

Weiterverarbeitung von Digitaldruckprodukten

Eine Abschätzung der Entwicklungspotenziale der
Weiterverarbeitungstechnologie für Digitaldrucke sowie eine
Untersuchung der Haftung bei Digitaldruckverbundprodukten

Dissertation der Fakultät für
Elektrotechnik, Informationstechnik und Medientechnik
der Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von
Dragan Milosavljevic
aus Mönchengladbach

Tag der mündlichen Prüfung: 24.07.2017

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. J. Backhaus

Prof. Dr.-Ing. U. Jung

Prof. Dr.-Ing. P. Urban

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20171012-115630-3

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn3Ade3A468-20171012-105630-3>]

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand hauptsächlich während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Medientechnik an der Bergischen Universität Wuppertal in den Jahren 2009 bis 2017.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, welche mir (nicht nur) mein Studium ermöglicht haben, immer an mich geglaubt haben und mir den Mut und die Zielstrebigkeit gegeben haben um dorthin zu gelangen, wo ich mich heute befinde.

Meine Frau hat mich während jeder Phase der Arbeit unermüdlich unterstützt und mich stets motivierend begleitet - ihr gebührt mein herzlicher Dank.

Meinem betreuenden Professor, Herrn Professor Dr.-Ing. J. Backhaus, gilt mein besonderer Dank für viele wertvolle Tipps, zahlreiche Anregungen und für seine stete, unerschöpfliche Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Herrn Professor Dr.-Ing. U. Jung danke ich für die Übernahme des Korreferats sowie für die kritische Durchsicht dieser Dissertation.

Bei Herrn Professor Dr.-Ing. P. Urban möchte ich mich ebenfalls für die Übernahme des Gutachtens bedanken.

Für die Durchführung der Versuche waren zahlreiche Materialien notwendig, welche mir von verschiedenen Unternehmen zur Verfügung gestellt worden sind. Für die Bereitstellung der Materialien und der Anfertigung der Proben danke ich folgenden Unternehmen:

- Achilles veredelt West GmbH
- A.V. Greulich Druckveredelung GmbH & Co. KG
- Cewe Stiftung & Co. KGaA
- Felix Schoeller Holding GmbH & Co. KG
- Ing. Fritz Schroeder GmbH & Co. KG
- Lensing Druck GmbH & Co. KG
- Xerox GmbH

Mein Dank gilt weiterhin allen Mitarbeitern des Studienganges der Druck- und Medientechnik der Bergischen Universität Wuppertal.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	v
Inhaltsverzeichnis.....	vii
Themenfindung und Motivation	xi
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Bisheriger Forschungsstand	5
2.1 Umfrage zu der Verarbeitung von Digitaldruckprodukten	10
2.1.1 Aufbau des Fragebogens und Zieldefinition.....	11
2.1.2 Entwicklung des Fragebogens.....	12
2.2 Darstellung der Umfrageergebnisse.....	13
3 Grundlagen.....	15
3.1 Kaschieren.....	15
3.1.1 Trockenkaschieren	15
3.1.2 Nasskaschieren.....	16
3.1.3 Thermokaschieren	17
3.2 Oberflächenuntersuchungen.....	18
3.3 Klebstoffe.....	22
3.3.1 Physikalisch abbindende Klebstoffe.....	22
3.3.2 Chemisch abbindende Klebstoffe	23
4 Historie des Digitaldrucks und dessen Verarbeitung.....	25
5 Klassifizierung von Digitaldruckprodukten	29
6 Verarbeitung von Digitaldruckprodukten.....	35
6.1 Fertigungsarten	35
6.1.1 Inlinefertigung.....	35
6.1.2 Offlinefertigung.....	36

6.1.3	Nearlinefertigung.....	37
6.1.4	Zusammenfassung der Unterschiede	37
6.2	Digitaldruckprodukte und Fertigungsprozesse.....	39
6.2.1	Digitale Sammelheftprodukte	41
6.2.2	Booklets.....	42
6.2.3	Broschuren/Buchblocks	43
6.2.4	Fotobücher	46
6.2.5	Transaktionsdrucke	48
6.2.6	Zeitungen	49
7	Fertigungsleistung von Digitaldruckanlagen.....	51
7.1	Produktionsleistung von Digitaldruckanlagen	52
7.2	Mittelfristige Leistungsprognose für Digitaldruckanlagen	61
8	Produktionsleistung von Weiterverarbeitungslinien.....	69
8.1	Verarbeitung mit einfacher Maschinenaufstellung.....	70
8.2	Verarbeitung durch redundante Maschinenaufstellung.....	79
8.3	Anpassung von technisch-organisatorischen Maßnahmen.....	81
9	Kaschierung von Digitaldruckprodukten.....	89
9.1	Untersuchte Substrate und Verbundpartner	90
9.1.1	Druckfarben	91
9.1.2	Drucksubstrate	97
9.1.3	Kaschierfolien	105
9.1.4	Kaschierklebstoffe.....	106
9.2	Untersuchungsmethoden	112
9.2.1	Ermittlung der Oberflächenspannung.....	112
9.2.2	Ermittlung der Verbundhaftung	114
10	Ergebnisse.....	133

10.1	Ergebnisdarstellung	133
10.2	Ergebnisdiskussion und Ausblick.....	157
Anhang	161
	Schälwiderstände	162
	Falzvorgang 16-Seiter	177
	Falzvorgang 16-Seiter – „Kommen und Gehen“	178
	Befragungsbogen	179
	Befragungsbogen ohne Antworten.....	179
	Befragungsbogen mit Antworten	185
	Digitaldruckanlagen – alphabetisch sortiert	198
	Mehrfarbige Rollen-Digitaldruckanlagen.....	198
	Monochrome Rollen-Digitaldruckanlagen	201
	Mehrfarbige Bogen-Digitaldruckanlagen	203
	Monochrome Bogen-Digitaldruckanlagen.....	207
	Abbildungsverzeichnis.....	211
	Tabellenverzeichnis.....	217
	Abkürzungsverzeichnis.....	221
	Literaturverzeichnis.....	223
	Curriculum Vitae.....	233

Themenfindung und Motivation

Digitaldruckverfahren rücken seit den 1990er Jahren immer weiter in den Fokus. Durch den Digitaldruck ergeben sich neue Möglichkeiten und neue Geschäftsideen wie bspw. der On-Demand-Druck¹. Auf Grund der Aktualität des Themas Digitaldruck gibt es viele Betriebe, die sich an der Bewältigung von anstehenden Problemen versuchen, doch gibt es nur wenige Experten auf diesem Fachgebiet und die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit diesem Thema steckt an vielen Stellen noch in den Kinderschuhen. Insbesondere bei der Weiterverarbeitung von Digitaldruckprodukten sind viele Gebiete bisher noch nicht erforscht worden. Die Prozesse der Weiterverarbeitung, ungeachtet welcher Art von Produkten, dürfen nicht vernachlässigt werden, denn die bedruckten Bogen und Bahnen werden erst dadurch zum fertigen und verkaufsfähigen Produkt gestaltet.

Diese Arbeit soll dazu dienen, einen Überblick zu bekommen, welche Produkte im Digitaldruck produziert werden und wodurch diese charakterisiert sind. Verarbeitungsprozesse von typischen Digitaldruckprodukten werden dargestellt und kritisch betrachtet. Es wird ein Leistungsvergleich aufgestellt zwischen den auf dem Markt befindlichen Digitaldruckanlagen und den genutzten Weiterverarbeitungsmaschinen. Zudem wird eine Prognose der zu erwartenden Produktionsleistung von Digitaldruckanlagen und der erforderlichen Verarbeitungsleistung versucht. Der Fertigungsprozess eines digital gedruckten Produktes kann von recht einfach bis hin zu sehr komplex sein. In dieser Arbeit wird ein Überblick gegeben über die Fertigungsprozesse für viele marktgängige Digitaldruckprodukte, angefangen beim Druck über die Weiterverarbeitung bis hin zum finalen Produkt.

Hauptbestandteil der Untersuchungen sind vor allem Bücher bzw. buchähnliche Produkte. Diese Produktgruppe hat eine große Relevanz, weil jährlich viele dieser Produkte erscheinen und die Auflagen mit kleinen Losgrößen zunehmen. Laut dem Börsenverein des Deutschen Buchhandels wurden im Jahr 2015 in der Bundesrepublik Deutschland 89.506 Erst- und Neuauflagen veröffentlicht. Davon

¹ On-Demand bezeichnet eine Produktion von Waren bei Bestellung.

waren über 9.501 Titel neue Taschenbücher.² Eine Buchaufgabe liegt im Bereich zwischen 500 bis etwa 3.000 Exemplaren. Diese Produktgruppe ist prädestiniert für den Digitaldruck. Außen vor genommen sind hier hochauflagige Bestseller und Produkte, welche technisch nicht im Digitaldruck produziert werden können, bspw. wegen ihres Formates (z.B. Atlanten) oder auf Grund der äußerst hohen qualitativen Forderung an die Druckqualität (z.B. Kunstkatologe). Insbesondere bei Erstausgaben wie auch bei Neuauflagen ist im Vorfeld nicht absehbar, wie hoch die Absatzzahlen sein werden.

Die reinen Stückkosten für Digitaldruckprodukte liegen deutlich höher als die bspw. von Offsetdruckprodukten. Letztere müssen jedoch in einer Mindeststückzahl abgenommen werden. In vielen Fällen bleiben für nicht verkaufte Exemplare erhebliche Transport-, Lager-, Sekundärverwertungs- und Vernichtungskosten, die bei auflagegenau gedruckten Digitaldruckprodukten nicht entstehen. Letztlich entscheiden, wie dieses Beispiel verdeutlicht, nicht die Herstellungskosten sondern das Geschäftsmodell, welches durch den Digitaldruck möglich wird, über die Wirtschaftlichkeit eines Produktes. Insbesondere bei Nachdrucken, ggf. als Einzelexemplare, wird die Stärke des Digitaldrucks deutlich.

In diesem Kontext wird eine ganz spezielle Art der Druckweiterverarbeitung von Digitaldruckprodukten – nämlich die Veredelung durch Kaschieren – eingehend untersucht. Viele Bezugsnutzen von Buchdecken, Schutzumschläge sowie Umschläge von Taschenbüchern werden mit Folien kaschiert. Die Haftungsprobleme des Kaschierverbundes werden heute für konventionell, insbesondere im Bogenoffset gedruckten Substraten recht gut beherrscht. Bei digital bedruckten Substraten gilt dies heute nicht annähernd. Hier gelten materialabhängig andere Bedingungen, was neue Herausforderungen birgt.

Wissenschaftliche Untersuchungen zum Thema Kaschierung von Digitaldruckprodukten sind bisher noch nicht bekannt, da dieses Thema von Betrieben sensibel gehandhabt und erlangtes Wissen hierzu kaum an Dritte weitergegeben wird. Einige wenige Betriebe haben durch die

² Börsenverein des Deutschen Buchhandels e.V.: Buch und Buchhandel in Zahlen 2016, S. 6

„Trial-and-Error“- Methode³ versucht, diese Prozesse zu beherrschen, was jedoch kaum kommuniziert wird, um den eigenen Wettbewerbsvorteil zu erhalten. Im zweiten Teil dieser Arbeit wird für die im Illustrations- und Bücherdruck signifikanten Digitaldruckverfahren das Zusammenwirken von Druckfarbe, Papier, Klebstoff und Kaschierfolie untersucht.

³ Methode, den besten Weg zur Lösung eines Problems zu finden, indem man verschiedene Wege beschreitet und so nach und nach Fehler und Fehlerquellen ausschaltet.

1 Einleitung und Zielsetzung

Die Möglichkeiten durch die technische Innovation des Digitaldrucks treiben zunehmend die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und Fertigungskonzepte an, die für den Druckdienstleister gleichermaßen wie für den Kunden zu ganz neuen Produkten und Geschäftsfeldern führen. Wie beschrieben ist heute der Digitaldruck insbesondere auf Grund seiner hohen Stückkosten ungeeignet, ein konventionelles Druckverfahren lediglich zu kompensieren. Jedoch eingebunden in ein Geschäftsmodell führen die Vorteile des Digitaldrucks bereits vielfach zu einem produktspezifisch und logistisch vorteilhaften Gesamtergebnis.

Viele Druckereien investieren in Digitaldrucksysteme, mit Fokus auf das Drucksystem an sich. Vielfach haben sie sich jedoch mit den Prozessen der Druckweiterverarbeitung von Digitaldrucken noch nicht intensiv auseinandergesetzt, um gleichzeitig auch in geeignete Weiterverarbeitungssysteme zu investieren, die dem Workflow des Digitaldrucks gerecht werden und seine Vorteile voll zur Geltung bringen. Vielfach bleibt das geeignete Line-Matching sowohl auf der Verfahrens- wie auch auf der Leistungsseite völlig unberücksichtigt. Nur so können Prozessengpässe verhindert und die Produktivität der Anlagen umfanglich genutzt werden.

Bei vielen Druckprodukten besteht die Notwendigkeit oder der Wunsch des Kunden eines Oberflächenschutzes oder einer Oberflächenveredlung durch eine Kaschierung. Der Kaschierprozess ist bei konventionellen Druckverfahren in die regulären Fertigungsprozesse integriert und gut beherrschbar. Prozesse und Prozessmaterialien sind optimal aufeinander abgestimmt. Ein wichtiger Faktor beim Kaschieren ist die Verbundhaftung. Im Digitaldruck werden spezielle Druckfarben und vorbehandelte Drucksubstrate eingesetzt, welche technisch bedingt notwendig sind. Es ist unerforscht, welchen Einfluss diese spezifischen Materialien auf das Haftungsvermögen des Kaschierverbundes ausüben.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Digitaldruckanlagen und den folgenden Weiterverarbeitungsprozessen von in digitalen Verfahren hergestellten Druckprodukten. Angefangen mit der Erläuterung, wodurch sich Digitaldruckprodukte gegenüber konventionellen Druckprodukten differenzieren,

werden Verarbeitungsprozesse von typischen Digitaldruckprodukten analysiert. Es wird die Entwicklung der Produktionsleistung von Digitaldruckanlagen untersucht und inwieweit die Weiterverarbeitungsmaschinen angepasst sind. Hier wird die Frage gestellt, ob die Leistung der verschiedenen Aggregate angepasst ist und wo evtl. Bedarf besteht, dieses zu optimieren.

Im Weiteren wird im speziellen auf die Kaschierung von Digitaldruckprodukten eingegangen. Kaschieren ist ein bedeutendes Veredelungsverfahren zum Beispiel für Bezüge von Buchdecken oder für Umschläge von Taschenbüchern. Bei digital gedruckten Produkten resultieren Verbundhaftungsprobleme häufig aus den Druckfarben, da deren Materialeigenschaften und Farbübertragungsprozesse sich von denen bei konventionellen Druckfarben vollständig unterscheiden. Hier wird untersucht, welchen Einfluss verschiedene Digitaldruckverfahren in Kombination mit verschiedenen Kaschierklebstoffen auf das Ergebnis der Kaschierung, im speziellen auf die Haftung, nehmen. Ebenso wird darauf eingegangen, welchen Einfluss verschiedene Papiere auf die Haftung nehmen und welchen Stellenwert die Zertifizierung von Papieren auf den Einsatz im Digitaldruck nimmt – hier im Speziellen auf die Kaschierung.

Das Thema der Kaschierung von Digitaldruckprodukten ist aktuell, da der Digitaldruck zunehmend Marktanteile gewinnt, die Verarbeitungsprozesse jedoch noch nicht weit genug erforscht und nicht durchgängig beherrscht sind. Es stellt sich stets die Frage nach den Prozessen. Kaschierte Produkte sind marktrelevant, jedoch fehlt es den Betrieben an Wissen über die Prozesse.

Diese Arbeit soll einen Überblick schaffen über die Entwicklung von Digitaldruck- und geeigneten Verarbeitungssystemen und einen tieferen Einblick in die sich ergebende Problematik gewähren, welche sich bei der Kaschierung von Digitaldruckprodukten ergibt, und mögliche Ansatzpunkte zu einer Prozessoptimierung bieten. Die Frage nach optimal angepassten Systemen und Prozessen ist von besonderem Interesse, weil die für den Digitaldruck spezifischen Faktoren bisher in der Weiterverarbeitung kaum systematisch verfolgt wurden.

Der erste Teil der Arbeit widmet sich dem Einzug des Digitaldrucks in den Druckmarkt und der Frage, wie in Betrieben Digitaldruckprozesse eingebunden werden. Weiterhin werden technische Grundlagen erläutert, auf welchen diese

Arbeit basiert, gefolgt von einem kurzen historischen Abriss des Digitaldrucks. Im sechsten Kapitel werden verschiedene Digitaldruckanlagen dargestellt und deren zukünftige Produktionsleistung prognostiziert, sowie ein Leistungsvergleich gegenüber Weiterverarbeitungsanlagen aufgestellt.

Der experimentelle Teil der Arbeit beginnt mit Kapitel neun. Auf experimenteller Basis wird ein Spezialfall der Weiterverarbeitung untersucht - die Veredelung von Druckprodukten durch eine Kaschierung. Das Forschungsziel ist, herauszufinden, inwieweit unterschiedliche Parameter bei Substraten, Druckverfahren- und Farben, sowie bei Klebstoffen eine Kaschierung beeinflussen. Repräsentative Größe für die Qualität des Verbundes ist jeweils seine Haftfestigkeit.

2 Bisheriger Forschungsstand

Der aktuelle Forschungsstand zum Thema ergibt sich wie folgt:

Einige Autoren haben sich mit dem Thema einzelner Verarbeitungsprozesse von in digitalen Druckverfahren hergestellten Produkten befasst, sowie mit Haftungsproblemen von Kaschierverbunden verschiedener Druckpapiere. Michael Thielen hat sich mit den Prozessen von Book-On-Demand-Linien, deren Anforderungen und der Automation durch JDF-Daten befasst.⁴ Ines Heinze untersuchte die Möglichkeiten der Herstellung von Produkten unter dem Gesichtspunkt des Publishing on Demand.⁵ Eine Pira Studie gibt einen Überblick über die Anforderungen für die In- bzw. Offlineverarbeitung sowie den Bedarf und die Entwicklung zu einer höheren Automation von Verarbeitungsanlagen für Digitaldruckprodukte.⁶ Diese Arbeiten beschäftigen sich lediglich mit einem ausgesuchten Teilgebiet der Digitaldruckverarbeitung.

Das Thema der Folienkaschierung, der Lackierung und deren Anforderungen war Gegenstand diverser Forschungsberichte. Thomas Kuen und Ralf Cremer haben die Ursachen von Schadensarten bei UV-Lackierungen von Offsetdrucken untersucht. Es wurden Ursachen betrachtet, die verantwortlich waren für unbenetzte Stellen, eine schlechte Oberflächenqualität, Verblockungen oder mangelnde Lackhaftung.⁷ Der Untersuchungsgegenstand der mangelnden Lackhaftung und die einflussnehmenden Parameter, wie bspw. die Oberflächenspannungswerte oder die Strichart, lassen sich auf Kaschierungen von Druckprodukten (hier Digitaldruckprodukte) übertragen und deuten auf die Notwendigkeit einer Untersuchung dieser Parameter hin. Ebenso kann der Untersuchungsgegenstand von kritischen Kombinationen von Lack, Druckfarbe

⁴ Thielen: Book-On-Demand. Entwicklung eines Konzepts zur Integration der Buchweiterverarbeitung in einen digitalen Workflow 2003

⁵ Heinze: Konstruktion von buchbinderischen Finalerzeugnissen unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen des Binding on demand 2003

⁶ Smyth: Introduction to digital print 2005, 72f

⁷ Kuen und Cremer: Untersuchung von Vernetzungs- und Haftstörungen bei UV-Lackierungen in der Papier- und Kartonveredelung 1993

und Papier in Betracht gezogen werden für Kaschierungen. Peter Stadler und Arne Müller untersuchten den Einfluss der Strichkomponenten von Druckpapieren auf die Qualität von Klebebindungen.⁸ Untersuchungsgegenstand waren Klebequalitäten von Papieren mit unterschiedlichen Oberflächenstrichen in Verbindung mit verschiedenen Klebstoffsystemen (Polyurethan-, Hotmelt- und Dispersionsklebstoff), wie diese auch in der Versuchsreihe der vorliegenden Arbeit eingesetzt werden. Der Einsatz von PUR-Klebstoff hat durchweg zu den besten Resultaten geführt. Gegenstand eines Forschungsberichts von Harald Beßner und Ralf Cremer waren der „[...]Einfluss des Papierstrichs auf die mechanische Widerstandsfähigkeit folienkaschierter Drucke“⁹. Es wurden Haftfestigkeiten von kaschierten Kartons unter Verwendung unterschiedlicher Kaschierklebstoffe (2K-lösemittelhaltig, 1K-Dispersion, 2K-Dispersion und Hotmelt) untersucht. Hier zeigte sich, dass den bedeutendsten Einfluss auf die Schälfestigkeiten die Oberflächeneigenschaften des Kartons ausüben. Die eingesetzte Klebstoffart übte einen signifikanten Einfluss auf die Bruchart des Kaschierverbundes bei den Schälversuchen aus. Nicholas DiSantis hat unterschiedliche Digitaldrucke untersucht mit Hinblick auf verschiedene Widerstandsfähigkeiten der Druckfarben und den damit zusammenhängenden Herausforderungen bei der Verarbeitung von Digitaldruckprodukten, sowie dem darüber hinausgehenden Gebrauch durch den Endnutzer.¹⁰ Untersucht wurden toner- und inkjetbasierte Druckfarben bzgl. ihrer Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchungen (Abrieb- und Scheuerfestigkeit), thermischen Einflüssen und umweltbedingten Einflüssen (UV-Strahlung und Ozon). Widerstandsfähigkeiten gegen mechanische Beanspruchungen sind u.a. ein wichtiger Aspekt bei der Verarbeitung von bedruckten Bahnen und Bogen. Inkjetbasierte Flüssigfarben bilden durch ihr Wegschlagverhalten eine bessere Verbindung mit dem Bedruckstoff und führen zu besseren Ergebnissen als tonerbasierte Drucksysteme.

⁸ Stadler und Müller: Einfluß der Strichkomponenten auf die Qualität klebegebundener Massendruckartikel 1993

⁹ Beßner und Cremer: Der Einfluß des Papierstriches auf die mechanische Widerstandsfähigkeit folienkaschierter Drucke

¹⁰ DiSantis: Rub, fold, and abrasion resistance testing of digitally printed documents 2007

Die Produktion von konventionellen Druckprodukten wird dargestellt von Dieter Liebau und Ines Heinze.¹¹ Ausführlich wird jeder einzelne Prozessschritt sowie jeder Teilprozess der industriellen Buchbinderei erörtert und beschrieben. Erläutert werden Prozessschritte und Verarbeitungslinien u.a. für die Produktion von rückstichgehefteten Broschuren¹², klebegebundenen Broschuren¹³ sowie für Bücher¹⁴ mit fadengehefteten¹⁵ und klebegebundenen Buchblocks¹⁶.

Die Aspekte des Einflusses von verschiedenen Materialeigenschaften auf die Qualität des Kaschierverbundes wurden in Verbindung mit Offsetdruckprodukten ausführlich untersucht. Ebenso hat man sich mit ausgesuchten Fertigungsprozessen des Digitaldruckverfahrens auseinandergesetzt. Nicht betrachtet wurden bisher die Prozesse als Ganzes, insbesondere das Kaschierverfahren bei Digitaldruckprodukten sowie der Einfluss der neuen Material- und Prozessparameter auf die Qualität des Kaschierverbundes. Diese Aspekte werden in dieser Arbeit angegangen.

Der Digitaldruck wurde seit Anfang des Jahrtausends für immer mehr Betriebe attraktiver bzw. zwingend notwendig, um konkurrenzfähig bleiben zu können. In den vergangenen Jahren haben immer mehr Druckereien in Digitaldruckmaschinen investiert (vgl. Abb. 1), häufig ohne die gesamte Prozesskette der Digitaldruckproduktion vollständig erschlossen zu haben. Der Druckweiterverarbeitung wird in Druckereien mitunter zu geringe Beachtung geschenkt. Sie wird als ein nötiges Muss angesehen und ist trotz ihrer Bedeutung einer der weniger erforschten Gebiete der Drucktechnik. Dennoch müssen alle Druckprodukte in irgendeiner Art und Weise weiterverarbeitet werden, sodass ein gebrauchsfertiges Endprodukt entsteht.

¹¹ Liebau und Heinze: Industrielle Buchbinderei 1997

¹² ebd., S. 511ff

¹³ ebd., S. 512ff

¹⁴ ebd., S. 523ff

¹⁵ ebd., S. 524

¹⁶ ebd., S. 525

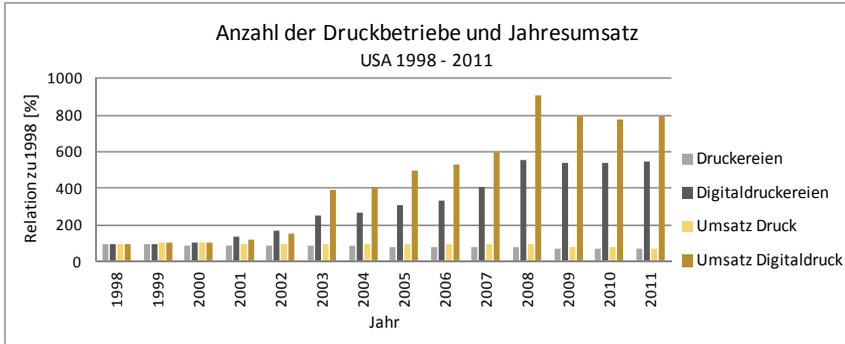


Abb. 1: Druckbetriebe in den USA 1998-2011; Anzahl der Betriebe und Jahresumsatz¹⁷

Aus Abb. 1 wird das Wachstum des Digitaldruckmarktes in den USA ersichtlich. Im Vergleich zum Jahr 1998 hat die Druckbranche insgesamt Verluste zu verzeichnen bei der Anzahl der Betriebe (ein Verlust von etwa 25%) und bei den Umsätzen (ein Verlust von etwa 20%). Im Vergleich dazu hat der Digitaldruck erheblich Marktanteile gewonnen – eine Erhöhung der Firmenanzahl auf mehr als das Fünffache und eine Erhöhung des Jahresumsatzes auf etwa das Achtfache (beides in Relation zum Jahr 1998). Für Europa konnte kein vergleichbares Datenmaterial gefunden werden, jedoch kann angenommen werden, dass der Zuwachs des Digitaldrucks tendenziell ähnlich zu dem in den USA ist.

Laut einer vom Marktforschungsinstitut „Smithers Pira“ herausgegebenen Studie zu der zukünftigen Entwicklung des weltweiten Druckmarktes, wird auch weiterhin eine Zunahme des Digitaldruckvolumens zu erwarten sein – bei gleichzeitigem Rückgang des Offsetdruckvolumens (Abb. 2). Für den Digitaldruck wird eine jährliche Wachstumsrate von 7,4% erwartet, wobei der Inkjetdruck mit einer Wachstumsrate von 13% p.a. dominierend ist.^{18 19}

¹⁷ U.S. Census Bureau

¹⁸ Jeff Clarke: Analyst and Investor Day 2015, S. 42

¹⁹ Smithers Pira: Digital print market to reach \$187.7 billion by 2018

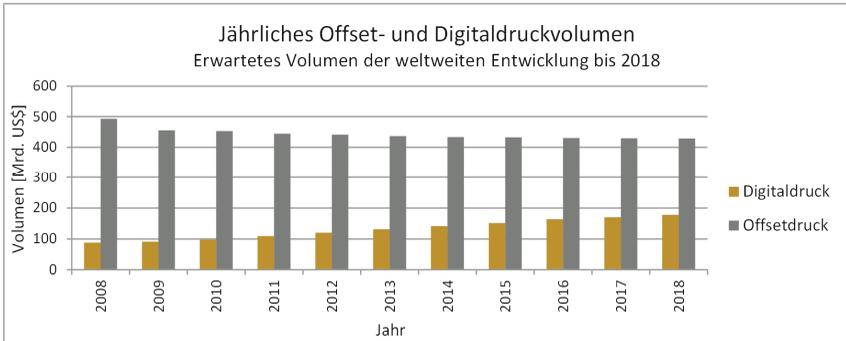


Abb. 2: Erwartete Entwicklung des weltweiten jährlichen Offset- und Digitaldruck-volumens²⁰

²⁰ Bigianti und Lanter: Digital Printing Leads to Print Finishing Opportunities 2014

2.1 Umfrage zu der Verarbeitung von Digitaldruckprodukten

Zum Zweck einer aktuellen Marktanalyse zum Thema Digitaldruck wurde im Sommer 2013 eine Umfrage durchgeführt. Ziel der Befragung war es, Erkenntnisse zu gewinnen sowohl über den Umgang von Druckdienstleistern mit dem Digitaldruck, als auch über die prozesstechnische Abwicklung der Weiterverarbeitung von Digitaldruckprodukten.

Aus der Grundgesamtheit²¹ aller Druckdienstleister im deutschsprachigen Raum (Deutschland, Schweiz und Österreich) wurde eine Stichprobe von über 1.600 Adressdaten von Druckdienstleistern zusammengestellt. Vorab konnte keine Eingrenzung der Betriebe erfolgen, da aus den vorliegenden Daten keine Information darüber bestand, ob die Betriebe Digitaldruck anwenden. Für die Durchführung der Befragung stand die Möglichkeit eines persönlichen Interviews zur Verfügung und eine Befragung per Fragebogen, welcher dem Interviewpartner zugeschickt wird. Um eine möglichst hohe Teilnehmerquote in die Umfrage einfließen zu lassen, womit eine möglichst repräsentative Aussage getroffen werden kann, wurde der Kanal der Onlinebefragung gewählt. Bei Begutachtung der Antworten konnten optional einzelne Teilnehmer persönlich befragt werden, falls einzelne Antworten Grund zur Nachfrage stellen sollten.

Für die Durchführung einer repräsentativen Umfrage²² ist es wichtig, aus der Grundgesamtheit der Druckdienstleister, eine qualitative Stichprobe²³ zu ziehen, auf Basis derer die benötigten Aussagen getroffen werden können. Um die Grundgesamtheit auf die benötigte Stichprobengröße zu begrenzen, wurde in dem per Email versandten Einladungstext explizit darum gebeten, nur an der Umfrage teilzunehmen, wenn Digitaldruck im eigenen Unternehmen angeboten wird. Die

²¹ Eine Grundgesamtheit bezeichnet die Gesamtheit einer Zielgruppe mit bestimmten Merkmalen. Die Merkmale der Grundgesamtheit werden vor Beginn der Umfragestudie klar definiert. In diesem Fall besteht die Grundgesamtheit aus allen Druckereibetrieben. Kuß et al.: Marktforschung 2014, S. 66

²² „Eine Stichprobe heißt dann repräsentativ, wenn sich aus der Stichprobe unverzerrte Schätzwerte für die Grundgesamtheit bestimmen lassen.“ ebd., S. 70

²³ Eine Stichprobe bezeichnet einen kleinen Teil der Grundgesamtheit, an welcher die Umfrage durchgeführt wird ebd., S. 69.

Menge von 1.600 Unternehmen kann als Zufallsstichprobe aller Druckdienstleister gesehen werden. Durch die vorgegebene Eigenschaft der Digitaldruckproduktion, wird aus der Zufallsstichprobe eine Quotenstichprobe gebildet²⁴.

Insgesamt nahmen 158 Befragte an der Umfrage teil. Das entspricht einer Rücklaufquote von 9,8%. Vor dem Hintergrund, dass die vorhandene Adressdatenbank mit der enthaltenen Stichprobe vorher nicht gefiltert werden konnte in Digitaldruckanbieter und solche, die keinen Digitaldruck anbieten, kann die Rücklaufquote von 9,8% als gut bewertet werden.

2.1.1 Aufbau des Fragebogens und Zieldefinition

Bei der Erstellung des Fragebogens wird vorab festgelegt, welches Ziel verfolgt wird, und der Fragebogen wird in mehrere Themenkomplexe aufgeteilt. Der vollständige Fragebogen befindet sich im Anhang ab S. 179.

a) Unternehmensprofil (Fragen 1-5)

Im ersten Teil geht es darum, ein Bild über die Teilnehmer und deren Betriebsgröße sowie der bisherigen Einsatzdauer von Digitaldruck im Betrieb zu erhalten. Hier soll geklärt werden, ob der Interviewpartner in der Lage ist, die Fragen kompetent zu beantworten und wie groß die Erfahrung im Bereich des Digitaldrucks ist.

b) Produktspektrum und angebotene Drucktechnik (Fragen 6-9)

Dieser Befragungsblock dient dazu abzufragen, welche Druckverfahren neben dem Digitaldruck noch angeboten werden, welche Druckprodukte im Digitaldruck produziert und welche Art von Digitaldruckmaschinen eingesetzt werden. Hier geht es darum, einen Überblick über den Maschinenpark des Unternehmens und über das angebotene Produktspektrum zu bekommen.

²⁴ Die Quotenstichprobe differenziert sich von der Stichprobe, indem der Interviewer bestimmte Eigenschaften vorgibt. Kuß et al.: Marktforschung 2014, S. 66

c) Weiterverarbeitungsprozesse und –Maschinen (Fragen 10-20)

Hier wird erfragt, welche Verarbeitungsprozesse durch den eigenen Maschinenpark angeboten werden und ob sich Überschneidungen ergeben bei konventionellen Produkten und bei Digitaldruckprodukten. Hier soll geklärt werden, ob für Digitaldruckprodukte dieselben Maschinen eingesetzt werden wie bei der Verarbeitung konventioneller Produkte oder ob spezielle Maschinen eingesetzt werden.

d) Automatisierung der Weiterverarbeitungsprozesse (Fragen 21-23)

In diesem Befragungsblock wird hinterfragt, welche Art der Fertigungslinien in dem Betrieb genutzt und inwieweit eine automatisierte Maschinenvoreinstellung eingesetzt wird. Es soll ein Überblick geschaffen werden, inwieweit Weiterverarbeitungsmaschinen automatisiert sind und ob diesbezüglich mehr Voreinstellmöglichkeiten gewünscht werden.

e) Prognose (Fragen 24 und 25)

Im Abschlussblock wird hinterfragt, ob in naher Zukunft Investitionen für die Verarbeitung der Digitaldrucke anstehen und um welche Art der Neuanschaffung es sich handelt. Zusätzlich wird hier noch die Möglichkeit einer Freitextantwort gegeben.

2.1.2 Entwicklung des Fragebogens

Auf Basis der Zieldefinierung und beabsichtigten Intention der Befragung, werden die Fragen entwickelt.

Der Großteil der Fragen sind geschlossene Fragen mit einer oder mit mehrfachen, vorgegebenen Antwortoptionen. Bei geschlossenen Fragen werden im Gegensatz zu offenen Fragen vorformulierte Antwortalternativen vorgegeben. Da das Antwortspektrum nicht komplett durch die Vorgaben ausgeschöpft werden kann, wird bei einem Teil der Fragen eine zusätzliche, offene Kategorie „*Sonstiges*“ mit eingefügt. Die Länge des Fragebogens wird bewusst kurz gehalten, da die Abbruchgefahr bei zeitintensiven Umfragen als zu hoch eingeschätzt wird. Die Bearbeitungszeit des Fragebogens beträgt etwa 15 Minuten. Diese Zeitangabe wurde auch so an die Teilnehmer kommuniziert.

Auswahl der Betriebe

Für die Befragung kommen nur Betriebe in Frage, welche auch mit Digitaldruckmaschinen produzieren. Ob die Druckerei ihre Produkte intern weiterverarbeitet oder ob die Fertigung fremdvergeben wird, spielt keine Rolle. Bei den Betrieben kann es sich um reine Digitaldruckereien handeln oder aber auch um Druckereien, die den Digitaldruck parallel zu einem klassischen Druckverfahren anbieten. Durch die hohe Anzahl an Kontaktadressen, sollte es möglich sein, eine repräsentative Anzahl an Druckereien anzusprechen, welche Digitaldruck und ein breites Produktspektrum anbieten.

2.2 Darstellung der Umfrageergebnisse

Laut Eigenaussage verfügen alle Interviewpartner über das erforderliche Fachwissen zur Beantwortung der gestellten Fragen.

Bei den teilnehmenden Betrieben handelt es sich um kleine bis mittelständige Betriebe mit meistens nur einem Unternehmensstandort (ca. 80% der Befragten Unternehmen sind nur an einem Standort vertreten). Der Digitaldruck wird von einem Großteil der Unternehmen seit über 6 Jahren angeboten (63%), was darauf schließen lässt, dass genug Erfahrung vorliegt, um bei den weiterführenden Fragen eine qualifizierte Antwort zu erhalten. Ein kleinerer Teil der Unternehmen (25%) bedient sich des Digitaldrucks seit weniger als 5 Jahren.

Zu den eingesetzten Druckverfahren wird am häufigsten geantwortet, dass Digital- und Offsetdruck in Kombination für Illustrationsdruckprodukte eingesetzt werden. Etwa 57% der befragten Betriebe nutzen die Trockentonertechnologie und 26% haben Inkjetsysteme im Einsatz. Flüssigtonermaschinen spielen bei den Befragten eine untergeordnete Rolle, mit 9% der Antworten. Monochrome Digitaldruckanlagen werden von etwa der Hälfte der Befragten genutzt (45% monochrome Bogendruckmaschinen; 3% monochrome Rollendruckmaschinen).

Die Mehrheit der Befragten gab an, dass ihre Digitaldruckprodukte in irgendeiner Form weiterverarbeitet werden (87%). Genutzt werden dafür dieselben Maschinen wie für alle übrigen Produkte. Dieser Offline-Prozess für Digitaldruckprodukte wurde bei etwa der Hälfte der Antworten (46%) als nicht optimal angesehen. Separate Weiterverarbeitungsmaschinen für Digitaldrucke besitzen nur wenige der

Befragten (17%), genauso wie Inlinelinien (22%). Etwa die Hälfte (54%) gab an, ihre Produkte mit einer Kaschierung zu versehen. Bei der Frage, ob sich bei der Kaschierung von Digitaldruckprodukten Probleme ergeben, gab ein relativ kleiner Teil (16%) an, Probleme zu haben, mit dem Zusatz, dass Haftungsprobleme mit der Kaschierfolie auf Digitaldrucken bestehen. Diese geringe Zahl ergibt sich aus dem Anteil unter den Befragten die überhaupt Kaschierungen verarbeiten. Es wird jedoch auch deutlich, dass Forschungsbedarf bezüglich der Haftung von Kaschierungen besteht.

Automatische Voreinstellungen nutzen nur sehr wenige Anwender (15%) und bei der Frage nach der Art der Automatisierung ist deutlich zu erkennen, dass ein Großteil der Teilnehmer auf diese Frage nicht eingegangen ist. Die Gründe hierfür sind nicht bekannt. Eine Erklärung hierfür mag sein, dass zum Zeitpunkt der Umfrage der Digitaldruck noch nicht so sehr als integrierter Bestandteil eines Geschäftsmodells gesehen wurde, welcher eine Automatisierung und Zielverfolgung verlangt.

3 Grundlagen

3.1 Kaschieren

Unter einer Kaschierung ist ein vollflächiger Verbund mehrerer Lagen miteinander zu verstehen. Es werden Folien oder Papiere mit Folien, unter Zuhilfenahme von Klebstoffen miteinander verbunden. In der Verpackungsindustrie werden Kaschierfolien dazu verwendet, um bestimmte Barriereigenschaften zu erreichen und um der Verpackung eine höhere Festigkeit zu geben. Bedruckte Papiere werden kaschiert, um die Haltbarkeit der Druckprodukte zu erhöhen und um dem Produkt ein hochwertiges Aussehen zu verleihen. Es gibt verschiedene Kaschierverfahren.

Im Folgenden werden die bei der Versuchsreihe eingesetzten Kaschierverfahren kurz erläutert, damit die Verarbeitungsprozesse, welche für die Erstellung der Probenmuster durchlaufen wurden, nachvollzogen werden können.

Bei den Kaschierverfahren kann unterschieden werden zwischen Nasskaschieren, Trockenkaschieren und Thermokaschieren. Die verwendeten Proben wurden für die Testreihe nasskaschiert und thermokaschiert. Der Vollständigkeit halber werden hier alle drei Verfahren kurz erläutert. Eine genauere Erläuterung der eingesetzten Klebstoffe erfolgt in Kapitel 9.1.4.

3.1.1 Trockenkaschieren

Bei Folienverbunden wird das Trockenkaschierverfahren angewendet. Der wässrige bzw. lösemittelhaltige Klebstoff wird auf die Trägerfolie aufgetragen. Das im Klebstoff vorhandene Lösemittel muss vor der Zusammenführung der zu kaschierenden Substrate in einem Trockenkanal entfernt werden. Durch Warmluftzufuhr oder durch Infrarotstrahler erfolgt eine Verdampfung des Lösemittels, welches abgesaugt und mittels Abluft abgeführt wird. Die Klebstoffschicht ist nach dem Trockenkanal lösemittelfrei, also „trocken“. Flüchtige Bestandteile des Klebstoffs, z.B. Lösemittel oder Wasser können durch

Folien nicht diffundieren. Der Klebstoff könnte ohne die Trocknung nicht abbinden.²⁵

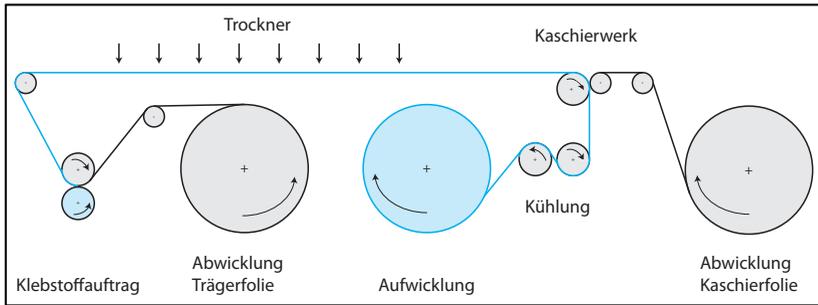


Abb. 3: Vereinfachtes Schema einer Trockenkaschieranlage²⁶

3.1.2 Nasskaschieren

Bei der Nasskaschierung erfolgt die Zusammenführung der zu kaschierenden Substrate unmittelbar nach dem Auftrag des Klebstoffs. Im Gegensatz zu der Trockenkaschierung wird das Lösemittel vorher nicht entfernt. Die Zusammenführung der Substrate erfolgt im „nassen“ Zustand des Klebstoffs unter Druck und Wärme. Bei der Nasskaschierung muss mindestens eines der Substrate des Kaschierverbunds für das Lösemittel durchlässig sein. Das Lösemittel schlägt in das Papier weg und diffundiert mittels Verdunstung durch dieses hindurch. Die Zeitdauer bis zur vollständigen Trocknung des Klebstofffilms hängt ab von dem eingesetzten Klebstoff resp. dessen Verdunstungszahl, der Umgebungstemperatur und dem Schichtaufbau des eingesetzten Papiers. Die Trocknung ist erst nach einigen Tagen abgeschlossen. Diese Kaschiermethode findet Einsatz bei der Herstellung von Papierverbunden. Bei der Kaschierung von Bogen werden diese mit einigen Millimetern zueinander überlappend mit der endlosen Kaschierfolienbahn zusammengefügt. Anschließend trennt ein Bogentrenner die Verbunde jeweils zwischen den einzelnen Bogen.

²⁵ Blechschmidt: Papierverarbeitungstechnik 2013, S. 201

²⁶ In Anlehnung an ebd., S. 201

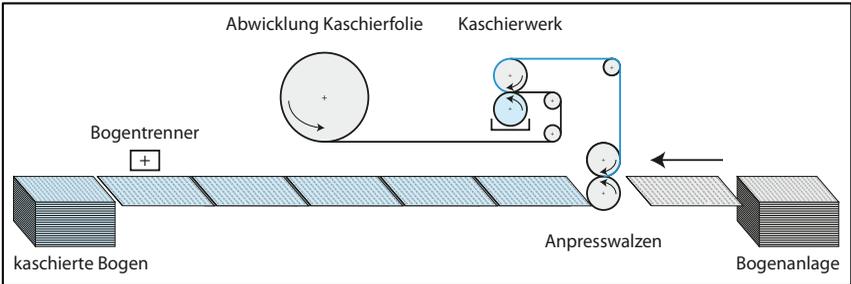


Abb. 4: Vereinfachtes Schema einer Nasskaschieranlage für Bogen

3.1.3 Thermokaschieren

Bei der Thermokaschierung wird die Kaschierfolie zuvor einseitig mit einem Schmelzklebstoff beschichtet. Ein Schmelzklebstoff ist frei von Lösemitteln, bei Raumtemperatur fest und verflüssigt sich bei erhöhter Temperatur (z.B. bei 120°C), wobei er klebrig wird. Beim Kaschierprozess wird während der Zusammenführung der Kaschierkomponenten die Folie bzw. der Klebstoff erwärmt. Durch die Verflüssigung des Klebstoffs erfolgt eine Benetzung der Papieroberfläche, mit welcher dieser nach dem Abkühlen eine feste Verbindung eingeht.²⁷

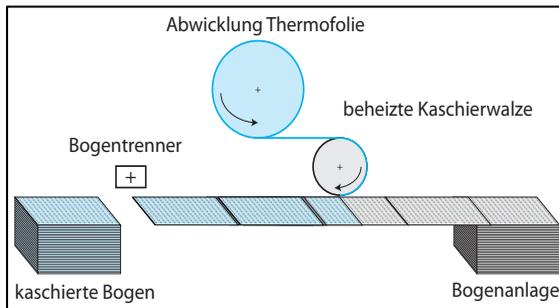


Abb. 5: Vereinfachtes Schema einer Thermokaschieranlage

²⁷ Habenicht: Kleben 2009, S. 206

3.2 Oberflächenuntersuchungen

Für die Qualität einer Verbundhaftung spielt die Oberfläche der Substrate eine entscheidende Rolle. Eine raue Oberfläche begünstigt die Haftfestigkeit. Die Oberflächenspannung gibt Auskunft über die Fähigkeit der Oberfläche, mit einer Flüssigkeit, z.B. einem Klebstoff, benetzt zu werden. Für die Beurteilung der Oberfläche von Druckbogen stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Für das Testen der Farbhafteung auf frischen Drucken wird in Druckbetrieben der sog. „Tesatest“ eingesetzt. Bei diesem Test wird ein Streifen Klebeband, welches mit Klebstoff in unterschiedlichen Haftfestigkeiten erhältlich ist, auf die Farbschicht geklebt und manuell fixiert. Anschließend wird der Klebebandstreifen ruckartig abgezogen. Beurteilt wird die Menge der abgezogenen Farbschicht. Diese Prüfmethode ist ein ad-hoc Test im operativen Betrieb, jedoch für wissenschaftliche Arbeiten ungeeignet, da viele undefinierte Variablen einfließen (Adhäsionskraft und Dimension des Klebebandes, Abzugsgeschwindigkeit und -winkel etc.) und eine subjektive Begutachtung der abgezogenen Farbschicht erfolgt. Eine ähnliche Prüfmethode ist der Gitterschnitt-Tesafilm-Test.²⁸ Hierbei wird die Farbschicht waagrecht und senkrecht eingeritzt, sodass ein Muster mit kongruenten Rechtecken entsteht. Wie bei der ersten beschriebenen Methode, wird auch hier händisch ein Klebebandstreifen auf die Farbschicht aufgeklebt und abgezogen. Aus wissenschaftlicher Perspektive ist diese Methode auf Grund der oben beschriebenen Einflüsse unqualifiziert.

In der Norm DIN 53357²⁹ wird ein Verfahren zur Durchführung von Trennversuchen an Verbundmaterialien beschrieben, welches für die anstehenden Testreihen als geeignet angesehen wird, da hierbei die Randbedingungen klar definiert sind, diese konstant eingehalten werden können und Messdaten für eine objektive Beurteilung der Haftfestigkeit ausgegeben werden. Das Verfahren wird ausführlich in Kapitel 9.2 vorgestellt.

Oberflächenphänomene nehmen bei Beschichtungen eine wichtige Rolle ein. Anhand der Oberflächenenergien kann abgeschätzt werden, ob eine Oberfläche mit

²⁸ DIN EN ISO 2409

²⁹ DIN 53357:1982-10

einer gewählten Flüssigkeit gut oder schlecht benetzbar ist. Das Be- und Abstimmen der Oberflächenenergie spielt bspw. beim Bedrucken von Kunststofffolien eine erhebliche Rolle. In der Fertigungsumgebung wird vor dem Bedrucken oder Kaschieren mittels spezifischer Testflüssigkeiten halbempirisch die Oberflächenenergie der Foliensubstrate eingegrenzt. Dabei wird das Substrat durch Tropfen der Testflüssigkeiten, welche abgestuft unterschiedliche Oberflächenspannungen besitzen, beaufschlagt und beobachtet, bei welcher Flüssigkeit – bei welcher Oberflächenspannung – ein Spreiten des Tropfens eintritt.

Für die Bestimmung von Oberflächenenergien finden sich in der wissenschaftlichen Literatur unterschiedliche Verfahren und Modellansätze.³⁰ Neben dem Betrag der Oberflächenenergie, spielt die Verteilung der dispersen und polaren Anteile eine erhebliche Rolle für die Haftfestigkeit eines Verbundes. Polare Wechselwirkungen treten auf bei Molekülen mit einer unsymmetrischen Verteilung von Ladungen – es liegen permanente Dipolmomente vor. Bei Aufeinandertreffen von mehreren Dipolmolekülen kommt es zur Bildung von elektrostatischen Wechselwirkungen (Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, Wasserstoffbrückenbindungen, Lewis Säure-Base-Wechselwirkungen), welche in der Größenordnung von 50-60 kJ/Mol liegen. Als Folge innerer Elektronenbewegungen entstehen auch bei nicht polaren, dispersen Molekülen temporäre Dipolmomente, welche eine eher schwache Wechselwirkung von 5-10 kJ/Mol bilden (Van der Waals Wechselwirkungen) und damit geringer ausfallen als die von permanenten Dipolmolekülen.³¹ ³² Bei Kontakt zweier unterschiedlicher Phasen hängt die Stärke der Wechselwirkungen davon ab, ob gleich geartete Wechselwirkungen mit der angrenzenden Phase ausgebildet werden können - für die Adhäsion sind die Oberflächenanteile von Bedeutung, die von beiden Partnern ausgehen. Es kommt nur zwischen den beiden polaren bzw. den beiden dispersen Anteilen zu Wechselwirkungen. Klebstoffe verfügen meistens über polare Gruppierungen und gehen daher mit polaren Molekülen eine entsprechend

³⁰ Vgl. hierzu die Verfahren nach Zisman, Fowkes, Wu, Schultz und Owen, Wendt, Rabel und Kaelble

³¹ Habenicht: Kleben 2009, 318ff

³² Grande: Grenzflächenbetrachtungen, 6f

starke Verbindung ein. Eine maximale Festigkeit ist demnach gegeben, wenn die polaren Oberflächenanteile von bspw. Klebstoff und Verbundpartner identisch sind.^{33 34 35 36}

Unter allen Modellen vermögen lediglich die Ansätze von Wu und Owens, Wendt, Rabel und Kaelble, einer Vektorisierung der Oberflächenenergie in polare und disperse Anteile gerecht zu werden. Das Verfahren nach Wu ist explizit für niederenergetische Polymere (bis etwa 40 N/mm) geeignet. Die später betrachteten Verbundpartner sind höherenergetisch. Aus diesem Grund wird für die Ermittlung der Oberflächenenergie das Verfahren nach Owens, Wendt, Rabel und Kaelble gewählt.

Thomas Young hat eine Beziehung hergestellt zwischen dem Randwinkel einer Flüssigkeit, welche einen Feststoff benetzt und den Oberflächenenergien. Dabei wird von Flüssigkeiten bekannter Oberflächenenergien ein Tropfen auf das Substrat gesetzt und mit Hilfe des Randwinkels eine Aussage über die Oberflächenenergie und damit die Benetzungsmöglichkeit durch Flüssigkeiten getroffen.

Folgende Abbildung verdeutlicht den Zusammenhang aus thermodynamischer Sicht.

³³ Rasche: Praxishandbuch Klebtechnik 2010, S. 105

³⁴ Pocius: Adhesion and adhesives technology 2012, S. 86ff

³⁵ Ebnesajjad: Adhesives technologies handbook 2015, S. 10ff

³⁶ Kinloch: Adhesion and Adhesives 1987, S. 19ff

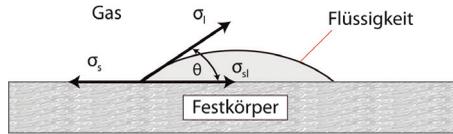


Abb. 6: Oberflächen- und Grenzflächenspannung bei einer Benetzung³⁷

- σ_{sl} = Grenzflächenspannung zwischen dem Festkörper und der Flüssigkeit
- σ_s = Oberflächenspannung des Feststoffes
- θ = Randwinkel
- σ_l = Oberflächenspannung der Flüssigkeit

Die thermodynamische Benetzung ist eine Funktion aus drei Vektoren und wurde erstmalig von Thomas Young erkannt:^{38 39}

$$\cos\theta = \frac{\sigma_s - \sigma_{sl}}{\sigma_l} \quad (1)$$

Das Modell nach Owens, Wendt, Rabel und Kaelble geht davon aus, dass die Oberflächenspannung zwei Komponenten besitzt; eine disperse Komponente σ^d und eine polare Komponente σ^p , wobei letztere die Hafteigenschaft des Verbundpartners beschreibt.

Wird der Randwinkel auf einem Substrat an zwei Flüssigkeitstropfen ermittelt, deren polare und disperse Oberflächenspannungsanteile jeweils bekannt sind, erhält man in beiden Fällen Geradengleichungen, deren Unbekannten jeweils die polaren und dispersen Anteile der Oberflächenspannung des Substrats sind. Diese werden durch Lösung des Gleichungssystems gewonnen.⁴⁰

³⁷ Habenicht: Kleben 2009, S. 337

³⁸ Owens und Wendt: Estimation of the Surface Energy of Polymers 1969

³⁹ Young: An Essay on the Cohesion of Fluids 1805

⁴⁰ Dutschk: Oberflächenkräfte und ihr Beitrag zu Adhäsion und Haftung in glasfaserverstärkten Thermoplasten 2000, S. 47; Owens und Wendt: Estimation of the Surface Energy of Polymers 1969

Nach Owens, Wendt, Rabel und Kaelble gilt:⁴¹

$$\frac{\sigma_l (1 + \cos\theta)}{2\sqrt{\sigma_l^d}} = \sqrt{\sigma_s^p} \sqrt{\frac{\sigma_l^p}{\sigma_l^d}} + \sqrt{\sigma_s^d} \quad (2)$$

Dies entspricht einer Geradengleichung:

$$y = m \cdot x + b \quad (3)$$

Mit $y = \frac{\sigma_l(1+\cos\theta)}{2\sqrt{\sigma_l^d}}$ und $x = \sqrt{\frac{\sigma_l^p}{\sigma_l^d}}$, ergibt sich der polare Oberflächenanteil als

Steigung $m = \sqrt{\sigma_s^p}$ und der x-Achsenabschnitt $x = \sqrt{\sigma_s^d}$ als der disperse Anteil.

3.3 Klebstoffe

Vom Aufbau her sind Klebstoffe den Kunststoffen sehr ähnlich bzw. z.T. identisch.⁴² Sie werden der organischen Chemie zugeordnet.⁴³

Es bestehen verschiedene Varianten von Klebstoffen für unterschiedliche Einsatzgebiete. Für die später beschriebenen Untersuchungen werden Klebstoffe eingesetzt, welche industriell zum Folienkaschieren von bedruckten Papieren verwendet werden. Um die verschiedenen Klebstoffarten verstehen zu können, werden an dieser Stelle die genutzten Klebstoffe nach der Art ihres Abbindemechanismus eingeteilt.

3.3.1 Physikalisch abbindende Klebstoffe

Bei physikalisch abbindenden Systemen handelt es sich um 1-Komponenten-Klebstoffe. Beim Kleben bleibt der Klebstoff chemisch unverändert. Die

⁴¹ Ausführliche Erläuterungen zur Oberflächenspannung in: Young: An Essay on the Cohesion of Fluids 1805; Owens und Wendt: Estimation of the Surface Energy of Polymers 1969; Girifalco und Good: A Theory for the estimation of surface and interfacial energies 1957

⁴² Habenicht: Kleben - erfolgreich und fehlerfrei: Handwerk, Praktiker, Ausbildung, Industrie 2011, S. 6

⁴³ Latscha et al.: Organische Chemie 2016, S. 521

Aushärtung dieser Klebstoffe beruht auf den physikalischen Prozessen des Erwärms und Abkühlens bzw. des Verdampfens und Verflüchtigen des Lösemittels. Um ein Verdampfen des Lösemittels gewährleisten zu können, muss ein Verbundpartner des Kaschierverbundes diffusionsoffen sein.⁴⁴

3.3.2 Chemisch abbindende Klebstoffe

Da bei den Testreihen, von den chemisch abbindenden Klebstoffen Polyurethanklebstoffe (PUR) eingesetzt werden, wird im Folgenden auf diese eingegangen. Bei chemisch abbindenden Klebstoffen liegen reaktionsbereite Monomere mit mindestens zwei reaktiven Endgruppen vor. Bei den Polyurethanklebstoffen reagieren reaktionsfähige Isocyanatgruppen mit den reaktionsfähigen Hydroxylgruppen eines Alkohols zu Urethan.⁴⁵ In folgender Reaktionsgleichung wird die Urethanbildung verdeutlicht. Die mit R-gekennzeichneten Molekülfragmente bezeichnen einen Rest und können für beliebige Bausteine der Polyurethanchemie stehen. Bei der Reaktion handelt es sich um eine Polyaddition, welche exotherm (Abgabe von Reaktionswärme) abläuft. Das Reaktionsergebnis sind Urethane.

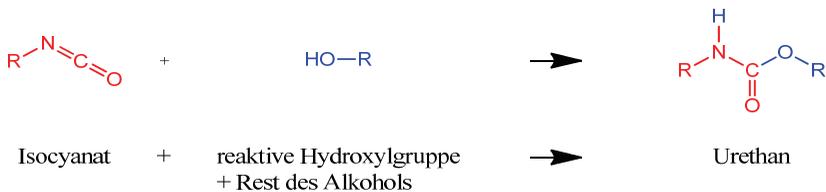


Abb. 7: Reaktionsgleichung der Urethanbildung⁴⁶

Polyurethanklebstoffe

Zu der Bildung von Polyurethanen müssen mindestens difunktionelle Isocyanate (Diisocyanate) und difunktionelle Alkohole (Dirole) vorhanden sein. Bei dieser Kombination entstehen langkettige Makromoleküle mit einer linearen Struktur.

⁴⁴ Habenicht: Kleben 2009, S. 201ff

⁴⁵ Bayer, Siefken, Rinke, Orthner, Schild: Verfahren zur Herstellung von Polyurethanen bzw. Polyharnstoffen

⁴⁶ Stepanski und Leimenstoll: Polyurethan-Klebstoffe 2016, S. 2

Beim Einsatz von mehrwertigen Alkoholen (Polyole) und mehrwertigen Isocyanaten (Polyisocyanate), entstehen vernetzte Polyurethane. Der Grad der Vernetzung, sowie die Engmaschigkeit, geben dabei vor, welche Eigenschaften das Polyurethan haben wird. Bei dem Einsatz von Diolen und Diisocyanaten entstehen Elastomere oder Thermoplaste und bei dem Einsatz von Polyolen und Di- oder Polyisocyanaten, Duroplaste.⁴⁷

Die Polyadditionsreaktion ist abhängig vom Verhältnis der Anzahl an Isocyanat-Gruppen (-NCO) zu der Anzahl an Alkohol-Gruppen (-OH). Nur bei gleicher Menge an beiden Gruppen kann eine vollständige Polyadditionsreaktion aller Reaktanten ablaufen, ohne dass noch reaktionsfähige Gruppen übrig bleiben. Bei Umstellung des Mischungsverhältnisses auf bspw. doppelt so viele Isocyanatmoleküle wie Alkoholmoleküle, bilden sich Prepolymere, da zu wenig Reaktanten vorhanden sind. Prepolymere enthalten demnach noch reaktionsfähige Endgruppen bzw. vernetzte Monomere als Vorstufe zu Polymeren.

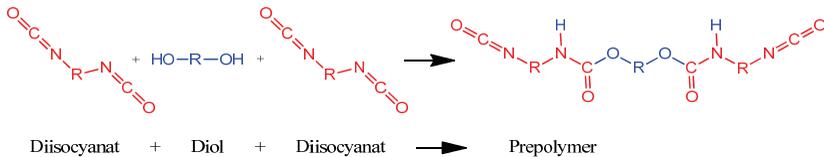


Abb. 8: Reaktionsgleichung der Prepolymerbildung⁴⁸

Prepolymere nehmen eine wichtige Rolle bei reaktiven Polyurethan-Schmelzklebstoffen ein. Bei den in der Versuchsreihe eingesetzten PUR-Klebstoffen handelt es sich um Duroplaste.

