gegenüber dem Industriedruck nur mehr einen redundante Erklärkraftanteil am Druckbild aufbringt, jedoch keinen exklusiven mehr. Das Hauptgewicht zur Erklärung des Druckbildes liegt hier jetzt bei der Papierweiße. Aus diesem Grund soll nun

auch der Zusammenhang zwischen der Formation und der Papierweiße diskutiert werden. Die Auswertung dazu ist in Abbildung 7.22 dargestellt.

Der Plot zeigt, dass der Zusammenhang zwischen Formation und Papierweiße je nach Papier zwischen 20 und 40% liegt, wobei gesagt werden muss, dass die Formation die Papierweiße bestimmt und nicht umgekehrt. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind dabei konstant positiv und bedeuten, dass Stellen mit hoher lokaler Masse in der Papierweiße eher dunkler erscheinen. Da die Papierweiße nur bei den laborbedruckten Papieren messbar war, sind nur zwei Messungen je Papier im Diagramm eingetragen, diese stimmen aber als Doppelprobe gut überein.

Da die Druckfarbenpenetration ebenfalls von der Formation abhängt, diese aber sehr wohl im Vollton Cyan einen exklusiven Erklärungsteil besitzt, soll auch der Zusammenhang zwischen Druckfarbenpenetration und Papierweiße betrachtet werden. Der Ergebnisplot der Wechselwirkung ist in Abbildung 7.23 zu sehen.

Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Variablen ist nicht sehr groß, dieser liegt je nach Papier zwischen 5 und 15%. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind dabei konstant negativ und bedeuten, dass dunkle Stellen im Bild der Druckfarbenpenetration (mehr einpenetrierte Druckfarbe; bedeutet auch Stellen mit geringerer lokaler Masse) eher hellere Stellen in der Papierweiße ergeben. Die Doppelproben der beiden untersuchten Fläche stimmen auch hier wieder gut überein, lediglich bei P1_2 konnte im Halbton kein Zusammenhang mit der Druckfarbenpenetration gefunden werden. Allgemein muss dabei bedacht werden, dass die Formation sowohl die Druckfarbenpenetration als auch die Papierweiße bestimmt. Demnach definieren sowohl bei der Druckfarbenpenetration als auch bei der Papierweiße andere Einflussgrößen der Formation diese Papiereigenschaften.

Kombiniert man nun im Labordruck die Wechselwirkungen zwischen Formation und Druckfarbenpenetration sowie Papierweiße und Druckfarbenpenetration und Papierweiße lassen sich einige plausible Schlüsse darüber ziehen.

Im Vollton haben sowohl die Druckfarbenpenetration und die Papierweiße exklusive Anteile an der Erklärung des Druckbildes. Da beide Papiereigenschaften eine gute Korrelation mit der Formation zeigen (jeweils bis 40%), könnte davon ausgegangen werden, dass jeweils die exklusive Anteil aus Druckfarbenpenetration und Papierweiße unterschiedliche Effekte der Formation beinhalten, da diese eben keinen exklusiven Anteil am Druckbild hält.

Im Halbton ist der exklusive Anteil der Formation und der Druckfarbenpenetration gegenüber der Papierweiße sehr klein und untergeordnet. Dazu muss gesagt werden, dass die Formation und die Papierweiße bis zu 40% und die Papierweiße und die Druckfarbenpenetration nur bis zu 10% korrelieren. Da nur die Papierweiße hier höhere exklusive Anteile des Druckbildes aufweist, könnte diese auch Information beinhalten, welche mit Formation und Druckfarbenpenetration korrelieren, wodurch diese beide Variablen keinen oder nur einen geringen exklusiven Anteil besitzen.

Der Abfall des Einflusses der Druckfarbenpenetration zwischen Vollton und Halb-

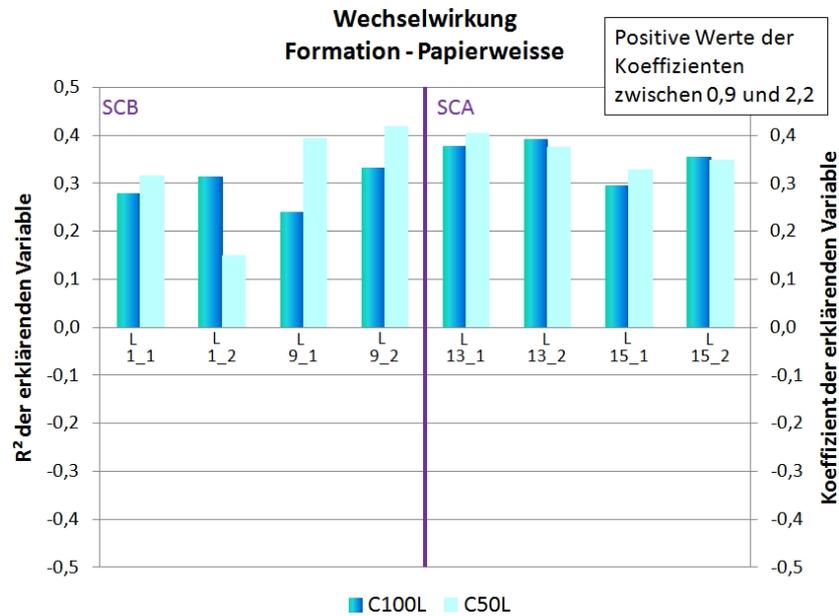


Abbildung 7.22 Die Abbildung zeigt die Wechselwirkung zwischen Formation und Papierweisse. Die Übereinstimmungen variieren je nach Papier in einem Bereich zwischen 20 bis 40%, die Koeffizienten sind konstant positiv und bedeuten, dass Stellen mit hoher lokaler Masse in der Papierweisse eher dunkler erscheinen. Da es sich hier um gemessene Papiereigenschaften am unbedruckten Papier handelt, können die beiden Balken wieder als Doppelproben angesehen werden, welche sehr gut übereinstimmen.

ton könnte ebenfalls auf die Korrelation zwischen Druckfarbenpenetration und Papierweisse zurückgeführt werden. Demnach kommt im Vollton ein anderer Anteil der Druckfarbenpenetration zum tragen, welcher nicht in der Papierweisse enthalten ist. Im Halbton jedoch könnten in etwa diese 10% Zusammenhang zwischen diesen Variablen bereits in der Erklärkraft der Papierweisse enthalten sein, wodurch der exklusive Anteil der Druckfarbenpenetration verschwindet.

Es zeigt sich weiter, dass die exklusiven Anteile der Druckfarbenpenetration im Vollton gegenüber dem Halbton nicht zufällig sind, da die Wechselwirkungen zwischen den erklärenden Variablen über alle gemessenen Papiere konstant und nicht von der Art der Bedruckung abhängig sind.

In einer abschließenden Betrachtung zwischen Formation, Druckfarbenpenetration und Papierweisse kann gesagt werden, dass durch die Zunahme der Papierweisse als erklärende Papiereigenschaft vor allem die Formation klar unterdrückt wird. Dieses Verhalten ist bereits aus anderen Auswertungen bekannt, konnte aber durch die hier gezeigten Ergebnisse bestätigt werden.

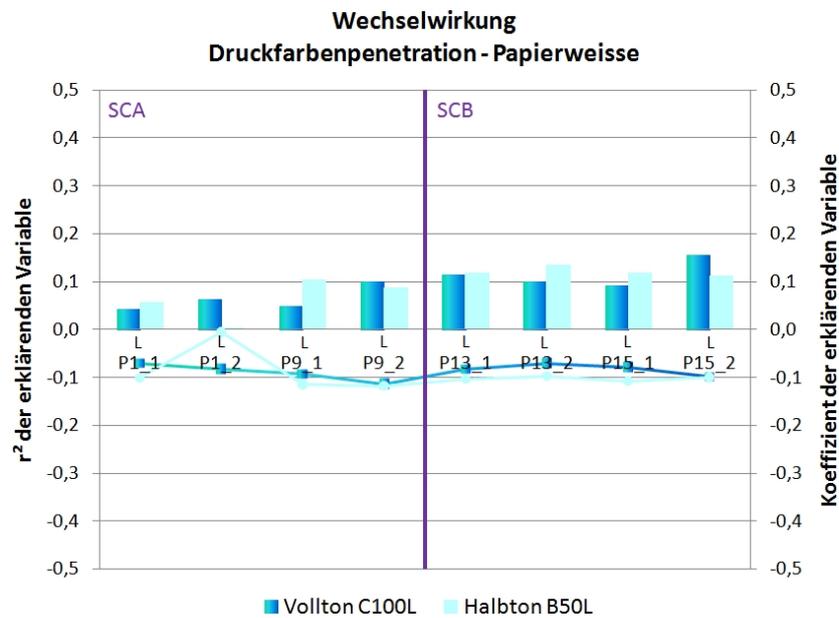


Abbildung 7.23 Die Abbildung zeigt die Wechselwirkung zwischen Druckfarbenpenetration und Papierweisse. Die Übereinstimmungen befinden sich je nach Papier zwischen 5 und 15%, die Koeffizienten sind konstant negativ und bedeuten, dass dunkle Stellen im Bild der Druckfarbenpenetration (mehr einpenetrierte Druckfarbe entspricht auch auch Stellen mit geringerer lokaler Masse) eher hellere Stellen in der Papierweisse ergeben. Die Balken können wieder als Doppelproben angesehen werden, da die hier verwendete Druckfarbenpenetration die maximal mögliche Druckfarbenpenetration zeigt, und diese vom Papier und nicht von der Art der Bedruckung abhängt.

7.4.3 Zusammenhang Formation - Brechungsindex und Glanz

Die Ergebnisse der Wechselwirkung zwischen der Formation und den optischen Eigenschaften Brechungsindex und Glanz sind in Abbildung 7.24 und 7.25 dargestellt.

