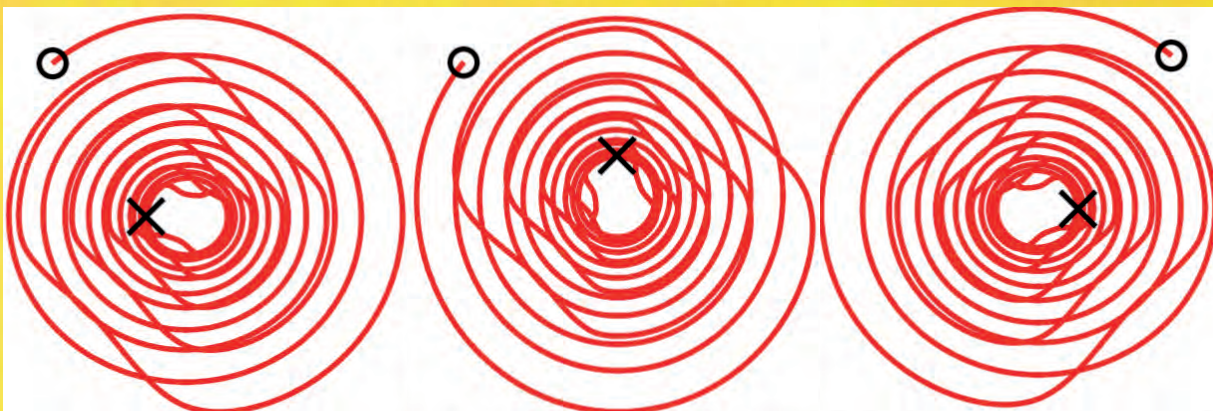




JAHRBUCH 2013

VEREIN DEUTSCHER DRUCKINGENIEURE E.V.

GEMEINSAM DIE ZUKUNFT GESTALTEN



Fuchs: Als die Druckmaschinen noch aus Holz gefertigt waren

Fuchs: Setzen, Stechen, Tupfen von Musiknoten im Wandel von Hoch- Tief- und Flachdruck

Messer: Vom Antriebsriemen verursachte Drehschwingungen in Bogenoffsetdruckmaschinen

Güdel: Simulation eines Druckkopfes für leitfähige Medien

Schläpfer: Geschichte des rasterlosen Offsetdrucks

Schläpfer: Die Entwicklung des wasserlosen Offsetdruck

Dattner: Die wellenabhängige Flächendeckung

Willmann: Innovationen in der druckbaren Elektronik:

Von der Idee zur Produktion

Desch: Der Einfluss der Schneidlage auf den effektiven Keilwinkel des Messers - eine methodische Untersuchung an Schnellschneidern

Stahl: Charakterisierung von Schichtdicke und Schichthomogenität zur Untersuchung des Einflusses von Viskosität

Kehren: Optische Eigenschaften und visuelle Wahrnehmung von gedruckten Spezialeffektfarben

Lißner: Verbesserung von Farbabstandsformeln mittels Gauß-Regression

Holderried: Das Letzte zur Branche

Verein Deutscher Druckingenieure e.V.

Jahrbuch der Druckingenieure 2013



Impressum

Verein Deutscher Druckingenieure e.V.

Magdalenenstrasse 2

64289 Darmstadt

Telefon: 06151 /16 20 32

Fax: 06151 /16 36 32

E-Mail: kontakt@vdd-net.de

Internet: <http://www.vdd-net.de>

Redaktion:

Dr. h.c. Dipl.-Ing. (FH) Siegbert Holderried,

Dipl.-Ing. Boris Fuchs

Prof. Dr.-Ing. Markus Messer

Dipl.-Ing. Roger Starke

Herausgeber

Dr. h.c. Dipl.-Ing. (FH) Siegbert Holderried

Verein Deutscher Druckingenieure e.V.

© Verein Deutscher Druckingenieure e.V.

ISSN-Print 2194-9409

ISSN-Internet 2194-9425

Die Beiträge stellen ausschließlich die Meinung der
Autoren dar.

Inhaltsverzeichnis

Dipl.-Ing. Karlheinz Mohn	5	Dr.-Ing. Michael Desch, Heidelberg	107
Vorsitzender des VDD		Der Einfluss der Schneidlage auf den	
Grußwort		effektiven Keilwinkel des Messers -	
		eine methodische Untersuchung an	
		Schnellschneidern	
Dipl.-Ing. Boris Fuchs, Frankenthal	7	Dr.-Ing. Simon Stahl, Darmstadt	113
Als die Druckmaschinen noch aus Holz		Charakterisierung von Schichtdicke und	
gefertigt waren: Die Druck- und Verlags-Offi-		Schichthomogenität zur Untersuchung des	
zin von Plantin-Moretus aus der Renaissance-		Einflusses von Viskosität und Druckform	
zeit in Antwerpen		auf funktionale Tiefdruckschichten	
Dipl.-Ing. Boris Fuchs, Frankenthal	23	Dr.-Ing. Katharina Kehren, Königstein	123
Das Setzen, Stechen und Tupfen von		Optical Properties and visual Appearance	
Musiknoten im Wandel von Hochdruck -		of Printed Special Effect Colors	
Tiefdruck - Flachdruck			
Prof. Dr.-Ing. Markus Messer,		Ingmar Lißner, Darmstadt	141
Bad Nauheim	35	Verbesserung von Farbabstandsformeln	
Vom Antriebsriemen verursachte Dreh-		mittels Gauß-Prozessen	
schwingungen in Bogenoffsetdruckma-			
schinen: Ein Beispiel für parametererregte		Dr. h.c. Dipl.-Ing. (FH) Siegbert Holderried,	149
Schwingungen		Frankfurt	
Micha Güdel, BSc Maschinentechnik,		Das Letzte zur Branche 2012/2013	
Burgdorf CH	59	Aktuelles zum VDD:	
Simulation eines Druckkopfes für		Mitgliederversammlung	167
leitfähige Medien		Harry M. Greiner Preis verliehen	169
Prof. Dr. Kurt Schläpfer, St. Gallen CH	65	Bericht von der VDD-Jahrestagung	171
Geschichte der frequenzmodulierten		am 28. September 2012 in Berlin, Beuth	
Rasterung		Hochschule für Technik, Fachrichtung	
Prof. Dr. Kurt Schläpfer, St. Gallen CH	75	Druck- und Medientechnik	
Die Entwicklung des wasserlosen		Nachruf	177
Offsetdrucks			
Dr. -Ing. Michael Dattner, Bielefeld	83		
Die wellenlängenabhängige Flächendeckung			
Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.	97		
Jürgen Willmann, Frankenthal			
Innovationen in der druckbaren Elektronik:			
Von der Idee zur Produktion			

Fördernde Mitglieder

Druckfarbenfabrik Flint-Schmidt GmbH
Gaugrafenstr. 4-8
60489 Frankfurt am Main

Felix Böttcher GmbH & Co.
Stolberger Straße 351-353
50933 Köln

Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V.
Lyonerstr. 18
60528 Frankfurt

Heidelberger Druckmaschinen AG
Kurfürsten-Anlage 52-60
69115 Heidelberg

Koenig & Bauer AG
Friedrich-Koenig-Str. 4
97080 Würzburg

Manroland Sheetfed GmbH
Mühlheimer Str. 341
63075 Offenbach

Windmüller & Hölscher
Münsterstraße 50
49525 Lengerich

Ehrenmitglieder

Dipl.-Ing. Boris Fuchs
Professor Senator Dr.-Ing Harry M. Greiner
Dr. h.c. Dipl.-Ing. (FH) Siegbert Holderried
Dipl.-Ing. Rudolf Uhrig M.Sc.
Dr. rer. pol. Rolf Seißer
Dipl.-Ing. Hermann Thomas

Prof. Dipl.-Ing. Karl Scheuter † 2012
Dr. rer. pol. Dr.h.c. Dr.E.h Kurt Werner
† 2005

Grusswort des Vorsitzenden des Vereins Deutscher Druckingenieure e.V.



Dipl.-Ing. Karlheinz Mohn

Liebe Mitgliederinnen und Mitglieder,
liebe Leserinnen und Leser des VDD-Jahrbuchs!

Wer hätte das gedacht? Das Jahrbuch der Druckingenieure geht nun in die sechste Auflage und hat sich für die regelmäßigen Leser zu einem „Klassiker“ gemausert. Die bunte Mischung aus aktuellen, wissenschaftlichen und historischen Beiträgen rund um die Drucktechnik und Druckmaschinen hat eine kleine und feine Fangemeinde gefunden.

An dieser Stelle möchte ich Sie auf zwei Beiträge in diesem Jahrbuch hinweisen. Es handelt sich um die Beiträge von Herrn Micha Güdel und Herrn Dr.-Ing. Michael Dattner, die ersten Preisträger des Harry-M.-Greiner-Preises des VDD. Mit ihrer Bachelorthesis beziehungsweise ihrer Dissertation haben die beiden Preisträger eine unabhängige Jury überzeugt und bewiesen, dass der Ingenieur Nachwuchs große Potenziale bietet. Dieser Studienpreis ist ein Beleg für die Bemühungen des VDD um den studentischen Nachwuchs in unserer Branche. Für dieses Engagement steht der VDD jetzt und wird dieses auch in der Zukunft intensiv betreiben.

„Nichts ist so beständig, wie der Wandel“ lautet ein landläufiges Sprichwort und in der Tat befindet sich die Druckindustrie seit Jahren in einem solchen Wandel. Nach den massiven Umsatzrückgängen und der fortschreitenden Konsolidierung seit 2008 scheint an vielen Ecken in der Druckindustrie eine unternehmerische Erholung eingeleitet zu sein, auch wenn dies noch nicht flächendeckend der Fall ist.

Die diesjährige Jahrestagung des Vereins Deutscher Druckingenieure in Konstanz steht auch daher unter dem Motto „Druckindustrie – fit für die Zukunft“. Hochkarätige Referenten und Teilnehmer werden diese provokante Fragestellung ausgiebig diskutieren. Hierbei unternehmen wir den Versuch, viele Bereiche unserer Branche zu Wort kommen zu lassen und diese zu beleuchten. Maschinenbauer für Druck und Weiterverarbeitung, Zulieferer, Druckereien, Hochschulen und Verbände werden Antworten und Ansätze zum Nachdenken geben.

Persönlich hoffe ich, dass alle Leser und Interessierte das vorliegende, gelungene Jahrbuch 2013 als Aufforderung verstehen, für die künftigen Ausgaben eigene, anspruchsvolle Beiträge einzubringen. Der VDD wird diesen „Klassiker der Fachliteratur“, das VDD-Jahrbuch, auch in 2014 auflegen, Sie dürfen sich bereits darauf freuen.

Abschließend sage ich allen Autoren für ihre erstklassigen Beiträge ein großes Dankeschön. Dem Vater des Jahrbuches, unserem Ehrenmitglied Dr. Siegbert Holderried gilt ein besonderer Dank für sein unermüdliches Engagement.

Herzlichst, Ihr
Karlheinz Mohn

Dipl.-Ing. Boris Fuchs, Frankenthal

**Als die Druckmaschinen noch aus Holz gefertigt waren:
Die Druck- und Verlags-Offizin von Plantin-Moretus aus
der Renaissancezeit in Antwerpen**



Geboren 1933 in Rybinsk an der Wolga (temporäre Tätigkeit des Vaters dort im Druckmaschinenkombinat Jagoda), Abitur 1953 am Neusprachlichen Gymnasium in Frankenthal, danach Maschinenbau-Studium mit der Spezialisierung auf Druckmaschinen und Druckverfahren an der Technischen Hochschule Darmstadt (heute Technische Universität), Abschluss als Dipl.-Ing., über 25 Jahre Tätigkeit als Entwicklungs-Konstrukteur, Abteilungsleiter und Vorstandsmitglied in der Druckmaschinenindustrie, davon 10 Jahre im Ausland (Schweiz). Die letzten 15 Jahre vor der Pensionierung 1998 in leitender Position bei IFRA in Darmstadt (Internationale Forschungsorganisation Zeitungs- & Medientechnik). Jetzt im Ruhestand als Hobby Forschung auf dem Gebiet der Technikgeschichte betreibend. Ehrenmitglied des VDD, der IARIGAI und des Fördervereins des Karolinen Gymnasiums Frankenthal.

Als Friedrich Koenig im Jahre 1803 in Suhl, Thüringen, seinen Erfindungsgedanken einer mechanisierten Buchdruckerpresse (Bild 1) in die Tat umzusetzen begann, da stand ihm für den Bau des Gestells nur der Werkstoff Holz zur Verfügung. Dies war bis dahin das gängige Material wie es aus dem Mühlenbau seit Alters her bekannt war. Holz war ein gut formbarer Werkstoff, zeigte bei entsprechender Gestaltung hinreichend gute Stabilität und besonders gute Dämpfungseigenschaft gegen

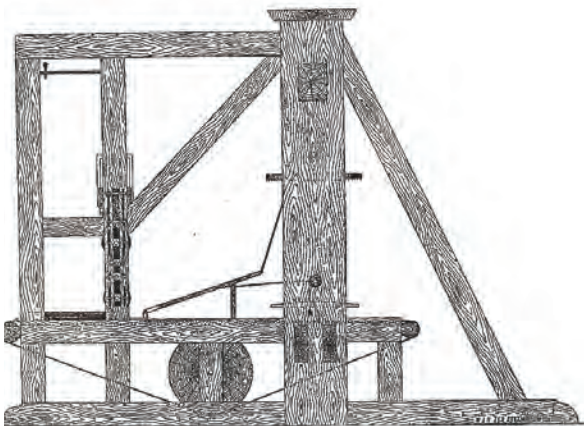


Bild 1: Friedrich Koenigs Suhler Presse war im Gestell noch aus Holz gefertigt.

Schwingungen. Schon seit Johannes Gutenberg waren auch Druckerpressen so gebaut worden und erst in jüngster Zeit, drei Jahre vor Koenigs Versuchen in Suhl, im Jahre 1800, hatte sich in England der adelige Erfinder, Charles Lord Stanhope, mit Hilfe des Mechanikers Robert Walker daran gemacht, das Material Holz durch das Material Gusseisen bei den von Hand betriebenen Buchdruckerpressen zu ersetzen.

Dass die „Suhler Presse“, wie sie in den Annalen genannt wird, nicht zur Funktion gebracht werden konnte, mag weniger an dem verwendeten Material, als an den mangelnden Fertigkeiten der lokalen Stellmachern und Zimmerleuten gelegen haben, die für Koenig arbeiteten. Die Rotationskörper, Spindeln und Triebstockräder, sowie der Drucktiegel, also die Maschinenelemente, bei denen es auf die Genauigkeit ankam, waren nämlich wie bei den hölzernen Druckpressen auch hier aus Schmiedeeisen angefertigt worden. Der Durchbruch, der Friedrich Koenig 1812 mit der ersten Schnellpresse in England gelang, war mehr dem Ersetzen des Drucktiegels durch einen Druckzylinder als

der höheren Präzision geschuldet. Das mag erklären, warum die hölzernen Buchdruckerpressen ganze 350 Jahre, von 1450 bis 1800, Bestand in den Druckerei-Offizinen hatten, bevor sie durch ganzmetallene Handpressen und mechanisierte Schnellpressen ersetzt wurden. Es erscheint angebracht, mit einer kleinen Geschichte der hölzernen Buchdruckerpressen aufzuzeigen, dass auch hierbei wesentliche Weiterentwicklungen und kein Stillstand stattgefunden haben.

Die Gutenberg-Press, ein Nachahmer-Produkt aus dem Weinbau?

Die Erfindung Gutenbergs, nämlich erstmals ein in sich geschlossenes Drucksystem entwickelt zu haben, zeichnet sich insbesondere durch das Einschließen einer Spindelpresse (Bild 2) aus – Gutenbergs chinesische und koreanische Vorgänger kamen nämlich über das Abreiben des frischen Drucks mittels Bürsten nicht hinaus. Im Gutenberg Museum in Mainz kann in einer dem Original nachgestellten Druckerei aus der Zeit von Johannes Gutenberg eine solche Presse bei Vorführungen

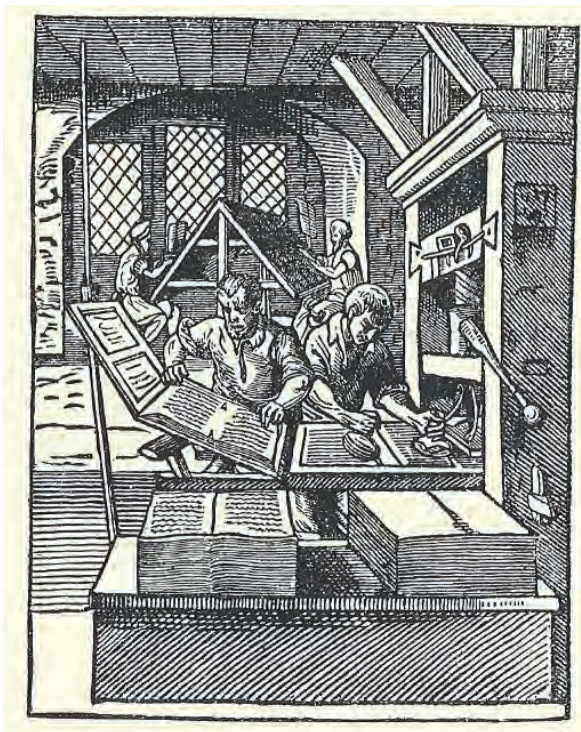


Bild 2: An der Gutenberg Presse arbeiteten die Press- und Ballenmeister Hand in Hand.



Bild 3: Mit dem Pressen-Bengel wurde über eine Holzspindel mit Gewinde der Druck auf

bewundert werden. Der Nachbau erfolgte in den 1960er Jahren durch die Schnellpressenfabrik Frankenthal, Albert & Cie. AG in Frankenthal, nach Plänen, die schon seit den 1930er Jahren im Museum vorlagen.

Man behauptet gerne, dass Johannes Gutenberg durch die in Mainz und Umgebung viel gebrauchten Weinkeltern mit ihren hölzernen Spindeln (Bild 3) zu seiner Buchdruckerpresse inspiriert wurde. Seit vor 15 Jahren die Firma Schrauben-Würth in Künzelsau ein Technisches Museum zur Geschichte der Schrauben eingerichtet hat, wissen wir jedoch, dass das Schrauben-Prinzip viel älter ist. Schon seit dem 5./ 6. Jahrhundert wurde es bei Schmuckstücken, bei so genannten Zwiebelkopf-Fibeln eingesetzt. Die „Helix“, wie man die geometrische Wendelform auch nennt, ist bei einer Wendeltreppe im Tempel E der großen griechischen Ausgrabungsstätte in Selinunt auf Sizilien sogar schon aus dem 5. Jahrhundert v. Chr. bekannt.

Landläufig wird die Urform der Schraube mit einer Erfindung des griechischen Mathematikers Archimedes von Syrakus um 250 v. Chr., genannt „Archimedische Spirale“, in Verbindung gebracht. Vermutlich hat dieser sich jedoch nur als erster mit der mathematisch anspruchsvollen Theorie dieser geometrischen Form beschäftigt, denn er selbst gab zu, diese Form bei einer Wasserhebespirale auf einer Ägyptenreise gesehen zu haben, wo sie zur Bewässerung höher angelegter Felder benutzt wurde – wie es dort heute noch geschieht. Leonardo da Vinci hat bekanntlich dieses Prinzip technisch verbessert, indem er statt der Holz- oder Eisenblech-Wendel ein spiralförmig gewundenes Rohr aus weichem Material einsetzte, um so Leckagen und besonders die großflächige Reibung zu reduzieren.

Der Anwendung als Druckpresse kommt wohl eine Ölpressen am nächsten, wie sie der Mathematiker und Ingenieur Heron von Alexandria in seiner „Automata“ um 50 n. Chr. beschrieben hat. Auch der römische Gelehrte Plinius der Ältere soll ihre Vorteile gegenüber den Baumpressen in seiner „Naturalis Historia“ hervorgehoben haben.

Sieht man sich die einzelnen „Maschinenelemente“ der Gutenbergpresse (Bild 4) genauer

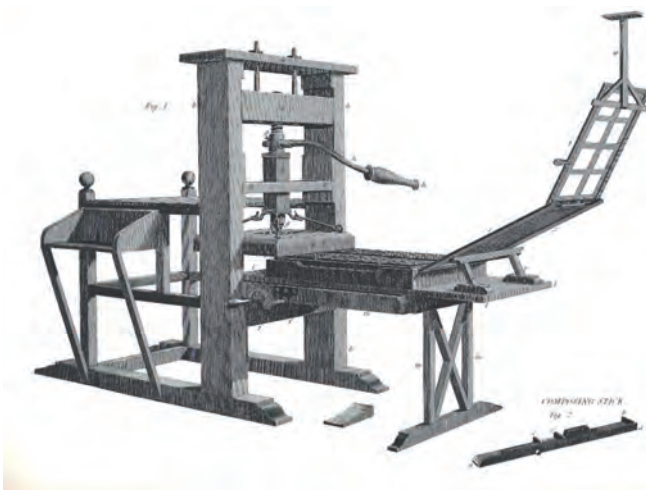


Bild 4: An der weiterentwickelten Gutenberg Presse sind alle Pressenteile gut auszumachen, besonders die quadratische BÜchse.

an, so wird man neben der hölzernen Spindel, den Tiegeln, die quadratische BÜchse zur Führung des Tiegels, die Spindelspitze für geringe mechanische Reibung und den Karren mit auf- und zuklappendem Deckel erkennen. Sieht man genauer hin, so wird man unter der viereckigen BÜchse vier so genannte Klatferschnüre erkennen, die den Tiegel festhalten und trotzdem dem Tiegel eine Beweglichkeit in der Höhe zulassen. Beim aufgeklappten Karren ist der Schriftsatz, das Rähmchen zum Festhalten des Papierbogens und der Deckel zu sehen. Mit dem Bengel (Griff) wird der Druck manuell mittels einer Viertelumdrehung auf den Tiegel aufgebracht.

Prof. Walter Wilkes dreibändiges Werk über die Entwicklung der frühen Pressen

Bei seinen weiteren Ausführungen stützt sich der Autor auf Publikationen von Prof. Walter Wilkes, der an der Technischen Universität Darmstadt vor seiner Emeritierung vor einigen Jahren die Ausbildung von Gewerbelehrern übernommen hatte und gleichzeitig die Lehrdruckerei der Hochschule leitete. Da er ihm seine drei Bände über die Entwicklung der Hand- und Schnellpressen mit Widmung geschenkt hat, ist er sicher, dass er es ihm nicht verübeln wird, wenn er bei diesem Artikel für das VDD-Jahrbuch auf die von ihm zusammengetragenen Abbildungen zurückgreift – sein Copyright bleibt davon unberührt.

Mit der ersten Abbildung erklärt Prof. Wilkes die Terminologie der einzelnen Maschinenelemente an einer Gutenberg-Presse. Es handelt sich gegenüber der aus dem Gutenberg-Museum um eine Weiterentwicklung mit einer Stahlspindel statt der Holzspindel – angeblich hat der Nürnberger Pressenbauer Leonard Danner, er lebte von 1597 bis 1585, Mitte des 16. Jahrhunderts diese eingeführt – und mit einem Kurbeltrieb zum Ein- und Ausfahren des Karrens. Weiterhin sind zu sehen: die Wände mit der Krone, dem Oberbalken, der Brücke und den Füßen, die Spindel, der Ben-

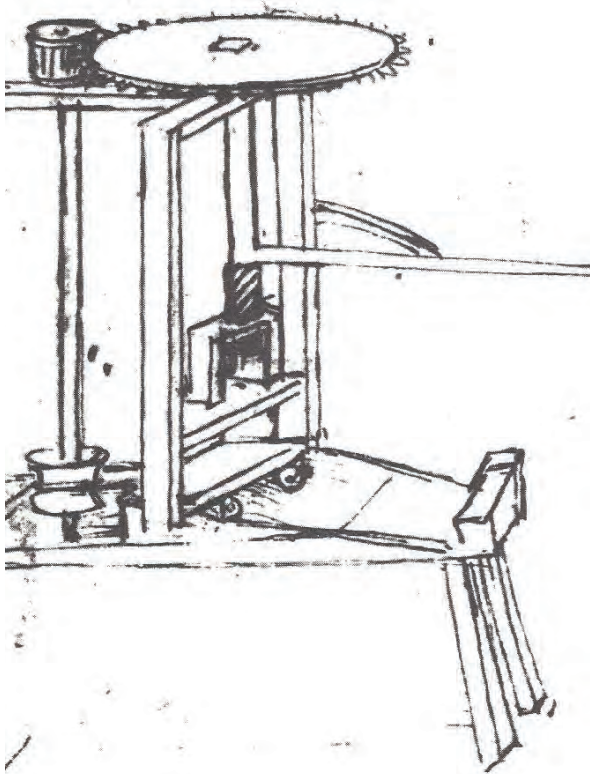


Bild 5: Leonardo da Vinci hatte die Idee, die Presse mit einer Schiefen Ebene und einer Haspel zu „automatisieren“.

gel, die Büchse, die Klauferschnüre und der Tiegel, der Karren, der Deckel, das Rähmchen, der Galgen und der Anschlag, und schließlich noch der Farbkasten mit dem Farbstein.

Der große Universalgelehrte Leonardo da Vinci (1452-1519) machte sich schon rund 50 Jahre nach Gutenbergs Erfindung Gedanken darüber, wie man das mühevollen Ein- und Ausfahren des Karrens automatisieren könnte (Bild 5). Er stellte dazu den Karren auf eine Schiefe Ebene, sodass er allein durch die Schwerkraft aus der Presse herausrollen konnte. Zum Einfahren des Karrens verband er diesen über einen Seiltrieb mit der Druckspindel, sodass der Karren mit der Bewegung des Bengels in die Presse hineingezogen wurde. Wie seiner Skizze zu entnehmen ist, machte sich Leonardo da Vinci auch Gedanken über eine zweigeteilt gegenläufige Spindel, die mehr Hub pro Umdrehung erzeugt.

Die Idee Leonardos übt noch heute einen großen Reiz auf Studenten aus. So haben Studenten der Fachhochschule Bielfeld für das Bonner Deutsche Museum einen Nachbau von Leonardos Presse angefertigt. Auch der Autor war als Student der TH (TU) Darmstadt in den 1950er Jahren von der Idee der Schiefen Ebene so begeistert, dass er einen vollautomatischen Papierrollenwechsler in einer Studienarbeit damit versah, um die neuen Papierrollen ständig nachrücken zu lassen.

Die Schiefe Ebene erübrigte sich jedoch, als man schon früh einen Kurbeltrieb zum Ein- und Ausfahren des Karrens einführte. Auch das Zuklappen des Deckels automatisierte man, oder besser gesagt, unterstützte man mit einem so genannten „Him-ham“, einem elastischen Band zwischen Fußboden und Decke, an dem sich der Deckel beim Öffnen verklemmte und das sich durch einen Fußtritt lockerte, wodurch der Deckel sich ohne weiteres Zutun schloss.