⁴⁷ Latscha et al.: Organische Chemie 2016, S. 537

⁴⁸ Stepanski und Leimenstoll: Polyurethan-Klebstoffe 2016, S. 3

4 Historie des Digitaldrucks und dessen Verarbeitung

An dieser Stelle wird kurz auf diese relativ neuen Druckverfahren eingegangen, da die zugehörigen neuen Druckfarben (physikalisch/chemisch) die späteren Untersuchungen maßgeblich beeinflussen.

Das Prinzip der Elektrofotografie, und damit der Beginn des Digitaldrucks, werden bereits 1937 von Chester F. Carlson entwickelt. In den 1950er Jahren werden Kopiergeräte in Büros eingesetzt, welche auf dem Prinzip der Elektrofotografie arbeiten und Einzelblätter in Kleinauflagen kopieren. In den 1970er Jahren gewinnt der Nadeldrucker (auch Matrixdrucker genannt) an Beliebtheit in Büros und in privaten Haushalten. Ende der 1980er bzw. Anfang der 1990er Jahre bietet der Markt Inkjet-Drucker, mit welchen ein farbiger Ausdruck möglich wird und welche gleichzeitig erschwinglich sind.⁴⁹ Bis zu Beginn der 1990er Jahre hat der industrielle Digitaldruck nur eine sehr geringe Bedeutung.⁵⁰

Im September 1993 werden auf der IPEX⁵¹ in Birmingham die ersten Farb-Digitaldrucksysteme vorgestellt, welche für den industriellen Markt gedacht sind. Das Unternehmen *Xeikon* stellt eine Rollendruckmaschine vor, welche mit Trockentoner druckt und das Unternehmen *Indigo*⁵² stellt die erste Maschine auf Basis von Flüssigtone vor.⁵³

Bis etwa zum Jahr 2000 gibt es nur eine mäßige Weiterentwicklung der Digitaldrucktechnologie. Im Jahr 2000 werden erste Weiterverarbeitungssysteme speziell für Digitaldruckverarbeitung vorgestellt. Bspw. stellt die Fa. *Bielomatik* die

⁴⁹ Wer hat's erfunden? Büroklassiker im Spiegel der Zeit 2011

⁵⁰ Scheddin: Xeikon präsentierte die erste rein digitale Vierfarben-Druckmaschine für Kleinauflagen: DCP1 1993

⁵¹ IPEX ist die größte Druckfachmesse im englischsprachigen Raum.

⁵² 2002 von der Hewlett Packard GmbH übernommen

⁵³ Scheddin: Xeikon präsentierte die erste rein digitale Vierfarben-Druckmaschine für Kleinauflagen: DCP1 1993; Digitaler Offsetdruck mit der E-Print 1000 von Indigo 1993

erste Bindelinie für Hardcover in Kleinauflagen vor - die Bielomatik Bookmaster 360.⁵⁴ Diese Linie, welche Bogen verarbeitet, kann sich jedoch nicht durchsetzen.

In den folgenden Jahren erfolgt eine ausgeprägte Leistungssteigerung von Digitaldruckmaschinen sowohl bzgl. der Bahn- bzw. Bogengeschwindigkeiten als auch der Formatgrößen. Die Druckqualität bleibt jedoch schwach und nicht zufriedenstellend. Eine detailgetreue Darstellung von bspw. feinen Schriftarten ist nicht möglich.

2007 stellt die Buchdruckerei *Bercker* in Kevelaer, die erste integrierte monochrome Buchblock- und Broschürenfertigungslinie auf, welche Rollen verarbeitet. Diese digitale Buchdrucklinie mit dem Namen „Integrated Book Production System“ (IBPS) entstand aus der Entwicklung eines Prototypen verschiedener Hersteller (Kodak, E.C.H. Will und Kolbus).⁵⁵

Bis zum Jahr 2012 folgten neben deutlichen Leistungs- und Qualitätssteigerungen bei den Digitaldruckmaschinen auch speziell auf Digitaldruck abgestimmte Weiterverarbeitungssysteme.

Diese Entwicklung setzt sich rasant fort und mündet vorläufig in einen Stand von vielen, z.T. hoch spezialisierten Digitaldrucksystemen sowie vielfältigen digitaldruckspezifischen Weiterverarbeitungsmaschinen bzw. -systemen, die auf der Messe Drupa in Düsseldorf im Mai 2016 dargeboten wurden.

Die Bandbreite, die hohe Druckqualität und die Vielseitigkeit integrationsfähiger Weiterverarbeitungsaggregate machen deutlich, dass die Digitaldrucktechnologie nunmehr in industriellen Fertigungsmaßstäben eingesetzt wird und sukzessive konventionelle Druckverfahren verdrängt. Gleichzeitig wird aber auch deutlich, dass die industrielle Fertigung auf Grund der Integration von digitalen Drucksystemen und entsprechenden Weiterverarbeitungsaggregaten auch in kleineren Unternehmen zunehmend Einzug hält. Für die nachstehenden Untersuchungen spielen insbesondere die verwendeten Druckfarbensysteme eine ganz besondere Rolle. Zumeist werden diese eingeteilt in:

⁵⁴ Nicolay: Die Buch-Architekten 2004

⁵⁵ Scherhag et al.: Digitale Buchproduktion 2009

- Feststofftoner (z.B. Xerox, Xeikon, Canon)
- Flüssigtoner (HP Indigo)
- Flüssigtinten (wasserbasierend, lösemittelbasierend)
(HP, Fujifilm/Heidelberg, Canon, Xerox u.a.)
- Wachstinten (Xerox)

5 Klassifizierung von Digitaldruckprodukten

Der Digitaldruck besitzt einige spezifische Eigenschaften und hebt sich dadurch von den konventionellen Druckverfahren ab. Bspw. kann durch die variable Bebilderung der Druckform jedes Druckbild ein anderes Aussehen haben. Durch diese Technologie kann die Rüstzeit der Druckmaschine auf ein Minimum reduziert werden.⁵⁶

Durch den Wegfall der klassischen Rüstzeiten⁵⁷ und damit kürzeren Reaktionszeiten, können Aufträge bedarfszeitorientiert (Just-in-Time) produziert werden, wodurch Lagerkosten auf ein Minimum reduziert werden, da die Produkte sofort zum Kunden verschickt und nicht zwischengelagert werden müssen. Dadurch, dass im Gegensatz zu den konventionellen – reproduzierenden – Druckverfahren jedes Druckbild neu aufgebaut wird, können personalisierte Produkte realisiert werden, was mit keinem anderen Druckverfahren auch nur annähernd (sowohl zeitlich als auch kostenseitig) realisierbar ist. Jedoch auf Grund seiner derzeit hohen Druckkosten, welche mit dem Druckvolumen fast linear ansteigen, ist der Digitaldruck für hochvolumige Druckaufträge mit statischem Druckbild aus wirtschaftlicher Sicht nicht geeignet.

Vorteile des Digitaldrucks:

- On-Demand und Ad-hoc Produktion
 - Fertigung der Produkte wann und in welcher Auflagenhöhe benötigt
 - Geringe Lagerkosten
- Dezentrale Fertigung
 - Eine Produktion kann auf mehrere Standorte verteilt werden, ohne dass an allen Druckstandorten die Druckform jeweils reproduziert werden muss.
- Kurze Durchlaufzeiten
 - Durch den Wegfall des Maschinenrüstens wird Zeit eingespart

⁵⁶ Vgl. Kipphan: Handbuch der Printmedien 2000

⁵⁷ Das Rüsten wie bei klassischen Druckmaschinen entfällt; z.B. Ein- und Ausbau der Druckform und Farbanpassungen.

- Druck von individualisierten und personalisierten Produkten
- Keine wirtschaftliche Abhängigkeit von Mindestauflagen
 - Eignung für Einzelexemplarfertigung und Kleinstauflagen

Nachteile des Digitaldrucks:

- Hohe Stückkosten
- Geringere Ausstoßleistung als klassische Druckverfahren
- Vielfach fehlende angepasste Automatisierung der Weiterverarbeitung
- Haftungsprobleme von Kaschierfolien
- Vielfach fehlendes Wissen bei der Weiterverarbeitung

Die Weiterverarbeitungsmaschinen, speziell für Digitaldruckprodukte, müssen einige besondere Anforderungen erfüllen, um den Ansprüchen des Digitaldrucks gerecht zu werden. Weiterverarbeitungsmaschinen haben nicht selten einen sehr zeitintensiven Rüstungsvorgang beim Produkt- bzw. Formatwechsel. Diese zeitintensive Prozedur steht im Widerspruch zu dem Digitaldruckverfahren an sich, welches kurze Durchlaufzeiten und eine kurze Zwischenlagerung gewährleisten soll. Um diesem Punkt nicht kontraproduktiv entgegen zu stehen, benötigen Weiterverarbeitungsmaschinen für Digitaldruckprodukte, ein hohes Maß an Automatisierung.

Das Produktspektrum bei Digitaldruckprodukten reicht von Produkten mit variablen Auftrags- und Druckdaten und Druckbildern (Auflage eins = Kleinstauflage), bis zu Produkten welche statische Daten beinhalten (geringe Auflagenhöhe = Kleinauflage). Produkte mit gleichbleibendem Inhalt werden unter dem Begriff Print on Demand (POD) zusammengefasst. POD-Produkte haben, abgesehen von Einzelstücken z.B. Nachauflagen, zumeist Auflagenhöhen von einigen Hundert bis zu wenigen Tausend Exemplaren. Hier entstehen dem Digitaldruck Kostenvorteile gegenüber anderen Druckverfahren z.B. dem Bogenoffset, da der Aufwand für die Druckformherstellung und das Rüsten der Druckmaschine sowie die Stillstandzeiten für das Rüsten entfallen.⁵⁸ Bei

⁵⁸ Die Erstellung von Druckformen für konventionelle Druckverfahren stellt einen nicht unerheblichen Kostenfaktor dar, welcher beim Digitaldruck nicht vorhanden ist. Ebenso tendieren die Rüstzeiten gegen Null, da kein Druckformwechsel stattfindet.

Illustrationen, Verpackungen und Plakaten werden häufig kleine Losgrößen bestellt, auf Grund einer geringen Nachfrage oder durch kleine Losgrößen und einer Just-In-Time Produktion, wodurch Lagerkosten minimiert werden sollen. Ebenso können Prototypen kostengünstig hergestellt werden. Durch den Print on Demand ist ein bedarfsorientierter Nachdruck von vergriffenen Büchern kein Problem mehr.

Individualisierte bzw. personalisierte Produkte fallen unter die Bezeichnung Variable Data Print (VDP). Hierbei unterscheidet sich inhaltlich jedes Produkt zum vorhergehenden. Es handelt sich um Produkte in der Auflagenhöhe Eins. Beispiele hierfür sind Rechnungen, Anschreiben (Transaktionsdrucke), personalisierte Broschüren (wie z.B. Fotobücher) und Verpackungen oder Etiketten, wie sie z.B. bei einer Werbeaktion der Coca-Cola GmbH im Sommer 2016 stattfand, bei welcher über eine speziell eingerichtete Webseite Getränkeflaschen bestellt werden konnten mit einem, durch einen beliebig gewählten Namen, personalisierten Flaschenetikett.⁵⁹ Ebenso findet der Digitaldruck Anwendung bei Produkten, welche einen Eindruck mit einem sich immer wechselnden Code beinhalten, wie es bei Nummerierungen von Tickets oder Coupons der Fall ist.

Im Folgenden erfolgt eine Klassifizierung von Digitaldruckprodukten aus verarbeitungstechnischer Sicht.

Großformatdruck:

Großformatdruck bezeichnet Produkte welche aus einem Bogen (Papier, Karton, Pappe, Wellpappe oder Kunststoff) bestehen, mit einer Breite und/oder Länge von etwa einem bis mehreren Metern. Typische Produkte sind z.B. Plakate/Poster oder Banner. Hierbei kann es sich um individuelle Produkte handeln, bei welchen sich jedes Druckbild unterscheidet oder um Kleinauflagen von unter 100 Exemplaren.

⁵⁹ chocri GmbH: Trink 'ne Coke mit deinen Freunden

Großformatdrucke werden ausgegeben auf dafür geeigneten Tintenstrahldruckern und können einseitig und beidseitig bedruckt sein.⁶⁰

Transaktionsdokumente:

Beim Transaktionsdruck geht es um die Übermittlung von Informationen, die an eine bestimmte Person adressiert sind. Es handelt sich um personalisierte Serienbriefe, Geschäftsdokumente, wie bspw. Rechnungen, Bescheide, Kontoauszüge und Anschreiben.⁶¹ Transaktionsdokumente sind oft einheitlich im Format DIN A4 gehalten, lediglich der Informationsinhalt und der Seitenumfang können variieren.⁶² Ebenso können Transaktionsdokumente individualisierte Beikleber enthalten, wie z.B. Bankkarten, Krankenkassenkarten oder auch bspw. mit Rubbellack veredelte Felder mit individualisierten PIN-Nummern.

Falzprodukte

Bei Falzprodukten handelt es sich um einlagige Produkte, welche beidseitig bedruckt sind und lediglich auf Format geschnitten und gefalzt werden. Ein Beispiel hierfür sind mehrseitige Flyer.

Broschuren

Eine Broschur besteht aus mehreren gefalzten Signaturen, welche in der richtigen Seitenreihenfolge zusammengetragen oder gesammelt sind. Die Broschur besitzt einen weichen Umschlag, welcher das gleiche Format wie der Buchblock hat. Die Bindung erfolgt überwiegend als Drahtheftung oder als Klebebindung. Zu dieser Gruppe gehören sowohl individuelle Einzelexemplare, wie z.B. Fotobücher, als auch Print-on-Demand Produkte, mit einer Auflage von einigen hundert bis wenigen tausend Exemplaren, wie z.B. Taschenbücher.

⁶⁰ Hewlett-Packard Development Company: HP Designjet Z6800 Photo Production Printer 2014; Canon Deutschland GmbH: Canon Image Prograf iPF9400S 2012

⁶¹ Diversy: Transaktionsdruck: Chancen und Potenziale 2009

⁶² Im direkten Vergleich hierzu stehen Mailings – bei welchen lediglich die Adresse variiert, der Inhalt jedoch gleich bleibt – und Transpromoprodukte, worunter mit Werbung versehene Transaktionsdrucke zu verstehen sind.

Bücher

Ein Buch besteht aus einem Buchblock und einer festen Buchdecke. Der Buchblock ist zusammengesetzt aus Falzbogen, Vorsätzen und Zusatzteilen wie z.B. Fälzel, Kapitalband etc. Die Buchdecke, welche dreiseitig über dem Buchblock übersteht, ist aufgebaut aus der Deckenpappe, der Rückenpappe und dem Deckenbezug. Der Buchblock wird mittels Klebebindung oder Fadenheftung gebunden und in die Buchdecke eingehängt, wobei der Blockrücken nicht mit der Buchdecke verbunden ist.

	wechselnde Daten (VDP)	fixe Daten (POD)
Großformatdruck	-Plakate -Poster	Kleinauflage -Plakate -Poster
Transaktionsdruck	individuelle Anschreiben	-
Illustrations-/Zeitungsdruck	On-Demand-Druck	Kleinauflagen
Verpackungsdruck	individuelle -Beutel -Faltschachteln -Etiketten	Kleinauflagen -Beutel -Faltschachteln -Etiketten
Eindruckwerke Kennzeichnungsdruck	-Mailings -personalisierte Anzeigen -Coupons, Codes -Nummerierung, Adressierung -Händlerdrucke	Chargenkennzeichnung
Sonderformen	-Textildruck	

Tabella 1: Übersicht der Anwendungsbereiche des Digitaldrucks⁶³

⁶³ Backhaus 2013

6 Verarbeitung von Digitaldruckprodukten

In folgendem Kapitel werden die Produktionsprozesse von Digitaldruckprodukten dargestellt und erläutert.

6.1 Fertigungsarten

Bei der Art der Fertigung von Druckprodukten kann eine Unterteilung in drei Fertigungsvarianten vorgenommen werden: Inlinefertigung, Nearlinefertigung und Offlinefertigung. Die Unterschiede dieser Fertigungsprozesse liegen in der Art der physikalischen Vernetzung der Maschinen, des Materialstroms und des digitalen Datenstroms.

6.1.1 Inlinefertigung

Bei Inlineprozessen werden Druckmaschine und Weiterverarbeitungsmaschinen unterbrechungsfrei durchlaufen. Der Bedruckstoff wird an der Druckmaschine angelegt und ohne Unterbrechung den Weiterverarbeitungsmaschinen zugeführt. Am Ende der Fertigungslinie wird das fertige Produkt ausgelegt. Zwischen der Druckmaschine und den Weiterverarbeitungsmaschinen wird zumeist innerhalb der Fertigungslinie ein Puffer zwischengesetzt, um eine Entkopplung dieser Anlagenteile zu schaffen. Die Bogen bzw. Abschnitte werden seriell verarbeitet. Der erste bedruckte Bogen gelangt auch als erstes in die Weiterverarbeitung.

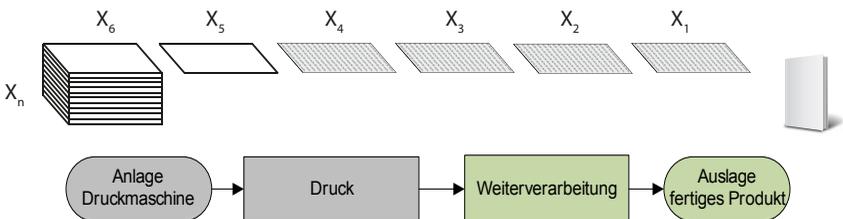


Abb. 9: Prinzip einer (seriellen) Inlinefertigung

6.1.2 Offlinefertigung

Bei der Offlinefertigung wird der Fertigungsfluss durch eine Zwischenlagerung unterbrochen. Zumeist erfolgt dies nach dem Druck durch Stapeln der Bogen oder Wiederaufrollen der bedruckten Bahn. Bereits beim Ausschieszen des Druckauftrags ist die Verarbeitungsfolge nach der Zwischenlagerung „Last in – First out“ zu beachten. Die Maschinen sind voneinander entkoppelt und verfügen über keine gemeinsame Steuerung oder direkte Datenkommunikation. Sie arbeiten autark. Die Auftragssteuerung und Maschinenvoreinstellung erfolgt komplett bedienergesteuert, manuell oder anhand von Codes auf den einzelnen Bogen bzw. Abschnitten.

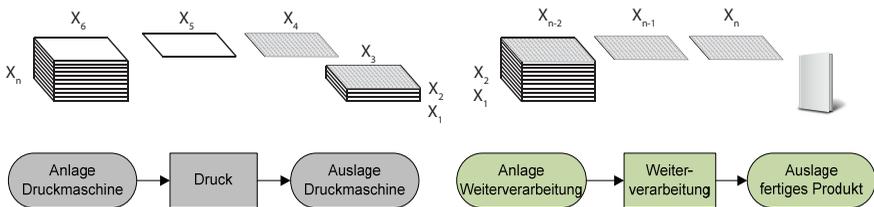


Abb. 10: Prinzip einer Offlinefertigung

Die Vorteile der Offlinefertigung liegen darin, dass die Weiterverarbeitungsmaschinen unabhängig von der Druckmaschine arbeiten und somit Produkte von verschiedenen Maschinen (Digitaldruckprodukte als auch z.B. Offsetprodukte) gefertigt werden können. Die Verarbeitung von personalisierten Digitaldruckprodukten, bei welchen in der Weiterverarbeitung mehrere individuelle Produktteile zu einem Produkt zusammengeführt werden, gestaltet sich als kompliziert, wenn kein Auftragsmanagement und keine Produktverfolgung vorhanden sind.

Die Weiterverarbeitungsaggregate selbst können als geschlossene Fertigungslinie stehen, welche die zugeführten Bogen bzw. Bahnen in ununterbrochenem Fertigungsfluss zum Endprodukt verarbeiten. Eine Zwischenlagerung erfolgt nur zwischen der Auslage der Druckmaschine und der Anlage der Weiterverarbeitungsmaschine. Die Weiterverarbeitung kann aber auch in

Einzelschritten komplett offline erfolgen, sodass zwischen jedem Arbeitsschritt die Produkte zwischengelagert werden.

6.1.3 Nearlinefertigung

Streng genommen ist eine Nearlinefertigung eine Offlinefertigung. Druckmaschine und Weiterverarbeitungsmaschinen bilden keine unterbrechungsfreie Einheit. Hier soll unter Nearlinefertigung eine Offlinefertigung verstanden werden, bei der Druckmaschine und die Weiterverarbeitungsmaschinen gemeinsam ein Auftragsmanagement- und Zielverfolgungssystem nutzen. In einer im System enthaltenen Tabelle oder Datenbank sind alle produktionsspezifischen Daten enthalten. Durch beispielsweise einen Code, welcher individuell mitgedruckt wird und wodurch jeder Bogen bzw. Abschnitt einzeln zugeordnet werden kann, erfolgt eine Verknüpfung mit den hinterlegten Daten und es kann eine fehlerfreie Zuordnung erfolgen.

Für die Codierung der Produkte gibt es keinen Standard. Beispielsweise kann auf dem ersten Bogen eines Auftrages ein Barcode enthalten sein mit der Information, dass ein neuer Auftrag beginnt und wie viele Bogenteile das Endprodukt beinhaltet. Die Anzahl der vorgegebenen seriell gedruckten bzw. zugeführten Bogen wird zu einem Produkt gebunden. Der Nachteil hierbei ist, dass Bogenteile, die aus der vorgegebenen Reihenfolge fallen, nicht kontrolliert werden können. Somit kann es passieren, dass falsche Produktteile zusammengeführt werden oder gar Serienfehler entstehen. Eine sicherere Alternative ist das Mitdrucken eines Codes auf jedem Bogen bzw. Abschnitt des Produktes im Randbeschnitt. So kann gewährleistet werden, dass durch Kontrolle nur korrekte Exemplarbestandteile eingebunden werden. Deswegen muss eine Zielverfolgung für jeden Bogen/Abschnitt vorhanden sein.

6.1.4 Zusammenfassung der Unterschiede

Die Inlinefertigung bietet den größten Leistungsvorteil bei der Produktion, da keine halbfertigen Zwischenprodukte gelagert werden müssen. Jedoch muss bei Ausfall einer Maschinenkomponente (z.B. der Druckmaschine) zwingendermaßen die komplette Fertigungslinie angehalten werden. Ebenso ist die Weiterverarbeitung - starr an eine Linie gekoppelt - unflexibel.

Die Offlinefertigung ist maximal flexibel, da Produkte unabhängig von der Druckmaschine weiter verarbeitet werden können. Die Auslastung der Weiterverarbeitungsaggregate ist entkoppelt von einzelnen Druckmaschinen und kann somit maximiert werden. Eine gemischte Verarbeitung von Digital- und Offsetdruckprodukten ist ebenfalls möglich.

Die Nearlinefertigung bietet die Vorteile einer von der Druckmaschine entkoppelten und unabhängigen Offlinefertigung, verbunden mit der Möglichkeit einer automatisierten Maschinenvoreinstellung und einer Zielverfolgung für Teilprodukte und ganze Aufträge. Dieses Konzept der Verarbeitung ist häufig anzutreffen.

	Inline- fertigung	Nearline- fertigung	Offline- fertigung
Mechanische Verknüpfung der Maschinen (Druck/Verarbeitung)	✓	-	-
Gemeinsamer Materialstrom	✓	-	-
Gemeinsame Steuerung	✓	-	-
Datentechnische Verknüpfung	✓	✓	-

Tabelle 2: Vergleich unterschiedlicher Arten von Fertigungslinien

6.2 Digitaldruckprodukte und Fertigungsprozesse

Der Unterschied zwischen der Digitaldruckverarbeitung und der konventionellen Verarbeitung von Druckprodukten liegt in der Art der Prozessführung. Konventionelle Produkte werden in einer Batch- bzw. Chargenproduktion verarbeitet. Die Verarbeitung erfolgt in Stapeln gleichartiger Produkte. Dabei handelt es sich um eine diskontinuierliche Prozessführung, bei welcher die Produktionslinien nicht ausschließlich auf eine Produktgruppe ausgelegt sind.⁶⁴ Das bedeutet, dass Produkte in einer bestimmten Auflagenhöhe gedruckt und in Weiterverarbeitungslinien als Ganzes verarbeitet werden.

Im Gegensatz dazu werden alle Seiten/Bogen eines Digitaldruckproduktes in serieller Folge gedruckt. Bei der Verarbeitung werden die seriell gedruckten Bogen exemplarweise zusammengetragen bzw. gesammelt und zum Endprodukt konfektioniert. So entsteht eine Folge von Einzelexemplaren, die für eine Auflage inhaltsgleich sein können (POD) oder sich exemplarweise in Inhalt, Umfang und Endformat unterscheiden können (VDP). Diese Art der Fertigung stellt an die Verarbeitungsmaschinen und Verarbeitungsprozesse für Digitaldruckprodukte neue Anforderungen gegenüber der Verarbeitung konventionell gedruckter Produkte:

- Zielverfolgung für jeden einzelnen Druckbogen bzw. Abschnitt (bei Verarbeitung von Bahnen).
- Zielverfolgung für jedes einzelne Endprodukt während seiner gesamten Entstehung.
- Fehlexemplarmanagement z.B. Re-order des Drucks, Identitätsabgleich und ggf. Ausgleich von Fehlern in der Reihenfolge vor dem Zusammenfügen von Buchblock und Buchdecke bei Fotobüchern.
- Automatisierte Rüstvorgänge für Formatwechsel bei allen Verarbeitungsmaschinen einer Fertigungslinie.

⁶⁴ Trautmann: Anlagenbelegungsplanung in der Prozessindustrie 2001, S. 20

- Verknüpfung aller Verarbeitungsmaschinen mit einem übergeordneten Auftragsleitsystem (z.B. MIS-System) zwecks Auftragsverfolgung und Initiierung von Formatwechseln.

Bei Digitaldrucken erfolgt keine Verarbeitung einer Charge bzw. einer bestimmten Menge von gleichen Produkten. Die Produktion sowohl der Seiten als auch der unterschiedlichen Produkte erfolgt konsekutiv. Jeder Bogen unterscheidet sich zum vorhergehenden – diese Unterscheidung kann sowohl den Informationsgehalt als auch das Produktformat betreffen. Auf Grund der Eigenart des Digitaldrucks, dass die Seiten eines Produktes konsekutiv produziert werden, muss hier auch eine Anpassung der Weiterverarbeitung erfolgen. Die Weiterverarbeitungsmaschinen müssen eine Produktverfolgung haben. Es muss sichergestellt sein, dass ein Produkt genau aus den vorgesehenen Produktseiten – sowohl vom Seiteninhalt als auch vom Seitenumfang – zusammengesetzt ist. Jede fehlende bzw. fehlgeleitete Seite führt zu einem fehlerhaften Endprodukt. Solch eine Fehlproduktion hätte zur Folge, dass das Produkt neu produziert werden müsste. Eine Kennzeichnung von jedem Druckbogen durch einen individuellen Code und ein Produktdatenabgleich gewährleistet eine fehlerfreie Produktion. Neben der Zielverfolgung eines jeden Produktes, benötigen Digitaldruckverarbeitungslinien ein hohes Maß an automatisierten Voreinstellungsmechanismen. Da jedes Produkt ein anderes Format haben kann, müssen die Verarbeitungsmaschinen sich während des Betriebslaufs automatisch und ohne Zeitverlust auf das richtige Format einstellen. Die einzelnen Verfahrensschritte (Schneiden, Falzen etc.) sind identisch zu der konventionellen Verarbeitung, lediglich die Umsetzung bedarf einer Anpassung. Das bedeutet, die Digitaldruckverarbeitung ersetzt nicht die konventionelle Verarbeitung, genauso wie in der Anfangszeit des Digitaldrucks vermutet wurde, dass der Digitaldruck ein konventionelles Druckverfahren ersetzen wird. Beide Verarbeitungsprozesse haben unterschiedliche Produktgruppen und koexistieren optimal neben- und miteinander.

Inzwischen bieten Maschinenhersteller spezielle Digitaldruckverarbeitungssysteme an, welche jeweils für bestimmte Produktgruppen spezifiziert sind:

- Sammelheftprodukte
- Booklets
- Buchblocks/ Taschenbücher
- Fotobücher
- Transaktionsdrucke
- Zeitungen
- andere

Im Folgenden werden beispielhaft Prozesse Digitaldruck typischer Produkte aufgezeigt. Es gibt viele Varianten dieser Prozessabläufe. Es handelt sich lediglich um Beispiele und Modelle, welche im einzelnen Anwendungsfall anders realisierbar sein können.

6.2.1 Digitale Sammelheftprodukte

Digitale Sammelheftlinien lassen sich sowohl für Digitaldruckprodukte als auch für andere, z.B. Offsetprodukte einsetzen. Das Endformat ist bei allen Exemplaren gleich. Der Inhalt und der Seitenumfang können variieren.

Bei der Bahnverarbeitung erfolgt der Druck von der Rolle beidseitig mit zwei nebeneinander ausgeschossenen Seiten im stehenden Format. Mittels Querschneider werden Abschnitte mit vier Seitennutzen erzeugt, die nach einer Längsfaltung (Prinzip Bänderfaltung) einen 4-seitigen Falzbogen ergeben. Auf einem Hilfssattel werden anschließend alle Falzbogen eines Produktes gesammelt, auf die Sammelkette abgelegt und rückstichgeheftet. Anschließend werden die Exemplare noch 3-seitig beschnitten und ausgelegt.

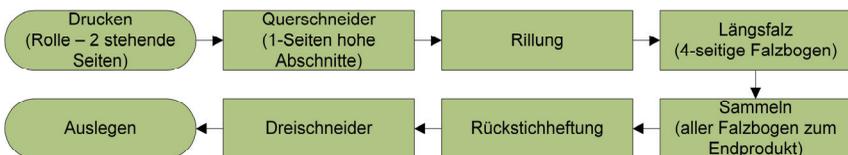


Abb. 11: Prozessablauf Sammelheftprodukte (digital); Bahnverarbeitung⁶⁵

⁶⁵ Bspw. Primera Digital Müller Martini AG

Bei der Verarbeitung von Bogen erfolgt an erster Stelle ein Kreuzbruch mit einem Taschenfalzwerk und einem Bänderfalzwerk zu einem 8-seitigen Falzbogen. Die nachfolgenden Prozessschritte gleichen denen der Bahnverarbeitung.⁶⁶

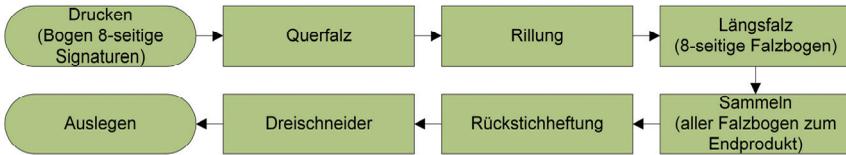


Abb. 12: Prozessablauf Sammelheftprodukte (digital); Bogenverarbeitung⁶⁷

6.2.2 Booklets

Bookletmaker werden häufig für kleinere Auflagen drahtgehefteter Broschüren verwendet.



Abb. 13: Beispiel einer buchähnlichen Rückenform einer rückstichgehefteten Broschüre⁶⁸

Üblicherweise stehen Bookletmaker inline mit der Digitaldruckmaschine. Die Bogen mit jeweils vier Seitennutzen werden quer zum späteren Bund einzeln in dem Bookletmaker eingeführt, erhalten in Laufrichtung beidseitig einen Randbeschnitt (Bleeding), der den späteren Kopf-Fußbeschnitt ersetzt und werden mittels linearem Rillwerkzeug quer zur Transportrichtung gerillt, zur Unterstützung des späteren Lagenfalzes. Alle Bogen einer Broschüre werden

⁶⁶ Dieses Beispiel geht von einem Druckbogen im Format 0b aus mit 8 Seitennutzen; andere Bogenformate und Seitennutzen sind gleichfalls zu realisieren.

⁶⁷ Bspw. Presto II Digital Müller Martini AG

⁶⁸ Plockmatic International AB

sequenziell in einem Stapelmagazin (Sorter) zu einer Lage zusammengetragen, wobei optional aus einem gesonderten Magazin ein vorgefertigter Umschlagnutzen hinzugefügt werden kann. Daran schließt sich eine Lagenheftung und ein Lagenfalz mit einem Schwert (oder zwischen zwei Gurten) an. Durch einen Frontschnitt wird die Broschur auf das Endformat beschnitten.⁶⁹

Einige Maschinen verfügen über ein Aggregat, um den Rücken der Broschur rechtwinklig zu formen (Abb. 13), was in Europa weniger, häufig jedoch in Nordamerika anzutreffen ist.

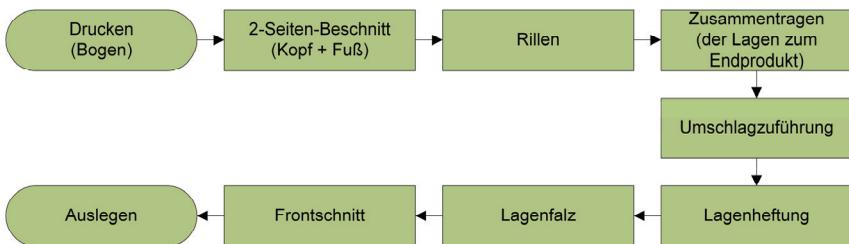


Abb. 14: Prozessablauf Booklets

6.2.3 Broschuren/Buchblocks

Bei der Verarbeitung von Broschuren bzw. Buchblocks für Bücher werden herstellerabhängig verschiedene Prozessabläufe umgesetzt. Im Folgenden werden die gängigsten Prozesse dargestellt.

6.2.3.1 Bahnverarbeitung über Falztrichter

Der Druck erfolgt auf einer aktuell bis zu 1060mm breiten Bahn. Abhängig von dem Endformat können bei kleinformatigen Broschuren bspw. bis zu acht stehende Seiten nebeneinander verarbeitet werden. Die folgenden Falztrichter (maximal bis zu drei) sind variabel einstellbar und können einen symmetrischen oder auch asymmetrischen Längsfalz erzeugen. Durch die Parallelfalze im Trichter und dem anschließenden formatvariablen Querschneider, welcher die Bahn in seitenhohe Abschnitte trennt, entstehen Falzbogen, welche im Sorter zum Endprodukt

⁶⁹ Bspw. Plockmatic Pro Booklet Maker Plockmatic International AB

zusammengetragen werden. Anschließend erfolgen die Umschlagzuführung, Klebebindung und ein 3-Seiten-Beschnitt auf das Endformat.⁷⁰

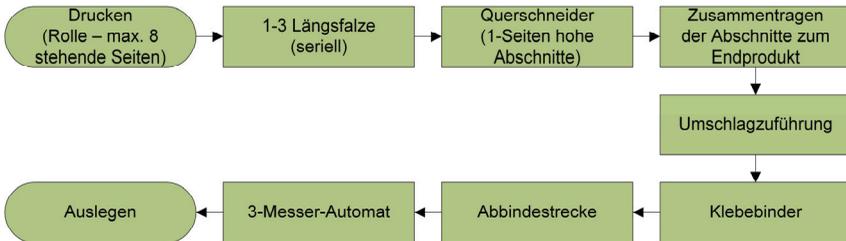


Abb. 15: Prozessablauf Broschuren (digital); Beispiel mit drei Längsfalzen

Neben diesem hier dargestellten Anwendungsbeispiel, gibt es noch andere Verfahren, die bspw. die Bahn in parallele Stränge schneidet, diese in zweiseitige Abschnitte trennt und in nebeneinander angeordneten Stapelmagazinen mehrere gleichartige Exemplarnutzen parallel zusammengetragen werden.⁷¹ In einem anderen Prozessablauf wird die Bahn in Teilbahnen getrennt, längs gefalzt, in 4-seitige Falzbogen getrennt und zum fertigen Buchblock zusammengetragen.⁷²

6.2.3.2 Bogenverarbeitung

Anstelle von Bahnen über Falztrichter (Kapitel 6.2.3.1) lassen sich auch größere Bogen oder Abschnitte von Bahnen verarbeiten. Der nachstehend skizzierte Verarbeitungsprozess für Bogen wird in Kapitel 8.1 hinsichtlich seiner Potenziale näher analysiert.

Die Weiterverarbeitungslinie, welche für die Verarbeitung von klebegebundenen Broschuren in der Auflage eins konzipiert ist, verarbeitet Endlosrollen zu klebegebundenen Broschuren.⁷³ Die Fertigungslinie kann inline im Anschluss zu einer Rollendruckmaschine gesetzt werden oder nearline, wobei dann Auf- und Abwickelmodule notwendig sind. Nach dem Bedrucken der Bahn kann optional

⁷⁰ Bspw. Formerline manroland web systems GmbH

⁷¹ Bspw. DCBook BW Papersystems Hamburg GmbH

⁷² Bspw. TBook Timsons Inc

⁷³ Bspw. Horizon Smart Finishing Solutions

ein Aggregat zum Längsfalzen (Falztrichter oder Pflugfalz) durchlaufen werden mit einem folgenden Querschneider, welcher variabelformatig Abschnitte der Bahn abschneiden kann. Die Taschenfalzmaschine verfügt über eine Falzeinheit mit sechs Falztaschen für Parallelfalze und einer weiteren Falzstation mit vier Falztaschen für Kreuzbrüche. Diesem folgt ein Stacker, in dem die in sequentieller Folge gedruckten und gefalzten Bogen in der richtigen Anzahl und Reihenfolge zusammengetragen werden. Anhand eines Barcodes, welcher sich auf jedem ersten Bogen befindet, wird die notwendige Bogenanzahl ermittelt. Der Block erhält auf jeden Bogen eine Hilfsklebung an Kopf und Fuß, damit die einzelnen Bogen bei der weiteren Verarbeitung nicht verlustig gehen oder sich verschieben und nochmals ausgerichtet werden müssen. Die Hilfsklebung wird mit dem Schönschnitt des gebundenen Blocks entfernt. Ein Blockanleger beschickt den folgenden Klebebinder mit den zu verarbeitenden Buchblocks. Im Klebebinder erfolgen die Rückenbearbeitung, der Klebstoffauftrag und das Zuführen des Umschlags. In der Aushärtestrecke bindet der Klebstoff so weit ab, dass er im Dreimeßerautomaten dreiseitig auf das Endformat beschnitten werden kann.⁷⁴

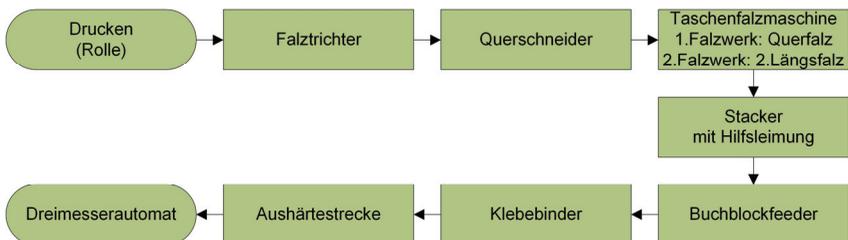


Abb. 16: Prozessablauf Broschüren (digital); Beispiel Bogenverarbeitung

6.2.3.3 Fadengeheftete Buchblocks

Der Druck von fadengehefteten Buchblocks kann entweder auf Bogen mit je vier Seitennutzen oder auf Rolle mit zwei nebeneinander stehenden Seiten erfolgen. Im Querschneider wird die Bahn in 1-Seiten hohe Abschnitte getrennt, welche gerillt werden und mit einem Bänderfalz einen Längsfalz erhalten. Auf einem Hilfssattel werden Lagen aus maximal sechs 4-seitigen Falzbogen gesammelt und dem

⁷⁴ Horizon International Inc.: Smart Finishing Solutions 2014

Nähzentrum der Fadenheftmaschine zugeführt, wo die Lagen fadengeheftet werden. Anschließend werden die Produkte ausgelegt und können einer Buchfertigungsstraße zugeführt werden.⁷⁵

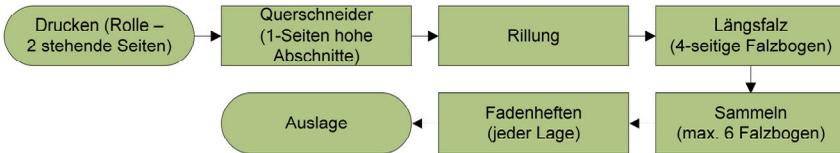


Abb. 17: Prozessablauf fadengeheftete Buchblocks (digital)

6.2.4 Fotobücher

Fotobücher können bspw. mit dem Bielomatik Bookmaster hergestellt werden, welcher aus von Einzelblättern zusammengetragenen Buchblocks, formatvariabel Bücher herstellt. Die Besonderheit dieses Prozesses ist, dass die Prozessfolge nicht der konventionellen Buchbinderei folgt. Das Runden von Buchdecke und –block geschieht in einem Schritt. Eine weitere Besonderheit ist, dass die Buchdecke mit Schmelzklebstoff angesiegelt wird. Dieses Verfahren hat sich nicht durchsetzen können, weil keine zugehörige Deckenmaschine vom Hersteller angeboten wurde und die Maschine recht langsam war. Sie wird hier lediglich aus historischen Gründen erwähnt und weil sie recht früh auf dem Markt angeboten wurde.⁷⁶

Die Verarbeitung von Fotobüchern erfolgt, im Gegensatz zu den anderen Prozessabläufen von Digitaldruckprodukten, im Batch-Verfahren. Dabei werden die Seiten der Fotobücher sehr wohl seriell gedruckt, und zwar in einem Stapel mit einer Nutzenbreite von zwei Seiten; hierbei liegen die Seitennutzen von zwei unterschiedlichen Fotobüchern nebeneinander. Stapel mit mehreren übereinanderliegenden „Doppelfotobüchern“ bilden ein Batch, dessen einzelne Fotobücher das gleiche Endformat haben.

⁷⁵ Bspw. Buch-Automation GmbH: Universe Sewing Web-fed

⁷⁶ Die erste Vorstellung der Maschine war 2006 auf der IPEX in Birmingham.

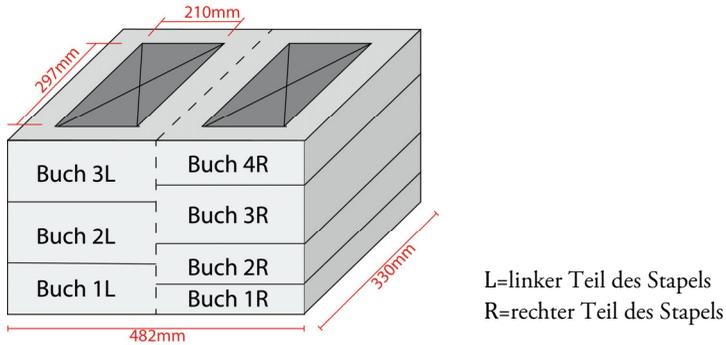


Abb. 18: Druckbogenstapel mit verschiedenen Fotobüchern eines Batches

Fotobücher werden in einer begrenzten Anzahl von Formaten angeboten. Da die Fotobuchproduktion nicht voll automatisiert ist, erfolgt die Verarbeitung in Stapeln gleichen Formates. Die Buchblockdicke kann variieren. Die Batchproduktion bietet die Möglichkeit einer kostengünstigen Herstellung mehrerer gleichformatiger Endprodukte in kleinen Auftragsmengen. Der Stapel eines Batches (Abb. 18) wird von der Druckmaschine ausgelegt und anschließend mittels Planschneider mittig in die beiden Nutzenstapel getrennt, die ggf. noch auf das Rohformat des Endprodukts beschnitten werden. Diese Buchblocks werden manuell der Fertigungslinie zugeführt. Hier werden die Vorsätze angebracht und die Blocks klebegebunden, gefälzt und 3-seitig auf das Endformat beschnitten. Es folgen eine Fächerklebebindung, Fälzeln und Hinterkleben. Der Buchblock wird in die Buchdecke, welche offline gefertigt wird, eingehängt. Anschließend wird das Buch noch verpackt.⁷⁷

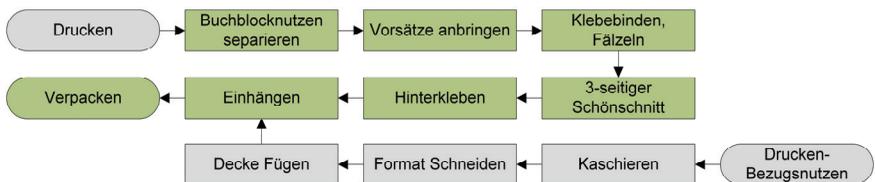


Abb. 19: Prozessablauf Fotobuch

⁷⁷ Bspw. Bookmaster 360 Bielomatik Leuze GmbH + Co KG: Print-Finishing-on-Demand

Die Besonderheiten beim Fotobuchprozess ist sowohl der serielle Druck als auch die serielle Fertigung. Es ist unabdingbar, dass die Fertigung von Druck bis Weiterverarbeitung mit einer Zielverfolgung versehen ist. Jedes Fotobuch ist ein Einzelstück, wobei die korrekte Zuordnung des richtigen Produktes zum richtigen Kunden gewährleistet sein muss. Durch eine Prozessüberwachung und einem integrierten Management-Informationssystem (MIS) muss darüber hinaus sichergestellt werden, dass keine Fehlseiten entstehen und dass alle Seiten bzw. Bogenteile in der richtigen Reihenfolge gefertigt werden. Automatische Rüst- und Umstellvorgänge versichern eine schnelle Formatumstellung bei Beginn eines neuen Batches.

6.2.5 Transaktionsdrucke

Eine Transaktionsendung (z.B. eine Rechnung) kann für verschiedene Kunden aus unterschiedlich vielen Seiten bestehen, welche identifiziert, im Sorter zusammengetragen und gemeinsam gefalzt werden.

Transaktionsdrucke können auf Rolle mit einzelnen oder nebeneinander stehenden Seiten gedruckt werden. Die Drucke werden anhand mitgedruckter Codes eindeutig identifiziert, beschnitten (längs und quer), im Sorter zusammengetragen und in einem Taschenfalzwerk gefalzt. Optional können anschließend Beilagen zugeführt werden, welche, falls diese individualisiert sind, ebenfalls identifiziert und dem richtigen Produkt zugeführt werden müssen. Dann werden die vollständig zusammengetragenen Produkte kuvertiert, evtl. frankiert und ausgelegt.⁷⁸

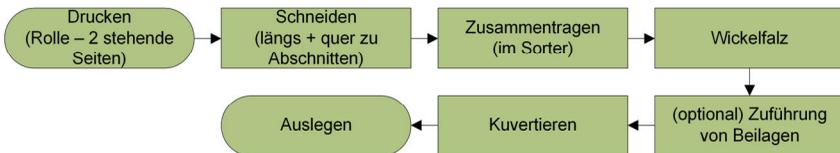


Abb. 20: Prozessablauf Verarbeitung von Transaktionsdrucken

⁷⁸ Bspw. Fusion Cross der Böwe System GmbH

6.2.6 Zeitungen

Digital produzierte Zeitungen können im Broadsheet- und im Tabloid-Format hergestellt werden. Beim Broadsheet-Format erfolgt die Produktion auf der bis zu 660mm breiten Rolle mit einer liegenden Seite. Ein Querschneider trennt die Bahn in Abschnitte von der Länge einer Doppelseite. Diese werden z.B. in einem Trommelsammler für jedes Buch der Zeitung zusammengetragen. Darauf folgen ein Querfalz, ein Längsfalz, das Sammeln der einzelnen Bücher zur Zeitung sowie anschließend deren Auslage.

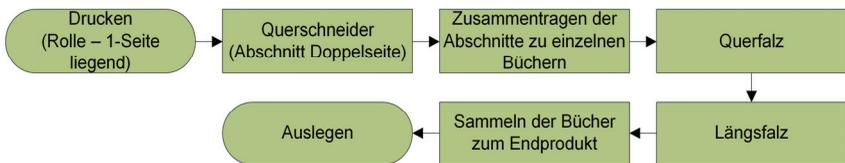


Abb. 21: Prozessablauf Zeitungen; Broadsheet

Bei der Produktion von Zeitungen im Tabloid-Format wird mit zwei nebeneinander stehenden Seiten produziert. Ein Querschneider teilt die Bahn in 1-Seiten hohe Abschnitte, die zusammengetragen, längs gefalzt und ausgelegt werden.⁷⁹

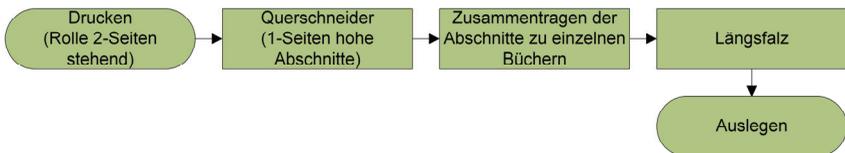


Abb. 22: Prozessablauf Zeitungen; Tabloid

⁷⁹ Bspw. FC7 der Hunkeler AG

7 Fertigungsleistung von Digitaldruckanlagen

Bei einer Investition kann sich die Auswahl und Auslegung der richtigen und passenden Maschine für Digitaldruck und Druckverarbeitung als sehr komplex erweisen. Dabei ist nicht nur wichtig, die Maschinen dem Produktportfolio anzupassen; es muss auch beachtet werden, dass die Weiterverarbeitungsmaschinen an den vorhandenen Druckpark angepasst sind und dass diese miteinander harmonisieren.

Der Schwerpunkt dieses Kapitels soll eine Analyse der zeitlichen Entwicklung der Produktionsleistung von Digitaldruckanlagen sein. Ebenso soll untersucht werden, inwieweit die Ausstoßleistungen von Digitaldruckanlagen und Weiterverarbeitungsmaschinen harmonisch weiterentwickelt wurden und wo Maschinen als Engpass agieren. Anhand der bisherigen Leistungsentwicklung von Digitaldruckanlagen soll eine Aussage getroffen werden, wie die Leistung sich zukünftig entwickeln könnte und welche Maßnahmen künftig bei Weiterverarbeitungsanlagen notwendig sein werden, um dem Output von Digitaldruckanlagen gerecht zu werden.

Das hier zugrunde liegende Datenmaterial basiert auf Angaben von Maschinenanbietern. Somit repräsentiert es vorrangig Nennleistungen. Vielfach sind dies Leistungen, die nur unter günstigsten Bedingungen erreichbar sind. Dem gegenüber stehen Fertigungsleistungen, Nettoleistungen oder Bruttoleistungen, d.h. eingestellte Maschinengeschwindigkeiten. Daten dieser Art bilden zwar eher realistische Leistungen ab, werden aber einerseits von den Fertigungsbetrieben nicht generell erhoben und wenn, dann kaum preisgegeben. Andererseits sind solche Daten über die technische Maschinenleistung hinaus in sehr hohem Maße von individuellen Gegebenheiten abhängig wie Auftragspezifikationen und – qualitäten, Instandhaltungszustand der Anlagen, Qualifikation des Bedienerpersonals etc. Aus diesen Gründen wird hier auf die Herstellerangaben zurückgegriffen, da diese eher belastbar erscheinen, wohl wissend, dass es sich häufig um Idealwerte handelt und reale Leistungen deutlich niedriger sind. Dennoch erscheinen die Daten ausreichend, um die historische Leistungsentwicklung des Digitaldrucks aufzuzeigen.

7.1 Produktionsleistung von Digitaldruckanlagen

Wie konventionelle Druckanlagen können Digitaldruckmaschinen gleichermaßen unterschieden werden:

- Bogendruckmaschine ohne Wendung (einseitiger Druck)
- Bogendruckmaschinen mit Wendung (beidseitiger Druck)
- Rollendruckmaschinen (einseitiger oder beidseitiger Druck)

Maschinenart	Umsetzung des Duplexdrucks
Mehrfarben Bogendruckmaschinen	Bogenwendung innerhalb der Maschine
Monochrome Bogendruckmaschinen	zwei Druckwerke in Serie
	zwei Druckwerke in Parallelbauweise
Mehrfarben Rollendruckmaschinen	Zwei Druckeinheiten in Reihe
	Mehrere Farbwerke parallel

Tabelle 3: Übersicht-Bauarten von Digitaldruckmaschinen

Digitaldruckmaschinen gibt es in verschiedenen Leistungsklassen. Anfängen von langsamen kleinen Bürodruckern, die einige wenige Seiten pro Minute produzieren, bis hin zu großen Produktionsmaschinen. Frank Romano⁸⁰ hat 2007 die Maschinenklasse unter den High-End-Maschinen als Mid-Level Maschinen benannt und gab eine Fertigungsleistung von 40 bis 60 A4-Seiten/min an. Eine Studie von PIA GATF⁸¹ untersuchte 2007 in einer Studie zur weltweiten Digitaldruckmaschinennutzung („Digital Color Systems in Use, Worldwide“) erst Maschinen ab einer Fertigungsleistung von 40 Seiten/min. Auf Grund neuer Technologien und rapide vorangehender Entwicklungen ist diese Einteilung auf heutige Drucksysteme nicht mehr anwendbar. Bei Betrachtung heutiger Bürodrucker kann beobachtet werden, dass eine Leistung von bis zu 100 A4-Seiten/min erreicht wird. Anhand der Maschinenlisten kann festgestellt werden, dass etwa ab dem Jahr 2009 die Leistung von 100 A4-Seiten/min deutlich überschritten wurde – unabhängig davon, ob es sich um monochrome, mehrfarbige, Bogen- oder Rollendruckmaschinen handelt. Damit auch eine

⁸⁰ Romano: A Report Card - Digital Color Printing 2007, S. 6ff

⁸¹ PIA GATF: Technology Forecast, Section 2 2005, S. 55f

Berücksichtigung der früheren geringeren Maschinenleistungen erfolgt, wird bis zum Jahr 2009 eine untere Grenze gesetzt von 30 A4-Seiten/min. Ab dem Jahr 2009 erfolgt nur noch eine Betrachtung der Maschinen mit einer Leistung von über 100 A4-Seiten/min.

Als grundlegende Kennzahl für die Druckmaschinenleistung wird hier die maximal bedruckte Fläche je Zeiteinheit [m^2/min] zugrunde gelegt. Alle Herstellerangaben werden in diese Maßzahl umgerechnet. Diese Kennzahl objektiviert alle Angaben dahingehend, dass sie die wesentlichen Leistungsmerkmale Druckbreite und Bahn- resp. Bogengeschwindigkeit beim Druck zusammenfasst. Ein wesentliches qualitatives Leistungsmerkmal berücksichtigt diese Kennzahl allerdings nicht: die Druckauflösung. Demnach ist die bedruckte Flächenleistung die am ehesten belastbare Leistungskennzahl, da die Herstellerangaben sich zumeist auf die gerippte (für den Illustrationsdruck übliche) Druckauflösung beziehen.

Eine hohe Druckauflösung reduziert verfahrensbedingt die Bahn- bzw. Bogengeschwindigkeit. Eine Kennzahl mit der höchsten Vergleichsqualität wäre z.B. die maximal generierbaren Bildpunkte je Zeiteinheit [dots/s], wobei aus druckqualitativen Aspekten postuliert werden muss, dass Abstände der Bildpunkte in und senkrecht zur Transportrichtung des Bedruckstoffs gleich sein sollten. Vergleichbares Datenmaterial hierzu ist marktdeckend jedoch nicht erhältlich. Deswegen werden die Überlegungen zu einer solchen neutralen Kennzahl hier lediglich erwähnt; sie werden an dieser Stelle jedoch nicht umgesetzt.

Im Folgenden werden die Leistungskriterien getrennt nach Bogen- und Rollendruck sowie jeweils nach Monochrom- und Farbdruck sortiert. Der Monochromdruck hat insbesondere bei Büchern und Broschüren erhebliche Bedeutung. Die Liste mit Digitaldruckmaschinen beläuft sich aktuell auf über 400 Einträge und muss fortlaufend ergänzt werden, da der Digitaldruckmaschinenmarkt durch erhebliche Leistungszuwächse gekennzeichnet ist. Eine Sättigung ist nicht in Sicht und kann auch nicht seriös prognostiziert werden, da Technologiesprünge (z.B. Nanotechnologie) und Paradigmenwechsel der Maschinenhersteller (z.B. Xerox wechselt von Elektrofotografie zu Inkjet) immer wieder zu nicht vorhersehbaren Leistungsschüben führen. Die in den Listen angegebenen Produktionsleistungen beziehen sich auf Druckanlagen, nicht auf

einzelne Druckmaschinen. Waren die Leistungsangaben in der Primärquelle nicht exakt genug (wie z.B. Image per Minute), wurden Sekundärquellen herangezogen, um die Leistungsangaben abzusichern. Bei Drucksystemen mit ansonsten gleichen technischen Eigenschaften wurden in den Tabellen immer die schnellsten Anlagen in dem jeweiligen Vorstellungsjahr übernommen.

Die folgenden Tabellen enthalten Daten von ausgewählten Digitaldruckanlagen. Aus allen Neuerscheinungen seit 1993 wurde jedes Jahr die jeweils leistungsfähigste Anlage gewählt und übernommen. Aufgenommen wurden die Maschinenbezeichnung, das Einführungsjahr und die Art der Drucktechnologie: Flüssigtoner (FT), Trockentoner (TT) und Inkjet.⁸²

⁸² Die angegebene Druckleistung bezieht sich auf Druckanlagen und nicht auf Druckmaschinen.