Abbildung 7.24 zeigt die Übereinstimmung des durch die Formation hervorgerufenen Brechungsindex mit dieser und liegt zwischen 5 und 40% und zeigt sehr deutlich, dass erhebliche Anteile der Formation auch im Brechungsindex vorhanden sind. Die Werte der Koeffizienten sind konstant negativ und bedeuten, dass bei einer höheren lokalen Masse auch ein höherer Brechungsindex gemessen wird. Dies hängt wieder mit der Flockenverdickung an Stellen höherer lokaler Masse zusammen, wodurch sich ein höherer effektiver Brechungsindex einstellt. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass der Brechungsindex im Heatset Web Offset Druck anhand der gewischten Proben und im Labordruck an den unbedruckten Proben gemessen wurde. Dies ist der Grund, dass die Werte der Übereinstimmung bei den Labordrucken etwas höher gegenüber den Industriedrucken sind.

Abbildung 7.25 zeigt, dass auch der Glanz, welcher ebenfalls durch die Formation hervorgerufen wird, zwischen 5 und 35% mit der Formation korreliert. Die Werte sind ebenfalls wieder konstant negativ und zeigen gleich wie im Brechungsindex, dass eine höhere lokale Masse auch höheren Glanz hervorruft. Hier unterscheiden sich die Werte zwischen Industrie- und Labordruck nur gering oder gar nicht.

Für den Heatset Web Offset Druck kann der Schluss gezogen werden, dass die Formation zu einem bestimmten Anteil das Druckbild erklären kann, und eben diese Formation bereits erhebliche Informationsanteile des Brechungsindex und des Glanzes beinhaltet. Dadurch kann der exklusive Anteil an Erklärkraft der Oberflächenvariablen für das Druckbild nur mehr gering ausfallen.

Für den Labordruck fließt in diese Überlegung auch noch die erklärende Variable Papierweiße ein. Wie bereits oben gezeigt, wird das Druckbild größtenteils durch die Papierweiße erklärt. Diese Papierweiße wird jedoch bereits durch die Formation vorgegeben, welche auch erhebliche Informationsanteile von Brechungsindex und Glanz beinhaltet. Es muss jedoch erwähnt werden, dass Brechungsindex und Glanz in keins-ter Weise mit der Papierweiße korrelieren. Wie sich weiters zeigte, unterdrückt jedoch die Papierweiße die Formation, wodurch die Formation und die daraus resultierenden Papiereigenschaften Brechungsindex und Glanz nur mehr einen untergeordneten Zusammenhang mit dem erhaltenen Druckbild zeigen.

7.4.4 Zusammenhang Druckfarbenpenetration - Brechungsindex und Glanz

Die Diskussion der Ergebnisse der Wechselwirkung Druckfarbenpenetration und den optischen Eigenschaften Brechungsindex und Glanz umfasst nur den Zusammenhang mit dem Glanz, da der Brechungsindex keine aussagekräftige Übereinstimmung

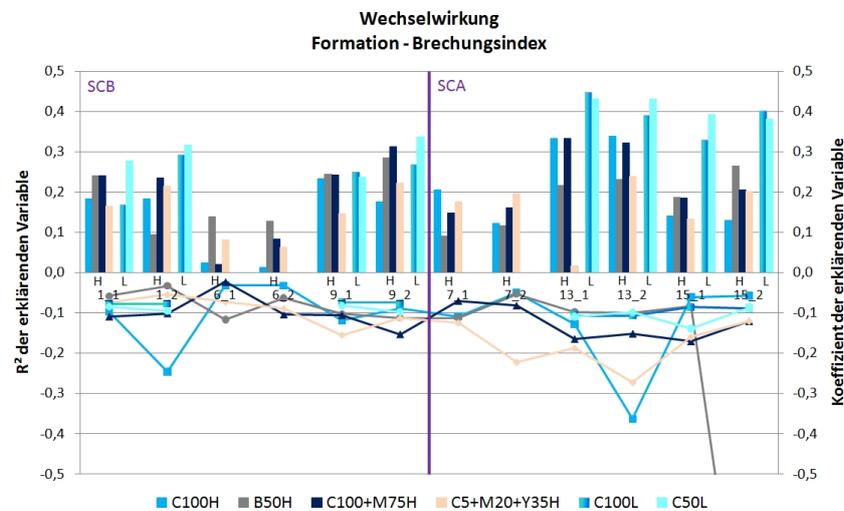


Abbildung 7.24 Die Abbildung zeigt, dass der durch die Formation hervorgerufene Brechungsindex zwischen 5 und 40% mit der Formation korreliert. Die Unterschiede in den unterschiedlichen Farblösungen sowohl im Heatset Web Offset (H) als auch im Labordruck (L) sind vernachlässigbar, jedoch sind die Werte der Papiere aus dem Labordruck (Brechungsindex gemessen am unbedruckten Papier) etwas höher. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind konstant negativ und bedeutet, dass bei höherer lokaler Masse auch ein höherer Brechungsindex gemessen wird.

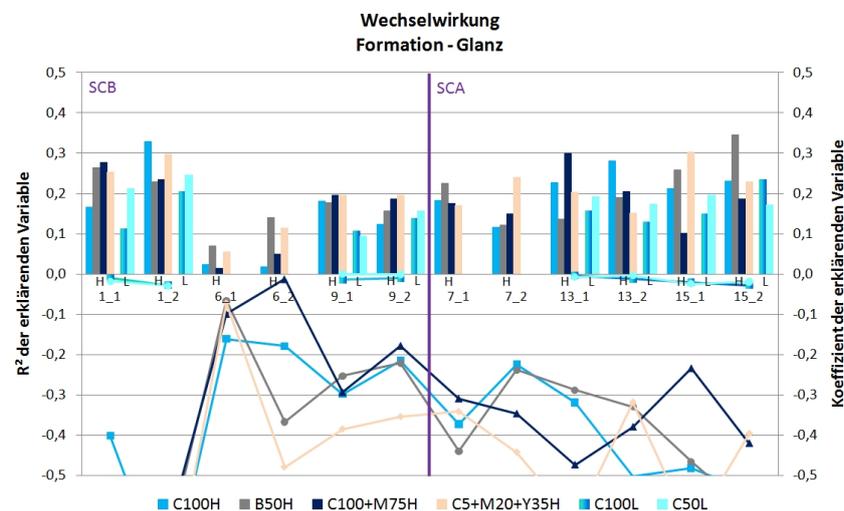


Abbildung 7.25 Die Abbildung zeigt, dass der durch die Formation hervorgerufene Glanz zwischen 5 und 35% mit der Formation korreliert (gleich dem Brechungsindex). Die Unterschiede in den unterschiedlichen Farblösungen sowohl im Heatset Web Offset (H) als auch im Labordruck (L) sind gering. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind konstant negativ und bedeutet, dass bei höherer lokaler Masse auch ein höherer Glanz gemessen wird.

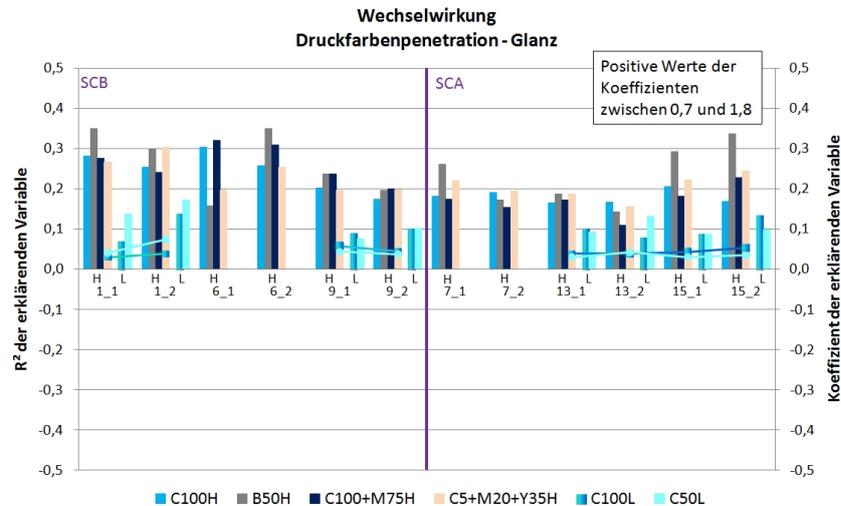


Abbildung 7.26 Die Abbildung zeigt die Wechselwirkung zwischen der Druckfarbenpenetration und dem Glanz, wobei die Übereinstimmung je nach Papier zwischen 5 und 35% liegt. Die Unterschiede in den Farbflächen sowohl im Heatset Web Offset (H) als auch im Labordruck (L) sind vernachlässigbar, jedoch sind die Werte der Papiere aus dem Labordruck (Glanz gemessen am unbedruckten Papier) etwas niedriger. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind konstant positiv und bedeuten, dass dunkle Stellen im Bild der Druckfarbenpenetration (mehr einpenetrierte Druckfarbe; entspricht auch niedrigere lokale Masse) niedrigeren Glanz hervorrufen.

mit der Druckfarbenpenetration erzielt. Weiters sind die Vorzeichen der Koeffizienten nicht konstant.

Die Korrelation zwischen der Druckfarbenpenetration und dem Glanz liegt je nach Papier zwischen 5 und 35%, die Differenz zwischen den unterschiedlichen Farbflächen ist wieder vernachlässigbar. Es zeigt sich jedoch, dass die Papiere aus dem Labordruck, bei welchen der Glanz an den unbedruckten Proben und nicht an der gewischten Probe gemessen wurde, einen etwas geringeren Zusammenhang mit der Druckfarbenpenetration aufweist. Die Vorzeichen der Koeffizienten sind konstant positiv und bedeuten in diesem Fall, dass dunkle Stellen im Bild der Druckfarbenpenetration (mehr einpenetrierte Druckfarbe; entspricht auch niedrigere lokale Masse) einen niedrigeren Glanz hervorrufen. Vergleicht man das Ergebnis mit den negativen Vorzeichen bei der Korrelation des Glanzes mit dem Druckbild - hier bedeutet höherer Glanz auch höhere Farbdichte - so stimmen diese beiden Ergebnisse überein.