350 Jahre Entwicklungsgeschichte der hölzernen Buchdruckerpressen

Kommen wir nun zu den einzelnen Schritten der Weiterentwicklung der hölzernen Pressen, wie sie Prof. Walter Wilkes in seinem reich illustrierten Buch „Die Entwicklung der eisernen Buchdruckerpresse“ 1983 an der TU Darmstadt zusammengetragen hat. Den Reigen eröffnet die gewöhnliche hölzerne Buchdruckerpresse nach Martin Dominique Fertel, der 1723 das erste französische Buchdruckerhandbuch veröffentlicht hat. Dort beschrieb er eine Presse, bei der auffällt, dass der Karren durch Bänder am hinteren Pfosten gesichert und im Galgen eine Rolle eingebaut ist, über die das Ende des Bandes zur Bewegung des Karrens geführt wird.

Christian Friedrich Geßner (Bild 6) bildete in seinem Buchdruckerhandbuch von 1740 eine Buchdruckerpresse ab, die sehr deutlich im Schnittbild die Metallspindel mit Messingmut-

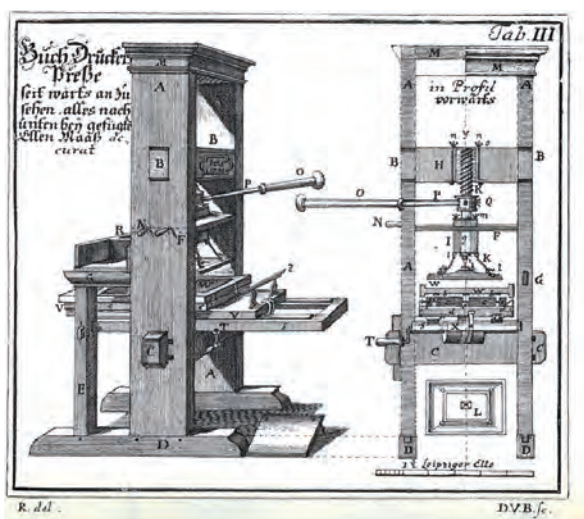


Bild 6: Christian Fr. Geßners Presse aus 1740 zeigte eine Metallspindel und einen Band-Kurbeltrieb am Karren.

ter und prismenförmiger Büchse zeigt, ebenso die Klauferschnüre als Ketten, die über Haken am Tiegel befestigt sind. Der schmiedeeiserne Bengel ist mit einer hölzernen Scheide für bessere Griffestigkeit versehen. Auf dem Laufbrett befinden sich schmiedeeiserne Schienen und die Hin- und Her-Bewegung erfolgt über den Kurbeltrieb mit Riemen.

Eine wesentliche Erfindung gelang mit dem Blaeu-System. Die bis dahin benutzte quadratische, bzw. prismenförmige Büchse diente dazu, dass sich zwar die Kraft, aber nicht die Drehbewegung durch die Spindel auf den Tiegel überträgt. Da mit dieser Büchse jedoch über die großen Flächen viel Kraft über Reibung verloren geht, ersetzte man die Büchse durch zwei schmiedeeiserne Stangen, die mittels eines ebenfalls schmiedeeisernen Bügels sowohl gegenseitig als auch mit der Spindel verbunden wurden. Das Ganze geht nun mit drei Öffnungen durch die Brücke und ist in vertikaler Richtung beweglich gehalten. Die Stangen statt der Büchse üben eine geringere Reibung aus, da sie genauer gefertigt werden können.

Die Erfindung geht auf den holländischen Drucker und Verleger Willem Janszoon Blaeu (1571-1638) zurück. Diese war nur ein Nebenprodukt seiner zahlreichen Tätigkeiten. Er war

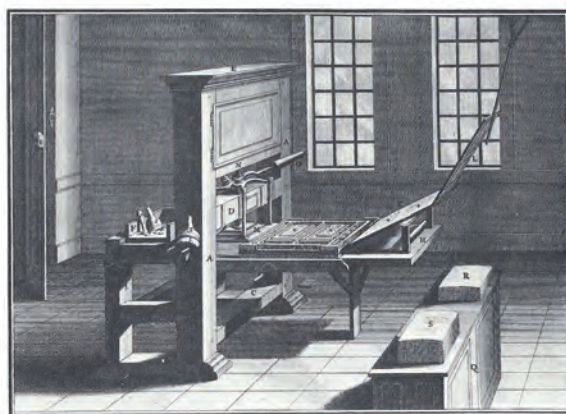


Bild 7: Willem J. Blaeus Presse von 1620 ersetzte die prismatische Büchse durch runde

eigentlich Kartograph, Atlas- und Globusmacher, Mathematiker und Astronom. Da ihm die Drucker zu teuer waren, druckte er seine Veröffentlichungen selbst.

Prof. Wilkes fand die Abbildung einer Presse, die wahrscheinlich von Willem Janszoon Blaeu um 1620 (Bild 7) selbst umgebaut wurde. Deutlich ist eine konvex gebogene, wahrscheinlich elastisch wirkende Stahlplatte über dem Drucktiegel zu sehen, an der vier Stifte befestigt sind, die an der Brücke vorbeigleiten und an der Spindel mit einem eisernen Bügel befestigt sind.

Der Deutsche Wilhelm Gottlieb Kirchner hat in seinem Lehrbuch „Anweisungen in der Buchdruckerkunst soviel davon das Drucken betrifft“ 1793 in Braunschweig eine Presse mit Blaeu-System gezeichnet, bei der die vier Stifte starr zwischen zwei schmiedeeisernen Bügeln befestigt sind, vertikal beweglich durch die Brücke hindurchgehen und der Höhenausgleich beim Druckanstellen wie früher üblich über vier Klauferschnüre geschieht. Der Franzose Louis-Jaques-Francois de Paule, genannt „Bertrand-Quinquet“, hat in seinem Lehrbuch „Traité de l'imprimerie“ 1799 in Paris eine Presse mit Blaeu-System veröffentlicht, die wiederum ganz nach dem Original der Blaeu-Pressen mit der konvex gebogenen und wohl etwas elastisch wirkenden Platte direkt auf dem Drucktiegel angeordnet ist.

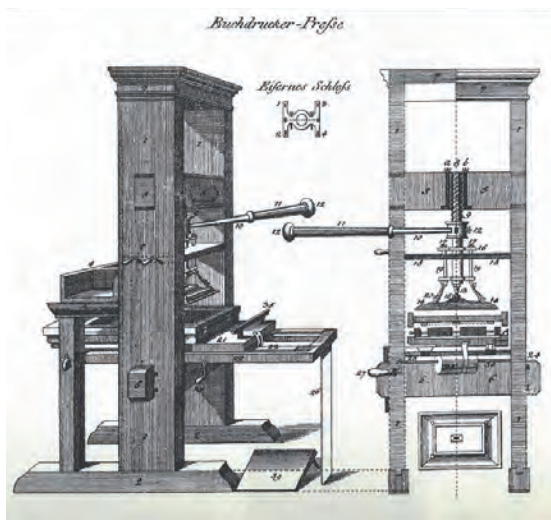


Bild 8: Deutlich ist das Blaeu-System auch bei der Presse von Christian G. Täubel aus 1805 zu sehen, statt der quadratischen Büchse in

Mit der Presse nach Christian Gottlob Täubel (Bild 8) in seinem „Allgemeinen theoretisch-praktischen Wörterbuch der Buchdrucker-kunst“ 1805 in Wien wird noch einmal eine Ausführung mit vier Stangen und vier Klafferschnüren wie bei Kirchner gezeigt. Johann Ambrosius Hülse (Bild 9) veröffentlichte in seiner „Allgemeinen Maschinen-Encyclopädie“ 1844 in Leipzig die wahrhaft technische Zeichnung einer Presse, die den Übergang von der handwerklichen zur ingenieurmäßigen Behandlung des Gegenstandes verdeutlicht. Wie am oberen Bildrand und unten rechts zu sehen, wurde der Karren über Triebbrad und Zahnstange bewegt.

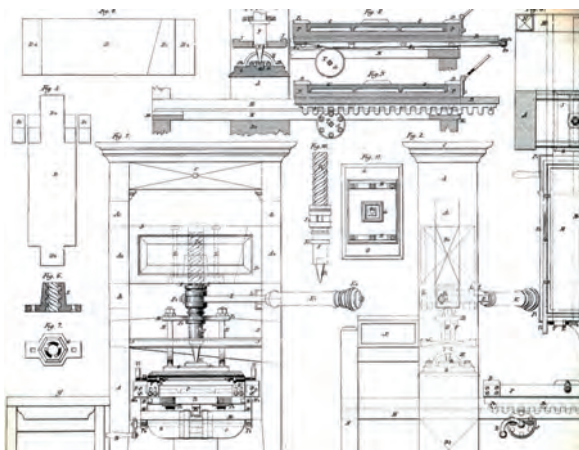


Bild 9: Die Presse von Johann A. Hülse aus 1844 zeigt einen Zahnstangentrieb am Karren.

Das Blaeu-System wird hier durch zwei quadratische Eisenstäbe gebildet, die zwecks Erreichens der Elastizität kurz vor dem Aufschrauben auf dem Tiegel gebogen und so mit je zwei Schrauben auf dem Tiegel befestigt sind. In der Bildmitte ist dies in der Draufsicht zu sehen.

Die modifizierten hölzernen Buchdruckerpressen

Professor Wilkes hat in seiner Zusammenstellung der hölzernen Buchdruckerpressen eine Zäsur eingefügt, um noch modifizierte hölzerne Buchdruckerpressen unterbringen zu können.

Da ist zunächst die Presse von Isaac Moore und William Pine aus Bristol, die 1771 ein Patent auf eine verbesserte Buchdruckerpresse zugesprochen bekamen. Nach der Patentschrift wurde in ihren Pressen der Tiegel durch Ausgleichsgewichte und/oder einem Balancier in der Lage gehalten. Die zugehörige Patentzeichnung ist wenig geeignet, dies genau zu erklären, wie Prof. Wilkes diese Abbildung selbst kommentierte. Nach einer Veröffentlichung des Amerikaners James Moran 1973 in Berkeley und Los Angeles handelt es sich hier um eine Konstruktion, die der handbetriebenen Münzpresse ähnelt, weil sie mit Balan-

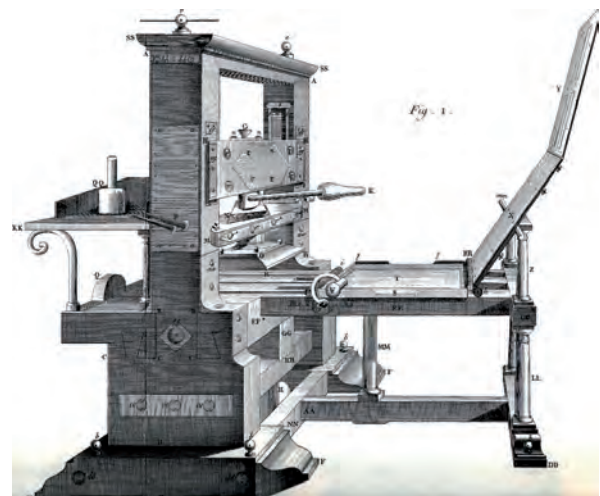


Bild 10: Eine besonders stabile Bauweise für den großformatigen Druck wies die Presse

cier arbeitet, wie überhaupt in der Metallverarbeitung durchgängig diese Anstellart Anwendung fand.

Der Franzose E.A.J. Anisson (Bild 10), Direktor der Königlichen Druckerei in Paris, entwickelte 1783 eine Presse, bei der auf den ersten Blick die stabile Bauweise auffällt. Die Presse war deshalb geeignet, großformatige Formen zu drucken. Die Übertragung der Drehbewegung der Spindel auf den Tiegel wird durch eine prismatische Führung in der Brücke erreicht und die Elastizität beim Druckanstellen durch elastische Unterlagen zwischen Spindel und Prismenführung.

Philipp-Denis Pierres (Bild 11) hat 1784 eine neue Presse gebaut, die besonders rationell zu arbeiten versprach, indem sie gegenüber gewöhnlichen Pressen ein Viertel der Zeit einsparen konnte. Die Druckkraft konnte über ein Segment fein abgestuft werden, wodurch sie nicht mehr dem Gutdünken des Druckers unterlag. Die Druckanstellung geschieht mit einer Art Schnecke, die über die Betätigung eines langen Hebels den Tiegel nach unten auf die Druckform bewegt. Für das Rückstellen ist ein Gegengewicht unten angebracht.

1794 erhielt Thomas Prosser ein Patent auf seine Presse, die eine Verbesserung in der

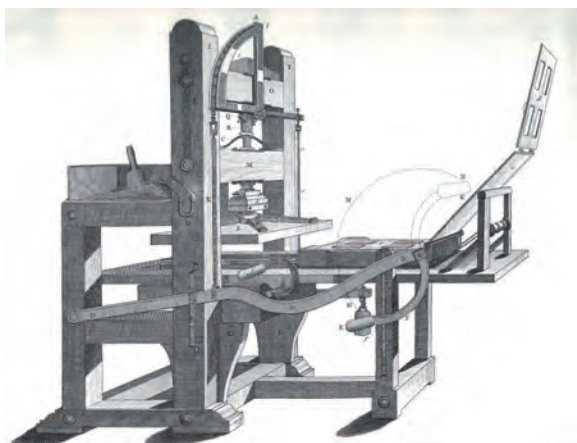


Bild 11: Mit einem einstellbaren Hebelsystem und Schnecke versprach die Presse von Philippe D. Pierres 1784 ein schnelles

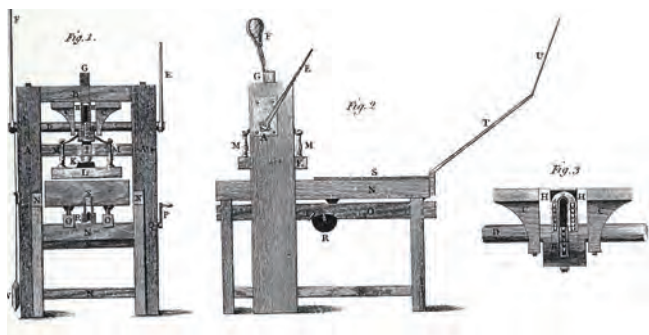


Bild 12: Die Presse von Mark Ridley aus 1796 baute besonders niedrig durch einen internen

Gestalt versprach, dass Federn über dem Oberbalken und unter dem Unterbalken angebracht waren, mit denen der Zug je nach Schwere der Druckform reguliert werden konnte. Durch Heranführen oder Wegbewegen der Regler von der Mitte des Presskopfes wurde der Zug entweder härter oder weicher eingestellt. Die Druckanstellung geschah weiterhin mit einer Spindel.

Die Presse des Engländers Mark Ridley (Bild 12) aus 1796, also kurz vor Übergang zu den eisernen Pressen, ersetzte die übliche Schraube durch eine senkrecht stehende Eisenstange mit einem konischen Ende, die in einer Schale auf dem Tiegel stand. Die Hebelwirkung wird durch eine Spindel erzeugt, die durch beide Pressenseiten geht und nahe der Eisenstange an diese mit drei Ketten befestigt ist. Die beiden äußeren Ketten dienen dazu, die Stange und den Tiegel herunter zu ziehen, und die mittlere, um sie in die Ausgangslage zurück zu bewegen. An der Spindel ist rechts ein Hebel und links ein Gewicht angebracht. Letzteres kann durch Verschieben des Gewichtes die erforderliche Druckkraft verändern.

Erst um 1800 stellte, wie schon erwähnt, der englische Adelige Charles Lord Stanhope seine ganz aus Gusseisen und Schmiedeeisen gefertigte Presse vor, nachdem 1772 der Basler Schriftgießer Wilhelm Haas schon eine Presse halb und halb aus Holz und Eisen der Öffentlichkeit vorgeführt hatte. Damit wurde eine ganz neue Ära im Pressenbau eingeläutet.



Bild 13: Der original erhaltene mittelalterliche Drucksaal mit seiner Reihenordnung lässt

tet, die in ihrer Vielfalt, besonders in ihren Druckanstell-Mechanismen (Keilpressen, Kniehebelpressen sowie Pressen mit einfachen und zusammengesetzten Hebeln) das Interesse jedes Druckmaschinenkonstruktors finden dürften.

Die Drucker- und Verleger-Familien von Christophe Plantin und Jan Moretus

Es ist als ein außerordentlicher Glücksfall zu werten, dass in Antwerpen noch heute im Gebäude am Freitagmarkt der Drucksaal (Bild 13) einer aus der Renaissancezeit, dem Jahr 1576 stammenden Druck- und Verlags-Offizin als Museum zu besichtigen ist, in der die oben beschriebenen hölzernen Buchdruckerpressen in Reih und Glied aufgestellt sind, so wie sie die Drucker nach Auflösung der Druckerei 1870 verlassen haben. Es handelt sich um das Unternehmen des aus Saint-Avertin bei Tours in Frankreich stammenden Druckers Christophe Plantin (1520-1589) und seines aus Antwerpen stammenden Schwiegersohns Jan I. Moretus (1543-1610), das rund 300 Jahre im Besitz der Familie blieb und danach als Museum in das Eigentum des belgischen Staats und der Stadt Antwerpen überging.

Im Jahre 2005 wurde der gesamte Gebäudekomplex mit Wohnung, Druckwerkstätten und Verlag in die UNESCO-Liste des Welt-

kulturerbes aufgenommen. Auf der am Haus angebrachten Plakette heißt es: „Das Gebäude hat einen einmaligen architektonischen Wert und illustriert die Verbindung von Privat- und Arbeitsleben eines berühmten Familienunternehmens während annähernd drei Jahrhunderten. Konstruktive und dekorative Bestandteile sind in ausgezeichnetem Zustand bewahrt geblieben: Die Originalausstattung der Druckerwerkstatt, die einmalige Bibliothek, das kostbare Archiv, das seit 2001 als „Memory of the World“ von der UNESCO anerkannt ist, sowie die eindrucksvolle Kunstsammlung“.

Wie kam es dazu, dass ein Franzose im niederländisch-spanischen Antwerpen eine Druckerei so früh nach Gutenberg eröffnete? In der Firmenchronik liest sich das zusammengefasst so: Kurz vor dem Jahre 1550 ließ sich in Antwerpen ein französisches Ehepaar nieder: Christophe Plantin (Bild 14) und seine Frau Jeanne Rivière, die um 1545 in Caen geheiratet hatten, als Plantin auf seiner Wanderschaft in die Normandie kam. In Caen hatte er das Buchbinder- und Täschnner-Handwerk erlernt,



Bild 14: Der Franzose Christophe Plantin gründete 1555 seine Druckerei in Antwerpen

doch bei einem Überfall wurde seine Schulter stark verletzt, weshalb er auf Drucker und Verleger umschulte.

In Antwerpen wurde er Mitglied im Geheimbund „Familie der Nächstenliebe“, der ihm Geld zur Gründung seines Gewerbes lieh, sodass er schon 1555 ein erstes Druckprivileg erhielt und ein kleines Buch über die Erziehung von Mädchen veröffentlichte. Er gab sich zwar im spanisch regierten Antwerpen katholisch, doch druckt er auch für die Calvinisten. Das brachte ihn in Schwierigkeiten, aus denen ihm jedoch seine Freunde vom Geheimbund heraus halfen.

Der spanische König Philipp II., Sohn von Kaiser Karl V., in dessen Reich die Sonne nicht unterging, finanzierte sogar sein Mammutprojekt, die größte Polyglottbibel des 16. Jahrhunderts (8 dicke Bände in 5 Sprachen) herauszugeben, was einen Zeitaufwand von fünf Jahren erforderte. Das brachte ihm den Ehrentitel „Erzdrucker des Königs“ ein.

Plantins fünf Druckpressen liefen auf Hochtouren mit Missalen und Brevieren und wurden 1575 bereits auf 16 Pressen erhöht, mit ca. 80 Arbeitern, 20 Setzern, 32 Druckern, 3 Korrektoren sowie Verkaufsmitarbeitern und Hauspersonal. Christoffel Plantin, wie er sich jetzt nannte, war zum größten typographischen Unternehmer Europas aufgestiegen. Ende 1576 zog er in die neuen Räume am Freitagmarkt in Antwerpen um, wo sich heute noch seine Offizin, als Museum konserviert, befindet.

Um den Wirren des Aufstandes gegen die Spanier zu entgehen (Anm.: Dieser Aufstand ist auch Thema des Schauspiels „Don Carlos“ von Friedrich Schiller) eröffnete er eine Zweigdruckerei in Leiden und wurde durch Fürsprache seines Freundes, des Gelehrten Justus Lipsius, zum Universitätsdrucker ernannt. Als Antwerpen endgültig spanisch geworden war, kehrt er von Heimweh getrieben zurück, starb aber bald am 1. Juli 1589 in seinem Haus am Frei-



Bild 15: Plantins Schwiegersohn Jan Moretus führte die Druckerei zu neuen Höhen – Portrait von Peter Paul Rubens.

tagsmarkt. Er hinterließ ein für damalige Verhältnisse gigantisches Vermögen, fünf Töchter, aber keinen Erben.

Eine seiner Töchter, Martina mit Namen, heiratete den gebürtigen Antwerpener Jan Moersendorf, lateinisch Moretus (Bild 15), der seit seinem 14. Lebensjahr Lehrjunge bei Plantin war und sich bis zur rechten Hand Plantins hochgearbeitet hatte. Aus Sorge um die Zukunft seines Unternehmens vermachte ihm Plantin die gesamte Antwerpener Offizin. Das Unternehmen in Leiden erhielt sein zweiter Schwiegersohn, der Gelehrte Franciscus Raphelengius, der seine älteste Tochter Margaretha geheiratet hatte und die mit ihm nach Leiden umgezogen war. Die übrigen Kinder wurden ausbezahlt.

Jan Moretus leitete von 1589 bis zu seinem Tod 1610 die Geschäfte am Freitagmarkt sehr fachkundig in einer äußerst schwierigen und bewegten Zeit. Auch er musste zwischen dem Katholizismus und Calvinismus lavieren, denn religiöse Werke bildeten den Löwenanteil seiner Druckprodukte. Sein ihm nachfol-



Bild 16: Moretus' Sohn Balthasar I. führte die Druckerei in der Hochblütezeit von Antwerpen – Sandstein-Medaillon im Garten.

gender Sohn, Balthasar I. Moretus (Bild 16), hatte es da schon einfacher, denn in seiner Zeit erlebte Antwerpen eine Hochblüte und wurde ein Zentrum der Gegenreformation. Die Druckaufträge kamen zuhauf aus Spanien, aus den Klöstern, die für die Verbreitung der liturgischen Werke auch in den spanischen Kolonien verantwortlich zeichneten.

Mit Balthasars Bruder Jan II. kam ein Intellektueller in die Familie, zu dessen Freunden viele Gelehrte und Künstler zählen, u. a. auch sein Schulfreund Peter Paul Rubens. Jans II. Sohn Balthasar II. Moretus wurde schließlich einer der reichsten Männer Antwerpens. So floriert das Unternehmen über zehn Generationen hinweg, immer dem ehernen Firmen-Grundsatz „Labore et Constantia“ (Durch Arbeit und Beständigkeit – Bild 17) folgend, was bedeutete, dass stets das Haus auf den geschäftstüchtigsten Sohn – nicht notwendigerweise den ältesten – überging.



Bild 17: Der goldene Zirkel als Marke und der Wahlspruch „Labore et Constantia“ sicherte den Fortbestand des Unternehmens über drei

Doch im 19. Jahrhundert liefen die Geschäfte nicht mehr gut – es wurde nur noch das Warenlager vertrieben und unter Napoleon musste die Druckerei sogar für einige Zeit geschlossen werden. Es wurde auch kaum noch investiert – die ersten eisernen Druckerpressen und die aufkommenden Schnellpressen nahmen der konventionell eingerichteten Druckerei die Aufträge weg.

1866 erschien in der Offizina Plantiniana das letzte Buch. Der letzte Familienangehörige, Junker Edward Moretus, gab 1870 den Kampf auf. Am 20. April 1876 ging das Unternehmen an den belgischen Staat und die Stadt Antwerpen über, um daraus ein Museum zu machen, das am 19. August 1877 seine Pforten eröffnete.

Ein Rundgang durch die Privat- und Geschäftsräume von Plantin-Moretus

Lassen Sie uns nun das Gebäude betreten. Der große Salon mit anschließenden Räumen (Bild 18) strahlt die Atmosphäre einer wohlhabenden Familie aus. Das wird an vielen Dingen sichtbar:



Bild 18: Der große Salon mit anschließenden Räumen zeigt den Wohlstand der

Am mit feinsten Intarsien verzierten chinesischen Schmuckschrank, an den groß bebilderten Gobelins als Tapisserien an den Wänden, den vielen Kaminen, auch im kleinen Salon und den kostbaren Goldledertapeten aus Mechelen neben den Gobelins an den Wänden.

Die Freundschaft von Jan Moretus II. mit Peter Paul Rubens führte dazu, dass im Haus ein eigener Rubens-Saal eingerichtet wurde. Das Schlafzimmer Balthasar I. Moretus (Bild 19) aus dem 17. Jahrhundert ist wiederum mit Goldledertapeten tapeziert und mit einem



Bild 19: Das Schlafzimmer von Balthasar I. Moretus weist ein "gesundes" Sitzbett auf.



Bild 20: Die große Bibliothek aus den 17. Jhd. strahlt die Verehrung für den Humanismus aus.

aus Eichenholz gefertigten Sitzbett besehen. Irgendein Mediziner muss damals festgestellt haben, dass es für die Verdauung förderlich sei, im Sitzen zu schlafen.

Die große Bibliothek (Bild 20) ist heute noch genau so eingerichtet, wie eine reiche, humanistische Privatbibliothek im 17. Jahrhundert aussah: hohe Regale, gefüllt mit Büchern, die nach Größe geordnet sind, Lesepulte, Globen und Büsten aus Lindenholz berühmter Schriftsteller. Die Sammlung enthält nicht nur 90% aller von Plantin-Moretus gedruckter Werke, sondern auch solche, die nicht im Hause angefertigt wurden. Dazu gehört eine Handschriften-Sammlung von 638 Exemplaren aus der Zeit vom 9. bis zum 18. Jahrhundert, die zum Teil noch von Christoffel Plantin selbst angeschafft wurden – eine Sammlung von unermesslichem Wert.

In der kleinen Bibliothek (Bild 21) spürt man die Lebendigkeit dieser Bibliothek, deren Bücher mehrheitlich von Balthasar I. Moretus angeschafft wurden. Die im Hintergrund befindliche Bibliothek wurde jedoch in den folgenden Jahren ständig erweitert. Waren es 1876 bei Schließung des Betriebes 9000 Bände und 506 Manuskripte, so sind es heute ca. 25 000 Bände und 638 Manuskripte – das Museum ist ein Ort der internationalen Buch-Forschung geworden.



Bild 21: Die kleine Bibliothek macht deutlich, dass hier bis heute Literaturforschung betrieben wird.

Kommen wir nun zur Druckerei. Der Anblick der langen Reihe hintereinander stehender hölzerner Druckerpressen ist sicher nicht nur für den Fachmann atemberaubend (Bild 22). Nirgendwo sonst auf der Welt findet man eine noch so vollständig eingerichtete noch aus der Renaissancezeit stammenden Druckerei. Die so genannten „Gesperre“, Holzverstrebungen zwischen Presse und Decke, dienen der Standfestigkeit der Presse beim Bewegen der schweren Karren mit der Druckform.