Name	Einführung [Jahr]	Art	Bogenformat [mm]	Leistung [A4-Seiten/min]	Leistung [m ² /h]
Indigo E-Print 1000+	1993	FT	320 x 457	33	123
Xerox Docucolor 40	1996	TT	305 x 457	40	149
Canon CLC 1000	1997	TT	305 x 457	30	112
Indigo e-Print Pro	1998	FT	320 x 457	33	123
Xerox DocuColor 30	1999	TT	305 x 457	30	112
Indigo UltraStream 4000	2000	FT	353 x 500	68	254
Xerox iGen	2001	TT	364 x 515	100	374
HP Indigo Press 3000	2002	FT	320 x 475	66	247
NexpressNexpress 2100	2003	TT	340 x 460	70	262
Xerox Docucolor 8000	2004	TT	325 x 480	80	299
Xerox iGen 3 (110)	2005	TT	364 x 521	110	411
Xerox IGen 3 (90)	2006	TT	364 x 521	90	336
Kodak Nexpress S 3000	2007	TT	356 x 520	100	374
HP Indigo Press 7000	2008	FT	330 x 483	120	448
Xerox iGen 4 (220)	2009	TT	364 x 521	220	823
FujiFilmJetPress 720	2010	Inkjet	530 x 750	180	673
Xerox Docucolor 8080	2011	TT	320 x 488	80	299
HP Indigo 10000	2012	FT	530 x 750	230	861
Delphax Elan 500	2013	Inkjet	457 x 640	500	1.871
FujiFilm JetPress 720s	2014	Inkjet	532 x 750	180	673
Heidelberg Primefire	2016	Inkjet	750 x 1060	267	1.750

Tabelle 4: Übersicht-Mehrfarben-Bogen-Digitaldruckanlagen

Name	Einführung [Jahr]	Art	Bogenformat [mm]	Leistung [A4-Seiten/min]	Leistung [m²/h]
Kodak 6092 LX	1994	TT	279 x 431	92	344
Xerox Docutech 6135	1996	TT	356 x 432	135	505
Xerox Docuprint 180	1997	TT	305 x 457	180	673
Indigo Ebony	2000	FT	297 x 420	136	508
DelphaxImaggia II IM 300	2001	TT	476 x 559	283	1.059
Océ Varioprint 5160	2002	TT	305 x 432	310	1.159
Océ Varioprint 4120	2003	TT	324 x 463	240	898
Xerox Nuvera 120	2004	TT	320 x 470	240	898
Xerox Nuvera 144	2005	TT	320 x 470	288	1.077
Canon Imagerunner Pro 7138 VP	2006	TT	364 x 470	138	516
Océ Varioprint 6250	2007	TT	320 x 488	500	1.871
Konica Minolta Bizhub Pro 2500 p	2008	TT	320 x 488	250	935,4
Océ Varioprint 6320 Ultra	2009	TT	320 x 432	628	2.350
Xerox Nuvera 314 EA	2012	TT	320 x 470	628	2.350

Tabelle 5: Übersicht-Monochrome-Bogen-Digitaldruckanlagen

Name	Einführung [Jahr]	Art	Druckbreite [mm]	Leistung [m/min]	Leistung [m ² /h]
Xeikon DCP-1	1993	TT	307	7,34	270
Xeikon DCP 32 D	1996	TT	307	7,34	270
Xeikon DCP 50 / D	1997	TT	474	14,85	422
IBM Infocolor 100	1998	TT	474	14,85	422
Indigo Publisher 8000	2000	FT	474	40,39	2.297
ScitexVersamarkVan- tage	2001	Inkjet	420	106	5.342
Océ Variostream 92X0	2002	TT	463	59	3.278
HP Indigo Press w 3200	2003	FT	304	72	2.626
Xeikon 5000	2004	TT	507	9,6	584
Screen Truepress Jet 520	2005	Inkjet	507	63,85	3.884
Xeikon 6000	2006	TT	500	11,88	712
Kodak Versamark VT 3000 - 500	2007	Inkjet	455	152,50	8.328
Kodak Versamark VX 5000 Plus	2008	Inkjet	455	228,69	12.489
Océ Jetstream 3300	2009	Inkjet	750	149,98	13.498
HP T 350	2010	Inkjet	739	183	16.228
HP T 400	2011	Inkjet	1060	183	23.277
HP T 410	2012	Inkjet	1060	244	31.036
Kodak-Prosper 5000 XL	2013	Inkjet	622	200	14.928
Kodak Prosper 6000	2014	Inkjet	621	300	22.356
KBA RotaJet 138 Commercial	2016	Inkjet	1373	300	49.428

Tabelle 6: Übersicht-Mehrfarben-Rollen-Digitaldruckanlagen

Name	Einführung [Jahr]	Art	Druckbreite [mm]	Leistung [m/min]	Leistung [m ² /h]
Delphax 850 IE	1994	TT	457	63,11	3.461
NipsonVarypress M 800	1997	TT	462	120	6.652
Océ Demandstream 8090 DI Twin	1999	TT	450	55,24	2.983
Delphax CR 1300	2002	TT	463	91,03	5.057
Delphax CR 1500	2003	TT	463	106,70	5.928
Delphax CR 2000	2004	TT	463	140,04	7.780
Delphax CR 2200	2007	TT	463	152,51	8.473
Xerox 1300 Continuous Feed	2008	TT	495	91,48	5.436
Kodak Prosper 1000	2010	Inkjet	622	200	14.928
Océ Jetstream 2300	2011	Inkjet	749	100	8.988
Timson T-Press	2012	Inkjet	1240	200	29.760
OcéJetstream 5500 mono	2014	Inkjet	749	254	22.829
KBA RotaJet138 Commercial (1/1)	2016	Inkjet	1373	300	49.428

Tabelle 7: Übersicht-Monochrome-Rollen-Digitaldruckanlagen

Die Leistung aller in die (vollständigen) Listen⁸³ aufgenommenen Druckanlagen ist in Abb. 23 bis Abb. 26 (S.60 – S.61) graphisch als Streudiagramm dargestellt. Bei den kategorisierten Druckanlagen kommen zwei unterschiedliche Digitaldruckverfahren zum Einsatz: tonerbasierte und inkjetbasierte. Auf Grund der deutlich unterschiedlichen Weiterentwicklungspotenziale der beiden Drucktechniken, werden die Leistungsdaten differenziert nach tonerbasierten und inkjetbasierten Druckanlagen. Ebenso ist der Verlauf der zugehörigen Jahresmittelwerte abgebildet. Für die Erhebung des Mittelwertes wurde für das jeweilige Jahr der arithmetische Mittelwert der Druckleistung aller in diesem Jahr eingeführten Anlagen errechnet. Prototypen wurden in diese Berechnung nicht mit einbezogen. Durch die Bildung eines Mittelwertes kann der Verlauf über die Jahre beobachtet werden. Für alle Maschinengattungen gilt: Die Leistungsfähigkeit wächst von Jahr zu Jahr, doch nicht für alle Gattungen gleichermaßen. Bis etwa

⁸³ Die vollständigen Maschinenlisten sind Bestandteil des Anhangs.

zum Jahr 2000 sind die Leistungszuwächse eher gering. Rollenmaschinen, außer Xeikon, spielten gar keine Rolle. Während dieser Zeit war der Digitaldruck industriell kaum verbreitet und die Druckqualität in vielen Anwendungsfällen noch nicht akzeptabel. Zwischen den Jahren 2000 und ca. 2008/2010 kamen mehr neue und leistungsstärkere Maschinen auf den Markt, insbesondere ab 2008 Inkjet Rollensysteme. Während dieser Zeit begann der Digitaldruck sich zu etablieren.⁸⁴ Nach den Jahren 2010/2012 sind signifikante Leistungssteigerungen der Digitaldruckmaschinen zu verzeichnen. Lediglich bei monochromen Bogenmaschinen scheint die Entwicklung zu stagnieren. Der Digitaldruck etabliert sich als industrielles Fertigungsverfahren.

Die Digitaldruckmaschinen finden sehr unterschiedliche Anwendungsfelder und Produkte, und ein quantifizierter Nachweis für die Einsatzfelder der verschiedenen Maschinengattungen dürfte kaum zu erbringen sein. Dennoch lässt sich über einige Haupteinsatzfelder der Bedarf an leistungsfähigen Digitaldruckmaschinen plausibel machen:

Mehrfarbige Bogenmaschinen	- Fotobücher - Illustrationsdruck (Kleinstauflagen)
Mehrfarbige Rollenmaschinen	- Illustrationsdruck (Kleinstauflagen) - technische Anleitungen
Monochrome Rollenmaschinen	- Bücher - technische Anleitungen

Tabelle 8: Haupteinsatzfelder verschiedener Digitaldruckmaschinengattungen

Monochrome Bogenmaschinen spielen im industriellen Bereich eher eine untergeordnete Rolle. Ihr Einsatzgebiet liegt vielmehr im büronahen Bereich, in Copyshops und Hausdruckereien.

⁸⁴ Die dargestellten Untersuchungsergebnisse sind kein belastbarer Nachweis für diese These, denn sie zeigen nicht den Zuwachs der digital produzierten Druckmenge, vielmehr dokumentieren sie lediglich, dass viele Maschinenhersteller sich aufgerufen fühlten, mehr und leistungsfähigere Digitaldrucksysteme marktreif anzubieten.

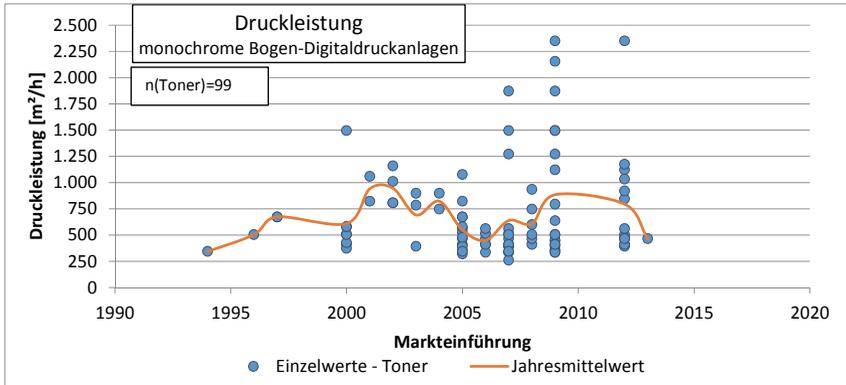


Abb. 23: Leistung von Monochromen-Bogen-Digitaldruckanlagen (Basis: Jahr der Markteinführung)

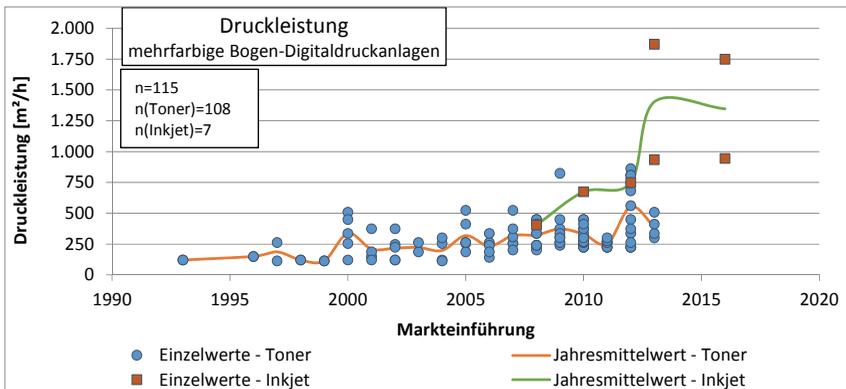


Abb. 24: Leistung von Mehrfarben-Bogen-Digitaldruckanlagen (Basis: Jahr der Markteinführung)

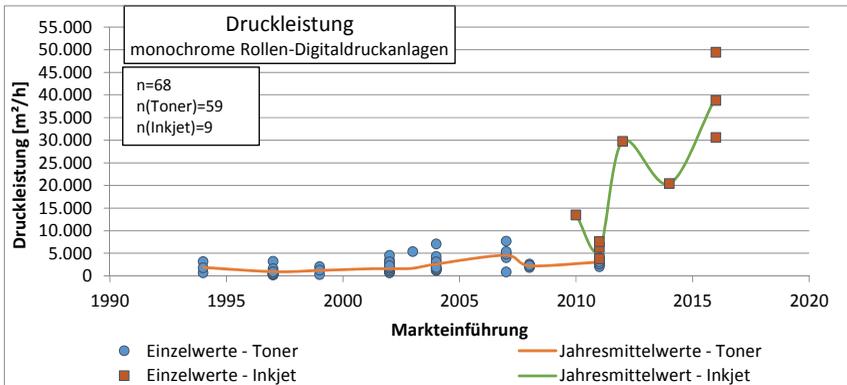


Abb. 25: Leistung von Monochromen-Rollen-Digitaldruckanlagen (Basis: Jahr der Markteinführung)

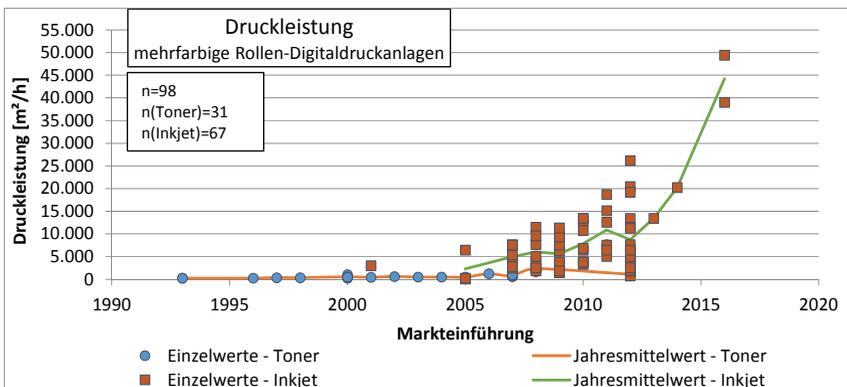


Abb. 26: Leistung von Mehrfarben-Rollen-Digitaldruckanlagen (Basis: Jahr der Markteinführung)

7.2 Mittelfristige Leistungsprognose für Digitaldruckanlagen

Um einen Einblick zu erhalten, wie sich die Produktionsleistung von Digitaldruckmaschinen zukünftig entwickeln könnte, soll die Analyse der Produktionsleistung einen Überblick schaffen. Dadurch soll eine Idee über die zukünftig benötigten Produktionsleistungen von Weiterverarbeitungsmaschinen erarbeitet werden. Durch den Trend der Leistungssteigerung und den vorliegenden historischen Daten seit 1993 soll mit einfachen mathematischen Methoden eine Weiterführung der Daten und somit die Erwartung für die kommenden Jahre

durchgeführt werden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass sich die zukünftige Leistung in gleichem bzw. ähnlichem Maße weiterentwickeln wird. Dabei muss beachtet werden, dass technologische, die Leistung beeinflussende Faktoren eintreten können, die derzeit nicht berücksichtigt werden können. Neue Technologien wie z.B. Nanoprint könnten zu Technologie- und Leistungssprüngen führen. Vorherzusagen ist dies nicht, zumal selbst die Nanoprint-Technologie bisher hinter den Erwartungen und Ankündigungen der Entwickler zurückgeblieben ist. Daher ist ein gewisser Wahrscheinlichkeitsbereich zu definieren, in welchem sich die Entwicklung fortsetzen könnte. Das Vorhersagemodell basiert auf einer deterministischen Übertragung der Entwicklung auf die Zukunft, durch eine Extrapolation der historischen Werte. Die angelegte Bandbreite des Prognoseverlaufs gibt einen gewissen stochastischen Bereich an, in welchem sich die Leistungen der Digitaldruckmaschinen möglicherweise entwickeln könnten⁸⁵ Die Prognose beinhaltet eine gewisse Unsicherheit, welche mit zunehmender Zeit zunimmt. Als zeitlicher Rahmen dieser Prognose wird das doppelte Zeitintervall seit Veröffentlichung der industriellen Digitaldruckmaschinen auf der IPEX 1993 angesetzt. Das bedeutet, dass die Prognose im Jahr 2039 abgebrochen wird. Dadurch, dass das Leistungsspektrum der Digitaldruckmaschinen mit der Zeit immer weiter zunimmt, werden die Jahresmittelwerte aller Leistungen berechnet und approximiert. Die Regressionsparameter der approximierten Jahresmittelwerte werden durch die Methode der kleinsten Quadrate ermittelt.⁸⁶

Bei allen Maschinenanlagen lassen sich die Verläufe der tonerbasierten Digitaldruckanlagen, in erster Näherung, anhand eines linearen

⁸⁵ Horváth: Controlling 2011, S. 389; Bea und Schweitzer: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre Bd. 2: Führung 2011, S. 715

⁸⁶ Die Methode der kleinsten Quadrate ist ein mathematisches Verfahren, bei welchem zu einer Datenpunktwolke ein Verlauf gesucht wird, welcher möglichst nahe an den Datenpunkten liegt. Die Funktionsparameter werden dabei so bestimmt, dass die Summe der quadrierten Differenzen zwischen den beobachteten Datenpunkten und den Funktionswerten minimiert wird. Vgl. Fahrmeir et al.: Regression 2009, S. 90ff

Regressionsmodells mit einer marginalen Steigung beschreiben.^{87 88 89} Die Verläufe der inkjetbasierten Digitaldruckanlagen lassen sich bei den mehrfarbigen-Bogen und den monochromen-Rollenanlagen ebenfalls relativ gut durch lineare Regressionsmodelle beschreiben, welche einen stärkeren Steigungsparameter besitzen als die Modelle der tonerbasierten Digitaldruckanlagen. Der Verlauf der inkjetbasierten mehrfarbigen-Rollenanlagen lässt sich nicht gut durch eine lineare Ausgleichsgerade darstellen. Hier erscheint es sinnvoller, die Anpassung durch ein Ausgleichspolynom zweiten Grades vorzunehmen.⁹⁰

Die für die Approximationen verwendeten Funktionen (in Abhängigkeit der Drucktechnik) mit den entsprechenden Koeffizienten lauten wie folgt, wobei die unabhängige Variable „t“ für die Jahreszahl steht:

- a) Monochrom-Bogen-Digitaldruckanlagen

tonerbasiert (t = 1994...2013)

$$f_{(t)} = 11,225413536t - 21.824,146015056$$

- b) Mehrfarben-Bogen-Digitaldruckanlagen

tonerbasiert (t = 1993...2013)

$$f_{(t)} = 15,315t - 30.429$$

inkjetbasiert (t = 2008...2016)

$$f_{(t)} = 128,91t - 258.432$$

- c) Monochrom-Rollen-Digitaldruckanlagen

tonerbasiert (t = 1994...2011)

$$f_{(t)} = 136,19t - 270.589$$

inkjetbasiert (t = 2002...2016)

$$f_{(t)} = 4.351,25t - 8.735.503,35$$

⁸⁷ Fahrmeir et al.: Regression 2009, S. 59ff

⁸⁸ Kuckartz: Statistik 2010, S. 233ff

⁸⁹ Fahrmeir: Statistik 2007, S. 153ff

⁹⁰ ebd., S. 556ff

d) Mehrfarben-Rollen-Digitaldruckanlagen

tonerbasiert (t = 1993...2012)

$$f(t) = 69,606t - 138,543$$

inkjetbasiert (t = 2001...2016)

$$f(t) = 121,214619t^2 - 484,952,022987t + 485,045,500$$

Bei den monochromen Bogendruckmaschinen spielt die Inkjettechnologie bisher keine wesentliche Rolle. Es wurden lediglich Druckmaschinen auf den Markt gebracht, welche nach dem Prinzip der Elektrofotografie arbeiten. Der bisherige Verlauf entspricht etwa einem linearen Verlauf; es sind keine Gründe erkennbar, die einer linearen Extrapolation entgegenstehen. Es ist zu erkennen, dass die Leistungssteigerung nicht so ausgeprägt ist wie bei den farbigen Bogenmaschinen (Abb. 28). Ebenso ist hier auch zukünftig eine schwächere Steigerung zu erwarten (Abb. 27).

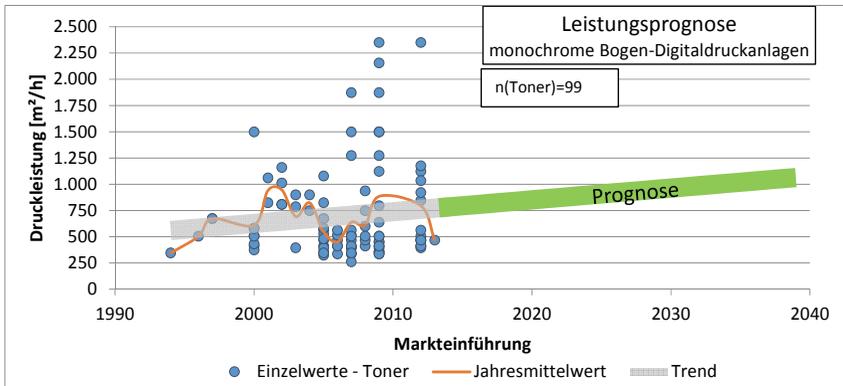


Abb. 27: Leistungsprognose – Monochrom-Bogen-Digitaldruckanlagen

Die Prognose der zukünftig zu erwartenden Druckleistungen der folgenden Maschinengattungen wird anhand von Trendextrapolationen⁹¹ der Leistungen der inkjetbasierten Digitaldruckanlagen vorgenommen.

⁹¹ Bei der Trendextrapolation handelt es sich um ein Prognoseverfahren mit dessen Hilfe die Entwicklung von beobachteten, vergangenen Zeitreihen, für einen bestimmten Zeitraum in der Zukunft vorhergesagt werden kann. Es wird angenommen, dass die aus der Vergangenheit erfasste Entwicklungsrichtung auch für den zukünftigen Zeitraum gültig ist. Vgl. Hansmann: Kurzlehrbuch Prognoseverfahren 1983, S. 104ff

Die Leistungsverläufe der inkjetbasierten Mehrfarben-Bogen und der Monochrom-Rollenanlagen lassen sich auch annähernd durch ein lineares Modell beschreiben (Abb. 28, Abb. 29).

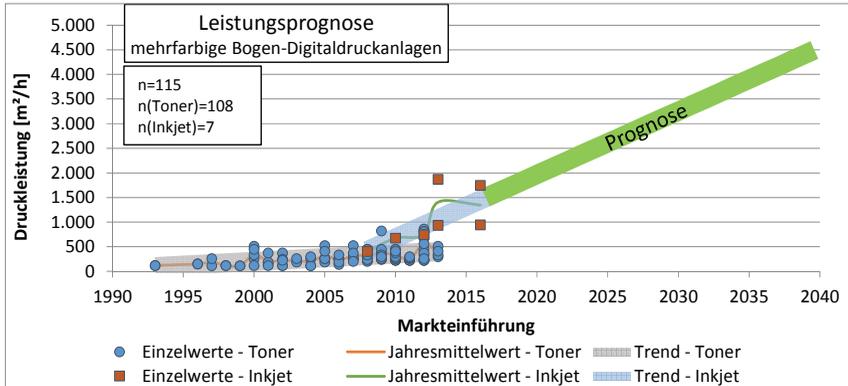


Abb. 28: Leistungsprognose – Mehrfarben-Bogen-Digitaldruckanlagen

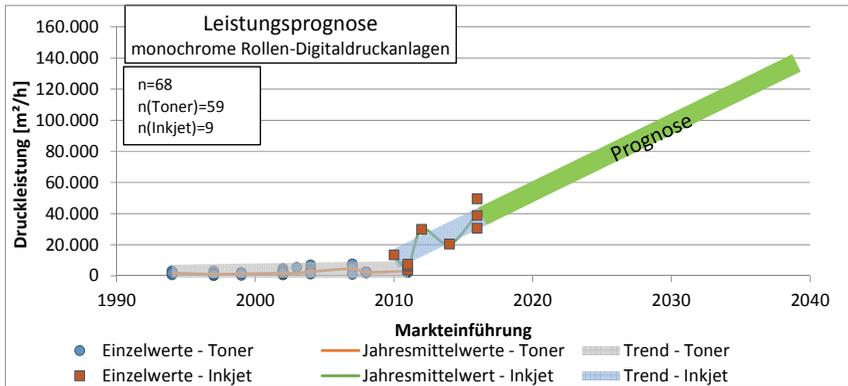


Abb. 29: Leistungsprognose – Monochrom-Rollen-Digitaldruckanlagen

Der Leistungsverlauf der inkjetbasierten Mehrfarben-Rollenanlagen kann durch ein Polynom zweiten Grades beschrieben werden. Hier kann ein erheblicher Leistungszuwachs in den kommenden Jahren erwartet werden. Die unterschiedliche Approximation der inkjetbasierten Mehrfarben-Bogen und der Monochrom-Rollenanlagen, im Vergleich zu den Mehrfarben-Rollenanlagen, lässt sich durch die Größe der vorhandenen Datenmenge erklären. Bei inkjetbasierten Mehrfarben-Bogen und Monochrom-Rollenanlagen sind zu wenig Datenpunkte

von inkjetbasierten Anlagen vorhanden, um eine vernünftige Approximation durchzuführen. Die Mehrfarben-Rollenanlagen verfügen über deutlich mehr Datenpunkte (an inkjetbasierten Druckanlagen). Damit ist diese Approximierung seriöser und die Extrapolation aussagekräftiger.

Auf Grund der Unsicherheit solch einer Prognose, wäre es kaum seriös die Leistungsentwicklung über die doppelte Zeit zu prognostizieren. Sollte es jedoch tatsächlich so zutreffen, wären die Rollen-Digitaldruckmaschinen in 35 Jahren (-Jahr 2050), in etwa so leistungsfähig wie bspw. eine heutige Hochleistungs-Offset-Rollendruckmaschine mit etwa 300.000m²/h (Abb. 30).

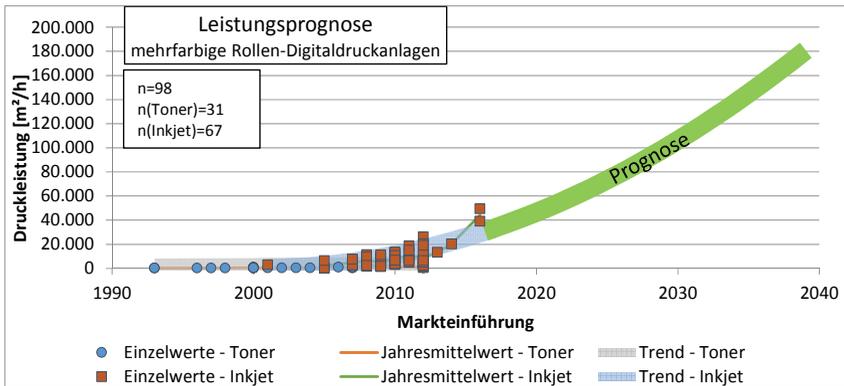


Abb. 30: Leistungsprognose – Mehrfarben-Rollen-Digitaldruckanlagen

Für die Extrapolation in das Jahr 2039 würde das bedeuten, dass eine durchschnittliche Leistung von etwa 180.000m²/h erreicht wäre. Umgerechnet sind das pro Stunde 2.750.275 A4-Seiten oder zum Vergleich 56.367 Broschuren im Format DIN A4 mit 96 Seiten oder etwa doppelt so viele Broschuren/h im Format DIN A5. Diese Größe müssen zukünftige Verarbeitungslinien halten können.⁹²

⁹² Diese Berechnung erfolgt mit der Brutto-Flächengröße (Flächengröße inkl. 3mm Beschnitt je Seite) der zugrunde genommenen DIN-Formate. Eine präzisere Berechnung ist nicht durchführbar, da hierfür Informationen über das Ausschießschema und damit über die genaue Bahnbreite nötig wären.

Die gemachten Prognosen geben einen Einblick darüber, welche Digitaldruckleistung zukünftig von Weiterverarbeitungslinien aufgenommen werden müssen. Die zu verarbeitende Menge an Papier bzw. Druckseiten stellt nicht die ausschlaggebende Herausforderung dar. Diese prognostizierten Mengen können bereits durch heutige Weiterverarbeitungsanlagen konventioneller Bauart abgefangan werden. Die Problematik liegt in der Änderung des Anforderungsprofils durch den Digitaldruck – auf Grund des seriellen Drucks muss auch eine serielle Verarbeitung der Druckprodukte gewährleistet werden können.

Die Unsicherheit dieser Prognose ist einerseits dadurch gegeben, dass in der langen Historie von 1993 bis etwa 2008 nur relativ wenige und auf Flüssig- bzw. Feststofftoner basierende Maschinen auf dem Markt waren. Der Technologiesprung „Inkjet“ in Digitaldruckmaschinen brachte ab 2008 große Leistungszuwächse. Einige Grenzen des Inkjetdrucks sind bekannt, z.B. Datenübertragungsgeschwindigkeit sowie Einflüsse von Viskositäten und Massenträgheit bei der schnellen Tröpfchenbildung. Wo diese Grenzen sich leistungsbegrenzend auswirken werden, ist noch nicht abzusehen.

Hochgerechnet ergeben sich für die Leistungsfähigkeit von Digitaldruckanlagen folgende Grenzen:

- a) In Digitaldruckanlagen muss eine immense Menge an digitalen Daten transferiert und verarbeitet werden. Leistungssteigerungen durch breitere Bahnen erfordern hier immer höhere Rechnerleistungen und schnellere Datenleitungen, was die Hardware ab einem gewissen Punkt überlasten wird. Diese Herausforderung wäre durchaus lösbar, da auch sowohl die Hardware-Leistung von IT-Systemen als auch die Datenübertragungsgeschwindigkeit kontinuierlich gesteigert werden.
- b) Eine weitere Möglichkeit der Leistungssteigerung von Digitaldruckanlagen wäre die Erhöhung der Bahngeschwindigkeit. Eine Begrenzung der Bahngeschwindigkeit ergibt sich durch den Vorgang der Tröpfchenbildung bei Inkjetdruckköpfen. Hierbei handelt es sich um einen massebehafteten Vorgang. Die Geschwindigkeit der Tröpfchenbildung kann nicht unbegrenzt gesteigert werden. Es würde zu unkontrollierten Tropfenbildungen und zu ungewollten Farbannahmeeffekten kommen.

- c) Angenommen, es gelingt durch technologischen Fortschritt, die ersten beiden Grenzen zu überwinden, bleibt immer noch die Grenze der Wirtschaftlichkeit. Digitaldruckkosten sind gegenüber anderen Druckverfahren höher. Höhere Druckauflagen ergeben im direkten Vergleich mit bspw. dem Offsetdruck, einen Break-even-Point, ab welchem der Digitaldruck wirtschaftlich nachteilig wird. Hier spielen sowohl die kürzere Lebenszykluszeit von Digitaldruckanlagen eine Rolle, als auch die kostenintensiven Digitaldruckfarben.

Diese drei Grenzen limitieren die Leistung von Digitaldruckanlagen und lassen sich ohne technologische Sprünge und ohne Veränderung der Qualitäts- und Preispolitik der Maschinenhersteller nicht ohne weiteres umgehen.

8 Produktionsleistung von Weiterverarbeitungslinien

Im vorhergehenden Kapitel wurden die zeitliche Entwicklung der Produktionsleistung verschiedener Digitaldruckanlagen und eine Prognose der zu erwartenden Leistungen dargestellt. Bei Druckmaschinen ist die Erstellung von Prognosen mit mathematischen Modellen möglich durch Betrachtung historischer Leistungsdaten. Bei Weiterverarbeitungs-Technologien ist diese Art der Prognose nicht möglich, da keine belastbare Historie vorhanden ist. Deswegen wird für Verarbeitungsmaschinen eine technologische Leistungsbewertung erstellt und diese mit Hinblick auf potenzielle Leistungsentwicklungen im Digitaldruck hinterfragt. Um darzustellen, wo die Grenzen der Weiterverarbeitung liegen, wird eine exemplarische Standardkonfiguration einer Verarbeitungslinie betrachtet, die Leistungsgrenzen dieser Linie analysiert und erörtert wie mit den Leistungsgrenzen dieser Konfiguration umgegangen werden kann. In diesem Kapitel wird ein Leistungsvergleich aufgestellt zwischen aktuellen Digitaldruckanlagen und ausgewählten Weiterverarbeitungslinien für die Broschürenfertigung. Exemplarisch werden drei Verarbeitungslinien gegenübergestellt, welche unterschiedliche Prozessansätze bieten. Es handelt sich in allen Beispielen um formatvariable Linien für die Digitaldruckverarbeitung von Kleinauflagen.

Für die Beispielrechnung wird eine monochrome klebegebundene Broschur mit einem marktüblichen Endformat von 140 x 205mm und einem Seitenumfang von 96 Inhaltsseiten gewählt. 96-seitige Broschüren können als Grenze angesehen werden für eine klebegebundene Produktion. Umfangschwächere Broschüren werden üblicherweise nicht mehr klebegebunden, sondern rückstichgeheftet. Diese 96-Seiter fordern den Druckmaschinen und Verarbeitungsanlagen demnach maximale Fertigungsgeschwindigkeiten und -leistungen ab. Im Folgenden wird eine aktuelle Verarbeitungslinie dargestellt, welche für die Bogenverarbeitung konzipiert ist. Diese Linie ist zwar inline mit einer Rollendruckmaschine angebunden, dieser folgt aber im direkten Anschluss ein Querschneider, sodass alle weiteren Verarbeitungsschritte auf Bogen ausgerichtet sind.

Für den Druck wird eine aktuelle monochrome Rollen-Digitaldruckmaschine aus dem Höchstleistungssegment angenommen mit einer Druckbreite von bis zu 749 mm und einer Bahngeschwindigkeit von 254 m/min.⁹³ Diese Druckmaschine wird gewählt, da die Bahnbreite sowohl passend zu der folgenden Verarbeitungslinie als auch zum Ausschießschema des vorgestellten Bücherformates ist.

8.1 Verarbeitung mit einfacher Maschinenaufstellung

Für die Verarbeitung der Broschüren wird die in Kapitel 6.2.3.2 dargestellte Linie herangezogen und näher betrachtet. Diese Verarbeitungslinie wird gewählt, um zu zeigen wo die Leistungsgrenzen der einzelnen inline integrierten Aggregate liegen.

Die technischen Daten der Druck- und Weiterverarbeitungsmaschinen können der folgenden Tabelle entnommen werden. Die technischen Daten basieren auf aktuellen Produktdatenblättern der Maschinenhersteller.

Druckmaschine Océ Jetstream 5500 mono ⁹⁴	
Druckbreite	749 mm
Maximale Bahngeschwindigkeit	254 m/min
Pflugfalzmodul PF7	
Bahnbreite	762 mm
Querschneider CS7 ⁹⁵	
Bahnbreite	300 – 660 mm
Abschnittlänge	300 – 1100 mm
Maximale Geschwindigkeit	150 m/min
Taschenfalzmaschine AF-566F ⁹⁶	
Anzahl der Falztaschen	6
Bogengröße	Min. 128 x 148 mm Max. 558 x 865 mm
Falzlänge	1./ 2./ 3./ 5. Tasche 30 – 450 mm 4./ 6. Tasche 30 – 360 mm
Geschwindigkeit	30 – 240 m/min

⁹³ Bspw. Océ Jetstream 5500 mono

⁹⁴ Canon Solutions America Inc.: Océ JetStream Wide Series mono 2013

⁹⁵ Hunkeler AG: Hunkeler Popp 7 2015

⁹⁶ Horizon International Inc.: Smart Finishing Solutions 2014

2. Falzstation T-564F	
Anzahl der Falztaschen	4
Bogengröße	Min. 50 x 128 mm Max. 558 x 558 mm
Falzlänge	1. - 6. Tasche 30 – 360 mm
Geschwindigkeit	30 – 240 m/min
Stacker BBS-40	
Buchblockgröße	Min. 148 x 105 mm Max. 385 x 260 mm
Geschwindigkeit	2.000 Zyklen/h
Blockzuführer BBF-SB ⁹⁷	
Buchblockgröße	Min. 148 x 105 mm Max. 385 x 320 mm
Blockdicke	3 – 50 mm
Geschwindigkeit	4.000 Zyklen/h
Klebebinder SB-09V ⁹⁸	
Anzahl an Klammern	9
Blockgröße	inline Min. 148 x 105 mm Max. 330 x 250 mm
Blockdicke	1 – 45 mm
Geschwindigkeit	Max. 4.000 Bücher/h
Auskühlstrecke	
Dreimesserautomat HT-1000V ⁹⁹	
Buchgröße - unbeschnitten	Min. 148 x 105 mm Max. 385 x 320 mm
Blockdicke	3 – 50 mm
Geschwindigkeit	1.000 Zyklen/h

Tabelle 9: Technische Daten Broschurenfertigungslinie

Das Beispielprodukt, die 96-seitige Broschur im Format 140 x 205 mm (typisches Format für Taschenbücher), besteht aus sechs 16-seitigen Falzbogen, die in sequenzieller Folge auf der Druckbahn ausgeschossen sind.

Beim Ausschießen der Druckseiten auf den Druckbogen muss Beschnitt eingerechnet werden. Für dreiseitigen Schönschnitt des Endprodukts sowie für den

⁹⁷ Horizon International Inc.: Smart Finishing Solutions 2014

⁹⁸ ebd.

⁹⁹ ebd.

Fräsrand am Bundsteg werden jeweils 3mm veranschlagt. Die Blockdicke ist für die Berechnung der Rückenstärke für den Umschlag von Bedeutung. Bei einem Papiergewicht von 80g/m² mit 1,5 fachem Volumen ergibt sich die Dicke des Blockrückens zu:¹⁰⁰

Monochromer Buchblock 96 Seiten x 0,08mm/Seite x 1,5 = 11,52mm

In Abb. 31 wird ein Abschnitt skizziert, der als 16-seitiger Falzbogen mit fünf weiteren technisch gleichen Falzbogen den 96-seitigen Buchblock ergibt. Bei stehenden Seiten und vier nebeneinander liegenden sowie zwei hintereinander liegenden Seitennutzen ergibt sich unter Berücksichtigung von Fräs- und Beschnittträgern ein Abschnittsformat von BxH=584mm x 422mm. Die sechs sequenziell für ein Buch angeordneten Abschnitte erfordern eine Bahnlänge von 6x422mm=2.532mm.

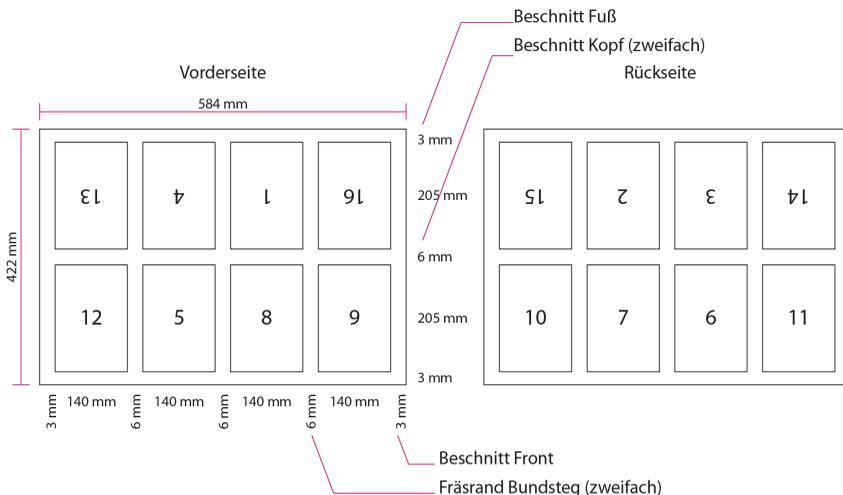


Abb. 31: Standbogen 16-Seiter

Die Nettoausstoßleistung einer Fertigungsanlage ist neben der Nennleistung der langsamsten Maschine der Fertigungslinie von sehr vielen weiteren Faktoren

¹⁰⁰ Der Druck von Buckblocks erfolgt üblicherweise auf Werkdruckpapier, welches ein erhöhtes Volumen hat.

abhängig, wie den Laufeigenschaften des Papiers, seiner Bedruckbarkeit, der Druckqualität, dem Wartungszustand der Anlage, den Fähigkeiten des Bedienpersonals, dem Raumklima, den Eigenschaften der Betriebsstoffe wie Papier, Druckfarbe, Klebstoff u.v.a.m. All diese Faktoren lassen sich nicht so generalisieren, dass mit einer Nettofertigungsleistung seriös gerechnet werden kann. Vielmehr wird im Folgenden der Idealfall angenommen und die Nennleistung der Druckmaschine zugrunde gelegt. Diese Vorgehensweise ist insofern berechtigt, da der Idealzustand stets angestrebt und in Einzelfällen auch erreicht wird. In diesem Fall sollten alle Weiterverarbeitungsmaschinen der Nennleistung der Druckmaschine entsprechen. Insofern repräsentiert der Idealfall die Leistungsfähigkeit einer Anlage. Ermittelt wird für jede einzelne Maschine, wie hoch der Ausstoß an Broschüren im angegebenen Format pro Stunde ist und dann im Vergleich gegenübergestellt zu den Druckanlagen.

Für die Fertigungsleistung der Druckmaschine gilt:

$$P_B = \frac{V_{\max}}{n \cdot l} \quad (4)$$

P_B = Druckleistung für Bogen im jeweiligen Buchformat [Buchblocks/min]

V_{\max} = Nennleistung der Druckmaschine [m/min]

n = Bogenanzahl [Falzbogen/Buchblock]

l = Abschnittlänge eines Falzbogens [m/Falzbogen]

Für die Rollendruckmaschine ergibt sich bei einer Bahngeschwindigkeit von 254m/min für die 16-seitigen Signaturen eine Leistung von $P_{B16} = 100,3$ Buchblocks/min bzw. 6.018,6 Buchblocks/h.

Die Ausstoßleistung der Druckmaschine, gemessen in Buchblocks, ist abhängig vom Format und vom Seitenumfang der Blocks. Die Druckleistung hat eine reziproke Proportionalität zu dem Seitenumfang des Buchblocks. Die Gleichung (5) beschreibt den Zusammenhang zwischen Seitenumfang jedes Exemplars und Fertigungsleistung.

$$P_{Ex} = \frac{P_D}{N_{Ex}} \tag{5}$$

P_{Ex} = Druckleistung in Exemplare pro Stunde [Ex/h]

P_D = Druckleistung in Seiten pro Stunde [Sh]

N_{Ex} = Seitenumfang eines Exemplars [S/Ex]

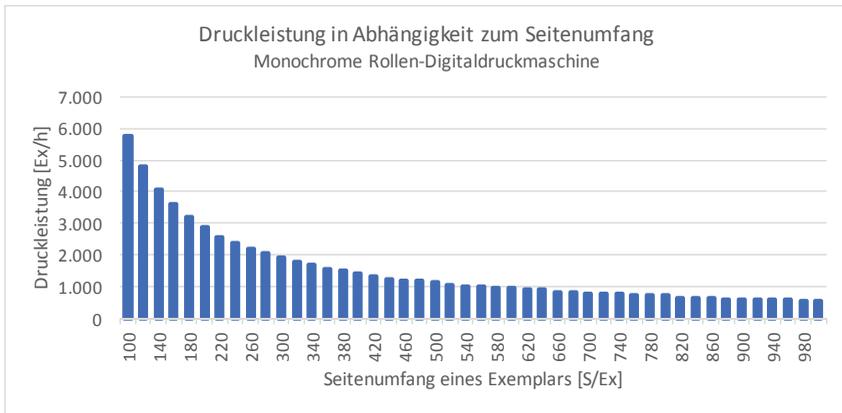


Abb. 32: Druckleistung einer Druckmaschine in Abhängigkeit zum Seitenumfang¹⁰¹

Die Abb. 32 visualisiert den Zusammenhang und lässt leicht erkennen, dass für die Fertigung von Buchblocks mit geringem Umfang die höchste Verarbeitungsleistung gefordert ist.

Nach dem Druck erfolgen ein Längsfalz mit einem Falztrichter und danach ein Trennen der Abschnitte im Querschneider. Anschließend erfolgen ein Querfalz im ersten Taschenfalzwerk und schließlich noch ein Kreuzbruch im zweiten Falzwerk der Taschenfalzmaschine. Abb. 92 zeigt das Resultat der 16-seitigen Signatur vor dem Binden und Beschneiden (siehe Anhang, Seite 177) und Abb. 33 die Aggregate der Broschuren-Verarbeitungslinie.

¹⁰¹ Hier am Beispiel einer Océ Jetstream 5500 mono

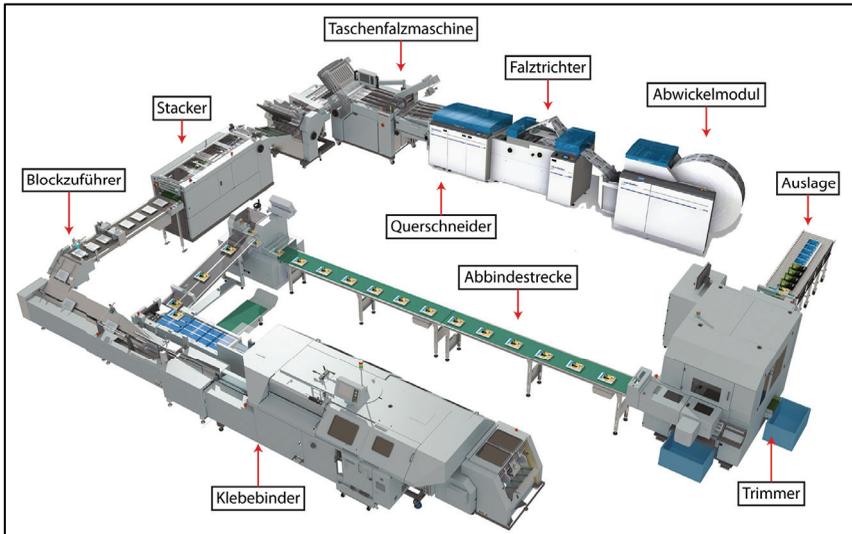


Abb. 33: Formatvariable Broschüren-Verarbeitungslinie¹⁰²

Die Produktionsleistung des Falztrichters ist geschwindigkeitsunabhängig. Die Bahn wird in der Mitte längs gefalzt

Bei einer Bahngeschwindigkeit von 150m/min (bedingt durch den verfügbaren Querschneider) erzeugt der Querschneider 21.327 Abschnitte/h. Das entspricht 3.554,50 Buchblocks/h.

Die Taschenfalzmaschine bietet die Möglichkeit, verschiedene Falzarten zu erstellen. Abhängig vom zu verarbeitendem Papier, aber auch von der gewünschten Falzart, werden verschiedene maximale Produktionsgeschwindigkeiten möglich.¹⁰³ In dem vorliegenden Produktbeispiel werden Signaturen im Format 292 x 422mm

¹⁰² Angelehnt an Horizon International Inc.

¹⁰³ Die Geschwindigkeitsangabe vom Maschinenhersteller (max. 240 m/min) bezieht sich lediglich auf die Geschwindigkeit des Transportbandes und gibt keine Aussage über den Bogenausstoß. Für die hier erfolgte Berechnung werden für den Bogenausstoß die Angaben des Maschinenherstellers herangezogen.

im Kreuzbruch gefalzt. Da das Ausgangsformat nah an dem DIN A3 Format liegt, wird die Berechnung mit diesen Angaben durchgeführt.¹⁰⁴

Bogenformat	Falzgeschwindigkeit 8-Seiten Kreuzbruch
DIN A3	22.500[Bogen/h]
11“ x 17“	21.500 [Bogen/h]
DIN A2	16.000 [Bogen/h]
18“ x 25“	15.000 [Bogen/h]

Tabelle 10: Verarbeitungsleistung der Taschenfalzmaschine¹⁰⁵

Der A3+ Bogen wird durch einen vorhergehenden Längsfalz im Trichter und einem anschließenden Kreuzbruch in der Taschenfalzmaschine zu einem 16-seitigen Falzbogen der Größe DIN A5 gefalzt. In der Taschenfalzmaschine ergibt sich demnach eine Leistung von 22.500 Bogen/h bzw. entsprechend 3.750 Buchblocks/h.

Im Stacker, welcher eine Leistung von 2.000 Zyklen/h hat, erhalten die Signaturen eine Punkt-Hilfsverklebung (vgl. S. 44) werden zusammengetragen und zu einem Buchblock verpresst. Die punktuelle Verleimung verhindert ein Verrutschen der einzelnen Bogen bei der weiteren Verarbeitung.

Mittels Blockanleger werden die verleimten Blocks einer Klebebindestrecke zugeführt, welche sie als Broschuren mit Umschlag nach dem Schönschnitt im Dreimeßerautomaten verlassen. Bei diesem dreiseitigen Beschnitt wird auch die Hilfsleimung, die sich im Beschnitttrand befindet, entfernt. Hier wird mit einer Geschwindigkeit von 1.000 Zyklen/h ein 3-Seiten-Beschnitt an Kopf, Fuß und Front am stehenden Exemplar durchgeführt.

Der Klebebinder verarbeitet Blockdicken von 1mm bis maximal 65mm Stärke. Die Seitenanzahl der Buchblocks ist abhängig von der Papiergrammatur und des Papiervolumens. Die Nennleistung beträgt 4.000 Bücher/h.

¹⁰⁴ Horizon International Inc.: Datenblatt AF-566F Digital

¹⁰⁵ Vgl. ebd.

In Tabelle 11 sind die Produktionsleistungen der einzelnen Bestandteile der Fertigungslinie in absoluten Zahlen dargestellt.

	maximaler Maschinenausstoß [Exemplare/h] bei 96 Seiten/Ex. einfache Maschinenaufstellung						
Produkt- spezifikation	Druck- maschine	Quer- schneider	Falz- maschine	Stacker	Block- zuführer	Klebe- binder	Dreimesser- automat
monochrom 140x205mm	6.018,60	3.554,50	3.750	2.000	4.000	4.000	4.000 ¹

Tabelle 11: Maschinenausstoß einfache Maschinenaufstellung; ausgewählte Produktspezifikation

Es ist zu erkennen, dass die Dimensionierung dieser Verarbeitungsanlage deutlich zu gering ausfällt. Teilweise wird nur ein Drittel der Leistung der Druckmaschine erreicht. Diese Konstellation reicht nicht aus, um den maximalen Output der Digitaldruckmaschine zu verarbeiten. Die Engpässe sind sofort offensichtlich.

Der Querschneider und die Falzeinrichtung für den 1.Querfalz müssen mindestens die Geschwindigkeit der Druckmaschine erreichen. Beide arbeiten mit Papierbahngeschwindigkeit.

Die Leistung der Falzeinrichtung für den 2.Längsfalz ist abhängig sowohl von der Bahngeschwindigkeit als auch von der Bahnbreite, da hier die Abschnitte orthogonal zur Bahnlaufrichtung gefalzt werden. Übersteigt die Bahnbreite die Abschnittslänge, muss das zweite Falzaggregat der Taschenfalzmaschine leistungsfähiger sein als das erste Falzaggregat. Um dem entgegenzuwirken, muss eine breite Bahn durch Falztrichter schmaler gemacht werden. Die Falzeinrichtung für den 2. Längsfalz muss mindestens folgende Geschwindigkeit erreichen:

$$V_{L2} > \frac{b_{L1} + K_{BA}}{l_{AB}} \cdot V_{DM} \quad (6)$$

V_{L2} = Geschwindigkeit beim 2.Längsfalz [m/s]

l_{AB} = Abschnittslänge [mm]

b_{L1} = Breite der Druckbahn nach dem 1.Längsfalz [mm]

V_{DM} = Bahngeschwindigkeit der Druckmaschine [m/s]

K_{BA} = Korrekturwert für den Bogenabstand¹⁰⁶ [mm]

Unter der Betrachtung der in Abb. 30 getätigten Leistungsprognose, wäre hier künftig ein noch größeres Defizit zu erwarten.

In Abb. 34 sind die Fertigungsleistungen der einzelnen Aggregate in Relation zu der Druckmaschine gestellt.

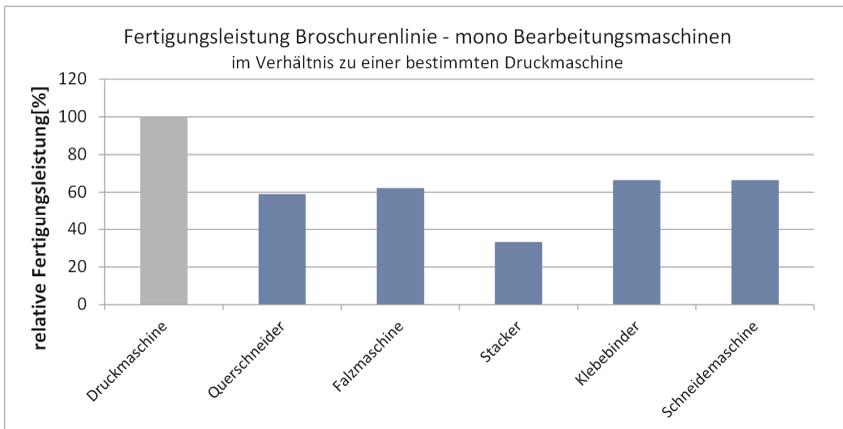


Abb. 34: Fertigungsleistung einer Broschurenlinie - mono Bearbeitungsmaschinen; ausgewählte Produktspezifikation

¹⁰⁶ Der Korrekturwert steht für den Bogenabstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bogen. Dieser Wert berücksichtigt den Schlupf zwischen den einzelnen Falzwalzenpaaren und ist abhängig vom Bogenformat und von der Falzart. Der durch den Korrekturwert entstehende Aufschlag liegt bei ca. 10cm bis 30cm.

vgl. hierzu auch Horizon International Inc.: Datenblatt AF-566F Digital, S. 3

Das vorhergehende Beispiel wurde gewählt, um exemplarisch Leistungsengpässe bei aktuellen und künftigen Verarbeitungsanlagen darzustellen und aufzuzeigen, wo technologische Leistungsengpässe bestehen, die künftig zu lösen sind bzw. für die es heute bereits Lösungsansätze gibt, oder wo durch technisch-organisatorische Maßnahmen eine Lösung gelingt:

- a) Aggregate, welche die ungefalzte Bahn bzw. ungefalteten Abschnitte verarbeiten, müssen mindestens die Bahngeschwindigkeit erreichen bzw. darüber liegen:
 - Falzeinrichtung für 1.Längsfalz (Trichter, Pflugfalz)
 - Querschneider
 - Falzeinrichtung für Quersfalz
 - Falzeinrichtung für 2.Längsfalz
- b) Parallelaufstellung von einfachen getakteten Maschinen
 - Sorter (bereits heute Standard)
 - Dreimesserautomat (möglich, aber nicht üblich)
- c) Einsatz marktüblicher schnellerer Maschinen
 - Klebebinder mit Blockanleger (höhere Investition)
- d) Technisch-organisatorische Maßnahmen mit dem Ziel: Mehrlagen- bzw. Mehr-exemplarverarbeitung i.A. mit einer Änderung des Ausschießschemas verbunden.
 - zwei hintereinandergeschaltete Falztrichter falzen die Bahn auf $\frac{1}{4}$ Seitenbreite. Folge: 2.Längsfalz entfällt
 - Verarbeitung von Doppelnutzen im Klebebinder (Der Klebebinder und der Sorter müssen das entsprechende Doppelnutzenformat verarbeiten können.)

8.2 Verarbeitung durch redundante Maschinenaufstellung

Die zweite Verarbeitungslinie, welche betrachtet wird, ist von der Maschinenzusammensetzung und der Prozessführung andersartig aufgebaut als die Linie im vorhergehenden Beispiel. In vielen Fällen ist es möglich, einfache Aggregate durch mehrere parallele Aggregate zu ersetzen, wie beispielsweise Sorter oder taktgebundene Schneidemaschinen. Redundanz ist eine Möglichkeit, Engpässe zu umgehen.

Diese Linie verarbeitet ebenfalls eine Endlosbahn zu monochromen Broschuren. Nach dem Rollendruck erfolgen (nach Bedarf) mehrere hintereinander angeordnete Trichterfalze. Trichterfalze sind geschwindigkeitsunabhängig, da es kontinuierliche Prozesse sind, sodass es hier zu keiner Leistungseinbuße kommt. Anschließend folgt ein formatvariabler Querschneider, welcher die Bahn in seitenhohe Abschnitte trennt. Das Zusammentragaggregat für die Broschurenblocks besteht aus mehreren (hier bis zu acht) parallel arbeitenden Sortern, welche maximal 8.000 Buchblocks/h verarbeiten können.¹⁰⁷ Durch Führung in einen leistungsstarken Mehrzangenklebebinder kann auch hier die Leistung gesteigert werden (maximal 5.000 Broschuren/h).¹⁰⁸ Zwei angebundene Dreimesserautomaten schaffen zusammen durch Schneiden von mehreren Buchblocks pro Einsatz, etwa 8.000 Exemplare/h. Die Leistung von formatvariablen Dreimesserautomaten liegt deutlich unter denen von festformatigen (aktuell bei 8.000 Takten/h).¹⁰⁹

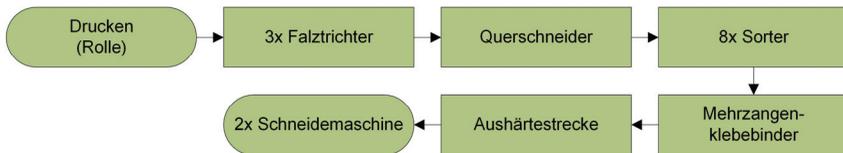


Abb. 35: Prozessablauf - Broschurenfertigungslinie mit redundanter Maschinenaufstellung

Hier ist zu erkennen, dass durch die Art der Verarbeitung von Papierbahnen und durch eine Redundanz von Verarbeitungsmaschinen, die erforderliche Leistung in einigen Prozessschritten bereits erreicht werden kann (vgl. Tabelle 12 und Abb. 36). Maschinelle Redundanz ist keine generelle Lösung zur Steigerung der Anlagenleistung. Vielmehr ist sie lediglich bei einfachen Engpass bildenden Anlagenkomponenten angemessen. Bei Investitions- und Betriebskosten intensiven Kernkomponenten, hier z.B. der Klebebinder, sind eher andere Lösungen, wie

¹⁰⁷ Bspw. Manroland Formerline

¹⁰⁸ Bspw. Alegro digital Müller Martini AG

¹⁰⁹ Bspw. Infinitrim Müller Martini AG

schnellere Maschinen oder ablauforganisatorische Modifikationen das Mittel der Wahl.

	maximaler Maschinenausstoß [Exemplare/h] bei 96 Seiten/Ex. redundante Maschinenaufstellung					
Produkt- spezifikation	Druck- maschine	Quer- schneider	Stacker	Block- zuführen	Klebe- binder	Schneide- maschine
monochrom 140x205 mm	6.018,60	3.554,50	8.000	5.000	5.000	8.000

Tabelle 12: Maschinenausstoß redundante Maschinenaufstellung; ausgewählte Produktspezifikation

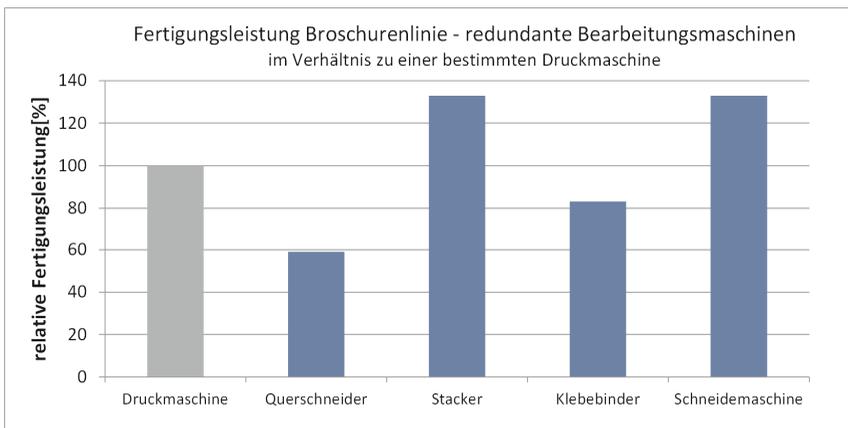


Abb. 36: Fertigungsleistung einer Broschürenlinie - redundante Bearbeitungsmaschinen; ausgewählte Produktspezifikation

8.3 Anpassung von technisch-organisatorischen Maßnahmen

Eine andere Möglichkeit, die stückbezogene Exemplarleistung – nicht jedoch die Fertigungsgeschwindigkeit – einzelner Maschinen zu steigern, liegt in der technisch-organisatorischen Modifikation von Teil- und Zwischenprodukten, ohne dass das Endprodukt verändert wird. Beispielsweise lässt sich durch die Fertigung von Doppelnutzen in „Kommen-und-Gehen“ Anordnung erreichen, dass die Stückleistung des Klebebinders maßgeblich erhöht wird. Dabei werden in einem Takt des Klebebinders zwei Exemplare des Endprodukts als Doppelnutzen gebunden (um nach dem Klebebinden in Einzelexemplare getrennt zu werden).

Der im „Kommen-und-Gehen“ gedruckte Doppelnutzen erhält mittels eines Falztrichters einen Längsfalz, welcher die Bahnbreite auf $\frac{1}{2}$ reduziert. Ein Querschneider trennt die Bahn in 4-Seiten hohe Abschnitte. Der Buchblock ergibt sich aus sechs Bogenteilen mit jeweils 16 Seiten. Nach dem Querfalz mit einem Schwertfalzaggregat und einem zweiten Längsfalz - ebenfalls mit einem Schwertfalzaggregat - werden jeweils 6x16 Seiten Doppelnutzen im Sorter zusammengetragen. Nach dem Klebebinden werden die Doppelnutzen mittels einer Trennsäge mittig getrennt. Ein Exemplar der beiden Kopf-an-Kopf stehenden Nutzen wird um 180° in den Materialfluss des anderen Exemplars gedreht (vgl. Abb. 38). So können beide Exemplare gleichsinnig liegend nacheinander mit einer Schneidemaschine 3-seitig beschnitten werden.

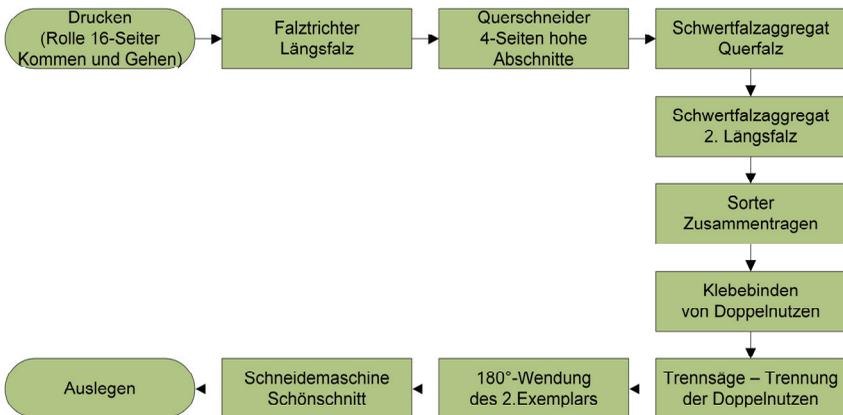


Abb. 37: Prozessablauf - 16-Seiter "Kommen und Gehen"

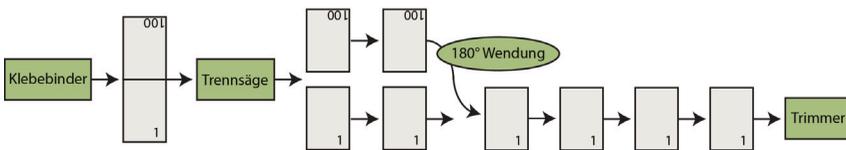


Abb. 38: 180°-Wendevorgang der Doppelnutzen

Durch die Änderung des Ausschießschemas (Abb. 39) – unter Beibehaltung der Druckbreite, der Bahngeschwindigkeit und des Seitenumfangs - ändert sich die Ausstoßleistung der Druckmaschine nicht; diese bleibt bei 6.018 Buchblocks/h. In

Abb. 39 ist der 16-seitige Standbogen abgebildet und Abb. 93 (siehe Anhang) zeigt das Resultat der 16-seitigen Signatur vor dem Binden und Beschneiden.