Auch bei diesem Ergebnis ist wieder ein Rückschluss auf den Informationsfluss der Erklärkraft möglich. Wenn die Druckfarbenpenetration das Druckbild zu einem gewissen Anteil erklären kann, und die Druckfarbenpenetration bereits einen erheblichen Informationsanteil des Glanzes beinhaltet, dann kann der Glanz nur mehr einen geringen Anteil des Druckbildes erklären.

7.4.5 Schlussfolgerung

Bei der lokalen Modellierung des Druckbildes im industriellen Heatset Web Offset Druck sind meist die maßgebenden erklärenden Variablen die Formation und die Druckfarbenpenetration. Diese weisen einen erheblichen Zusammenhang auf, wobei hier die Formation die Druckfarbenpenetration bestimmt. Die optischen Eigenschaften Brechungsindex und Glanz werden ebenfalls zu einem erwähnenswerten Anteil durch die Formation hervorgerufen, und die Formation beinhaltet folglich einen erheblichen Informationsanteil dieser beiden Papiereigenschaften - in gleichem Ausmaß wie die Druckfarbenpenetration. Dennoch zeigt sich, dass die Druckfarbenpenetration sehr wohl neben der Formation exklusive Erklärkraftanteile besitzt, Brechungsindex und Glanz jedoch nicht. Das heißt, dass die Information von Brechungsindex und Glanz bereits in der Formation enthalten sind, wodurch diese optischen Eigenschaften keine direkte Erklärkraft am Druckbild haben.

Bei der lokalen Modellierung des Druckbildes im Labordruck sind die maßgebenden erklärenden Variablen die Papierweiße und die Druckfarbenpenetration. Diese beiden Variablen werden wieder durch die Formation bestimmt, was bedeutet, dass erhebliche Informationsanteile von der Papierweiße und der Druckfarbenpenetration in der Formation enthalten sind. Die Formation zeigt jedoch so gut wie keine exklusiven Erklärkraftanteile gegenüber der Druckfarbenpenetration und der Papierweiße. Demnach müssen diese beiden Variablen noch andere Effekte beinhalten, wodurch sich die gute Korrelation mit dem Druckbild ergibt.

Da ein erheblicher Informationsanteil von Brechungsindex und Glanz bereits in der Formation enthalten ist, korrelieren diese optischen Eigenschaften ebenfalls nicht mit dem Druckbild.

Dieses Zusammenspiel der genannten Faktoren rechtfertigt bei der Auswertung der lokalen Modellierung im Labordruck, dass die erklärenden Variablen Formation, Brechungsindex und Glanz gegenüber der Papierweiße nur geringe exklusive Anteile vorweisen und nur wenig zum Gesamtmodell beitragen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass im Labordruck die Formation der Papierweiße stark untergeordnet ist, und alle erklärenden Variablen, welche mit der Formation korrelieren, ebenfalls nur wenig zur Erklärung des Druckbildes beitragen.

7.5 Vergleich Industrie- und Labordruck

Abschließend soll noch ein Vergleich zwischen den Ergebnissen aus dem industriellen Heatset Web Offset Druck (Kapitel 7.1.2), den gezeigten Ergebnissen aus dem Labordruck (Kapitel 7.2.2) und dem Bogenoffsetdruck (Kapitel 7.3) getätigt werden. Genauer betrachtet werden dabei die Drucke des Volltones in Cyan und eines Rastertons. Der Rasterton ist im Heatset Web Offset Druck ein grauer Halbton mit einer Tonwertstufe von B50, im Prüfbau Labordruck ein hellblauer Halbton mit einer Ton-

wertstufe von C50 und im Bogenoffsetdruck ein Viertelton mit einer Tonwertstufe von C25.

An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass sich die Druckqualitäten zwischen dem Labordruck und den industriellen Drucken Heatset Web Offset und Bogenoffset deutlich unterscheiden. Hier kann der Labordruck mit dem System Prüfbau klar als Nachteil angesehen werden. Dieser Druck reagiert bei den Versuchen nur wenig auf die Qualitätsunterschiede der Papiere der diversen Sorten. So kann zum Beispiel bei den SC-Papieren anhand des Druckes nur sehr schwer zwischen den besseren (SC-A) oder schlechteren (SC-B) Papieren unterschieden werden. Ein weiterer großer Nachteil des Prüfbaudruckes ist die nicht vorhandene Farbrückspaltung in den weiteren darauf folgenden Druckwerken. Demnach können die beobachteten Druckunregelmäßigkeiten nicht auf das Backtrap-Mottling zurückgeführt werden, sondern diese müssen aus anderen Teilprozessen des Druckes kommen. Aus diesem Grund ist es nicht verwunderlich, dass die berechneten Modelle im Labordruck eine höhere Übereinstimmung mit dem Druckbild aufweisen, da durch das Rückspalten der Druckfarbe in den industriellen Drucktechniken ein zusätzlicher stochastischer Vorgang erfasst und erschwerend in das Modell eingebracht wird. Dieser Effekt scheint jedoch im Heatset Web Offset Druck stärker ausgeprägt zu sein als im Bogenoffsetdruck, da hier ebenfalls nur 2 Farbwerke vorhanden sind und nur die erste gedruckte Farbe rückgespalten wird.

Aus dem Industriedruck ist bekannt, dass Rastertöne generell problematischer beim Drucken sind als Volltöne. Dies macht sich auch bei der Modellierung des Druckbildes bemerkbar, da im Halbton mit den gemessenen Papiereigenschaften deutlich mehr an der Variation des Druckbildes erklärt werden kann als im Vollton. Im Heatset Web Offset Druck können im Rasterton knapp 20% mehr an der Variation des Druckbildes erklärt werden als im Vollton, im Bogenoffset Druck sind es sogar fast 35%. Diese Erkenntnis lässt sich jedoch nicht direkt auf den Labordruck umlegen. Hier wurde generell bei beiden untersuchten Farbflächen an den ungestrichenen Papieren eine deutlich höhere Übereinstimmung der erklärenden Variablen mit dem Druckbild erzielt, ausgenommen des Rastertons C25 im Bogenoffsetdruck. Hier ist die Übereinstimmung des Druckbildes mit den Papiereigenschaften noch höher. Weiters ist der Unterschied zwischen Voll- und Halbton im Prüfbau Labordruck bezüglich der Übereinstimmung nur gering ausgefallen. Im Halbton lassen sich etwa nur 5% mehr am Druckbild durch die Papiereigenschaften erklären als im Vollton.

Weiters zeigt sich, dass die maßgebenden Variablen an der Erklärung des Druckbildes zwischen Heatset Web Offset Druck und Prüfbau Labordruck sowie Bogenoffset Druck variieren. Grund dafür ist sicher die Hinzunahme der Variation der Weiße als erklärende Variable im Labor- und Bogenoffset Druck, wodurch die Wirkung der Formation stark untergeordnet wird. Zeigt im Heatset Web Offset Druck noch die Formation den größten Einfluss am Druckbild des Cyan Volltons, so wird die Formation im Labor- und Bogenoffset Druck durch die Papierweiße ersetzt und durch

7. Ergebnisse der lokalen Modellierung Abschließende Betrachtung der Ergebnisse 7.6

die Druckfarbenpenetration zum Teil unterstützt. Die Tatsache, dass die Druckfarbenpenetration im Labordruck gute Korrelation mit dem Druckbild liefert und in den beiden industriellen Drucktechniken nicht, kann mit großer Wahrscheinlichkeit auf die unterschiedliche Art der Drucktechnik zurückgeführt werden. Druckgeschwindigkeit, Anpressdruck oder aber auch die Druckfarbenart und -menge unterscheiden sich dabei ja doch deutlich.

Vergleicht man die Ergebnisse der Rastertöne, wird deutlich, dass die Variation der Papierweiße die maßgebende Variable im Labor- und Bogenoffsetdruck ist. Die Formation ist dabei stark untergeordnet, welche im Heatset Web Offset Druck noch eine hohe Erklärkraft mit dem Druckbild zeigte. Es konnte leider nicht gezeigt werden, wie sich die Modelle hinsichtlich der Formation im Heatset Web Offset Druck verändern, wenn auch in diese Auswertung die lokale Variation der Papierweiße mit einbezogen wird, da aufgrund der Vorgehensweise bei dieser Drucktechnik diese Papiereigenschaft nicht gemessen werden konnte.

Bei der Druckfarbenpenetration ist es in diesem Fall umgekehrt - diese hat im Heatset Web Offset Druck erheblichen Anteil an der Erklärung des Druckbildes, ist im Labor- sowie Bogenoffset Druck jedoch völlig untergeordnet. Hier ist eine Schlussfolgerung, warum dies der Fall ist, nicht mehr so einfach möglich. Der Unterschied zwischen den industriellen Drucken und dem Labordruck ist nach wie vor gegeben, jedoch ist eben auch ein Unterschied zwischen den industriellen Drucktechniken bekannt. Dazu zählt, dass die Trocknung und Aushärtung der Druckfarbe, sowie deren Zusammensetzung, im Heatset Web Offset und Bogenoffset grundsätzlich verschieden ist. Dies könnte durchaus bewirken, dass die Druckfarbenpenetration bei den industriellen Drucktechniken so unterschiedlich mit dem Druckbild korreliert. Weiters zeigen alle drei Versuche, dass die optischen Eigenschaften Brechungsindex und Glanz sowie die Topografie keine eindeutigen Ergebnisse liefern, beziehungsweise den maßgebenden Variablen deutlich untergeordnet sind. Auch wurde gezeigt, dass vor allem Erkenntnisse aus Brechungsindex und Glanz in den anderen erklärenden Variablen enthalten sind. Entsprechend diesen Erkenntnissen ist anzudenken, bei den nächsten Auswertungen, gleich welches Druckverfahren dafür verwendet wird, auf diese wenig einflussbringenden Papiereigenschaften zu verzichten.