Gleich daneben befindet sich die so genannte Setzergasse, eine ebenso lange Reihe von Setzkästen, aus denen die Setzer die Bleiletern fischten, um sie in einem Setzhaken zu Zeilen zusammen zu fügen. Ein Museums-



Bild 22: Im mittelalterlichen Drucksaal mit seinen zahlreichen Pressen finden täglich Druckvorführungen statt.



Bild 23: Das Bild macht deutlich, dass die Pressen mit dem Blaeu-System ausgerüstet

vorführer demonstriert, wie die Druckform mit den Ballen eingefärbt wird – sie waren mit Hundeleider bespannt (Bild 25), da dieses keine Schweißsporen enthält – legt ein Blatt Papier zwischen Deckel und Rähmchen (Bild 24), klappt beides auf die Druckform, fährt den Karren unter den Tiegel und führte mit einem kräftigen Zug am Bengel den Druck aus, der von den Anwesenden bestaunt wird (Bild 26). Die Druckerpressen sind alle nach dem oben beschriebenen Blaeu-System (Bild 23) gebaut.



Bild 24: Die ausgefahrene Druckform mit dem hochgeklappten Deckel und dem Rähmchen.



Bild 25: Mit gepolsterten Ballen und Hundelederüberzug wurde die Druckform

Zum Drucken gehört auch das Setzen der Bleiletern

Bevor man drucken kann, muss jedoch erst einmal die Druckform erstellt werden. Diese besteht aus den im Setzhaken aneinander gereihten Bleiletern, die ihrerseits auf einem Setzschiff untereinander und nebeneinander montiert sind.

Um diese Bleiletern aus einer Mischung (Legierung) von Blei, Zinn und Antimon gießen zu können, muss zunächst einmal



Bild 26: Das Druckresultat wird von den Teilnehmern der Druckvorführung gut geheißsen.



Bild 27: Die Druckerei von Plantin-Moretus schließt eine komplette Schriftgießerei ein.

ein gehärteter Eisen-Stempel (Patrize) mit dem Schriftbild graviert werden, mit dem man das Schriftbild in ein weiches Kupferstück schlägt, das dann als Form (Matrize) für den Guss dient. Man findet dazu im Haus am Freitagmarkt eine vollständig eingerichtete Schriftgießerei (Bild 27). Da ist der Ofen zum Schmelzen des Letternmetalls zu sehen, sowie der Arbeitstisch des Schriftgießers zur Zusammenstellung der Blei-Legierung. Weitere Arbeitstische befinden sich im Nachbarraum mit den Gießtöpfen aus Ton, bzw. Schamotte und dem Schraubstock zum Entfernen des Angusses, der an einem Tisch befestigt ist.

Johannes Gutenberg hatte nicht nur die Druckerpresse erfunden, sondern auch das Gießinstrument, das in einem Regal zu sehen ist (Bild 28). Den Fachmann überrascht, wie viele



Bild 28: Johannes Gutenbergs Schrift-Gießinstrumente füllen hier einen ganzen Schrank.



Bild 29: Setzgasse nannte man die hintereinander aufgereihten Setzkästen, an denen 20 Setzer arbeiteten.

dieser Gutenberg'schen Gießinstrumente man in diesem Museum vorfindet. Viele Druckmuseen schätzen sich glücklich, wenn sie wenigstens einen Nachbau aufzuweisen haben – und hier sind es Dutzende von Originalen!

Wir hatten schon vorher von der Setzgasse (Bild 29) gesprochen, wie man die hintereinander aufgestellten Setzkästen in der Schriftsetzerei nennt. Es waren ja bereits bei der Gründung der Druckerei 20 Setzer, die hier arbeiteten – später entsprechend mehr. Im Setzkasten liegen die gegossenen Bleile-



Bild 31: Der Korrektor wachte an seinem Arbeitsplatz über den fehlerfreien Satz.

tern geordnet in Fächern und zwar nach der Häufigkeit ihres Gebrauchs am nächsten zum Setzer. Um die Buchstaben, bzw. Bleiletern nebeneinander aufreihen zu können, benutzte man hölzernen Setzhaken (Bild 30), die in ihrer Länge die Spaltenbreite vorgeben. Um Lücken auszufüllen, bzw. Wortzwischenräume zu schaffen, benutzte man Blindstücke.

Um Fehler beim Setzen auszumerzen, wurde der erste Abzug eines Drucks vor Durchführung der gesamten Auflage, einem Korrektor vorgelegt, dessen Arbeitsplatz (Bild 31) man



Bild 30: In solchen hölzernen Setzhaken (später metallene Winkelhaken) reihte man die Lettern zu Zeilen aneinander.



Bild 32: Der ausgeschlossene Korrekturbogen zeigt die Fehlermarkierungen des Korrektors am Rand und im Text.



Bild 33: Stehsatz wurde für Nachauflagen in Schubladen, der Schriftenvorrat verpackt

im Haus sehen kann. Auch Korrekturbogen (Bild 32) sind ausgestellt. Für den Fall, dass nach Drucklegung eines Buches Nachdrucke (weitere Auflagen) erforderlich waren, wurden die ausgeschlossenen Druckformen in Regalen (Bild 33) für eine bestimmte Zeit gelagert. Man spricht dabei vom so genannten Stehsatz. Auch auf Vorrat gegossen Schriften wurden, in dickes Packpapier gehüllt, in Regalen gelagert. Bei Plantin-Moretus kann man deshalb historische Bücher noch heute nachdrucken.

Jeder Druckauftrag wurde in der Buchhaltung sorgfältig in ein handschriftliches Auftrags-



Bild 34: Die Auftragsbücher – hier das aus den Jahren 1601 und 1602 – listen alle



Bild 35: Den Zugang zum Garten schmücken kostbare Schnitzereien auf Säulen und Portal.

buch notiert. Bei Plantin-Moretus sind diese Auftragsbücher nahezu vollständig erhalten geblieben – im Bild ist das aus den Jahren 1601/02 zu sehen (Bild 34). Natürlich wurden die selbst verlegten und gedruckten Bücher auch in einer eigenen Buchhandlung, einem Laden an die Bevölkerung verkauft.



Bild 36: Der Garten ist in französischer Manier mit Muster bildenden Ziersträuchern angelegt.

Ein Patrizierhaus wie dieses verfügte auch über einen großen Garten, dessen Zugang Säulen und Portale mit reichem Schnitzwerk zieren (Bild 35). Der Garten im Atrium des Innenhofes war im französischen Stil angelegt und wird heute auch noch entsprechend sorgfältig von der Museumsverwaltung gepflegt. An der Frontseite befindet sich ein angedeuteter Kreuzgang, wenn er auch nur um eine Ecke geht. Auf den drei großen Sandsteinmedaillons haben sich die ersten drei Hausherren verewigt (Bild 36).

Dieser Bericht mag die Leser dieses Jahrbuches zu einem Besuch des beschriebenen Museums animieren, das in so authentischer Weise die Atmosphäre einer Druckerei aus der Renaissancezeit wiedergibt. Darüber hinaus ist das Museum ein lebendiger Ort der Erforschung alter Fertigungsverfahren und deren Arbeitsorganisation. Dies war auch der Grund, weshalb der Internationale Arbeitskreis Druck- und Mediengeschichte IADM dort im Jahre 2011 seine Jahrestagung durchführte. Näheres siehe unter www.arbeitskreis-druckgeschichte.de im Internet. Um noch weitere Anreize zu einer solchen Reise zu geben, sei darauf hingewiesen, dass die gesamte Stadt Antwerpen und das Umland Flandern mit den Wasser-Städten Brügge und Gent und natürlich auch die europäische Hauptstadt Brüssel viele Sehenswürdigkeiten bereit hält, die es mit ihren zahlreichen Kultur- und Kunstschatzen zu erkunden gilt.

Dieser Artikel beruht zum Teil auf einem Vortrag, den der Verfasser im November 2011 auf der Jahrestagung des Internationalen Arbeitskreises Druck- und Mediengeschichte (IADM) im Museum Plantin-Mortetus in Antwerpen gehalten hat.

Dipl.-Ing. Boris Fuchs, Frankenthal

Das Setzen, Stechen und Tupfen von Musiknoten im Wandel von Hochdruck - Tiefdruck - Flachdruck

Als Johannes Gutenberg um die Mitte des 15. Jahrhunderts den Buchdruck erfand, dachte er noch nicht an den Musiknotensatz. Man überließ dieses Feld weiterhin den Mönchen und ihren Handschriften (Bild 1). Der Notensatz hätte wie der wissenschaftliche Formelsatz eine weitere Herausforderung an die Setzer und Drucker der Inkunabelzeit gestellt, wozu sie sich noch nicht in der Lage sahen. Es galt ja nicht nur die Sondertypen zu gravieren und im Gießinstrument zu gießen, sondern diese auch präzise auf den vier und fünf Notenlinien synchron zum Liedtext zu platzieren.

Man begnügte sich deshalb noch mit dem Blockdruck, dem Holztafeldruck. Die längs zur Faser des Holzes erhaben geschnittenen Noten und Linie eines Beispiels des Ugo Rugerius aus Bologna 1487 zeigt das deutlich (Bild 2). Auffallend ist dabei, dass trotz der groben Schnitzspuren schon ganze, halbe und viertel Noten in rhomboider (gotischer) und quadratischer (romanischer) Form zur Anwendung kamen, Pausen und ein Notenschlüssel gesetzt wurden.

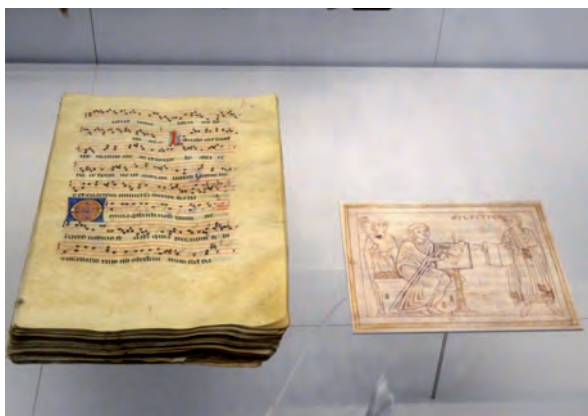


Bild 1: Den Musiknotensatz überließ man zu Anfang den von Mönchen gezeichneten Handschriften.

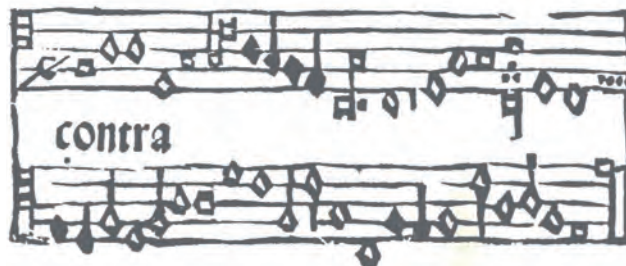


Bild 2: Musiknoten wurden wie Bilder in Holzblöcke geschnitzt.

Vielfach ließ man bei den Messbüchern (Missalen) einfach Lücken zwischen den Text-Kolumnen frei oder druckte nur die Linien (so auch beim Mainzer Psalter von 1457), in die man von Hand die Musiknoten eintrug. Das gestattete, die Messbücher für unterschiedliche Diözesen mit unterschiedlicher Liturgie herzustellen, denn eine Einheitlichkeit gab es in dieser Hinsicht noch nicht.

Der Beginn des typografischen Notendrucks im Buchdruck

Der Esslinger Konrad Fyner war 1473 einer der Ersten, der sich an den Musiknotendruck wagte. Andere berühmte Druckerverleger wie Nicolaus Jenson, Aldus Manutius und Anton Koberger ließen die Noten, wie vorher gezeigt, einfach weg. Manche fertigten auch separate Notenblätter als Einleger an, um so zu unterschiedlichen Preisen, mit und ohne Einleger, verkaufen zu können. Fyner benutzte die Quadratnotation in einem Vierlinien-System mit handschriftlich beigefügten Neumen zur Festlegung des Rhythmus und des Charakters der zu spielenden Stücke (Bild 3).

Für den einstimmigen gregorianischen Kirchengesang (cantus planus) war die Choralnotation in Gebrauch. Die Linien wurden zur



Bild 3: Die mittelalterlichen Musiknoten benutzten Quadratnotationen im

Kontrastbildung mit roter Farbe gedruckt, während die Noten schwarz erschienen. Dies erforderte natürlich zwei Druckdurchgänge, wie es schon vom Initialendruck her bekannt war. Ein frühes Beispiel für diese zweifarbigen Musiknotendrucke lieferte Georg Reysner 1481 in Würzburg.

Eine bessere Qualität des Notendrucks erreichte man mit drei Druckdurchgängen: zuerst wurden die Notenlinien, dann die Initialen, Text und Signaturen und schließlich die Noten selbst gedruckt. Als einer der Ersten, der so verfuhr, wird in der Literatur Ottaviano dei Peruccio 1504 in Venedig genannt. Er hatte sich sein Setz- und Druckverfahren sogar „patentieren“ lassen und erhielt darauf ein Druck- und Verkaufsprivileg über 20 Jahre. Peter Schöffer der Jüngere (1475/1480 – 1547), Sohn des berühmten Vaters gleichen Namens, wurde einer der ersten und bedeutendsten Musikdrucker Deutschlands. Aus seiner Werkstatt im Schöffershof (Haus zum Korb) in Mainz stammt das im Jahre 1512



Bild 4: Die ersten typografischen Noten von Haultin wiesen noch unterbrochene

publizierte, 88 Seiten umfassende Tabularbuch des Organisten Arnolt Schlick, das als weiteres Beispiel für den Dreifachdruck angeführt werden kann.

Der hohe satz- und druckerische Aufwand des Dreifachdrucks führte zur Weiterentwicklung des typografischen Musiknotendrucks, indem man der kompletten Note seitlich kleine Stummel der fünf Notenlinien anschloss und so alles auf den gleichen Kegel setzte. Durch Aneinanderreihung der so gestalteten Komplettnoten konnte man mit einem Druckdurchgang auskommen. Diese Entwicklung erfolgte um das Jahr 1527 durch die Pariser Drucker Pierre Haultin und Pierre Attaignant (Bild 4). Es bedurfte einer hohen Genauigkeit der Typen, um die Notenlinien nicht zu sehr als gestrichelte Linien im Druck erscheinen zu lassen.

Die Musikstücke wurden jedoch immer komplizierter, vielstimmig und schwer leserlich wie es die Partituren des ungestümen Tonkünstlers Ludwig van Beethoven (1770-1827) aufwiesen. Man hätte zu viele verschiedenen Notentypen für den Druck herstellen müssen. Man brauchte deshalb eine neue Technik, um dieser Vielfalt Herr zu werden.

Das neue typografische Notensystem von J. G. Breitkopf um 1755 in Leipzig

Dies gelang Mitte der 1740er Jahre dem Verleger und Drucker Johann Gottlob Immanuel Breitkopf in Leipzig, der statt der kompletten Notentypen ein System von 300 bis 400 Einzelteilen von Noten schuf, die je nach Bedarf zusammengesetzt werden konnten (Bild 5).

Das Zusammensetzen geschah in 8 Schritten unter Verwendung des Winkelhakens: Zuerst hatte der Setzer mit dem Notenschlüssel und der Aufstellung der 5 Notenlinien, dem „Gerippe“ zu beginnen. Darüber kam der Überbau. Nun wurden, von oben beginnend, die noch fehlenden Notenlinien und Noten von links nach rechts komplettiert. Zuletzt kam der Unterbau dazu. Dieser Vorgang wiederholte sich Zeile für Zeile bis das ganze Notenblatt gesetzt war. Es konnten relativ kurze, nur angedeuteten Haltebögen gesetzt werden.

Breitkopf druckte mit seinem neuen Notensystem eine beachtliche Anzahl von Musikalien (Bild 6), aber die ökonomischen Erfolge waren vermutlich bescheiden. Nach dem Tod von Christoph Gottlob Breitkopf, des Sohnes von Johann Gottlob Immanuel, übernahm um 1800 Gottfried Christoph Härtel die Verlagsleitung – er war schon vorher, 1795, nach finanziellen Schwierigkeiten eine Partnerschaft mit Breitkopf eingegangen – und ab 1796 nannte sich das Unternehmen Breitkopf & Härtel.

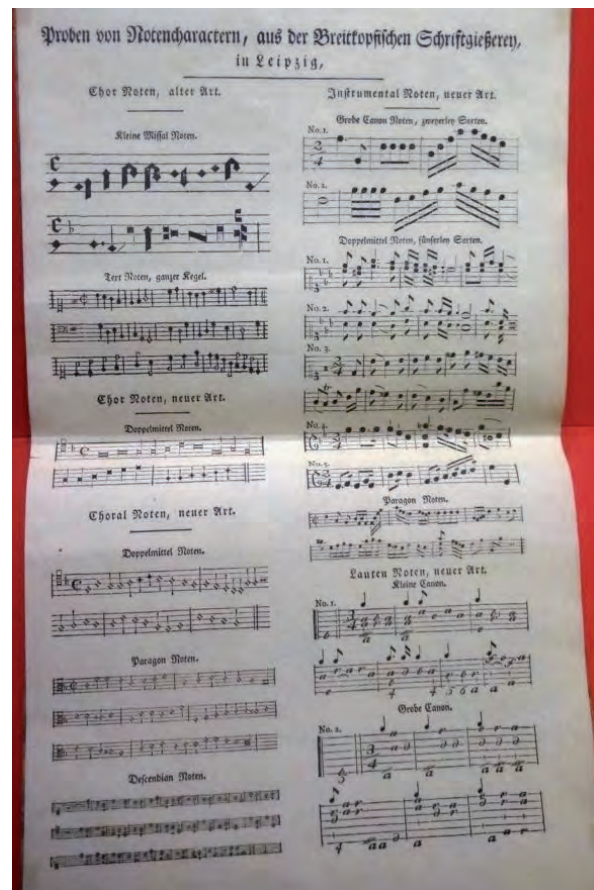


Bild 6: Die Proben der Musiknoten-Charaktere von Breitkopf & Härtel zeigen eine historische Vielfalt und bieten so auch einen Überblick.

Dass auch andere Musikverlage inzwischen den typografischen Musiknotendruck zur Perfektion geführt haben, zeigt ein Notenblatt aus dem Musikverlag Schott in Mainz (Bild 7).



Bild 5: Breitkopf erfand ein Baukastensystem von Einzelteilen, die zusammenzusetzen waren.



Bild 7: Beispiel eines perfekten typografischen Notendrucks des Musikverlags Schott in Mainz; auch der Liedtext wurde gut integriert.



Bild 8: Werbeanzeige von Breitkopf & Härtel, dass man zum Notenstich übergegangen ist.

Härtel beendete den nach seiner Ansicht unrentablen Musiktypendruck und wandte sich einer neuen Technik zu, wie er es in einer Reklametafel kundtat (Bild 8). Es handelt sich um die Kupferstichtechnik und das Notenstechen – die Utensilien und die Platte auf einem glatten Stein sind deutlich zu sehen.

Der Beginn des Notenstechens als neuem Notendruckverfahren

Statt die Musiknoten für den Druck etwas umständlich zu setzen, gravierte der Italiener Simone Verovio schon 1586 diese in eine Kupferplatte, um sie anschließend auf einer Kupferstichpresse zu drucken. Der Kupferstich ist vermutlich bereits um das Jahr 1430 in Florenz entstanden, war also schon lange bekannt.

Von einem Blatt aus der Enzyklopädie von Diderot & d'Alambert 1751-1780 in Paris ist uns bildlich überliefert, was für das Notenstechen in der Kupferstichtechnik gebraucht wurde (Bild 9).



Bild 9: Die Werkzeuge des Musiknotenstechers aus der Enzyklopädie von Diderot & D'Alembert 1751-1780



Bild 10: Der Arbeitsplatz eines Musiknotenstechers in einer Museumsvitrine

Wir sehen in Fig.1 das „Rastral“, den fünfgezackten Kamm, mit dem die fünf Notenlinien in die polierte Kupferplatte an einem Metall-Lineals entlang graviert wurden, daneben die Stempel zum Schlagen des Notenschlüssels und der Notenköpfe. Die Notenhäse und Taktabgrenzungen quer zu den 5 Notenlinien wurden mit dem Ziehaken in Fig.3 eingeritzt. Unter der ersten Notenlinie sind alle Stempel aufgeführt, die man zur Vervollständigung der Noten brauchte. Zum Bearbeiten lag die Kupferplatte mit Klammern befestigt auf einem plan geschliffenen Stein, meistens ein ausgedienter Lithostein. Mit Hammer und Stempel wurden die Notenköpfe mit den Stempeln geschlagen. Die Einschlagtiefe betrug dabei $\frac{3}{10}$ bis $\frac{4}{10}$ mm. In einer Vitrine des Leipziger Buch- und Schriftmuseums wird dies auch in natura gezeigt (Bild 10).

Nach der Gravierung der Kupferplatte musste diese gerichtet werden, um eventuell aufgetretene Verwerfungen auszugleichen und mit einem Schaber oder Polierstahl wurden die aufgeworfenen Gratränder entfernt und geglättet. Dann wurde in die erwärmte Platte eine hochviskose, zähe Druckfarbe mittels Tampons eingerieben und die überschüssige Farbe mit einem Tuch vorsichtig und sorgsam entfernt.

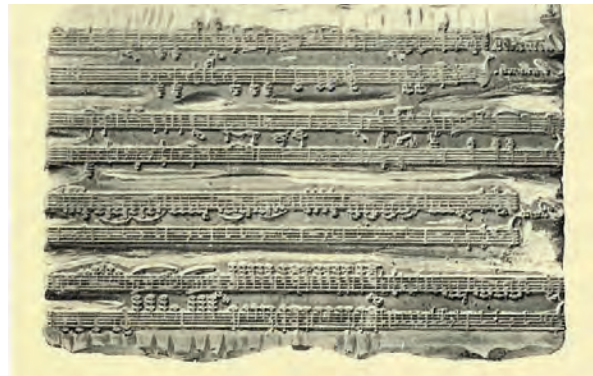


Bild 11: Erster Versuch von Aloys Senefelder mit Hochätzen von Musiknoten auf dem Kalkstein.

In der Presse wurde ein vorher befeuchtetes Blatt Papier auf die Platte gelegt, ein Filztuch darauf gedeckt und der Druck zwischen zwei Walzen durchgeführt. Aus dieser Beschreibung wird schon ersichtlich, dass das Drucken von Kupferstichen einen weit größeren Aufwand und eine höhere Sorgfalt als im Buchdruck erforderte.

Von einer Platte konnten wegen des allmählichen Zusammendrückens der Gravuren auch nur ca. 1500 Abdrucke gemacht werden – mittels Nachstechen konnten es nochmals so viele sein.

Eine Beschleunigung der Arbeit wurde Anfang des 18. Jahrhunderts erreicht, als man statt Kupfer eine weichere Zinn-Blei-Legierung, genannt „Pewter“, anwendete. Dieses Material war schneller und leichter zu bearbeiten.

Die Lithographie beschleunigte den Druck von Musiknoten

Um die Jahrhundertwende vom 18. zum 19. Jahrhundert hatte bekanntlich in München Aloys Senefelder nach vielen Versuchen mit Kalksteinen aus dem Altmühltal bei Solnhofen neben dem Tief- auch das Hochätzen (Bild 11) für den Musiknotendruck ausprobiert und hatte schließlich die im Flachdruck ausführbare Lithographie erfunden. Er erfand auch dazu eine, den Stein schonende, so genannte Stangenpresse, die jedoch nicht leicht zu bedienen war.



Bild 12: Erster lithographischer Musiknotendruck von Aloys Senefelder.

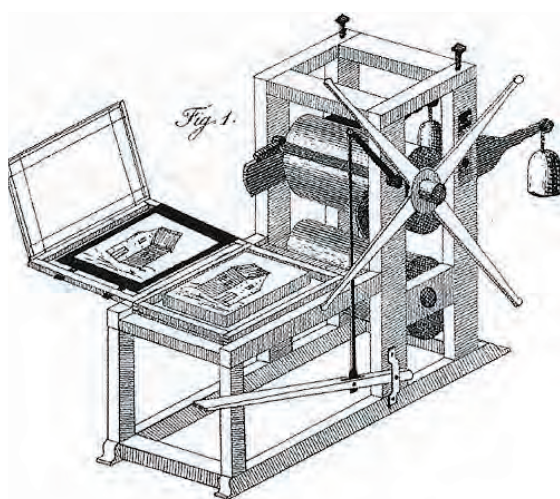


Bild 13: Modifizierte Kupferstichpresse für

1797 lithographierte Aloys Senefelder das Notenblatt eines Liedes „Brand von Neuötting“ mit der abschließenden Vignette eines brennenden Hauses (Bild 12), das er dem Münchner Musikalienhändler Falter überließ. Dieser unterstützte ihn daraufhin finanziell beim Bau einer leichter zu bedienenden, speziellen Zylinderpresse, die einer Kupferstichpresse nachempfunden war (Bild 13).

Da der Lithostein, den Aloys Senefelder benutzte, das direkte Schreiben mit fetthaltiger Kreide auf seine Oberfläche in Spiegelschrift erlaubte (Bild 14), unterscheiden wir den autographischen (handgeschriebenen) Musi-knotendruck (Bild 15) und den gestochenen Musiknotendruck, wobei zum „Stechen“ ein spezielles Instrument, der „Notentupfer“, ein

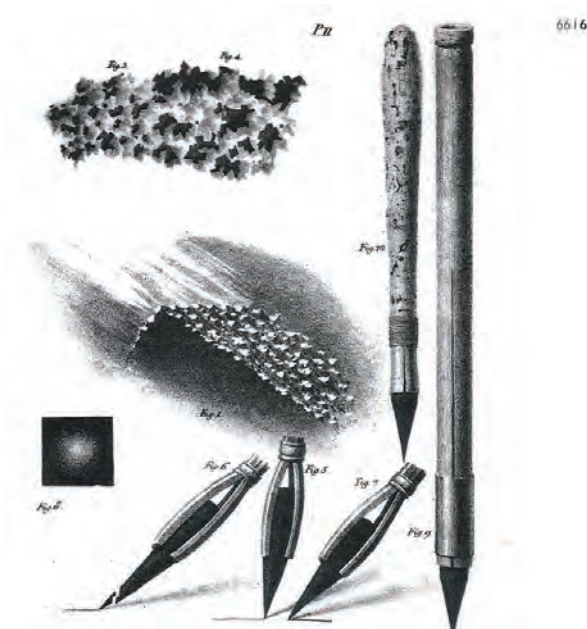


Bild 14: Schreibfedern zum handschriftlichen Zeichnen auf den Lithostein.

Röhrchen, das Tinte für ca. 20 Notenköpfe aufnahm, Verwendung fand. Wie beim Kupferstich ließen sich längere Haltebögen einfügen und auch sonstige Anweisungen für die Spielweise anbringen. Das direkte Zeichnen auf den Lithostein wurde jedoch später ganz durch das Umdruck-Verfahren von Kupferstichen ersetzt.