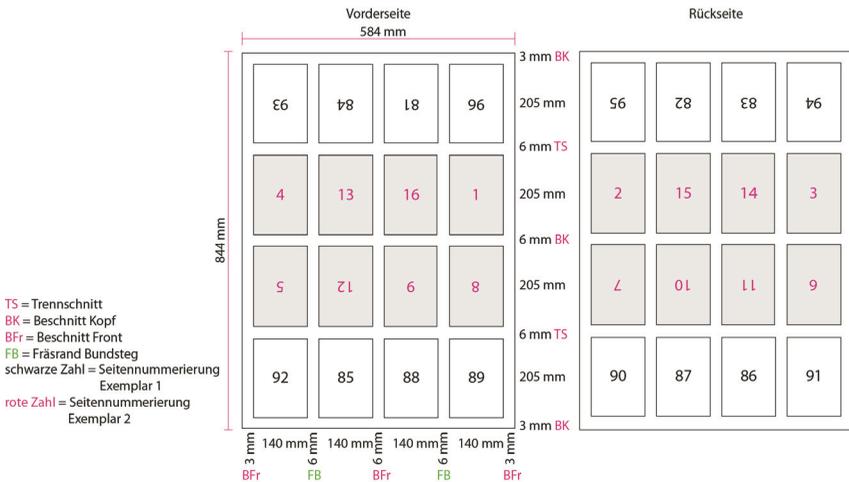


Abb. 39: Standbogen 16-Seiter – „Kommen und Geben“

Für die formatvariable Verarbeitung von Bahnen, Bogen und Abschnitten spielt die Servoantriebstechnik eine maßgebliche Rolle. Diese Antriebe lassen sich so regeln, dass im Bearbeitungszeitpunkt das Bearbeitungsaggregat (z.B. Querschneidermesser oder Falzschwert) exakt die gleiche Geschwindigkeit hat wie das Bearbeitungsgut. In seinem weiteren Umlauf wird – entsprechend des Formats des Bearbeitungsgutes – die Geschwindigkeit des Bearbeitungswerkzeugs so geregelt, dass dieses dem Bearbeitungsgut vor- resp. nacheilt.

Querschneider sind taktgebunden und bahnbreitenunabhängig – aktuelle formatvariable Querschneider schaffen bei der heutigen Steuerungstechnik eine Verarbeitung von Bahngeschwindigkeiten bis max. 400m/min¹¹⁰. In Abb. 40 sind die Bahngeschwindigkeiten von monochromen Digitaldruckanlagen gegenübergestellt zu der Leistungsgrenze eines aktuellen formatvariablen

¹¹⁰ Bosch Rexroth AG: Inline-Querschneider [Bosch Rexroth stellt selber keine Querschneider her, entwickelt jedoch die Antriebstechnik und die Steuerung für Querschneider – Anm. d. Verf.]

Querschneiders (400m/min). Es ist zu erkennen, dass die Bahngeschwindigkeiten der Digitaldruckanlagen unterhalb derer eines leistungsfähigen Querschneiders liegen. Aktuell ergibt sich rechnerisch noch eine Leistungsreserve von ca. 57% hinsichtlich der Bahngeschwindigkeit der betrachteten Digitaldruckmaschine (254m/min) und der bekannten Leistungsgrenze von Querschneidern (400m/min); hinsichtlich der schnellsten heute bekannten Digitaldruckmaschine (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 7) beträgt die Leistungsreserve noch über 30%.

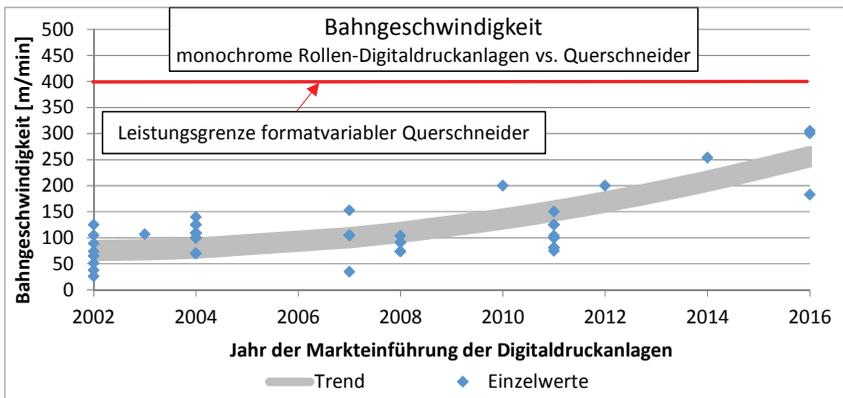


Abb. 40: Leistungsvergleich: monochrome Rollen-Digitaldruckanlagen und Leistungsgrenze formatvariabler Querschneider

Bei einer aktuellen Geschwindigkeit des Querschneiders von 400m/min und einer Abschnittslänge von 844 mm – unter Beachtung der Doppelnutzenproduktion – ergibt sich ein Ausstoß von 9.478,67 Blocks/h. Die Leistungsbegrenzung der Taschenfalzmaschine kann umgangen werden, indem der benötigte Querfalz durch ein Schwertfalzaggregat durchgeführt wird. Schwertfalzaggregate basieren ebenfalls auf der Servoantriebstechnologie wie Querschneider und arbeiten mit derselben maximalen Geschwindigkeit – 400m/min. Bei einer zu falzenden Abschnittslänge von 844mm ergibt sich eine Falzleistung von 473 Abschnitten/min– entsprechend 9.478 Einzelnutzen/h. Durch eine redundante Aufstellung des Sorters können Leistungen von mehr als 8.000 Blocks/h abgefangen werden. Ein auftretender Sekundäreffekt bei dieser Konstellation ist, dass die zu verarbeitende Kapazität des Sorters sich um die Hälfte verringert. Bei 6x16 Seiten Einzelnutzen sind 36.114 Abschnitte/h erforderlich. Bei 6x16 Seiten Doppelnutzen nur lediglich 18.057

Abschnitte/h. Um den Klebebinder maximal auszulasten, werden Doppelnutzen klebegebunden. Im Vergleich zur Einzelnutzenproduktion muss der Klebebinder lediglich die halbe Taktzahl bedienen. Durch die Rückenlänge des Doppelnutzens von 422mm müssen die Zangen des Klebebinders eine Größe von 18“ haben um das Maß des Doppelnutzens verarbeiten zu können. Bei baugleichen Klebebindern ist die Prozessgeschwindigkeit weitgehend unabhängig von der Größe der Zangen. Dementsprechend verfügt eine Maschine mit großen Zangen über weniger Zangen als ein baugleicher Klebebinder mit kleinen Zangen. In diesem Beispiel mit Zangengrößen von 15“ und 18“ ergibt sich folgendes:

$$\text{Geschwindigkeit konstant: } v_{18} = v_{15} \quad (7)$$

$$v = \frac{s}{t} \quad \frac{s_{18}}{t} = \frac{s_{15}}{t} \quad (8)$$

$$s = n \cdot l; t_{18} = t_{15} \quad n_{18} l_{18} = n_{15} l_{15} \quad (9)$$

$$\Rightarrow n_{18} = n_{15} \frac{l_{15}}{l_{18}} \Rightarrow n_{18} = 9 \frac{15}{18} = 7,5$$

v = Umlaufgeschwindigkeit des Klebebinders [m/s]

s = Länge der Umlaufkette des Klebebinders, an welcher die Zangen befestigt sind [m]

n = Anzahl der Zangen an der Umlaufkette

l = Länge einer Zange¹¹¹ (hier 15“ resp. 18“) [inch]

Da die Anzahl Zangen eines Klebebinders nur ganzzahlig sein kann und zwar ausschließlich als Abrundung eines Dezimalbruchs, ergibt sich hier eine Zangenanzahl von sieben.

Die Anzahl der Bindungen des Klebebinders errechnet sich nach:

$$\frac{p_{15}}{p_{18}} = \frac{n_{15}}{n_{18}} \quad (10)$$

$$\Rightarrow p_{18} = p_{15} \frac{n_{18}}{n_{15}} = 4.000 \frac{\text{Ex.}}{h} \cdot \frac{7}{9} = 3.111 \frac{\text{Ex.}}{h}$$

p = Stückleistung [Ex./h]

n = Anzahl der Zangen an der Umlaufkette

¹¹¹ Der Abstand der einzelnen Zangen bleibt in dieser Modellrechnung unberücksichtigt.

Bei einem 18“ Klebebinder läge die Fertigungsleistung bei ca. 3.111 Doppelnutzen/h, entsprechend 6.222 Einzelnutzen/h. Es ist zu erwarten, dass die Klebebinder für Digitaldruckverarbeitung weiterentwickelt und an die Leistungszunahme von Digitaldruckanlagen angepasst werden. Die dem Klebebinder folgende Trennsäge erreicht eine Leistung von max. 15.000 Blocks/h, entsprechend 30.000 Einzelnutzen/h.¹¹² Hier muss beachtet werden, dass sowohl der Klebebinder als auch der Sorter in der Lage sein müssen die längeren Abschnitte der Doppelnutzen verarbeiten zu können. Für den 3-seitigen Schönschnitt der Broschüren bieten sich mehrere Möglichkeiten an. Formatvariable 3-Messerautomaten haben ihre Leistungsbegrenzung aktuell bei 4.000 Takten/h. Um einen höheren Bedarf zu bedienen, können nach der Trennsäge, die beiden Produktströme – ohne diese zusammenzuführen – in zwei parallel gestellte 3-Messer-Automaten geführt werden. Alternativ hierzu können umfangschwächere Broschüren (bis etwa 300 Seiten) mit einem Trimmer beschnitten werden. Aktuelle Trimmer für Digitaldruckprodukte haben eine Leistung von 14.000 Takten/h.¹¹³

maximaler Maschinenausstoß [Exemplare/h] bei 96 Seiten/Ex. optimierte Verarbeitungslinie							
Produkt-spezifikation	Druck-maschine	Quer-schneider	Schwert-falz	Stacker	Klebe-binder	Trennsäge	Trimmer
monochrom 140x205mm	6.018,60	9.478,67	9.478,67	8.000	6.222	30.000	14.000

Tabelle 13: Maschinenausstoß einer optimierten Verarbeitungslinie

¹¹² Kolbus GmbH & Co. KG: Trennsäge TR 162

¹¹³ Müller Martini AG: Primera MC Digital

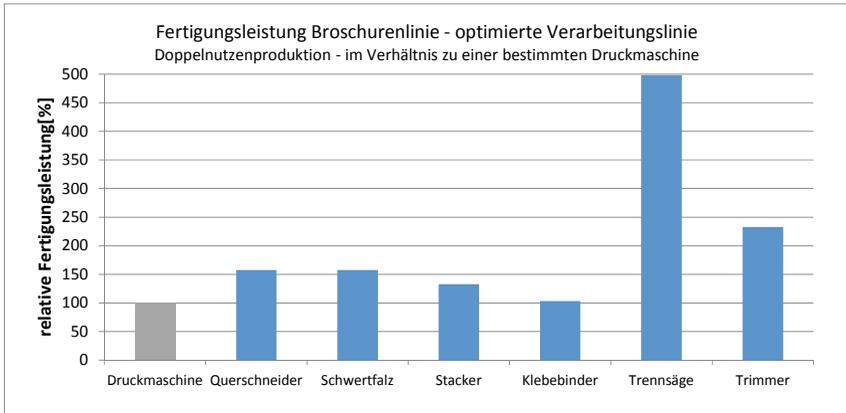


Abb. 41: Fertigungsleistung einer Broschurenlinie – Doppelnutzenproduktion

Für die in Kapitel 8 angestellten Grenzbetrachtungen wurde ein Produkt angenommen mit einem Seitenumfang von 96 Inhaltsseiten. Hierbei handelt es sich um ein Extrembeispiel eines Produktes mit einem sehr geringen Seitenumfang, welches in dieser Form eher selten im Tagesgeschäft einer Druckerei vorkommt. Das Auftragspektrum einer Druckerei reicht von dünnen Broschuren mit kleinem Seitenumfang bis hin zu dicken Broschuren mit hohem Seitenumfang. Digitaldruckmaschinen stoßen unabhängig vom Seitenumfang des Endprodukts (in der Regel) eine konstante Menge an Papier/h aus. Gewisse Weiterverarbeitungsmaschinen sind taktgebunden und haben einen Ausstoß von Exemplaren/h – bei Exemplaren mit hohen Seitenumfängen ist der Papierdurchlauf in derselben Zeit höher als bei seitenschwachen Exemplaren. Generell sind Verarbeitungsanlagen auf den durchschnittlichen Seitenumfang auszulegen. Bei Nearline-Verarbeitung können die bedruckten Rollen zwischengelagert werden. Bei Überschreitung der zur Verfügung stehenden Kapazität der Weiterverarbeitungslinien (bei umfangschwachen Exemplaren) können diese verarbeitet werden, wenn Kapazität zur Verfügung steht (bei umfangstarken Exemplaren). Auf den Tagesdurchschnitt bzw. auf die Papierfläche/h bezogen kompensiert sich die Überlast mit der freien Kapazität – Aufträge mit unterschiedlichen Seitenumfängen kompensieren sich gegenseitig (Abb. 42). Um eine kontinuierliche Verarbeitung gewährleisten zu können, muss die

durchschnittliche Leistung der Verarbeitungslinien größer sein als die durchschnittliche Leistung der Druckmaschinen.

Die Leistung der Verarbeitungsanlagen muss nicht zwingend auf Spitzenanforderungen ausgelegt sein, wenn dieses nicht aus auftragsspezifischen Gründen (z.B. durch extreme Lieferquoten) explizit benötigt wird.

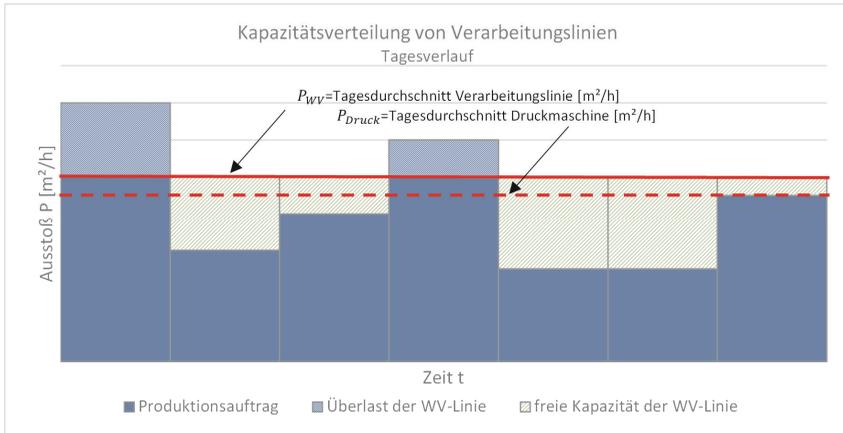


Abb. 42: Beispiel einer Kapazitätsverteilung von Verarbeitungslinien

9 Kaschierung von Digitaldruckprodukten

Im folgenden Teil dieser Arbeit wird das Kaschierverfahren, ein spezieller Prozess der Weiterverarbeitung, näher betrachtet. Es wird exemplarisch das Haftvermögen von ausgewählten Digitaldruckprodukten untersucht. Zunächst wird die Versuchsplanung vorgestellt sowie die Methoden und Materialien, mit denen die Versuchsreihen durchgeführt werden.

Das Kaschieren gilt als ein wichtiges Verfahren in der Verarbeitung von Lebensmittelverpackungen. Verbunde aus bestimmten Kunststofffolien verleihen dem Endprodukt bestimmte Barriereigenschaften, welche bspw. wichtig sind für die Frischhaltung der Packgüter. Zudem spielt das Kaschieren auch eine wesentliche Rolle bei der Kaschierung von Broschurenumschlägen (Taschenbücher) und Bezugsnutzen aus Papier für Buchdecken. Ganz besonders zu erwähnen sind Umschläge und Bezugsnutzen für Fotobücher, die ausnahmslos im Digitaldruck gefertigt werden.

Durch die Herstellung eines Verbundes zwischen dem bedruckten Umschlag und einer Polypropylenfolie (PP-Folie), erhält die Broschur ein höherwertiges Aussehen und einen Oberflächenschutz. Bei den klassischen Druckverfahren wird das Kaschieren seit Jahrzehnten eingesetzt und es ist beherrschbar. Bei Digitaldruckverfahren gibt es laut der Umfrage in Kapitel 2.1 Haftungsprobleme bei Kaschierverbunden. Anhand von Untersuchungen von den gängigsten Digitaldruckverfahren und ausgewählten Substraten und Klebstoffen, soll herausgearbeitet werden, welche Parameter Einfluss nehmen auf die Haftfestigkeit des Kaschierverbundes.

Ein hierfür entwickeltes Testimage wird in den gängigen Digitaldruckverfahren ausgedruckt und in verschiedenen Kaschierverfahren unter Einsatz verschiedener Kaschierklebstoffe, kaschiert. Das Testimage wird im Format DIN A3 angelegt und besteht aus insgesamt 48 Farbfeldern mit einer Größe von jeweils 29x64mm. Die Farbfelder werden so groß ausgelegt, dass sie bei späteren Abschälversuchen zur Bestimmung der Verbundfestigkeit die Probenbreite gemäß DIN 53357 (hier 15mm breit) vollständig abdecken können. Für die unterschiedlichen Farbfelder werden vielfältige Kombinationen von Druckdichte und farbllichem

Zusammendruck erzeugt, sodass deren Einfluss bei späteren Messungen der Haft- und Verbundeigenschaften detailliert ermittelt werden kann.

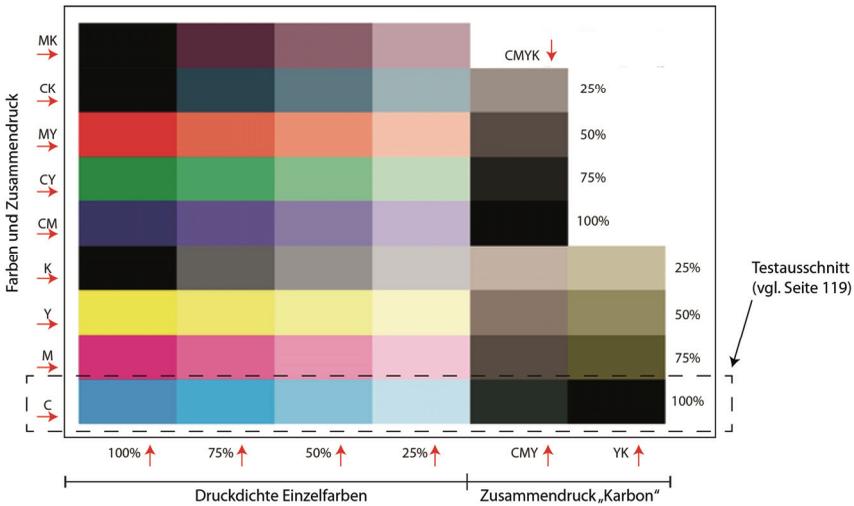


Abb. 43: Aufbau des Testimages mit Angabe der Farbbelegung und Flächendeckung

Als Bedruckstoff werden Digitaldruckpapiere mit verschiedenen Oberflächeneigenschaften gewählt. Unter den Papieren befinden sich auch speziell für verschiedene Digitaldrucksysteme zertifizierte Papiere. Bei den durchgeführten Untersuchungen blieb dieser Aspekt der zertifizierten Papiere bewusst unberücksichtigt. Vielmehr wurden alle Papiere mit jedem der gewählten Digitaldruckverfahren bedruckt und mit jedem Verfahren kaschiert. Auf diese Weise kann die Relevanz spezieller Zertifizierungen (resp. Vorbehandlungen) herausgearbeitet werden.

9.1 Untersuchte Substrate und Verbundpartner

Im Folgenden wird auf die unterschiedlichen Komponenten einer Kaschierverbindung eingegangen, die auf Grund ihrer einzelnen Zusammensetzung und Eigenschaften sowie auf Grund von Reaktions- und Wechselwirkungen die Eigenschaften des Kaschierverbundes maßgeblich beeinflussen: Druckfarben/Farbhilfsstoffe, Drucksubstrate (Papier), Klebstoffe und Kaschierfolien.

9.1.1 Druckfarben

Der Begriff des Digitaldrucks umfasst ein weites Spektrum an Druckverfahren für unterschiedliche Drucktechniken: Elektrofotografie mit Trockentoner oder Flüssigtoner, Inkjetdruck mit Flüssig- oder Feststofftinte. Die gängigsten Digitaldruckmaschinen nutzen Trockentoner oder Flüssigtoner. Da der Inkjetdruck aktuell zunehmend in den Fokus rückt wird auch dieser bei den Untersuchungen betrachtet. Bei diesen Untersuchungen soll der Einfluss des eingesetzten Digitaldruckverfahrens, respektive des Farbmittels, auf die Testergebnisse beurteilt werden.

Folgende Drucksysteme werden für die Versuchsreihe genutzt:

9.1.1.1 *Trockentoner*

Als elektrofotografisches Druckverfahren mit Trockentoner wird eine Xerox iGen 3 eingesetzt. Die in der iGen eingesetzte Druckfarbe wird auch Entwickler genannt. Dieser Entwickler ist ein trockenes Pulver und eine Mischung aus Toner und Trägerteilchen (Carrier), welche aus Eisenpulver bestehen. Die Bestandteile des Toners sind Polymere, farbgebende Pigmente und Additive. Der Entwickler wird elektrostatisch aufgeladen und auf den Halbleiter übertragen, welcher auch elektrostatisch aufgeladen ist. Vom Halbleiter wird der Toner wiederum durch elektrostatische Aufladung auf den Bedruckstoff transferiert.

Bestandteile des Entwicklers (Toner + Carrier)	
Bestandteile Toner (Anteil am Entwickler: >60%)	<ul style="list-style-type: none"> - Polymer (CAS: 39382-25-7) Anteil: >90% - Pigment Anteil: <10% - Additive Anteil: <3%
Bestandteile Carrier (Anteil am Entwickler: 20-35%)	<ul style="list-style-type: none"> - Eisenpulver (CAS 7439-89-6) Anteil: 100%

Tabelle 14: Technische Daten Entwickler iGen3¹¹⁴

¹¹⁴ Xerox GmbH: Datenblatt Entwickler; Xerox GmbH: Datenblatt Toner iGen 3

Um die Tonerpartikel dauerhaft mit dem Bedruckstoff zu verbinden, durchläuft der mit dem Toner beschichtete Bogen eine thermische Fixiereinheit.

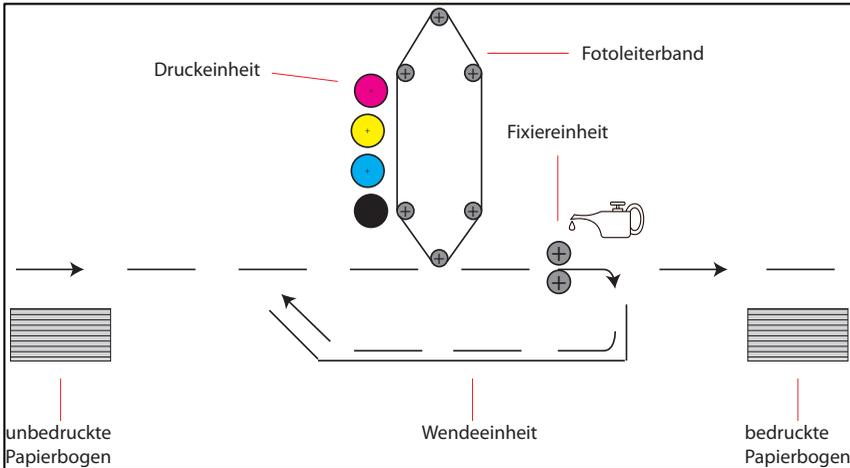


Abb. 44: Skizze einer Digitaldruckmaschine mit Fixiereinheit¹¹⁵

Die Fixiereinheit besteht aus einer Walze, welche den aufgetragenen Toner unter Wärmeeinwirkung und Druck mit dem Papier verbindet. Um ein Ablegen des Toners auf der Fixierwalze zu verhindern, wird diese kontinuierlich mit Silikonöl getränkt. Der Druckbogen durchläuft mit ganzer Breite diese Fixierwalze, sodass auch das Fixieröl ganzflächig übertragen wird, auch auf die nicht eingefärbten Stellen. Fixieröle haben einen signifikanten Einfluss auf die Verbundfestigkeit einer Kaschierverbindung, wie später gezeigt wird. Fixieröle können auch in der Farbe enthalten sein, z.B. bei der HP Indigo. Die Bestandteile des Fixieröls zeigt Tabelle 15.

¹¹⁵ Vecteezy: Free Vector Art

Bestandteile des Fixieröls	
-	Polydimethylsiloxan(CAS: 63148-62-9) Anteil: 85-95 %
-	Organo-funktionelle Polydimethylsiloxan(CAS: 99363-37-7) Anteil: 5-15 %

Tabelle 15: Technische Daten Silikonöl Xerox Igen¹¹⁶

Neuere Digitaldruckmaschinen arbeiten gänzlich ohne Fixieröl, wie z.B. Systeme mit dem chemisch hergestellten EA-Toner von Xerox.

9.1.1.2 Flüssigtoner und Hilfsstoffe¹¹⁷

Das Flüssigtonerverfahren wird einzig durch die Digitaldruckmaschine HP Indigo repräsentiert. Dieser Flüssigtoner (ElektroInk®) besteht aus Tonerteilchen, welche in einer dielektrischen, nicht polaren Flüssigkeit dispergiert sind. Die triboelektrisch aufgeladenen Tonerteilchen werden auf einen – mit entgegengesetzter Polarität - elektrostatisch aufgeladenen Halbleiter übertragen. Von diesem Halbleiter (der Fotoleitertrommel) wird der Toner mittels einer auf 100°C temperierten Gummiwalze auf das Substrat übertragen. Durch die Temperierung der Gummiwalze wird einerseits der Toner bei Kontakt mit dem Bedruckstoff auf diesem fixiert und zum anderen wird das Lösemittel verflüchtigt.¹¹⁸ Der in der HP Indigo eingesetzte Flüssigtoner wird aus drei Komponenten gemischt:¹¹⁹

- Tintenkonzentrat,
- Bildbearbeitungsöl und
- Bildbearbeitungsagent

¹¹⁶ Xerox GmbH: Datenblatt Fixieröl

¹¹⁷ Hewlett-Packard Development Company: HP Indigo 7800 Digital Press 2014;
Hewlett-Packard Development Company: MSDS: HP Indigo Digital Press Ink

¹¹⁸ Dörsam Edgar: Digitale Drucktechnologie 2011

¹¹⁹ Hewlett-Packard Development Company: Benutzerhandbuch HP Indigo 7000 Digital Press, S. 93

Tintenkonzentrat

Das von der HP Inc. eingesetzte Tintenkonzentrat ist eine Suspension von in Bildbearbeitungsöl dispergierten Pigmentteilchen. Es gibt neben den vier Grundfarben Cyan, Magenta, Yellow und Schwarz, noch einige Sonderfarben wie z.B. Weiß, Orange und Grün. In dieser Versuchsreihe werden lediglich die vier Grundfarben eingesetzt. Die Zusammensetzung eines solchen Tintenkonzentrats zeigt Tabelle 16:

Bestandteile des Tintenkonzentrats	
-	Isoparaffinischer Kohlenwasserstoff (CAS: 90622-58-5 / 292-460-6) Anteil: <80%
-	Geschäftsgeheimnis Anteil: <15%
-	Pigmente Anteil: <5%
-	Fluorkunststoff (CAS: 9002-84-0) Anteil: <1%

Tabelle 16: Technische Daten Tintenkonzentrat HP Indigo 7800

Neben den farbgebenden Bestandteilen ist der Hauptbestandteil ein isoparaffinisches Kohlenwasserstoffgemisch. Der Hersteller stuft die Rezeptur als „Geschäftsgeheimnis“ ein und legt auch auf Anfrage hin keine Details offen.

Ebenso wird auch das Bildbearbeitungsagent zugefügt, welches für die notwendige elektrische Ladung der Pigmentteilchen zuständig ist.

Bildbearbeitungsöl

Beim Bildbearbeitungsöl handelt es sich um eine isolierende Flüssigkeit. In der Druckmaschine wird das Bildbearbeitungsöl als Trägerflüssigkeit für die Pigmente genutzt. Die nicht leitfähige Flüssigkeit agiert als Dispergiermittel und soll verhindern, dass die triboelektrisch aufgeladenen Tonerteilchen in ihrer Ladung beeinflusst werden und sich u.U. gegenseitig anziehen und agglomerieren. Das Farbkonzentrat wird in der Maschine mit dem Bildbearbeitungsöl vermischt und dabei auf die gewünschte Konzentration gebracht. Die Konzentration wird von der Druckmaschine ständig geregelt. Das Bildbearbeitungsöl wird nicht auf das Drucksubstrat übertragen, sondern lediglich die Farbpigmente.

Bestandteile des Bildbearbeitungsöls	
-	Isoparaffinischer Kohlenwasserstoff (CAS: 90622-58-5 / 292-460-6) Anteil: <100%
-	Raffinierte Petrochemikalie (CAS: 8042-47-5 / 232-455-8) Anteil: <1%

Tabella 17: Technische Daten Bildbearbeitungsöl¹²⁰

Bildbearbeitungsagent

Damit die Pigmente auf den Bildbereichen haften bleiben und auf den Nicht-Bildbereichen abgestoßen werden, muss die richtige Leitfähigkeit der Pigmente gewährleistet werden. Der Bildbearbeitungsagent hat die Aufgabe, die Pigmente elektrostatisch aufzuladen.

Bestandteile des Bildbearbeitungsagents	
-	Isoparaffinischer Kohlenwasserstoff (CAS: 90622-58-5 / 292-460-6) Anteil: <90%
-	Geschäftsgeheimnis Anteil: <10%
-	Geschäftsgeheimnis Anteil: <5%

Tabella 18: Technische Daten Bildbearbeitungsagent¹²¹

Wie bereits erwähnt, legt der Hersteller keine Rezepturen offen. Es liegt jedoch nahe anzunehmen, dass im Bildbearbeitungsagent Polymere, die i.A. sehr gute elektrische Isolationseigenschaften und ggf. auch gute Gleiteigenschaften aufweisen, eine triboelektrische Aufladung der Farbpartikel regulieren.

9.1.1.3 Flüssigfarben

Beim Inkjetverfahren wird niedrigviskose Tinte mittels Düsen direkt und gezielt auf den Bedruckstoff übertragen. Abhängig vom Einsatzzweck bzw. Bedruckstoff gibt es verschiedene Arten von Tinten wie bspw. lösemittelhaltige, wässrige, UV-härtende und Feststofftinte. Die am Markt verbreitetsten und dominierendsten sind wässrige Tinten auf Farbstoffbasis und wässrige Tinten auf Pigmentbasis. Ebenfalls

¹²⁰ Hewlett-Packard Development Company: Datenblatt Bildbearbeitungsagent

¹²¹ ebd.

in die Untersuchung einbezogen werden Feststofftinten, welche von der Fa. Xerox angeboten werden.

wasserbasierte Farbstofftinte

Die Bestandteile dieser Tinte sind Wasser, Zusatzstoffe und wasserlösliche Farbstoffe¹²². Bei den Zusatzstoffen handelt es sich um Stoffe, welche ein Eintrocknen der Farbe verhindern, Detergentien zur Einstellung der Oberflächenspannung und zur Einstellung des PH-Wertes.¹²³

Bestandteile der Farbstofftinte	
-	Wasser Anteil 83-90%
-	Farbstoff Anteil 2,5-5%
-	Additiv zum Verhindern der Eintrocknung der Tinte (z.B. Pyrrolidon) Anteil 8-12%
-	Detergentien

Tabelle 19: Bestandteile Farbstofftinte

wasserbasierte Pigmenttinte

Diese Tinten gleichen in ihrer Zusammensetzung den Farbstofftinten bis auf den Unterschied, dass sie anstelle der wasserlöslichen Farbstoffe nicht wasserlösliche Pigmente enthalten.

Bestandteile der Pigmenttinte	
-	Wasser Anteil 83-90%
-	Pigmente Anteil 2,5-5%
-	Additiv zum Verhindern der Eintrocknung der Tinte (z.B. Pyrrolidon) Anteil 8-12%
-	Detergentien

Tabelle 20: Bestandteile Pigmenttinte

¹²² Canon GmbH: High-Quality 12-Color Pigment Inks to Satisfy Demanding Professionals

¹²³ Dr. E. Kuckert: Tinten für Ink-Jet Verfahren

Feststofftinte

Feststofftinten als Farbmittel werden als Kartuschen mit in Form gebrachttem Wachs und Harz geliefert, welche bei Raumtemperatur fest sind. Die eingesetzte Tinte besteht aus Wachs, einem Harz und dem farbgebenden Mittel.

Bestandteile der Feststofftinte	
-	Wachs Anteil: 50-70%
-	Resin (Harz) Anteil: 10-30%
-	Farbstoffe Anteil: <10%

Tabelle 21: Technische Daten Feststofftinte¹²⁴

9.1.2 Drucksubstrate

In den Anfangsjahren des Digitaldrucks wurden ausschließlich Druckpapiere eingesetzt, welche eine Zertifizierung für das jeweilige Drucksystem erhalten haben. Zertifizierung bedeutet durchaus, dass die Papiere eine verfahrensspezifische Oberflächenbehandlung erhalten haben können, z.B. Primer zur Aktivierung der Oberfläche oder zum Schließen von Poren, zum Verstärken oder Vermindern der Saugfähigkeit des Papiers. Diese Restriktion sollte Bedruckstoff bedingten Druckproblemen entgegenwirken, da Papiere in Digitaldrucksystemen anderen Belastungen (insbesondere thermischen) ausgesetzt sind und spezielle Oberflächeneigenschaften voraussetzen müssen. Diese Zertifizierungen beziehen sich lediglich auf den Druckprozess und die Haftung der Druckfarben auf dem Papier. Es ist keine Aussage über die Verarbeitbarkeit der Papiere, respektive der Kaschierbarkeit und der Haftung des Klebstoffs. Für Flüssigtoner zertifizierte Papiere sind grundsätzlich vorbehandelt, da es sonst zu Haftungsproblemen der Druckfarbe kommen würde.

Diese Zertifizierungen haben sich deutlich beim Papierpreis bemerkbar gemacht. Spezielle Digitaldruckpapiere waren hochpreisiger als (im direkten Vergleich) Standardoffsetdruckpapier. Aktuell sind sowohl Anwender als auch Papierhersteller

¹²⁴ Xerox GmbH: Datenblatt Solid Ink

dazu übergegangen, handelsübliche Offsetpapiere im „Trial-and-Error“-Prinzip auf Digitaldruckmaschinen auszutesten und bei ausreichender Druckqualität diese Papiere den teuren Papieren vorzuziehen.¹²⁵ Für Druckereibetriebe, insbesondere für solche, die konventionelle und Digitaldruckmaschinen gleichzeitig betreiben, ist das Vorhalten maschinen- und verfahrensspezifischer Papiere kostspielig und logistisch aufwendig. Sie verlangen einheitliche, verfahrensunabhängig einsetzbare Papiere. Aktuell kommen die Hersteller von Digitaldruckmaschinen dieser Forderung zunehmend auch in der Form nach, dass den Digitaldruckwerken, Einheiten zur Oberflächenbehandlung des Bedruckstoffs vorgeschaltet werden, in denen ein Primer für die Druckfarbe aufgetragen wird. Für einen Kaschierverbund besteht hierdurch kein Unterschied zu zertifizierten Papieren. In beiden Fällen, zertifiziertes Papier und inline geprimertes Papier, muss an den unbedruckten Stellen des Bedruckstoffs eine Adhäsion zwischen Primer und Klebstoff entstehen.

Zwischenzeitlich gibt es ein fast unüberschaubares Angebot an Digitaldruckpapieren. Alleine das „Rochester Institute of Technology“¹²⁶ verwaltet in seiner Papierdatenbank über 1.300 Papiere, welche für den Digitaldruck getestet und zertifiziert worden sind¹²⁷. Für die Versuchsreihen werden exemplarisch gezielt drei Klassen von Papieren gewählt: Papiere mit einer glänzend gestrichenen Oberfläche, Papiere mit einer matt gestrichenen Oberfläche und ungestrichene Papiere welche nur kalandriert sind. Unter den für die vorliegenden Untersuchungen ausgewählten Papieren befinden sich zertifizierte Papiere jeweils für Trockentonersysteme, für Flüssigtonersysteme und für Inkjetsysteme.

Diese Auswahl an Papieren soll helfen, eine Aussage dahingehend zu treffen, inwieweit der Faktor der Papieroberfläche (glänzend, matt, kalandriert) Einfluss nimmt auf die Haftfestigkeit. Darüber hinaus soll beobachtet werden, inwieweit (Druck-) zertifizierte Papiere bzw. Papiere ohne Zertifizierung in ihren

¹²⁵ Gesprächsnotiz basierend auf einem Telefonat, geführt vom Verfasser. 30.01.2013, Klaus von Eichhorn, Key Account Manager bei Papierfabrik Scheufelen GmbH + Co. KG 2013

¹²⁶ Private Hochschule in Rochester, USA. Testet und zertifiziert als Dienstleister die Bedruckbarkeit von Papieren auf verschiedenen Digitaldrucksystemen.

¹²⁷ Aktueller Stand im Februar 2016

Haftungsergebnissen korrespondieren. Die ausgewählten Papiere sind in Tabelle 22 dokumentiert. Die gewählten Grammaturen der Papiere orientieren sich an der gängigen Grammatur für kaschierte Broschurenumschläge, wie z.B. für Taschenbücher. Diese liegt bei $200\text{g}/\text{m}^2$. Eine gewisse Abweichung ist vorhanden, da (herstellerspezifisch) nicht alle Papiere in derselben Grammatur verfügbar sind. Die Papiergrammatur nimmt bei dieser Testreihe eine untergeordnete Rolle ein und wird angesichts geringer Unterschiede bei den untersuchten Papieren als vernachlässigbar kleiner Einflussfaktor angesehen. Die Haftung zwischen der Kaschierfolie (Adhäsion) und dem Papier findet hauptsächlich an der Papieroberfläche bzw. im oberflächennahen Bereich statt, hervorgerufen durch die Penetration der Klebstoffe und der Farben. Für kaschierte Broschurenumschläge kommen in der Regel gestrichene Papiere, mit einer flächenbezogenen Masse von $170\text{g}/\text{m}^2$ bis ca. $380\text{g}/\text{m}^2$ in Betracht. Es kommen glänzend oder auch matt gestrichene Papiere zum Einsatz.

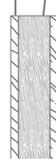
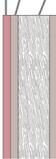
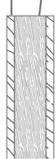
Synonym	Hersteller	Produktname	Grammatur [g/m ²]	Dicke [µm]	Schichtaufbau
ungestrichen/kalandriert					
K1	Felix Schoeller Holding GmbH	E-Pure ungestrichen	190	165	
K2	Papyrus Deutschland GmbH	Digigold icewhite	190	179	
matte Oberfläche					
MG1	Felix Schoeller Holding GmbH	E-Photo HP Pro Matt	190	169	
MG2	Papyrus Deutschland GmbH	Digigold Classic coated silk	200	185	
MG3	Felix Schoeller Holding GmbH	Jet Speed Silk	200	192	
glänzende Oberfläche					
GG1	Felix Schoeller Holding GmbH	E-Photo HP Pro Glossy	260	247	
GG2	Papyrus Deutschland GmbH	Digigold Classic coated gloss	200	165	
GG3	Felix Schoeller Holding GmbH	Jet Speed Gloss	200	181	
CGG	Felix Schoeller Holding GmbH	Jet Speed Chromegloss	200	194	

Tabelle 22: ausgewählte Druckpapiere für die Kascherversuche¹²⁸

Im Folgenden werden die einzelnen Papiere kurz erläutert. Der Vergrößerungsfaktor der dargestellten Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen wurde an jedes Papier individuell angepasst, bis die Oberflächenstruktur deutlich erkennbar war. Insofern ist die Auflösung bei den einzelnen Aufnahmen unterschiedlich, jedoch sind die Größenverhältnisse jeweils dem mitgedruckten Längenmaßstab zu entnehmen.

a) Ungestrichene Papiere

Bei den ungestrichenen Papieren kommen die Druckfarben, respektive der Kaschierklebstoff, in direkten Kontakt mit den Papierfasern. Flüssigkeiten schlagen direkt weg und dringen in den Faserstoff ein, was bei der Verankerung von Klebstoffen zu Vorteilen führt. Dieses wird an den Werten der Haftmessungen und der Art des Bruchbildes deutlich. Auf den REM-Aufnahmen sind die durch den Kalanderglätteten Fasern zu erkennen (siehe Abb. 45 und Abb. 46).

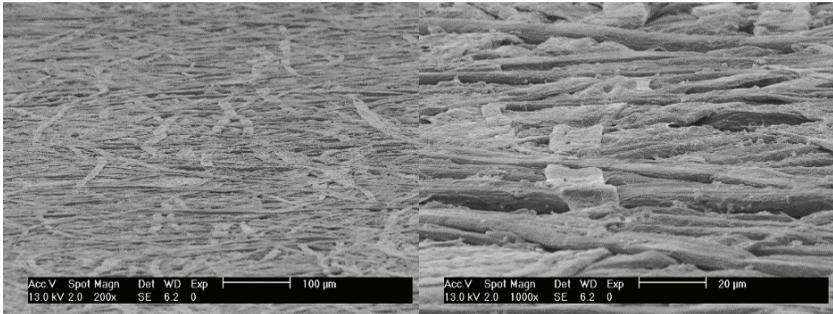


Abb. 45: REM-Aufnahme Papier K1; Vergrößerung 200x (li) und 1000x (re)

¹²⁸ Papyrus Deutschland GmbH & Co. KG: Digitaldrucksortiment; Papyrus Deutschland GmbH & Co. KG: Digigold Classic Coated Silk; Papyrus Deutschland GmbH & Co. KG: Digigold Icewhite; Felix Schoeller Holding GmbH & Co. KG: Jet Speed; Felix Schoeller Holding GmbH & Co. KG: E-Photo

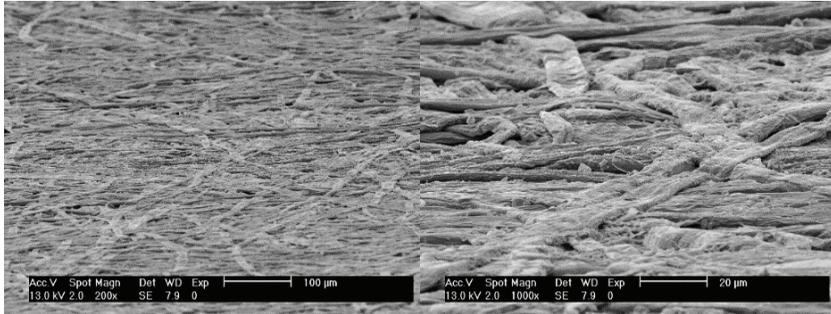


Abb. 46: REM-Aufnahme Papier K2; Vergrößerung 200x (li) und 1000x (re)

b) Bedruckstoffe mit matter Oberfläche

Das Papier MG1 ist ein Fotopapier, welches beidseitig eine 8µm dicke matte PE-Beschichtung aufweist. Diese Beschichtung soll dem Papier einen hochwertigen optischen und haptischen Eindruck verleihen. Auf dieser Kunststoffbeschichtung befindet sich eine Primer-Grundierung. Ohne diesen Haftvermittler würde sich das Papier wie eine PE-Folie verhalten und es käme zu Haftungsproblemen der Druckfarbe, auf Grund der geringen Oberflächenspannung und der unpolaren Eigenschaften von Polyethylen.

Das Fotopapier mit der matten PE-Beschichtung weist eine homogene Oberfläche auf (siehe Abb. 47). Die PE-Beschichtung hat die bei den anderen gestrichenen Papieren zu sehende Körnigkeit zugeflossen und geebnet. Auf Grund der Glätte und der geringen Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche von etwa 20µm gibt es hier keine Verankerungspunkte für eine mechanische Haftung. Das Polyethylen weist keine offenen Poren bzw. Unterbrechungen auf, was bedeutet, dass Druckfarben und Klebstoffe nicht mit den Papierfasern in Kontakt treten. Eine Adhäsion entsteht zwischen PE-Beschichtung und Druckfarbe resp. zwischen PE-Beschichtung und Kaschierklebstoff.

Die Oberflächen der beiden matt gestrichenen, unbeschichteten Papiere (MG2 und MG3) weisen eine feine Körnigkeit auf. Die Oberflächenkörnung des Papiers MG2 hat eine Größe von etwa 200 bis 500nm (Abb. 48). Die Körnigkeit des Papiers MG3, welches für den Inkjetdruck zertifiziert ist, weist eine deutlich feinere Körnigkeit auf. Hier liegen die Korngrößen im Bereich von etwa 100nm (Abb. 49).

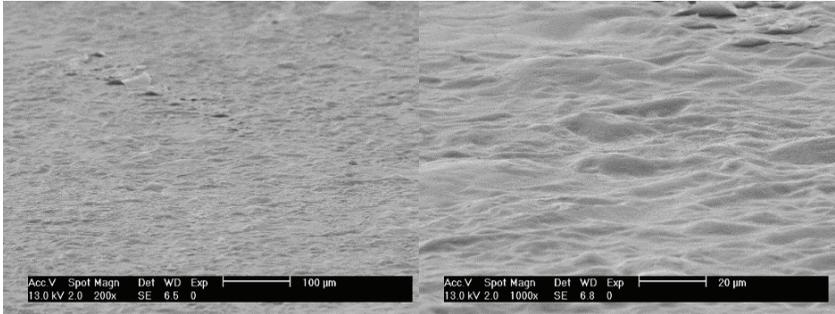


Abb. 47: REM-Aufnahme Papier MG1; Vergrößerung 200x (li) und 1000x (re)

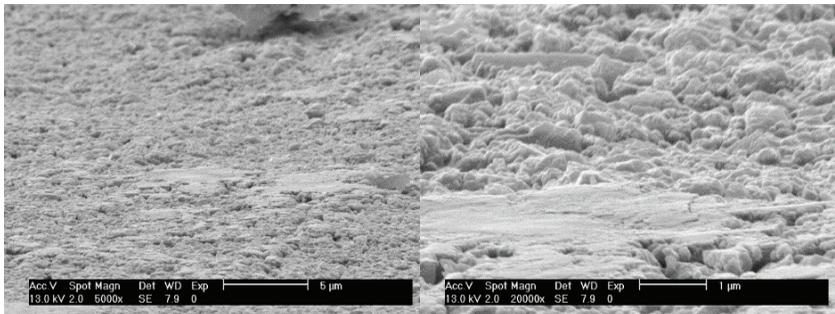


Abb. 48: REM-Aufnahme Papier MG2; Vergrößerung 5.000x (li) und 20.000x (re)

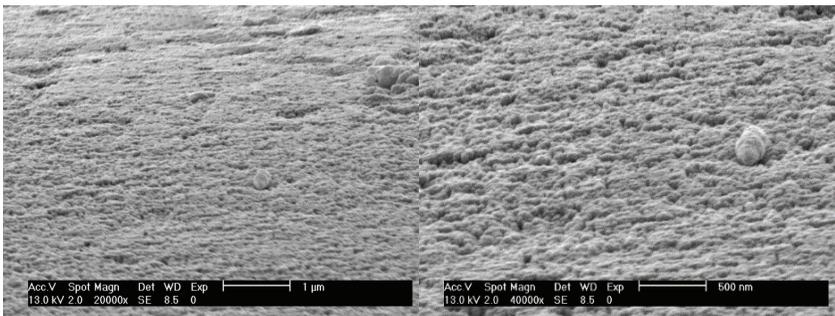


Abb. 49: REM-Aufnahme Papier MG3; Vergrößerung 20.000x (li) und 40.000x (re)

c) Substrate mit glänzender Oberfläche

Bei dem PE-beschichteten Papier mit der glänzenden Oberfläche (GG1) ist eine ähnliche homogene Oberflächenstruktur zu erkennen wie bei dem PE-beschichteten matten Papier (MG1). Bei dem glänzenden Papier sind die Oberflächenstrukturen kleiner als bei dem matten. Die Unregelmäßigkeiten der Oberfläche liegen im Bereich von 200 bis 500nm (Abb. 50). Bei den gestrichenen Papieren (GG2 und GG3) ist ebenfalls eine Körnigkeit der Oberfläche zu erkennen, die jedoch im Vergleich zu den matten Papieren (MG2 und MG3) feiner aufgelöst ist – etwa 100nm bei Papier GG2 (Abb. 51) und etwa 70nm bei Papier GG3 (Abb. 52). Beim Chromegloss gestrichenen Inkjetpapier (CGG) ist die Oberflächenkörnigkeit noch feiner ausgeprägt mit einer Größe von etwa 20–30nm (Abb. 53).

Durch die feinere Körnigkeit, welche alle glänzend gestrichenen Papiere im Vergleich zu den matten aufweisen, wird eine geringere diffuse Reflexion und damit eine glänzendere Oberfläche erzeugt. Diese Unterschiede in der Oberfläche könnten einen Einfluss auf die Hafteigenschaften des Klebstoffs ausüben.

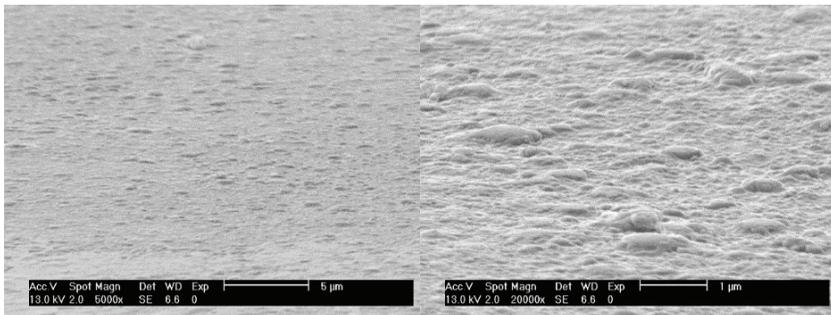


Abb. 50: REM-Aufnahme Papier GG1; Vergrößerung 5.000x (li) und 20.000x (re)

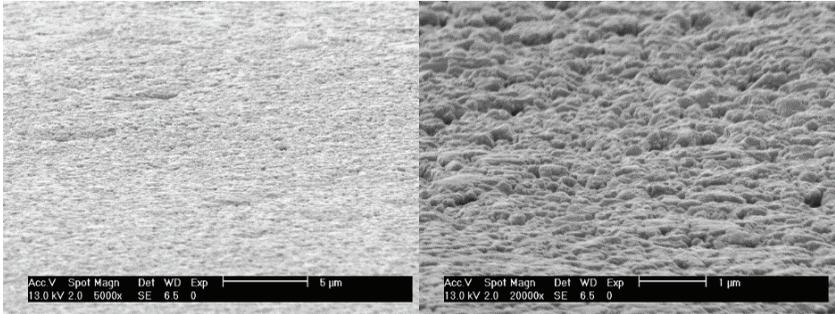


Abb. 51: REM-Aufnahme Papier GG2; Vergrößerung 5.000x (li) und 20.000x (re)

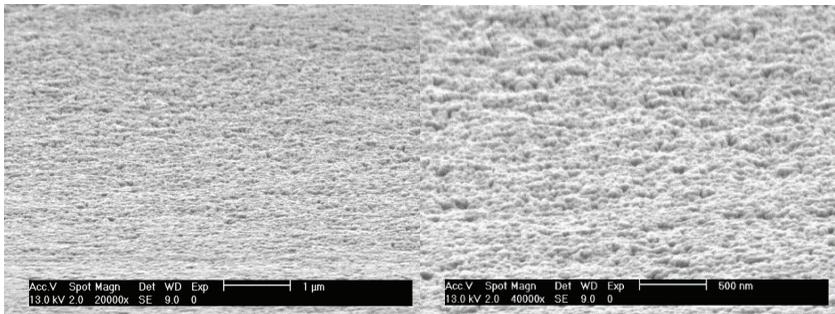


Abb. 52: REM-Aufnahme Papier GG3; Vergrößerung 20.000x (li) und 40.000x (re)

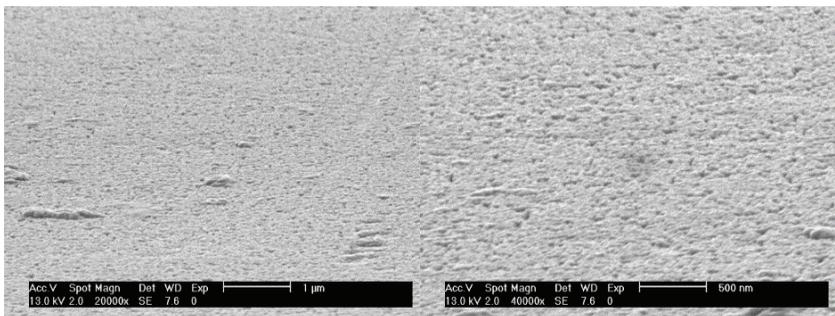


Abb. 53: REM-Aufnahme Papier CGG; Vergrößerung 20.000x (li) und 40.000x (re)

9.1.3 Kaschierfolien

In der Testreihe werden die bedruckten Bogen mit solchen Polypropylenfolien kaschiert, die standardmäßig bei der Herstellung von Verbundmaterialien eingesetzt werden. Bei extrudierten PP-Folien wird unterschieden, ob es sich um

monoaxial verstreckte Castfolien oder biaxial verstreckte Folien handelt. Castfolien sind Gießfolien, welche durch Extrusion über eine Breitschlitzdüse auf eine temperierte Walze hergestellt werden. Die folgenden Walzen laufen schneller als die erste Walze, sodass Castfolien stets monoaxial verstreckt sind (OPP). Biaxial verstreckte Folien (BOPP) entstehen, wenn die Folie in einem Reckrahmen bzw. durch beidseitig ziehende Kluppenketten zusätzlich orthogonal zur Bahnlaufrichtung gedehnt wird.^{129 130 131}

Bei den hier eingesetzten Kaschierfolien handelt es sich um monoaxial verstreckte/orientierte Polypropylenfolien. Die Folien werden marktüblich zur Kaschierung von Papieren eingesetzt. Bei dem Folienaufbau muss unterschieden werden zwischen den eingesetzten Folien für die Nasskaschierung und den Folien für die Thermokaschierung. Für die Nasskaschierung wird eine extrudierte Polypropylenfolie mit einer Dicke von 20µm verwendet. Die Folie ist beidseitig siegelfähig und einseitig Corona vorbehandelt, um eine bessere Haftung des Kaschierklebstoffs zu gewährleisten.

Folien für die Thermokaschierung sind ebenfalls etwa 20µm dick aus BOPP und werden zumeist mit dem Thermoklebstoff (EVA: Ethylenvinylacetatcopolymer) coextrudiert. Dieser Klebstoff verhält sich bei Raumtemperatur fest und nicht klebrig, bei Verarbeitungstemperatur (ca. 130°C - 170°C) schmelzflüssig und klebrig.

9.1.4 Kaschierklebstoffe

Für die Testreihe werden die mit dem Testimage bedruckten Papiere in verschiedenen Kaschierverfahren veredelt. Die Wahl der Kaschierverfahren fällt auf Verfahren, welche in Weiterverarbeitungsbetrieben üblicherweise für das Kaschieren von bedrucktem Papier eingesetzt werden. Dabei wird beachtet, dass es

¹²⁹ Ahlhaus: Verpackung mit Kunststoffen 1997, S. 113

¹³⁰ Hiemer: Kluppenkette mit stufenlos einstellbarer Teilung zur simultanen, biaxialen Behandlung von Folienbahnen

¹³¹ Hensen et al.: Handbuch der Kunststoff-Extrusionstechnik 1986-1989, S. 243ff

sich um Bogendrucke auf Papier als Bedruckstoff handelt.¹³² Diese gewählten Kaschierverfahren werden aktuell sowohl für Offsetdrucke eingesetzt als auch für Digitaldrucke. Es werden folgende Klebstoff- und Verfahrenskombinationen verwendet:

Kurzbezeichnung	Bezeichnung des Kaschierverfahrens und des Klebstoffs
1K-Dis	Nasskaschierung mit 1-Komponenten-Copolymer-Dispersionsklebstoff
2K-PUR	Nasskaschierung mit einem 2-Komponenten, lösemittelhaltigen Polyurethan-Klebstoff
Hotmelt	Thermokaschierung mit einem thermoplastischen Schmelzklebstoff
PUR-Hotmelt	Thermokaschierung mit einem reaktiven Polyurethan Schmelzklebstoff

Tabelle 23: Eingesetzte Kaschierverfahren und Kaschierklebstoffe

9.1.4.1 Nasskaschierung mit 1-K-Copolymer-Dispersionsklebstoff

Eingesetzt wird der Klebstoff „Jowacoll 764.40“ des Herstellers Jowat SE. Bei diesem Klebstoff handelt es sich um einen Dispersionsklebstoff, bei welchem Polymerteilchen in Wasser dispergiert sind. Die Polymerteilchen haben einen Durchmesser von etwa 0,1 bis 1µm. Es ist ein Klebstoff für Kaschierungen von orientierten Polypropylen-, Polyethylenterephthalat-, Polyamid- und Acetatfolien. Optional kann dem Klebstoff ein Vernetzer (Jowat 195.70) zugesetzt werden, worauf bei den vorliegenden Versuchen verzichtet wird, da genug Zeit für die Aushärtung der Klebstoffe gelassen wird.

¹³² Für Rollenware und für Folien werden andere Verfahren eingesetzt und es besteht die Möglichkeit, für Folien andere Klebstoffe einzusetzen.

1K-Dis	
Viskosität, 4mm Düse ¹³³	16s
Festkörperanteil	49%
Dichte	1,02 g/cm ³
pH-Wert	6,5
farblos transparent	
Vernetzung abgeschlossen nach 3 Tagen	

Tabelle 24: Stoffdaten Klebstoff 1K-Dis

Das Wasser, welches die kohärente Phase bildet, ist auch für eine gute Benetzung erforderlich. Die Polymere bilden die inkohärente, disperse Phase. Die dispergierten Partikel sind Copolymere. Unter einem Copolymer bzw. Mischpolymer ist ein Polymer zu verstehen, das sich aus verschiedenartigen (mindestens zwei) Monomereinheiten aufbaut. Bei dem hier eingesetzten Copolymer handelt es sich um Polyacrylat, welches durch eine Esterbindung mit einem Derivat der Methacrylsäure verknüpft ist. Um ein Zusammenfließen der dispergierten Teilchen zu verhindern, und für die Stabilisierung der Dispersion wird ein Emulgator zugesetzt.¹³⁴ Die Filmbildung entsteht durch Koaleszenz, herbeigeführt durch eine Verdunstung des Wassers bzw. einer Substrataufnahme der flüssigen Phase durch das Papier. Dabei entstehen zwischen den Partikeln auf Grund des immer kleiner werdenden Abstands in der Substratoberfläche Kapillarkräfte und sie verkleben miteinander. Gleichzeitig werden Haftkräfte, in hoher Form von mechanischen Adhäsionskräften gebildet.¹³⁵

Beim Einsatz von Dispersionsklebstoffen ist es zwingend notwendig, dass einer der beiden Verbundpartner eine poröse Oberfläche besitzt, welche das Wasser aufnimmt. Nicht saugende Materialien, wie z.B. Folien, können mit Dispersionsklebstoffen nicht geklebt werden.

¹³³ Ermittelt mit einem 4mm-DIN-Auslaufbecher nach DIN 53211

¹³⁴ Gesprächsnotiz basierend auf einem Telefonat, geführt vom Verfasser. 12.08.2016, Schmidt Christian, Entwicklungsleiter bei Jowat SE 2016

¹³⁵ Habenicht: Kleben 2009, S. 201

9.1.4.2 *Nasskaschierung mit 2-K-lösemittelhaltigem-Polyurethanklebstoff*

Bei diesem Klebstoff sind Polyurethane mit reaktiven Hydroxyl-Endgruppen und Polyisocyanaten als Vernetzer in einem organischen Lösemittel gelöst. Das Lösemittel wird durch Adsorption oder Verdunstung entfernt, wodurch sich die reaktiven Gruppen annähern und reagieren. Das weitere Abbinden erfolgt durch die chemische Reaktion, wie sie in Kapitel 3.3.2 beschrieben ist. Eingesetzt werden hier der Klebstoff Novacote SG-4104 als Harz und der Vernetzer CA-916.