7.6 Abschließende Betrachtung der Ergebnisse

Am Ende der hier gezeigten Ergebnisse muss die Frage gestellt werden, wie viel Übereinstimmung (R^2) der Papiereigenschaften mit dem Druckbild erwartet werden kann. Dazu soll in Tabelle 7.6 nochmals der Wert der Übereinstimmung für die ausgewerteten Probensätze aufgelistet und gegenübergestellt werden.

Der höchsten Wert der Übereinstimmung zwischen den Prädiktoren und der Zielvariable ergibt sich im hellblauen Rasterton (C25) des Bogenoffsetdruck mit 0,60.

7. Ergebnisse der lokalen Modellierung Abschließende Betrachtung der Ergebnisse 7.6

Druckverfahren	Papiersorten	Farbflächen	R^2 des Gesamtmodelles
Heatset Web Offset	ungestrichen	Cyan C100	0,22
		Grau B50	0,42
		Blau C100+M75	0,28
		Haut C5+M20+Y35	0,36
Prüfbau Labordruck	ungestrichen	Cyan C100	0,46
		Cyan C50	0,52
	gestrichen	Cyan C100	0,08
		Cyan C50	0,18
Bogenoffsetdruck	ungestrichen	Cyan C100	0,25
		Blau C100+M75	0,48
		Violett C35+M35	0,40
		Hellblau C25	0,60
	gestrichen	Cyan C100	0,28
		Blau C100+M75	0,15
		Violett C35+M35	0,25
		Hellblau C25	0,33

Tabelle 7.6 Auflistung der Übereinstimmung (R^2) der erklärenden Papiereigenschaften mit dem Druckbild für alle durchgeführten Modell-Berechnungen.

Wird einem dann vor Augen geführt, dass in diesen Modellen auch Einflüsse wie Registrierungsfehler, Messfehler oder die gesamte Unsicherheit des Druckprozesses inklusive Druckfarbe und Feuchtmittel selbst erfasst werden, ist dieser Wert überraschenderweise sehr hoch. Bei dieser untersuchten Farbfläche kann davon ausgegangen werden, dass bei den ungestrichenen Papieren kaum weitere Papiereigenschaften gefunden werden können, welche die Modelle nochmals verbessern. Generell sind die Modelle im Bogenoffsetdruck sehr gut, was sicherlich auch mit der erklärenden Variable der Papierweiße zu tun hat, welche im Heatset Web Offset Druck nicht erfasst werden konnte. Die Werte des Labordruckes an den ungestrichenen Papieren sind ebenfalls hoch, hierzu muss jedoch gesagt werden, dass sich der Druck in vielen Belangen von den industriellen Drucken unterscheidet und nur wenig Aufschluss auf einen kommerziellen Druck zulässt. Im Heatset Web Offset Druck werden vor allem in den Rastertönen gute Übereinstimmungen mit dem Druckbild erzielt, sind jedoch den Ergebnissen des Bogenoffset Druckes deutlich untergeordnet.

Bei den gestrichenen Papiere zeigt sich, dass sich vor allem im Bogenoffsetdruck gute Übereinstimmungen erzielen lassen. Ausschlaggebend dafür ist die Erfassung der Papierweiße und die Hinzunahme zu den erklärenden Variablen. Im Labordruck können jedoch bei den gestrichenen Papieren keine überzeugenden Modelle berechnet werden. Vor allem im Cyan-Vollton wird dadurch der Unterschied zwischen den beiden Druckverfahren deutlich, was nochmals bestätigt, dass der Labordruck nur

7. Ergebnisse der lokalen ModellierungAbschließende Betrachtung der Ergebnisse 7.6

wenig mit dem Industriedruck zu tun hat. Abschließend muss für die gestrichenen Papiere gesagt werden, dass es sicher noch weitere Papiereigenschaften gibt, welche mit dem Druckbild zusammenhängen. Diese wurden jedoch in dieser Arbeit nicht erfasst.

Zusammenfassung, Schlussfolgerung und Ausblick

In diesem Kapitel werden noch einmal die wichtigsten Ansätze und Ergebnisse zusammengefasst und reflektiert. Die daraus gezogenen Schlussfolgerungen und ein Ausblick auf mögliche weitere Arbeiten werden abschließend erläutert.

8.1 Zusammenfassung

In der hier vorgestellten Arbeit wird gezeigt, welche Papiereigenschaften einen Einfluss auf die Druckqualität im Heatset Web Offset, Labor- und Bogenoffset Druck haben und zu welchem Anteil sie dafür verantwortlich sind. Der Schwerpunkt der Auswertungen wurde auf die ungestrichenen Papiere gelegt, ergänzend wurden jedoch auch gestrichene Papiere analysiert.

In Kapitel 3 wird allgemein das Thema Bedruckbarkeit im Offsetdruck behandelt. Ein großer Block dabei ist die Wechselwirkung zwischen Druckfarbe und Papier. Die Erkenntnisse daraus, welche Papiereigenschaften die Druckqualität beeinflussen, bildet auch die Grundlage für Kapitel 5, in dem die verschiedenen Papiereigenschaften genauer beleuchtet werden. Dazu zählen die Formation, die Druckfarbenpenetration, die Oberflächeneigenschaften Brechungsindex und Glanz sowie die Papiertopografie. Dazu wurden auch die verschiedenen Messgeräte vorgestellt und anhand der durchgeführten Evaluierung beurteilt. Dabei zeigte sich, dass die mit dem Surfoptic-Messgerät bestimmten Papiereigenschaften Brechungsindex und Rauigkeit nicht wiederholt in gleichwertiger Qualität gemessen werden können. Das Infinite Focus zur Topografiebestimmung zeigt ebenfalls starke Schwächen beim Messen von glatten LWC und WFC Papieren.

Die untersuchten Papiereigenschaften aus Kapitel 5 dienen in weiterer Folge als erklärende Variablen bei der lokalen Modellierung der Farbübertragung, sowohl im Heatset Web Offset Industriedruck wie auch im Labordruck. Die dazugehörige Theorie, welche hinter der lokalen Modellierung mittels linearer multipler Regressionsanalyse steckt, wird in Kapitel 4 erklärt.

Der eigens für diese Arbeit durchgeführte Heatset Web Offset Probedruck, in dem ungestrichene und gestrichene grafische Papiere bedruckt wurden, wird in Kapitel 6 vorgestellt. Alle Auswertungen dieser Dissertation werden an unterschiedlichen Teilen dieses Probensatz durchgeführt. Eine Einstufung der Papiere in eine Rangordnung erfolgte durch eine visuelle Beurteilung mittels paarweisen Vergleich.

Die Ergebnisse der lokalen Modellierung am Heatset Web Offset Druck werden in Kapitel 7.1 gezeigt. Es wird deutlich, dass vor allem die Formation und auch die Druckfarbenpenetration die Mehrheit des Druckbildes erklärt, was darauf schließen lässt, dass diese beiden Papiereigenschaften hauptsächlich für die Druckqualität verantwortlich sind. Der Nachteil der lokalen Modellierung am Heatset Web Offset Druck liegt darin, dass die Papiereigenschaften, welche das unbedruckte Papier aufweist, an einem gewischtem Papier - die Druckfarbe wurde mit einem Wischtest entfernt - gemessen werden müssen. Weiters kann der Einfluss der lokalen Weiße des unbedruckten Papiers nicht erfasst werden.

Darin liegt auch der Vorteil im Labordruck, welcher in Kapitel 7.2 behandelt wird. Hier können alle Papiereigenschaften tatsächlich auch am unbedruckten Papier gemessen werden, ebenso kann die Variable der lokalen Variation der Weiße als erklä-

rende Variable in die Modellierung aufgenommen werden. Demnach fällt das Ergebnis im Vergleich mit dem Industriedruck etwas unterschiedlich aus. Im Labordruck bei den ungestrichenen Papieren beeinflusst vor allem die Variation der lokalen Weiße das Ergebnis des Druckbildes. Weiters zeigt noch die Druckfarbenpenetration eine gute Übereinstimmung mit dem Druckergebnis. Die Formation ist in Anbetracht der hohen Übereinstimmung der Weiße mit dem Druckbild weniger gewichtig, als dies im Industriedruck der Fall ist.

Der große Nachteil des Labordruckes liegt darin, dass kein Rückspalten der Druckfarbe stattfindet, wodurch kein Backtrap-Mottling durch die lokale Modellierung erfaßt werden kann. Ein weiterer Nachteil des Labordruckes kann in der Druckqualität gegenüber den industriellen Drucktechniken gesehen werden. Der Druck ist viel unruhiger und es kann kein Unterschied zwischen guten und schlechteren Papierqualitäten festgestellt werden.

Ähnlich wie beim Prüfbau Labordruck können auch bei der Auswertung des Bogenoffset Druckes in Kapitel 7.3 alle relevanten Papiereigenschaften für die lokale Modellierung am unbedruckten Papier gemessen werden. Demnach ist wieder die Variation der Weiße hauptsächlich für die Erklärung des Druckbildes verantwortlich, die Druckfarbenpenetration zeigt nur mehr bedingt einen guten Zusammenhang mit dem Druckbild. Die Formation verhält sich gleich wie im Labordruck. Diese korreliert sehr schwach mit dem Druckbild, was wiederum auf die Dominanz der Papierweiße zurückzuführen ist.

Bei allen Auswertungen, sowohl im Heatset Web Offset als auch im Labor- und Bogenoffset Druck, wird jedoch deutlich, dass die Oberflächeneigenschaften Brechungsindex, Glanz und Topografie gegenüber den anderen Papiereigenschaften deutlich untergeordnet sind, beziehungsweise die Ergebnisse auch nicht konstant erscheinen. Die Auswertung der mit dem Prüfbau bedruckten gestrichenen Papiere zeigt, dass hierfür nicht die richtigen Papiereigenschaften gemessen wurden. Die Korrelation dieser mit dem Druckbild ist nur sehr schwach vorhanden und zeigt stark inkonsistente Ergebnisse.