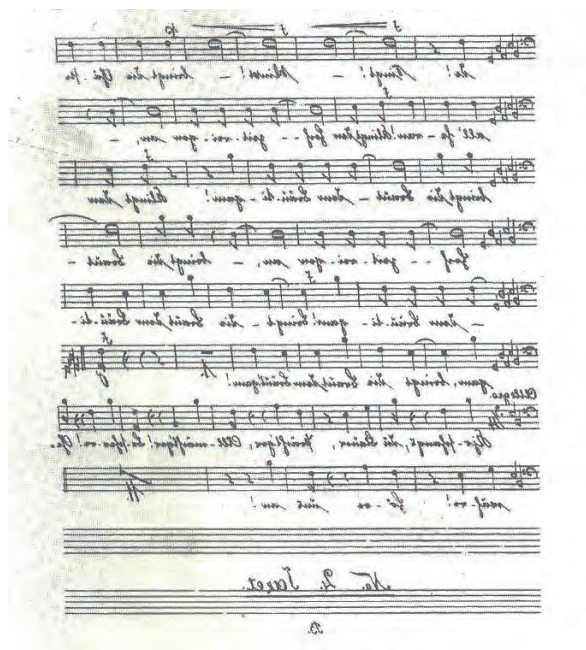


Bild 15: Autographische Musiknoten, die in Spiegelschrift von Hand auf den Lithostein gelangen.



Bild 16: Der Erfinder der Lithografie Aloys Senefelder (oben). Bild 17: dem Offenbacher

Schon im September 1799 traf Aloys Senefelder (Bild 16) in München mit dem Offenbacher Musikverleger Johann Anton André (Bild 17) zusammen. André war Besitzer eines Musikverlages in Offenbach am Main, den er von seinem im Juni 1799 verstorbenen Vater Johann, von einer 1709 eingewanderten Hugenotten-Familie abstammend, geerbt hatte. Die Reise nach München diente dazu, sich den Geschäftskunden als neuer Eigentümer des Offenbacher Unternehmens vorzustellen. In

München las er in einer Zeitung, dass einem Aloys Senefelder ein Privileg auf ein neues, mittels Steinen auszuführendes Druckverfahren in Aussicht gestellt worden war. Schnell erkannte er, welche Möglichkeiten darin für den Musiknotendruck stecken. Er suchte den weitgehend mittellosen Bühnenautor und Schauspieler auf und es kam am 28. September 1799 zum Vertrag zwischen beiden, wonach Senefelder André gegen Zahlung von 2000 Gulden das Nutzungsrecht des neuen Druckverfahrens überließ. Wenige Wochen später, gelang André in Fortsetzung seiner Vorstellungsreise in Wien ein zweiter Coup, indem ihm beim Besuch der 1791 verwitwete Constanze Mozart diese den gesamten künstlerischen Nachlass ihres verbliebenen Gatten Wolfgang Amadeus Mozart gegen Zahlung von 3 100 Gulden überließ. Es handelte sich um nicht weniger als 273 Manuskripte – ein Schatz von überaus hohem Wert. Es scheint, dass schon Vater Johann André zu Lebzeiten Verbindung zu Wolfgang Amadeus Mozart aufgenommen hatte, sodass der Besuch von Johann Anton André im Hause Mozart Teil der Vorstellungsreise war.

Mit dem Vertrag war gleichzeitig die Einrichtung einer Steindruckerei in Offenbach verbunden (Bild 18), wozu Aloys Senefelder selbst anreiste. Um 1800 waren in Offenbach 10 Kupfer- bzw. Zinndruckpressen durch 5 Steindruckpressen ersetzt worden. André verwendete danach den Steindruck systematisch für den Notendruck – er setzte damit Maßstäbe für die Marktführer in diesem Gewerbe: besonders Schott in Mainz und Breitkopf & Härtel in Leipzig. Über seine Söhne Philipp und Friedrich trug er durch den Erwerb von Privilegien und die Vergabe von Lizenzen die Lithographie und den lithographischen Musiknotendruck auch nach London und Paris (Näheres dazu siehe unter www.arbeitskreis-druckgeschichte.de in den Manuskripten der IADM- Jahrestagung 2010 in Offenbach am Main).



Bild 18: Die André'sche Musiknotendruckerei in der Domstraße 21 in Offenbach am Main (1943 im Krieg zerstört).

Nicht erst seit der Anwendung von „Di-Litho“ Mitte der 1970er Jahre im Zeitungsdruck als Übergangslösung vom Buchdruck zum Offsetdruck wissen wir, dass das direkte Drucken von einem harten Druckträger auf das Papier nur einen relativ rauen, unsauberer Ausdruck erlaubt.

Das betraf auch die so genannten „Zinkdruck-Rotarys“, die zu Anfang die Steindruck-Presen ablösten und den Gebrauch von flexiblen Druckformen einläuteten.

Der indirekte Druck ermöglichte einen wesentlich saubereren Ausdruck. Erreicht wurde dies durch das Umdrucken mit einem Gummituch, wie es dem Offsetdruck eigen ist. Das elastische Gummituch schmiegt sich viel besser als die harte Lithostein- oder Zink-Oberfläche an das Papier an und sorgt so für den gleichmäßigeren und saubereren Ausdruck.

Das bringt uns zum Umdrucken an sich, auch Kontern genannt (Bild 19), das schon Aloys Senefelder benutzte, als er autographische Drucke dergestalt herstellte, dass er Noten vom Komponisten seitenrichtig auf ein speziell präpariertes Papier schreiben ließ und dieses auf der hier gezeigten Umdruckpresse mit hohem Druck auf den Lithostein seitenverkehrt übertrug.



Bild 19: Das altbekannte Umdrucken = Übertragen des Druckbildes über ein Gummituch wurde der Schlüssel zum Erfolg

Als Weiterentwicklung wurden dann auch im Kupferstich oder Pewter-Stich hergestellte Notenblätter auf Lithosteine umgedruckt, wodurch man die gängige Formherstellung mit dem produktiveren Druckverfahren verbinden konnte. Nach zeitgenössischen Angaben erreichte das Drucken auf lithographischen Pressen die doppelte Geschwindigkeit gegenüber der auf Kupferstichpressen. Auch die Preisunterschiede waren enorm: Während für Bogen von Kupferstichpressen zwischen 24 und 39 Kreuzer gezahlt werden mussten, ergab sich bei Lithopressen nur ein Preis von 6 Kreuzern.

Nachteilig waren nur die Sperrigkeit und das Gewicht der Lithosteine bei der Lagerhaltung für Nachdrucke. Es kam deshalb zur Entwicklung der Zinkographie (Zinkplatten) und der Algraphie (Aluminiumplatten) – beides noch im direkten Druck ohne Gummituch.

Von da war es dann nur noch ein relativ kleiner Schritt zur indirekten Lithografie mittels Offsetdruckmaschinen, deren erste bekanntlich von dem Amerikaner Ira Washington Rubel und dem deutschen Immigranten in USA, Caspar Hermann, 1905 simultan erfunden wurden (Näheres dazu siehe die Manuskripte IADM-

Jahrestagung 2004 zu „200 Jahre Lithografie – 100 Jahre Offsetdruck) in Valkenswaard, Niederlande.

Im 20. Jahrhundert wurden bald statt des Umdruckens fotografische Übertragungsmethoden eingesetzt. Am eigentlichen Notenstein änderte das nichts, abgesehen davon, dass die Platten statt aus Kupfer oder Zink aus Weichblei hergestellt waren, denn sie wurden nur für das Erstellen der Druckform gebraucht und mussten nicht mehr den Fortdruck durchstehen.

Zur Korrektur wurde die Plattenoberfläche mit grüner Farbe eingefärbt und statt im Tiefdruck im Hochdruck abgezogen. Der Druck zeigte so auf grünem Grund ein weißes (negatives) seitenverkehrtes Notenbild. Bei der Korrektur wurde mit Hilfe einer gebogenen Zange die fehlerhafte Stelle auf der Rückseite der Notensteinplatte markiert und danach das Blei der fehlerhaften Stelle mit Hilfe eines Nagelpunktes nach oben getrieben. Nach Glätten und Entgraten konnte die eigentliche Korrektur durch erneutes Stechen durchgeführt, d. h. das richtige Zeichen an der richtigen Stelle eingebracht werden. Die Herstellung einer Notensteinseite dauerte je nach Inhalt 8 bis 12 Stunden, die Korrektur nicht eingerechnet.

Für die endgültige Filmherstellung wurden die Platten mit schwarzer Farbe im Tiefdruck auf Barytpapier abgezogen. Die fotografische Aufnahme in einer 1:1-Reprokamera ergab dann einen seitenverkehrten Positivfilm, wie er für die Offsetplattenkopie benötigt wurde.

Die gestochene Platte, die anfangs auch die Druckform bildete, war seit dem frühen 19. Jahrhundert bis Anfang der 1990er Jahre des 20. Jahrhunderts weiterhin das meistgebrauchte Mittel, eine Druckvorlage für den Musiknotendruck herzustellen. Es war wohl die Genauigkeit und Detailtreue, die Musikverlage so lange daran festhalten ließ.

Notaset und Notenschreibmaschinen als Zwischenlösungen

In einer gewissen Übergangsphase stellte man Musiknoten mit dem Letraset-Verfahren, für diesen speziellen Fall „Notaset“ genannt, her, d. h. mit Abziehbildern der Noten, die man auf linierte Kartons durch Abreiben übertrug. Schließlich verfuhr man damals in ähnlicher Weise auch bei der Korrektur auf den Standbogen (Grid Sheets) in Zeitungsdruckereien. Das Letraset-Verfahren entband den Setzer von der Bleibelastung, doch erwies es sich am Ende als zu mühsam. Man suchte wie in der allgemeinen Satztechnik nach Automatisierung und diese lagen im Computersatz und dem WYSIWYG-Umbruch am Bildschirm.

Ideal wäre wohl eine Maschine gewesen, die man mit einem Klavier koppeln konnte und die alles in Notenschrift festhält, was auf dem Instrument gespielt wird. Daran dachten schon Erfinder des 18. Jahrhunderts, so der Engländer John Freke, der 1747 erstmals ein solches Gerät skizzierte, das aber nie zur Ausführung gelangte. Auch nicht das des Berliner Friedrich Unger zur gleichen Zeit.



Bild 20: Die Musiknotenschreibmaschine als Zwischenschritt zum Computersatz.

Es war dann noch ein weiter Weg bis zu den ersten brauchbaren Notenschreibmaschinen wie die von Kromar, Groyen und Rundstatler um 1912 (Bild 20). Sie waren aber nur für einfache Notensätze geeignet oder wurden meistens nur für die Notierung von Improvisationen benutzt. Beim „Kromarograph“ des Wiener Laurenz Kromar benutzte man später die dabei entstehenden Stromimpulse auch für die musikalische Dokumentation, um so den schreibenden Komponisten sofort auf Fehler im Notensatz hinzuweisen.

Das Erstellen von Musiknoten auf dem Computer mit Laserausdruck

Während man für den Textsatz sehr bald brauchbare Softwarelösungen auf den in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts aufkommenden Datenverarbeitungsanlagen fand, wurden die für den Notensatz erst relativ spät entwickelt, abgesehen von einigen frühen Experimenten. Einerseits ist die Struktur der Notenschrift komplexer als die von normalem Text, andererseits gibt es keine verbindlichen Regeln für die exakte Anordnung der Notenzeichen. Im handwerklichen Notensatz erfolgte die Positionierung der Zeichen vielfach nach Erfahrungswerten und ästhetischem Empfinden. Eine Automatisierung war daher schwierig.

Das änderte sich erst mit dem Aufkommen des Apple Macintosh Anfang der 1990er Jahre. So wie er und die anderen PCs die grafische Vorstufentechnik vollkommen umgekrempelt haben, so geschah es auch mit der PC-gesteuerten Herstellung des Musiknotensatzes. „Finale“, „Score“ und „Sibelius“ sind die meist gebräuchlichen Closed Source-Programme in diesem Zusammenhang. Eine Liste im Internet weist jedoch noch rund 30 so genannte Open-Source-Programme aus, wie „LilyPond“, „MusicScore“, MusiXTeX oder „ABC“ und „ABC Plus. Mit diesen Software-Programmen konnte man auch Routinearbeiten bei der Musiknoten-Herstellung auto-

matisiert mit einschließen, so wie man dies vorher schon bei elektronischen Musikinstrumenten praktiziert hatte. Viele Eingabewerte ließen sich zudem auf numerische Werte und Wiederholungen auf Copy/Paste-Kommandos reduzieren. Die Programme erlauben zudem, die Noten zur Kontrolle über eine Sound-Card des PCs abzuspielen. Auch geschieht das Transponieren in eine andere Tonart kinderleicht allein auf Knopfdruck. Ebenso werden die von Jazz-Musikern verwendeten Harmonieschlüssel automatisch in Noten umgesetzt. Gedruckt wurde und wird danach meist auf Laserdruckern oder für höhere Auflagen durch Umkopieren der Laserausdrucke auf Bogen-Offsetdruckmaschinen.

Es wird in der Literatur behauptet, dass der große Johann Sebastian Bach das Notenstecher-Handwerk erlernt habe, um durch Umgehung der Zwischenschritte und damit der Gefahr von Abschreibefehlern und Fehlinterpretationen die Vorlagen für seine zu vielfältigende Notenblätter selbst erstellen zu können, was jedoch von der jüngeren Musikforschung bestritten wird. Die Do-it-yourself-Entwicklungen im Vorstufenbereich des Drucks, haben diesen lang gehegten Wunsch nun auch für die Komponisten verwirklicht.

Dieser Artikel beruht zum Teil auf einem Vortrag, den der Verfasser im November 2012 auf der Jahrestagung des Internationalen Arbeitskreises Druck- und Mediengeschichte (IADM) in der Deutschen Nationalbibliothek Leipzig, Abteilung Musiknotenarchiv und Deutsches Buch- und Schriftmuseum gehalten hat. Das Tagungsthema lautete damals: Musiknotendruck und seine Verlage in Leipzig - ein spannendes Kapitel der Mediengeschichte.

Literaturliste:

„Gedruckte Musik – 225 Jahre Musikverlag Schott in Mainz“, Gutenberg-Museum, 1995

„Musiknotendruck im Buchdruckverfahren“, Helmut Gößner in „Journal für Druckgeschichte“ 4/1991

„Aloys Senefelder – Erfinder der Lithographie“, Wilhelm Weber, Polygraph-Verlag Frankfurt-Main, 1981

„Erfindungen der Menschheit – Druck, Grafik, Musik, Foto/Film“, Sigloch Edition ISBN 3-89393-203-8

„Lithographed music in Germany“, Michel Twyman in Studien und Essays zur Druckgeschichte, 1997

„Notensatz“ aus Wikipedia der freien Enzyklopädie im Internet; dto. „Notensatzprogramme“, „Notation“

„Notenproduktion im Umbruch“, Helene Wanske in Gutenberg-Jahrbuch Mainz, 1990

„Aus der Werkstatt eines Notenstechers“, Karl Hader, Waldheim-Eberle-Verlag Wien, 1948

„Notenschrift und Notendruck“, Festschrift zum Jubiläum 50 Jahre C.G. Röder, Leipzig, 1896

„Pasticcio auf 250 Jahre Breitkopf & Härtel, Autorenkollektiv, VEB Breitkopf & Härtel Leipzig, 1969

„Die Lehre vom Musiknotendruck“, Rudolf Witten, Bildungsverband Deutsche Buchdrucker Leipzig, 1925

„Die Entwicklung der Herstellung von Vorlagen für Musiknoten“, Gutenberg-Jahrbuch Mainz, 1984

„Dokumentation Musiknotendrucke von Anfängen bis 1800“, Gutenberg-Jahrbuch Mainz, 1983

„Einrichtung/Betrieb einer Handpressen-Druckerei“, Silvia Werfel in Janota: Augsburger Drucker, 1997

„Der Leipziger Gutenbergweg“, Sabine Knopf, Volker Titel, Sax-Verlag Beucha, 2001, ISBN 3-934544-04-5

„dtv-Atlas Musik“, Ulrich Michels, Bärenreiter-Verlag, Kassel-Basel-London, 2001 ISBN 3-7618-1560-3

„Die Musik in Geschichte und Gegenwart“, Friedrich Blume, dtv-Verlag München, 1989, ISBN 3-423-05913-3

„Musiknotation – Notenstich bis EDV“, Helene Wanske, B. Schott's Söhne Mainz, 1988, ISBN 3-7957-2886-X

„Music and the Book Trade“, Robin Myers, Michael Harris, Oak Knoll Press, 2008, ISBN 978-1-58456-245-0

„Geschichte der Lithographie und Stein-drucktechnik“ Senefelder-Stiftung Offenbach-M. ISBN 978-3-00-035653-7

Prof. Dr.-Ing. Markus Messer

Vom Antriebsriemen verursachte Drehschwingungen in Bogenoffsetdruckmaschinen: Ein Beispiel für parametererregte Schwingungen



Geb. am 7.8.1975 in Lich, 1995 Abitur, 1995 - 1996 Grundwehrdienst, 1996 - 2001 Studium des Allgemeinen Maschinenbaus an der TU Darmstadt (Abschluß: Dipl.-Ing.), 1999 - 2000 Studium an der University at Buffalo (NY, USA) im Department of Mechanical and Aerospace Engineering (Abschluß: Master of Science), 2001 - 2006 wissenschaftl. Mitarbeiter von Prof. Dr.-Ing. H. P. Wölfel (Fachgebiet Maschinendynamik, TU Darmstadt), 2007 Promotion zum Dr.-Ing., seit 2007 Entwicklungsingenieur und seit 2011 Leiter Fachgebiet Strukturtechnik bei der Heidelberger Druckmaschinen AG, seit 2008 nebenberuflich Lehrbeauftragter an der TH Mittelhessen, seit 2008 Mitglied des VDD, seit 1.7.2013 Professor an der TH Mittelhessen. (markus.messer@gmx.de)

Kurzfassung

Thema dieses Artikels sind die vom Antriebsriemen verursachten Drehschwingungen in Bogenoffsetdruckmaschinen. Dabei handelt es sich um sogenannte parametererregte Schwingungen. Nach Einleitung und Literaturübersicht werden experimentelle Ergebnisse vorgestellt. Hierfür kamen zwölf verschiedene Antriebsriemen in einem Prüfstand und in einer Druckmaschine zum Einsatz. Bei einigen Antriebsriemen treten große Drehschwingungsamplituden auf, die zu deutlich sichtbaren und damit inakzeptablen Rhythmen im Druck führen. Die größten Drehschwingungsamplituden treten bei Produktionsgeschwindigkeiten auf, bei denen die Frequenz der ersten Riemenumlaufordnung der ersten Dreheigenfrequenz (erste elastische Eigenform) der Maschine entspricht. Für rechnerische Untersuchungen der Drehschwingungen wird die Maschine als lineares zeitvariantes System modelliert, und es erfolgt zunächst eine numerische Stabilitätsanalyse. Dabei werden mit Hilfe der Eigenwerte der Monodromie-Matrix Instabilitätsbereiche des dynamischen Systems ermittelt. Das Rechenmodell wird schließlich um ein Modell der Antriebsregelung erweitert, und verschiedene Meßdaten erlauben die Bestimmung der Dämpfungsparameter. Das resultierende Modell mit Antriebsregelung ermöglicht die Berechnung der parametererregten Schwingungen. Ein Vergleich von berechneten und gemessenen Drehschwingungsamplituden zeigt sehr gute Übereinstimmungen.

1. Einleitung

In diesem Artikel wird als Beispiel eine Bogenoffsetdruckmaschine des Typs Speedmaster XL 162-6+L der Heidelberger Druckmaschinen AG betrachtet. Abbildung 1 zeigt diese Druckmaschine, die über sechs Druckwerke und ein Lackwerk verfügt. In Abbildung 1 sind auch die Drehfreiheitsgrade 1 bis 14 des in dieser Arbeit verwendeten Rechenmodells zu sehen. Details dazu folgen in einem späteren Abschnitt.

Die maximale Produktionsgeschwindigkeit von Bogenoffsetdruckmaschinen liegt heutzutage oft bei 18000 Dr/h (Druck pro Stunde), was einer Frequenz von 5 Hz und der Ordnung 1 der eintourigen Zylinder entspricht. Für den Antrieb von Bogenoffsetdruckmaschinen wird typischerweise ein einziger Hauptantrieb verwendet (siehe Abbildung 2). Der in Abbildung 2 dargestellte Antriebsriemen führt zu parametererregten Drehschwingungen und spielt daher im folgenden eine wichtige Rolle.

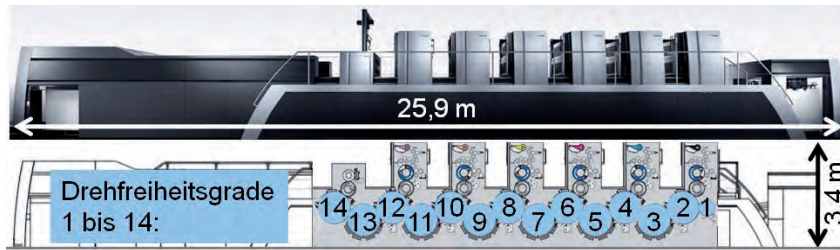


Abb. 1: Bogenoffsetdruckmaschine (Speedmaster XL 162-6+L, Heidelberger Druckmaschinen AG)

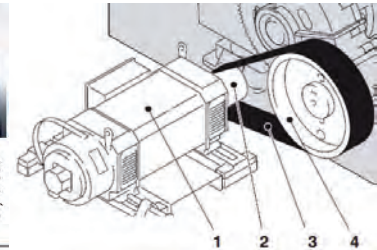


Abb. 2: Hauptantrieb (1), Riemenscheiben (2 und 4), Antriebsriemen (3)

Beim Drucken eines 60er-Rasters (60 Linien pro cm) beträgt der Rasterpunkt Abstand $167 \mu\text{m}$, und die kleinsten verwendeten Rasterpunkte haben dabei eine Größe von nur $20 \mu\text{m}$. Dieses Zahlenbeispiel soll verdeutlichen, warum oftmals Drehschwingungen nicht-ganzzahliger Ordnungen mit Amplituden in der Größenordnung von nur ca. $10 \mu\text{m}$ problematisch sind.

2. Literaturübersicht

Buck et al. präsentieren in [2] nichtlineare Drehschwingungsphänomene in Bogenoffsetdruckmaschinen. Verschiedene Themen erzwungener Drehschwingungen (z.B. Kompensationsmechanismus zur Minderung periodischer Drehschwingungen ganzzahliger Ordnungen, aktive Schwingungsminderung periodischer Drehschwingungen nichtganzzahliger Ordnungen) werden beispielsweise in [9] diskutiert.

Dresig behandelt in [5] die Differentialgleichung parametererregter Biegeschwingungen von Euler-Bernoulli Balken und gibt für Antriebsriemen eine Gleichung der Grenzkurven der Instabilitätsbereiche parametererregter Schwingungen an. Dabei berücksichtigt Dresig die Exzentrizität einer Riemenscheibe. Daraus resultiert eine harmonische Variation der Längskräfte im Riemen, was einer harmonischen Änderung der Riemensteifigkeit und damit einer Parametererregung entspricht.

Sauer analysiert in [13] stationäre Schwingungen von Antriebsriemen und präsentiert dynamische Modelle für parametererregte Riemen-schwingungen. Auch weist Sauer in [13] darauf hin, daß Breite und Dicke von Antriebsriemen nicht konstant entlang der Riemenlänge sind. Aus diesen Inhomogenitäten folgt eine periodische Änderung des Wirkdurchmessers der Riemenscheiben. Die Periode dieser Schwankungen der Riemen-eigenschaften entspricht dabei einem Riemen-umlauf. Änderungen der Wirkdurchmesser führen zu einer Variation der Riemenlängskräfte und resultieren in parametererregten Schwingungen.

Abbildung 3 aus DIN 7867 (Keilrippenriemen und -scheiben, siehe [3]) zeigt schematisch den Sitz eines Keilrippenriemens in der dazugehörigen Riemenscheibe. Solch ein Riemen mit Profilkurzzeichen L, wie er in der in Abbildung 1 dargestellten Bogenoffsetdruckmaschine verwendet wird, besteht größtenteils aus einer vulkanisierten Kautschukmischung und enthält einen Zugstrang von hoher Festigkeit und geringer Dehnung. Die Lage des Zugstrangs (Wirkzone) ist in Abbildung 3 eingezeichnet und entspricht der Lage der Riemenlängskräfte mit dazugehörigem Wirkdurchmesser d_w . Antriebsriemen mit Profilkurzzeichen L haben nach DIN 7867 eine Dicke von 10 mm, und für die sogenannte Bezugs-Linien-Differenz h_b in Abbildung 3 gilt:

$$h_b = 3,5 \text{ mm}$$

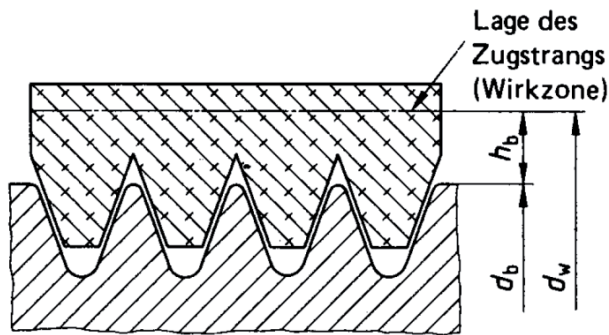


Abb. 3: Sitz eines Keilrippenriemens in der dazugehörigen Riemenscheibe (Abb. aus DIN 7867 [3])

Mit dem Bezugsdurchmesser d_b ergibt sich der Wirkdurchmesser d_w einer Keilrippenscheibe nach DIN 7867 wie folgt:

$$d_w = d_b + 2 h_b$$

Abbildung 4 stammt aus der Arbeit von Bischoff (siehe [1]). Die Formelzeichen F_o und F_u in Abbildung 4 stehen für die Riemenlängskräfte. Aus diesen Kräften ergeben sich mit den dazugehörigen Wirkradien entsprechende Drehmomente an den Riemenscheiben. Die Symbole c_o und c_u in Abbildung 4 bezeichnen Steifigkeiten. Bischoff untersucht in [1] die Bewegungsgleichungen und zeigt, daß Wirkdurchmesseränderungen als Steifigkeitsvariation modelliert werden können und so zu parametererregten Drehschwingungen in Bogenoffsetdruckmaschinen führen.

3. Experimentelle Ergebnisse

Vom Antriebsriemen verursachte Drehschwingungen sind ein typisches Problem in Bogenoffsetdruckmaschinen. Abbildung 5 zeigt gemessene Differenzdrehschwingungsamplituden der Frequenz ω_{PE} (PE = Parametererregung). Die Frequenz ω_{PE} entspricht dabei der ersten Riemenumlaufordnung. Für die in Abbildung 5 dargestellten Meßergebnisse wurden versuchsweise zwölf verschiedene Antriebsriemen in einer Bogenoffsetdruckmaschine des Typs Speedmaster XL 162-6+L (siehe Abbildung 1) verwendet. Für

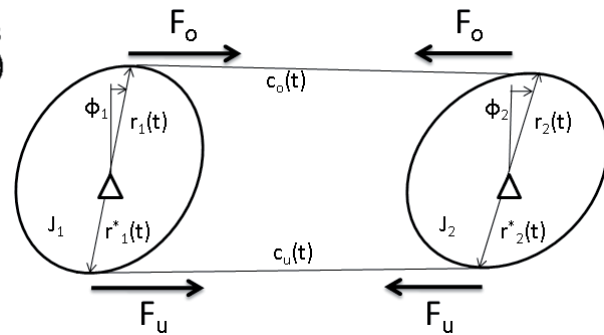


Abb. 4: Riemenscheiben, Riemenlängskräfte F_o und F_u (Abb. von Bischoff [1])

jeden dieser Antriebsriemen wurde ein Hochlauf durchgeführt, das heißt, bei verschiedenen Produktionsgeschwindigkeiten wurden jeweils die stationären Drehschwingungen gemessen. Abbildung 5 macht deutlich, daß das Problem riemenabhängig ist. Einige Riemen führen zu sehr großen Drehschwingungsamplituden, die deutlich sichtbare und damit inakzeptable Rhythmen im Druck zur Folge haben. Es gibt aber auch einige Riemen, bei denen nur sehr kleine Drehschwingungsamplituden bei der ersten Riemenumlaufordnung auftreten. Außerdem zeigt sich, daß es kritische Produktionsgeschwindigkeiten gibt. Hierzu läßt sich festhalten, daß die größten Drehschwingungsamplituden bei Produktionsgeschwindigkeiten v_{krit} auftreten, bei denen die Frequenz ω_{PE} der Parametererregung der ersten Dreheigenfrequenz ω_1 (erste elastische Eigenform) der Maschine entspricht.