	Harz	Vernetzer
Festkörperanteil	50±2%	50±2%
Viskosität [mPas]	700-1300	100-150
Dichte [g/cm ³]	0,98-1,00	1,04-1,08
Massenanteil des Vernetzers [Gew %]		4,3
Aussehen	Schwach trübe	Klar bis schwach gelb
Auftragsgewicht trocken	8 g/m ²	
Lösemittel	Methylethylketon oder Ethylacetat	

Tabelle 25: Stoffdaten 2K-PUR

9.1.4.3 *physikalisch abbindender Schmelzklebstoff*

Kaschierfolien, welche bei der Thermokaschierung eingesetzt werden, enthalten eine auf die Folie aufgetragene Schicht Schmelzklebstoff, welcher bei Raumtemperatur in fester Form vorliegt und kein Lösemittel enthält. Anschließend wird der Klebstoff während des Kaschierprozesses durch Wärmezufuhr verflüssigt und die Kaschierfolie mit dem zu kaschierenden Substrat in Kontakt gebracht. Der flüssige Klebstoff verbindet sich mit der Oberfläche des Substrats und kann – abhängig von der Porosität und Oberflächenbeschaffenheit – mehr oder weniger intensiv in seine Oberfläche eindringen. Durch Abkühlen geht der Klebstoff wieder in den festen Aggregatzustand über und verbindet die beiden Materialien dauerhaft miteinander. Der Klebstoff gehört zu der Gruppe der Thermoplaste und enthält neben Polymeren Harze, Weichmacher, Füllstoffe und Wachse.¹³⁶

¹³⁶ Habenicht: Kleben 2009, S. 206

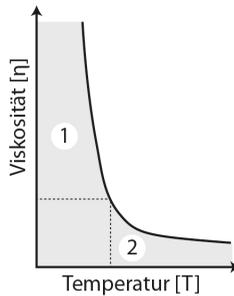


Abb. 54: Temperatur-Viskositäts-Relation bei Schmelzklebstoffen¹³⁷

In Abb. 54 ist schematisch eine Viskositätskurve eines Schmelzklebstoffs dargestellt. Die anfänglich hohe Viskosität zeigt im ersten Temperaturbereich (1) eine sehr starke Temperaturabhängigkeit. Leichte Temperaturveränderungen führen zu starken Viskositätsveränderungen des Klebstoffs. Im Temperaturbereich 2 wirkt sich eine Temperaturveränderung nicht mehr so stark auf die Viskosität aus. Der Viskositätsverlauf von Thermoplasten ist für das Erhitzen und Abkühlen, abgesehen von einer Hysterese, annähernd identisch. Das enthaltene Copolymer ist ein Ethylvinylacetat-Copolymer (EVA).

Der Einsatz von Schmelzklebstoffen beinhaltet einige Vor- und Nachteile. Durch die Freiheit von Lösemitteln (keine Brandgefahr) und flüchtigen Monomeren reduzieren sich die Anforderungen an Umwelt- und Arbeitsschutz.

Vorteile:

- Geringere Anforderungen an Umwelt- und Arbeitsschutz, da keine Lösemittel und keine flüchtigen Monomere vorhanden
- Kein Mischen von Komponenten notwendig
- Kurze Abbindezeiten, dadurch hohe Produktionsgeschwindigkeiten möglich
- Thermisch lösbare und wiederherstellbare Klebungen (Abhängig vom eingesetzten Schmelzklebstoff)

¹³⁷ Habenicht: Kleben 2009, S. 211

Nachteile:

- Neigung zum Kriechen unter mechanischer Belastung durch den thermoplastischen Charakter
- Thermische Belastung der Fügeiteile, insbesondere der orientierten PP-Folie
- Aufschmelzanlage erforderlich
- Geringe Temperaturbeständigkeit
- Neigung zur Versprödung bei tiefen Temperaturen

9.1.4.4 *Reaktiver Polyurethan-Schmelzklebstoff*

Die zweite Kaschierfolie für die Thermokaschierung enthält einen reaktiven Schmelzklebstoff. Dabei handelt es sich um eine Kombination aus physikalisch abbindenden und chemisch reagierenden Systemen. Reaktive Schmelzklebstoffe sind eine Weiterentwicklung herkömmlicher Schmelzklebstoffe und finden speziell bei Digitaldruckprodukten Einsatz. Der Klebstoff wird durch Erwärmen in einen verarbeitungsfähigen Zustand versetzt und mit dem Substrat, resp. dem Papier in Kontakt gebracht. Nach der Applikation des Klebstoffs auf dem Substrat erfolgt eine Vernetzungsreaktion, welche aus dem ehemaligen Thermoplast, ein Elastomer entstehen lässt, ein nicht wieder schmelzbares Polymer.¹³⁸

Reaktive Schmelzklebstoffe können bei erheblich niedrigeren Temperaturen appliziert werden (50-100°) als thermoplastische Schmelzklebstoffe (bis ca. 240°). Der Schmelzklebstoff beinhaltet Prepolymere mit einem Überschuss an Isocyanatgruppen. Die noch vorhandenen reaktionsfähigen Gruppen vernetzen unter katalytischem Einfluss der in dem Papier befindlichen Restfeuchte.¹³⁹

¹³⁸ Habenicht: Kleben 2009, S. 211

¹³⁹ Silva, Lucas Filipe Martins da et al.: Handbook of adhesion technology 2011, S. 332ff

9.2 Untersuchungsmethoden

9.2.1 Ermittlung der Oberflächenspannung

Mit einem Kontaktwinkelmessgerät lässt sich der Randwinkel einer Flüssigkeit auf einem Substrat bestimmen.¹⁴⁰ Bei zwei unterschiedlichen Flüssigkeiten mit bekannten Stoffdaten ermittelt die zugehörige Auswertesoftware ausgehend von der Young'schen Gleichung die Oberflächenspannung des Substrats bzw. ihre polaren und dispersen Komponenten. Hinterlegt sind dabei halbempirische Modelle, z.B. das bereits in Kapitel 3.2 beschriebene Modell von Owens, Wendt, Rabel & Kaelble, für den Zusammenhang der beiden Komponenten und der Oberflächenspannung.

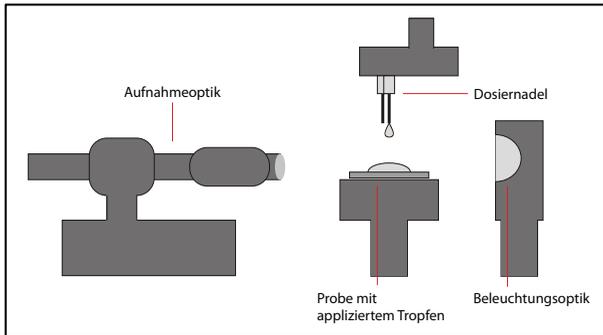


Abb. 55: Prinzip der Kontaktwinkelmessung

Eine Probe des Substrats wird plan auf einem Objektträger befestigt, wobei beachtet werden muss, die Probenoberfläche nicht zu berühren, um die Messung durch evtl. Verschmutzungen nicht zu verfälschen. Mit Hilfe des Tropfenmoduls werden auf die Probenoberfläche Tropfen der Testflüssigkeiten gesetzt. Die Tropfen sollten ein Volumen von 2 bis 10 μl haben. Bei zu großen Tropfen kann durch das Eigengewicht die Tropfenform abflachen und die Messwerte können verfälscht werden. Das konkrete Volumen hängt von der jeweiligen Flüssigkeit ab. Auf dem Substrat bildet der Tropfen, abhängig von der Oberflächenspannung, eine

¹⁴⁰ Als Gerät wurde das Kontaktwinkelmessgerät OCA 30 des Herstellers Dataphysics eingesetzt.

kugelförmige oder elliptische Kontur ab. Durch eine diffuse Hintergrundausleuchtung von einer Seite, kann von der anderen Seite ein Bild von der Tropfenkontur erstellt werden. An dieser Kontur wird eine Tangente gesetzt, an welcher der Kontaktwinkel abgelesen wird. Für eine Fehlerminimierung bei der Durchführung der Messungen sind einige Punkte ausschlaggebend. Die Bestimmung des Tangentenwinkels ist auf Grund von thermodynamischen und optischen Unschärfen am Tangentialpunkt mit Ableseungenauigkeiten verbunden, die auch durch sehr sorgfältige Versuchsdurchführung nicht ganz substituiert werden können. Deswegen wird der Tangentialwinkel als Mittelwert aus mehreren Proben bestimmt. Ebenso besteht die Gefahr des Anlösens des Oberflächenstrichs der Versuchssubstrate durch die Testflüssigkeiten. Deswegen wird der Augenblick unmittelbar nach dem Aufsetzen eines Tropfens – bei Erreichen des quasistationären Zustands – auf einem Foto festgehalten und der Tangentenwinkel anhand des Fotos bestimmt.

Zur Ermittlung der Oberflächenspannung wird auf die Testflüssigkeiten Wasser und Formamid zurückgegriffen. Diese beiden Flüssigkeiten weisen unterschiedliche Polaritäten auf, was wichtig ist bei der Bestimmung der polaren und dispersen Anteile der Proben.

Flüssigkeit	σ [mN/m]	σ^p [mN/m]	σ^d [mN/m]
Formamid	56,9	33,4	23,5
Wasser	72,1	52,2	19,9

Tabelle 26: Daten der Testflüssigkeiten für die Ermittlung der Oberflächenspannungen

σ =Oberflächenspannung [mN/m]

σ^p =Polarer Anteil der Oberflächenspannung [mN/m]

σ^d =Disperser Anteil der Oberflächenspannung [mN/m]

Zur Kompensation von Messungenauigkeiten und individuellen Ablesefehlern werden jeweils mehrere Messungen durchgeführt. Je Parameterkombination (Papier/ Farbbelegung) werden drei Proben untersucht. Die Oberflächenspannung wird bei jeder Probe als Mittelwert aus fünf Messstellen ermittelt. Somit ergibt sich ein Messpunkt aus 15 Messungen.

Die Oberflächenspannungen der ungestrichenen Papiere können mit diesen Testflüssigkeiten nicht ermittelt werden. Die Testflüssigkeiten schlagen unmittelbar nach dem Auftragen in die Faserschicht weg. Für ungestrichene Papiere sind erweiterte Grundlagenuntersuchungen erforderlich, um thermodynamisch geeignete Flüssigkeiten zu finden, deren polare bzw. disperse Stoffdaten bereits bekannt sind bzw. um diese zudem zu ermitteln.

Messungen an gestrichenen Papieroberflächen sind nur eingeschränkt übertragbar und zu bewerten. Die Testflüssigkeiten schlagen in den Strich weg. Die Tropfen werden kurz nach der Applikation instabil und zerlaufen. Um dennoch in erster Näherung eine Oberflächenspannungsbestimmung durchführen zu können erfolgte die Ableseung der Randwinkel bereits ca. 5/10 Sekunden nach dem Auftragen der Testflüssigkeit, wenn noch keine Veränderung der Tropfenform wahrzunehmen ist. Während dieser kurzen Phase wird die Form des Tropfens als quasistationär betrachtet.

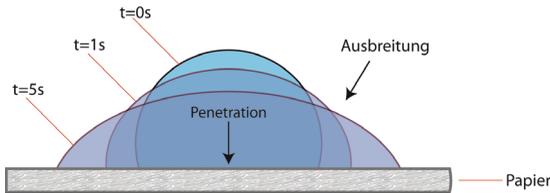


Abb. 56: Flüssigkeitspenetration und Tropfenausbreitung als Funktion der Zeit¹⁴¹

9.2.2 Ermittlung der Verbundhaftung

Zur Bestimmung der Verbundhaftung werden Abschälversuche in Anlehnung an DIN 53357 („Prüfung von Kunststoffbahnen und -folien; Trennversuch der Schichten“) durchgeführt. Diese Norm wurde in 11/2013 zurückgezogen; eine Folgenorm gibt es nicht. Das Norminstitut empfiehlt die Anwendung der DIN EN ISO 2411 („Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Bestimmung der Haftfestigkeit von Beschichtungen“). Diese Norm ist vom vorliegenden Anwendungsfall seitens der Substrate insbesondere ihres elastischen Verhaltens, ihrer Morphologie, ihrer Struktur und ihrer Oberflächenbeschaffenheit sowie der

¹⁴¹ vgl. Klein et al.: Benetzbarkeit und Flüssigkeitspenetration 2014

vorgegebenen Probengeometrie weit entfernt. Auch andere Normen (vgl. Tabelle 29) sind allenfalls nur bedingt qualifiziert, sodass die zurückgezogene DIN 53357 dem Anwendungsfall am nächsten kommt und in Abwägung des Für und Wider für die Testreihen herangezogen wird, da sie am ehesten zutreffend ist.

Die Versuche werden mit einer Universalzugprüfmaschine „Karl Frank 81565“ durchgeführt. Verwendet wird eine Einspannvorrichtung für die Probe entsprechend DIN 53357.

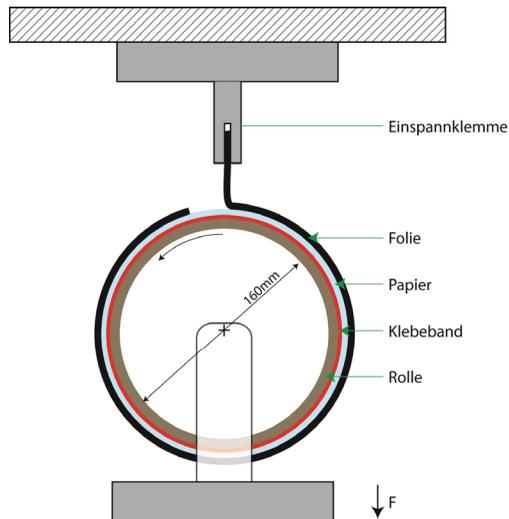


Abb. 57: Einspannvorrichtung für Abschälversuche

Die Prüfungen werden in einem Normklima bei einer Temperatur von $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte von $50\% \pm 2\%$ durchgeführt, damit Temperatur- und Luftfeuchteveränderungen keinen Einfluss auf die Papierproben und damit auf die Messergebnisse nehmen. Durch diese Untersuchung wird die Qualität der Kaschierung ausgewertet. Zur Beurteilung der Kaschiergüte dient die benötigte Trennkraft, welche für die Trennung des Kaschierverbundes benötigt wird.

Tabelle 27 enthält die relevanten Umgebungs- und Prozessdaten des Versuchs:

Raumtemperatur	23°C ± 1°C
Raumfeuchte	50% ± 2%
Abzugsgeschwindigkeit	100mm/min

Tabelle 27: Umgebungs- und Prozessdaten der Versuchsdurchführung

Die Kraft wird über eine Wägezelle Typ Hottinger Baldwin U2A gemessen:

Genauigkeitsklasse	D1
Teilezahl (n_{LC})	1000
Nennlast (E_{max})	1kN
Mindestteilungswert (v_{min})	0,00286 % v. Nennlast
Kennwerttoleranz bei Zug	<±0.2 %
Nennmessweg	<0.1 mm

Tabelle 28: Technische Daten der Wägezelle – Typ U2A

Prüfverfahren, welche bspw. in DIN Normen angegeben werden, dienen als Hilfsmittel für die Qualitätssicherung. Prüfverfahren für Schälversuche werden an verschiedenen Materialien mit bestimmten Annahmekriterien zu dem Prüfvorgehen durchgeführt. In Tabelle 29 sind Normen dargestellt, welche sich mit Schälprüfungen unterschiedlicher Materialien befassen und die Vorgehensweisen vorgeben bzw. empfehlen.

Norm-nummer	Normbezeichnung	Anwendungsbereich	Datum
DIN EN 28510-1	Klebstoffe – Schälprüfung für flexibel/starr geklebte Proben – Teil 1: 90°-Schälversuch	flexibel/starr geklebte Proben	07/2014
DIN EN ISO 28510-2	Klebstoffe – Schälprüfung für flexibel/starr geklebte Proben – Teil 2: 180°-Schälversuch	flexibel/starr geklebte Proben	12/2010
DIN EN 1372	Klebstoffe – Prüfverfahren für Klebstoffe für Boden- und Wandbeläge – Schälversuch	Wandbeläge	06/2015
DIN EN 1464	Klebstoffe – Bestimmung des Schälwiderstandes von Klebungen – Rollenschälversuch	flexibel/starr geklebte Proben	06/2010
DIN EN 1939	Klebebänder - Bestimmung der Klebkraft	Klebebänder	12/2003
DIN 53357 ¹⁴²	Prüfung von Kunststoffbahnen und – folien Trennversuch der Schichten	Kunststoffbahnen	10/1982
DIN EN ISO 2411	Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien -Bestimmung der Haftfestigkeit von Beschichtungen	Textilien	08/2000

Tabelle 29: DIN-Normen zu verschiedenen Schälprüfungen¹⁴³

Die in der Tabelle angegebenen Normen haben alle einen definierten Anwendungsbereich. Für die vorliegenden Versuchsreihen – mit Kunststofffolien beschichtete Papiere – trifft die DIN Norm 53357 zu, welche vorgesehen ist für „Kunststoff-Verbundbahnen [...] aus zwei oder mehreren Schichten, von denen mindestens eine aus Kunststoff besteht“ und bei welchen „mindestens eine Schicht aus nicht textilen, flexiblen Flächengebilden z.B. Papier“ besteht.¹⁴⁴ Historisch ist die DIN 53357 über 30 Jahre gültig gewesen und es sind viele Versuche in Anlehnung an diese Norm gemacht worden. Gründe, insbesondere verfahrenstechnische und inhaltliche Gründe, die der Belastbarkeit der mit Hilfe dieser Norm gefundenen Ergebnisse entgegenstehen, sind nicht bekannt. Auch wenn die Norm ersatzlos zurückgezogen wurde wird mangels geeigneter Alternativen diese Norm weiterhin

¹⁴² zurückgezogen zum 11/2013

¹⁴³ DIN EN 28510-1:2014-07; DIN EN ISO 8510-2:2010-12; DIN EN 1372:2015-06; DIN EN 1464; DIN EN 1939:2003-12; DIN 53357:1982-10; DIN EN ISO 2411:2000-08

¹⁴⁴ DIN 53357:1982-10; DIN 16922

zugrunde gelegt, da der gegebene Anwendungsfall genau dem Normgegenstand entspricht.

Für die Auswertung des ermittelten Kraft-Weg-Verlaufs gibt die DIN 53357 vor, dass das erste und das letzte Diagrammviertel nicht bewertet werden und der restliche Diagrammteil mit Hilfe von 10 Rasterlinien in 9 gleiche Teile aufgeteilt wird. Die zu den Schnittpunkten der Linien gehörenden Kräfte werden zur Ermittlung des Mittelwertes herangezogen. Da bei ungünstig liegenden Rasterlinien eine Verfälschung der Messwerte vorliegt (z.B. wenn die Rasterlinien das Diagramm immer an Extrema schneiden), wird in diesem Punkt von der Norm abgewichen: Das erste und das letzte Fünftel des Verlaufs werden aus der Auswertung ausgeschlossen, um Anlauf-, Auslauf- und Randeffekte auszuschließen, die aus der Probenherstellung, der Probenpräparation, der Probeneinspannung oder der Krafteinleitung in die Probe resultieren könnten. Von dem übrigen Diagrammteil wird das arithmetische Mittel gebildet. Diese Vorgehensweise ist angelehnt an die Versuchsanweisungen der restlichen Normen aus Tabelle 29.

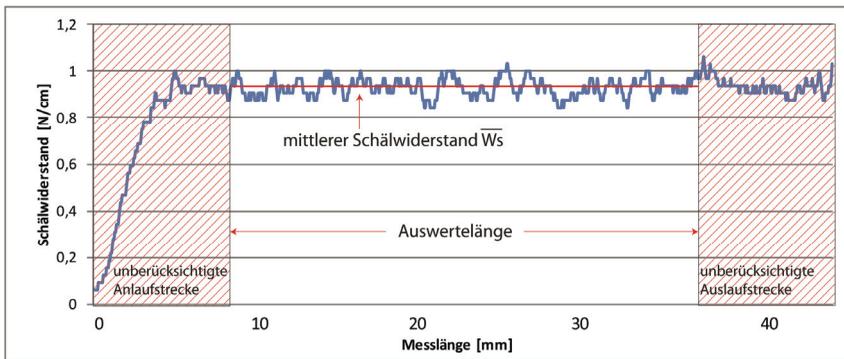


Abb. 58: Ermittlung des mittleren Schälwiderstandes einer Kaschierprobe

Probenpräparation

Die Proben werden mit einer Länge von 420mm und einer Breite von 15mm aus dem Kaschierverbund geschnitten. Der Rauschnitt der Proben erfolgt mit einem Planschneider. So kann gewährleistet werden, dass durch den Anschlag und die präzise Bauart der Schneidemaschine die Proben keine seitlichen Kerben haben, die Schneidelinien absolut parallel liegen und, bedingt durch sehr geringe

Schneidtoleranzen, diesbezüglich Fehler vernachlässigbar sind. Der Hersteller des Planschneiders gibt eine Schneidgenauigkeit von $1/100$ mm an.¹⁴⁵ Unter Berücksichtigung der Probenbreite von $b=15\text{mm}$ und einem absoluten systematischen Fehler von $\Delta b = \pm 1/100$ mm, ergibt sich ein relativer Fehler F_{max} von maximal:

$$F_{max} = \frac{2 \cdot \frac{1}{100} \text{ mm}}{15 \text{ mm}} = 0,13\%$$

Als Probe in Abb. 59 ist exemplarisch der Ausschnitt aus dem Testimage (Abb. 43) mit unterschiedlichen Farbdeckungen Cyan und CMY sowie YK im Zusammendruck skizziert.



Abb. 59: Probengeometrie und Abzugsrichtung der Kaschierfolie für die Abschälversuche

Zur Präparation der Einspann-Enden der Probe wird der Kaschierverbund weitab der Messstrecke (ca. 50mm) mechanisch bzw. thermisch delaminiert, sodass die Messstrecke von der Probenpräparation unbeeinflusst bleibt. Das freie Ende der Kaschierfolie wird eingespannt, während der laminierte Teil der Probe substratseitig mittels doppelseitigem Klebeband auf die Ablaufrolle der Zugvorrichtung geklebt wird wie es Abb. 57 zeigt. Als Klebeband wird das „4613“ des Herstellers 3M eingesetzt, welches eine hohe Adhäsionskraft ausübt.

¹⁴⁵ Polar-Mohr Maschinenvertriebsgesellschaft GmbH & Co. KG: Schnellschneider N115 PLUS

Technische Daten Doppelseitiges Klebeband	
Klebstoff	Acrylat
Klebebanddicke	1,1 mm
Dichte	840 kg/m ³
Schälkraft	320 N/100mm

Tabelle 30: Technische Daten des doppelseitigen Klebebandes¹⁴⁶

Als Proben für die Versuchsreihe dienen die Cyanfelder mit einer Flächendeckung von 25, 50, 75 und 100% für Untersuchungen des Einfarbindrucks, Felder des Zusammendrucks von Cyan und Magenta mit einer Flächendeckung von 25, 50, 75 und 100% zu gleichen Anteilen für den Zweifarbenübereinanderdruck, Felder des Zusammendrucks von Cyan, Magenta und Gelb, mit einer Flächendeckung von 25, 50, 75 und 100% zu gleichen Anteilen für den Dreifarbenübereinanderdruck und Felder des Zusammendrucks von Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz mit einer Flächendeckung von 25, 50, 75 und 100% zu gleichen Anteilen für den Vierfarbenübereinanderdruck. Für jede Testreihe wird aus fünf Druckbogen jeweils ein Probenstreifen entnommen, um evtl. Papierschwankungen und Schwankungen in der Farbannahme auszuschließen. Die Abzugsgeschwindigkeit beträgt 100mm/min. Der Abzugswinkel der Folie zu dem Papier beträgt 90°, welcher bedingt durch die Konstruktion der Messvorrichtung konstant eingehalten wird.

Vorversuch

Auf Grund von Vorversuchen konnte kein Unterschied in der Haftfestigkeit zwischen einzelnen Buntfarben festgestellt werden. Die Haftfestigkeit hat unabhängig von der Farbwahl eine vernachlässigbare Streuung. Diese Streuung kann bspw. eine Messunsicherheit, bedingt durch die Versuchsmaschinen sein. Aus diesen Gründen ist für die Versuchsreihe willkürlich die Farbe Cyan gewählt worden, um die Anzahl der Versuche zu reduzieren. Um den Einfluss der Farbe auf die Haftfestigkeit zu untersuchen, wird die Haftfestigkeit bei den Volltonfarbfeldern ermittelt. Der Mittelwert wird dabei gebildet aus der Summe von jeweils drei Messungen einer Volltonprimärfarbe.

¹⁴⁶ 3M Deutschland GmbH: Datenblatt

Die Papiersorten werden auf die Klebstoffe eingeteilt, sodass je Klebstoff drei verschiedene Papiere getestet werden. Die Aufteilung ist in Tabelle 31 gelistet:

Eingesetzter Klebstoff	Eingesetztes Papier		
1 K Dis	K1	MG1	GG1
2 K PUR	K2	MG2	GG1
Hotmelt	K2	MG3	GG2
PUR-Hotmelt	MG3	GG3	CGG

Tabelle 31: Einteilung der Papiere zu den Klebstoffen für die Vorversuche

Zu jeder Klebstoff-Papier Kombination werden zu jeder Primärfarbe drei Testmuster ausgewertet. Der Mittelwert berechnet sich nach folgender Gleichung. Der Summationsindex i steht stellvertretend für die Primärfarben (1=Cyan, 2=Magenta, 3=Gelb, 4=Schwarz) und j steht für eine Probe:

$$\overline{PF}_{PK} = \frac{1}{n} \sum_{i=1; j=1}^{i=4; j=3} S_{ij} \quad (11)$$

\overline{PF}_{PK} =Mittelwert der Primärfarben einer bestimmten Papier-Klebstoff-Kombination

PK=Papier-Klebstoff-Kombination

n=Anzahl der Beobachtungswerte

S=Probe (Sample)

j=j-ter Beobachtungswert

i=i-te Primärfarbe (1=C, 2=M, 3=Y, 4=K)

Die Standardabweichung ergibt sich nach:

$$\sigma_{PF} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1; j=1}^{i=4; j=3} (S_{ij} - \overline{PF}_{PK})^2} \quad (12)$$

\overline{PF}_{PK} =Mittelwert der Primärfarben einer bestimmten Papier-Klebstoff-Kombination

PK=Papier-Klebstoff-Kombination

n=Anzahl der Beobachtungswerte

S=Probe (Sample)

σ_{PF} =Standardabweichung der Primärfarben

i=i-te Primärfarbe (1=C, 2=M, 3=Y, 4=K)

j=j-ter Beobachtungswert

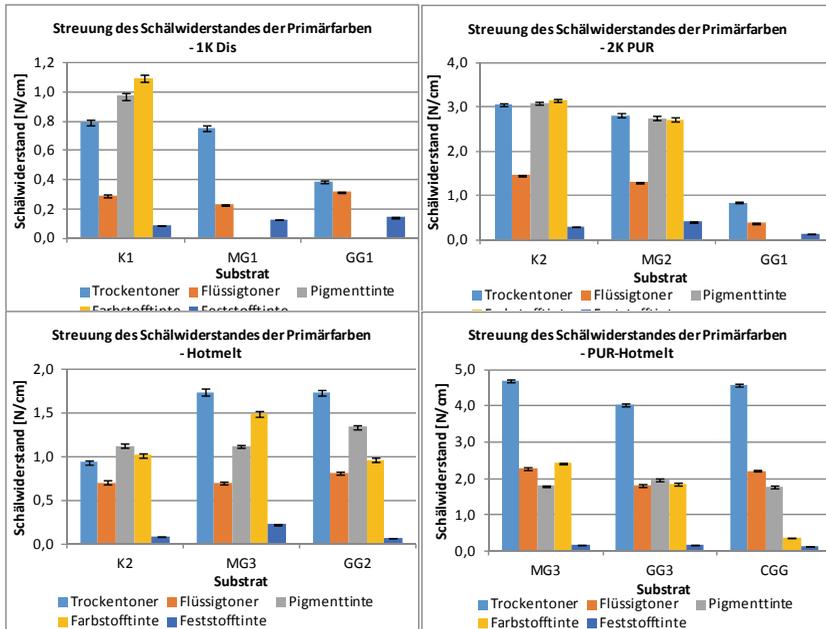


Abb. 60: Streuung des Schälwiderstandes der Primärfarben bei verschiedenen Substrat-Klebstoff-Kombinationen

Probenherstellung, Probenpräparation und Probenselektion

In Abb. 61 ist der Verlauf der Probenherstellung dargestellt. Die Papiere werden jeweils in allen genannten Druckverfahren bedruckt und anschließend unter Zuhilfenahme verschiedener Klebstoffe kaschiert. Aus den so entstandenen Proben werden die Schälwerte ermittelt. In Abb. 61 ist der Durchlauf übersichtshalber exemplarisch am Beispiel von Papier K1 und der Elektrofotografie mit Trockentoner dargestellt.

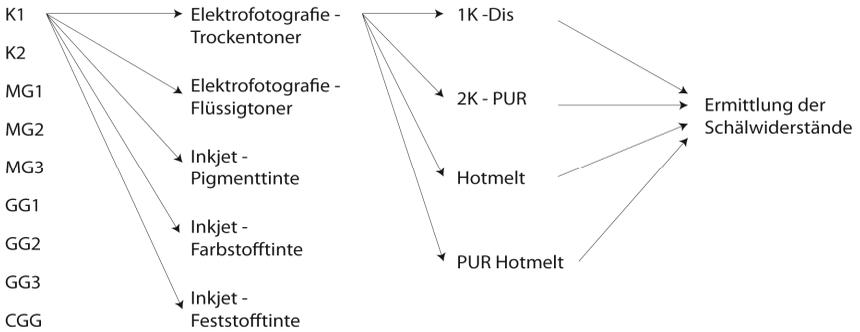


Abb. 61: Versuchsablauf - exemplarisch am Beispiel von Papier K1 und der Elektrofotografie mit Trockentoner

Beim Bedrucken der Versuchspapiere in den jeweiligen Druckverfahren wurde beobachtet, dass die mit Polyethylen beschichteten Papiere (MG1 und GG1) mit den Farbstoff und Pigment basierten Flüssigfarben nicht bedruckbar sind. Die Farben trocknen auf den PE beschichteten Papieren auch nach vielen Stunden nicht, da sie ein saugfähiges Substrat benötigen, wie z.B. die Papiere MG3, GG3 und CCG mit mikroporigem Papierstrich.



Abb. 62: Trocknungsverhalten bei mit Polyethylen beschichteten Papieren und wässrigem Inkjetdruck

Die Proben der Kombination von wässrigem Inkjetdruck und den mit Polyethylen beschichteten Papieren, werden auf Grund des Trocknungsverhaltens nicht weiter verfolgt. Das Bedrucken der restlichen Versuchspapiere in den jeweiligen

Druckverfahren verlief unauffällig. Während der Kaschierungen gab es auch keinerlei Auffälligkeiten oder Probleme. Somit beträgt die Anzahl an Kombinationen von Papier, Druckverfahren und Klebstoffen 164 Möglichkeiten (neun Papiere, fünf Druckverfahren, vier Klebstoffe – abzüglich der beiden nicht bedruckbaren Versuchspapiere). Bei den Schälversuchen wurde festgestellt, dass die Klebstoffe 1K-Dis und 2K-PUR in Kombination mit den PE-beschichteten Papieren (MG1 und GG1) noch feucht und nicht ganz abgebunden waren, da das Lösemittel beidseitig direkt mit einer Barrierschicht in Kontakt steht – bedingt durch die PE-Beschichtung des Papiers und durch die Kaschierfolie. Dadurch kann das Lösemittel weder in das Substrat penetrieren, noch kann es verdunsten.

Der Trennvorgang wird grafisch als Kraft-Weg-Diagramm dargestellt und in N/15mm angegeben. Der Verlauf der aus fünf Proben gewonnenen Messwerte wird gemittelt und auf zwei Nachkommastellen gerundet.

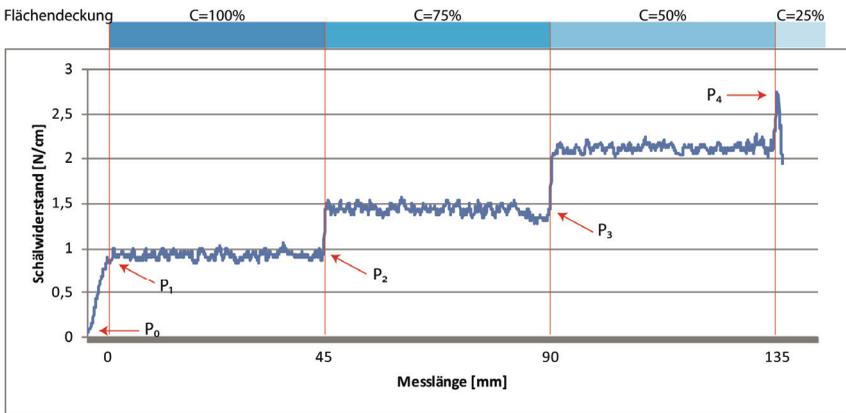


Abb. 63: Beispielverlauf eines Abschäl-Diagramms

In Abb. 63 ist beispielhaft ein Abschälverlauf eines gemessenen Teststreifens dargestellt. Diese Probe verläuft vom Cyanfeld mit 100% Flächendeckung bis zum Cyanfeld mit 25% Flächendeckung. Der Verlauf beginnt im Ursprung (P_0) und der Kraftverlauf steigt anfangs stetig an, bis die Anlaufeffekte kompensiert sind (P_1). Hier beginnt der Abzug der Folie von der 100% Vollfläche. Im Punkt P_2 endet die 100% Vollfläche und die 75% Flächendeckung schließt an. Hier ist ein sprunghafter Kräfteanstieg zu erkennen, da die Änderung der Flächendeckung auch

eine Änderung der Kraftwerte mit sich zieht. Im Punkt P_3 endet das Testfeld mit 75% Flächendeckung und es beginnt das Feld mit 50% Flächendeckung. Im Punkt P_4 beginnt das Testfeld mit 25%iger Flächendeckung. Hierbei steigt die Schälkraft so weit an, bis es im Punkt P_4 zu einem abrupten Kraftabfall kommt, welcher hervorgerufen wird durch eine Zerstörung der Probe und einem Abriss. Der Messverlauf zeigt, dass die Haftung mit abnehmender Farbbelegung zunimmt. Hier folgt die Kraft den Sprüngen in der Farbbelegung. Im Rückschluss bedeutet dies: die Kaschierung haftet auf dem Papier selbst wesentlich besser als auf der Druckfarbe.

Die Messung der Kaschierverbunde erfolgt frühestens 20 Tage nach dem Kaschiervorgang. So wird sichergestellt, dass nicht nur die thermoplastischen und filmbildenden Klebstoffe, sondern auch die reaktiv aushärtenden Klebstoffe ihre Endfestigkeit erreicht haben.

Ein Messpunkt des Schälwiderstandes, dem Kennwert für die Verbundhaftung, ergibt sich aus der Probengeometrie und dem Mittelwert der an n Proben (hier $n=5$) gemessenen Schälkräfte zu:¹⁴⁷

$$W_s = \frac{\bar{F}}{b} = \frac{\sum_{i=1}^n MW_i}{b \cdot n} \quad (13)$$

W_s =Schälwiderstand [N/cm]

\bar{F} =mittlere Schälkraft[N]

b =Probenbreite

n =Anzahl der Messwerte

$\sum_{i=1}^n MW_i$ =Summe aller Messwerte innerhalb der 20% bis 80% Strecke

Hierbei ist die Schälkraft F [N] die Kraft, die über dem Schälweg gemessen wird. Die Klebekraft F_k [N/xmm] ist die gemessene Kraft, bezogen auf die Probenbreite (in den vorliegenden Versuchsreihen 15mm) und die Trennkraft bzw. der Schälwiderstand W_s [N/mm] ist die gemessene Schälkraft relativiert auf die Probenbreite.

¹⁴⁷ DIN EN 1464

Mögliche Bruchbilder an einem Kaschierverbund

In der Norm DIN EN ISO 10365 „Klebstoffe - Bezeichnung der wichtigsten Bruchbilder“ sind mögliche Brucharten einer Klebeverbindung dargestellt. Für die vorliegenden komplexen Bruchbilder sind die dort benannten Darstellungen jedoch unzureichend und werden um weitere Bruchmöglichkeiten erweitert.¹⁴⁸

Ein Verbund, z.B. ein Kaschierverbund, wird nicht allein durch gemessene Festigkeitswerte charakterisiert. Vielmehr gibt das jeweilige Bruchbild eine qualitative Aussage über die Versagensursachen und erlaubt Rückschlüsse auf Maßnahmen zur Verbesserung des Verbundes. Insbesondere bei so komplexen Verbunden wie den untersuchten Kaschierverbindungen an denen viele Verbundpartner beteiligt sind (Papier, Papierbeschichtung/Strich, Klebstoff, Druckfarbe, Kaschierfolie), kann nur die Bruchbildanalyse Aufschluss über die Versagensart und die beteiligten Versagenspartner geben. Hier geht eine Vielzahl von Kohäsions- und Adhäsionsverhalten in den Verbund ein:

Relevante Kohäsionszonen:

- Papierbeschichtung/ Papierstrich
- Druckfarbe, Druckfarben bei Übereinanderdruck
- Klebstoff
- Papierfaserverbund
- Folie

Relevante Adhäsionszonen:

- Papier/ Papierbeschichtung, incl. Primer
- Papier/ Papierstrich
- Papier/ Druckfarbe
- Papierbeschichtung incl. Primer/ Druckfarbe
- Papierstrich/ Druckfarbe
- Papierstrich/ Druckfarbe/ Klebstoff
- Druckfarbe/ Klebstoff
- Klebstoff/ Kaschierfolie
- Farbe/ Farbe

¹⁴⁸ DIN EN ISO 10365

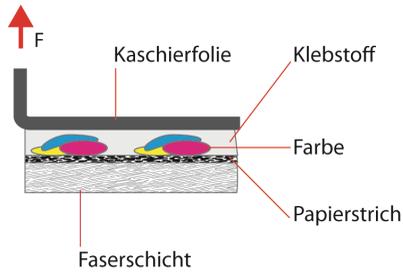
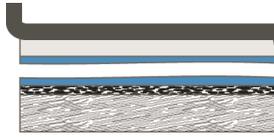


Abb. 64: Aufbau eines Kaschierverbundes

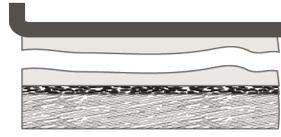
Erst das Zusammenwirken von guter Kohäsion aller Bestandteile und einer Adhäsion zwischen allen Bestandteilen zueinander bietet eine gute Festigkeit. In Abb. 65 und Abb. 66 sind alle möglichen Brucharten eines Kaschierverbundes dargestellt, getrennt nach Kohäsions- und Adhäsionsversagen.



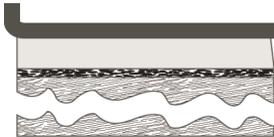
Kohäsionsbruch:
Trennung innerhalb des
Papierstriches



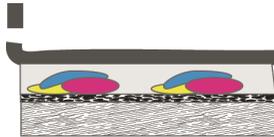
Kohäsionsbruch:
Trennung innerhalb der
Farbschicht



Kohäsionsbruch:
Trennung innerhalb der
Klebstoffschicht



Kohäsionsbruch:
Trennung innerhalb der
Faserschicht

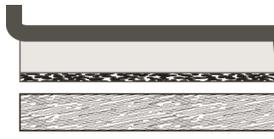


Kohäsionsbruch:
Trennung innerhalb der
Kaschierfolie

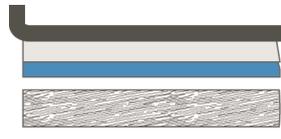
Abb. 65: Mögliche Kohäsions-Brucharten eines Kaschierverbundes



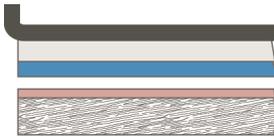
Adhäsionsbruch:
Trennung zwischen Papier
und Papierbeschichtung



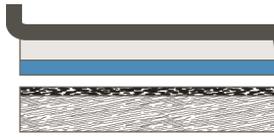
Adhäsionsbruch:
Trennung zwischen
Papierstrich und Faserschicht



Adhäsionsbruch:
Trennung zwischen Papier
und Druckfarbe



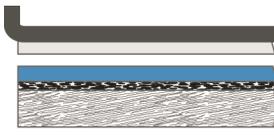
Adhäsionsbruch:
Trennung zwischen
Papierbeschichtung und
Druckfarbe



Adhäsionsbruch:
Trennung zwischen
Druckfarbe und Papierstrich



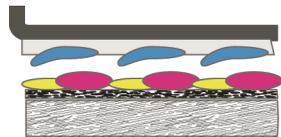
Adhäsionsbruch:
Trennung zwischen Klebstoff
und Papierstrich



Adhäsionsbruch:
Trennung zwischen
Klebstoff und Druckfarbe



Adhäsionsbruch:
Trennung zwischen
Kaschierfolie und Klebstoff



Adhäsionsbruch:
Trennung zwischen zwei
Farbschichten

Abb. 66: Mögliche Adhäsions-Brucharten eines Kaschierverbundes

Eine sehr häufige Möglichkeit eines Versagens des Kaschierverbundes ist ein Mischbruch mit Adhäsionsversagen und einem Kohäsionsversagen.

Unterschiedliche Materialien haben, bedingt durch unterschiedliche Oberflächenstrukturen und damit unterschiedlichen Oberflächenspannungen, ein unterschiedliches Adhäsionsverhalten zueinander. So hat auch der Klebstoff ein anderes Adhäsionsverhalten zu der Druckfarbe als zum Papier, respektive zum Oberflächenstrich. Bei unterschiedlicher Flächendeckung der Druckfarbe bestehen auch unterschiedlich große Kontaktflächen zwischen Klebstoff und Papier resp. Klebstoff und Druckfarbe. Bei einem Vollflächendruck wird die Papieroberfläche vollflächig mit Druckfarbe benetzt und der Klebstoff hat keinen direkten Kontakt zur Papieroberfläche. Durch eine Verringerung der Flächendeckung der Druckfarbe, erhält der Klebstoff zunehmend mehr Papierfläche als Kontaktfläche, was die Festigkeitswerte des Kaschierverbundes beeinflusst. Ebenso hat der Mehrfarbenübereinanderdruck einen Einfluss auf die Haftfestigkeit, da hier der Klebstoff direkten Kontakt nur mit der obersten Farbschicht hat, diese Farbschicht jedoch nicht direkt mit der Papieroberfläche in Kontakt steht, sondern noch eine weitere Farbschicht zwischen Papier und Klebstoff liegt. Hier wird der Festigkeitswert beeinflusst durch die Grenzfläche zwischen den einzelnen Farbschichten.

Die Abb. 67 bis Abb. 70 zeigen die typischen realen Bruchflächen im „aufgeklappten“ Zustand. Nach dem Versuch wurden die beiden Hälften der gebrochenen Probe nebeneinander gelegt. Die untere Hälfte der Abb. („Folie“) zeigt das folienseitige Fragment der Probe, wobei hier die nicht verklebte Oberseite der Kaschierfolie zuunterst liegt; die obere Hälfte der Abb. („Papier“) zeigt die papierseitige Bruchstelle, wobei die unbedruckte Seite des Papiers zuunterst liegt. Angesichts der real aufgetretenen Bruchbilder können hier vier Typen des Bruchbilds kategorisiert werden:

a) Kohäsionsbruch in der Faserschicht

Bei vollflächiger Farbdeckung entsteht ein Kohäsionsbruch in der Farbschicht. Bei geringerer Farbdeckung (25%, 50%, 75%) kommt der Klebstoff partiell in direkten Kontakt mit der Papieroberfläche. Dort sind die Adhäsionskräfte zwischen

Klebstoff und Papier größer als die Kohäsionskräfte des Papiers selbst. So bleiben Teile des Papiers folienseitig haften.

In diesem Fall zeigt die Farbe ein starkes Adhäsionsverhalten zu beiden, Papier und Klebstoff und hier ebenfalls ein gutes Adhäsionsverhalten zum Papier.

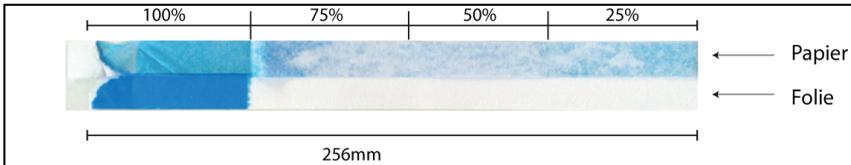


Abb. 67: Kohäsionsbruch in der Faserschicht ab 75% Flächendeckung

b) Mischbruch

Mehr als 70% der Farbschicht haften am Papier, bis zu 30% der Farbschicht haften an der Folie, wobei es partiell zu Kohäsionsversagen in der Farbschicht kommt und partiell zu Adhäsionsversagen zwischen Folie und Farbe. Die Adhäsion der Farbe zum Papier ist intensiver als die Adhäsion des Klebstoffs zu Farbe und Papier.

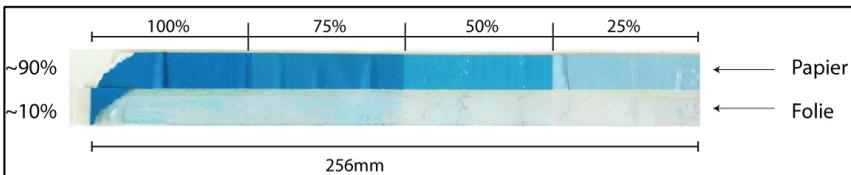


Abb. 68: Adhäsionsbruch zwischen Papier und Farbschicht mit ca. 10% Farbabzug

c) Kohäsionsbruch in der Farbschicht mit ca. 50% Farbabzug

Etwa die halbe Farbschicht wird gespalten. Daneben bleiben bis zu maximal 50% der Farbschicht an der Kaschierfolie haften.

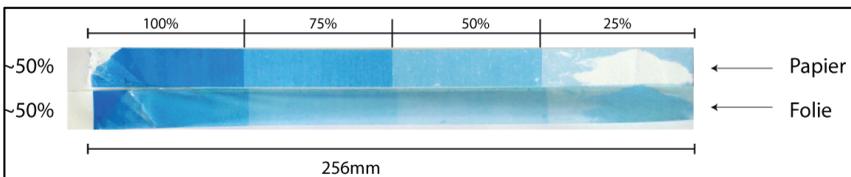


Abb. 69: Kohäsionsbruch in der Farbschicht mit ca. 50% Farbabzug

d) Adhäsionsbruch zwischen Papier und Farbschicht mit 100% Farbabzug

Die Farbschicht wird (fast) komplett vom Papier getrennt. Die Adhäsion der Farbe zum Papier ist sehr schwach und dabei schwächer als zum Klebstoff.

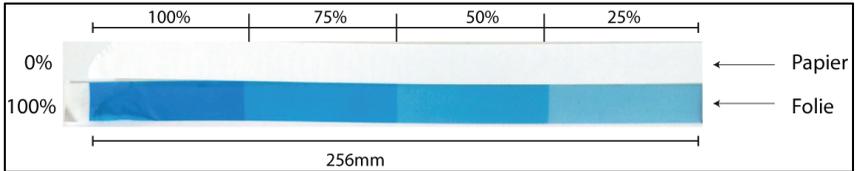


Abb. 70: Adhäsionsbruch zwischen Papier und Farbschicht mit 100% Farbabzug

10 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen dargestellt und diskutiert.

10.1 Ergebnisdarstellung

Im Anhang (ab Seite 161) sind die ermittelten Schälwiderstände aller Kaschierproben in tabellarischer Form dargestellt. Die ermittelten Messwerte wurden in mehrere Kategorien eingeteilt. Die vom Bundesverband Druck- und Medien vorgeschlagenen Grenzen für Schälwiderstände werden hier übernommen.¹⁴⁹ Bei Schälwiderständen unter einem Wert von $W_s = 0,5 \text{ N/cm}$ werden die im Kaschierverbund vorhandenen Adhäsions- bzw. Kohäsionskräfte als zu gering eingestuft; eine einwandfreie Kaschierung der Drucke kann nicht gewährleistet werden. Bei Werten zwischen $W_s = 0,5 \text{ N/cm}$ und $W_s = 1,5 \text{ N/cm}$ besteht eine hohe Gefahr der Delamination der Kaschierfolie, wenn das kaschierte Material weiter verarbeitet wird. Ab einem Wert von $W_s > 1,5 \text{ N/cm}$ wird eine Kaschierung als einwandfrei angesehen. Eine Delamination gilt als unwahrscheinlich. Im Extremfall übersteigt der Schälwiderstand sogar die Kohäsionskräfte innerhalb der Faserschicht des Papiers.

$W_s \geq 1,5 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$	Haftvermögen ausreichend.
$0,5 \frac{\text{N}}{\text{cm}} \leq W_s \leq 1,49 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$	Haftvermögen nicht ausreichend. Delamination der Kaschierfolie evtl. möglich.
$W_s \leq 0,49 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$	Haftvermögen zu gering. Delamination der Kaschierfolie.
$W_s > K_{FS}$	Kohäsionsbruch in der Faserschicht des Papiers.

W_s =Schälwiderstand

Tabelle 32: Grenzen für Schälwiderstände bei Kaschierverbunden

¹⁴⁹ Kuen und Hundsdorfer: Anforderungen an die Glanzfolienkaschierung für Umschläge und Buchdecken 1998, S. 18f

Tabelle 33 zeigt die Linienkräfte bzw. Schälwiderstände beim Versagen der laminierten Verbunde. „Abriss“ bedeutet: der Verbund versagt in der Faserschicht des Papiers. Bei der Angabe „Schälkraft“ wird die Linienkraft genannt, die auf unbedrucktem Substrat ermittelt wird.

Substrat		Schälwiderstand W_s $\left[\frac{N}{cm}\right]$			
		1K-Dis	2K-PUR	Hotmelt	PUR-Hotmelt
K1	Schälkraft bei uS	2,55	-	2,31	-
	Abriss bei	-	2,66	-	2,66
K2	Schälkraft bei uS	-	-	-	-
	Abriss bei	3,13	3,13	3,13	3,13
MG1	Schälkraft bei uS	2,49	2,74	2,03	2,54
	Abriss bei	-	-	-	-
MG2	Schälkraft bei uS	2,56	-	2,39	-
	Abriss bei	-	2,79	-	2,79
MG3	Schälkraft bei uS	2,78	-	-	-
	Abriss bei	-	4,67	4,67	4,67
GG1	Schälkraft bei uS	1,60	2,2	1,85	2,24
	Abriss bei	-	-	-	-
GG2	Schälkraft bei uS	2,42	-	2,63	-
	Abriss bei	-	3,5	-	3,5
GG3	Schälkraft bei uS	-	-	-	-
	Abriss bei	4	4	4	4
CGG	Schälkraft bei uS	2,85	-	-	-
	Abriss bei	-	4,67	4,67	4,67

Tabelle 33: Bruchgrenzen der Kaschierverbunde und maximale Schälwiderstände bei unbedruckten Substraten (uS)

In Tabelle 33 ist zu erkennen, dass es bei dem 2K-PUR Klebstoff und bei dem reaktiven PUR-Schmelzklebstoff bei allen Substraten, außer den PE-beschichteten Fotopapieren, zu einem Kohäsionsbruch in der Papierfaserschicht kommt. Dies lässt darauf rückschließen, dass diese beiden Klebstoffe, unabhängig von dem eingesetzten Substrat, eine ausreichend hohe Haftung ausbilden, sodass die Versagensgrenze des Verbundmaterials von dem linearen Zusammenhalt der Faserschicht bestimmt wird. Hier wird auch ersichtlich, wie groß die Unterschiede der Kohäsionskräfte der Papierfaserschichten sind; die Inkjetpapiere (MG3, GG3, CGG) heben sich deutlich hervor.

Auffällig ist ebenfalls, dass es einzig bei den Substraten MG1 und GG1 zu keinem Kohäsionsbruch in der Papierfaserschicht kommt. Das könnte auf die Polyethylenbeschichtung zurückzuführen sein. Offenbar bildet sich nur eine geringe Adhäsion zwischen Klebstoff und der PE-Beschichtung. Hier macht sich die matte und etwas stärker ausgeprägte Oberfläche des Substrats MG1 bemerkbar, durch höher ausgebildete Linienkräfte.

Korrelation zwischen Oberflächenverhalten und Festigkeit

Die Papiere MG1 und GG1 sind mit PE beschichtet und zeigen das für diesen Kunststoff typische fast vollständig unpolare Verhalten. Im Gegensatz dazu wird bei den gestrichenen Papieren für Trockentoner (MG2, GG2) eine hochpolare Oberfläche des Strichs gemessen. Die Inkjetpapiere (MG3, GG3 und CGG) zeigen unabhängig vom Papierhersteller ein sehr ähnliches Oberflächenverhalten: gering polar. Die Oberfläche ihrer mikroporösen Strichbeschichtung ist bei allen drei Inkjetpapieren ähnlich. Die Zusammensetzung des jeweiligen Strichs ist unbekannt.

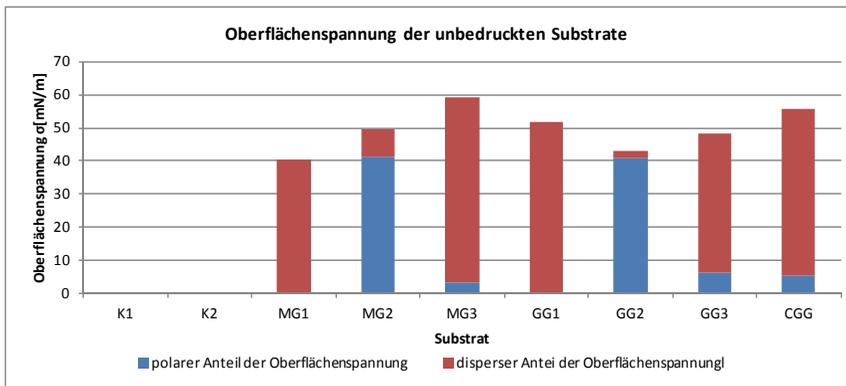


Abb. 71: Ermittelte Oberflächenspannungen der unbedruckten Substrate

Die Oberflächenspannung hat einen großen Einfluss auf das Ergebnis der Kaschierungen und damit auf die Verbundhaftung. Einerseits sollte das Papier eine hohe Oberflächenspannung haben, verglichen mit dem Farbmittel, sodass eine gute Benetzung und hohe Adhäsion der Farbe auf dem Papier gewährleistet werden kann, aber auch die trockene Farbschicht sollte eine ausreichend hohe

Oberflächenspannung aufweisen, damit der Kaschierklebstoff eine gute Verbindung mit der Farbschicht eingehen kann. In Abb. 72 sind die ermittelten Werte von den trockenen Vollton-Farbschichten dargestellt. Wie erwartet hat die Feststofftinte die geringsten Oberflächenspannungen mit einem Wert von 30mN/m, was bedeutet, dass hier eine geringe Haftung ausgebildet wird. Die restlichen Papiere haben einen Wert zwischen 40mN/m und 50mN/m was ausreichend für eine gute Benetzung ist. Der polare Anteil macht bei allen Farbmitteln einen unterschiedlich hohen Anteil aus.

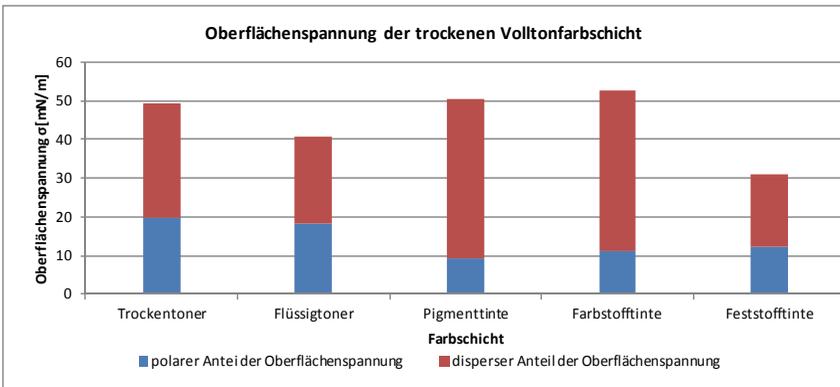


Abb. 72: Ermittelte Oberflächenspannungen der trockenen Volltonfarbschichten

Relativer abgezogener Farbschichtanteil bei der Delamination

In Tabelle 34 und Tabelle 35 sind prozentual geschätzt, die relativen Werte der Farbschicht dargestellt, welche bei der Delamination der Kaschierverbunde mit der Kaschierfolie von dem Papier abgezogen wird. Die vorher gemachte Gruppeneinteilung ist in der Tabelle farblich hervorgehoben. Die der jeweiligen Gruppe zugewiesenen Farbe kann Tabelle 36 entnommen werden.

1K-Dis					
Substrat	Trockentoner	Flüssigtoner	Pigmenttinte	Farbstofftinte	Feststofftinte
K1	50	0	0	20	50
K2	10	0	30	30	10
MG1	80	70	n.b.	n.b.	20
MG2	30	10	30	20	10
MG3	10	0	30	30	20
GG1	70	60	n.b.	n.b.	10
GG2	20	10	30	30	60
GG3	10	0	30	30	20
CGG	10	0	30	20	20
2K-PUR					
Substrat	Trockentoner	Flüssigtoner	Pigmenttinte	Farbstofftinte	Feststofftinte
K1	K	K	K	K	50
K2	K	0	K	K	10
MG1	60	70	n.b.	n.b.	30
MG2	K	0	K	K	10
MG3	50	0	10	K	20
GG1	60	70	n.b.	n.b.	20
GG2	K	K	K	K	30
GG3	K	0	10	K	10
CGG	K	0	10	10	10

n.b. = nicht bedruckbar

Tabelle 34: Relativer Teil der abgezogenen Farbschicht bei der Delamination der Proben – 1K-Dis und 2K-PUR (in %, geschätzt)

Hotmelt					
Substrat	Trockentoner	Flüssigtoner	Pigmenttinte	Farbstofftinte	Feststofftinte
K1	50	40	30	20	10
K2	20	20	20	20	10
MG1	70	80	n.b.	n.b.	10
MG2	40	30	30	30	0
MG3	20	30	50	30	0
GG1	70	90	n.b.	n.b.	10
GG2	30	40	30	20	10
GG3	20	30	30	20	0
CGG	10	30	10	30	0
PUR-Hotmelt					
Substrat	Trockentoner	Flüssigtoner	Pigmenttinte	Farbstofftinte	Feststofftinte
K1	K	50	K	K	0
K2	K	20	K	K	0
MG1	80	100	n.b.	n.b.	10
MG2	K	30	K	K	10
MG3	50	20	40	40	10
GG1	80	90	n.b.	n.b.	10
GG2	K	30	40	K	10
GG3	K	30	30	40	10
CGG	K	30	30	50	10

n.b. = nicht bedruckbar

Tabelle 35: Relativer Teil der abgezogenen Farbschicht bei der Delamination der Proben – Hotmelt (in %, geschätzt)

K	- optimaler Kaschierverbund - Kohäsionsbruch in der Faserschicht
K	- schwacher Kaschierverbund - Farbabzug vom Papier 0-30%
K	- guter Kaschierverbund - Farbabzug vom Papier 40-60%
K	- starker Kaschierverbund - Farbabzug vom Papier 70-100%

Tabelle 36: Farbliche Codierung der Farbabzugsgruppen

Aus Tabelle 34 und Tabelle 35 lassen sich folgende Rückschlüsse ziehen:

- a) PUR Klebstoffe haften wesentlich besser auf der Druckfarbe als Dispersions- oder Schmelzklebstoffe. Bei PUR wird die Farbe überwiegend vom Papier getrennt.
- b) EVA-basierte Schmelzklebstoffe (Hotmelt) sowie 1K-Dispersionen zeigen bei Digitaldrucken auf Papieroberflächen schwache Verbundeigenschaften.
- c) Feststofftinten sind mit wenigen Ausnahmen nicht für Kaschierungen geeignet. Offenbar wirkt die wachshaltige Matrix der Tinten sehr unpolar und lässt keine Verklebung zu.
- d) Flüssigtoner sind kaum kaschiergeeignet. Es ist naheliegend, dass Reste der isoparaffinischen Kohlenwasserstoffe, die sowohl als Dispersionsmedium für die Farbpigmente als auch als Hauptbestandteile der Druckhilfsstoffe dienen, sich klebstoffabweisend verhalten.

Einfluss des Papiers

In Abb. 73 und Abb. 74 sind die Schälwiderstände dargestellt in Abhängigkeit des Substrats und des Klebstoffs, unterteilt nach der Art der eingesetzten Druckfarbe. Die Werte sind ermittelt worden an den einfarbigen Cyanfeldern mit 100% Flächendeckung.