Generell können von allen erhaltenen Ergebnissen die des Bogenoffsets als am überzeugendsten angesehen werden, da die Art des Druckes qualitativ und technisch mit jeder im Betrieb befindlichen Bogenoffsetmaschine vergleichbar ist. Weiters konnten bei diesem Versuch alle Papiereigenschaften am unbedruckten Papier gemessen werden, wodurch auch die Variation der Weiße eine erklärende Variable für das Modell darstellt. Gleiches gilt für den Prüfbau Labordruck. Bei diesem Verfahren muss jedoch gesagt werden, dass der Druck nicht mit der Praxis vergleichbar ist.

8.2 Schlussfolgerung

Die Methode der lokalen Modellierung der Farbübertragung ermöglicht uns die Einsicht, welche Papiereigenschaften hauptsächlich für die Druckqualität im Offset Druck verantwortlich sind. Im Heatset Web Offset Druck sind hauptsächlich die Formation und die Druckfarbenpenetration für die Variation des Druckbildes verantwortlich. Der Prüfbau Labordruck und auch der Bogenoffset Druck zeigen bei den ungestrichenen Papieren jedoch, dass vor allem die Variation der Weiße die Qualität des Druckbildes beeinflusst. Die Druckfarbenpenetration zeigt etwas weniger Übereinstimmung mit dem Druckbild. Die Formation ist jedoch den beiden erstgenannten deutlich untergeordnet. Dieser Unterschied der herausragenden Variablen mag vor allem aus der Gewinnung der Daten resultieren. Beim Heatset Web Offset Druck kann die Weiße nicht gemessen werden, welche im Labor- und Bogenoffset Druck so gewichtig gegenüber den anderen Variablen ist. Die Druckfarbenpenetration wird bei beiden Druckverfahren gleich gewonnen, wodurch auch hier kein Unterschied erkennbar ist. Die Formation, welche im Heatset Web Offset Druck eine hohe Übereinstimmung mit dem Druckbild hat, dürfte im Labor- und Bogenoffset Druck durch die Variation der Weiße ersetzt werden. Dies wird durch die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen den erklärenden Papiereigenschaften Formation und Papierweiße nochmals bestätigt. Diese Auswertung zeigt, dass die Papierweiße mit bis zu über 40% von der Formation abhängig ist. Weiters sind im Industrie- und Labordruck die Variablen gleich, welche keine oder nur geringe Übereinstimmung mit dem Druckbild zulassen. Dazu zählen alle Oberflächeneigenschaften wie Brechungsindex, Glanz und Topografie.

Diese hier gewonnenen Kenntnisse lassen nun zu, gezielt auf die Papiereigenschaften Formation, Druckfarbenpenetration sowie die Variation der lokalen Weiße einzuwirken, damit ein optimales Druckbild erreicht werden kann. Der Einfluss der Formation auf das Druckbild ist bereits weitgehend bekannt. Es ist jedoch bedenklich, dass noch immer diese eine Variable maßgebend für das Druckbild ist und selbst durch die Fortschritte in der Papierherstellungstechnologie nicht in dem erforderlichen Ausmaß verbessert wurde.

Die Auswertung der gestrichenen Papiere des Laborversuches zeigen, dass für die lokale Modellierung an LWC und WFC Papieren andere erklärende Variablen gefunden werden müssen, die mit dem Druckbild korrelieren.

Beim Bogenoffset Druck zeigt sich jedoch, dass vor allem bei den LWC Papieren die Variation der Weiße einen derart hohen Einfluss auf das Druckbild hat, dass nahezu 60-70% des Druckbildes durch diese Papiereigenschaft erklärt werden können. Für die WFC Papiere gilt das gleiche wie im Labordruck, es müssen anderen erklärende Papiereigenschaften für die Modellierung des Druckbildes gefunden werden. Vorstellbar wären dazu etwa die Analyse der lokalen Porosität des Striches oder aber auch die Analyse der Strichabdeckung sowie der Strichschichtdicke.

Wie bereits in Kapitel 4.2 gezeigt wurde, ist die statistische Auswertung der lokalen Modellierung der Farbübertragung mit der multiplen linearen Regressionsanalyse bereits vielfach erprobt, und liefert zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse.

Die hier erhaltenen Ergebnisse decken sich auch weitgehend mit bereits bekannter Literatur, welche besagt, dass vor allem die Formation und die Druckfarbenpenetration das Mottling beeinflussen. Eine Neuerung dieser Arbeit ist jedoch die Tatsache, dass festgestellt werden kann, zu welchem Anteil die jeweiligen Papiereigenschaften das Druckbild beeinflussen. Die Topografie, welche bei anderen Arbeiten ebenfalls als eine treibende Kraft für das Mottling dargestellt wird, zeigt in dieser Arbeit keinen oder nur geringen Zusammenhang mit dem Druckbild.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Methode der lokalen Modellierung mit der Gewinnung aller relevanten Papiereigenschaften ein leistungsfähiges Tool zur Klärung, welche Papiereigenschaften für schlechte Druckqualität verantwortlich sind, ist.

8.3 Ausblick

Hier sollen noch ein paar Gedanken zusammengefasst werden, wie die lokale Modellierung der Farbübertragung weiter optimiert werden könnte beziehungsweise wie diese Methode auch an gestrichenen Papieren verbessert und innovativer angewendet werden könnte.

- Im Vergleich zu bereits bekannter Literatur zeigt die Topografie bei den hier gezeigten Auswertungen keinen oder nur einen geringen Einfluss auf das Druckbild. Dieser Aspekt sollte weiter untersucht werden, vor allem wäre der Einsatz eines weiteren Topografie-Messgerätes wünschenswert.
- Die Registrierung aller gewonnenen Messungen ist sehr zeitintensiv und mühsam. Hier würde die Möglichkeit einer automatischen Registrierung die Arbeit deutlich beschleunigen. Durch die regelmäßigen Laserlöcher sollte eine bildanalytische Registrierung möglich sein.
- Es sollten weitere gezielte Versuche zum Vergleich der Ergebnisse zwischen Industrie- und Labordruck durchgeführt werden. Eine genaue Kenntnis der Zusammenhänge könnte eine Vorhersage der Druckqualität mittels Laborversuchen erlauben.
- Eine verbesserte Adaptierung der Methode für gestrichene Papiere wäre wünschenswert und wichtig für die Erforschung der Ursachen von Druckinhomogenitäten. Dazu müssen allerdings weitere messbare lokale Papiereigenschaften gefunden werden, da die Druckfarbenpenetration bei den gestrichenen Papieren nicht angewendet werden kann. Der Burn-Out Test zur Gewinnung der Strichabdeckung und Verteilung könnte hier einen Schritt vorwärts bedeuten.

- Generell sollten weitere orts aufgelöste Messverfahren zur Charakterisierung des Papiers ausfindig gemacht und als erklärende Variable den Modellen hinzugefügt werden. Eine lokale Porositätsmessung des Papiers wäre zum Beispiel als einflussreiche Variable denkbar.

Visuelle Beurteilung mittels Paarvergleich

Folgend soll die Methodik der visuellen Beurteilung mittels Paarvergleich erklärt werden. Die Theorie und Vorgehensweise wurde dabei von [CHAREZA ET AL., 1985] übernommen.

Die Beurteilung der Papierproben erfolgt unter Normlicht $D65$. Dabei werden jeweils 2 zu vergleichende Probedrucke aus einer Serie von Probedrucken miteinander verglichen. Dann erfolgt der Eintrag der jeweiligen Entscheidungen in eine quadratische Matrix n -ter Ordnung (n = Anzahl der Probedrucke der Serie) mit den Elementen g_{ij} . Es sind $n(n - 1)/2$ Urteile zu fällen. Durch die Abbildung A.1 soll der Vorgang der Beurteilung veranschaulicht werden.

Die Werte der Beurteilungen sind wie folgt festgelegt:

- j besser i : $g_{ij} = 2$
- j schlechter i : $g_{ij} = 0$

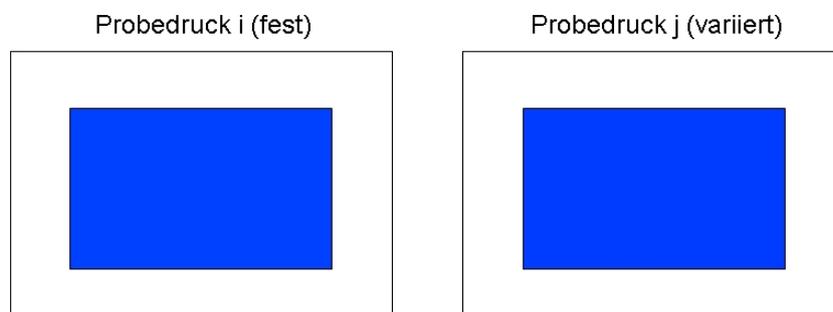


Abbildung A.1 Anordnung der zu vergleichenden Proben beim Paarvergleich. Das feste Objekt wird immer mit i bezeichnet, das variierende Objekt mit j .

A. Visuelle Beurteilung mittels Paarvergleich

- j gleich i : $g_{ij} = 1$

Anschließend wird durch spiegelbildliche Übertragung der getätigten Urteile die Dominanzmatrix $D[g_{ij}]$ aufgestellt. Dabei beträgt die Summe der korrespondierenden Elemente immer $g_{ij} + g_{ji} = 2$. Die obere Diagonalhälfte beinhaltet die Urteile für die Drucke j gegenüber i , die symmetrisch zur Hauptachse gelegenen Felder weisen das inverse Urteil auf. Dabei gilt:

- Wenn Druck 1 schlechter als Druck 2 ($g_{12} = 0$), so muss
- Druck 2 besser als Druck 1 ($g_{21} = 2$).
- Beim Urteil 'gleichwertig' muss $g_{12} = g_{21} = 1$ sein.