Die zwölf Antriebsriemen, die in Abbildung 5 zum Einsatz kamen, wurden alle auf einem Riemenprüfstand bei einer konstanten Geschwindigkeit vermessen. Der Riemenprüfstand besteht aus zwei Riemenscheiben, einem Antrieb und entsprechender Sensorik (Inkrementaldrehgeber) zur Messung von Drehschwingungen. Das Ergebnis dieser Messungen ist in Abbildung 6 zu sehen. Für die zwölf verwendeten Antriebsriemen sind in Abbildung 6 die Amplituden der ersten zehn Riemenumlaufordnungen dargestellt.

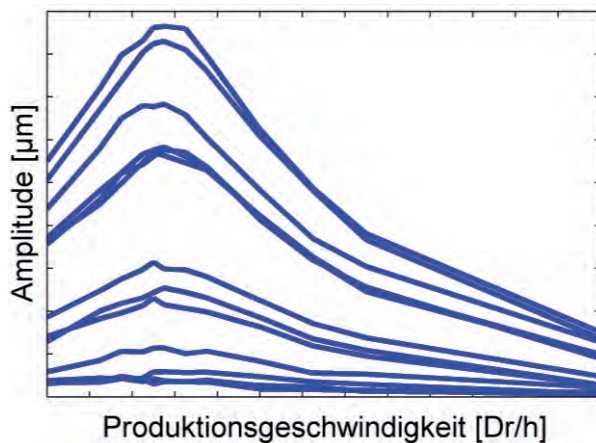


Abb. 5: An einer Bogenoffsetdruckmaschine gemessene Drehschwingungsamplituden der Frequenz ω_{PE}

In Abbildung 6 sind die Riemen nach der Größe der Amplitude der ersten Riemenumlaufordnung sortiert worden. Die erste Riemenumlaufordnung (Riemenumlaufordnung 1) entspricht der Frequenz ω_{PE} der Parametererregung. Folglich entspricht Riemenumlaufordnung 2 der doppelten Frequenz ($2\omega_{PE}$), usw.

Die in der Maschine gemessenen maximalen Amplituden (siehe Abbildung 5) und die am Riemenprüfstand gemessenen Amplituden der Riemenumlaufordnung 1 (siehe Abbildung 6) korrelieren sehr gut. Für ein lineares Regressionsmodell ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 88\%$.

Folglich stellt die Auswahl der Antriebsriemen eine Möglichkeit dar, um die vom Antriebsriemen verursachten Drehschwingungen in einer Bogenoffsetdruckmaschine auf eine tolerierbare Größenordnung zu beschränken. Hierfür müssen aber zunächst alle angelieferten Antriebsriemen auf einem Riemenprüfstand vermessen werden, und nur diejenigen Riemen, bei denen die gemessene Drehschwingungsamplitude der ersten Riemenumlaufordnung unter einem zuvor festgelegten Grenzwert bleibt, erhalten dann eine Freigabe und dürfen in einer Maschine verwendet werden. Alle übrigen Antriebsriemen werden aussortiert.

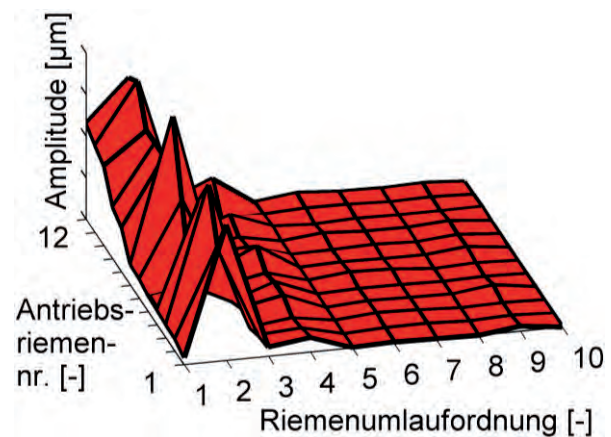


Abb. 6: An einem Riemenprüfstand gemessene Drehschwingungsamplituden der Riemenumlaufordnungen 1 bis 10

„Aktive Schwingungsminderung“ ist eine weitere Möglichkeit, um das Problem der vom Antriebsriemen verursachten Drehschwingungen in den Griff zu bekommen. Hierbei kann auf eine Vermessung und anschließende Aussortierung von Antriebsriemen verzichtet werden. So können auch Antriebsriemen, die auf dem Riemenprüfstand sehr schlecht abschneiden, in einer Bogenoffsetdruckmaschine verwendet werden, ohne daß sich daraus Qualitätseinbußen im Druck ergeben.

Für die aktive Schwingungsminderung ist es allerdings erforderlich, in der Maschine an geeigneten Stellen Inkrementaldrehgeber zu platzieren (Stichwort Beobachtbarkeit), um die zu bekämpfenden Drehschwingungen zu messen. Des weiteren sind Regelung und Aktorik nötig. Auch die Aktorik muß an geeigneter Stelle platziert sein (Stichwort Steuerbarkeit). Für eine Bogenoffsetdruckmaschine, wie sie in Abbildung 1 zu sehen ist, kann der Hauptantrieb der Maschine als Aktor verwendet werden. Die in den Abbildungen 7 und 8 dargestellten Meßergebnisse zeigen, daß die vom Antriebsriemen verursachten Drehschwingungen in einer Bogenoffsetdruckmaschine mit aktiver Schwingungsminderung deutlich reduziert werden können. Einige Details dazu folgen in den nächsten Absätzen.

Bei einer Bogenoffsetdruckmaschine, wie sie in Abbildung 1 zu sehen ist, vollführt der Antriebsriemen je nach Riemenvorspannung ca. 3,23 bis ca. 3,24 Umläufe (Perioden) je Plattenzylinderumdrehung. Im folgenden wird mit Ordnung 3,24 weitergerechnet. Diese Ordnung 3,24 entspricht der ersten Riemenumlaufordnung.

Wie Abbildung 6 zeigt, treten neben der ersten Riemenumlaufordnung auch noch höhere Riemenumlaufordnungen auf (z.B. zweite, dritte und vierte Riemenumlaufordnung). Die ersten vier Riemenumlaufordnungen entsprechen demzufolge den Ordnungen 3,24, 6,48, 9,72 und 12,96 in der Maschine. Rechnet man nun mit einer maximalen Produktionsgeschwindigkeit von 18000 Dr/h, die sicherlich in nicht allzu ferner Zukunft auch von den derzeit größten Bogenoffsetdruckmaschinen erreicht werden wird, so ergibt sich damit folgende Frequenz für die erste Riemenumlaufordnung bei 18000 Dr/h: 16,2 Hz (5 Hz multipliziert mit Ordnung 3,24). Das heißt: Bei Betrachtung der ersten Riemenumlaufordnung, kann die dazugehörige Frequenz der Parametererregung maximal 16,2 Hz erreichen.

Wie bereits erwähnt (siehe Abbildung 5), treten die größten Differenzdreheschwingungsamplituden in der Maschine bei Pro-

duktionsgeschwindigkeiten auf, bei denen die Parametererregungsfrequenz ω_{PE} der ersten Dreheigenfrequenz ω_1 der Maschine entspricht. ω_1 ist hierbei die Eigenfrequenz der ersten elastischen Eigenform. Diese Eigenform wird im nächsten Abschnitt (Abschnitt 3) genauer erläutert. Einige der Antriebsriemen, die in Abbildung 5 zum Einsatz kamen, führen zu Differenzdreheschwingungsamplituden von mehr als 20 μm , was natürlich inakzeptabel ist, da dies deutlich sichtbare Rhythmen im Druck zur Folge hat.

Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen die an einer Bogenoffsetdruckmaschine gemessenen Differenzdreheschwingungsamplituden für einen sehr schlechten Antriebsriemen aus Abbildung 5 bei der kritischen Produktionsgeschwindigkeit v_{krit} . In diesem Fall gilt also folgendes:

$$\omega_{PE} = \omega_1$$

Bei gleicher Skalierung sind die Amplituden in den Abbildungen 7 und 8 über einer Ordnungsachse aufgetragen. Die Ordnung 3,24 ist in den beiden Abbildungen markiert worden, da es sich hierbei um die erste Riemenumlaufordnung und damit um die Frequenz der in diesem Artikel näher betrachteten Parametererregung handelt.

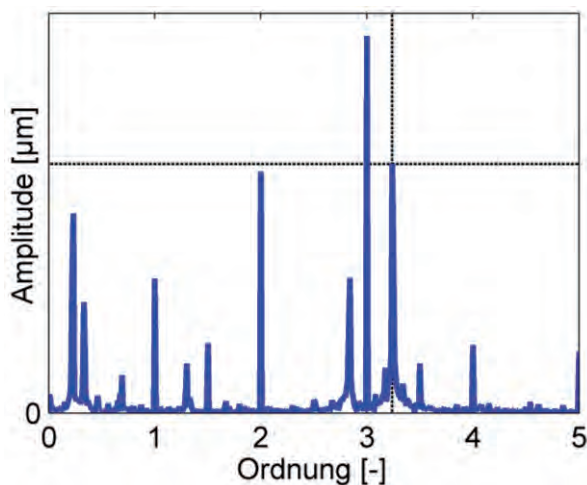


Abb. 7: Gemessene Drehschwingungsamplituden ohne aktive Schwingungsminde- rung (Ordnung 3,24 ist markiert)

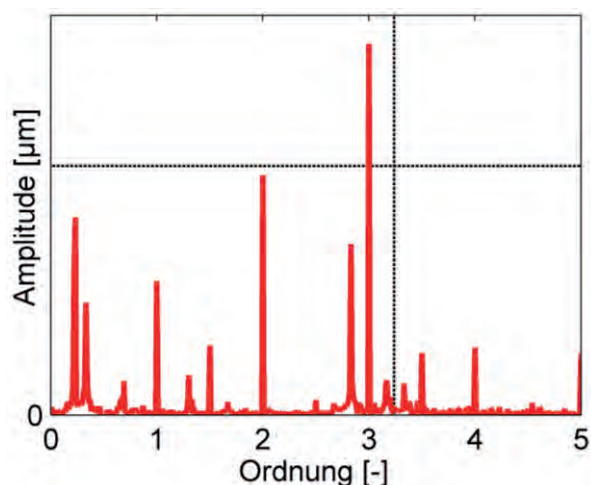


Abb. 8: Gemessene Drehschwingungsamplituden mit aktiver Schwingungsminde- rung (Ordnung 3,24 ist markiert)

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß nichtganzzahlige Ordnungen (z.B. 3,24) problematisch sind, da hierdurch beispielsweise der Bogentransport zwischen benachbarten papierführenden Zylindern gestört wird, und es so aufgrund von Übergabefehlern zu Rhythmen im Druck kommt. Dahingegen verursachen ganzzahlige Ordnungen (z.B. 1, 2, 3, usw.) keine Rhythmen im Druck und sind oft unproblematisch, es sei denn, die Amplituden ganzzahliger Ordnungen sind so groß, daß es zu Zahnflankenabheben oder zu Zahnflankenwechsel kommt (siehe [9]). Dies ist aber bei den hier betrachteten Meßdaten nicht der Fall.

Abbildung 7 zeigt das typische Problem für den Fall, daß keine aktive Schwingungsminderung verwendet wird. Die gemessene Differenzdreheschwingsamplitude der Ordnung 3,24 (erste Riemenumlaufordnung) erreicht mit dem schlechten Antriebsriemen bei der kritischen Produktionsgeschwindigkeit v_{krit} ($\omega_{PE} = \omega_1$) inakzeptable Werte von mehr als 20 μm .

Dahingegen ist mit aktiver Schwingungsminderung (siehe Abbildung 8) die Differenzdreheschwingsamplitude der markierten Ordnung 3,24 kleiner als 1 μm . Die in den Abbildungen 7 und 8 dargestellten Meßwerte wurden direkt nacheinander aufgenommen (gleicher Antriebsriemen, gleiche Produktionsgeschwindigkeit v_{krit}). Der einzige Unterschied ist, daß für die Messung in Abbildung 8 die Regelung für die aktive Schwingungsminderung scharfgeschaltet wurde. Dabei wurde der Hauptantrieb der Maschine als Aktor verwendet, wie es in der Arbeit [11] von Nöll beschrieben wird.

Aktive Schwingungsminderung ist nicht das Thema dieses Artikels. Nichtsdestotrotz wurden die experimentellen Ergebnisse der Abbildungen 7 und 8 hier gezeigt, um deutlich zu machen, daß man auch bei Verwendung eines schlechten Antriebsriemens das Problem der vom Antriebsriemen verursachten parametererregten Drehschwingungen mit

den Methoden der aktiven Schwingungsminderung in den Griff bekommen kann.

Auf den ersten Blick (siehe z.B. Abbildung 5) erscheint das hier vorgestellte Problem wie ein klassisches Resonanzproblem, wie es bei linearen zeitunabhängigen Systemen bei harmonischer Erregung auftritt. Aber verschiedene Meßdaten unterschiedlicher Maschinentypen (Plattenzylinderdurchmesser: 180 mm ... 485,4 mm) zeigen Charakteristika parametererregter Schwingungen, indem die vom Antriebsriemen verursachten Drehschwingungen in weiten Geschwindigkeitsbereichen auftreten. Oft sind dabei mehrere Riemenumlaufordnungen sichtbar.

Um mehr Licht ins Dunkel zu bringen, wird in dieser Arbeit ein dynamisches System mit zeitperiodischen Koeffizienten näher betrachtet.

4. Dynamisches System und numerische Stabilitätsanalyse

In vielen Fällen kann das Drehschwingungsverhalten einer Bogenoffsetdruckmaschine mit linearen zeitunabhängigen Schwingungsmodellen beschrieben werden. Man spricht dann von einem linearen Schwinger mit N Freiheitsgraden. Dabei handelt es sich um ein System von inhomogenen gekoppelten Differentialgleichungen zweiter Ordnung mit konstanten Koeffizienten (zeitinvariantes System). Ein Beispiel dafür ist die folgende Bewegungsgleichung.

$$\underline{M}_0 \ddot{\underline{q}} + \underline{D}_0 \dot{\underline{q}} + \underline{K}_0 \underline{q} = \underline{f}$$

In dieser Bewegungsgleichung bezeichnen $\underline{M}_0$, $\underline{D}_0$ und $\underline{K}_0$ die Massen-, Dämpfungs- und Steifigkeitsmatrix der Struktur. Diese Matrizen sind jeweils quadratisch mit N Zeilen und N Spalten. $\underline{q}$ ist der Vektor der N Freiheitsgrade, und $\underline{f}$ bezeichnet den Vektor der äußeren Kräfte (Translationsfreiheitsgrade) bzw. äußeren Momente (Drehfreiheits-

grade). Bei $\underline{q}$ und $\underline{f}$ handelt es sich um Spaltenvektoren (1 Spalte, N Zeilen). Da das hier betrachtete dynamische System nur Drehfreiheitsgrade enthält, beschreibt $\underline{f}$ einen Momentenvektor.

Oftmals, so auch in diesem Artikel, kann die Dämpfung als Proportionaldämpfung modelliert werden. Für die Dämpfungsmatrix gilt dann folgende Gleichung.

$$\underline{D}_0 = \alpha \underline{M}_0 + \beta \underline{K}_0$$

Das heißt, die Dämpfungsmatrix ist bei Proportionaldämpfung eine Linearkombination von Massen- und Steifigkeitsmatrix mit den beiden Konstanten α und β , die weiter unten bestimmt werden. Zum Thema Drehschwingungen in Bogenoffsetdruckmaschinen finden sich in [9] Meßergebnisse und Vergleiche von Meß- und Rechenergebnissen für lineare zeitinvariante Systeme mit Proportionaldämpfung.

Die in Abbildung 1 dargestellte Bogenoffsetdruckmaschine wird in dieser Arbeit als ein dynamisches System mit $N = 19$ Drehfreiheitsgraden modelliert. In Abbildung 1 sind die Drehfreiheitsgrade 1 bis 14 zu sehen. Dabei handelt es sich um die Drehfreiheitsgrade papierführender Zylinder. Drehfreiheitsgrad 1 gehört zum Zuführzylinder. Es folgen Drehfreiheitsgrade für die Druck- und Umführzylinder. Nach Drehfreiheitsgrad 14 kommt der Ausleger. Für dessen Modellierung wurden Drehfreiheitsgrade 15, 16 und 17 eingeführt. Die restlichen beiden Freiheitsgrade 18 und 19 bilden den Antrieb ab (siehe Abbildung 2). Dabei sind die Freiheitsgrade 2 und 18 gekoppelt, da der Hauptantrieb bei der hier betrachteten Maschine den ersten Druckzylinder antreibt. Die Steifigkeit des Antriebsriemens koppelt schließlich die Drehfreiheitsgrade 18 und 19.

Folglich enthält das letzte Element der 19x19-Steifigkeitsmatrix den Parameter Riemensteifigkeit c . Dieses Element der Steifig-

keitsmatrix werde kurz mit Element (19, 19) bezeichnet, was auf den Eintrag in der 19-ten Zeile und der 19-ten Spalte und damit auf den letzten Eintrag auf der Hauptdiagonalen der Steifigkeitsmatrix verweist. Die Hauptdiagonalelemente von Steifigkeitsmatrizen sind stets positiv. Da die Steifigkeit des Antriebsriemens die Drehfreiheitsgrade 18 und 19 koppelt, findet sich der Zahlenwert des Elements (19, 19) mit negativem Vorzeichen in den Nebendiagonalelementen (18, 19) und (19, 18) der Steifigkeitsmatrix. Dieser Sachverhalt soll durch folgende Gleichung verdeutlicht werden.

$$c = k_{19,19} = -k_{18,19} = -k_{19,18}$$

Hinzu kommt, daß der Parameter Riemensteifigkeit auch einen Beitrag zum Hauptdiagonalelement (18, 18) der Steifigkeitsmatrix liefert. Damit sind nun insgesamt vier Elemente der Steifigkeitsmatrix, nämlich zwei Hauptdiagonal- und zwei Nebendiagonalelemente, abhängig vom Parameter Riemensteifigkeit.

Ändern sich nun die Riemeneigenschaften wie etwa Riemenbreite und Riemendicke entlang der Riemenlänge, so folgt daraus, daß der Parameter Riemensteifigkeit nicht mehr konstant (zeitinvariant) sondern zeitabhängig (zeitvariant) ist. Da man es hierbei mit einer periodischen Änderung zu tun hat, ist der Parameter Riemensteifigkeit also zeitperiodisch. Somit liegt ein lineares zeitperiodisches System vor, und die Periodendauer ist dabei gleich der Zeitdauer eines Riemenumlaufs.

Zusammenfassend läßt sich daher an dieser Stelle festhalten, daß die folgenden vier Elemente der Steifigkeitsmatrix zeitperiodisch sind: (18, 18), (18, 19), (19, 18), (19, 19). Die übrigen Einträge der Steifigkeitsmatrix sind dahingegen konstant (zeitinvariant).

Bei Proportionaldämpfung (siehe die entsprechende Gleichung oben) gilt das gleiche für die Dämpfungsmatrix der Struktur. Dem-

entsprechend sind die folgenden vier Elemente der Dämpfungsmatrix zeitperiodisch: (18, 18), (18, 19), (19, 18), (19, 19), und die übrigen Einträge der Dämpfungsmatrix sind konstant (zeitinvariant).

Da die hier betrachtete Struktur ein sogenanntes ungefesselter System darstellt, existiert für das zeitinvariante System eine Starrkörpereigenform, die aber für das vorliegende Schwingungsproblem uninteressant ist. Zu einer Starrkörpereigenform gehört immer ein Eigenwert 0. Und demzufolge gilt auch für die dazugehörige Starrkörpereigenfrequenz: $\omega_0 = 0$.

Abbildung 9 zeigt dahingegen die erste elastische Eigenform des zeitinvarianten Systems, die zur bereits erwähnten ersten Dreh-eigenfrequenz ω_1 gehört. Aus Gründen einer einfacheren Visualisierung sind in Abbildung 9 nur die Drehfreiheitsgrade 1 bis 14 dargestellt. Der Schwingungsknoten der abgebildeten ersten elastischen Eigenform ist ungefähr in der Mitte (siehe Drehfreiheitsgrad 7), während maximale Werte an den Rändern (siehe Drehfreiheitsgrade 1, 2 und 14) auftreten. Dies ist typisch für die erste elastische Eigenform eines ungefesselten Systems. Da die Drehfreiheitsgrade 2 und 18 gekoppelt sind, kann der Hauptantrieb die erste elastische Eigenform sehr gut anregen bzw. im Falle von aktiver Schwingungsminderung Schwingungen dieser Eigenform sehr gut mindern.

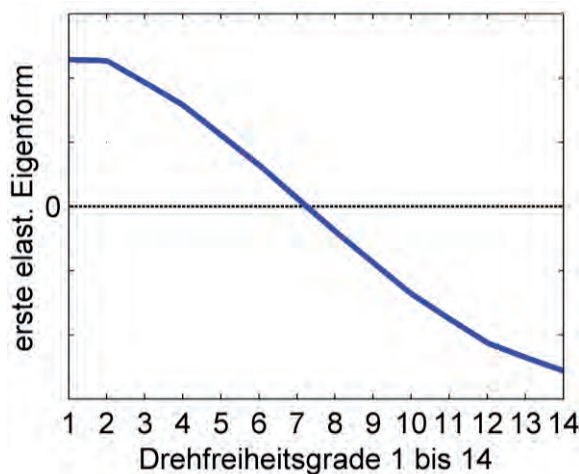


Abb. 9: Erste elastische Eigenform

Inhomogenitäten des Antriebsriemens führen zu einer periodischen Variation des Parameters Riemensteifigkeit. Diese Parametererregung betrifft wie oben erläutert jeweils vier Elemente von Steifigkeits- und Dämpfungsmatrix.

Jede periodische Funktion $x_p(t)$ lässt sich in eine Fourierreihe entwickeln, wie sie beispielsweise durch folgende Formel beschrieben wird.

$$x_p(t) = X_0 + \sum_{m=1}^{\infty} X_m \cos(\Omega_m t - \gamma_m)$$

Die Fourierreihe ist im allgemeinen eine Überlagerung von unendlich vielen harmonischen Funktionen, deren Kreisfrequenzen Ω_m ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz Ω_1 sind ($\Omega_m = m \Omega_1$).

Da diese Grundfrequenz Ω_1 der ersten Riemenumlaufordnung entspricht, und zuvor schon die dazugehörige Kreisfrequenz ω_{PE} der Parametererregung eingeführt wurde, gilt:

$$\Omega_1 = \omega_{PE}$$

Zwischen der Kreisfrequenz ω_{PE} der Parametererregung und der Periodendauer T_{PE} der periodischen Funktion $x_p(t)$ besteht folgender Zusammenhang.

$$\omega_{PE} = \Omega_1 = \frac{2\pi}{T_{PE}}$$

Die im Abschnitt 3 vorgestellten experimentelle Ergebnisse zeigen eine sehr gute Korrelation ($R^2 = 88\%$) zwischen den in der Maschine gemessenen maximalen Amplituden (Abbildung 5) und den am Riemenprüfstand gemessenen Amplituden der ersten Riemenumlaufordnung (Abbildung 6). Daher wird im folgenden der Parameter Riemensteifigkeit harmonisch mit der Grundfrequenz $\Omega_1 = \omega_{PE}$ variiert.

Dies bedeutet, daß von der periodischen Funktion $x_p(t)$ nur der konstante Term und die erste harmonische Funktion berücksichtigt werden.

$$x_h(t) = X_0 + X_1 \cos(\omega_{PE}t - \gamma_1)$$

Die Bewegungsgleichung des linearen zeitvarianten Systems läßt sich für $\gamma_1 = 0$ folgendermaßen schreiben:

$$\underline{M}_0 \ddot{\underline{q}} + (\alpha \underline{M}_0 + \beta \underline{K}_0 + \beta \varepsilon \underline{K}_c c \cos(\omega_{PE}t)) \dot{\underline{q}} + (\underline{K}_0 + \varepsilon \underline{K}_c c \cos(\omega_{PE}t)) \underline{q} = \underline{f}$$

In dieser Gleichung bezeichnet c die Riemensteifigkeit, und ε beschreibt die Größe der Parameteränderung. So ergibt sich mit $\varepsilon = 0,1 = 10\%$ eine Schwankung des Parameters Riemensteifigkeit im Bereich $c \pm 0,1 c$.

Die Matrix $\underline{K}_c$ enthält in obiger Bewegungsgleichung nur Einträge 0, -1 oder +1, so daß durch den Term $\varepsilon \underline{K}_c c \cos(\omega_{PE}t)$ lediglich die Elemente (18, 18), (18, 19), (19, 18), (19, 19) von Steifigkeits- oder Dämpfungsmatrix variiert werden.

Für eine numerische Stabilitätsanalyse werde nun die folgende Gleichung näher untersucht.

$$\underline{M}_0 \ddot{\underline{q}} + (\alpha \underline{M}_0 + \beta \underline{K}_0 + \beta \varepsilon \underline{K}_c c \cos(\omega_{PE}t)) \dot{\underline{q}} + (\underline{K}_0 + \varepsilon \underline{K}_c c \cos(\omega_{PE}t)) \underline{q} = \underline{0}$$

Es handelt sich dabei um ein homogenes Gleichungssystem, da die rechte Seite gleich 0 ist, also keine äußeren Momente wirken. Dieses System gekoppelter linearer Differentialgleichungen zweiter Ordnung mit zeitperiodischen Koeffizienten erlaubt Stabilitätsuntersuchungen.

Die Massenmatrix der Struktur ist konstant (zeitinvariant), wohingegen Dämpfungs- und Steifigkeitsmatrix zeitabhängig (zeitvariant) sind. Dies soll durch folgende Schreibweise

der homogenen Bewegungsgleichung verdeutlicht werden.

$$\underline{M}_0 \ddot{\underline{q}} + \underline{D}(t) \dot{\underline{q}} + \underline{K}(t) \underline{q} = \underline{0}$$

Da die zeitabhängigen Matrizen (Dämpfungs- und Steifigkeitsmatrix) zeitperiodisch mit Periodendauer T_{PE} sind, gilt folgendes.

$$\underline{D}(t) = \underline{D}(t + T_{PE}), \quad \underline{K}(t) = \underline{K}(t + T_{PE})$$

Mit Hilfe der sogenannten Zustandsraumdarstellung kann das Differentialgleichungssystem zweiter Ordnung als ein System erster Ordnung geschrieben werden. Hierfür wird zunächst der Zustandsvektor $\underline{x}$ eingeführt. Dieser enthält als sogenannte Zustandsvariablen den Vektor $\underline{q}$ der Drehfreiheitsgrade (auch Lagevektor genannt) und die erste Ableitung dieses Vektors nach der Zeit (also $\dot{\underline{q}}$).