Es ist zu erkennen, dass die Schälwiderstände bei Feststofftinte äußerst gering ausfallen, unabhängig von der Klebstoffart und des Substrats. Die Werte liegen unterhalb von 0,4N/cm. Eine Kaschierung mit einem ausreichenden Haftvermögen ist bei Feststofftinte nicht möglich. Für Kaschierungen ist diese Druckfarbe ungeeignet; auf der wachsartigen Farbe haftet kein Klebstoff. Die mit „K“ markierten Diagrammbalken weisen auf das Versagen innerhalb der Faserschicht hin; der Verbund zeigt eine höhere Festigkeit als das Papier selbst.

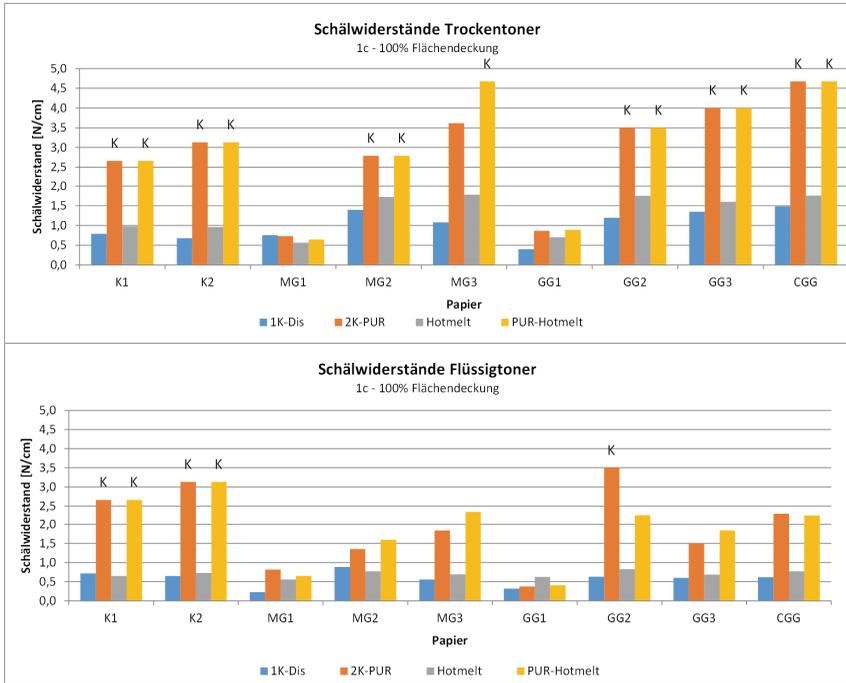


Abb. 73: Schälwiderstände Elektrofotografie; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und des Papiers

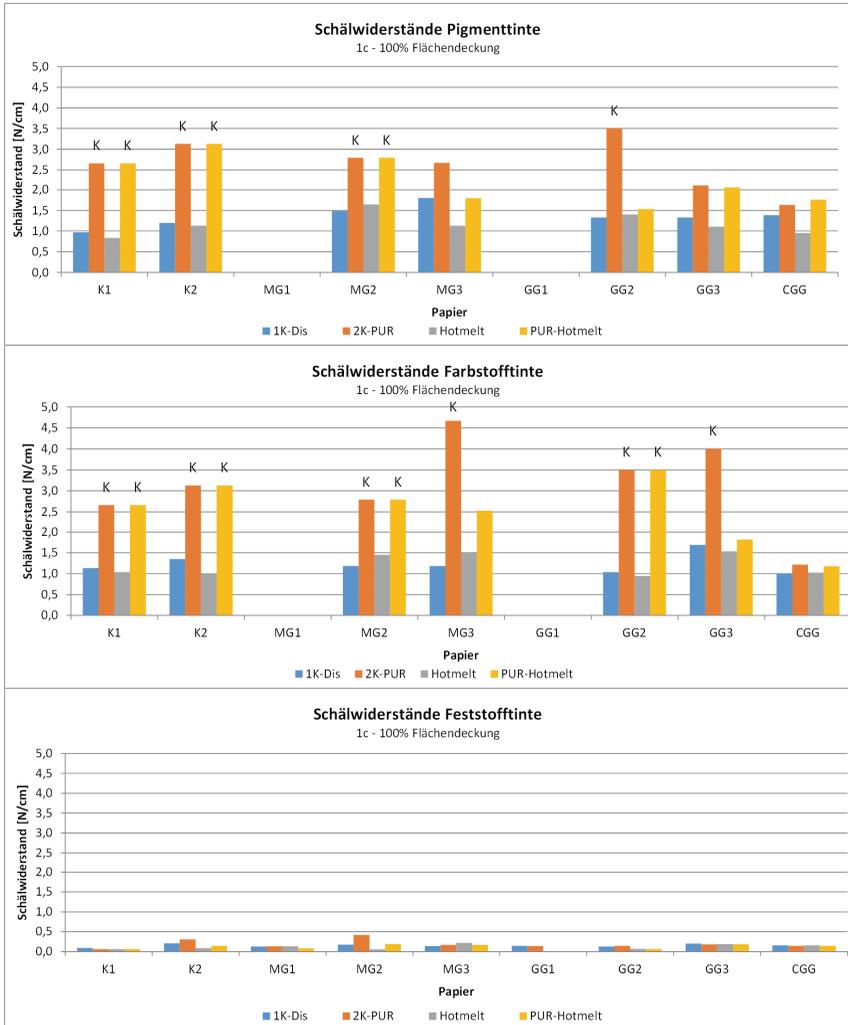


Abb. 74: Schälwiderstände Inkjetdruck; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und des Papiers

Aus den Diagrammen kann folgendes rückgeschlossen werden:

- Auf mit Flüssigtöner bedruckten Substraten bilden die Klebstoffe eine schlechte Haftung aus. Die Linienkräfte liegen unter 1,5N/cm und damit im Bereich einer wahrscheinlichen Delamination.

- b) Kalandrierte Papiere zeigen sich als bessere Verbundpartner – unabhängig von Druckfarbe und Klebstoff.
- c) Chemisch abbindende Klebstoffe (2K-PUR und PUR-Hotmelt) haften erheblich besser als rein physikalisch abbindende Klebstoffe (1K-Dis und Hotmelt). Großteils kommt es hier zu einem Kohäsionsversagen der Faserschicht. Die innere Kohäsion der Faserschicht gibt die Versagensgrenze vor.
- d) Dispersions- und Heißschmelzklebstoffe erreichen schlechte bis mäßige Haftungen.
- e) Druckfarben haben eine schlechte Affinität zu den mit Polyethylen beschichteten Substraten (MG1, GG1). Mit hoher Wahrscheinlichkeit kommt es beim fertigen Produkt zu einem Versagen des Kaschierverbundes durch einen Adhäsionsbruch der Druckfarbe auf dem Substrat. Das Ergebnis ist jedoch ohne Bedeutung, da diese Fotopapiere i.A. nicht kaschierbar sind.
- f) Feststofftinte ist ungeeignet für Kaschierungen; auf der wachsartigen Farbe haftet keiner der hier eingesetzten Klebstoffe.

Die hier dargestellten Messwerte der Abschälversuche korrespondieren mit den Beobachtungen der abgezogenen Farbschicht bei den Bruchbildern (Tabelle 34 und Tabelle 35). Die geringen Haftkräfte von den Klebstoffen 1K-Dis und Hotmelt spiegeln sich wider in einer schlecht einhergehenden Verbindung des Klebstoffs zu der Farbschicht – deutlich zu erkennen an dem geringen Teil der abgezogenen Farbschicht. Das deutet darauf, dass die Farbe eine ganz gute Verbindung zum Papier hat. Ebenso weisen Feststofftinten einen sehr geringen Abzug der Farbschicht auf – übereinstimmend mit den geringen Schälwiderständen; diese sind nicht kaschierbar. PE beschichtete Substrate (MG1, GG1) zeigen einen relativ hohen Anteil der abgezogenen Farbschicht. Unter Beachtung der geringen Schälwiderstände, lässt sich schlussfolgern, dass - trotz der Vorbehandlung der Papiere mit dem Primer – eine geringe Farbhaftung auf dem Papier erzielt wird. Der Kaschierklebstoff zieht die Farbschicht von der Papieroberfläche ab. Flüssigtoner lässt sich generell schlecht kaschieren – lediglich auf kalandriertem Papier erfolgt ein starker Verbund zwischen Folie, Klebstoff, Druckfarbe und Papier.

Mehrfarbenübereinanderdruck

In den folgenden Abbildungen sind die Schälwiderstände der unterschiedlichen Kombinationen von Substrat/ Klebstoff/ Druckfarben abgebildet. Dabei sind die Substrate unterteilt nach ihrer Oberflächenbeschaffenheit: kalandriert (K1, K2), matt beschichtet (MG1, MG2, MG3) und glänzend beschichtet (GG1, GG2, GG3, CGG). Es ist die Abhängigkeit des Schälwiderstandes dargestellt zu der Anzahl der Farben beim Übereinanderdruck; vom einfarbigen Druck bis zum 4-Farben-Übereinanderdruck (in den Abb. 75 bis Abb. 86 mit 1c...4c gekennzeichnet). In direktem Zusammenhang mit der Farbanzahl steht die aufgetragene Farbschichtmenge.

Haftfestigkeiten bei kalandrierten Substraten

In Abb. 76 bis Abb. 78 sind die Schälwiderstände der kalandrierten Substrate in Kombination mit den verschiedenen Klebstoffen und den verschiedenen Druckfarben dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Schälwiderstände bei den 1-Farben und Mehrfarbendruckungen sehr nah beieinander liegen. Die Farbanzahl und auch die Farbschichtdicke üben keinen signifikanten Einfluss auf das Haftvermögen aus.

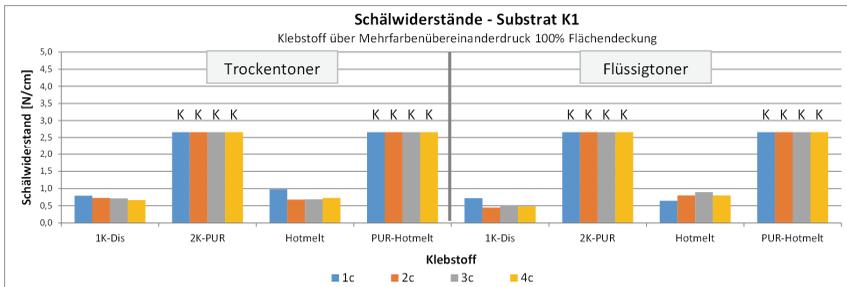


Abb. 75: Schälwiderstände Toner - Substrat K1

Substrat K1 zeigt in Verbindung mit den Klebstoffen 2K-PUR und PUR-Hotmelt, bei allen Probenkombinationen einen Kohäsionsbruch in der Faserschicht, was zur Bedeutung hat, dass sowohl die Adhäsionskräfte als auch die Kohäsionskräfte der übrigen Verbundpartner (Druckfarbe, Klebstoff, Kaschierfolie etc.) höher sind als die Kohäsionskraft des Faserstoffes. Der Einsatz von den Klebstoffen 1K-Dis und Hotmelt führt unabhängig von der eingesetzten Druckfarbe zu Schälwiderständen,

welche unterhalb der eingeführten Begrenzung von mindestens 1,5N/cm liegen und zu einem frühen Versagen des Verbundes führen (vgl. Abb. 75 und Abb. 76).

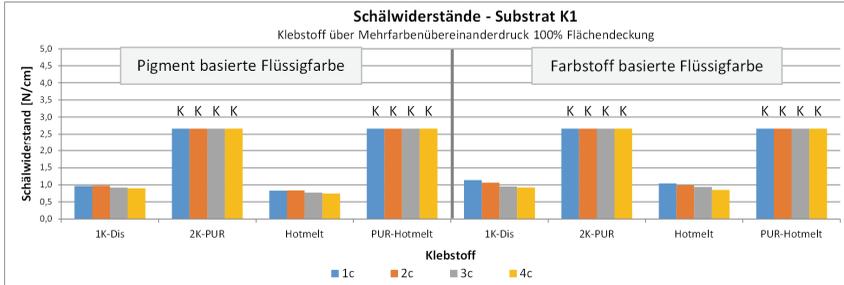


Abb. 76: Schälwiderstände Flüssigfarbe - Substrat K1

Beim kalandrierten Substrat K2 zeigt sich, folgend zum Substrat K1, ein ähnliches Bild. Die chemisch abbindenden Klebstoffe (2K-PUR und PUR-Hotmelt) führen Druckfarben übergreifend zu einem Kohäsionsbruch in der Faserschicht. Die physikalisch abbindenden Klebstoffe (1K-Dis und Hotmelt) zeigen auch hier ein frühes Versagen und einen unzureichenden Zusammenhalt (vgl. Abb. 77 und Abb. 78).

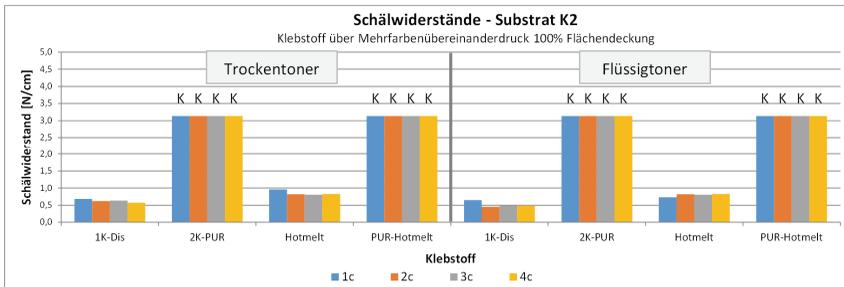


Abb. 77: Schälwiderstände Toner - Substrat K2

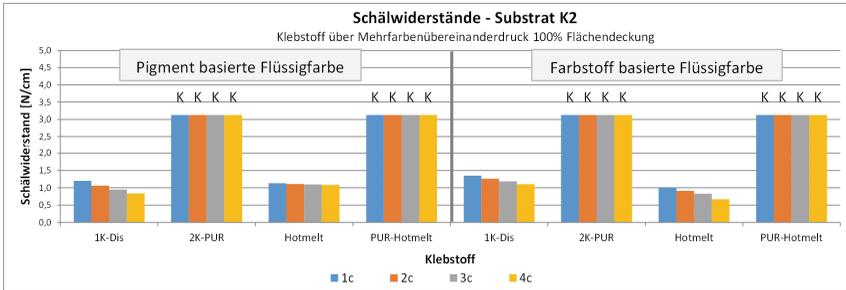


Abb. 78: Schälwiderstände Flüssigfarbe - Substrat K2

Schälwiderstände bei Substraten mit matter Oberfläche

Die Substrate mit einer matten Oberfläche (beschichtet/ gestrichen) werden im Folgenden eingeteilt nach der Art der aufgetragenen Druckfarbe: Trockentoner, Flüssigtone, Pigment basierte Flüssigfarbe, Farbstoff basierte Flüssigfarbe, Feststofffarbe.

Die matt beschichteten bzw. gestrichenen Papiere, in Kombination mit Trockentoner, zeigen bei Kaschierung mit chemisch abbindenden Klebstoffen (2K-PUR, PUR-Hotmelt) Substrat unabhängig hohe Haftkräfte. Lediglich das PE-beschichtete Substrat erlaubt keine gute Haftausbildung. Bei Substrat MG2 kommt es zu einem Kohäsionsbruch in der Faserschicht. Bei dem für Inkjet zertifiziertem Papier kommt es zwar zu keinem Faserbruch auf Grund der hohen inneren Festigkeit des Faserverbundes, dennoch werden sehr hohe Haftkräfte ausgebildet. Die Klebstoffe 1K-DIS und Hotmelt bilden deutlich geringere Kräfte aus und liegen unterhalb der geforderten Grenze bzw. teilweise nur knapp über der 1,5N/cm Grenze (vgl. Abb. 79).

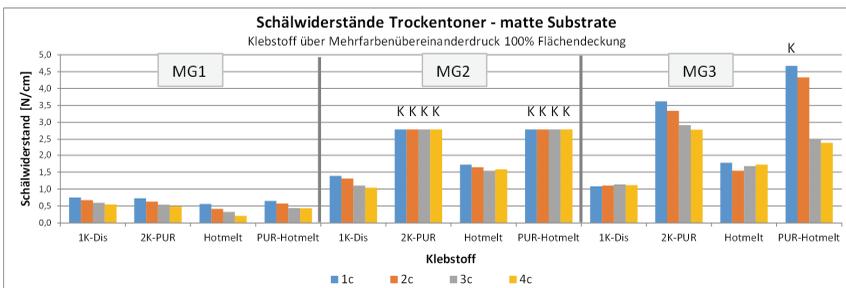


Abb. 79: Schälwiderstände Trockentoner – matte Substrate

Bei Flüssigtoner zeigt sich eine ähnliche Tendenz wie beim Trockentoner. Bei mit PE beschichteten Substraten wird keine ausreichende Haftung erreicht. Die Klebstoffe 1K-Dis und Hotmelt bilden nicht akzeptable Haftkräfte aus. PUR-basierende Klebstoffe weisen Haftfestigkeiten auf geringerem Niveau als bei Trockentoner auf. Die speziell für Flüssigtoner zertifizierten Papiere (MG1) zeigen ähnlich schlechte Haftkräfte auf wie die übrigen Papiere, welche nicht explizit für Flüssigtoner zertifiziert sind.

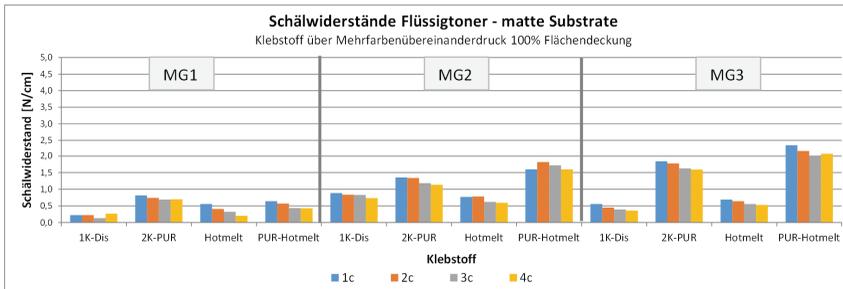


Abb. 80: Schälwiderstände Flüssigtoner – matte Substrate

Flüssigfarbe zeigt in Kombination mit Substrat MG2 und PUR Klebstoff starke Haftkräfte. Beide PUR-basierende Klebstoffe bilden Adhäsions- und Kohäsionskräfte aus, die im Bereich eines Kohäsionsbruchs der Faserschicht führen. 1K-Dis und Hotmelt liegen unterhalb der hinreichenden Grenze. Bei dem speziellen Inkjetsubstrat MG3 zeigt sich keine signifikante Verbesserung der Haftfestigkeiten zu den restlichen Substraten

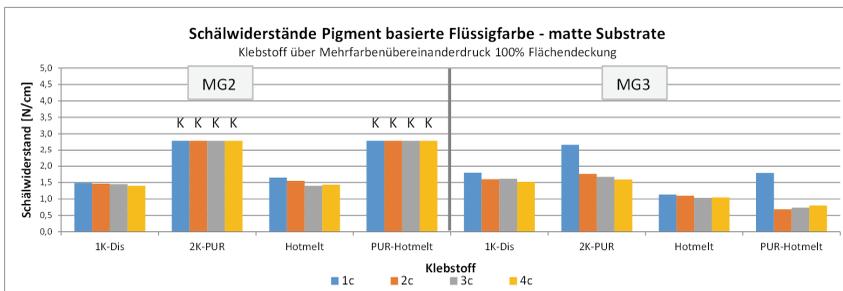


Abb. 81: Schälwiderstände Pigment basierte Flüssigfarbe – matte Substrate

Bei Farbstofftinte ist mit den Klebstoffen 1K-Dis und Hotmelt gleichermaßen nur eine geringe Haftung zu erreichen. PUR Hotmelt bildet eine ausreichend hohe

Haftkraft aus. Der 2K-PUR Klebstoff bildet eine hohe Haftkraft aus, welche zu einem Kohäsionsbruch in der Faserschicht führt.

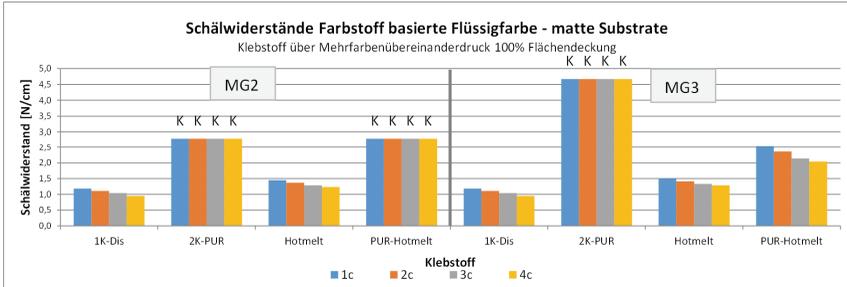


Abb. 82: Schälwiderstände Farbstoff basierte Flüssigfarbe – matte Substrate

Schälwiderstände bei Substraten mit glänzender Oberfläche

Die PE beschichteten Substrate mit einer glänzenden Oberfläche weisen ein ähnliches Verhalten auf wie die matten Substrate mit PE Beschichtung. Eine ausreichende Haftung kann nicht erreicht werden. Bei Trockentoner bilden die PE beschichteten Substrate im Gegensatz zu den matten Substraten, eine deutlich schlechtere Haftkraft aus. Unter Betrachtung, dass der von der Kaschierfolie separierte Farbanteil ähnlich hoch ist (ca. 2/3 Farbabzug) kann davon ausgegangen werden, dass auf der etwas gröberen Körnigkeit der matten Oberflächenbeschichtung, eine etwas bessere Farbhftung ausgebildet wird.

Die glänzend gestrichenen Substrate (GG2 und GG3) zeigen ähnliche Tendenzen wie die matt gestrichenen Substrate: Kohäsionsbrüche bei den PUR-basierenden Klebstoffen, sowie geringe Haftfestigkeiten bei den Klebstoffen 1K-Dis und Hotmelt.

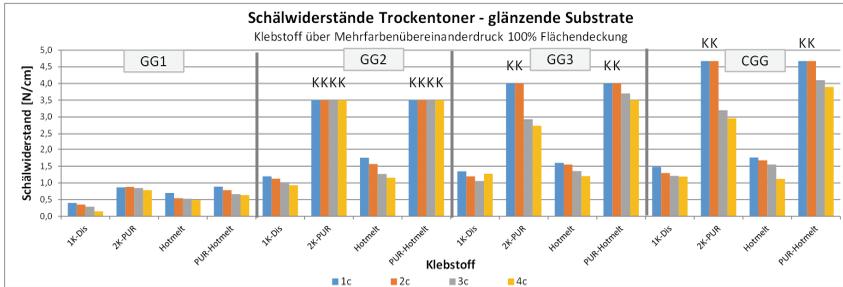


Abb. 83: Schälwiderstände Trockentoner – glänzende Substrate

Auch bei den Substraten mit glänzender Oberfläche zeigen die Flüssigtoneer-Kaschierungen geringe Haftkräfte. Die Linienkräfte liegen bei den chemisch abbindenden Klebstoffen oberhalb der 1,5N/cm Grenze, sind aber allgemein auf niedrigem Niveau.

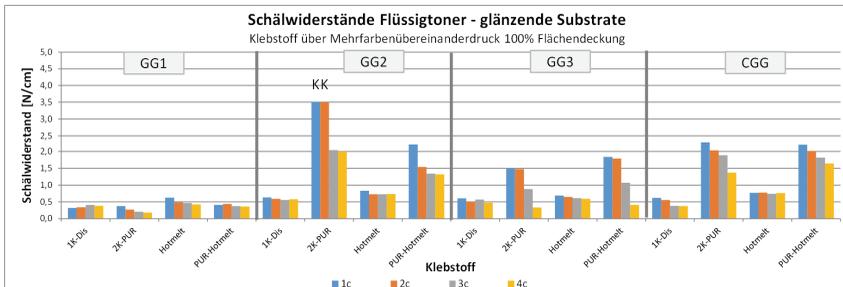


Abb. 84: Schälwiderstände Flüssigtoneer – glänzende Substrate

Pigment basierte Flüssigfarbe und glänzende Substrate zeigen im Allgemeinen eine geringe Haftfestigkeit. Lediglich der 2K-PUR Klebstoff zeigt beim gestrichenen Substrat GG2 eine ausreichende Haftung. Die Inkjet Substrate (GG3 und CGG) haben beide eine feinere Körnigkeit als GG2 und bilden beide mäßige Haftungen aus. Eine Erklärung hierfür wäre, dass die abbindende Farbschicht, sich der Oberflächenstruktur des Papiers anpasst und bei unterschiedlichem Papier die Oberfläche der Farbschicht ebenfalls eine unterschiedliche Topographie aufweist. Im direkten Zusammenhang mit der Topographie steht die mechanische Adhäsionskraft.

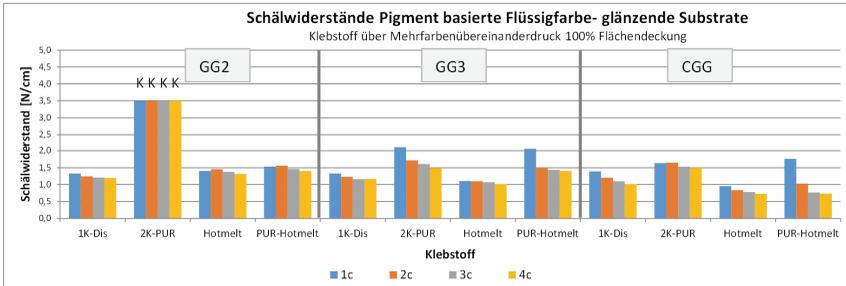


Abb. 85: Schälwiderstände Pigment basierte Flüssigfarbe – glänzende Substrate

In Kombination mit Farbstoff basierter Flüssigfarbe weisen das Substrat GG2 bei 2K-PUR und PUR-Hotmelt eine ausreichende Haftung auf, bis hin zum Kohäsionsbruch der Faserschicht. Mit zunehmender Körnigkeit nimmt bei Substrat GG3 die Haftung des PUR-Hotmelts ab und beim Substrat CGG weisen alle Proben geringe Festigkeiten auf.

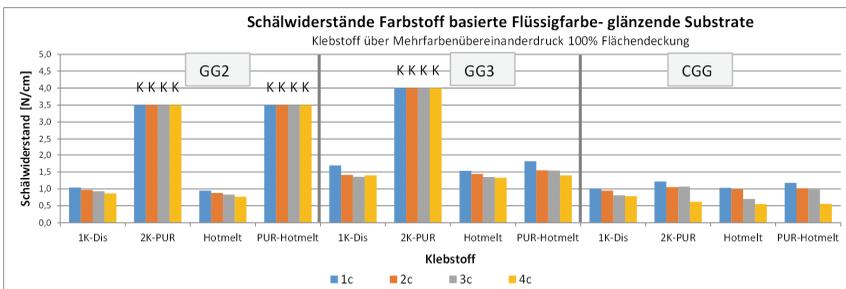


Abb. 86: Schälwiderstände Farbstoff basierte Flüssigfarbe – glänzende Substrate

Flächendeckung

In Abb. 87 bis Abb. 91 sind die Schälwiderstände dargestellt in Abhängigkeit der Flächendeckung bei einem einfarbigen Druck. Für die Untersuchung wurden die Cyanfelder von 25% bis 100% Flächendeckung ausgewertet.

Der Basiswert bei 0% Flächendeckung steht für die Festigkeit des Verbundes bei unbedrucktem Papier. Die geringsten Werte zeigt die Feststofftinte, unabhängig von der Flächendeckung. Ein marginaler Zuwachs des Schälwiderstandes ist mit abnehmender Flächendeckung wahrzunehmen, jedoch reichen die Werte für eine hohe Haftung nicht aus. Bei den restlichen Kaschierungen ist dieser Zuwachs der

Haftwiderstände bei Abnahme der Flächendeckung ebenfalls zu erkennen. Im Wesentlichen ist eine lineare Abnahme der Haftung mit zunehmender Flächendeckung auszumachen. Durch Abnahme der Flächendeckung erhöht sich die Kontaktfläche zwischen unbedrucktem Substrat und Klebstoff. Dies wirkt sich auf die Verbundhaftung aus, denn zumeist haftet der Klebstoff besser auf dem Bedruckstoff als auf der Farbe und mit abnehmender Flächendeckung nimmt die Größe der direkten Kontaktfläche von Papier und Klebstoff zu.

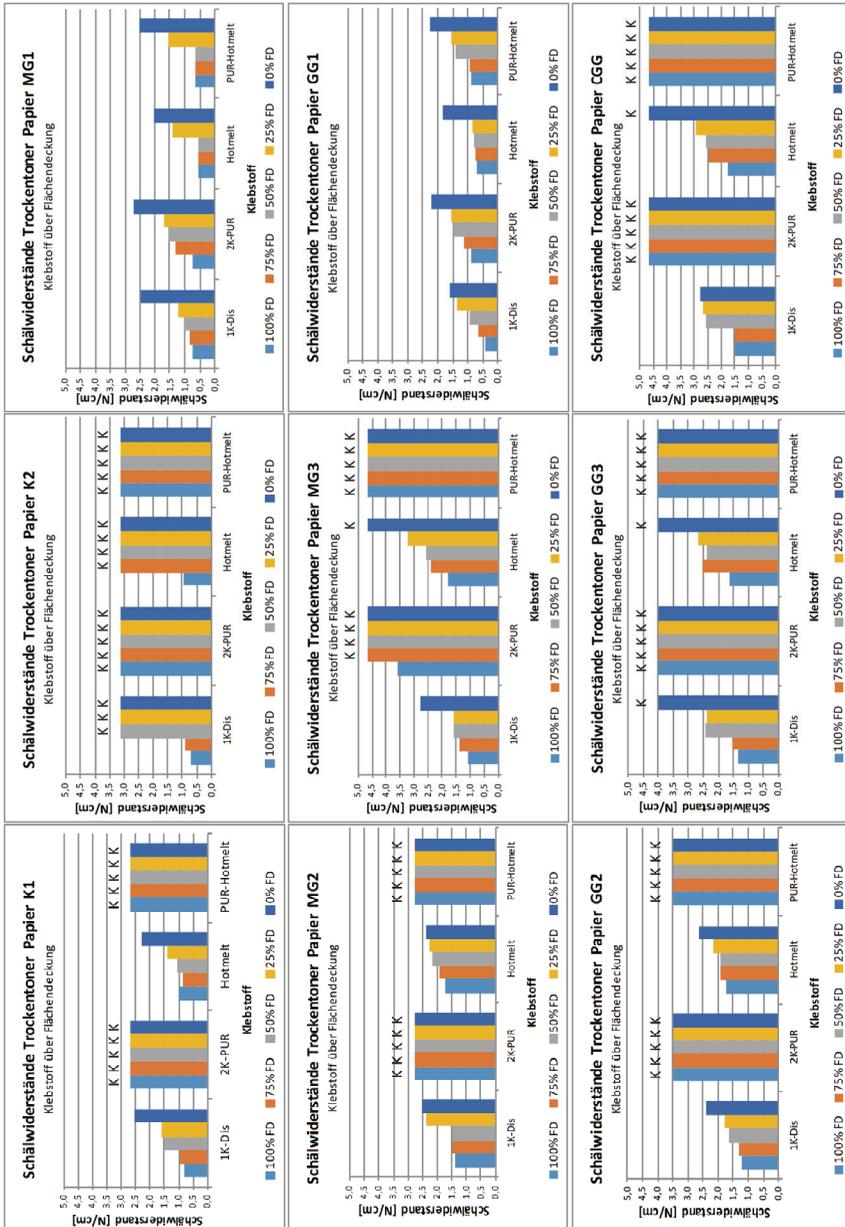


Abb. 87: Schälwiderstände Trockentoner; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und der Flächendeckung

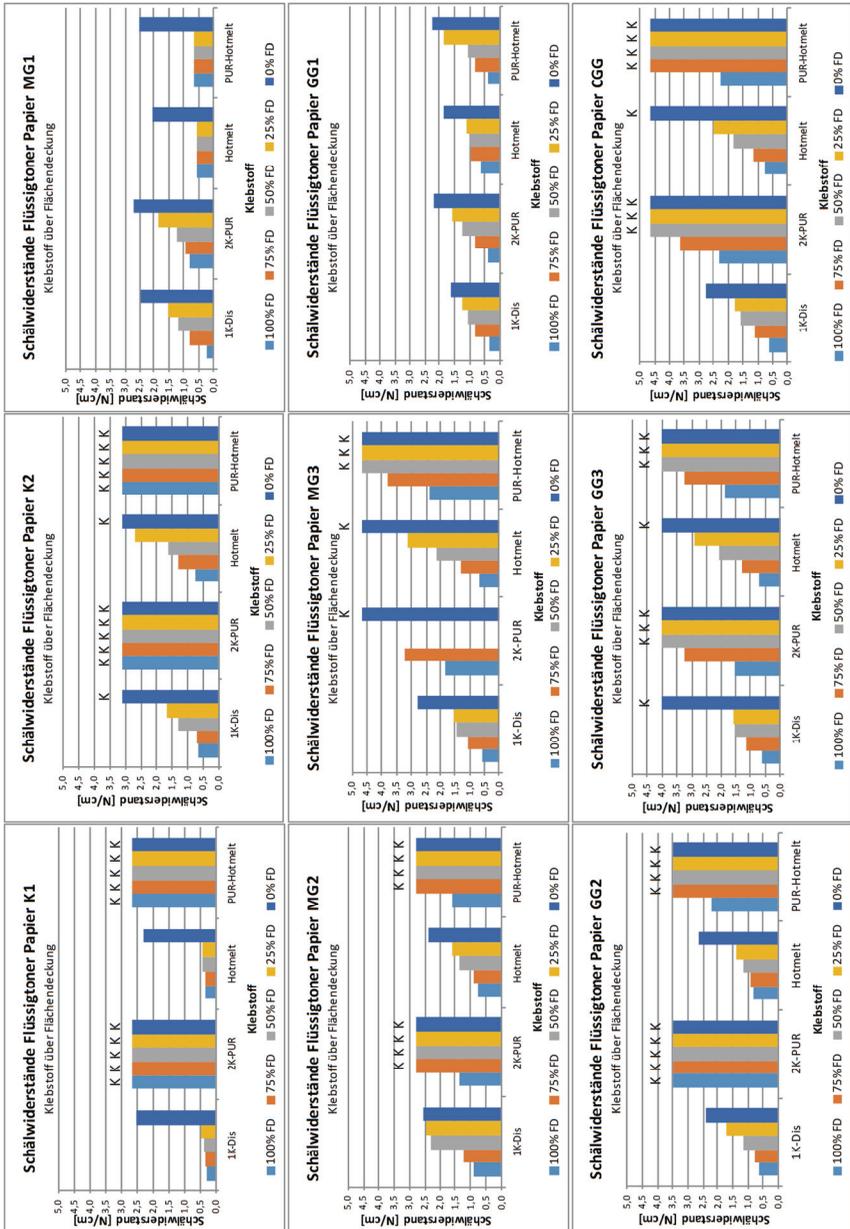


Abb. 88: Schwiderstände Flüssigtoner; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und der Flächendeckung

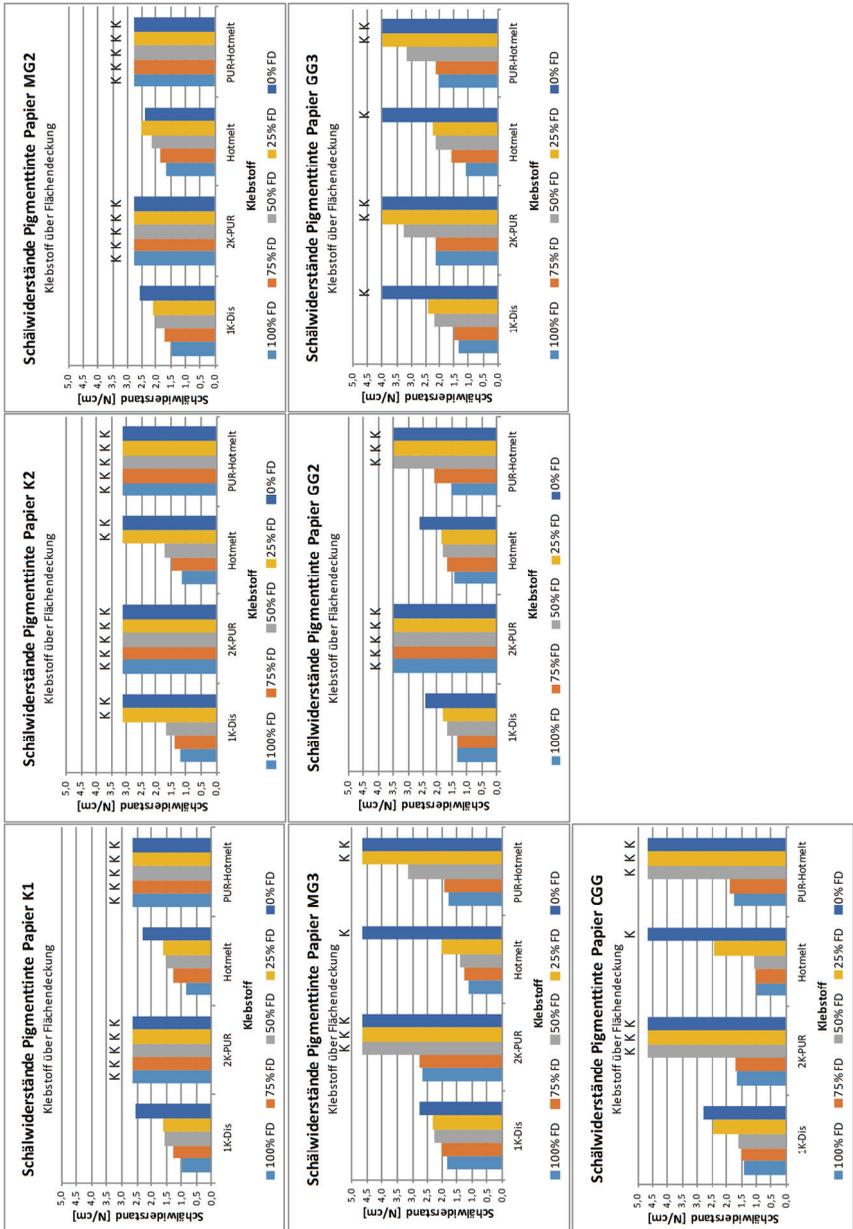


Abb. 89: Schälwiderstände Pigmenttinte; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und der Flächendeckung

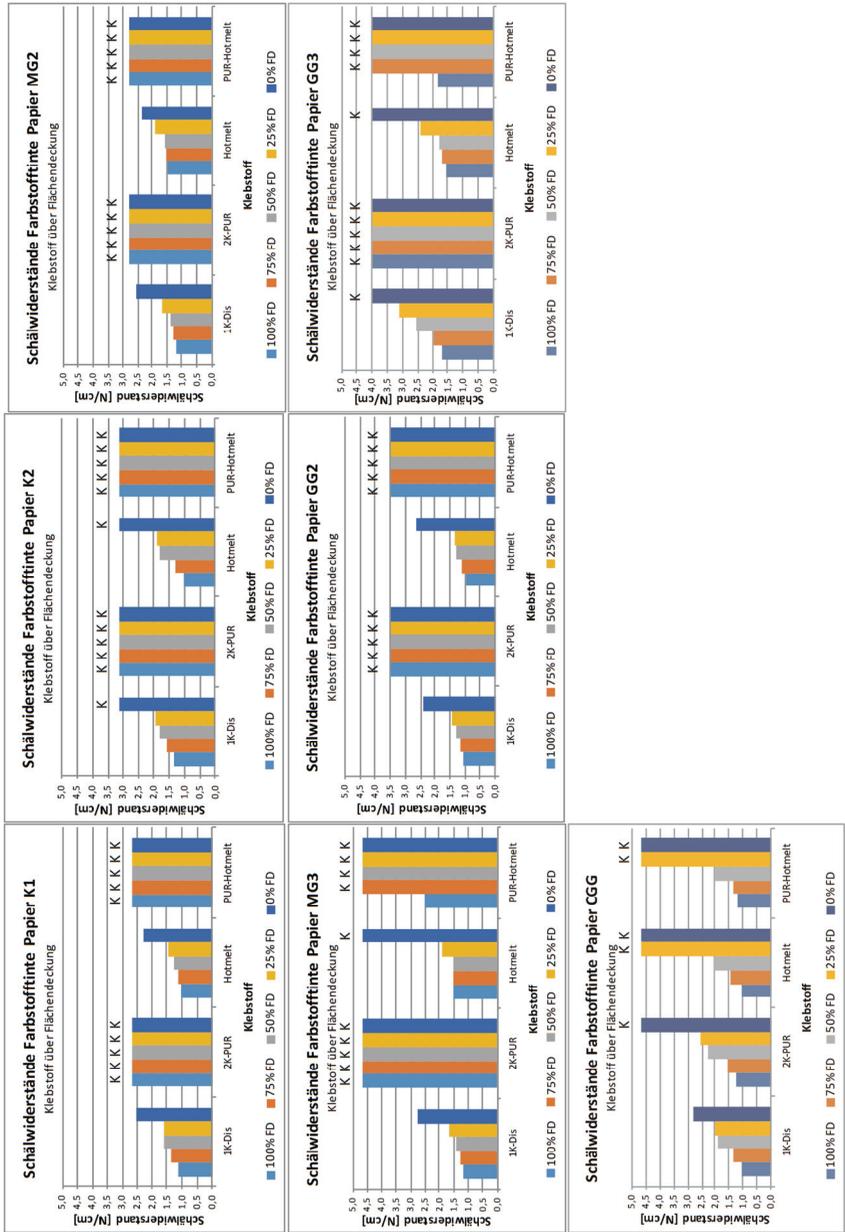


Abb. 90: Schälwiderstände Farbstofftinte; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und der Flächendeckung

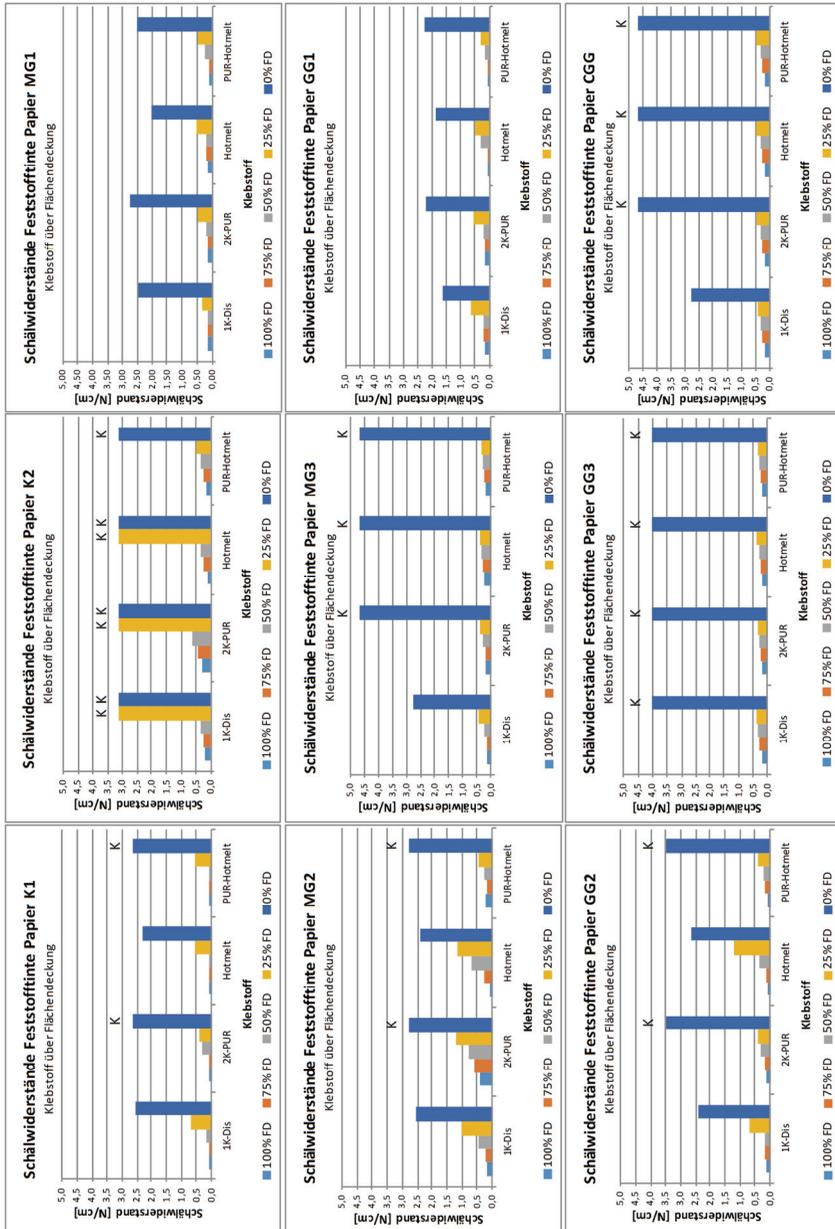


Abb. 91: Schälwiderstände Feststofftinte; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und der Flächendeckung

Gesamtbetrachtung der Ergebnisse

Aus den gemachten Untersuchungen lassen sich folgende Erkenntnisse zusammenfassen:

- a) Allgemein
 - PE-beschichtete Fotopapiere haben eine geringe Farbhftung und auch eine schlechte Haftung von Kaschierklebstoffen.
 - PUR-basierende Klebstoffe haften erheblich besser als Dispersionen und thermischer Klebstoff unabhängig vom Oberflächenstrich und der Farbschichtdicke.
 - Dispersion- und Heißschmelzklebstoffe erreichen nur bei Trockentonerdruck akzeptable Haftbedingungen, sonst herrscht eine geringe Haftung.
 - Die Farbschichtdicke übt keinen signifikanten Einfluss auf die Haftung aus.
 - PUR Klebstoffe haften sehr gut, unabhängig von der Farbbelegung.
 - Bei Dispersion- und Heißschmelzklebstoffen: im Wesentlichen liegt eine lineare Abnahme der Haftung mit zunehmender Flächendeckung vor.
- b) Trockentoner
 - PUR-basierende Klebstoffe bilden eine gute Haftung aus. Dispersion- und Heißschmelzklebstoffe eine eher mittelmäßige Haftung.
- c) Flüssigtoner
 - Bei Flüssigtoner zeigen die Klebstoffe eine schlechte Affinität.
 - Das Verhalten ist vergleichbar mit Trockentoner, es liegt ein niedrigeres Haftungsniveau vor.
 - Dispersion- und Heißschmelzklebstoffe bilden keine akzeptablen Haftungen aus.

- d) Flüssigfarbe (Farbstoff- und Pigmenttinte für Inkjetdruck)
 - Gute Haftung von PUR-basierendem Klebstoff.
 - Bei Inkjetdruck reduziert sich die Klebstoffhaftung von PUR bei großen Farbschichtdicken, bleibt aber auf einem sehr hohen Niveau.
 - Vergleichbar mit Trockentoner.
- e) Feststofftinte
 - Feststofftinte ist ungeeignet für Kaschierungen; auf der wachsartigen Farbe haftet kein Klebstoff.

10.2 Ergebnisdiskussion und Ausblick

Im ersten Teil dieser Arbeit wurde eine Prognose für die zukünftige Leistung von Digitaldruckmaschinen erstellt. Prognosen bergen immer einen gewissen Unsicherheitsfaktor, vor allem wenn ein starker Anstieg prognostiziert wird. Aus technischen und ökonomischen Gründen werden die Zuwächse bei den Leistungen der Digitaldruckmaschinen sicherlich begrenzt werden, nur ist die Art dieser Begrenzung aus heutiger Sicht nicht klar zu determinieren. Es ist nicht vorauszusagen wie sich bspw. die Preise für Digitaldruckfarben entwickeln werden oder welche Art von Technologiesprüngen noch zu erwarten ist. Eine höhere Leistung von Digitaldruckmaschinen kann erreicht werden sowohl durch Konstruktion von breiteren Druckmaschinen, als auch durch schnellere Inkjetdrucker. Beides führt zu einem höheren Papierdurchsatz/h. Der Druck auf eine breitere Druckbahn lässt sich in der Weiterverarbeitung kompensieren durch Längsfalze, welche aus der breiten Bahn eine schmalere Bahn formen oder durch Parallelverarbeitung von ausgewählten Verarbeitungsprozessen. Schnellere Inkjetdrucker ließen sich kompensieren durch schnellere Weiterverarbeitungsanlagen oder durch eine produktionslogistische Anpassung des Gesamtprozesses, wie der Doppelnutzenproduktion.

Bei Betrachtung heutiger Weiterverarbeitungsanlagen gibt es derzeit wenig Grund zur Annahme, dass der Ausstoß von Digitaldruckmaschinen zukünftig nicht verarbeitet werden kann. Variable Querschneider und Falzanlagen genügen der Anforderung der Bahngeschwindigkeit. Alle anderen Anlagen sind taktgebunden und können durch Vervielfachungsmaschinen und durch eine intelligente Produktionslogistik angepasst werden. Aus heutiger Sicht ist zu erkennen, dass die

Weiterverarbeitung auch ohne Technologiesprünge – rein konservativ – mit Leistungssteigerungen der Digitaldrucktechnologie Schritt halten kann.

Bei den Untersuchungen von Kaschierverbunden mit Digitaldrucken konnte mit der Randwinkelmessung von den Substraten und Farbschichten kaum eine hinreichend belastbare Korrelation und Aussage zu der Kaschierbarkeit getroffen werden. Es kann festgehalten werden, dass PE-beschichtete Papiere einen rein dispersen Oberflächencharakter haben und auf diesen keine Haftungen erzielt werden kann. Oberflächen anderer Papiere weisen einen hohen polaren Anteil auf, was sich in der Ausbildung der Festigkeit von Druckfarbe und Kaschierklebstoff nicht bemerkbar macht. Andererseits werden teilweise bei Papieren mit geringen polaren Anteilen gute Haftkräfte ausgebildet.

Der Einsatz von PUR-basierenden Klebstoffen für die Kaschierung von Digitaldruckprodukten erweist sich als gut, unabhängig von dem eingesetzten Papier. Der Einsatz anderer Klebstoffe muss individuell begutachtet werden. Die durchgeführten Randwinkelmessungen lassen auf ein Verbundhaftungsverhalten keine seriösen und belastbaren Aussagen zu. Durch eine evtl. Reaktion des PUR Klebstoffs mit der Druckfarbe verliert die Oberflächenspannung ohnehin an Bedeutung.

Bei Kaschierverbunden gibt es drei signifikante Einflussfaktoren:

- Bedruckstoffe bzw. Oberflächenveredelung von Bedruckstoffen
- Druckfarbe
- Klebstoffe.

Den entscheidenden Einfluss haben die Klebstoffe. Bruchbilder und Haftfestigkeitsuntersuchungen haben gezeigt, dass moderne PUR-basierte Klebstoffe zu qualifizierten Verbunden führen. Dispersionsklebstoffe und Heißschmelzklebstoffe haften wohl auf unbedruckten Papieren, jedoch nicht auf den untersuchten Druckfarben mit Ausnahme der Pigmenttinten und eingeschränkt auf den Farbstofftinten.

Druckfarben verhalten sich unterschiedlich im Kaschierverbund. Wachs basierte Feststofftinten haften nicht, sind völlig ungeeignet, obwohl die Bestimmung der Oberflächenenergie keine Hinweise darauf gibt. Flüssigtoner lässt sich mit PUR-

basierten Klebstoffen i.A. fest verkleben. Dispersionsklebstoff und Heißschmelzklebstoffe können keine akzeptablen Festigkeiten erzeugen. Es ist naheliegend, dass Rückstände von isoparaffinischen Kohlewasserstoffen, welche als Farbhilfsstoffe fungieren, einer Haftung entgegenwirken.

Trockentoner sind in den meisten Fällen mit Heißschmelzklebstoff stabil zu laminieren, während sie mit Dispersionsklebstoff überwiegend keine gute Verbindung eingehen. Inkjetintinen bilden mit PUR-basierten Klebstoffen fast immer starke Verbunde aus. Klebstoffdispersion und Schmelzklebstoff erreichen zumeist Verbundfestigkeiten, knapp oberhalb bzw. unterhalb der Akzeptanzgrenze von 1,5N/cm, insbesondere bei einer 100%igen Flächendeckung der Druckfarbe.

Alle untersuchten Papiere, kalandrierte Naturpapiere, gestrichene Papiere und sogar die Papiere mit PE-Beschichtung auf der Oberfläche lassen sich unbedruckt mit allen Klebstoffen gut kaschieren. Die bedruckten Verbunde mit PE-beschichteten Oberflächen sind schwach, liegen unterhalb der Akzeptanzgrenze. Einschränkend ist jedoch anzumerken, dass diese Papiere primär für die hochwertige Widergabe von Fotos entwickelt werden und weniger für Kaschierverbunde von Broschürenumschlägen und Einbandmaterialien.

Festzuhalten ist, dass PUR-basierende Klebstoffe für nahezu alle Kaschierverbindungen geeignet sind. Die physikalisch-chemischen sowie thermodynamischen Ursachen hierfür sind noch nicht geklärt. Es ist jedoch vorstellbar, dass bei diesen reaktiv aushärtenden Klebstoffen die reaktiven Kettenenden der Reaktionspartner, Alkohol und Isocyanat, nicht allein miteinander reagieren, sondern auch mit dem Substrat der Kaschierung.