Aus den Spaltensummen erfolgt die Einstufung in eine Rangfolge. Wie vorhin bereits erwähnt, empfiehlt sich beim Einsatz von ungeübten Beobachtern die Berechnung der Urteilskonsistenz. Der Hintergrund zur Urteilskonsistenz soll hier kurz erklärt werden:

Werden einem Beobachter 3 Probedrucke vorgelegt, so könnte er Urteilen: 1 besser 2, 2 besser 3 und 1 besser 3.

- Demnach ist die Entscheidung 1 besser 3 logisch festgelegt.
- Würde der Beobachter 3 besser 1 geurteilt haben, stünde diese Entscheidung mit den vorherigen in Widerspruch.

In Abbildung A.2 ist nun eine Dominanzmatrix aus dem Paarvergleich bei einer Farbzusammensetzung von Cyan 100% und Magenta 75% dargestellt. Es wurden 11 Papiere miteinander verglichen, und nach oben gezeigter Formel ergeben sich dadurch 55 zu fallende Urteile. Der obere weiß hinterlegte Bereich beinhaltet die gefällten Urteile, der untere grau hinterlegte Bereich gibt die korrespondierenden Elemente wieder. Aus den gesamten Elementen wird dann die jeweilige Spaltensumme errechnet und in die vorletzte Zeile des Gitters eingetragen. Aus diesen Summenwerten wird abschließend die Rangfolge der Papiere erstellt. Die errechnete Urteilskonsistenz zur Beobachtung des Beurteilers ist rechts oben angegeben.

Um nun die Einzelergebnisse der N Beobachter zu einem Gesamtergebnis zusammenfassen zu können, lassen sich die N Dominanzmatrizen zu einer kombinierten Dominanzmatrix $R[r_{ij}]$ zusammenaddieren. Die Spaltensummen ergeben dabei die absoluten Häufigkeiten der Bevorzugungen der Probedrucke und bilden wieder die Basis für die Einstufung der Papiere in eine Rangfolge. Weiters können durch statistische Berechnungen die Abstände zwischen den Probedruckern durch Zahlenrelationen dargestellt werden. Dieser Wert wird als Paarvergleichs-Index - kurz PV-Index -

A. Visuelle Beurteilung mittels Paarvergleich

Beurteiler:	Datum:		BLAU	GESAMT	Urteilkonsistenz:		0.92727273				
ij	1	3	5	6	7	9	10	13	14	15	16
1	---	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
3	0	---	2	0	0	0	2	2	0	0	1
5	0	0	---	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	2	2	---	2	2	2	2	2	2	2
7	0	2	2	0	---	2	2	2	2	0	2
9	1	2	2	0	0	---	2	2	2	2	2
10	0	0	2	0	0	0	---	0	0	0	0
13	0	0	2	0	0	0	2	---	1	0	0
14	0	2	2	0	0	0	2	1	---	0	1
15	0	2	2	0	2	0	2	2	2	---	2
16	0	1	2	0	0	0	2	2	1	0	---
Summe	1	13	20	2	6	5	18	15	12	6	12
Rang	11	4	1	10	7	9	2	3	5	7	5

Abbildung A.2 Dominanzmatrix mit der daraus resultierenden Reihenfolge der Papiere beim Farbton Cyan 100% und Magenta 75%.

bezeichnet und macht den Paarvergleich zu einem visuellen Messverfahren. In Abbildung A.3 ist nun eine kombinierte Dominanzmatrix aus dem Paarvergleich bei einer Farbzusammensetzung von Cyan 100% + Magenta 75% dargestellt. Links oben ist die Anzahl N der Beobachter angegeben, darunter die Anzahl n der Probedrucke. Die Matrix selbst gleicht der Dominanzmatrix für einen Beobachter, die eingetragenen Zahlenwerte haben sich jedoch geändert. So ist zum Beispiel im Feld g_{13} die Summe aller Urteile der Beobachter zusammengefasst. Bei 20 Beobachtern beträgt die Summe der korrespondierenden Elemente $g_{ij} + g_{ji} = 40$. In der oberen weiß hinterlegten Feldern sind die gefällten Urteile zusammengefasst, in den unteren grau hinterlegten Feldern sind die korrespondierenden Elemente eingetragen. Auch hier wird wieder aus den gesamten Elementen die Spaltensumme errechnet und daraus die Rangfolge der Papiere gebildet. Aus dieser kombinierten Dominanzmatrix wird anschließend statistisch der PV-Index errechnet. Die Ergebnisse daraus sind in der vorletzten Zeile der Abbildung A.3 eingetragen. Die Rangfolge ändert sich natürlich nicht, gleich ob sie durch die Spaltensumme oder durch den PV-Index errechnet wird. Jedoch gibt der PV-Index bereits einen Zahlenwert für die einzelnen Papiere an, wodurch die Abstände der Papiere zueinander erfasst werden können. So liegen zum Beispiel zwischen Papier 5 (Rang 1) und Papier 10 (Rang 2) 53,5 Punkte, hingegen trennen Papier 14 (Rang 3) und Papier 13 (Rang 4) nur 2,5 Punkte. Schnell kann erkannt werden, dass sich die Papiere 13 und 14 nur wenig voneinander entscheiden, andererseits wird aber auch gezeigt, dass Papier 5 viel besser beurteilt wurde als Papier 10. In der ersten Zeile der Abbildung ist noch die maximale Spaltensumme mit 400 angegeben. Durch weitere statistische Berechnungen ergibt sich daher eine durchschnittliche Papierqualität bei einer Spaltensumme von 200, was in weiterer Folge einem PV-Index

A. Visuelle Beurteilung mittels Paarvergleich

Kombinierte Dominanzmatrix			BLAU	Gesamt	Maximale Spaltensumme:		400				
Anzahl N der Beobachter:			20		Durchschnittliche Qualität:		200 entspricht PV-Index von 100				
Anzahl n der Probedrucke			11								
ij	1	3	5	6	7	9	10	13	14	15	16
1	---	32	38	22	29	22	34	36	36	24	32
3	8	---	38	12	12	9	32	33	27	8	19
5	2	2	---	0	1	1	4	1	5	3	1
6	18	28	40	---	28	22	35	37	36	23	26
7	11	28	39	12	---	14	37	35	37	17	28
9	18	31	39	18	26	---	35	39	37	28	29
10	6	8	36	5	3	5	---	18	15	7	11
13	4	7	39	3	5	1	22	---	23	12	16
14	4	13	35	4	3	3	25	17	---	7	16
15	16	32	37	17	23	12	33	28	33	---	26
16	8	21	39	14	12	11	29	24	24	14	---
Summe	95	202	380	107	142	100	286	268	273	143	204
Rang	11	6	1	9	8	10	2	4	3	7	5
PV-Index	47.5	101	190	53.5	71	50	143	134	136.5	71.5	102
Rang PV	11	6	1	9	8	10	2	4	3	7	5

Abbildung A.3 Kombinierte Dominanzmatrix mit der daraus resultierenden Reihenfolge der Papiere beim Farbton Cyan 100% und Magenta 75%.

von 100 entspricht. So kann beispielsweise erkannt werden, dass das Papier 3 mit einem PV-Index von 101 beinahe die durchschnittliche Druckqualität dieser Serie von Probedrucken wiedergibt.

Literaturverzeichnis

- R. Ain and S. Stevens. Offset printing with wood-containing, filled, alkaline supercalendered paper. *Pulp and Paper Canada*, 104(12):88–92, 2003.
- R. Ain, J. Catino, J. Fan, S. Stevens, and R. Wright. Effects of filler pigment type of the offset printability of supercalendered paper. *Pulp and Paper Canada*, 103(3):79–83, 2002.
- A. Albert. Mottling - Wolkiger Ausdruck. Technical report, Sappi Fine Paper Europe, 2008.
- Alicona. Infinite Focus - Optische 3D Oberflächenmesstechnik. Produktbroschüre, Alicona Imaging GmbH, Grambach bei Graz, Österreich, 2009. URL www.aliconacom.
- C. Antoine and O.W. Gregersen. On the three component quantification of print-through Part 2: Effect of the ink vehicle extraction on print optical properties. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 23(1):29–33, 2008.
- C. Antoine, I. Leirset, and G. Chinga. On the three component quantification of print-through Part 1: The efficiency of the ink vehicle extraction. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 23(1):24–28, 2008.
- J. Aspler. Interactions of ink and water with the paper surface in printing. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 8(1):68–74, 1993.
- J.S. Aspler. Testing and predicting print quality. *Pulp and Paper Manufacture*, 9:192–212, 1992.
- J.S. Aspler. Ink-Water-Paper interactions in printing: An updated review. In *Proceedings of the Tappi Advanced Coating Fundamentals Symposium*, pages 106–135, 2006.
- J.S. Aspler and P. Lepoutre. The transfer and setting of ink on coated paper. *Progress in Organic Coatings*, 19:333–357, 1991.
- M. Avikainen and A.-L. Erkkilä. Comparison of traditional β -radiography and storage phosphor screen formation measurement techniques. *Paperi ja Puu - Paper and Timber*, 85(5):279–286, 2003.
- W. Bauer. Mottling Phänomene bei gestrichenen Papieren. In *Proceedings of The PTS Seminar - Optimale Bedruckbarkeit Wechselwirkung zwischen Druckfarbe und Papier*, 2008.
- J.P. Bernie, H. Pande, and R. Gratton. Two-sidedness of print mottle for uncoated fine papers. In *Proceedings of the Printing and Graphic Arts Conference*, pages 123–126, Vancouver, 2004a.
- J.P. Bernie, H. Pande, and R. Gratton. Paper formation - print quality linkage for