Da wir es hier mit Drehfreiheitsgraden zu tun haben, enthält der Zustandsvektor Drehwinkel in der Einheit rad (Winkel im Bogenmaß) und Drehwinkelgeschwindigkeiten in der Einheit rad/s. Für das hier betrachtete Beispiel mit 19 Drehfreiheitsgraden ergeben sich demzufolge die 38 Zustandsvariablen ($x_1, x_2, \dots, x_{38}$).

Für den Zustandsvektor $\underline{x}$ gilt also:

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_{19} \\ x_{20} \\ x_{21} \\ \dots \\ x_{38} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_{19} \\ \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dots \\ \dot{q}_{19} \end{bmatrix}$$

Oder in kompakter Schreibweise:

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \underline{q} \\ \dot{\underline{q}} \end{bmatrix}$$

Die erste Ableitung des Zustandsvektors nach der Zeit enthält dann neben dem Vektor der Drehwinkelgeschwindigkeiten auch den Vektor der Drehwinkelbeschleunigungen in der Einheit rad/s².

$$\underline{\dot{x}} = \begin{bmatrix} \underline{\dot{q}} \\ \underline{\ddot{q}} \end{bmatrix}$$

Das homogene Differentialgleichungssystem zweiter Ordnung läßt sich daher unter Verwendung des Zustandsvektors wie folgt als Differentialgleichungssystem erster Ordnung schreiben.

$$\underline{\dot{x}} = \underline{A}(t) \underline{x}$$

Dabei bezeichnet $\underline{A}(t)$ die sogenannte Systemmatrix. Die Anzahl der Zeilen und Spalten der quadratischen Systemmatrix $\underline{A}(t)$ entspricht der Anzahl der Zustandsvariablen. Für das in dieser Arbeit betrachtete Beispiel mit 19 Drehfreiheitsgraden ergibt sich damit eine Systemmatrix $\underline{A}(t)$ mit 38 Zeilen und 38 Spalten. Das heißt, $\underline{A}(t)$ ist hier eine 38x38-Matrix.

Löst man das oben erläuterte homogene Gleichungssystem gekoppelter Differentialgleichungen zweiter Ordnung nach dem Beschleunigungsvektor auf, so ergibt sich:

$$\underline{\ddot{q}} = -\underline{M}_0^{-1} \underline{K}(t) \underline{q} - \underline{M}_0^{-1} \underline{D}(t) \underline{\dot{q}}$$

Damit läßt sich leicht zeigen, daß für die Systemmatrix $\underline{A}(t)$ folgende Gleichung gelten muß:

$$\underline{A}(t) = \begin{bmatrix} \underline{O} & \underline{E} \\ -\underline{M}_0^{-1} \underline{K}(t) & -\underline{M}_0^{-1} \underline{D}(t) \end{bmatrix}$$

$\underline{O}$ bezeichnet darin eine Nullmatrix (19x19-Matrix), und $\underline{E}$ steht für eine Einheitsmatrix, bei der es sich ebenfalls um eine 19x19-Matrix handelt. Desweiteren tauchen noch Stei-

figkeits- und Dämpfungsmatrix (beide zeitvariant) sowie die Inverse der konstanten (zeitinvarianten) Massenmatrix in der Systemmatrix $\underline{A}(t)$ auf.

Aufgrund der zeitlichen Periodizität von Steifigkeits- und Dämpfungsmatrix gilt für die Systemmatrix $\underline{A}(t)$:

$$\underline{A}(t) = \underline{A}(t + T_{PE})$$

Für das vorliegende Differentialgleichungssystem erster Ordnung, dessen Systemmatrix $\underline{A}(t)$ wie erläutert die Periodendauer T_{PE} aufweist, kann die sogenannte Floquet-Theorie verwendet werden, um die Stabilität des Systems zu untersuchen. Die Floquet-Theorie ist nach dem französischen Mathematiker Gaston Floquet (1847 - 1920) benannt. Es existiert eine Vielzahl an Veröffentlichungen, in denen die Floquet-Theorie angewendet wird, um die Stabilität zeitperiodischer Systeme zu analysieren. Eine Beschreibung dieses Verfahrens findet sich z.B. in den Arbeiten [4], [7] und [12].

In diesem Artikel wird das Vorgehen nur sehr grob beschrieben. Für weitere Details sowie mathematische Hintergründe und Herleitungen sei der interessierte Leser auf die Literatur verwiesen.

Ausgehend von einem beliebigen Anfangszustand $\underline{x}(t=0) = \underline{x}(0)$ lassen sich mittels numerischer Integration Lösungen $\underline{x}(t)$ berechnen. Die hier vorgestellten numerischen Ergebnisse wurden allesamt mit dem klassischen Runge-Kutta-Verfahren (explizites vierstufiges Runge-Kutta-Verfahren), wie es z.B. in [8] detailliert erläutert wird, gewonnen.

Man kann nun die sogenannte Monodromie-Matrix $\underline{M}(T_{PE})$ bestimmen. In der Literatur finden sich für diese Matrix auch die Bezeichnungen Übergangs- und Periodizitätsmatrix. Das entsprechende Vorgehen zur Er-

mittlung der Monodromie-Matrix $\underline{M}(T_{PE})$ wird z.B. in [7] beschrieben. Um die Monodromie-Matrix $\underline{M}(T_{PE})$ zu bestimmen, arbeitet man sich beispielsweise spaltenweise durch eine 38x38-Einheitsmatrix. Dabei stellt jede Spalte dieser Einheitsmatrix einen Anfangszustand des Systems dar. Dies bedeutet, daß bei jeder dieser 38 Rechnungen zum Anfangszeitpunkt $t = 0$ nur eine einzige Zustandsvariable gleich 1 ist, und alle übrigen Zustandsvariablen sind gleich 0. So ist bei der ersten Rechnung lediglich die erste Zustandsvariable gleich 1, bei der zweiten Rechnung ist nur die zweite Zustandsvariable gleich 1, usw. Diese verschiedenen Anfangszustände können wie in [7] folgendermaßen bezeichnet werden.

$$\underline{x}(0)_1, \underline{x}(0)_2, \dots, \underline{x}(0)_{38}$$

Für jeden dieser Anfangszustände rechnet man dann mittels numerischer Integration vom Anfangszeitpunkt $t = 0$ bis zum Zeitpunkt $t = T_{PE}$. Das Ergebnis ist jeweils der Zustandsvektor $\underline{x}(t = T_{PE}) = \underline{x}(T_{PE})$. Bei Verwendung obiger Anfangszustände ergeben sich Ergebnisvektoren, die wie folgt benannt werden können.

$$\underline{x}(T_{PE})_1, \underline{x}(T_{PE})_2, \dots, \underline{x}(T_{PE})_{38}$$

Für $\varepsilon = 0$ erlaubt die Formulierung der Bewegungsgleichung in modalen Koordinaten die Verifikation dieser numerischen Ergebnisse, indem numerische und analytische Ergebnisse miteinander verglichen werden.

Die Ergebnisvektoren $\underline{x}(T_{PE})$ sind die Spalten der Monodromie-Matrix $\underline{M}(T_{PE})$. Damit läßt sich folgende Gleichung für die Monodromie-Matrix $\underline{M}(T_{PE})$ angeben.

$$\underline{M}(T_{PE}) = [\underline{x}(T_{PE})_1 \quad \underline{x}(T_{PE})_2 \quad \dots \quad \underline{x}(T_{PE})_{38}]$$

Ob ein System stabil oder instabil ist, läßt sich an den Eigenwerten der Monodromie-

Matrix $\underline{M}(T_{PE})$ erkennen. Die Eigenwerte der Monodromie-Matrix $\underline{M}(T_{PE})$ werden in der Literatur auch als Multiplikatoren des periodischen Orbits oder charakteristische Multiplikatoren oder Floquet-Multiplikatoren bezeichnet und werden durch folgende Formelzeichen beschrieben:

$$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{38}$$

Über die Stabilität entscheiden nun die Beträge dieser Eigenwerte.

$$|\lambda_1|, |\lambda_2|, \dots, |\lambda_{38}|$$

Sind die Beträge aller Eigenwerte kleiner als 1, so ist das System stabil. Ist aber auch nur der Betrag eines einzigen Eigenwertes größer als 1, so ist das System instabil. Folglich bestimmt der maximal auftretende Betrag der Eigenwerte der Monodromie-Matrix $\underline{M}(T_{PE})$ die Stabilität des Systems. Damit kann wie in [7] die folgende Gleichung für die Systemstabilität angegeben werden.

$$\max(|\lambda_1|, |\lambda_2|, \dots, |\lambda_{38}|) \begin{cases} < 1 & \text{stabil} \\ > 1 & \text{instabil} \end{cases}$$

Es läßt sich zeigen, daß für die Stabilität des hier betrachteten Systems drei Einflußgrößen eine entscheidende Rolle spielen. Diese drei Einflußgrößen sind:

1. Strukturdämpfung (siehe z.B. die beiden Parameter α und β der Proportionaldämpfung)
2. Größe der Parametererregung (siehe Parameter ε)
3. Produktionsgeschwindigkeit (Mit der ersten Riemenumlaufordnung (Ordnung 3,24) ergibt sich abhängig von der Produktionsgeschwindigkeit die Kreisfrequenz $\omega_{PE} = \Omega_1$ der Parametererregung und damit die Periodendauer T_{PE} .)

Diese Aussagen sollen nun an einem konkreten Beispiel näher erläutert werden. Was die Dämpfung der Struktur angeht, so können die beiden Parameter α und β der Proportionaldämpfung so gewählt werden, daß die zur ersten und zweiten elastischen Eigenform gehörenden modalen Dämpfungsgrade jeweils den Wert 0,5 % haben ($D_1 = D_2 = 0,005$). Wie die nachfolgenden Ergebnisse verdeutlichen werden, wird das System mit diesen sehr geringen Dämpfungswerten bei verschiedenen Produktionsgeschwindigkeiten Instabilitäten aufweisen, wenn ε (Größe der Parametererregung) entsprechend hohe Werte erreicht.

An dieser Stelle sei auch schon auf den nächsten Abschnitt 5 (Antriebsregelung und Dämpfung) verwiesen. Denn bei den in Abschnitt 5 beschriebenen Untersuchungen läßt sich zeigen, daß der modale Dämpfungsgrad der in diesem Artikel betrachteten Bogenoffsetdruckmaschine deutlich höher als 0,5 % liegt. Dennoch wird an dieser Stelle zunächst das Beispiel mit sehr geringer Dämpfung gezeigt, um das Thema Stabilitätsanalyse nachvollziehbar darzustellen und die Zusammenhänge anhand eines Zahlenbeispiels zu verdeutlichen.

Für die modalen Dämpfungsgrade gilt im Falle von Proportionaldämpfung die folgende Gleichung:

$$D_i = \frac{1}{2} \frac{\alpha}{\omega_i} + \frac{1}{2} \beta \omega_i$$

Diese Gleichung für die modalen Dämpfungsgrade findet sich in gängigen Dynamiklehrbüchern (siehe z.B. den Umdruck zur Vorlesung Maschinendynamik [14]). Mit Hilfe dieser Gleichung können nun die beiden Parameter α und β so gewählt werden, daß für zwei Eigenfrequenzen (ω_a , ω_b) vorgegebene modale Dämpfungsgrade (D_a , D_b) erreicht werden. Löst man obige Gleichung nach den Parametern α und β auf, so ergeben sich die beiden folgenden Gleichungen.

$$\alpha = 2\omega_a\omega_b \frac{\omega_b D_a - \omega_a D_b}{\omega_b^2 - \omega_a^2}$$

$$\beta = 2 \frac{\omega_b D_b - \omega_a D_a}{\omega_b^2 - \omega_a^2}$$

Mit diesen beiden Gleichungen können nun die Parameter α und β so gewählt werden, daß die zur ersten und zweiten elastischen Eigenform gehörenden modalen Dämpfungsgrade z.B. jeweils den sehr niedrigen Wert 0,5 % aufweisen ($D_1 = D_2 = 0,005$). Die Abbildungen 10 und 11 zeigen ausgewählte numerische Ergebnisse für diesen sehr schwach gedämpften Beispielfall.

Im unteren Bereich von Abbildung 10 sind die Instabilitätsbereiche des Systems blau eingefärbt. Dabei entspricht die Abszisse der Kreisfrequenz ω_{PE} der Parametererregung, und auf der Ordinate findet sich ε , die Größe der Parametererregung. Die blau eingefärbten Flächen kennzeichnen Bereiche, in denen das dynamische System instabil ist. Das hierbei betrachtete sehr schwach gedämpfte System ($D_1 = D_2 = 0,005$) weist Instabilitäten nur für sehr große ε -Werte ($\varepsilon > 0,7$) auf. Mit zunehmenden ε -Werten nehmen Anzahl und Fläche der instabilen Bereiche zu.

Die instabilen Bereiche bilden sich um sogenannte Parameterresonanzen bzw. Parameter-Kombinationsresonanzen aus. Diese Frequenzbereiche berechnen sich aus den Eigenfrequenzen (ω_i , ω_j) wie folgt:

$$\omega_{PE} = \frac{2\omega_i}{n}, \quad \omega_{PE} = \frac{\omega_i + \omega_j}{n}, \quad \omega_{PE} = \frac{\omega_i - \omega_j}{n}$$

Im oberen Bereich von Abbildung 10 sind diese Frequenzbereiche für $n = 1, 2, \dots, 5$ dargestellt.

Für weitergehende Informationen zu diesen Themen sei der geneigte Leser auf die Literaturstellen [6] und [15] verwiesen.

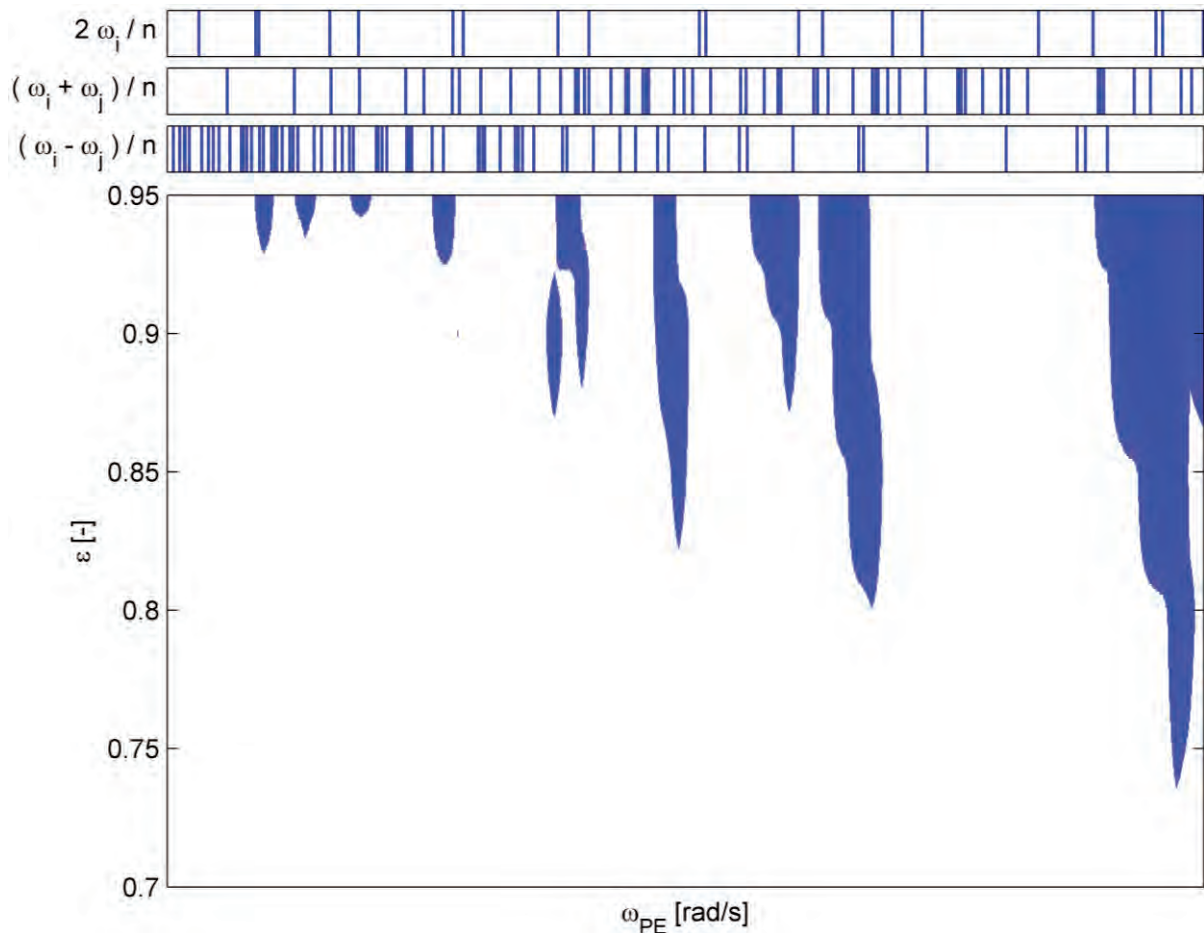


Abb. 10: Instabilitätsbereiche (blau eingefärbte Flächen) und Frequenzen möglicher Parameterresonanzen bzw. Parameter-Kombinationsresonanzen für $n = 1, 2, \dots, 5$

Abbildung 11 zeigt als Beispiel für instabiles Systemverhalten eine sogenannte Phasendarstellung für die Zustandsgröße x_{11} . Bei einer Phasendarstellung wird die zeitliche Ableitung der Zustandsgröße als Ordinate über der Zustandsgröße als Abszisse aufgetragen.

In Abbildung 11 ist für $\varepsilon = 0,9$ der Fall „Parameter-Hauptresonanz“ zu sehen. Als Parameter-Hauptresonanz werden dabei im allgemeinen folgende Parameterresonanzen bezeichnet ($n = 1$):

$$\omega_{PE} = 2\omega_i$$

In Abbildung 11 ist die Parameter-Hauptresonanz der Eigenfrequenz der ersten elastischen Eigenform dargestellt. Es gilt also:

$$\omega_{PE} = 2\omega_1$$

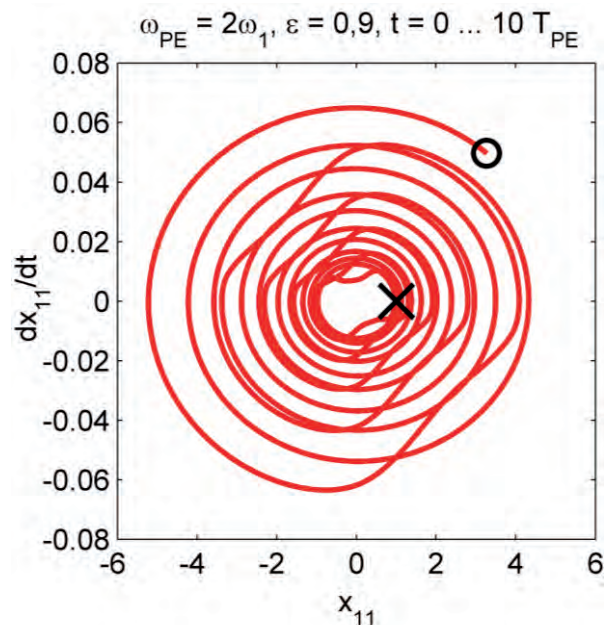


Abb. 11: x_{11} in der Phasenebene ($x_{11}(t=0) = 1$ und $x_i(t=0) = 0$ für $i \neq 11$)

Die für diesen Fall berechnete Schwingung ist in Abbildung 11 für den Zeitbereich $t = 0$ bis $t = 10 T_{PE}$ zu sehen. Der Anfangszustand ist durch ein Kreuz markiert worden. Da das System in diesem Fall instabil ist, klingt die Schwingung trotz Dämpfung ($D_1 = D_2 = 0,005$) nicht ab sondern auf, wie man in Abbildung 11 erkennen kann.

Neben der Produktionsgeschwindigkeit und neben der Größe der Parametererregung hat die Dämpfung einen entscheidenden Einfluß auf die Stabilität des Systems. Die in Abbildung 10 dargestellte Stabilitätskarte läßt sich natürlich für beliebige modale Dämpfungsgrade numerisch ermitteln. Mit steigender Strukturdämpfung werden die Instabilitätsbereiche kleiner bzw. verschwinden. Für verlässliche Aussagen bezüglich Systemstabilität sind demzufolge realistische Dämpfungsannahmen notwendig.

Im nächsten Abschnitt geht es daher um die Themen Dämpfung und Antriebsregelung. An einer Bogenoffsetdruckmaschine, wie sie in Abbildung 1 zu sehen ist, wurden verschiedene Messungen durchgeführt. Die dabei gewonnenen Meßdaten erlauben die Bestimmung realistischer Dämpfungsgrade des dynamischen Systems.

Das Modell des dynamischen Systems muß noch um die Antriebsregelung erweitert werden, denn die Antriebsregelung hat das Antriebsmoment zur Folge, welches vom Hauptantriebsmotor erzeugt und vom Hauptantriebsriemen übertragen wird. Außerdem wirkt die Antriebsregelung auf das dynamische System dämpfend (Stichwort Drehzahlregelung), wie im nächsten Abschnitt gezeigt wird. Dementsprechend müßte ein dynamisches System mit periodischer (harmonischer) Variation des Parameters Riemensteifigkeit bei realistischen Dämpfungsannahmen in der Rechnung ähnliche Drehschwingungsamplituden liefern wie in der Messung beobachtet (siehe Abbildung 5). Dies funktioniert natürlich nur, wenn das dynamische System auch ein Modell der Antriebsrege-

lung enthält, welches wirklichkeitsnahe Antriebsmomente liefert.

5. Antriebsregelung und Dämpfung

Die folgende Abbildung 12 zeigt schematisch die Antriebsregelung der Bogenoffsetdruckmaschine aus Abbildung 1. Der Maschinenführer wählt eine gewünschte Produktionsgeschwindigkeit. Dem entspricht die Referenzgeschwindigkeit $\dot{q}_{ref}$ (Winkelgeschwindigkeit in rad/s) für die Antriebsregelung.

Die Differenz zwischen dieser Referenzgeschwindigkeit und der aktuell vorliegenden (gemessenen) Winkelgeschwindigkeit am Drehfreiheitsgrad 19 (Motorwelle) wird mit dem Drehzahlregelparameter d_s multipliziert. Das Ergebnis dieser Multiplikation wird als Drehmoment f_s bezeichnet. Da der Parameter d_s mit einer Winkelgeschwindigkeit multipliziert wird, liefert der Drehzahlregelparameter d_s einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zur Dämpfung des dynamischen Systems. Auf diesen Sachverhalt wird weiter unten näher eingegangen.

Die Antriebsregelung besteht aber nicht nur aus einer Drehzahlregelung, sondern die Antriebsregelung enthält auch eine Lageregelung (siehe Abbildung 12). Für diese Lageregelung wird die Referenzgeschwindigkeit integriert. Das Ergebnis ist der Referenzwinkel q_{ref} in der Einheit rad. Die Differenz zwischen diesem Referenzwinkel und dem aktuell vorliegenden (gemessenen) Drehwinkel des Drehfreiheitsgrades 2 (Druckzylinder 1) wird mit dem Lageregelparameter k_p multipliziert. Das Ergebnis dieser Multiplikation wird als Drehmoment f_p bezeichnet.

Das Antriebsmoment f_d ist daher die Summe der Momente aus Drehzahl- und Lageregelung. Folglich liefert der Hauptantrieb das Antriebsmoment $f_d = f_s + f_p$. Dieses Moment wird demzufolge vom Antriebsriemen übertragen.

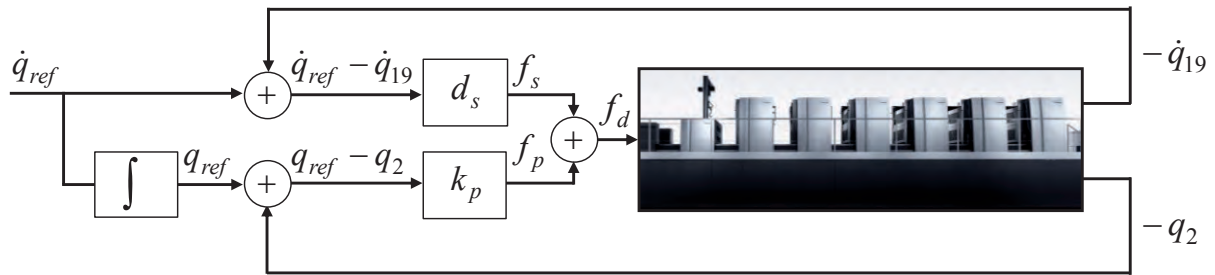


Abb. 12: Schematische Darstellung der Antriebsregelung (Bogenoffsetdruckmaschine)

In Abbildung 13 sind einige Meßdaten zu sehen. Die gestrichelte Linie entspricht dabei der Referenzgeschwindigkeit, und die durchgezogene Linie zeigt den dazugehörigen Verlauf des gemessenen Antriebsmoments. Zum Zeitpunkt $t = 0$ steht die Maschine still. Der Maschinenführer wählt dann nacheinander die drei Produktionsgeschwindigkeiten v_1 , v_2 und v_3 an. Die Maschine beschleunigt jeweils auf das gewünschte Geschwindigkeitsniveau und läuft einige Zeit stationär bei den drei verschiedenen Produktionsgeschwindigkeiten (v_1 : siehe Zeitspanne 6 s ... 9 s, v_2 : siehe Zeitspanne 11 s ... 21 s, v_3 : siehe Zeitspanne

39 s ... 50 s). Zwischen den verschiedenen Geschwindigkeiten (0 , v_1 , v_2 , v_3) steigt die Referenzgeschwindigkeit jeweils linear mit einer in der Maschinensteuerung festgelegten Steigung an.

Während der letzten Beschleunigungsphase in Abbildung 13 erreicht das Antriebsmoment seinen Maximalwert. Ein höheres Antriebsmoment kann der verwendete Motor nicht liefern. Folglich ist das gemessene Antriebsmoment im Zeitbereich 32 s bis 39 s eine waagerechte Linie und entspricht dem maximal möglichen Moment des Hauptantriebs.