Anhang

Auf den Seiten 162 bis 176 sind alle ermittelten Schälwiderstände in tabellarischer Form dargestellt. Die Tabellen sind nach folgendem Schema grafisch hervorgehoben:

	$W_s \geq 1,5 \frac{N}{cm}$	Haftvermögen ausreichend.
	$0,5 \frac{N}{cm} \leq W_s \leq 1,49 \frac{N}{cm}$	Haftvermögen nicht ausreichend. Delamination der Kaschierfolie evtl. möglich.
	$W_s \leq 0,49 \frac{N}{cm}$	Haftvermögen zu gering. Delamination der Kaschierfolie.
	$W_s > K_{FS}$	Kohäsionsbruch in der Faserschicht des Papiers.
W_s =Schälwiderstand K_{FS} =Kohäsionskraft der Faserschicht		

Tabelle 37: Farbliche Codierung der Qualitätsgruppen eines Kaschierverbundes

Schälwiderstände

Schälwiderstände Trockentoner – I														
K1	1K Dis				K2	1K Dis				MG1	1K Dis			
	FD	1c	2c	3c		4c	FD	1c	2c		3c	4c	FD	1c
100%	0,79	0,73	0,71	0,67	100%	0,68	0,62	0,63	0,57	100%	0,75	0,67	0,59	0,55
75%	0,96	0,83	0,81	0,76	75%	0,91	0,69	0,66	0,59	75%	0,84	0,83	0,73	0,67
50%	1,49	0,90	0,97	0,88	50%		0,74	0,69	0,61	50%	1,01	0,92	0,85	0,79
25%	1,60	1,41	1,11	1,00	25%		0,85	0,79	0,69	25%	1,23	1,09	1,03	0,96
0%	2,55				0%	3,13				0%	2,49			
2K PUR					2K PUR					2K PUR				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%					100%					100%	0,73	0,63	0,54	0,49
75%					75%					75%	1,33	1,12	0,89	0,66
50%					50%					50%	1,57	1,32	1,12	0,91
25%		2,66			25%		3,13			25%	1,69	1,65	1,62	1,40
0%					0%					0%	2,74			
Hotmelt					Hotmelt					Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,98	0,68	0,69	0,73	100%	0,96	0,82	0,81	0,83	100%	0,56	0,41	0,33	0,21
75%	0,84	0,76	0,77	0,69	75%		0,97	0,87	0,87	75%	0,57	0,51	0,41	0,30
50%	1,07	0,77	0,80	0,77	50%					50%	0,57	0,54	0,43	0,31
25%	1,42	1,09	0,84	0,87	25%		3,13			25%	1,39	1,00	0,99	0,51
0%	2,31				0%					0%	2,03			
PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%					100%					100%	0,65	0,57	0,44	0,43
75%					75%					75%	0,65	0,59	0,51	0,47
50%					50%		3,13			50%	0,66	0,60	0,62	0,57
25%		2,66			25%					25%	1,54	1,12	0,83	0,82
0%					0%					0%	2,54			

FD = Flächendeckung
 nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenüberdrucken (hier n=1 - 4)

Tabelle 38: Schälwiderstände – Trockentoner - I

Schälwiderstände Trockentoner - II														
MG2	1K Dis				MG3	1K Dis				GG1	1K Dis			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,39	1,31	1,10	1,04	100%	1,08	1,10	1,13	1,11	100%	0,40	0,35	0,29	0,15
75%	1,49	1,62	1,37	1,29	75%	1,39	1,25	1,27	1,18	75%	0,67	0,59	0,49	0,25
50%	1,49	1,75	1,53	1,45	50%	1,57	1,49	1,41	1,25	50%	0,93	0,97	0,86	0,75
25%	2,41	1,90	1,88	1,64	25%	1,58	1,53	1,56	1,37	25%	1,35	1,19	1,04	1,03
0%	2,56				0%	2,78				0%	1,60			
	2K PUR					2K PUR					2K PUR			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%					100%	3,62	3,34	2,92	2,78	100%	0,87	0,88	0,85	0,78
75%					75%					75%	1,13	1,14	1,10	1,01
50%					50%					50%	1,43	1,22	1,14	1,09
25%		2,79			25%		4,67			25%	1,57	1,41	1,29	1,14
0%					0%					0%	2,20			
	Hotmelt					Hotmelt					Hotmelt			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,72	1,65	1,54	1,59	100%	1,78	1,54	1,68	1,72	100%	0,70	0,54	0,52	0,48
75%	1,90	1,76	1,65	1,70	75%	2,37	2,15	1,75	1,71	75%	0,74	0,71	0,63	0,67
50%	2,15	2,61	1,67	1,73	50%	2,60	2,39	1,95	1,90	50%	0,81	0,78	0,71	0,69
25%	2,23	2,69	2,01	1,94	25%	3,22	2,83	2,65	2,25	25%	0,85	0,79	0,73	0,70
0%	2,39				0%		4,67			0%	1,85			
	PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%					100%		4,33	2,51	2,39	100%	0,89	0,78	0,67	0,64
75%					75%			3,35	3,19	75%	0,92	0,92	0,76	0,73
50%					50%					50%	1,40	1,34	1,03	1,02
25%		2,79			25%		4,67			25%	1,56	1,50	1,52	1,48
0%					0%					0%	2,24			

FD = Flächendeckung
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenüberinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 39: Schälwiderstände – Trockentoner - II

Schälwiderstände Trockentoner - III														
GG2	1K Dis				GG3	1K Dis				CGG	1K Dis			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,19	1,13	1,02	0,93	100%	1,35	1,19	1,05	1,27	100%	1,48	1,29	1,21	1,19
75%	1,33	1,19	1,07	0,97	75%	1,54	0,91	1,21	1,16	75%	1,50	1,12	1,37	1,21
50%	1,66	1,25	1,49	1,57	50%	2,41	1,61	1,53	1,10	50%	2,60	1,95	1,53	1,23
25%	1,80	1,77	1,65	1,73	25%	2,40	1,84	1,83	1,18	25%	2,66	1,95	2,59	1,27
0%	2,42				0%	4,00				0%	2,85			
2K PUR					2K PUR					2K PUR				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%					100%			2,93	2,73	100%			3,20	2,97
75%					75%					75%				
50%					50%					50%				
25%		3,5			25%		4,00			25%		4,67		
0%					0%					0%				
Hotmelt					Hotmelt					Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,75	1,57	1,27	1,15	100%	1,60	1,55	1,35	1,20	100%	1,76	1,67	1,55	1,12
75%	1,90	1,81	1,34	1,30	75%	2,52	1,62	1,55	1,43	75%	2,45	2,00	1,76	1,48
50%	1,95	1,90	1,54	1,45	50%	2,38	2,10	1,97	1,65	50%	2,57	2,55	1,96	1,85
25%	2,15	1,97	1,78	1,73	25%	2,67	2,57	2,37	2,10	25%	2,96	2,73	2,46	2,25
0%	2,63				0%	4,00				0%	4,67			
PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%					100%			3,70	3,50	100%			4,10	3,90
75%					75%					75%				
50%		3,5			50%					50%				
25%					25%		4,00			25%		4,67		
0%					0%					0%				

FD = Flächendeckung
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenübereinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 40: Schälwiderstände – Trockentoner - III

Schälwiderstände Flüssigtoner - I														
K1	1K Dis				K2	1K Dis				MG1	1K Dis			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,72	0,44	0,52	0,48	100%	0,65	0,45	0,49	0,49	100%	0,23	0,23	0,13	0,27
75%	0,70	0,48	0,47	0,51	75%	0,69	0,54	0,52	0,53	75%	0,79	0,61	0,61	0,40
50%	1,15	0,90	0,77	0,76	50%	1,29	0,80	0,77	0,68	50%	1,21	0,92	0,71	0,54
25%	1,61	1,41	1,14	0,64	25%	1,66	1,31	1,27	0,70	25%	1,51	1,27	0,89	0,95
0%	2,55				0%		3,1			0%	2,49			
	2K PUR					2K PUR					2K PUR			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%					100%					100%	0,82	0,74	0,69	0,70
75%					75%					75%	0,92	0,79	0,81	0,77
50%		2,7			50%					50%	1,25	0,85	0,91	0,84
25%					25%		3,1			25%	1,85	1,15	1,13	0,97
0%					0%					0%	2,74			
	Hotmelt					Hotmelt					Hotmelt			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,65	0,80	0,90	0,80	100%	0,73	0,82	0,81	0,83	100%	0,56	0,41	0,33	0,21
75%	1,13	1,00	0,78	0,90	75%	1,27	0,97	0,87	0,87	75%	0,57	0,51	0,41	0,30
50%	1,64	1,51	1,17	1,04	50%	1,62	1,15	1,42	1,08	50%	0,57	0,54	0,43	0,31
25%	3,05	2,10	1,75	1,06	25%	2,73	2,02	1,77	1,13	25%	0,57	0,60	0,47	0,33
0%	2,31				0%		3,1			0%	2,03			
	PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%					100%					100%	0,65	0,57	0,44	0,43
75%					75%					75%	0,65	0,59	0,51	0,47
50%					50%					50%	0,66	0,60	0,62	0,57
25%		2,7			25%		3,1			25%	0,66	0,59	0,65	0,59
0%					0%					0%	2,54			

FD = Flächendeckung
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenüberinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 41: Schälwiderstände – Flüssigtoner - I

Schälwiderstände Flüssigtoner - II														
MG2	1K Dis				MG3	1K Dis				GG1	1K Dis			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,89	0,84	0,83	0,73	100%	0,56	0,45	0,40	0,36	100%	0,32	0,34	0,41	0,38
75%	1,21	0,87	0,86	0,86	75%	1,03	0,51	0,51	0,49	75%	0,82	0,77	0,68	0,46
50%	2,30	1,09	1,11	0,87	50%	1,44	0,69	0,68	0,67	50%	1,03	0,96	0,77	0,69
25%	2,45	1,69	1,46	1,35	25%	1,55	1,40	1,23	0,99	25%	1,24	1,15	0,86	0,82
0%	2,56				0%	2,78				0%	1,60			
	2K PUR					2K PUR					2K PUR			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,35	1,34	1,19	1,13	100%	1,84	1,78	1,63	1,59	100%	0,37	0,27	0,21	0,18
75%			1,31	1,26	75%	3,23	2,29	2,20	2,15	75%	0,82	0,38	0,27	0,24
50%					50%		3,60	3,51	3,43	50%	1,26	0,61	0,71	0,63
25%		2,8			25%					25%	1,56	1,15	1,13	1,00
0%					0%		4,7			0%	2,20			
	Hotmelt					Hotmelt					Hotmelt			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,77	0,79	0,62	0,59	100%	0,69	0,64	0,56	0,53	100%	0,63	0,49	0,47	0,42
75%	0,91	0,71	0,53	0,56	75%	1,31	0,72	0,63	0,60	75%	0,97	0,57	0,51	0,46
50%	1,35	0,90	0,70	0,73	50%	2,11	1,16	1,13	1,09	50%	1,01	0,56	0,51	0,46
25%	1,59	1,23	1,19	1,09	25%	3,11	2,84	1,65	1,57	25%	1,07	0,98	0,91	0,82
0%	2,39				0%		4,7			0%	1,85			
	PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,60	1,82	1,72	1,60	100%	2,35	2,15	2,01	2,07	100%	0,41	0,43	0,37	0,36
75%			1,78	1,69	75%	3,82	2,86	2,71	2,64	75%	0,82	0,51	0,41	0,39
50%		2,8			50%		3,20	3,13	3,00	50%	1,06	0,75	0,65	0,62
25%					25%		4,7			25%	1,84	1,47	1,27	1,23
0%					0%					0%	2,24			

FD = Flächendeckung
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenübereinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 42: Schälwiderstände – Flüssigtoner - II

Schälwiderstände Flüssigtoner - III														
GG2	1K Dis				GG3	1K Dis				CGG	1K Dis			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,63	0,59	0,55	0,57	100%	0,60	0,51	0,57	0,47	100%	0,62	0,55	0,38	0,37
75%	0,76	0,62	0,59	0,61	75%	1,15	0,55	0,47	0,43	75%	1,11	0,49	0,44	0,42
50%	1,13	0,67	0,63	0,65	50%	1,53	0,77	0,72	0,69	50%	1,57	0,70	0,69	0,67
25%	1,70	1,18	0,90	0,78	25%	1,57	1,59	1,25	1,05	25%	1,77	1,69	1,38	1,20
0%	2,42				0%	4,00				0%	2,85			
2K PUR					2K PUR					2K PUR				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%			2,05	2,00	100%	1,50	1,48	0,88	0,33	100%	2,30	2,04	1,89	1,37
75%			2,19	2,14	75%	3,23	2,05	0,96	0,89	75%	3,62	2,41	2,13	1,79
50%					50%		3,15	1,13	1,05	50%		3,72	2,86	2,69
25%		3,5			25%			2,00	1,95	25%				
0%					0%		4,00			0%		4,7		
Hotmelt					Hotmelt					Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,83	0,73	0,73	0,73	100%	0,69	0,65	0,61	0,59	100%	0,77	0,78	0,74	0,76
75%	0,92	0,86	0,86	0,74	75%	1,27	0,76	0,65	0,61	75%	1,15	0,77	0,77	0,78
50%	1,13	1,09	0,77	0,79	50%	2,05	1,65	1,13	0,94	50%	1,80	1,02	0,96	0,93
25%	1,38	1,11	1,01	0,98	25%	2,92	2,82	1,53	1,43	25%	2,49	1,89	1,82	1,81
0%	2,63				0%	4,00				0%	4,7			
PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	2,24	1,54	1,34	1,32	100%	1,84	1,79	1,07	0,41	100%	2,23	2,02	1,82	1,65
75%			1,73	1,70	75%	3,27	2,55	1,19	1,10	75%		2,94	2,31	1,95
50%					50%		3,62	1,30	1,20	50%		3,71	2,58	2,43
25%		3,5			25%					25%				
0%					0%		4,00			0%		4,7		

FD = Flächendeckung
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenübereinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 43: Schälwiderstände – Flüssigtoner – III

Schälwiderstände Pigmenttinte - I															
K1		1K Dis				K2		1K Dis				MG1			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	
100%	0,97	0,97	0,92	0,90	100%	1,20	1,07	0,95	0,84	100%					
75%	1,27	1,15	1,13	1,02	75%	1,40	1,25	1,11	0,99	75%					
50%	1,53	1,45	1,39	1,33	50%	1,67	1,49	1,33	1,18	50%					
25%	1,60	1,61	1,51	1,45	25%					25%					
0%	2,55				0%		3,1			0%					
2K PUR					2K PUR										
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD					
100%					100%					100%					
75%					75%					75%					
50%		2,7			50%					50%					
25%					25%		3,1			25%					
0%					0%					0%					
Hotmelt					Hotmelt										
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD					
100%	0,83	0,84	0,77	0,74	100%	1,13	1,11	1,10	1,09	100%					
75%	1,26	1,09	1,05	0,87	75%	1,47	1,34	1,27	1,25	75%					
50%	1,47	1,51	1,43	1,33	50%	1,73	1,67	1,60	1,56	50%					
25%	1,60	1,53	1,53	1,47	25%					25%					
0%	2,31				0%		3,1			0%					
PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt										
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD					
100%					100%					100%					
75%					75%					75%					
50%					50%					50%					
25%		2,7			25%		3,1			25%					
0%					0%					0%					

nicht bedruckbar

FD = Flächendeckung
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenübereinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 44: Schälwiderstände – Pigmenttinte - I

Schälwiderstände Pigmenttinte - II														
MG2	1K Dis				MG3	1K Dis				GG1				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,49	1,46	1,45	1,40	100%	1,80	1,60	1,61	1,52	100%				
75%	1,71	1,63	1,60	1,57	75%	2,01	1,68	1,63	1,53	75%				
50%	1,99	1,80	1,71	1,65	50%	2,25	1,71	1,64	1,55	50%				
25%	2,11	2,07	1,93	1,85	25%	2,30	1,80	1,67	1,59	25%				
0%	2,56				0%	2,78				0%				
	2K PUR					2K PUR								
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD				
100%					100%	2,67	1,76	1,67	1,59	100%				
75%					75%	2,79	1,91	1,84	1,73	75%				
50%					50%		1,95	1,87	1,83	50%				
25%		2,8			25%			2,60	2,37	25%				
0%					0%		4,7			0%				
	Hotmelt					Hotmelt								
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD				
100%	1,65	1,55	1,40	1,43	100%	1,13	1,10	1,03	1,05	100%				
75%	1,85	1,57	1,53	1,51	75%	1,26	1,13	1,13	1,13	75%				
50%	2,12	1,62	1,55	1,59	50%	1,40	1,26	1,30	1,27	50%				
25%	2,54	2,41	2,12	2,01	25%	1,99	1,66	1,56	1,59	25%				
0%	2,39				0%		4,7			0%				
	PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt								
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD				
100%					100%	1,79	0,69	0,73	0,80	100%				
75%					75%	1,90	1,13	0,80	0,84	75%				
50%					50%	3,13	1,59	1,47	1,43	50%				
25%		2,8			25%		4,7	2,01	1,93	25%				
0%					0%					0%				
FD = Flächendeckung														
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenüberinanderdruck (hier n=1 - 4)														

nicht
bedruckbar

Tabelle 45: Schälwiderstände – Pigmenttinte - II

Schälwiderstände Pigmenttinte - III														
GG2	1K Dis				GG3	1K Dis				CGG	1K Dis			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,33	1,25	1,21	1,19	100%	1,33	1,23	1,16	1,17	100%	1,39	1,20	1,10	1,01
75%	1,34	1,33	1,27	1,23	75%	1,49	1,45	1,33	1,24	75%	1,52	1,27	1,25	1,21
50%	1,67	1,60	1,40	1,37	50%	2,17	2,03	1,90	1,87	50%	1,59	1,53	1,40	1,43
25%	1,79	1,65	1,49	1,41	25%	2,40	2,23	1,99	1,89	25%	2,48	2,27	2,07	1,93
0%	2,42				0%	█	4,00	█	█	0%	2,85			
2K PUR					2K PUR					2K PUR				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	█	█	█	█	100%	2,11	1,72	1,61	1,49	100%	1,63	1,65	1,53	1,50
75%	█	█	█	█	75%	2,15	1,73	1,71	1,59	75%	1,70	1,66	1,59	1,54
50%	█	█	█	█	50%	3,26	2,52	2,06	1,99	50%	█	1,88	1,73	1,65
25%	█	3,5	█	█	25%	█	2,66	2,28	2,04	25%	█	█	█	█
0%	█	█	█	█	0%	█	4,00	█	█	0%	█	4,7	█	█
Hotmelt					Hotmelt					Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,40	1,46	1,37	1,31	100%	1,11	1,10	1,07	1,01	100%	0,95	0,84	0,78	0,73
75%	1,65	1,51	1,41	1,34	75%	1,59	1,37	1,18	1,12	75%	1,03	0,88	0,87	0,85
50%	1,79	1,67	1,52	1,41	50%	2,13	1,97	1,60	1,72	50%	1,07	1,04	0,96	0,98
25%	1,86	1,75	1,59	1,51	25%	2,22	2,17	2,17	1,99	25%	2,41	1,48	1,52	1,42
0%	2,63				0%	█	4,00	█	█	0%	█	4,7	█	█
PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,53	1,56	1,47	1,40	100%	2,05	1,49	1,43	1,40	100%	1,76	1,03	0,77	0,73
75%	2,10	1,63	1,53	1,45	75%	2,12	1,77	1,71	1,63	75%	1,91	1,11	0,91	0,83
50%	█	█	█	█	50%	3,15	2,29	1,93	1,81	50%	█	1,16	1,05	0,97
25%	█	3,5	█	█	25%	█	█	2,40	2,23	25%	█	1,45	1,42	1,34
0%	█	█	█	█	0%	█	4,00	█	█	0%	█	4,7	█	█

FD = Flächendeckung
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenübereinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 46: Schälwiderstände – Pigmenttinte - III

Schälwiderstände Farbstofftinte - I															
K1	1K Dis				K2	1K Dis				MG1					
	FD	1c	2c	3c		4c	FD	1c	2c		3c	4c	FD	1c	2c
100%	1,13	1,06	0,95	0,92	100%	1,35	1,26	1,19	1,11	100%					
75%	1,33	1,13	1,06	1,06	75%	1,57	1,45	1,33	1,24	75%					
50%	1,57	1,49	1,43	1,31	50%	1,81	1,69	1,55	1,44	50%					
25%	1,59	1,53	1,51	1,49	25%	1,93	1,87	1,53	1,39	25%					
0%	2,55				0%		3,1			0%					
2K PUR					2K PUR										
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD					
100%					100%					100%					
75%					75%					75%					
50%					50%					50%					
25%		2,7			25%		3,1			25%					
0%					0%					0%					
Hotmelt					Hotmelt										
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD					
100%	1,04	0,99	0,94	0,85	100%	1,01	0,91	0,83	0,67	100%					
75%	1,12	1,04	1,04	1,01	75%	1,28	1,06	0,97	0,93	75%					
50%	1,25	1,23	1,13	1,07	50%	1,78	1,60	1,41	1,25	50%					
25%	1,47	1,48	1,27	1,27	25%	1,87	1,87	1,72	1,67	25%					
0%	2,31				0%		3,1			0%					
PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt										
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD					
100%					100%					100%					
75%					75%					75%					
50%					50%					50%					
25%		2,7			25%		3,1			25%					
0%					0%					0%					

nicht bedruckbar

FD = Flächendeckung
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenübereinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 47: Schälwiderstände – Farbstofftinte - I

Schälwiderstände Farbstofftinte - II														
MG2	1K Dis				MG3	1K Dis				GG1				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,19	1,11	1,04	0,95	100%	1,19	1,11	1,04	0,95	100%				
75%	1,26	1,21	1,18	1,13	75%	1,26	1,21	1,18	1,13	75%				
50%	1,39	1,41	1,28	1,19	50%	1,39	1,41	1,28	1,19	50%				
25%	1,67	1,73	1,51	1,49	25%	1,67	1,73	1,51	1,49	25%				
0%	2,56				0%	2,78				0%				
	2K PUR					2K PUR								
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD				
100%					100%					100%				
75%					75%					75%				
50%					50%					50%				
25%		2,8			25%		4,7			25%				
0%					0%					0%				
	Hotmelt					Hotmelt								
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD				
100%	1,45	1,37	1,29	1,23	100%	1,50	1,41	1,33	1,29	100%				
75%	1,53	1,49	1,45	1,39	75%	1,51	1,51	1,49	1,45	75%				
50%	1,59	1,61	1,51	1,45	50%	1,49	1,58	1,49	1,45	50%				
25%	1,89	1,91	1,65	1,59	25%	1,87	1,93	1,71	1,68	25%				
0%	2,39				0%		4,7			0%				
	PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt								
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD				
100%					100%	2,53	2,36	2,14	2,04	100%				
75%					75%			2,66	2,32	75%				
50%					50%					50%				
25%		2,8			25%		4,7			25%				
0%					0%					0%				

nicht bedruckbar

FD = Flächendeckung

nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenübereinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 48 Schälwiderstände – Farbstofftinte - II

Schälwiderstände Farbstofftinte - III														
GG2	1K Dis				GG3	1K Dis				CGG	1K Dis			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	1,04	0,97	0,93	0,87	100%	1,69	1,41	1,35	1,40	100%	1,01	0,95	0,81	0,79
75%	1,16	1,10	1,04	0,97	75%	1,98	1,85	1,67	1,45	75%	1,33	1,04	0,93	0,93
50%	1,28	1,25	1,16	1,09	50%	2,54	2,40	2,13	2,07	50%	1,90	1,60	1,52	1,34
25%	1,43	1,41	1,17	1,09	25%	3,12	2,89	2,66	2,13	25%	2,01	1,93	1,74	1,69
0%	2,42				0%	4,00				0%	2,85			
2K PUR					2K PUR					2K PUR				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	/				100%	/				100%	1,22	1,05	1,07	0,62
75%	/				75%	/				75%	1,52	1,35	1,26	1,20
50%	/				50%	/				50%	2,27	1,90	1,35	1,32
25%	/				25%	/				25%	2,54	2,13	2,00	1,89
0%	/				0%	/				0%	4,7			
Hotmelt					Hotmelt					Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,95	0,88	0,83	0,77	100%	1,53	1,44	1,35	1,33	100%	1,03	0,99	0,70	0,55
75%	1,10	1,01	0,93	0,87	75%	1,67	1,58	1,56	1,53	75%	1,45	1,30	1,12	1,01
50%	1,27	1,18	1,08	1,01	50%	1,77	1,73	1,67	1,65	50%	2,05	1,78	1,56	1,23
25%	1,35	1,31	1,07	0,97	25%	2,40	2,36	2,09	2,07	25%	1,90		1,78	1,35
0%	2,63				0%	4,00				0%	4,7			
PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	/				100%	1,82	1,55	1,54	1,40	100%	1,18	1,02	0,98	0,56
75%	/				75%	/				75%	1,35	1,22	1,14	0,88
50%	/				50%	/				50%	2,01	1,74	1,61	1,49
25%	/				25%	/				25%	1,90		1,87	1,73
0%	/				0%	/				0%	4,7			

FD = Flächendeckung
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenübereinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 49: Schälwiderstände – Farbstofftinte - III

Schälwiderstände Feststofftinte - I														
K1	1K Dis				K2	1K Dis				MG1	1K Dis			
	FD	1c	2c	3c		4c	FD	1c	2c		3c	4c	FD	1c
100%	0,09	0,12	0,07	0,09	100%	0,21	0,19	0,13	0,18	100%	0,13	0,13	0,07	0,07
75%	0,10	0,12	0,10	0,07	75%	0,24	0,20	0,15	0,17	75%	0,13	0,13	0,09	0,11
50%	0,17	0,15	0,14	0,10	50%	0,32	0,24	0,16	0,17	50%	0,16	0,13	0,13	0,10
25%	0,67	0,17	0,17	0,00	25%		0,43	0,31	0,17	25%	0,33	0,19	0,21	0,11
0%	2,55				0%		3,1			0%	2,49			
2K PUR					2K PUR									
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,06	0,07	0,04	0,05	100%	0,31	0,31	0,09	0,14	100%	0,13	0,15	0,10	0,09
75%	0,10	0,07	0,06	0,05	75%	0,44	0,32	0,12	0,13	75%	0,15	0,15	0,12	0,12
50%	0,32	0,09	0,09	0,06	50%	0,61	0,33	0,15	0,15	50%	0,18	0,17	0,16	0,14
25%	0,41	0,11	0,11	0,00	25%		0,51	0,56	0,38	25%	0,45	0,25	0,22	0,13
0%		2,7			0%		3,1			0%	2,74			
Hotmelt					Hotmelt									
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,06	0,04	0,03	0,04	100%	0,09	0,07	0,09	0,08	100%	0,13	0,15	0,11	0,10
75%	0,07	0,04	0,05	0,03	75%	0,23	0,09	0,11	0,12	75%	0,17	0,15	0,13	0,13
50%	0,07	0,06	0,07	0,03	50%	0,32	0,32	0,15	0,15	50%	0,19	0,18	0,17	0,15
25%	0,55	0,37	0,23	0,07	25%			0,45	0,31	25%	0,50	0,27	0,22	0,17
0%	2,31				0%		3,1			0%	2,03			
PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt									
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,06	0,04	0,03	0,04	100%	0,15	0,23	0,09	0,13	100%	0,08	0,11	0,10	0,09
75%	0,07	0,04	0,05	0,01	75%	0,25	0,24	0,11	0,12	75%	0,11	0,11	0,11	0,11
50%	0,07	0,06	0,07	0,02	50%	0,34	0,27	0,15	0,15	50%	0,23	0,14	0,15	0,13
25%	0,55	0,37	0,23	0,07	25%	0,48	0,45	0,45	0,31	25%	0,47	0,29	0,19	0,17
0%		2,7			0%		3,1			0%	2,54			

FD = Flächendeckung

nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenübereinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 50: Schälwiderstände – Feststofftinte - I:

Schälwiderstände Feststofftinte - II														
MG2	1K Dis				MG3	1K Dis				GG1	1K Dis			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,17	0,16	0,14	0,17	100%	0,14	0,07	0,05	0,08	100%	0,15	0,16	0,15	0,13
75%	0,19	0,20	0,17	0,19	75%	0,16	0,07	0,07	0,07	75%	0,19	0,17	0,15	0,14
50%	0,45	0,23	0,21	0,17	50%	0,26	0,15	0,13	0,12	50%	0,21	0,21	0,20	0,19
25%	1,00	0,40	0,45	0,18	25%	0,42	0,32	0,25	0,25	25%	0,65	0,35	0,23	0,15
0%	2,56				0%	2,78				0%	1,60			
	2K PUR					2K PUR					2K PUR			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,42	0,36	0,30	0,27	100%	0,17	0,12	0,08	0,12	100%	0,14	0,15	0,13	0,11
75%	0,57	0,37	0,33	0,31	75%	0,19	0,13	0,10	0,11	75%	0,18	0,16	0,14	0,13
50%	0,78	0,42	0,33	0,33	50%	0,29	0,19	0,14	0,14	50%	0,19	0,19	0,19	0,17
25%	1,18	0,58	0,59	0,41	25%	0,37	0,37	0,27	0,21	25%	0,57	0,31	0,23	0,14
0%	2,8				0%	4,7				0%	2,20			
	Hotmelt					Hotmelt					Hotmelt			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,05	0,09	0,05	0,11	100%	0,22	0,20	0,09	0,13	100%	0,01	0,04	0,07	0,07
75%	0,25	0,10	0,11	0,09	75%	0,29	0,21	0,11	0,11	75%	0,03	0,05	0,09	0,08
50%	0,69	0,21	0,19	0,17	50%	0,35	0,25	0,14	0,14	50%	0,30	0,08	0,11	0,11
25%	1,14	0,53	0,40	0,41	25%	0,39	0,33	0,32	0,28	25%	0,47	0,32	0,13	0,13
0%	2,39				0%	4,7				0%	1,85			
	PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,19	0,05	0,03	0,07	100%	0,17	0,15	0,11	0,09	100%	0,01	0,03	0,05	0,04
75%	0,15	0,06	0,07	0,05	75%	0,23	0,16	0,11	0,11	75%	0,02	0,03	0,05	0,05
50%	0,28	0,13	0,11	0,11	50%	0,27	0,19	0,14	0,14	50%	0,18	0,05	0,07	0,07
25%	0,43	0,32	0,24	0,25	25%	0,33	0,37	0,29	0,27	25%	0,29	0,19	0,08	0,07
0%	2,8				0%	4,7				0%	2,24			

FD = Flächendeckung
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenüberinanderdruck (hier n=1 - 4)

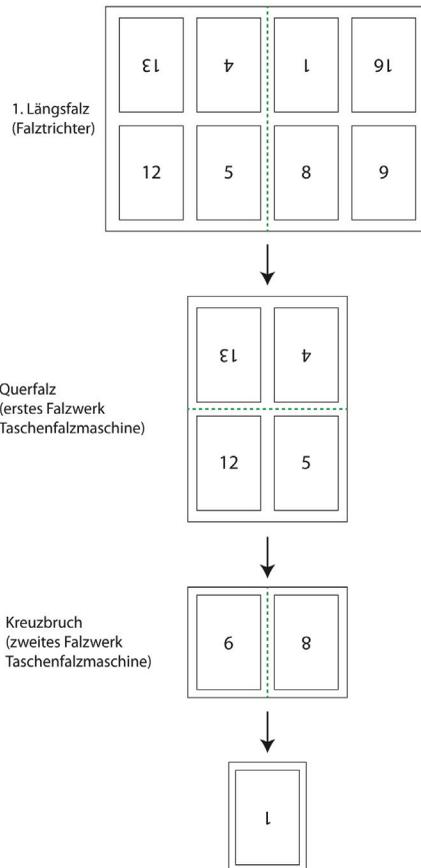
Tabelle 51: Schälwiderstände – Feststofftinte - II

Schälwiderstände Feststofftinte - III														
GG2	1K Dis				GG3	1K Dis				CGG	1K Dis			
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,13	0,17	0,11	0,05	100%	0,20	0,18	0,09	0,11	100%	0,15	0,20	0,09	0,11
75%	0,17	0,17	0,07	0,04	75%	0,27	0,19	0,11	0,11	75%	0,25	0,21	0,11	0,11
50%	0,19	0,23	0,09	0,05	50%	0,31	0,23	0,14	0,14	50%	0,31	0,24	0,15	0,15
25%	0,67	0,32	0,26	0,17	25%	0,37	0,35	0,31	0,28	25%	0,42	0,42	0,39	0,30
0%	2,42				0%	4,00				0%	2,85			
2K PUR					2K PUR					2K PUR				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,15	0,17	0,12	0,10	100%	0,18	0,16	0,10	0,10	100%	0,15	0,22	0,09	0,13
75%	0,18	0,18	0,11	0,10	75%	0,25	0,17	0,11	0,11	75%	0,25	0,23	0,11	0,12
50%	0,30	0,23	0,13	0,10	50%	0,29	0,21	0,14	0,14	50%	0,33	0,26	0,15	0,15
25%	0,40	0,35	0,33	0,17	25%	0,35	0,36	0,30	0,27	25%	0,45	0,44	0,42	0,31
0%	3,5				0%	4,00				0%	4,7			
Hotmelt					Hotmelt					Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,07	0,07	0,07	0,09	100%	0,19	0,17	0,09	0,11	100%	0,15	0,21	0,09	0,12
75%	0,13	0,07	0,05	0,09	75%	0,26	0,18	0,11	0,11	75%	0,25	0,21	0,11	0,11
50%	0,37	0,17	0,12	0,13	50%	0,30	0,22	0,14	0,14	50%	0,32	0,25	0,15	0,15
25%	1,20	0,63	0,17	0,15	25%	0,36	0,35	0,31	0,28	25%	0,43	0,43	0,40	0,30
0%	2,63				0%	4,00				0%	4,7			
PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt					PUR-Hotmelt				
FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c	FD	1c	2c	3c	4c
100%	0,06	0,08	0,06	0,09	100%	0,19	0,17	0,10	0,10	100%	0,15	0,21	0,09	0,13
75%	0,18	0,09	0,07	0,09	75%	0,25	0,17	0,11	0,11	75%	0,25	0,22	0,11	0,12
50%	0,23	0,19	0,15	0,15	50%	0,29	0,21	0,14	0,14	50%	0,33	0,25	0,15	0,15
25%	0,40	0,32	0,26	0,25	25%	0,35	0,36	0,30	0,27	25%	0,45	0,43	0,41	0,31
0%	3,5				0%	4,00				0%	4,7			

FD = Flächendeckung
nc=Anzahl von Farben beim Mehrfarbenübereinanderdruck (hier n=1 - 4)

Tabelle 52: Schälwiderstände – Feststofftinte - III

Falzvorgang 16-Seiter

*Abb. 92: Falzvorgang 16-Seiter*

Falzvorgang 16-Seiter – „Kommen und Gehen“

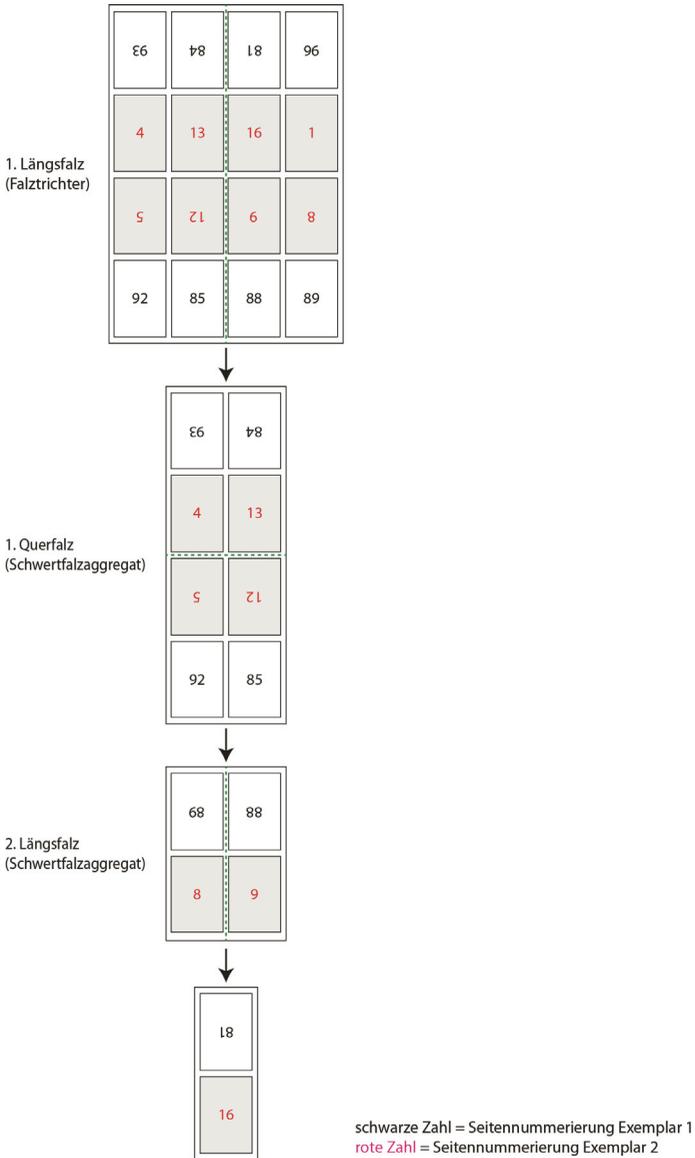


Abb. 93: Falzvorgang 16-Seiter – „Kommen und Gehen“

Befragungsbogen

Befragungsbogen ohne Antworten¹⁵⁰



1. Welche Position besetzen Sie in Ihrem Unternehmen?

- Geschäftsführung
- Produktionsleitung
- Technische Leitung
- Kundenbetreuung
- Vertrieb
- Sonstige

2. Wie viele Standorte hat Ihr Unternehmen?

Geben Sie bitte eine Zahl ein

3. Wie viele Mitarbeiter sind in Ihrem Unternehmen beschäftigt?

- 1-4
- 5-9
- 10-19
- 20-49
- 50-99
- 100-249
- 250-499
- 500-999
- 1000-2499
- Mehr als 2500

¹⁵⁰ Die in roter Schrift eingefügten Angaben waren nicht Bestandteil der Umfrage und sind lediglich als nötige Zusatzinformationen anzusehen. Das hier angegebene Überspringen von Fragen erfolgte in der Umfrage automatisch, da diese Online durchgeführt wurde.

**4. Wie hoch war Ihr Gesamtumsatz im letzten Geschäftsjahr?
(optional)**

Angaben in Euro

- Unter 500.000
- 500.000 – 999.999
- 1.000.000 – 1.999.999
- 2.000.000 – 2.999.999
- 3.000.000 – 3.999.999
- 4.000.000 – 4.999.999
- 4.999.999 – 9.999.999
- Mehr als 10.000.000

5. Seit wie viel Jahren nutzen Sie den Digitaldruck in Ihrem Unternehmen?

Seit _____ Jahren.

6. Welche der folgenden Drucktechnologien nutzen Sie in Ihrem Unternehmen?

(Mehrfachauswahl möglich)

- Offsetdruck
- Flexodruck
- Tiefdruck
- Siebdruck
- Digitaldruck Schwarz/Weiß
- Digitaldruck Farbe
- Digitaldruck Großformat (z.B. Plotter)

7. Welche Druckprodukte stellen Sie (im Digitaldruck) her?

(Mehrfachauswahl möglich)

- Transaktionsdruck (z.B. Rechnungen, Anschreiben)
- Illustration/Zeitung (z.B. Bücher, Broschüren, Zeitschriften, Zeitungen)
- Verpackungen (z.B. Beutel, Etiketten, Faltschachteln)
- Großformat (z.B. Poster/Plakate)
- Probedrucke bzw. Andrucke
- Sonstiges

8. Welche der folgenden Digitaldruckmaschinen nutzen Sie in Ihrem Unternehmen?

(Mehrfachauswahl möglich)

- Trockentoner – Bogenmaschine (z.B Xerox iGen, Nexpress usw.)
- Flüssigtoner – Bogenmaschinen (z.B. HP Indigo usw.)
- Rollenmaschinen (Trocken-/Flüssigtoner)
- Ink-Jet-Systeme (Rolle/Bogen)

9. Nutzen Sie Schwarz/Weiß Digitaldrucksysteme? Wenn ja, welche?

- Schwarz/Weiß-Bogendruckmaschinen
- Schwarz/Weiß-Rollendruckmaschinen
- Nein

10. Werden Ihre Produkte weiterverarbeitet?

Wenn Nein, dann weiter bei Frage 24

- Ja
- Nein

11. Welche Art der Weiterverarbeitung nutzen Sie bei Ihren Offsetdrucken?

(Mehrfachauswahl möglich)

- Schneiden
- Falzen
- Zusammentragen
- Drahrückstichheften
- Klebebinden
- Spiralbinden
- Perforieren
- Rillen
- Nuten
- Stanzen
- Kaschieren
- Sonstige

12. Welche Art der Weiterverarbeitung nutzen Sie bei Ihren Digitaldrucken?

(Mehrfachauswahl möglich)

- Schneiden
- Falzen
- Zusammentragen
- Drahrückstichheften
- Klebebinden
- Spiralbinden
- Perforieren
- Rillen
- Nuten
- Stanzen
- Kaschieren
- Sonstige

13. Wie erfolgt die Weiterverarbeitung Ihrer Produkte (Offset & Digital)?

- Wir nutzen dieselben Weiterverarbeitungsmaschinen für Digital und Offset (offline)
- Wir nutzen separate Weiterverarbeitungsmaschinen für Digital und Offset (offline)
- Wir verarbeiten unsere Digitaldrucke inline (direkt angebunden an die Digitaldruckmaschine)

14. Falls Sie dieselben Weiterverarbeitungen für Offset und Digital nutzen, sehen Sie das als die beste Lösung für den Digitaldruck, oder sind Sie der Meinung, dass das nicht immer optimal ist für den Digitaldruck?

- Die Nutzung derselben Maschinen ist nicht immer die beste Lösung für den Digitaldruck
- Die Nutzung derselben Maschinen sehen wir als eine optimale Lösung

15. Geben Sie Ihre Druckprodukte an andere Betriebe weiter zur Weiterverarbeitung (Outsourcing)?

Wenn Nein, dann weiter bei Frage 17

- Ja
- Nein

16. Aus welchem Grund geben Sie Ihre Produkte raus?

(Mehrfachauswahl möglich)

- Wir sind nicht im Besitz der benötigten Maschinen
- Weil unsere Auslastung zu hoch ist
- Weil die Produkte von einem anderen Unternehmen kostengünstiger produziert werden können
- Sonstige

17. Welche Produktionsprozesse werden in Ihrem Unternehmen durchgeführt?

(Mehrfachauswahl möglich)

- Druckvorstufe
- Druck
- Druckweiterverarbeitung
- Distribution, Logistik
- Sonstige

18. Werden Ihre Digitaldrucke Lackiert oder kaschiert?*Wenn Nein, dann weiter bei Frage 20*

- Ja, lackiert
- Ja, kaschiert
- Nein, weil (falls es einen besonderen Grund dafür gibt)

19. Ergeben sich bei der Lackierung(Kaschierung der Digitaldrucke Probleme? Wenn ja, erläutern Sie diese bitte kurz.

- Ja, folgende Probleme:
- Nein, keine Probleme

20. Welche Art der Linienverarbeitung wird in Ihrem Betrieb eingesetzt?

(Mehrfachauswahl möglich)

- Inline (Keine Zwischenlagerung der Produkte zwischen Druck und Weiterverarbeitung. Druckmaschine und Weiterverarbeitung bilden eine Fertigungslinie)
- Offline (Zwischenlagerung der Produkte nach der Druckmaschine. Druck und Weiterverarbeitung sind räumlich und zeitlich voneinander getrennt.)

21. Werden digitale Auftragsdaten für eine automatisierte Maschineneinstellung (für die Weiterverarbeitungsmaschinen) genutzt?

Wenn Nein, dann weiter bei Frage 23

- Ja
- Nein

22. Welche Art der Automatisierung nutzen Sie für Ihre Weiterverarbeitung?
(Mehrfachauswahl möglich)

- Barcodes
- JDF
- Digital hinterlegte Programme und Daten, welche bei Bedarf manuell angerufen werden können
- Herstellerspezifische Systeme, z.B.
- Sonstige

23. Wünschen Sie sich eine umfassendere Vernetzung/Automatisierung als die bei Ihnen schon vorhandene?

- Ja
- Nein

24. Planen Sie in nächster Zeit eine Neuanschaffung für die Verarbeitung Ihrer Digitaldrucke?

- Ja, und zwar
- Nein

25. Möchten Sie mir zu dem Thema sonst noch etwas mitteilen (z.B. spezielle Probleme mit der Weiterverarbeitung von Digitaldrucken, Anbindungsprobleme zu der Thematik o.ä.)

Befragungsbogen mit Antworten



1. Welche Position besetzen Sie in Ihrem Unternehmen?

	Häufigkeit	Prozent
Geschäftsführer	101	63,9
Kundenbetreuung	13	8,2
Produktionsleiter	10	6,3
Technischer Leiter	3	1,9
Vertrieb	1	0,6
sonstige	13	8,2
nicht beantwortet	17	10,8
Gesamt	158	100

sonstige	Häufigkeit
Assistent der Geschäftsführung	4
Bereichsleiter	1
Druckermeister	1
Druckvorstufentechniker	1
Inhaber	2
Prokurist	3
Teamleiter	1

2. Wie viele Standorte hat Ihr Unternehmen?

	Häufigkeit	Prozent
1	125	79,1
2	6	3,8
3	3	1,9
6	1	0,6
Gesamt	135	85,4
nicht beantwortet	23	14,6
Gesamt	158	100

3. Wie viele Mitarbeiter sind in Ihrem Unternehmen beschäftigt?

	Häufigkeit	Prozent
1-4	38	24,1
5-9	36	22,8
10-19	26	16,5
20-49	24	15,2
50-99	10	6,3
100-249	7	4,4
250-499	1	0,6
nicht beantwortet	16	10,1
Gesamt	158	100

**4. Wie hoch war Ihr Gesamtumsatz im letzten Geschäftsjahr?
(optional)**

Angaben in Euro

	Häufigkeit	Prozent
unter 500.000	42	26,6
500.000 - 999.999	20	12,7
1.000.000 - 1.999.999	17	10,8
2.000.000 - 2.999.999	9	5,7
3.000.000 - 3.999.999	9	5,7
4.000.000 - 4.999.999	5	3,2
5.000.000 - 9.999.999	8	5,1
mehr als 10.000.000	5	3,2
nicht beantwortet	43	27,2
Gesamt	158	100

5. Seit wie viel Jahren nutzen Sie den Digitaldruck in Ihrem Unternehmen?

	Häufigkeit	Prozent
1-5	39	24,6
6-10	65	41,2
über 10	35	22
Nicht beantwortet	19	12
Gesamt	158	100

6. Welche der folgenden Drucktechnologien nutzen Sie in Ihrem Unternehmen?

	Häufigkeit	Prozent
Digitaldruck Farbe	136	30,0
Offset	111	24,4
Digitaldruck Schwarz/Weiß	109	24,0
Digital- Großformatdruck (z.B. Plotter)	78	17,2
Siebdruck	14	3,1
Flexodruck	6	1,3
Gesamt	454	100

7. Welche Druckprodukte stellen Sie (im Digitaldruck) her?

(Mehrfachauswahl möglich)

	Häufigkeit	Prozent
Illustration/Zeitung (z.B. Bücher, Broschüren, Zeitschriften, Zeitungen)	107	25,5
Probedrucke	86	20,5
Transaktionsdruck (z.B. Rechnungen, Anschreiben)	77	18,3
Großformat (z.B. Poster/Plakate)	77	18,3
Verpackungen (z.B. Beutel, Etiketten, Faltschachteln)	33	7,9
sonstiges	40	9,5
Gesamt	420	100

sonstiges	Häufigkeit	Prozent
	121	77,6
Akzidenz	10	6,2
Beachflags, Fahnen	1	0,6
Büttenkarten	1	0,6
Familiendrucksachen	1	0,6
Flyer, Einladungen, Privatdrucksachen	4	2,4
Integrierte Karten/Etiketten	1	0,6
Loseblattsammlungen	1	0,6
Personalisierungen	2	1,2
Prospekte	1	0,6
PVC, Silberfolie, Magnetfolie etc.	1	0,6
Servietten	1	0,6
Studienmaterial	3	1,8
Textildruck	1	0,6
Visitenkarten und sonstige Kleinstauflagen	7	4,2
Werbedrucke	2	1,2
Keine Angabe	3	1,8
Gesamt	158	100

8. Welche der folgenden Digitaldruckmaschinen nutzen Sie in Ihrem Unternehmen?

	Häufigkeit	Prozent
Trockentoner - Bogenmaschinen	122	57
Ink-Jet-Systeme	56	26,2
Flüssigtoner - Bogenmaschinen	20	9,3
Rollenmaschinen	16	7,5
Gesamt	214	100

9. Nutzen Sie Schwarz/Weiß Digitaldrucksysteme? Wenn ja, welche?

	Häufigkeit	Prozent
Ja, S/W-Bogendruckmaschinen	64	45,7
Ja, S/W-Rollendruckmaschinen	5	3,6
Nein	71	50,7
Gesamt	140	100

10. Werden Ihre Produkte weiterverarbeitet?

	Häufigkeit	Prozent
Ja	138	87,3
Nein	4	2,5
nicht beantwortet	16	10,1
Gesamt	158	100

11. Welche Art der Weiterverarbeitung nutzen Sie bei Ihren Offsetdrucken?

	Häufigkeit	Prozent
Schneiden	114	10,2
Falzen	113	10,1
Drahtrückstichheften	107	9,6
Zusammentragen	104	9,3
Perforieren	104	9,3
Rillen	104	9,3
Stanzen	103	9,2
Nuten	99	8,9
Spiralbindung	93	8,3
Klebebinden	91	8,2
Kaschieren	72	6,5
sonstige	11	1
Gesamt	1115	100

12. Welche Art der Weiterverarbeitung nutzen Sie bei Ihren Digitaldrucken?

	Häufigkeit	Prozent
Schneiden	136	11,6
Falzen	127	10,9
Drahtrückstichheften	119	10,2
Spiralbindung	107	9,2
Rillen	107	9,2
Zusammentragen	106	9,1
Nuten	103	8,8
Klebebinden	95	8,1
Perforieren	94	8
Stanzen	86	7,4
Kaschieren	74	6,3
sonstige	14	1,2
Gesamt	1168	100

13. Wie erfolgt die Weiterverarbeitung Ihrer Produkte (Offset & Digital)?

	Häufigkeit	Prozent
Wir nutzen dieselben Weiterverarbeitungsma- schinen für Digital und Offset (offline)	110	60,4
Wir nutzen separate Weiterverarbeitungsma- schinen für Digital und Offset (offline)	31	17
Wir verarbeiten unsere Digitaldrucke inline (direkt angebunden an die Digitaldruckmaschine)	41	22,5
Gesamt	182	100

14. Falls Sie dieselben Weiterverarbeitungen für Offset und Digital nutzen, sehen Sie das als die beste Lösung für den Digitaldruck, oder sind Sie der Meinung, dass das nicht immer optimal ist für den Digitaldruck?

	Häufigkeit	Prozent
Die Nutzung derselben Maschinen ist nicht immer die beste Lösung für den Digitaldruck	73	46,2
Die Nutzung derselben Maschinen sehen wir als eine optimale Lösung	51	32,3
Gesamt	124	78,5
nicht beantwortet	34	21,5
Gesamt	158	100

15. Geben Sie Ihre Druckprodukte an andere Betriebe weiter zur Weiterverarbeitung (Outsourcing)?

	Häufigkeit	Prozent
Ja	93	58,9
Nein	48	30,4
Gesamt	141	89,2
nicht beantwortet	17	10,8
Gesamt	158	100

16. Aus welchem Grund geben Sie Ihre Produkte raus?

	Häufigkeit	Prozent
Wir sind nicht im Besitz der benötigten Maschinen	77	54,6
Weil die Produkte von einem anderen Unternehmen kostengünstiger produziert werden können	44	31,2
Weil unsere Auslastung zu hoch ist	14	9,9
sonstige	6	4,3
Gesamt	141	100

sonstiges	Häufigkeit	Prozent
	152	96,2
Formatbereich nicht groß genug	1	0,6
hohe Auflagen	1	0,6
Weiterverarbeitungsunternehmen haben oft mehr Auswahl an Maschinen	3	1,8
wir machen das, was die Kollegen nicht können als Dienstleister	1	0,6
Gesamt	158	100

17. Welche Produktionsprozesse werden in Ihrem Unternehmen durchgeführt?

	Häufigkeit	Prozent
Druck	139	26,3
Druckweiterverarbeitung	136	25,8
Druckvorstufe	133	25,2
Distribution, Logistik	112	21,2
sonstige	8	1,5
Gesamt	528	100

sonstiges	Häufigkeit	Prozent
	151	95,6
crossmediales Datenhandling	1	0,6
Konfektionierung	1	0,6
Kreativagentur	1	0,6
Lagerhaltung	2	1,2
Lettershop	1	0,6
Personalisierung	1	0,6
Gesamt	158	100

18. Werden Ihre Digitaldrucke Lackiert oder kaschiert?

	Häufigkeit	Prozent
ja, kaschiert	85	45,9
ja, lackiert	47	25,4
nein, weil (falls es einen besonderen Grund dafür gibt)	53	28,6
Gesamt	185	100

sonstiges	Häufigkeit	Prozent
	147	93
alles nur partiell	1	0,6
ist erst einmal vorgekommen	1	0,6
je nach Wunsch und Nutzen	1	0,6
kein Bedarf vorhanden ist	3	1,8
Klebebindung, Postkarten	1	0,6
Kurzlebigkeit	1	0,6
Laminat hält auf Digitaldrucken schlecht	1	0,6
nur in anderer Firma	1	0,6
sonst der Preis zu hoch	1	0,6
Gesamt	158	100

19. Ergeben sich bei der Lackierung/Kaschierung der Digitaldrucke Probleme? Wenn ja, erläutern Sie diese bitte kurz.

sonstiges	Häufigkeit	Prozent
nein, keine Probleme.	64	40,5
Ja, folgende Probleme	25	15,8
nicht beantwortet	69	43,7
Gesamt	158	100

Ja, folgende Probleme	Häufigkeit	Prozent
	133	84,2
Abplatzen der Folie bei Kaschierungen bei vollflächigen Digitaldrucken.	1	0,6
Arbeitsbreiten und notwendige manuelle Lackierung wegen der Druckbreiten (bis 320 cm)	1	0,6
Bei Cellophanierung können bei einem hohen Farbauftrag Probleme entstehen. Die Folie hält nicht immer optimal	1	0,6
Bei flächigem Druck Haftungsprobleme oder teure Folie einsetzen	1	0,6
bei hohen Tonerauftrag kann es vorkommen, dass die Cellophanierung nicht hält. Daher werden manchmal Spezialfolien für Digitaldruckprodukte eingesetzt.	1	0,6
bei Lackierung z.T. verstärkt brechende Kanten beim Falzen	1	0,6
Beim Kaschieren immer leichtes Silvering (ganz kleine gleichmäßige Luftbläschen zwischen Digitaldruck und Laminat), diese verschwinden aber nach einer Zeit...	1	0,6
die Drucke wellen sich (Cellophan), Lack hat Auslassungen	1	0,6
Digitaldruck und Kaschierung erfordern einen Dreh, um es haltbar zu machen.	1	0,6
Dispersionslack hält auf Digitaldruck nicht. Wir können in einer Digitalmaschine Effekttoner aufbringen (transparent), was einen Veredelungseffekt, aber keinen Schutz bietet.	1	0,6
Es gibt immer wieder Probleme, vielfältiger Art	1	0,6
Gelegentliche Blasenbildung	1	0,6
Haftungsprobleme der Folien	6	3,7
Hin und wieder mal Schmutzeinflüsse	1	0,6
Kaschierfolie hat nicht immer genügend Verbundhaftung.	1	0,6
Lack kann die Druckfarbe wieder auflösen, Kaltfolienkaschierung hält nicht immer auf Indigo	1	0,6
nur bei der Trockentonerproduktion und Kaschierung - Tonerablösung bei zu hohen Verarbeitungstemperaturen	1	0,6
Schlechte Haftung auf dem Toner.		
Statik	1	0,6
Staub einschüsse	1	0,6
Zuviel Ausschuss	1	0,6
Gesamt	158	100

20. Welche Art der Linienverarbeitung wird in Ihrem Betrieb eingesetzt?

	Häufigkeit	Prozent
Offline	125	79,1
Inline	33	20,9
Gesamt	158	100

21. Werden digitale Auftragsdaten für eine automatisierte Maschinenvoreinstellung (für die Weiterverarbeitungsmaschinen) genutzt?

	Häufigkeit	Prozent
Nein	114	72,2
Ja	25	15,8
nicht beantwortet	19	12
Gesamt	158	100

22. Welche Art der Automatisierung nutzen Sie für Ihre Weiterverarbeitung?

	Häufigkeit	Prozent
Digital hinterlegte Programme, welche bei Bedarf manuell abgerufen werden können	19	48,7
JDF	9	23,1
Barcodes	8	20,5
herstellerspezifische Systeme.	3	7,7
Gesamt	39	100

23. Wünschen Sie sich eine umfassendere Vernetzung/Automatisierung als die bei Ihnen schon vorhandene?

	Häufigkeit	Prozent
Ja	53	33,5
Nein	85	53,8
nicht beantwortet	20	12,7
Gesamt	158	100

24. Planen Sie in nächster Zeit eine Neuanschaffung für die Verarbeitung Ihrer Digitaldrucke?

	Häufigkeit	Prozent
Ja, und zwar	24	15,2
Nein	114	72,2
nicht beantwortet	20	12,7
Gesamt	158	100

Ja, folgende Probleme	Häufigkeit	Prozent
	139	88
2013	1	0,6
Broschürenfertigung	1	0,6
ernst nagel SP-Plus online	1	0,6
Evtl. eine gebrauchte Indigo und dann eine kleine Broschürenfertigung (evtl. Nagel)	1	0,6
Falzmaschine	2	1,3
Heftmaschine	1	0,6
Indigo 66000	1	0,6
kaschiermaschine 160 cm	1	0,6
Nut-, Falzmaschine	1	0,6
Nuten/Rillen	1	0,6
Rill- Perforiermaschine	1	0,6
rill-falz-maschine	1	0,6
Rill-Falzmaschine	1	0,6
Rillmaschine	1	0,6
RollsRoller	1	0,6
Schneidemaschine	1	0,6
Schneidesystem (Visitenkarten etc.)	1	0,6
Stapelschneider	1	0,6
Gesamt	158	100

25. Möchten Sie mir zu dem Thema sonst noch etwas mitteilen (z.B. spezielle Probleme mit der Weiterverarbeitung von Digitaldrucken, Anbindungsprobleme zu der Thematik o.ä.)

Ja, folgende Probleme
Statische Aufladung der Druckbogen. Brechen der Nut bei dickem Karton, trotz Nutzung.
Bei einer eventuellen Neuanschaffung einer Digitalmaschine wird diese auf jeden Fall mit sofortiger Weiterverarbeitung ausgestattet sein!
Die häufigsten Probleme sind das Brechen von Farbe beim Nuten.
Die Nutzung der gleichen Maschinen für Digitaldruck und Offset ist nicht ideal, weil hohe Rüstkosten für relativ kleine Auflagen im Digitaldruck entstehen. Die Investition in spezielle Weiterverarbeitungsmaschinen für den Digitaldruck lohnt sich aber zurzeit noch nicht, da das Volumen noch viel zu klein ist.
Die Präzision der Registerhaltigkeit ist ein gewisses Problem.
Digitaldrucksysteme sollten den Fokus nun mehr auf die Weiterverarbeitung legen, z.B. Ringösenheftung, Dreischneider etc., da die Farbqualität im klassischen Digitaldruck den Höhepunkt erreicht hat. Fokus Farbverläufe und Graustufen noch verbesserungswürdig. Farbwiedergabe bei Folgeaufträgen "ohne Änderungen" sind noch problematisch.
Elektrostatische Aufladung bei maschinellem Falzen von Digitaldrucken
Farbe bricht beim Falzen auf, Briefbögen, die beim Eindruck dublieren
große Probleme bei der Weiterverarbeitung von Digitaldruckprodukten mit Trockentoner. Immer wieder platzt der Toner ab, abhängig vom Farbauftrag und Material.
Hauptproblematik ist die Registerungenauigkeit! Da es seitens der Digitaldruckmaschine keine Vorder- bzw. Seitenmarke gibt ergeben sich teilweise erhebliche Verarbeitungsprobleme in der Weiterverarbeitung!
höhere Leistung günstigere Kosten
Leider erreichen wir bei der Digitaltechnik oft nicht die benötigte Passgenauigkeit für unsere Weiterverarbeitung, sodass wir einige Produkte dann doch im Offset drucken.
Man kann konventionell erzeugte Drucke nicht immer gleich verarbeiten wie die Produkte, die digital erzeugt wurden
Mit digitalen Druckprodukten läuft die Weiterverarbeitung nicht so optimal. Man ist eingeschränkt in diesem Bereich.
Probleme: Registerhaltigkeit - großes Problem Rücken bricht beim Falzen (Trockentoner) - Lösung: Rillen Hersteller von Digitaldruckmaschinen bieten keine Lösungen für offline Weiterverarbeitung. Eigentlich sollte es doch nicht so schwer sein einen modular angebotenen Broschürenfinischer optional offline zu stellen - dadurch könnte man ihn flexibler einsetzen.
Rillen (Aufbrechen)
Wir haben eigentlich nur das leidige "Tonerbrechen" zu beklagen. Ansonsten haben wir keine Probleme bei der Weiterverarbeitung

Wünschenswert wäre eine Offline Rückbefeuchtung von Papieren die im Digitaldruck bedruckt wurden. Diese Offline Rückbefeuchtung könnte sehr schnell ablaufen und optimal je nach Bedruckstoffdicke eingestellt werden. Hier sind die Maschinenhersteller gefragt.