A. Literaturverzeichnis

- uncoated fine papers. In *Proceedings of the 90th PAPTAC Annual Meeting*, pages 27–31, Montreal, 2004b.
- J.P. Bernie, H. Pande, and R. Gratton. An instrumental determination of the effect of sheet formation on the printability of uncoated fine paper. *Tappi Journal*, 5(10): 28–32, 2006.
- M.F.J. Bohan, T.C. Claypole, D.T. Gethin, and M.M.H. Ahmed. A model for ink impression in rolling printing contacts. In *Proceedings of the International Printing and Graphic Arts Conference*, pages 41–47, 1998.
- BVDM. Marktstatistik der Druckverfahren nach Bedruckter Fläche und Wert der Druckwerke. Technical report, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2008.
- C. Chareza, T. Greve, and L. Göttching. Einstufung von Probedrucken nach visueller Beurteilung mittels Paarvergleichs-Index. *Das Papier*, 39(7):293–302, 1985.
- G. Chinga. Exploring the multi-scale structure of printing paper - a review of modern technology. *Journal of Microscopy*, 234(3):211–242, 2009.
- G. Chinga and T. Helle. Relationships between the coating surface structural variation and print quality. *Journal of Pulp and Paper Science*, 29(6):179–184, 2003.
- K.B. Cockerline. Troubleshooting offset printing problems. In *Proceedings of the Tappi Coating Conference*, pages 441–448, 1992.
- S.R. Corson, A.G. Flowers, D.G. Morgan, and J.D. Richardson. Paper structure and printability as controlled by the fibrous elements. *Tappi Journal*, 3(6):14–18, 2004.
- R. Danzl. 3-D-Messung durch Verwendung eines Farbfokus-Sensors. In N. Bauer, editor, *Fraunhofer Vision. 9. Leitfaden zur Inspektion von Oberflächen mit Bildverarbeitung*, pages 16–19. Fraunhofer-Allianz Vision, 2006.
- A. Dickson and G. Chinga. Analysing the relationship between ink coverage and variations in sheet grammage and topography. In *Proceedings to the Appita Annual Conference*, pages 257–263, 2008.
- A.R. Dickson. Evaluating the relationship between grammage, topography and print properties in newsprint. In *Proceedings of the Appita Annual Conference*, pages 19–23, 2006.
- D.W. Donigian. A new mechanism for the setting and gloss development of offset ink. *Journal of Pulp and Paper Science*, 32(3):163–176, 2006.
- N. Elton. Imaging reflectometry theory. Technical report, Surfoptic Ltd, 2007.
- N. Elton. A two-scale roughness model for the gloss of coated paper. *Journal of Optics A: Pure and applied optics*, 10:11pp, 2008.
- N. Elton and J.C.C. Day. A reflectometry for the combined measurement of refractive index, microroughness, macroroughness and gloss of low-extinction surface. *Measurement Science and Technology*, 20:11pp, 2009.
- N. Elton and J. Preston. Polarized light reflectometry for studies of paper coating structure Part I: Method and instrumentation. *Tappi Journal*, 5(7):8–16, 2006a.

A. Literaturverzeichnis

- N. Elton and J. Preston. Polarized light reflectometry for studies of paper coating structure Part II: Application to coating structure, gloss and porosity. *Tappi Journal*, 5(8):10–16, 2006b.
- N. Elton, J. Preston, and A.G. Hiorns. Application of imaging reflectometry to studies of print mottle on commercially printed coated papers. In *Proceedings to the 22nd PTS Coating Symposium*, pages 38.1–38.22, 2005.
- G. Engström. Formation and consolidation of a coating layer and the effect on offset-print mottle. *Tappi Journal*, 77(4):160–172, 1994.
- S. Enzi, W. Bauer, and U. Hirn. Einfluss der Penetration auf das Bedruckbarkeits-ergebnis von SC-Papieren im Tiefdruck. In *In Proceedings of the PTS - Paper and imaging*, München, 2004.
- O. Eriksen and O.W. Gregersen. The influence of ink pigment penetration and paper structure on print through. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 20(2):242–246, 2005.
- O. Eriksen and O.W. Gregersen. The influence of ink oil on print-through. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 22(3):364–370, 2007.
- C.M. Fahlcrantz. *On the evaluation of print mottle*. PhD thesis, KTH Stockholm Computer Science and Communication, 2005.
- K.A. Falter and U. Schmitt. Fogra's approach to printability testing. Determination of causes of cloudy appearance in offset printing. In *Proceedings of the Tappi Coating Conference*, pages 159–182, 1988.
- J.M. Fetsko and A.C. Zettlemoyer. Factors affecting print gloss uniformity. *Tappi Journal*, 45(2):667–680, 1962.
- P.A. Gane and E.N. Seyler. Tack development: An analysis of ink/paper interaction in offset printing. In *Proceedings of the TAPPI Coating Conference*, pages 243–260, 1994.
- T. Gliese and P.A. Gane. Mottling-Phänomene bei holzfreien, gestrichenen Papieren. *Wochenblatt der Papierfabrikation*, 135(6):274–279, 2005.
- J.H. De Grace. The print-through propensity of newsprint. *Journal of Pulp and Paper Science*, 19(5):208–213, 1993.
- O.W. Gregersen, P.O. Johnsen, and T. Helle. Small scale topographical variations of paper surface and their effects on printing ink transfer distribution. In *Proceedings of the International Printing and Graphic Arts Conference*, pages 271–287, 1994.
- M. Habekost, O. Nesterenko, and R. Rosenberger. Paper topography and its influence on print quality. In *Proceedings to the Technical Association of the Graphic Arts TAGA*, pages 308–330, 2010.
- J.P. Haenen. Ink-paper interaction, a new analysis for the control of back trap mottling. *Wochenblatt der Papierfabrikation*, 128(23-24):1641–1645, 2000.
- U. Hirn and W. Bauer. Matching 2D point maps of paper properties for modelling of local print density. In *Proceedings of the Progress in Paper Physics Seminar*, pages

- 73–78, Helsinki, 2008.
- U. Hirn and M. Lechthaler. Local paper properties and their correlation with local ink transfer. In *Proceedings of the PTS - Paper and Imaging*. PTS, 2006.
- U. Hirn, M. Lechthaler, and W. Bauer. Registration and point wise correlation of local paper properties. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 23(4):374–381, 2008.
- U. Hirn, R. Eckhart, and W. Bauer. Anwendungen für hochauflösende Formationsmessung mittels Beta Radiografie. In *Proceedings of the Österreichische Papierfachtagung*, Graz, 2009a.
- U. Hirn, M. Lechthaler, E. Wind, and W. Bauer. Linear regression modelling of local print density in gravure printed SC Paper. In *In Proceedings of the Papermaking Research Symposium*, Kuopio, 2009b.
- U. Hirn, M. Lechthaler, and W. Bauer. Modeling local print density variations in industrial rogravure prints. In *In Proceedings of the Progress in Paper Physics Seminar*, Montreal, 2010.
- D.N. Hohne, C. Hsien-Yeh, J. Lahann, and M.J. Solomon. Near-surface structure of lithographic ink-fountain solution emulsion on model substrates. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 326:138–146, 2008.
- B. Jordan, J. Aspler, M. O’Neill, and J. Chasie. Quality of uncoated woodfree papers in a commercial heatset offset printing trial. In *Proceedings of the Printing and Graphic Arts Conference*, pages 13–29, Quebec, 1998.
- I. Kajanto. Effect of ink penetration and optical properties of paper on print unevenness. *Paperi ja Puu - Paper and Timber*, 74(2):140–144, 1992.
- I.M. Kajanto. The effect of formation on print quality with woodfree offset papers. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 4(1):8–15, 1989.
- I.M. Kajanto. The effect of formation on absolute print unevenness in offset printing. *Paperi ja Puu - Paper and Timber*, 72(6):600–610, 1990.
- I.M. Kajanto. Correlation between local amount of ink and local print density. *Journal of Pulp and Paper Science*, 17(5):178–184, 1991.
- S. Karttunen and U. Lindqvist. Ink-water interactions and mechanisms of litho offset dampening. In *Proceedings of the CPPA/TAAPI Int. Printing Graphic Arts Conference*, pages 25–29, 1982.
- D.S. Keller and J.J. Pawlak. β -radiographic imaging of paper formation using storage phosphor screens. *Journal of Pulp and Paper Science*, 27(4):117–123, 2001.
- D.S. Keller, J.J. Pawlak, M. Kellomäki, J.E. Hägglund, and N. Johansson. Three storage phosphor systems for β -radiographic imaging of paper. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 19(2):170–175, 2004.
- H.J. Kent and M.B. Lyne. On the penetration of printing ink into paper. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 4(2):141–145, 1989.
- H. Kipphan. *Handbuch der Printmedien*. Springer Verlag, 2000.