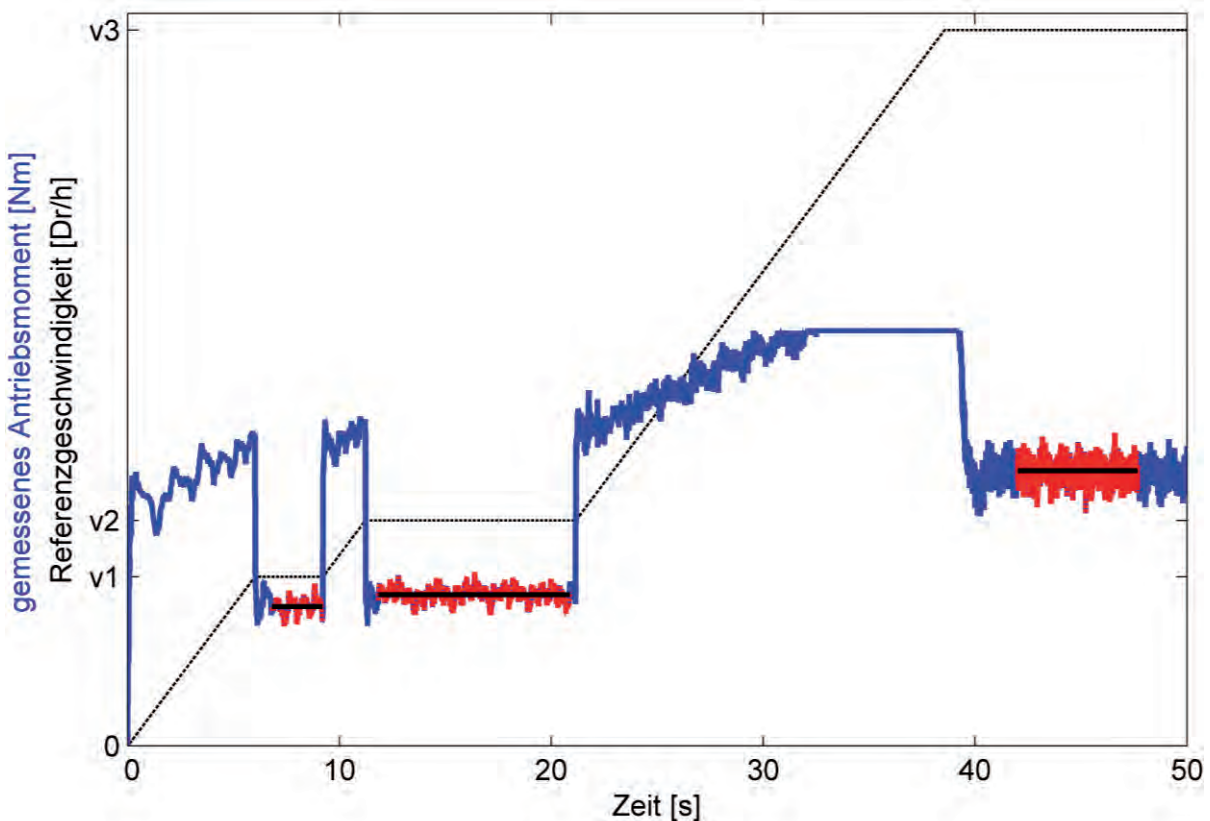


Abb. 13: Gemessenes Antriebsmoment und Referenzgeschwindigkeit (gestrichelt)

Schaut man sich die stationären Geschwindigkeitszustände (v_1, v_2, v_3) genauer an und trägt die dazugehörigen Mittelwerte f_1, f_2 und f_3 des Antriebsmoments über der Produktionsgeschwindigkeit auf, so ergibt sich Abbildung 14.

Diese stationären Antriebsmomente (Mittelwerte f_1, f_2 und f_3) sind auch schon in Abbildung 13 zu sehen (siehe waagerechte schwarze Linien), und die Bereiche, in denen gemittelt wurde, sind in Abbildung 13 farblich hervorgehoben (siehe rote Linien).

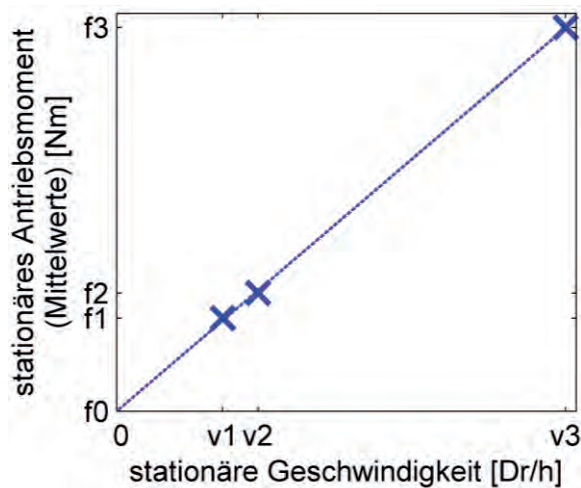


Abb. 14: Stationäres Antriebsmoment (Mittelwerte) über Geschwindigkeit

In Abbildung 14 ist auch die entsprechende Ausgleichsgerade (lineare Regression) zu sehen. Damit liegt für stationäre Geschwindigkeitszustände ein linearer Zusammenhang zwischen mittlerem Antriebsmoment und stationärer Produktionsgeschwindigkeit vor. Folglich muß das Modell ein konstantes Moment f_0 und ein mit der Geschwindigkeit linear ansteigendes Moment beinhalten. Bei stationärer Produktionsgeschwindigkeit entspricht das wirkende Antriebsmoment der Summe der in der Maschine auftretenden Reib-/Widerstandsmomente. Für die weiter unten in diesem Artikel vorgestellten Rechenergebnisse wird das konstante Widerstandsmoment f_0 entsprechend der im Modell vorkommenden Drehmassen anteilig auf die einzelnen Drehfreiheitsgrade verteilt. Dahin-

gegen kann das restliche Widerstandsmoment, welches linear mit der Produktionsgeschwindigkeit ansteigt, als massenproportionale Dämpfung im Modell abgebildet werden. Dies erfolgt mit Hilfe des Dämpfungsparameters α . Dieser Parameter α bestimmt den massenproportionalen Anteil der Proportionaldämpfung. Damit ergeben sich an den einzelnen Drehfreiheitsgraden Widerstandsmomente, die massen- und geschwindigkeitsproportional sind. Bei entsprechender Festlegung des Parameters α ergibt sich folglich in Summe ein Moment, welches genau wie in Abbildung 14 linear mit der Produktionsgeschwindigkeit ansteigt.

Der Drehzahlregelparameter d_s liefert einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zur Dämpfung des dynamischen Systems. In Abbildung 15 sind verschiedene Übertragungsfunktionen zu sehen. Die drei gestrichelten Linien zeigen drei gemessene Übertragungsfunktionen. Diese Übertragungsfunktionen wurden für drei verschiedene Werte des Drehzahlregelparameters d_s ermittelt (Nennwert, 75 % des Nennwerts, 50 % des Nennwertes).

Die gemessenen Übertragungsfunktionen ergeben sich, indem die Maschine mit Hilfe des Hauptantriebs bei verschiedenen Frequenzen harmonisch erregt wird. Mit Inkrementaldrehgebern können beispielsweise die resultierenden stationären Drehschwingungen von Druckzylinder 1 und Druckzylinder 5 gemessen werden. Für die in Abbildung 5 dargestellten Übertragungsfunktionen wurden die Differenzdrehschwingungen $DZ5 - DZ1$ verwendet. Abbildung 15 zeigt dabei die Beträge der entsprechenden Übertragungsfunktionen, also das Verhältnis der Amplituden von Differenzdrehschwingung ($DZ5 - DZ1$) und Anregung (Drehmoment).

Die Maxima der Beträge der Übertragungsfunktionen treten bei der ersten Dreheigenfrequenz ω_1 auf. Die dazugehörige erste elastische Eigenform wurde in Abbildung 9 gezeigt.

Neben den gemessenen Übertragungsfunktionen enthält Abbildung 15 auch berechnete Übertragungsfunktionen (siehe durchgezogene Linien). Die abgebildeten berechneten Übertragungsfunktionen wurden mit einem linearen zeitinvarianten System berechnet. Diese Berechnungen wurden für eine Vielzahl verschiedener modaler Dämpfungsgrade durchgeführt. Jeder der drei gemessenen Übertragungsfunktionen kann ein modaler Dämpfungsgrad zugeordnet werden, für den sich die beste Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung ergibt.

Das Akronym LZI, welches sich z.B. in der Bildunterschrift von Abbildung 15 findet, steht für linear zeitinvariant. Im Unterschied dazu wird später das Akronym LZV (linear zeitvariant) verwendet, wenn die Rechenergebnisse des linearen zeitvarianten (zeitperiodischen) Systems vorgestellt werden. Der einzige Unterschied zwischen LZI- und LZV-System ist der, daß im LZI-System der Parameter Riemensteifigkeit konstant ist, während im LZV-System der Parameter Riemensteifigkeit harmonisch mit der Frequenz ω_{PE} variiert wird.

In Abbildung 16 sind diese drei modalen Dämpfungsgrade (D_{1b} , D_{1c} , D_{1d}) über den entsprechenden Werten des Drehzahlregelparameters aufgetragen ($0,5 d_s$, $0,75 d_s$, d_s).

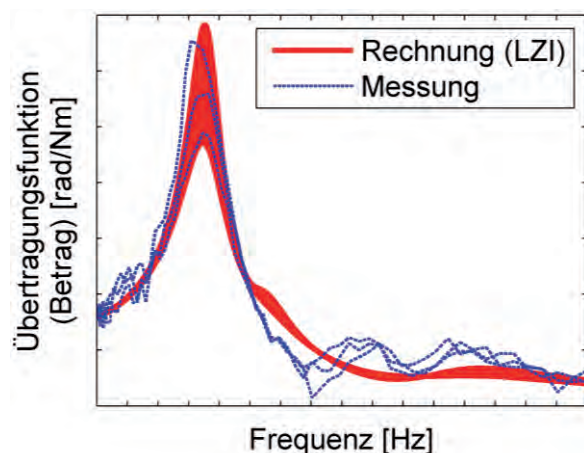


Abb. 15: Berechnete (LZI) und gemessene Übertragungsfunktionen (Hauptantrieb, DZ5 – DZ1)

Abbildung 16 zeigt auch die dazugehörige Ausgleichsgerade (lineare Regression). D_{1d} ist dabei deutlich größer als der modale Dämpfungsgrad, der in der numerischen Stabilitätsanalyse verwendet wurde (Faktor > 20). Oder anders ausgedrückt:

$$\frac{D_{1d}}{0,005} = \frac{D_{1d}}{0,5 \%} > 20$$

Die Ausgleichsgerade durch die drei Meßpunkte (D_{1b} , D_{1c} , D_{1d}) in Abbildung 16 wird extrapoliert, und liefert so den modalen Dämpfungsgrad D_{1a} für $d_s = 0$. Damit liegt nun mit D_{1a} der modale Dämpfungsgrad der Struktur ohne Antriebsregelung vor. Mit dem so ermittelten Wert für den modalen Dämpfungsgrad D_{1a} und dem bereits zuvor festgelegten Zahlenwert für den Parameter α (massenproportionaler Dämpfungsanteil), kann nun der noch nicht bestimmte Parameter β (steifigkeitsproportionaler Dämpfungsanteil) berechnet werden. Dazu kann die bereits eingeführte Formel für den modalen Dämpfungsgrad bei Proportionaldämpfung wie folgt umgeformt werden:

$$D_{1a} = \frac{\alpha}{2\omega_1} + \frac{\beta \omega_1}{2} \Leftrightarrow \beta = \frac{2D_{1a}}{\omega_1} - \frac{\alpha}{\omega_1^2}$$

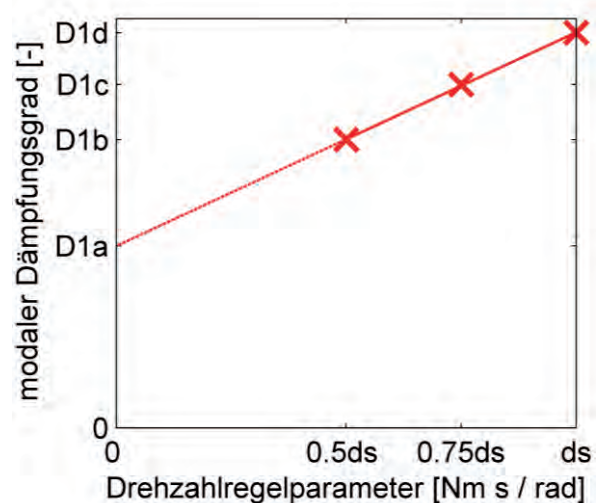


Abb. 16: Zusammenhang zwischen modalem Dämpfungsgrad und Drehzahlregelparameter

Mit den nun vorliegenden Dämpfungsparametern α und β und dem oben erläuterten Modell der Antriebsregelung, sollte ein Rechenmodell realistische Antriebsmomente liefern. Um dies zu überprüfen, wird zunächst das lineare zeitinvariante Modell verwendet, mit dem die in Abbildung 15 dargestellten berechneten Übertragungsfunktionen ermittelt wurden. Dieses Rechenmodell wird um das beschriebene Modell der Antriebsregelung erweitert. Dabei wird im Modell der Antriebsregelung das Antriebsmoment f_d wie in der Realität limitiert (siehe waagerechte Linie in Abbildung 13 im Zeitbereich 32 s bis 39 s). Zur Überprüfung dieses Modells wird die in Abbildung 13 gezeigte Referenzgeschwindigkeit (gestrichelte Linie) verwendet. Das daraus resultierende berechnete Antriebsmoment ist in Abbildung 17 zu sehen (siehe die gestrichelte rote Linie). Zum Vergleich ist auch das dazugehörige gemessene Antriebsmoment dargestellt (siehe die durch-

gezogene blaue Linie), welches bereits in Abbildung 13 gezeigt wurde.

Das gemessene und das berechnete (LZI) Antriebsmoment stimmen nicht perfekt überein, wie man in Abbildung 17 erkennen kann. Vor allem beim transienten Verhalten zeigen sich teils deutliche Unterschiede.

In der Realität existieren verschiedene Einflußgrößen, durch die das Antriebsmoment einer Bogenoffsetdruckmaschine beeinflusst wird. Dazu zählen beispielsweise das Öffnen und Schließen der Bogengreifer, die Kanalschläge, die Unwuchten der Zylinder, die Heberschläge, Temperatureinflüsse, usw. (siehe [9] für einige Beispiele). All diese Einflußgrößen sind in dem hier verwendeten Rechenmodell nicht enthalten. Die Folge davon dürften die in Abbildung 17 zu sehenden Unterschiede zwischen Rechnung (LZI) und Messung sein.

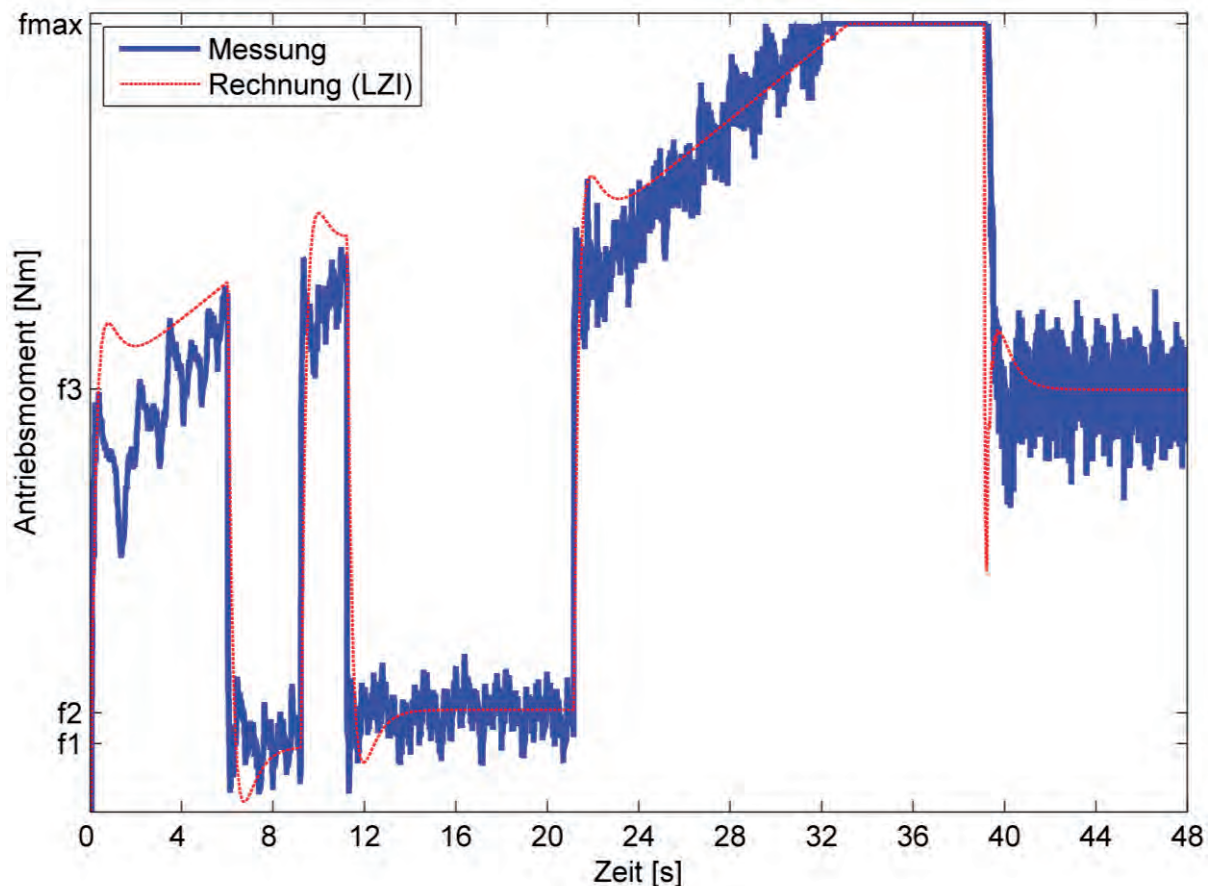


Abb. 17: Gemessenes und berechnetes (LZI) Antriebsmoment

Betrachtet man aber nicht das transiente Verhalten, sondern schaut stattdessen auf die stationären Zustände, so läßt sich dafür das folgende positive Fazit ziehen. Bei den stationären Zuständen der verschiedenen Produktionsgeschwindigkeiten (v_1, v_2, v_3) zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen berechnetem und gemessenem Antriebsmoment.

6. Berechnung der vom Antriebsriemen verursachten Drehschwingungen

Wie im vorangegangenen Abschnitt erläutert wurde, stimmen berechnetes und gemessenes Antriebsmoment bei den stationären Zuständen der verschiedenen Produktionsgeschwindigkeiten (v_1, v_2, v_3) gut überein. Folglich kann das Rechenmodell mit Antriebsregelung verwendet werden, um die vom Antriebsriemen verursachten stationären Drehschwingungen bei konstanter Produktionsgeschwindigkeit zu untersuchen. Dazu muß dann allerdings das LZV-System verwendet werden, in dem der Parameter Riemensteifigkeit harmonisch mit der Frequenz ω_{PE} variiert wird.

Die Abbildungen 18 und 19 zeigen beispielhaft Ergebnisse der Rechnungen mit einem LZV-System. Bei diesen Rechnungen wird die Maschine jeweils zunächst bis zu einer Produktionsgeschwindigkeit v beschleunigt und dann einige Zeit bei konstanter Produktionsgeschwindigkeit v betrieben. Das heißt, die Referenzgeschwindigkeit weist bei all diesen Rechnungen jeweils den rampenförmigen Verlauf auf, wie er in Abbildung 18 zu sehen ist (gestrichelte Linie). Die durchgezogene Linie in Abbildung 18 zeigt den Verlauf des Antriebsmoments, wie er sich in der Rechnung mit Antriebsregelung ergibt. Wie für das LZV-System erwartet, oszilliert das Antriebsmoment nun auch bei Zuständen konstanter Produktionsgeschwindigkeit, da der Parameter Riemensteifigkeit nicht wie beim LZI-System konstant sondern zeitvariant (zeitperiodisch) ist. Entsprechend ergeben

sich Drehschwingungen der Zylinder (z.B. $DZ6 - DZ1$).

Abbildung 19 zeigt die zu Abbildung 18 gehörenden Drehschwingungen. In Abbildung 19 sind die Differenzdrehschwingungen zwischen sechstem und erstem Druckzylinder ($DZ6 - DZ1$) dargestellt. Die auftretenden Differenzdrehschwingungen weisen ein negatives Vorzeichen auf, da der Hauptantrieb an Druckzylinder 1 sitzt, und der Räderzug der Maschine aufgrund der wirkenden Widerstandsmomente und aufgrund des Antriebsmoments wie eine elastische Feder komprimiert wird. Bei konstanter Produktionsgeschwindigkeit v wirken die bereits erwähnten Widerstandsmomente (siehe Abbildung 14). Daraus ergibt sich der statische Verspannungszustand, wie er sich im Signal $DZ6 - DZ1$ in Abbildung 19 zeigt. Diese statische Verspannung zwischen sechstem und erstem Druckzylinder beträgt für das in Abbildung 19 dargestellte Beispiel bei konstanter Produktionsgeschwindigkeit v ca. $-340 \mu\text{m}$.

Dahingegen erreicht $DZ6 - DZ1$ während der Beschleunigungsphase aufgrund der auf die Massenträgheitsmomente einwirkenden Beschleunigung Werte kleiner $-600 \mu\text{m}$. Damit wird die elastische Feder Räderzug während der Beschleunigung der Maschine deutlich stärker komprimiert als bei konstanter Produktionsgeschwindigkeit. Aber auch bei konstanter Produktionsgeschwindigkeit ist das Signal $DZ6 - DZ1$ in den in dieser Arbeit vorgestellten Rechnungen stets negativ. Damit ist der Räderzug bei den hier betrachteten Drehschwingungen jeweils deutlich verspannt, und es treten in diesem Artikel (anders als in [10]) keine Zahnflankenwechsel und auch kein Zahnflankenabheben auf. Folglich können die Rechnungen hier alle mit einem linearen Schwingungsmodell erfolgen, und es ist aufgrund des vorliegenden eindeutigen Verspannungszustands des Räderzugs nicht nötig, ein nichtlineares Schwingungsmodell mit Verzahnungsspiel einzusetzen.

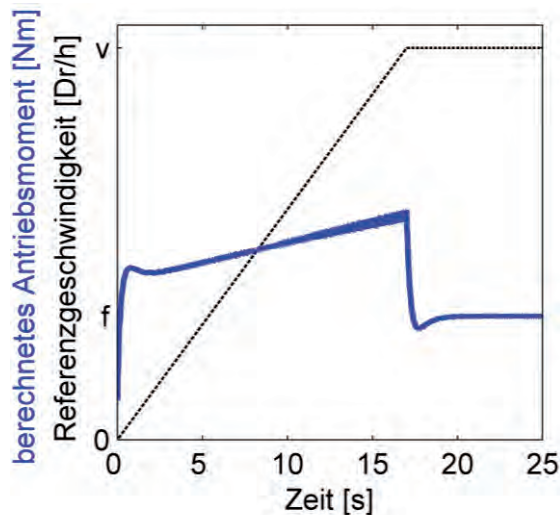


Abb. 18: Berechnetes (LZV) Antriebsmoment (durchgezogene Linie) und Referenzgeschwindigkeit (gestrichelte Linie)

Zwar gibt es im transienten Verhalten Unterschiede zwischen berechnetem und gemessenem Antriebsmoment, aber im stationären Zustand bei konstanter Produktionsgeschwindigkeit zeigen sich gute Übereinstimmungen. Deshalb wird im folgenden nur der stationäre Zustand näher betrachtet. Dies bedeutet, daß lediglich der eingeschwungene Zustand der Differenzdreheschwingungen $DZ6 - DZ1$ verwendet wird. Abbildung 20 zeigt beispielhaft den Zeitbereich 24 s bis 25 s des Signals $DZ6 - DZ1$. Dabei handelt es sich um eine harmonische Funktion der Frequenz ω_{PE} (erste Riemenumlaufordnung, Ordnung 3,24). Die Amplitude der harmonischen Differenzdreheschwingung $DZ6 - DZ1$ ist bei diesem Beispiel gleich $13,5 \mu\text{m}$.

Wie bereits erwähnt, erreichten die bei der Frequenz ω_{PE} an einer Bogenoffsetdruckmaschine gemessenen Drehschwingungsamplituden ihre maximalen Werte bei einer kritischen Produktionsgeschwindigkeit v_{krit} . Bei dieser kritischen Produktionsgeschwindigkeit v_{krit} gilt: $\omega_{PE} = \omega_1$ (Dreheigenfrequenz, die zur ersten elastischen Eigenform gehört).

Daher erfolgten LZV-Rechnungen für verschiedene Produktionsgeschwindigkeiten v in der Nähe von v_{krit} . Diese LZV-Rechnungen

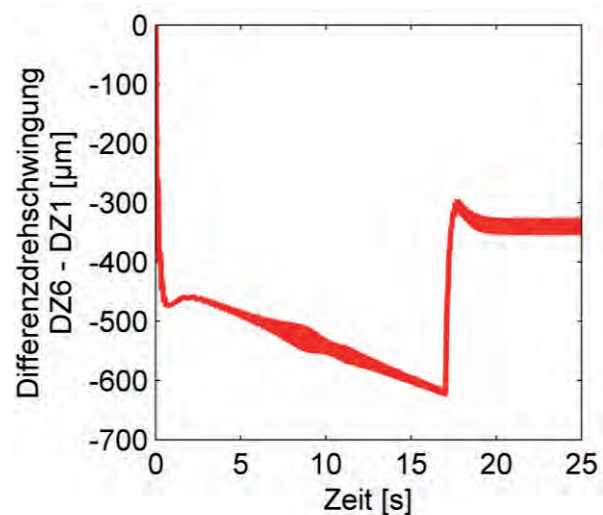


Abb. 19: Berechnete (LZV) Differenzdreheschwingung $DZ6 - DZ1$

wurden für unterschiedliche ε -Werte (Größe der Parametererregung) durchgeführt. Dabei kamen folgende Zahlenwerte für den Parameter ε zum Einsatz:

0,025, 0,05, 0,075, 0,1, 0,125, 0,15, 0,175, 0,2

Diese verwendeten ε -Werte sind allesamt deutlich kleiner als die ε -Werte in Abbildung 10 (numerische Stabilitätsanalyse). Auch bei sehr schwacher Dämpfung traten Instabilitäten nur für sehr große ε -Werte ($\varepsilon > 0,7$) auf.