Digitaldruckanlagen – alphabetisch sortiert

Mehrfarbige Rollen-Digitaldruckanlagen

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bahnbreite [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Agfa Dotrix Transcolor	2007	Inkjet	650	500
Agfa Dotrix Modular	2005	Inkjet	650	32
Canon Image Prograf IPF 500	2005	Inkjet	510	70
FujiFilm JetPress 540 W	2012	Inkjet	543	200
HP Indigo 20000	2014	Flüssigtoner	762	34.1
HP Indigo Press w 3200	2003	Flüssigtoner	330	136
HP Indigo Press w 3250	2005	Flüssigtoner	330	132
HP Indigo Press w 7250	2012	Flüssigtoner	340	250
HP T 200	2010	Inkjet	558	872
HP T 230	2012	Inkjet	558	1745
HP T 300	2009	Inkjet	762	2600
HP T 350	2010	Inkjet	762	3600
HP T 360	2012	Inkjet	762	3600
HP T 400	2011	Inkjet	1067	5000
HP T 410	2012	Inkjet	1067	7000
HP T 490 HD	2016	Inkjet	1067	10000
IBM Infocolor 100	1998	Trockentoner	kA	100
IBM Infocolor 70	1993	Trockentoner	320	70
IBM Infoprint 130 Color	2000	Trockentoner	kA	130
Impika iPress 2400	2009	Inkjet	520	400
Impika iPrint 75	2010	Inkjet	510	1024
Impika iPrint 125	2010	Inkjet	510	1711
Impika iPrint 150	2008	Inkjet	510	2048
Impika iPrint 150	2010	Inkjet	510	1024
Impika iPrint 250	2010	Inkjet	510	3422
Impika iPress 600	2008	Inkjet	510	1024
Impika iPrint Compact (Model 24-24)	2012	Inkjet	510	2048
Impika iPrint eVolution (Model 75 SES 24)	2012	Inkjet	510	512
Impika iPrint eVolution (Model 75 TED 24)	2012	Inkjet	510	1024

Tabelle 53: Mehrfarbige Rollen-Digitaldruckanlagen- I; alphabetisch sortiert

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bahnbreite [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Impika iPrint eXtreme (Model SES 44)	2012	Inkjet	762	1535
Impika iPrint eXtreme (Model TED44)	2012	Inkjet	762	3071
Impika iPrint Reference (Model 125 SES 24)	2012	Inkjet	510	512
Impika iPrint Reference (Model 125TED)	2012	Inkjet	510	1024
Indigo Publisher 2000	2000	Flüssigtoner	k.A.	68
Indigo Publisher 4000	2000	Flüssigtoner	k.A.	136
Indigo Publisher 8000	2000	Flüssigtoner	k.A.	272
KBA Rota Jet 76	2012	Inkjet	781	3000
KBA RotaJet 138 Commercial	2016	Inkjet	1080	12120
Kodak Versamark 300 N/W	2011	Inkjet	520	2016
Kodak Versamark 500 N/W	2011	Inkjet	520	3360
Kodak Versamark VL 2000	2008	Inkjet	520	504
Kodak Versamark VL 2200	2009	Inkjet	520	1008
Kodak Versamark VL 4000	2009	Inkjet	520	840
Kodak Versamark VL 4200	2009	Inkjet	520	1680
Kodak Versamark VL 6000	2009	Inkjet	520	1008
Kodak Versamark VL 6200	2009	Inkjet	520	2016
Kodak Versamark VT 3000 - 250	2007	Inkjet	520	1026
Kodak Versamark VT 3000 - 350	2007	Inkjet	520	1436
Kodak Versamark VT 3000 - 500	2007	Inkjet	520	2054
Kodak Versamark VX 5000 Plus	2008	Inkjet	520	3080
Kodak-Prosper 5000 XL	2010	Inkjet	648	3600
Kodak-Prosper 5000 XL i	2013	Inkjet	648	3600
Kodak-Prosper 6000 XL	2012	Inkjet	648	5472
Océ Colorstream 10000	2007	Trockentoner	k.A.	168
Océ Colorstream 10000 Flex	2007	Trockentoner	495	172
Océ Colorstream 3200	2012	Inkjet	540	687
Océ Colorstream 3500	2010	Inkjet	540	1010
Océ Colorstream 3700	2012	Inkjet	540	1350
Océ Colorstream 3900	2012	Inkjet	541	1714
Océ Jetstream 1000 (Compact Series)	2009	Inkjet	520	1010
Océ Jetstream 1100	2007	Inkjet	521	750

Tabelle 54: Mehrfarbige Rollen-Digitaldruckanlagen- II; alphabetisch sortiert

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bahnbreite [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Océ Jetstream 1400 (Compact Series)	2011	Inkjet	520	1350
Océ Jetstream 1500 (Dual Series)	2008	Inkjet	520	1714
Océ Jetstream 1900 (Compact Series)	2011	Inkjet	520	2020
Océ Jetstream 2200 (Dual Series)	2007	Inkjet	520	2498
Océ Jetstream 2800	2009	Inkjet	762	4996
Océ Jetstream 3000 (Dual Series)	2008	Inkjet	520	2565
Océ Jetstream 3300	2009	Inkjet	762	3030
Océ Jetstream 4300 (Wide u. Mono Series)	2011	Inkjet	762	4040
Océ Jetstream 500	2009	Inkjet	521	505
Océ Jetstream 750	2008	Inkjet	521	675
Océ Jetstream 5500 (Wide u. Mono Series)	2012	Inkjet	762	5140
Océ Variostream 92X0	2002	Trockentoner	482	163
Scitex Versamark Vantage	2001	Inkjet	KA	800
Screen Truepress Jet 520	2005	Inkjet	520	1720
Screen Truepress Jet 520 ZZ	2010	Inkjet	520	2888
Screen Truepress Jet EX	2010	Inkjet	530	1832
Xeikon DCP-1	1993	Trockentoner	320	70
Xeikon 4000	2007	Trockentoner	508	260
Xeikon 5000	2004	Trockentoner	520	132
Xeikon 5000 Plus	2007	Trockentoner	508	260
Xeikon 6000	2006	Trockentoner	508	320
Xeikon 8000	2008	Trockentoner	512	520
Xeikon 8500	2012	Trockentoner	512	320
Xeikon 8600	2012	Trockentoner	512	390
Xeikon 8800	2012	Trockentoner	512	520
Xeikon DCP 32 D	1996	Trockentoner	320	70
Xeikon DCP 320 D	2001	Trockentoner	320	120
Xeikon DCP 50 / D	1997	Trockentoner	500	100
Xeikon DCP 500 / D	2000	Trockentoner	500	130
Xeikon DCP 500 / SP	2000	Trockentoner	500	130
Xerox 490 Continuous Feed	2008	Trockentoner	495	450
Xerox 980 Continuous Feed	2008	Trockentoner	495	900
Xerox Ci-Press 325	2012	Festtinte	520	1334
Xerox Ci-Press 500	2011	Festtinte	520	2052

Tabelle 55: Mehrfarbige Rollen-Digitaldruckanlagen - III; alphabetisch sortiert

Monochrome Rollen-Digitaldruckanlagen

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bahnbreite [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Delphax 850 IE	1994	Trockentoner	k.A.	1700
Delphax CR 1000	2002	Trockentoner	483	1890
Delphax CR 1300	2002	Trockentoner	483	2452
Delphax CR 1500	2003	Trockentoner	483	2874
Delphax CR 2000	2004	Trockentoner	483	3772
Delphax CR 2200	2007	Trockentoner	483	4108
Delphax RS 220	2002	Trockentoner	241	412
Delphax RS 280	2002	Trockentoner	241	526
Delphax RS 330	2002	Trockentoner	241	620
Delphax PS 180	1994	Trockentoner	k.A.	360
HP T 490M	2016	Inkjet	1067	10000
IBM Infoprint 2000	2004	Trockentoner	k.A.	324
IBM Infoprint 4000	2004	Trockentoner	k.A.	944
IBM Infoprint 4100	2004	Trockentoner	k.A.	1148
IBM Pennan 3900 Wide	1994	Trockentoner	k.A.	480
KBA RotaJet 138 Commercial (1/1)	2016	Inkjet	1080	12120
Kodak Prosper 1000	2010	Inkjet	648	7200
Kodak Versamark 100 N/W	2011	Inkjet	520	2016
Kodak Versamark 150 N/W	2011	Inkjet	520	3360
Nipson 918 CF	1999	Trockentoner	k.A.	84
Nipson Varypress 200 (10 SED)	2004	Trockentoner	520	674
Nipson Varypress 200 (20 SED)	2004	Trockentoner	520	944
Nipson Digiflex	2011	Trockentoner	520	550
Nipson Digiflex ("Speed Option")	2011	Trockentoner	520	700
Nipson Digiflex TED	2011	Trockentoner	520	1100
Nipson Varypress	2011	Trockentoner	520	707
Nipson Varypress 125	2011	Trockentoner	520	842
Nipson Variopress 150	2011	Trockentoner	520	1010
Nipson Varypress 400 (10 SED)	2004	Trockentoner	520	1414
Nipson Varypress 400 (20 SED)	2004	Trockentoner	520	1684
Nipson Varypress M 800	1997	Trockentoner	520	860
Nipson 7000	1997	Trockentoner	520	430
Nipson Varypress 210	2002	Trockentoner	470	337

Tabelle 56: Monochrome Rollen-Digitaldruckanlagen - I; alphabetisch sortiert

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bahnbreite [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Nipson Varypress 220	2002	Trockentoner	470	472
Nipson Varypress 410	2002	Trockentoner	520	472
Nipson Varypress 420	2002	Trockentoner	520	707
Nipson Varypress T	1999	Trockentoner	k.A.	842
Océ Demandstream 3020	1997	Trockentoner	k.A.	550
Océ Demandstream 3030	1997	Trockentoner	k.A.	55
Océ Demandstream 4000 DI	1997	Trockentoner	k.A.	75
Océ Demandstream 6000 DI	1997	Trockentoner	k.A.	158
Océ Demandstream 8070	1997	Trockentoner	k.A.	100
Océ DemandStream 8000 DI	1997	Trockentoner	k.A.	145
Océ DemandStream 8080	1997	Trockentoner	k.A.	235
Océ Demandstream 8090	1999	Trockentoner	k.A.	235
Océ Jetstream 2300	2011	Inkjet	762	350
Océ Variostream 7200	2002	Trockentoner	482	2020
Océ Variostream 7300	2002	Trockentoner	482	180
Océ Variostream 7400	2002	Trockentoner	482	260
Océ Variostream 7450	2002	Trockentoner	482	440
Océ Variostream 7550	2002	Trockentoner	482	500
Océ Variostream 7650	2002	Trockentoner	482	600
Océ Variostream 8550	2008	Trockentoner	495,5	500
Océ Variostream 8650	2008	Trockentoner	495,5	600
Océ Variostream 8750	2008	Trockentoner	495,5	700
Océ Variostream 95X0	2007	Trockentoner	482	1080
Océ Variostream 96X0	2007	Trockentoner	482	1292
Océ Variostream 97X0	2007	Trockentoner	482	1439
Timson T-Press	2012	Inkjet	1245	400
Xerox Docuprint 425 Continuous Feed	2004	Trockentoner	457	400
Xerox Docuprint 850 Continuous Feed	2004	Trockentoner	457	800
Xerox Docuprint 525 Continuous Feed	2004	Trockentoner	495	500
Xerox Docuprint 1050 Continuous Feed	2004	Trockentoner	495	1000
Xerox 1300 Continuous Feed	2008	Trockentoner	495,3	1232
Xerox 495 Continuous Feed	2007	Trockentoner	457,2	472
Xerox 650 Continuous Feed	2008	Trockentoner	495,3	616

Tabelle 57: Monochrome Rollen-Digitaldruckanlagen - II; alphabetisch sortiert

Mehrfarbige Bogen-Digitaldruckanlagen

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bogenformat [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Canon CLC 1000	1997	Trockentoner	305 x 457	30
Canon CLC 4000	2001	Trockentoner	329 x 483	40
Canon CLC 5000	2001	Trockentoner	301 x 452	50
Canon CLC 5000+	2002	Trockentoner	308 x 452	100
Canon CLC 5100	2003	Trockentoner	305 x 457	51
Canon Imagepress C 6000	2008	Trockentoner	330 x 488	60
Canon Imagepress C 6010	2010	Trockentoner	330 x 487	61.7
Canon Imagepress C 6010 S	2011	Trockentoner	330 x 487	61.7
Canon Imagepress C 6010 VP	2010	Trockentoner	330 x 487	61.7
Canon Imagepress C 6010 VPS	2011	Trockentoner	330 x 487	61.7
Canon Imagepress C 7000 VP	2009	Trockentoner	330 x 488	70
Canon Imagepress C 7010 VP	2010	Trockentoner	330 x 487	71.6
Canon Imagepress C 7010 VPS	2011	Trockentoner	330 x 487	71.6
Canon Imagepress X	2006	Trockentoner	k.A.	70
Delphax Elan 250	2013	Inkjet	457 x 640	250
Delphax Elan 500	2013	Inkjet	457 x 640	500
FujiFilm JetPress F	2012	Inkjet	530 x 750	180
FujiFilm JetPress 720	2010	Inkjet	530 x 750	180
FujiFilm JetPress 720s	2014	Inkjet	532 x 750	180
Heidelberg Primefire	2016	Inkjet	700 x 1000	467
HP Indigo 10000	2012	Flüssigtонер	530 x 750	230
HP Indigo 30000	2013	Flüssigtонер	530 x 750	230
HP Press Indigo 1000	2002	Flüssigtонер	k.A.	32
HP Indigo 1050	2004	Flüssigtонер	320 x 462	33
HP Indigo s 2000	2002	Flüssigtонер	320 x 464	33
HP Indigo Press 3000	2002	Flüssigtонер	320 x 475	66
HP Indigo Press 3050	2004	Flüssigtонер	320 x 475	136
HP Indigo Press 3500	2007	Flüssigtонер	330 x 475	136
HP Indigo Press 3550	2010	Flüssigtонер	330 x 483	136
HP Indigo Press 5000	2005	Flüssigtонер	320 x 475	136
HP Indigo Press 5500	2007	Flüssigtонер	330 x 483	272
HP Indigo Press 5600	2012	Flüssigtонер	330 x 483	272
HP Indigo Press 7000	2008	Flüssigtонер	330 x 483	240
HP Indigo Press 7500	2010	Flüssigtонер	330 x 483	240
HP Indigo Press 7600	2012	Flüssigtонер	330 x 483	240
Indigo E-Print 1000	1993	Flüssigtонер	297 x 420	33

Tabelle 58: Mehrfarbige Bogen-Digitaldruckanlagen - I; alphabetisch sortiert

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bogenformat [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Indigo E-Print 1000+	1993	Flüssigtoner	320 x 457	32
Indigo e-Print Pro	1998	Flüssigtoner	320 x 457	32
Indigo Platinum	2001	Flüssigtoner	kA	33
Indigo Turbostrem	1998	Flüssigtoner	320 x 457	32
Indigo UltraStream 2000	2000	Flüssigtoner	353 x 500	68
Indigo UltraStream 4000	2000	Flüssigtoner	353 x 500	136
Kodak Nexpress 2100 Plus	2005	Trockentoner	356 x 520	140
Kodak Nexpress M 700	2007	Trockentoner	330 x 488	140
Kodak Nexpress S 2500	2007	Trockentoner	356 x 520	82
Kodak Nexpress S 3000	2007	Trockentoner	356 x 520	100
Kodak Nexpress S 3000	2008	Trockentoner	356 x 520	120
Kodak Nexpress SE 2500	2009	Trockentoner	356 x 520	83
Kodak Nexpress SE 3000	2009	Trockentoner	356 x 520	100
Kodak Nexpress SE 3600	2009	Trockentoner	356 x 520	120
Kodak Nexpress SX 2700	2010	Trockentoner	356 x 520	83
Kodak Nexpress SX 3300	2010	Trockentoner	356 x 520	100
Kodak Nexpress SX 3900	2010	Trockentoner	356 x 520	120
Konica Minolta Bizhub C 500	2005	Trockentoner	330 x 488	50
Konica Minolta Bizhub C 6501	2008	Trockentoner	330 x 488	65
Konica Minolta Bizhub C 654	2012	Trockentoner	304 x 457	65
Konica Minolta Bizhub C 754	2012	Trockentoner	304 x 457	75
Konica Minolta Bizhub Press 70 hc	2011	Trockentoner	330 x 488	70
Konica Minolta Bizhub C 1110	2012	Trockentoner	kA	100
Konica Minolta Bizhub C 6000	2010	Trockentoner	330 x 487	60
Konica Minolta Bizhub C 7000	2010	Trockentoner	330 x 487	70
Konica Minolta Bizhub C 7000 p	2010	Trockentoner	330 x 487	70
Konica Minolta Bizhub C 8000	2010	Trockentoner	330 x 487	80
Konica Minolta Bizhub C 8000 e	2013	Trockentoner	330 x 487	80
Konica Minolta Bizhub Pro C 5500	2007	Trockentoner	330 x 488	55
Konica Minolta Bizhub Pro C 5501	2008	Trockentoner	330 x 488	55
Konica Minolta Bizhub Pro C 6000 L	2011	Trockentoner	330 x 487	60
Konica Minolta Bizhub Pro C 65 hc	2009	Trockentoner	330 x 488	65

Tabelle 59: Mehrfarbige Bogen-Digitaldruckanlagen - II; alphabetisch sortiert

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bogenformat [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Konica Minolta Bizhub Pro C 6500	2006	Trockentoner	330 x 488	65
Konica Minolta Bizhub PRO C 6501 p	2008	Trockentoner	330 x 488	65
Konica Minolta Bizhub Pro C 754	2012	Trockentoner	311 x 457	60
Konica Minolta Impremia KM-1	2012	Inkjet	530 x 750	220
MGI Alphajet	2012	Inkjet	520 x 740	200
MGI DP 40 Pro	2006	Trockentoner	311 x 457	45
MGI DP 60 Pro	2008	Trockentoner	330 x 650	65
MGI Meteor DP 8700 S	2012	Trockentoner	330 x 487	71
MGI Meteor DP 8700 XL	2011	Trockentoner	330 x 1020	71
Nexpress Nexpress 2100	2003	Trockentoner	k.A.	70
Nexpress Nexpress 2100 Plus	2005	Trockentoner	k.A.	70
Océ Colour-System 200	1999	Trockentoner	k.A.	31
Océ CPS 900	2004	Trockentoner	305 x 457	30
Océ InfiniStream	2013	Flüssigtoner	--	960
Ricoh Infoprint C 900 IP	2008	Trockentoner	330 x 488	90
Ricoh Pro C 901 Graphic Arts Edition	2010	Trockentoner	330 x 488	90
Ricoh Pro C 901 + Graphic Arts Edition	2013	Trockentoner	330 x 488	90
Ricoh Pro C 720	2010	Trockentoner	330 x 488	72
Ricoh Pro C 751	2011	Trockentoner	330 x 488	75
Ricoh Pro C 900	2008	Trockentoner	330 x 488	90
Ricoh Infoprint Pro C 900 AFP IP	2009	Trockentoner	330 x 488	90
Screen Truepress Jet SX	2008	Inkjet	530 x 740	108
Xeikon CSP 320 D	2000	Trockentoner	320 x 470	32
Xerox Colour 8250	2013	Trockentoner	364 x 572	137
Xerox Color 800	2010	Trockentoner	330 x 488	80
Xerox Color 1000	2010	Trockentoner	330 x 488	100
Xerox Docucolor 2045	2000	Trockentoner	k.A.	90
Xerox Docucolor 2060	2000	Trockentoner	k.A.	120
Xerox DocuColor 30	1999	Trockentoner	305 x 457	30
Xerox Docucolor 40	1996	Trockentoner	305 x 457	40
Xerox Docucolor 5000	2006	Trockentoner	320 x 488	50
Xerox Docucolor 6060	2002	Trockentoner	320 x 488	60
Xerox Docucolor 70	1997	Trockentoner	--	70

Tabelle 60: Mehrfarbige Bogen-Digitaldruckanlagen - III; alphabetisch sortiert

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bogenformat [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Xerox Docucolor 7000	2005	Trockentoner	320 x 488	70
Xerox Docucolor 7002	2009	Trockentoner	320 x 488	70
Xerox Docucolor 8000	2004	Trockentoner	kA	80
Xerox Docucolor 8002	2009	Trockentoner	320 x 488	80
Xerox Docucolor 8080	2011	Trockentoner	320 x 488	80
Xerox iGen	2001	Trockentoner	364 x 515	100
Xerox iGen 150	2012	Trockentoner	364 x 660	150
Xerox iGen 3 (110)	2005	Trockentoner	364 x 521	110
Xerox iGen 3 (90)	2006	Trockentoner	364 x 521	90
Xerox iGen 4	2008	Trockentoner	364 x 521	110
Xerox iGen 4 Diamond Edition	2013	Trockentoner	364 x 660	110
Xerox iGen 4 (220)	2009	Trockentoner	364 x 521	220
Xerox iGen 5 (150)	2016	Trockentoner	364 x 660	150
Xerox iGen EXP	2010	Trockentoner	363 x 660	110
Xerox Fuji Scitex Spontane	1996	Trockentoner	305 x 457	40

Tabelle 61: Mehrfarbige Bogen-Digitaldruckanlagen - IV; alphabetisch sortiert

Monochrome Bogen-Digitaldruckanlagen

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bogenformat [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Canon Imagerunner 110 VP	2005	Trockentoner	364 x 470	110
Canon Imagerunner 125 VP	2005	Trockentoner	364 x 470	125
Canon Imagerunner 150 VP	2005	Trockentoner	364 x 470	150
Canon IR 7086	2005	Trockentoner	297 x 432	86
Canon IR 7095	2005	Trockentoner	297 x 432	95
Canon IR 7105	2005	Trockentoner	297 x 432	105
Canon Imagepress 1100	2008	Trockentoner	330 x 488	110
Canon Imagepress 1125	2008	Trockentoner	330 x 488	125
Canon Imagepress 1135	2008	Trockentoner	330 x 488	135
Canon Imagepress 1100+	2012	Trockentoner	330 x 488	110
Canon Imagepress 1125+	2012	Trockentoner	330 x 488	125
Canon Imagepress 1135+	2012	Trockentoner	330 x 488	135
Canon Imagerunner Pro 7110 VP	2006	Trockentoner	364 x 470	110
Canon Imagerunner Pro 7125 VP	2006	Trockentoner	364 x 470	125
Canon Imagerunner Pro 7138 VP	2006	Trockentoner	364 x 470	138
Canon Imagerunner Pro 7150 VP	2006	Trockentoner	364 x 470	150
Delphax Imaggia II IM 220	2001	Trockentoner	476 x 559	220
Delphax Imaggia II IM 300	2001	Trockentoner	476 x 559	283
Indigo Ebony	2000	Flüssigtoner	297 x 420	136
Kodak Digimaster EX 110	2007	Trockentoner	356 x 470	110
Kodak Digimaster EX 125	2007	Trockentoner	356 x 470	125
Kodak Digimaster EX 138	2007	Trockentoner	356 x 470	138
Kodak Digimaster EX 150	2007	Trockentoner	356 x 470	150
Kodak Digimaster EX 300	2009	Trockentoner	356 x 470	300
Kodak Digimaster HD 125	2012	Trockentoner	356 x 470	125
Kodak Digimaster HD 150	2012	Trockentoner	356 x 470	150
Kodak Digimaster HD 300	2012	Trockentoner	356 x 470	300
Konica Minolta Bizhub Press 1052	2012	Trockentoner	324 x 483	105
Konica Minolta Bizhub Press 1250	2013	Trockentoner	304 x 457	125
Konica Minolta Bizhub Pro 1050	2004	Trockentoner	324 x 460	90
Konica Minolta Bizhub Pro 1050 e	2007	Trockentoner	305 x 457	105
Konica Minolta Bizhub Pro 1051	2009	Trockentoner	324 x 463	105
Konica Minolta Bizhub Pro 1200	2009	Trockentoner	324 x 463	120
Konica Minolta Bizhub Pro 1200 p	2009	Trockentoner	324 x 463	120
Konica Minolta Bizhub Pro 1600 p	2008	Trockentoner	320 x 488	160
Konica Minolta Bizhub Pro 2000 p	2008	Trockentoner	320 x 488	200

Tabelle 62: Monochrome Bogen-Digitaldruckanlagen - I; alphabetisch sortiert

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bogenformat [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Konica Minolta Bizhub Pro 2500 p	2008	Trockentoner	320 x 488	250
Konica Minolta Bizhub Pro 920	2005	Trockentoner	305 x 457	92
Konica Minolta Bizhub Pro 950	2009	Trockentoner	305 x 457	95
Konica Minolta Bizhub Pro 951	2009	Trockentoner	305 x 457	95
Nexpress Digimaster 9110	2000	Trockentoner	KA	110
Océ Varioprint DP 100	2012	Trockentoner	320 x 488	226
Océ Varioprint DP 120	2012	Trockentoner	320 x 488	246
Océ Varioprint DP 135	2012	Trockentoner	320 x 488	276
Océ Varioprint 6160 Ultra	2009	Trockentoner	320 x 432	340
Océ Varioprint 6200 Ultra	2009	Trockentoner	320 x 432	400
Océ Varioprint 6250 Ultra	2009	Trockentoner	320 x 432	500
Océ Varioprint 6320 Ultra	2009	Trockentoner	320 x 432	628
Océ Varioprint 1105	2003	Trockentoner	314 x 457	105
Océ Varioprint 2100 - Titanium	2007	Trockentoner	305 x 457	91
Océ Varioprint 2110 - Titanium	2007	Trockentoner	305 x 457	106
Océ Varioprint 3070	2005	Trockentoner	305 x 457	140
Océ Varioprint 3090	2005	Trockentoner	457 x 305	180
Océ Varioprint 3110	2005	Trockentoner	457 x 305	220
Océ Varioprint 4110	2003	Trockentoner	324 x 463	210
Océ Varioprint 4120	2003	Trockentoner	324 x 463	240
Océ Varioprint 5110	2002	Trockentoner	305 x 432	216
Océ Varioprint 5115	2002	Trockentoner	305 x 432	216
Océ Varioprint 5140	2002	Trockentoner	305 x 432	270
Océ Varioprint 5160	2002	Trockentoner	305 x 432	310
Océ Varioprint 6160	2007	Trockentoner	320 x 488	340
Océ Varioprint 6200	2007	Trockentoner	320 x 488	400
Océ Varioprint 6250	2007	Trockentoner	320 x 488	500
Océ Varioprint 2110 Prémia Class	2009	Trockentoner	297 x 432	212
Océ Varioprint 2090 Prémia Class	2009	Trockentoner	297 x 432	170
Ricoh Infoprint 2190	2007	Trockentoner	305 x 457	90
Ricoh Infoprint 2210	2007	Trockentoner	305 x 457	110
Ricoh Infoprint 2235	2007	Trockentoner	305 x 457	135
Ricoh Infoprint 907 IP	2009	Trockentoner	330 x 457	90
Ricoh Infoprint 1107 IP	2009	Trockentoner	330 x 457	110
Ricoh Infoprint 1357 IP	2009	Trockentoner	330 x 457	135
Ricoh DDP 70 e	2007	Trockentoner	305 x 457	70
Ricoh DDP 92	2007	Trockentoner	305 x 457	92
Ricoh Pro 907	2009	Trockentoner	330 x 487	90

Tabelle 63: Monochrome Bogen-Digitaldruckanlagen - II; alphabetisch sortiert

Maschinenbezeichnung	Einführung [Jahr]	Druck- technologie	Bogenformat [mm]	Druckleistung [A4-Seiten/min]
Ricoh Pro 1107	2009	Trockentoner	332 x 488	110
Ricoh Pro 1357	2009	Trockentoner	332 x 488	135
Screen Truepress V200	2000	Trockentoner	kA	800
Xerox 4590 EPS	2006	Trockentoner	330 x 488	90
Xerox 4110 EPS	2006	Trockentoner	330 x 488	110
Xerox D 110	2012	Trockentoner	330 x 488	110
Xerox D 125	2012	Trockentoner	330 x 488	125
Xerox Docuprint 100	2000	Trockentoner	305 x 457	100
Xerox Docuprint 115	2000	Trockentoner	305 x 457	115
Xerox Docuprint 135	2000	Trockentoner	305 x 457	135
Xerox Docuprint 155	2000	Trockentoner	305 x 457	155
Xerox Docuprint 180	1997	Trockentoner	305 x 457	180
Xerox Docutech 128 HLC	2005	Trockentoner	363 x 432	128
Xerox Docutech 155 HLC	2005	Trockentoner	363 x 432	155
Xerox Docutech 180 HLC	2005	Trockentoner	363 x 432	180
Xerox Docutech 6135	1996	Trockentoner	356 x 432	135
Xerox Docutech 6155	2000	Trockentoner	356 x 432	155
Xerox Docutech 6180	1997	Trockentoner	356 x 432	180
Xerox Nuvera 100	2004	Trockentoner	320 x 470	200
Xerox Nuvera 120	2004	Trockentoner	320 x 470	240
Xerox Nuvera 144	2005	Trockentoner	320 x 470	288
Xerox Nuvera 157 EA	2012	Trockentoner	320 x 470	314
Xerox Nuvera 200 EA	2009	Trockentoner	320 x 470	400
Xerox Nuvera 288 EA	2009	Trockentoner	320 x 470	576
Xerox Nuvera 314 EA	2012	Trockentoner	320 x 470	628

Tabelle 64: Monochrome Bogen-Digitaldruckanlagen - III; alphabetisch sortiert

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Druckbetriebe in den USA 1998-2011; Anzahl der Betriebe und Jahresumsatz	8
Abb. 2: Erwartete Entwicklung des weltweiten jährlichen Offset- und Digitaldruck-volumens	9
Abb. 3: Vereinfachtes Schema einer Trockenkaschieranlage	16
Abb. 4: Vereinfachtes Schema einer Nasskaschieranlage für Bogen	17
Abb. 5: Vereinfachtes Schema einer Thermokaschieranlage	17
Abb. 6: Oberflächen- und Grenzflächenspannung bei einer Benetzung	21
Abb. 7: Reaktionsgleichung der Urethanbildung	23
Abb. 8: Reaktionsgleichung der Prepolymerbildung	24
Abb. 9: Prinzip einer (seriellen) Inlinefertigung	35
Abb. 10: Prinzip einer Offlinefertigung	36
Abb. 11: Prozessablauf Sammelheftprodukte (digital); Bahnverarbeitung	41
Abb. 12: Prozessablauf Sammelheftprodukte (digital); Bogenverarbeitung	42
Abb. 13: Beispiel einer buchähnlichen Rückenform einer rückstichgehefteten Broschur	42
Abb. 14: Prozessablauf Booklets	43
Abb. 15: Prozessablauf Broschuren (digital); Beispiel mit drei Längsfalzen	44
Abb. 16: Prozessablauf Broschuren (digital); Beispiel Bogenverarbeitung	45
Abb. 17: Prozessablauf fadengeheftete Buchblocks (digital)	46
Abb. 18: Druckbogenstapel mit verschiedenen Fotobüchern eines Batches	47
Abb. 19: Prozessablauf Fotobuch	47
Abb. 20: Prozessablauf Verarbeitung von Transaktionsdrucken	48
Abb. 21: Prozessablauf Zeitungen; Broadsheet	49
Abb. 22: Prozessablauf Zeitungen; Tabloid	49

Abb. 23: Leistung von Monochromen-Bogen-Digitaldruckanlagen (Basis: Jahr der Markteinführung).....	60
Abb. 24: Leistung von Mehrfarben-Bogen-Digitaldruckanlagen (Basis: Jahr der Markteinführung).....	60
Abb. 25: Leistung von Monochromen-Rollen-Digitaldruckanlagen (Basis: Jahr der Markteinführung).....	61
Abb. 26: Leistung von Mehrfarben-Rollen-Digitaldruckanlagen (Basis: Jahr der Markteinführung).....	61
Abb. 27: Leistungsprognose –Monochrom-Bogen-Digitaldruckanlagen.....	64
Abb. 28: Leistungsprognose –Mehrfarben-Bogen-Digitaldruckanlagen.....	65
Abb. 29: Leistungsprognose –Monochrom-Rollen-Digitaldruckanlagen.....	65
Abb. 30: Leistungsprognose –Mehrfarben-Rollen-Digitaldruckanlagen.....	66
Abb. 31: Standbogen 16-Seiter.....	72
Abb. 32: Druckleistung einer Druckmaschine in Abhängigkeit zum Seitenumfang.....	74
Abb. 33: Formatvariable Broschuren-Verarbeitungslinie.....	75
Abb. 34: Fertigungsleistung einer Broschurenlinie - mono Bearbeitungsmaschinen; ausgewählte Produktspezifikation.....	78
Abb. 35: Prozessablauf - Broschurenfertigungslinie mit redundanter Maschinenaufstellung.....	80
Abb. 36: Fertigungsleistung einer Broschurenlinie - redundante Bearbeitungsmaschinen; ausgewählte Produktspezifikation.....	81
Abb. 37: Prozessablauf - 16-Seiter "Kommen und Gehen".....	82
Abb. 38: 180°-Wendevorgang der Doppelnutzen.....	82
Abb. 39: Standbogen 16-Seiter – „Kommen und Gehen“.....	83
Abb. 40: Leistungsvergleich: monochrome Rollen-Digitaldruckanlagen und Leistungsgrenze formatvariabler Querschneider.....	84
Abb. 41: Fertigungsleistung einer Broschurenlinie – Doppelnutzenproduktion.	87
Abb. 42: Beispiel einer Kapazitätsverteilung von Verarbeitungslinien.....	88

Abb. 43: Aufbau des Testimages mit Angabe der Farbbelegung und Flächendeckung.....	90
Abb. 44: Skizze einer Digitaldruckmaschine mit Fixiereinheit.....	92
Abb. 45: REM-Aufnahme Papier K1; Vergrößerung 200x (li) und 1000x (re).	101
Abb. 46: REM-Aufnahme Papier K2; Vergrößerung 200x (li) und 1000x (re).	102
Abb. 47: REM-Aufnahme Papier MG1; Vergrößerung 200x (li) und 1000x (re)	103
Abb. 48: REM-Aufnahme Papier MG2; Vergrößerung 5.000x (li) und 20.000x (re)	103
Abb. 49: REM-Aufnahme Papier MG3; Vergrößerung 20.000x (li) und 40.000x (re)	103
Abb. 50: REM-Aufnahme Papier GG1; Vergrößerung 5.000x (li) und 20.000x (re)	104
Abb. 51: REM-Aufnahme Papier GG2; Vergrößerung 5.000x (li) und 20.000x (re)	105
Abb. 52: REM-Aufnahme Papier GG3; Vergrößerung 20.000x (li) und 40.000x (re)	105
Abb. 53: REM-Aufnahme Papier CGG; Vergrößerung 20.000x (li) und 40.000x (re)	105
Abb. 54: Temperatur-Viskositäts-Relation bei Schmelzklebstoffen	110
Abb. 55: Prinzip der Kontaktwinkelmessung	112
Abb. 56: Flüssigkeitspenetration und Tropfenausbreitung als Funktion der Zeit	114
Abb. 57: Einspannvorrichtung für Abschälversuche	115
Abb. 58: Ermittlung des mittleren Schälwiderstandes einer Kaschierprobe	118
Abb. 59: Probengeometrie und Abzugsrichtung der Kaschierfolie für die Abschälversuche.....	119
Abb. 60: Streuung des Schälwiderstandes der Primärfarben bei verschiedenen Substrat-Klebstoff-Kombinationen	122

Abb. 61: Versuchsablauf - exemplarisch am Beispiel von Papier K1 und der Elektrofotografie mit Trockentoner	123
Abb. 62: Trocknungsverhalten bei mit Polyethylen beschichteten Papieren und wässrigem Inkjetdruck	123
Abb. 63: Beispielverlauf eines Abschäl-Diagramms	124
Abb. 64: Aufbau eines Kaschierverbundes.....	127
Abb. 65: Mögliche Kohäsions-Brucharten eines Kaschierverbundes	128
Abb. 66: Mögliche Adhäsions-Brucharten eines Kaschierverbundes	128
Abb. 67: Kohäsionsbruch in der Faserschicht ab 75% Flächendeckung.....	130
Abb. 68: Adhäsionsbruch zwischen Papier und Farbschicht mit ca. 10% Farbabzug.....	130
Abb. 69: Kohäsionsbruch in der Farbschicht mit ca. 50% Farbabzug.....	130
Abb. 70: Adhäsionsbruch zwischen Papier und Farbschicht mit 100% Farbabzug	131
Abb. 71: Ermittelte Oberflächenspannungen der unbedruckten Substrate.....	135
Abb. 72: Ermittelte Oberflächenspannungen der trockenen Volltonfarbschichten	136
Abb. 73: Schälwiderstände Elektrofotografie; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und des Papiers.....	140
Abb. 74: Schälwiderstände Inkjetdruck; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und des Papiers.....	141
Abb. 75: Schälwiderstände Toner - Substrat K1	143
Abb. 76: Schälwiderstände Flüssigfarbe - Substrat K1	144
Abb. 77: Schälwiderstände Toner - Substrat K2.....	144
Abb. 78: Schälwiderstände Flüssigfarbe - Substrat K2	145
Abb. 79: Schälwiderstände Trockentoner – matte Substrate.....	145
Abb. 80: Schälwiderstände Flüssigtoner – matte Substrate	146
Abb. 81: Schälwiderstände Pigment basierte Flüssigfarbe – matte Substrate	146
Abb. 82: Schälwiderstände Farbstoff basierte Flüssigfarbe – matte Substrate....	147

Abb. 83: Schälwiderstände Trockentoner – glänzende Substrate.....	148
Abb. 84: Schälwiderstände Flüssigtoner – glänzende Substrate	148
Abb. 85: Schälwiderstände Pigment basierte Flüssigfarbe – glänzende Substrate	149
Abb. 86: Schälwiderstände Farbstoff basierte Flüssigfarbe – glänzende Substrate	149
Abb. 87: Schälwiderstände Trockentoner; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und der Flächendeckung.....	151
Abb. 88: Schälwiderstände Flüssigtoner; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und der Flächendeckung.....	152
Abb. 89: Schälwiderstände Pigmenttinte; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und der Flächendeckung.....	153
Abb. 90: Schälwiderstände Farbstofftinte; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und der Flächendeckung.....	154
Abb. 91: Schälwiderstände Feststofftinte; Abhängigkeit in Bezug auf Klebstoffart und der Flächendeckung.....	155
Abb. 92: Falzvorgang 16-Seiter	177
Abb. 93: Falzvorgang 16-Seiter – „Kommen und Gehen“	178

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Anwendungsbereiche des Digitaldrucks	33
Tabelle 2: Vergleich unterschiedlicher Arten von Fertigungslinien	38
Tabelle 3: Übersicht-Bauarten von Digitaldruckmaschinen	52
Tabelle 4: Übersicht-Mehrfarben-Bogen-Digitaldruckanlagen.....	55
Tabelle 5: Übersicht-Monochrome-Bogen-Digitaldruckanlagen.....	56
Tabelle 6: Übersicht-Mehrfarben-Rollen-Digitaldruckanlagen	57
Tabelle 7: Übersicht-Monochrome-Rollen-Digitaldruckanlagen	58
Tabelle 8: Haupteinsatzfelder verschiedener Digitaldruckmaschinengattungen..	59
Tabelle 9: Technische Daten Broschurenfertigungslinie	71
Tabelle 10: Verarbeitungsleistung der Taschenfalzmaschine	76
Tabelle 11: Maschinenausstoß einfache Maschinenaufstellung; ausgewählte Produktspezifikation	77
Tabelle 12: Maschinenausstoß redundante Maschinenaufstellung; ausgewählte Produktspezifikation	81
Tabelle 13: Maschinenausstoß einer optimierten Verarbeitungslinie.....	86
Tabelle 14: Technische Daten Entwickler iGen3	91
Tabelle 15: Technische Daten Silikonöl Xerox Igen	93
Tabelle 16: Technische Daten Tintenkonzentrat HP Indigo 7800	94
Tabelle 17: Technische Daten Bildbearbeitungsöl.....	95
Tabelle 18: Technische Daten Bildbearbeitungsagent.....	95
Tabelle 19: Bestandteile Farbstofftinte	96
Tabelle 20: Bestandteile Pigmenttinte	96
Tabelle 21: Technische Daten Feststofftinte.....	97
Tabelle 22: ausgewählte Druckpapiere für die Kaschierversuche	100
Tabelle 23: Eingesetzte Kaschierverfahren und Kaschierklebstoffe	107

Tabelle 24: Stoffdaten Klebstoff 1K-Dis	108
Tabelle 25: Stoffdaten 2K-PUR.....	109
Tabelle 26: Daten der Testflüssigkeiten für die Ermittlung der Oberflächenspannungen.....	113
Tabelle 27: Umgebungs- und Prozessdaten der Versuchsdurchführung.....	116
Tabelle 28: Technische Daten der Wägezelle – Typ U2A	116
Tabelle 29: DIN-Normen zu verschiedenen Schälprüfungen	117
Tabelle 30: Technische Daten des doppelseitigen Klebebandes	120
Tabelle 31: Einteilung der Papiere zu den Klebstoffen für die Vorversuche	121
Tabelle 32: Grenzen für Schälwiderstände bei Kaschierverbunden	133
Tabelle 33: Bruchgrenzen der Kaschierverbunde und maximale Schälwiderstände bei unbedruckten Substraten (uS).....	134
Tabelle 34: Relativer Teil der abgezogenen Farbschicht bei der Delamination der Proben – 1K-Dis und 2K-PUR (in %, geschätzt).....	137
Tabelle 35: Relativer Teil der abgezogenen Farbschicht bei der Delamination der Proben – Hotmelt (in %, geschätzt).....	138
Tabelle 36: Farbliche Codierung der Farbabzugsgruppen.....	138
Tabelle 37: Farbliche Codierung der Qualitätsgruppen eines Kaschierverbundes	161
Tabelle 38: Schälwiderstände – Trockentoner - I	162
Tabelle 39: Schälwiderstände – Trockentoner - II.....	163
Tabelle 40: Schälwiderstände – Trockentoner - III.....	164
Tabelle 41: Schälwiderstände – Flüssigtoner - I.....	165
Tabelle 42: Schälwiderstände – Flüssigtoner - II	166
Tabelle 43: Schälwiderstände – Flüssigtoner – III	167
Tabelle 44: Schälwiderstände – Pigmenttinte - I	168
Tabelle 45: Schälwiderstände – Pigmenttinte - II.....	169
Tabelle 46: Schälwiderstände – Pigmenttinte - III.....	170

Tabelle 47: Schälwiderstände – Farbstofftinte - I.....	171
Tabelle 48 Schälwiderstände – Farbstofftinte - II	172
Tabelle 49: Schälwiderstände – Farbstofftinte - III	173
Tabelle 50: Schälwiderstände – Feststofftinte - I:.....	174
Tabelle 51: Schälwiderstände – Feststofftinte - II	175
Tabelle 52: Schälwiderstände – Feststofftinte - III.....	176
Tabelle 53: Mehrfarbige Rollen-Digitaldruckanlagen- I; alphabetisch sortiert..	198
Tabelle 54: Mehrfarbige Rollen-Digitaldruckanlagen- II; alphabetisch sortiert	199
Tabelle 55: Mehrfarbige Rollen-Digitaldruckanlagen - III; alphabetisch sortiert	200
Tabelle 56: Monochrome Rollen-Digitaldruckanlagen - I; alphabetisch sortiert	201
Tabelle 57: Monochrome Rollen-Digitaldruckanlagen - II; alphabetisch sortiert	202
Tabelle 58: Mehrfarbige Bogen-Digitaldruckanlagen - I; alphabetisch sortiert .	203
Tabelle 59: Mehrfarbige Bogen-Digitaldruckanlagen - II; alphabetisch sortiert	204
Tabelle 60: Mehrfarbige Bogen-Digitaldruckanlagen - III; alphabetisch sortiert	205
Tabelle 61: Mehrfarbige Bogen-Digitaldruckanlagen - IV; alphabetisch sortiert	206
Tabelle 62: Monochrome Bogen-Digitaldruckanlagen - I; alphabetisch sortiert	207
Tabelle 63: Monochrome Bogen-Digitaldruckanlagen - II; alphabetisch sortiert	208
Tabelle 64: Monochrome Bogen-Digitaldruckanlagen - III; alphabetisch sortiert	209

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
1K-Dis	1-Komponenten Dispersionsklebstoff
2K-PUR	2-Komponenten Polyurethanklebstoff
B	Breite
BOPP	biaxial orientierte Polypropylenfolie
c	Farbe (color)
CMYK	Primärfarben (Cyan, Magenta, Yellow, Black)
di	Farbstoff basierte Flüssigfarbe (dye inkjet)
dpi	dots per inch
Drupa	Druck und Papier (Messe)
EVA	Ehtylenvinylacetatcopolymer
F [N]	Schälkraft
FD	Flächendeckung
F_K [N/xmm]	Klebekraft
FT	Flüssigtoner
GG	glänzend gestrichen/beschichtet
H	Höhe
IBPS	Integrated Book Production System
IPEX	International Printing Machinery and Allied Trades Exhibition
K	kalandriert
MG	matt gestrichen/beschichtet
MIS	Management-Informations-System
OPP	orientierte Polypropylenfolie
pi	Pigment basierte Flüssigfarbe (pigment inkjet)
PIA GATF	The Printing Industries of America/Graphic Arts Technical Foundation
POD	Print on Demand
PP	Polypropylen
PUR	Polyurethan
REM	Rasterelektronenmikroskop
si	Feststofffarbe (solid ink)
TT	Trockentoner
uS	unbedrucktes Substrat
VDP	Variable Data Print
W_S [N/mm]	Schälwiderstand

Literaturverzeichnis

1. 3M Deutschland GmbH: Datenblatt. VHB Hochleistungs-Verbindungssysteme. Online verfügbar unter http://solutions.3m.no/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?lmd=1359635987000&locale=de_DE&assetType=MMM_Image&assetId=1319246684979&blobAttribute=ImageFile, zuletzt geprüft am 21.05.2016.
2. Ahlhaus, Otto (1997): Verpackung mit Kunststoffen. München [u.a.]: Hanser.
3. Backhaus, Johannes (2013): Anwendungsbereiche des Digitaldrucks. Wuppertal, 18.06.2013. persönliches Gespräch.
4. Bayer, Siefken, Rinke, Orthner, Schild: Verfahren zur Herstellung von Polyurethanen bzw. Polyharnstoffen. Angemeldet durch IG Farbenindustrie AG. Veröffentlichungsnr: DE 728981.
5. Bea, Franz Xaver; Schweitzer, Marcell (2011): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre Bd. 2: Führung. 10. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: UTB.
6. DIN EN ISO 2409, 06/2013: Beschichtungsstoffe - Gitterschnittprüfung.
7. Beßner, Harald; Cremer, Ralf: Der Einfluß des Papierstriches auf die mechanische Widerstandsfestigkeit folienkaschierter Drucke. Forschungsbericht 4.042. Hg. v. FOGRA Forschungsgesellschaft Druck e.V. München (Forschungsbericht).
8. Bielomatik Leuze GmbH + Co KG (Hg.): Print-Finishing-on-Demand. BookMaster. Online verfügbar unter http://www.bielomatik.de/bkmauto/tbp_bod/, zuletzt geprüft am 03.03.2015.
9. Bigianti, Marco; Lanter, Andreas (2014): Digital Printing Leads to Print Finishing Opportunities. Hg. v. Bielomatik-Matti AG. Online verfügbar unter http://www.thebindingedge.com/stories/112614/digital-printing-leads-to-print-finishing-opportunities.shtml#.WGEomfR_MlN, zuletzt aktualisiert am 26.12.2016.
10. Blechschmidt, Jürgen (2013): Papierverarbeitungstechnik: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.

11. Börsenverein des Deutschen Buchhandels e.V. (2016): Buch und Buchhandel in Zahlen. Zahlen, Fakten und Analysen zur wirtschaftlichen Entwicklung // Zahlen für den Buchhandel/2016. neue Ausgabe. Frankfurt am Main: MVB (Buch und Buchhandel in Zahlen). Online verfügbar unter http://www.buchmesse.de/images/fbm/dokumente-ua-pdfs/2016/buchmarkt_deutschland_2016_dt.pdf_58507.pdf, zuletzt geprüft am 25.12.2016.
12. Bosch Rexroth AG: Inline-Querschneider. Online verfügbar unter <https://www.boschrexroth.com/de/de/branchen/fabrikautomation/druck-und-verarbeitung/anwendungen/verarbeitungsmaschinen/inline-querschneider/index>, zuletzt geprüft am 02.01.2017.
13. Buch-Automation GmbH: Universe Sewing Web-fed. Lösungen für die Digitaldruck -Weiterverarbeitung. Online verfügbar unter http://meccatec.it/prodotti_dettaglio.php?s=none&l=deu&c=00002&a=00015&modulo=DIGITAL¯o=L%C3%B6sungen%20f%C3%BCr%20die%20Digitaleindruck%20-Weiterverarbeitung, zuletzt geprüft am 27.12.2016.
14. o.V.: BW Papersystems Hamburg GmbH. Online verfügbar unter <http://www.echwill.com>.
15. Canon Deutschland GmbH (Hg.) (2012): Canon Image Prograf iPF9400S. Online verfügbar unter http://www3.canon.de/images/pro/wf/lfp/file/CAN_imagePROGRAF_iPF9400S_Sales_Sheet_2s_DE_LR.pdf?id=6.
16. Canon GmbH: High-Quality 12-Color Pigment Inks to Satisfy Demanding Professionals. Online verfügbar unter http://www.canon.com/technology/canon_tech/explanation/lij.html, zuletzt geprüft am 02.03.2016.
17. Canon Solutions America Inc. (2013): Océ JetStream Wide Series mono.
18. chocri GmbH: Trink 'ne Coke mit deinen Freunden. Online verfügbar unter www.meinecoke.de, zuletzt geprüft am 11.07.2016.
19. o.V.: Digitaler Offsetdruck mit der E-Print 1000 von Indigo (1993). In: *Deutscher Drucker* (25), S. 5.
20. DiSantis, Nicholas (2007): Rub, fold, and abrasion resistance testing of digitally printed documents. Thesis. Rochester Institute of Technology.

21. Diversy, Martin (2009): Transaktionsdruck: Chancen und Potenziale. In: *Druckmarkt* (58), S. 36–40.
22. Dörsam Edgar (2011): Digitale Drucktechnologie. Vorlesung im Wintersemester 2011/2012. Hg. v. Technische Universität Darmstadt. Fachgebiet Druckmaschinen und Druckverfahren.
23. Dr. E. Kuckert: Tinten für Ink-Jet Verfahren. Bayer AG. Online verfügbar unter <https://www.f07.th-koeln.de/imperia/md/content/fakultaet07/imp/projekte/kuckert.pdf>, zuletzt geprüft am 02.03.2016.
24. Dutschk, Victoria (2000): Oberflächenkräfte und ihr Beitrag zu Adhäsion und Haftung in glasfaserverstärkten Thermoplasten. Dissertation. Technische Universität Dresden, Dresden.
25. Ebnesaajjad, Sina (2015): *Adhesives technologies handbook*. Third edition. London, England: Elsevier.
26. Fahrmeir, L. (2007): *Statistik. Der Weg zur Datenanalyse*. 6., überarbeitete Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
27. Fahrmeir, L.; Kneib, Thomas; Lang, Stefan (2009): *Regression. Modelle, Methoden und Anwendungen*. 2. Aufl. Berlin: Springer (Statistik und ihre Anwendungen).
28. Felix Schoeller Holding GmbH & Co. KG (Hg.): E-Photo. Real Photo Paper. Online verfügbar unter https://www.felix-schoeller.com/en_en/business-unit/photographic-digital-printing-papers/products/per-product-series/e-photor.html, zuletzt geprüft am 17.05.2016.
29. Felix Schoeller Holding GmbH & Co. KG (Hg.): Jet Speed. Online verfügbar unter http://www.felix-schoeller.com/de_de/business-unit/foto-digitaldruckpapiere/produkte/je-produktserie/jet-speedr.html, zuletzt geprüft am 17.05.2016.
30. Girifalco, L. A.; Good, R. J. (1957): A Theory for the estimation of surface and interfacial energies. derivation and application to interfacial tension. In: *The journal of physical chemistry* (61), S. 904–909.

31. Grande, Bernd Th.: Grenzflächenbetrachtungen. Vorlesungsskript. Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal. Online verfügbar unter http://www.dod.uni-wuppertal.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/Grenzflaechenbetrachtungen.pdf.
32. Habenicht, Gerd (2009): Kleben. Grundlagen, Technologien, Anwendungen. 6. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
33. Habenicht, Gerd (2011): Kleben - erfolgreich und fehlerfrei: Handwerk, Praktiker, Ausbildung, Industrie. 6. Aufl.: Vieweg+Teubner Verlag.
34. Hansmann, Karl-Werner (1983): Kurzlehrbuch Prognoseverfahren. Wiesbaden: Gabler Verlag; Imprint (Gabler Kurzlehrbücher).
35. Heinze, Ines (2003): Konstruktion von buchbinderischen Finalerzeugnissen unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen des Binding on demand. Dissertation. Bergischen Universität Wuppertal, Wuppertal.
36. Hensen, F.; Knappe, W.; Potente, H. (1986-1989): Handbuch der Kunststoff-Extrusionstechnik. II Extrusionsanlagen. München: Hanser.
37. Hewlett-Packard Development Company: Benutzerhandbuch HP Indigo 7000 Digital Press. Online verfügbar unter <http://h10032.www1.hp.com/ctg/Manual/c01493569>.
38. Hewlett-Packard Development Company: Datenblatt Bildbearbeitungsagent. Online verfügbar unter http://www.hp.com/hpinfo/globalcitizenship/environment/productdata/Countries/de/ii_q4314a_de_ger_v17.pdf, zuletzt geprüft am 02.03.2016.
39. Hewlett-Packard Development Company: MSDS: HP Indigo Digital Press Ink. Datenblätter. Q4133A, Q4132A, Q4131A, Q4130A. Online verfügbar unter <http://www.hp.com/hpinfo/globalcitizenship/environment/productdata/iimdsdeger.html>, zuletzt geprüft am 02.03.2016.
40. Hewlett-Packard Development Company (2014): HP Designjet Z6800 Photo Production Printer. Data Sheet. Online verfügbar unter <http://h20195.www2.hp.com/V2/GetPDF.aspx/4AA5-1278ENW.pdf>, zuletzt geprüft am 05.03.2015.

41. Hewlett-Packard Development Company (Hg.) (2014): HP Indigo 7800 Digital Press. A high-performance sheetfed press with exceptional capabilities. Online verfügbar unter <http://www8.hp.com/h20195/v2/GetDocument.aspx?docname=4AA5-2966EEW>, zuletzt geprüft am 10.04.2015.
42. Hiemer, Armin: Kluppenkette mit stufenlos einstellbarer Teilung zur simultanen, biaxialen Behandlung von Folienbahnen. Veröffentlichungsnr: DE4115122 C2.
43. Horizon International Inc. Online verfügbar unter https://www.hunkeler.ch/News_Room/Events/Drupa+2016/Solutions/Variable_format+book+production-p-722.html.
44. Horizon International Inc. (Hg.): Datenblatt AF-566F Digital. Online verfügbar unter http://www.horizon.co.jp/en/products/catalog_e_pdf/folders_e/AF566F_digital_e.pdf.
45. Horizon International Inc. (Hg.) (2014): Smart Finishing Solutions. Online verfügbar unter http://www.horizon.co.jp/en/products/catalog_e_pdf/digitalfinishing_e/SmartFinishingSolutions_e.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.2016.
46. Horváth, Péter (2011): Controlling, 12., vollständig überarbeitete Auflage: Vahlen.
47. Hunkeler AG (Hg.) (2015): Hunkeler Popp 7. Online verfügbar unter https://hunkeler.ch/hunkeler/de/largesheet_solution_specs-pkat-3259-p-4288.html, zuletzt geprüft am 19.03.2016.
48. Jeff Clarke (2015): Analyst and Investor Day. Hg. v. Eastman Kodak Company. Online verfügbar unter http://files.shareholder.com/downloads/EK/0x0x856245/3B3B42D1-8FEA-43F1-AD99-F2AE1B6F053E/Analyst_and_Investor_Day_Total_EKC_Consolidated_10_22_15_FINAL_acg_.pdf, zuletzt geprüft am 26.12.2016.
49. Kinloch, A. J. (1987): Adhesion and Adhesives. Science and Technology. Dordrecht: Springer Netherlands.
50. Kipphan, Helmut (Hg.) (2000): Handbuch der Printmedien. Technologien und Produktionsverfahren. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag.

51. Klaus von Eichhorn, Key Account Manager bei Papierfabrik Scheufelen GmbH + Co. KG (2013): Papierauswahl für digitale Drucksysteme. Wuppertal, 30.01.2013. Telefonat.
52. DIN EN 1939:2003-12, 12/2003: Klebebänder - Bestimmung der Klebkraft.
53. DIN EN ISO 10365, 1995: Klebstoffe - Bezeichnung der wichtigsten Bruchbilder.
54. DIN EN 1372:2015-06, 06/2015: Klebstoffe - Prüfverfahren für Klebstoffe für Boden- und Wandbeläge - Schälversuch.
55. DIN EN 28510-1:2014-07, 07/2014: Klebstoffe - Schälprüfung für flexibel/starr geklebte Proben - Teil 1: 90°- Schälversuch.
56. DIN EN ISO 8510-2:2010-12, 12/2010: Klebstoffe - Schälprüfung für flexibel/starr geklebte Proben - Teil 2: 180-Grad-Schälversuch.
57. DIN EN 1464, 2010: Klebstoffe –Bestimmung des Schälwiderstandes von Klebungen –Rollenschälversuch.
58. Klein, Rainer; Meder, Gerd; Petermann, Peter (2014): Benetzbarkeit und Flüssigkeitspenetration. Einfluss auf das Druckergebniss beim Offsetdruck. In: *Druck & papier* (10), S. 644–647.
59. Kolbus GmbH & Co. KG: Trennsäge TR 162. Online verfügbar unter <http://www.kolbus.de/produkte/anwendungen/trennen/tr-162/>, zuletzt geprüft am 31.12.2016.
60. Kuckartz, Udo (2010): Statistik. Eine verständliche Einführung. 1. Aufl. Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss (Lehrbuch).
61. Kuen, Thomas; Cremer, Ralf (1993): Untersuchung von Vernetzungs- und Haftstörungen bei UV-Lackierungen in der Papier- und Kartonveredelung. Forschungsbericht Nr. 4.051. Hg. v. FOGRA Forschungsgesellschaft Druck e.V. München.
62. Kuen, Thomas; Hundsdorfer, Otto (1998): Anforderungen an die Glanzfolienkaschierung für Umschläge und Buchdecken. Forschungsbericht Nr. 72.002. Bundesverband Druck E.V und Forschungsgesellschaft Druck e.V. Wiesbaden/München.
63. Kuß, Alfred; Wildner, Raimund; Kreis, Henning (2014): Marktforschung. Grundlagen der Datenerhebung und Datenanalyse. 5., vollst. überarb. u. erw. Aufl. 2014. Wiesbaden: Gabler (SpringerLink : Bücher).

64. DIN 53211, 06.1987: Lacke, Anstrichstoffe und ähnliche Beschichtungsstoffe; Bestimmung der Auslaufzeit mit dem DIN-Becher.
65. Latscha, Hans Peter; Kazmaier, Uli; Klein, Helmut (2016): Organische Chemie. Chemie-Basiswissen II. 7. Aufl. 2016. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
66. Liebau, Dieter; Heinze, Inés (1997): Industrielle Buchbinderei. Buchfertigung (Serie). Itzehoe: Verl. Beruf und Schule (Buchfertigung).
67. o.V.: manroland web systems GmbH. Online verfügbar unter www.manroland-web.com.
68. DIN EN ISO 2411:2000-08, 08/2000: Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Bestimmung der Haftfestigkeit von Beschichtungen.
69. Müller Martini AG (Hg.). Online verfügbar unter www.mullermartini.com, zuletzt geprüft am 23.07.2016.
70. Müller Martini AG (Hg.): Primera MC Digital. Digitale Sammelheft-Systeme. Online verfügbar unter <http://www.mullermartini.com/de-CH/Produkte/Saddle-Stitching-Systems/Digitale-Sammelheft-Systeme/Primera-MC-Digital>, zuletzt geprüft am 21.01.2017.
71. Nicolay, Klaus-Peter (2004): Die Buch-Architekten. Buchbinderei Burkhardt (BUBU) zelebriert das Buch in alter und neuer Form. In: *Druckmarkt* (17), S. 20.
72. Owens, D.; Wendt, R. (1969): Estimation of the Surface Energy of Polymers. In: *Journal of applied polymer science* (13), S. 1741–1747.
73. Papyrus Deutschland GmbH & Co. KG (Hg.): Digigold Classic Coated Silk. Online verfügbar unter http://www.papyrus.com/deDE/catalog/c/cat2450005/p/prod1040146/Gestrichene_Papiere_HPI/DigiGold_Classic_Coated_Silk/view.htm, zuletzt geprüft am 17.05.2016.
74. Papyrus Deutschland GmbH & Co. KG (Hg.): Digigold Icewhite. Online verfügbar unter http://www.papyrus.com/deDE/catalog/c/cat2450004/p/G_1000_prod2900037/Ungestrichene_Papiere_HPI/DigiGold_Icewhite/view.htm, zuletzt geprüft am 17.05.2016.

75. Papyrus Deutschland GmbH & Co. KG (Hg.): Digitaldrucksortiment. DigiGold Classic Coated Gloss. Online verfügbar unter http://www.papyrus.com/deDE/catalog/c/cat2450005/p/prod1040155/Gestrichene_Papiere_HPI/DigiGold_Classic_Coated_Gloss/view.htm, zuletzt geprüft am 17.05.2016.
76. PIA GATF (Hg.) (2005): Technology Forecast, Section 2. The Print Production Process (The Seybold Report).
77. o.V.: Plockmatic International AB. Online verfügbar unter <http://www.plockmatic.com/>.
78. Pocius, Alphonsus V. (2012): Adhesion and adhesives technology. An introduction. 3rd ed. Cincinnati, Ohio: Hanser Publications.
79. Polar-Mohr Maschinenvertriebsgesellschaft GmbH & Co. KG (Hg.): Schnellschneider N115 PLUS. Online verfügbar unter http://www.polar-mohr.com/dl/14/29358/POLAR_Schnellschneider-115_Produktblatt.pdf, zuletzt geprüft am 18.08.2016.
80. DIN 53357:1982-10, 1982: Prüfung von Kunststoffbahnen und -folien; Trennversuch der Schichten, zuletzt geprüft am 31.03.2015.
81. Rasche, Manfred (2010): Praxishandbuch Klebtechnik. München: Hanser, Carl.
82. Romano, Frank (2007): A Report Card - Digital Color Printing (The Seybold Report, 2).
83. Scheddin, Yvonne S. (1993): Xeikon präsentierte die erste rein digitale Vierfarben-Druckmaschine für Kleinauflagen: DCP1. In: *Deutscher Drucker* (28), S. 10.
84. Scherhag, M.; Fey, H.; Stix, H. (2009): Digitale Buchproduktion. In: *Publishing Praxis* (1), S. 20–26.
85. Schmidt Christian, Entwicklungsleiter bei Jowat SE (2016): Stoffaufbau von Dispersionsklebstoffen. Wuppertal, 12.08.2016. Telefonat.
86. Silva, Lucas Filipe Martins da; Öchsner, Andreas; Adams, Robert D. (2011): Handbook of adhesion technology. Berlin, London: Springer (Springer reference).

87. Smithers Pira (Hg.): Digital print market to reach \$187.7 billion by 2018. Online verfügbar unter <http://www.smitherspira.com/news/2013/june/digital-printing-trends-market-analysis-to-2018>, zuletzt geprüft am 26.12.2016.
88. Smyth, Sean (2005): Introduction to digital print. 2. ed. Leatherhead: Pira International.
89. Stadler, Peter; Müller, Arne (1993): Einfluß der Strichkomponenten auf die Qualität klebegebundener Massendruckartikel. Forschungsbericht Nr. 4.041. Hg. v. FOGRA Forschungsgesellschaft Druck e.V. München.
90. Stepanski, Horst; Leimenstoll, Marc (2016): Polyurethan-Klebstoffe. Unterschiede und Gemeinsamkeiten. 1. Aufl. 2016. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (essentials).
91. Thielen, Michael (2003): Book-On-Demand. Entwicklung eines Konzepts zur Integration der Buchweiterverarbeitung in einen digitalen Workflow. Dissertation. Technische Universität Chemnitz, Chemnitz.
92. o.V.: Timsons Inc. Online verfügbar unter <http://timsonsinc.com/>.
93. Trautmann, Norbert (2001): Anlagenbelegungsplanung in der Prozessindustrie. 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. [u.a.] (Gabler Edition Wissenschaft).
94. U.S. Census Bureau: Statistics of U.S. Businesses; Historical Data Page. Statistisches Bundesamt der Vereinigten Staaten von Amerika. Online verfügbar unter <http://www2.census.gov/econ/susb/data/>, zuletzt geprüft am 06.03.2016.
95. DIN 16922, 1981: Unter Verwendung von Kunststoffen hergestellte flexible bahnenförmige Flächengebilde.
96. Vecteezy: Free Vector Art. Online verfügbar unter www.vecteezy.com, zuletzt geprüft am 12.08.2016.
97. o.V.: Wer hat's erfunden? Büroklassiker im Spiegel der Zeit. Folge 19: Der Drucker (2011). In: *Das Büro* (6), S. 44, zuletzt geprüft am 04.03.2015.
98. Xerox GmbH: Datenblatt Entwickler. Online verfügbar unter <http://www.xerox.com/download/ehs/msds/1-0018.de.pdf>, zuletzt geprüft am 02.03.2016.

99. Xerox GmbH: Datenblatt Fixieröl. Online verfügbar unter <http://www.xerox.com/download/ehs/msds/4-0113.de.pdf>, zuletzt geprüft am 02.03.2016.
100. Xerox GmbH (Hg.): Datenblatt Solid Ink. Online verfügbar unter <http://www.xerox.com/download/ehs/msds/3-5005.de.pdf>, zuletzt geprüft am 14.04.2016.
101. Xerox GmbH: Datenblatt Toner iGen 3. Online verfügbar unter <http://www.xerox.com/download/ehs/msds/3-1160.de.pdf>.
102. Young, Thomas (1805): An Essay on the Cohesion of Fluids. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (95), S. 65–87.

*Der Lebenslauf ist in der Online-Version
aus Gründen des Datenschutzes nicht enthalten.*