A. Literaturverzeichnis

- R. Klein, M. Häcker, M. Miletic, and R. Staude. Möglichkeiten und Grenzen der optischen Topografiebewertung von grafischen Papieren. *Wochenblatt der Papierfabrikation*, 137(20):918–925, 2009.
- K.W. Klemm. Penetrationsverhalten von Druckfarben bei LWC- und SC-Papieren - Auswirkungen auf die Trocknung. *Wochenblatt der Papierfabrikation*, 127(6):397–400, 1999.
- H. Koivula, D.W. Bousfield, and M. Toivakka. Improved prediction of offset ink setting rates based on experimental data and filtration equations. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 49(10):4676–4681, 2010.
- P. Kolseth. Can offset printability be predicted by lab tests? In *Proceedings of the COST E32 Symposium Paper/Ink properties and their relation of offset printability*, Madrid, 2005.
- J.S. Lavelle, F.J. Micale, and J.M. Fetsko. Simulated printing on the prufbau printability tester. *American Ink Maker*, 67(8):50–60, August 1989.
- M. Lechthaler. *Bewertung des ortsabhängigen Verformungsverhalten von SC-Papieren*. Dissertation, Graz University of Technology, May 2007.
- M. Lechthaler and W. Bauer. Rauigkeit und Topografie - ein Vergleich unterschiedlicher Messverfahren. *Wochenblatt der Papierfabrikation*, 134(21):1227–1234, 2006.
- J. Lind. Ink transfer from the offset blanket. In *Proceedings of the TAGA Conference*, pages 328–336, 1985.
- S. Lindberg, C.M. Fahlcrantz, and T. Forsgren. Making subjective assessments objective - a mottle ruler for calibration of panel assessments of perceived print mottle. In *Proceedings of the Paper Conference and Trade Show PaperCon 08*, pages 2068–2098, 2008.
- F. Liu, Y. Mao, W. Shen, and I. Parker. The penetration of offset ink emulsion in fine paper - confocal microscopic evidence relevant to vessel picking and show through. In *Proceedings of the 60th Appita Annual Conference and Exhibition*, pages 207–214, 2006a.
- F. Liu, W. Shen, and I. Parker. Surface analysis, a way to better understand lithographic printing problems. *Appita Journal*, 59(2):108–113, 2006b.
- F. Liu, I. Parker, and W. Shen. Ink-fountain solution emulsion in offset printing studied using confocal microscopy. *Appita Journal*, 61(6):461–467, 2008a.
- F. Liu, W. Shen, and I. Parker. The distribution of ink emulsion components in papers of different surface energy. *Journal of Pulp and Paper Science*, 34(1):51–58, 2008b.
- M. Lorusso. *Experimental study of the influence of mineral structure on the void structure and printing characteristics of supercalendered papers*. Doctor of philosophy, University of Manchester Institute of Science and Technology, 2001.
- H.W. Louman. Mottling und Benetzbarkeit. *Wochenblatt der Papierfabrikation*, 118(15):666–669, 1990.
- M.B. Lyne and J. Aspler. Ink/paper interactions in printing: a review. In *Proceedings*

A. Literaturverzeichnis

- of the ACS Symposium Series 200 (Colloids Surfaces Reprographic Technology), pages 385–420, 1982.
- J. Marton. Printability problems in offset printing. *Das Papier*, 35(10a):V38–45, 1981.
- U. Mattila, K. Tahkola, S. Nieminen, and M. Kleen. Penetration and separation of coldset ink resin and oils in uncoated paper studied by chromatographic methods. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 18(4):413–420, 2003.
- M. Mettänen, U. Hirn, M. Lauri, and R. Ritala. Probabilistic analysis of small-scale print defects with aligned 2D measurements. In *Proceedings of the Fundamental Research Symposium*, Oxford, 2009.
- F.J. Micale, S. Iwasa, J. Lavelle, S. Sunday, and J.M. Fetsko. The role of wetting in printing. In *Proceedings of the 41st TAGA Conference*, pages 309–329, 1989.
- K. Mäntynen, Y. Olkinuora, and L. Tuhkanen. Progress of SC uncoated paper for heatset-web offset printing. *Pulp and Paper Canada*, 87(8):T285–T289, 1986.
- C. Ness and L. Göttching. Formation von Papier und Mottling von Volltonflächen. *Das Papier*, 50(3):107–118, 1996.
- G. Niessner. Mottling - Kann die Druckfarbe Abhilfe schaffen? *Wochenblatt der Papierfabrikation*, 108(21):863, 1980.
- G. Niessner and W. Schmidt. Wechselwirkung Druckfarbe - Papier - Teil 2. *Druck-Print*, 107(11):909–911, 1970.
- G. Niessner and W. Schmidt. Wechselwirkung Druckfarbe - Papier - Teil 6. *Druck-Print*, 109(3):173–176, 1972.
- T. Nishioka, A. Uchida, K. Matsumoto, and K. Fujita. Analysis and solution of mottling problems in offset printing. In *Proceedings of the TAPPI Coating Conference*, pages 55–63, 1986.
- Y. Ozaki, D.W. Bousfield, and S.M. Shaler. Characterization of coating layer structural and chemical uniformity for samples with backtrap mottle. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 23(1):8–13, 2008.
- N. Pauler. *Optische Papiereigenschaften*. AB Lorentzen & Wettre, 1998.
- J.J. Pawlak and D.S. Keller. Analytical technique for the comparison of paper formation imaging methods. *Journal of Pulp and Paper Science*, 27(5):171–176, 2001.
- H.-J. Pinnekamp and F. Siegmann. *Deskriptive Statistik: mit einer Einführung in das Programm SPSS*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 4. edition, 2001.
- H. Praast and L. Göttching. Formation graphischer Papiere. *Das Papier*, 45(7):333–347, 1991.
- J. Preston, N. Elton, A. Legrix, C. Nutbeem, and J. Husband. The role of pore density in the setting of offset printing ink on coated paper. *Tappi Journal*, 1(3):3–5, 2002.
- J. Preston, A.G. Hiorns, N. Elton, and G. Ström. Application of imaging reflectometry to studies of print mottle on commercially printed coated papers. *Tappi Journal*, 7(1):11–18, 2008.

A. Literaturverzeichnis

- P. Rankin. Heatset offset printability of SC - Part I: Initial results from european printing trials. In *Proceedings of the PAPTAC - 88th Annual Meeting*, pages B73–B82, Montreal (CAN), 2002.
- M. Recher. Fine paper printing problems. In *Proceedings of the 80th CPPA Annual Meeting*, pages A327–331, 1994.
- R. Rosenberger, D. Clark, and D. Drake. Back-trap and half-tone mottle measurement with stochastic frequency distribution analysis. In *Proceedings of the Tappi Coating and Grapic Arts Conference and Trade Fair*, pages 243–249, 2003.
- P. Salmela. Offset-print mottling measurement using machine vision. Master Thesis, Lappeenranta University of Technology, 2003.
- N.P. Sandreuter. Predicting print mottle: a method of differentiating between three types of mottle. *Tappi Journal*, 77(7):173–184, 1994.
- S. Scherer. Fokus-Variation zur optischen 3-D-Messung im Mikro- und Nanobereich. In N. Bauer, editor, *Handbuch zur Industriellen Bildverarbeitung - Qualitätssicherung in der Praxis*, pages 198–210. Fraunhofer-Allianz Vision, Fraunhofer IRB Verlag, 2008.
- S. Scherer, R. Danzl, F. Helml, and A. Krenn. Vollautomatische Glättebestimmung via optische 3D Oberflächenmessung. *Wochenblatt der Papierfabrikation*, 135(21-22): 1192–1195, 2007.
- J. Schulz, A. Peikert, and G. Papier. Wolkigkeit im Raster - Analyse und Lösungsansätze zur Behebung einer Druckungleichmässigkeit. *Wochenblatt der Papierfabrikation*, 133(3-4):128–134, 2004.
- P.M. Shallhorn and H.U. Heintze. Offset printing and the formation of uncoated fine papers. In *Proceedings of the Process and Product Quality Conference*, pages 109–112, 1996.
- Siegwerk. Offsetdruckfarben. Grundlagenbroschüre, Siegwerk Group International, Siegburg, April 2004. URL www.siegwerk.com.
- S. Särelä, E. Härkönen, and H. Paulapuro. Evaluation of ink transfer theory. In *Proceedings of the Technical Association of the Graphic Arts, TAGA*, pages 90–108, 2002.
- G. Ström. Interaction between offset ink and coated paper - a review of the present understanding. In *Proceedings to the 13th Fundamental Research Symposium*, Cambridge, 2005.
- J. Stultschnick. Evaluierung Surfoptic Imaging Reflectometer - SOS. Bachelor-Arbeit, Technische Universität Graz, 2010.
- H. Takita, T. Hatsuta, and Y. Kudo. Ink flow simulation of offset lithographic printing: Comparison with actual print and introducing of additional factors to the model. In *Proceedings of the Technical Association of the Graphic Arts, TAGA*, pages 380–396, 2004.
- H. Ullrich. Printing technology - offset print troubleshooter. Technical report, Graz University of Technology, 2010.

A. Literaturverzeichnis

- C. Voura, U. Hirn, M. Donoser, and W. Bauer. Measurement of printing ink penetration in uncoated papers and its influence on print quality. In *Proceedings of the 94th PAPTAC Annual Meeting*, pages B539–B542, 2008.
- W.C. Walker and J.M. Fetsko. A concept of ink transfer during printing. *American Ink Maker*, 33:12, pp. 38–40, 42, 44, 69, 71, 1955.
- Z. Wang, X. Wang, and T. Fang. The rheology of the offset inks. *JOCCA - Surface Coatings International*, 5:219–222, 1998.
- E. Wind, U. Hirn, and W. Bauer. Mottle von im Tiefdruck bedruckten SC Papieren. In *In Proceedings of the PTS Seminar - Wechselwirkung Druckfarbe und Papier*, München, 2009.
- E. Wind, U. Hirn, and W. Bauer. New and classic ways to evaluate printability in offset printing. In *In Proceedings of the PTS Paper and Printing Symposium*, München, 2010.
- Y. Xiang and D.W. Bousfield. Effect of fountain solution of ink tack development and print quality. In *Proceedings of the Tappi Coating Conference*, pages 179–189, Montreal, 1999.
- Y. Xiang, D.W. Bousfield, J. Hassler, P. Coleman, and A. Osgood. Measurement of local variation of ink tack dynamics. *Journal of Pulp and Paper Science*, 25(9):326–330, 1999.
- L. Yang and B. Kruse. Ink penetration and its effects on printing. In *Proceedings of the SPIE-The International Society for optical engineering*, page 9pp, 2000.
- X. Zhang and R. Wang. Study on the ink penetration behavior of the offset paper surface. *Advanced Materials Research*, 174:354–357, 2011.
- L. Zins. Standards an Probedruckgeräten. Praxis Report, FOGRA - Forschungsgesellschaft Druck, 2004.