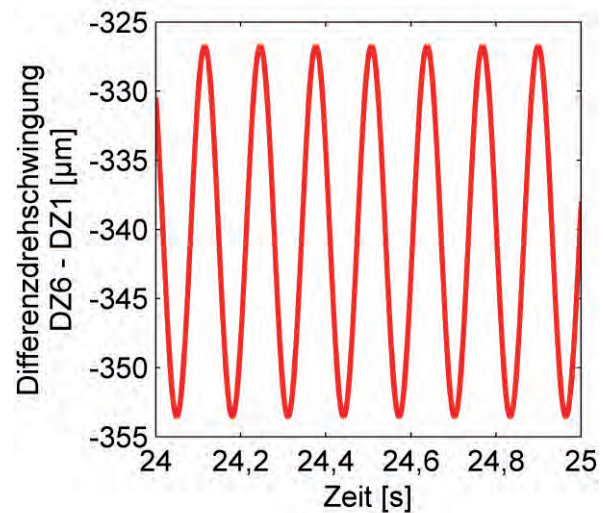


Abb. 20: Berechnete (LZV) Differenzdreheschwingung $DZ6 - DZ1$ (letzte Sekunde)

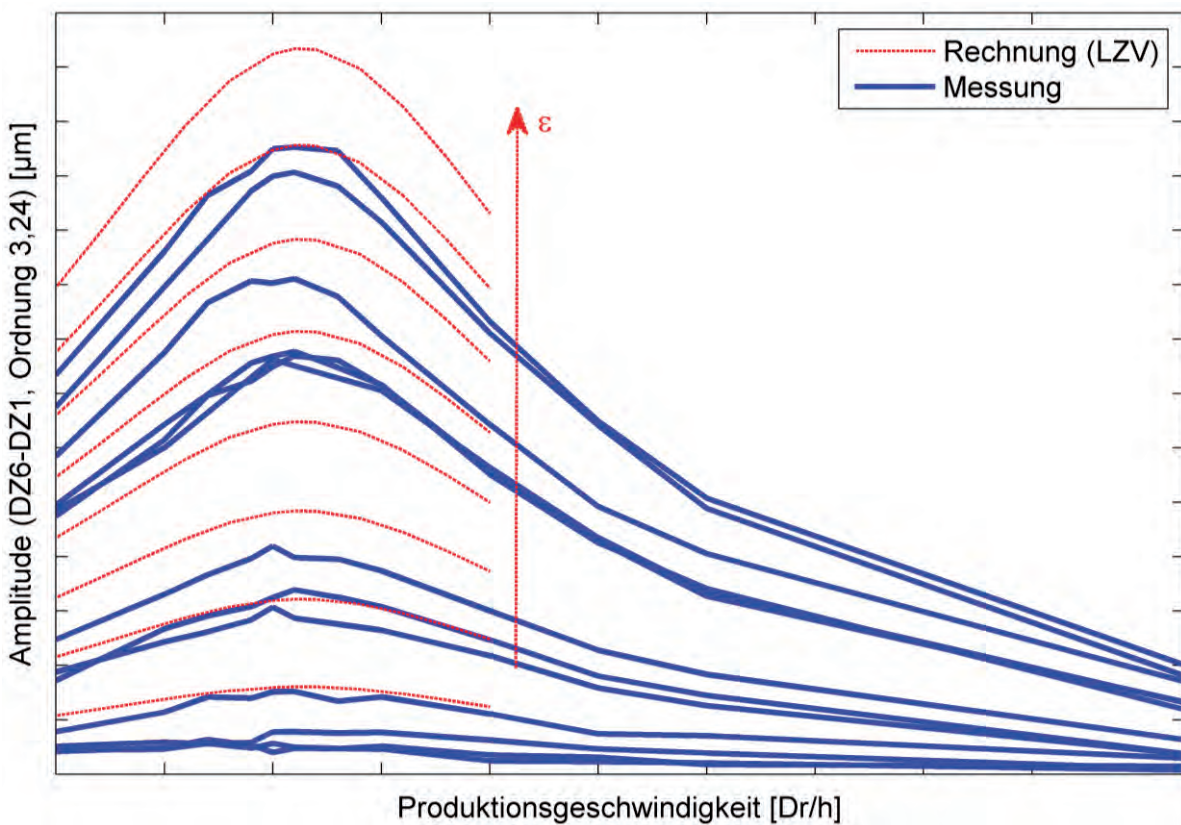


Abb. 21: Berechnete (LZV) und gemessene Differenzdreherschwingungsamplituden (DZ6 – DZ1) bei der Frequenz ω_{PE} der Parametererregung

Es läßt sich durch Vergleiche von Messung und Rechnung zeigen (siehe Abbildung 21), daß schon relativ kleine ε -Werte ($\varepsilon = 0,025 \dots 0,175$) ausreichen, um Differenzdreherschwingungsamplituden in der Größe der Meßwerte zu erzeugen.

Bei jeder Rechnung wurde wie erläutert zunächst das Erreichen des stationären (eingeschwungenen) Zustands abgewartet. Anschließend wurde mittels schneller Fourier Transformation (fast Fourier transform, FFT), die Amplitude der Differenzdreherschwingung DZ6 – DZ1 bei der Frequenz ω_{PE} der Parametererregung ermittelt. Das Ergebnis ist in Abbildung 21 zu sehen. Die durchgezogenen Linien in Abbildung 21 repräsentieren Meßwerte, die bereits in Abbildung 5 gezeigt wurden. Die gestrichelten Linien in Abbildung 21 entstammen wie beschrieben den LZV-Rechnungen. Gemessene und simulierte Amplitudenverläufe stimmen teilweise sehr gut überein.

Zwischen ε (Größe der Parametererregung) und den in den Rechnungen maximal auftretenden Differenzdreherschwingungsamplituden (DZ6 – DZ1) bei der Frequenz ω_{PE} gibt es einen linearen Zusammenhang (Bestimmtheitsmaß: $R^2 = 99,97 \%$).

7. Zusammenfassung und Schlußfolgerung

In dieser Arbeit werden parametererregte Dreherschwingungen in Bogenoffsetdruckmaschinen analysiert. Nach einer Einleitung erfolgt zunächst eine kurze Literaturübersicht. Dann werden verschiedene experimentelle Ergebnisse vorgestellt. Dabei handelt es sich um gemessene Dreherschwingungen, die vom Antriebsriemen verursacht werden. Zwölf verschiedene Antriebsriemen wurden hierfür in einem Prüfstand und in einer Bogenoffsetdruckmaschine getestet. Einige Antriebsriemen führen zu großen Dreherschwingungsamplituden. Dies hat deutlich sichtbare

und damit inakzeptable Rhythmen im Druck zur Folge. Größte Drehschwingungsamplituden treten bei Produktionsgeschwindigkeiten auf, bei denen die Frequenz der Parametererregung (Frequenz der ersten Riemenumlaufordnung) der ersten Dreieigenfrequenz (erste elastische Eigenform) der untersuchten Maschine entspricht.

Ausgehend von einem linearen zeitinvarianten Rechenmodell mit 19 Drehfreiheitsgraden wird ein lineares zeitvariantes System betrachtet, indem der Parameter Riemensteifigkeit harmonisch mit der Frequenz ω_{PE} variiert wird. Mit diesem Modell erfolgt zunächst eine numerische Stabilitätsanalyse. Für einen Beispielfall sehr schwacher Dämpfung werden die Instabilitätsbereiche ermittelt. Bei der in dieser Arbeit verwendeten Methode kann mit Hilfe der Eigenwerte der sogenannten Monodromie-Matrix berechnet werden, für welche Werte von ε (Größe der Parametererregung) und ω_{PE} (Frequenz der Parametererregung) das dynamische System instabil ist.

Das Rechenmodell wird schließlich um ein Modell der Antriebsregelung erweitert, und verschiedene Meßdaten erlauben die Bestimmung der Dämpfungsparameter des dynamischen Systems.

Die gemessenen parametererregten Drehschwingungen können dann mit einem Rechenmodell (lineares zeitvariantes System) mit Antriebsregelung nachvollzogen werden. Ein Vergleich von berechneten und gemessenen Drehschwingungsamplituden zeigt sehr gute Übereinstimmungen.

Aus den vorgestellten Rechenergebnissen kann man die Schlußfolgerung ziehen, daß die reale Maschine nicht instabil wird, da zum einen die modalen Dämpfungsgrade relativ hoch sind, und zum anderen die Größe der Parametererregung relativ klein ist.

Der vorliegende Artikel zeigt experimentelle und rechnerische Ergebnisse für eine Bogen-

offsetdruckmaschine des Typs Speedmaster XL 162-6+L. Dabei handelt es sich um den Maschinentyp mit dem derzeit größten Plattenzylinderdurchmesser (485,4 mm), der bei Bogenoffsetdruckmaschinen der Heidelberger Druckmaschinen AG produziert wird. Es erscheint daher sinnvoll, in zukünftigen Arbeiten die hier betrachteten parametererregten Drehschwingungen für verschiedene Maschinentypen zu untersuchen und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen (Plattenzylinderdurchmesser 180 mm ... 485,4 mm, unterschiedliche Riemenscheibendurchmesser, verschiedene Riemenprofile, usw.).

Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich auch mit der Untersuchung von Querschwingungen des Antriebsriemens beschäftigen. Hierfür erscheinen sowohl meßtechnische Analysen als auch eine verfeinerte Modellierung des Riemens sinnvoll. Die Motivation für diese Untersuchung der Riemenquerschwingungen ergibt sich aus [5]. Dresig beschreibt nämlich in [5] einen Antriebsriemen durch gekoppelte nichtlineare partielle Differentialgleichungen der Längs- und Querschwingungen eines längsbewegten Euler-Bernoulli-Balkens.

Literaturverzeichnis

- [1] Bischoff, S.: Schwingungsanregung von Druckmaschinen durch den Rientrieb. Heidelberger Druckmaschinen AG, Praktikumsbericht, 22 Seiten, 2008.
- [2] Buck, B., Knopf, E., Schreiber, S., Seidler, M.: Nichtlineare Schwingungsphänomene in Bogenoffsetdruckmaschinen. In VDI-Berichte Nr. 1887, VDI-Schwingungstagung, Leonberg, 26.-27. April 2005, S. 345-361, Düsseldorf: VDI-Verlag, 2005.
- [3] DIN 7867 Keilrippenriemen und -scheiben (V-ripped belts and corresponding pulleys). DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 7 Seiten, Juni 1986.

- [4] Dohnal, F., Verhulst, F.: Averaging in quenching vibrations by parametric stiffness excitation. *Nonlinear Dynamics* 54 (2008), S. 231-248, 2008.
- [5] Dresig, H.: Schwingungen mechanischer Antriebssysteme: Modellbildung, Berechnung, Analyse, Synthese. Springer-Verlag, Berlin, 438 Seiten, 2001.
- [6] Dresig, H., Holzweißig, F.: Maschinendynamik. Springer-Verlag, Berlin, 10. Auflage, 554 Seiten, 2011.
- [7] Ecker, H., Pumhössel, T.: Parametric excitation of a rotor system due to a periodic axial force. 7th European Nonlinear Dynamics Conference ENOC 2011, Rome, 2011, 6 Seiten, 2011.
- [8] Gross, D., Hauger, W., Schröder, J., Wall, W. A., Govindjee, S.: Engineering Mechanics 3, Dynamics. Springer-Verlag, Berlin, 359 Seiten, 2011.
- [9] Messer, M.: Schwingungen in Bogenoffsetdruckmaschinen: Ergebnisse experimenteller und rechnerischer Drehschwingungsanalysen. Jahrbuch 2011 des Vereins Deutscher Druckingenieure e.V., S. 59-70, 2011.
- [10] Messer, M.: Bestimmung von Verzahnungssteifigkeit und -spiel aus Meßdaten nichtlinearer Drehschwingungen in Bogenoffsetdruckmaschinen. Jahrbuch 2012 des Vereins Deutscher Druckingenieure e.V., S. 59-74, 2012.
- [11] Nöll, M.: Kompensation diskreter Drehschwingungen bei Bogenoffsetdruckmaschinen. Dissertation, TU Darmstadt, 145 Seiten, 2004.
- [12] Rand, R.: Lecture Notes on Nonlinear Vibrations. Dept. Theoretical & Applied Mechanics, Cornell University, Ithaca, NY, USA, 153 Seiten, 2005.
- [13] Sauer, B.: Stationäre Schwingungen von Keilriementrieben im Frequenzbereich bis 240 Hz. Dissertation, VDI-Verlag, Düsseldorf, 152 Seiten, 1988.
- [14] Wölfel, H. P.: Umdruck zur Vorlesung Maschinendynamik. TU Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau, Fachgebiet Maschinendynamik, 418 Seiten, WS 2005/2006.
- [15] Zschieschang, T.: Schwingungsanalyse an Maschinen mit ungleichförmig übersetzenden Getrieben. Dissertation, TU Chemnitz, 127 Seiten, 2000.

Micha Güdel, BSc Maschinentechnik, Burgdorf CH

Simulation eines Druckkopfes für leitfähige Medien



Geboren 1990 in Burgdorf (Schweiz), 1996 - 2005 Primar- / Sekundarschule in Burgdorf, 2005 - 2009 Berufslehre zum Polymechaniker mit Berufsmatura in Bern, 2009 - 2012 Studium der Maschinentechnik (BSc) an der Berner Fachhochschule (BFH) in Burgdorf, Verleihung des Müller-Martini-Preises für den besten Abschluss 2012 sowie des Studienpreises der Otto-Wirz-Stiftung und des Harry-M.-Greiner-Preises des VDD für die Bachelorthesis, seit 2012 Assistent am Institut für Drucktechnologie der BFH in Burgdorf.

Einleitung

Unter dem Stichwort „Functional Printing“ werden zukunftsgerichtete, nicht grafische, Anwendungen der Drucktechnologie zusammengefasst. Heutzutage können damit z.B. elektrische Schaltungen oder 3-dimensionale Objekte hergestellt werden. Zum Drucken von solchen funktionalen Strukturen sind oftmals elektrisch leitende Tinten notwendig. Herkömmliche Piezodruckköpfe sind dafür nur bedingt einsetzbar. Schwierigkeiten bereiten hauptsächlich die Temperaturempfindlichkeit und die benötigte elektrische Abschirmung der Piezoelemente. Es ist auch ein grosser Nachteil, dass der Feststoffanteil und die Partikelgrösse der üblichen Piezodruckköpfe stark limitiert ist.

Funktionsprinzip / Vorgehen

In dieser Bachelor-Arbeit wurde deshalb ein alternatives Konzept für den Aufbau eines solchen Druckkopfs simuliert und getestet. Das Funktionsprinzip basiert auf der Lorentzkraft. Dies ist die Kraft, die auf eine bewegte Ladung im Magnetfeld wirkt. Mittels Kupferelektroden wird ein elektrischer Strom in ein elektrisch leitfähiges Fluid eingeleitet. Durch ein senkrecht dazu gerichtetes Magnetfeld kommt es zu einer Kraftwirkung auf das Fluid, wel-

ches dadurch aus einer Düse ausgestossen wird. Die Richtung der Lorentzkraft folgt dabei der Rechten-Hand-Regel, wenn die technische Stromrichtung (Plus- zu Minuspol) betrachtet wird. Vergleiche dazu Abbildung 1. Der Betrag der auf das Fluid wirkenden Kraft ergibt sich als Produkt der Stromstärke I , der magnetischen Flussdichte B und der stromdurchflossenen Länge im Magnetfeld l .

$$F_L = I \cdot B \cdot l \quad (1)$$

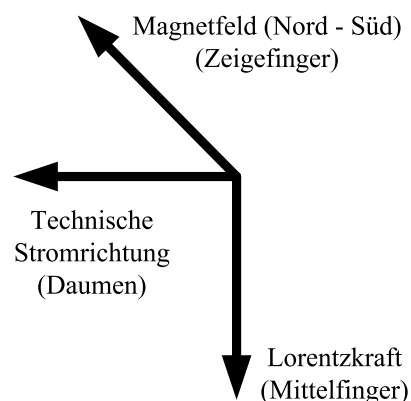


Abbildung 1: Rechte-Hand-Regel

Ein entscheidender Vorteil dieses Prinzips ist, dass es für hohe Temperaturen geeignet ist. Dadurch wäre ein solcher Druckkopf geeignet, um zum Beispiel geschmolzene Metalle

zu drucken. Ein weiterer Pluspunkt ist, dass der Aufbau ohne bewegliche Teile auskommt und dadurch weitgehend verschleissfrei und störungsunanfällig ist.

Das Ziel dieser Arbeit bestand einerseits im Nachweis der Machbarkeit eines Druckkopfs nach dem Lorentzkraft-Prinzip und andererseits im Untersuchen der physikalischen Zusammenhänge mittels Simulationen und Vergleichsrechnungen. Als erster Schritt wurde dazu ein Funktionsmuster konstruiert, mit welchem im Verlauf der Arbeit Tests und Messungen durchgeführt werden konnten. Mithilfe der Simulationssoftware Comsol Multiphysics wurden Simulationsmodelle aufgebaut, welche die Effekte aus der Magnetik, Elektronik und Fluidik abbilden. Parallel dazu wurden Vergleichsrechnungen zur Verifikation durchgeführt.

Funktionsmuster

Um die prinzipielle Funktionsfähigkeit eines Druckkopfs nach dem Lorentzkraft-Prinzip zu zeigen und um die Simulationen mit Messungen zu validieren, wurde ein Funktionsmuster konstruiert und gebaut. Das gesamte Funktionsmuster ist in Abbildung 2 gezeigt, der prinzipielle Aufbau des Ausstosskanals dann in Abbildung 3. Der Ausstosskanal wird durch zwei zwischen PMMA-Platten eingeklemmte Kupferelektroden geformt. Das benötigte Magnetfeld wird durch NdFeB-Permanentmagneten erzeugt und mittels eines Jochs (aus S235JRG2) zum Ausstosskanal geleitet.

Simulation

Mithilfe der Simulationssoftware Comsol Multiphysics wurden gekoppelte Simulationsmodelle des Funktionsmusters erstellt, um die physikalischen Zusammenhänge abzubilden und zu untersuchen. In den stationären Simulations-

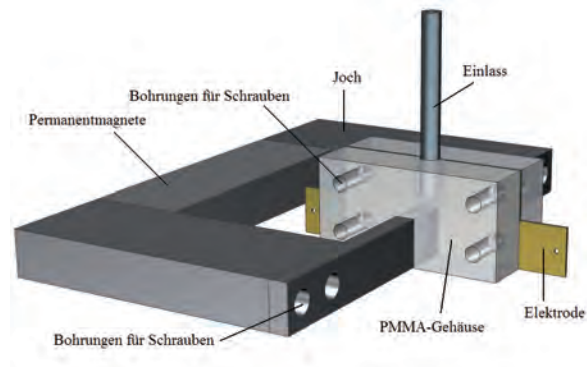


Abbildung 2: CAD-Modell des Funktionsmusters

modellen wurden Einflüsse aus der Elektronik, Magnetik und Fluidik berücksichtigt. Folgende Grundgleichungen liegen der Simulation zugrunde:

- Die Erhaltung der elektrischen Ladung (Stromerhaltungssatz)

$$\nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad (2)$$

beschreibt, dass die elektrische Ladung erhalten bleibt.

- Das Durchflutungsgesetz (Ampèresches Gesetz)

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \quad (3)$$

besagt, dass jeder elektrische Strom ein Magnetfeld hervorruft.

- Das ohmsche Gesetz

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (4)$$

beschreibt den Zusammenhang zwischen dem elektrischen Feld $\vec{E}$ und der Stromstärke $\vec{J}$ durch die elektrische Leitfähigkeit σ .

- Einführung des elektrischen Feldes $\vec{E}$

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (5)$$

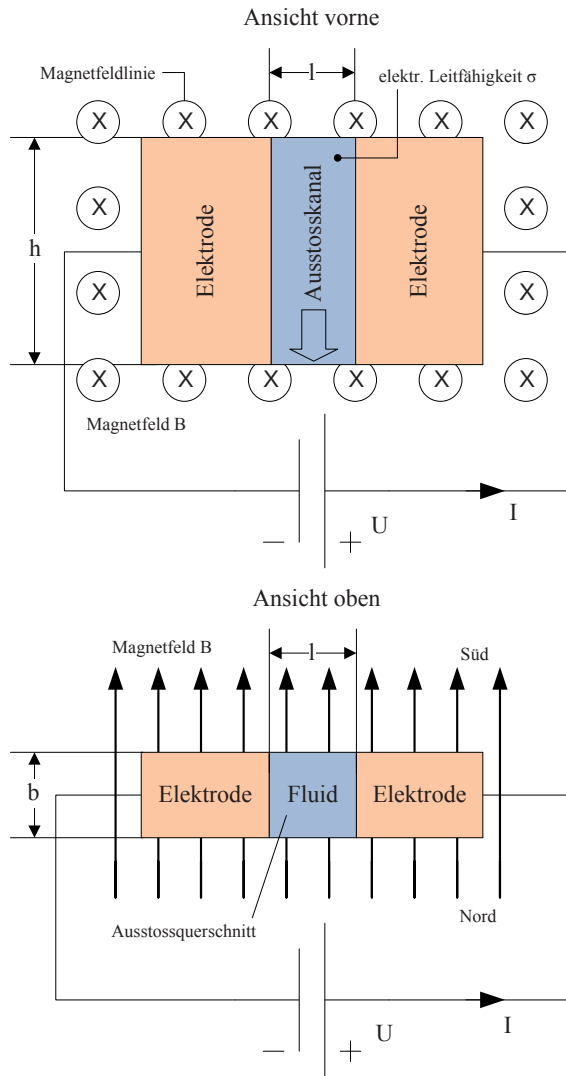


Abbildung 3: Aufbau des Funktionsmusters

- Einführung der magnetischen Flussdichte $\vec{B}$ durch das magnetische Vektorpotential $\vec{A}$

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \quad (6)$$

- Beschreibung der Fluidik durch die Navier-Stokes-Gleichung für inkompressible Strömungen und der Kontinuitätsbedingung. Dabei ist F_{vol} die durch den Lorentzeffekt bewirkte Volumenkraft auf das Fluid (unter Vernachlässigung der Gravi-

tation).

$$\rho (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = F_{vol} - \nabla p + \mu \cdot \Delta \vec{u} \quad (7)$$

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (8)$$

Die Geometrie konnte dabei direkt vom CAD-Modell des Funktionsmusters in Comsol übernommen werden. Um die Magnetik abzubilden, wurde die B-H-Kurve des verwendeten Joch-Materials hinterlegt und die umgebende Atmosphäre abgebildet. Die benötigten Rand- und Startbedingungen wurden definiert und das Modell anschliessend vernetzt. Die Vernetzung des gesamten Modells ist in Abbildung 4 gezeigt.

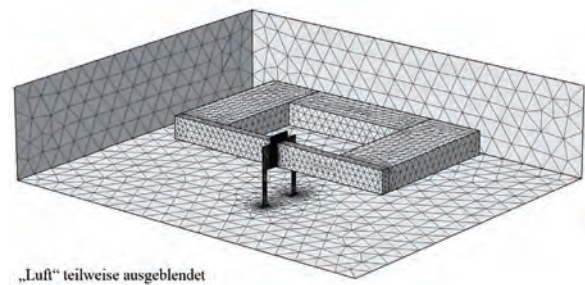


Abbildung 4: Vernetzung des Modells in Comsol (aufgebrochene Ansicht)

Die mit diesem Modell simulierte Lorentz-Volumenkraft auf das Fluid ist auf Abbildung 5 dargestellt. Die dargestellte Simulation erfolgte für eine Anordnung mit einer elektrischen Spannung von $U = 35$ V und einer stromdurchflossenen Länge von $l = 0.3$ mm.

Die sich daraus ergebende Ausstosseschwindigkeit und der Druckverlauf bei diesem Zustand sind in Abbildung 6 verbildlicht.

Die wichtigsten physikalischen Zusammenhänge lassen sich mit vernünftigem Aufwand auch analytisch beschreiben. So konnten die Simulationsmodelle mittels Vergleichsrechnungen mit Formel 1, dem Ohmschen Gesetz und der Bernoullischen Energiegleichung verifiziert werden. Als einfach zu messende Vergleichsgrösse lohnt sich die Einführung des

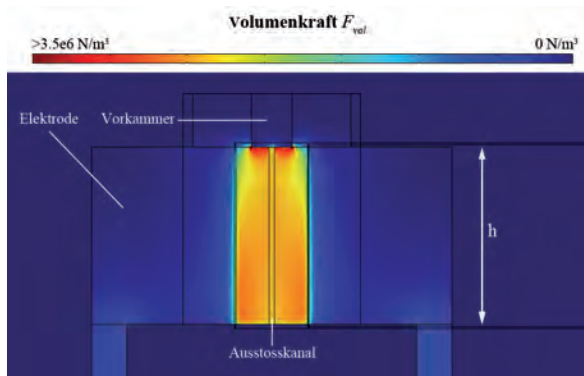


Abbildung 5: Simulierte Volumenkraft auf das Fluid

Pumpendruck p_p . Gemeint ist damit der durch die Lorentzkraft über dem Ausstosskanal aufgebaute maximale Druck bei verschlossener Düse (kein Durchfluss). Dies bedeutet:

$$p_p = \frac{F_L}{l \cdot b} = |\vec{F}_{vol}| \cdot h \quad (9)$$

Da sich die Richtung der Lorentzkraft durch Umkehren der Stromrichtung sehr einfach wechseln lässt, war es von Interesse, den Einfluss eines solchen Rückzugseffektes auf die Tropfenablösung zu untersuchen. In einem separaten Modell wurde dies deshalb mittels Zweiphasenströmungssimulation betrachtet. Ausgegangen wurde von einem Betrieb des Funktionsmusters mit 5-ms-Spannungspulsen. Hauptaugenmerk lag bei diesem Modell weniger auf einer möglichst exakten Simulation der Tropfenform, sondern darauf, dass Einflüsse unterschiedlicher Pulsformen der Ansteuerung auf die Tropfenablösung untersucht werden können. Die Simulation erfolgte mit der Level-Set-Methode. Es konnte gezeigt werden, dass sich durch die Umkehr der Stromrichtung am Ende eines Dosierpulses die Tropfenablösung wesentlich verbessern und beschleunigen lässt. Vergleiche dazu Abbildung 7.

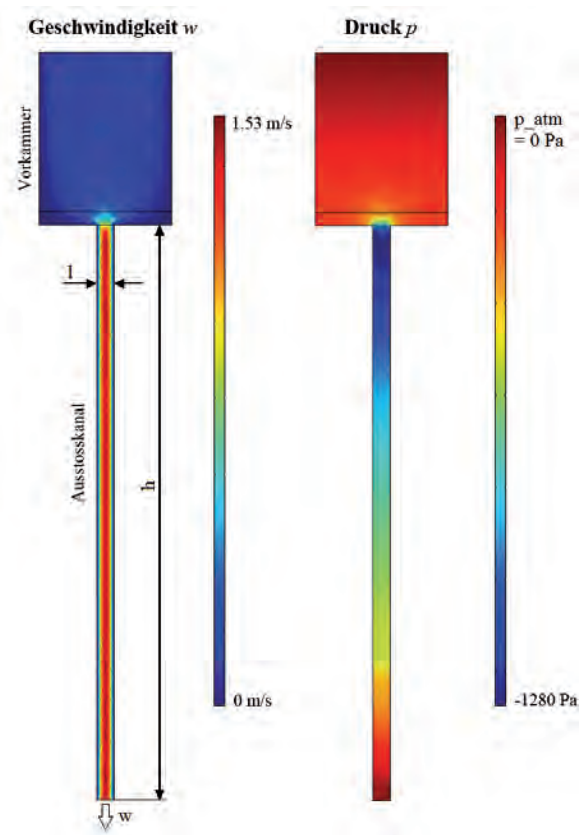


Abbildung 6: Simulierter Geschwindigkeits- und Druckverlauf im Ausstosskanal

Messungen

Durch Messungen am Funktionsmuster konnten die Parameter magnetische Flussdichte, Strom, Druck und Volumenstrom bestimmt und der Nachweis der Funktionsfähigkeit erbracht werden. Das Funktionsmuster wurde mit 50%iger Phosphorsäure als kostengünstiges Testfluid betrieben. Diese besitzt eine gute elektrische Leitfähigkeit und ist elektrochemisch stabiler als beispielsweise eine Kochsalzlösung. Die Abmessungen des Ausstosskanals des verwendeten Funktionsmusters betrugen dabei $0.6 \times 0.6 \times 10 \text{ mm}$. Angeregt wurde es mit 5-ms-Spannungspulsen von 35 V.

Mit dieser Anordnung war es möglich, einzelne Tropfen zu dosieren. Aufgrund elektrochemischer Prozesse wie Polarisation und Gas-

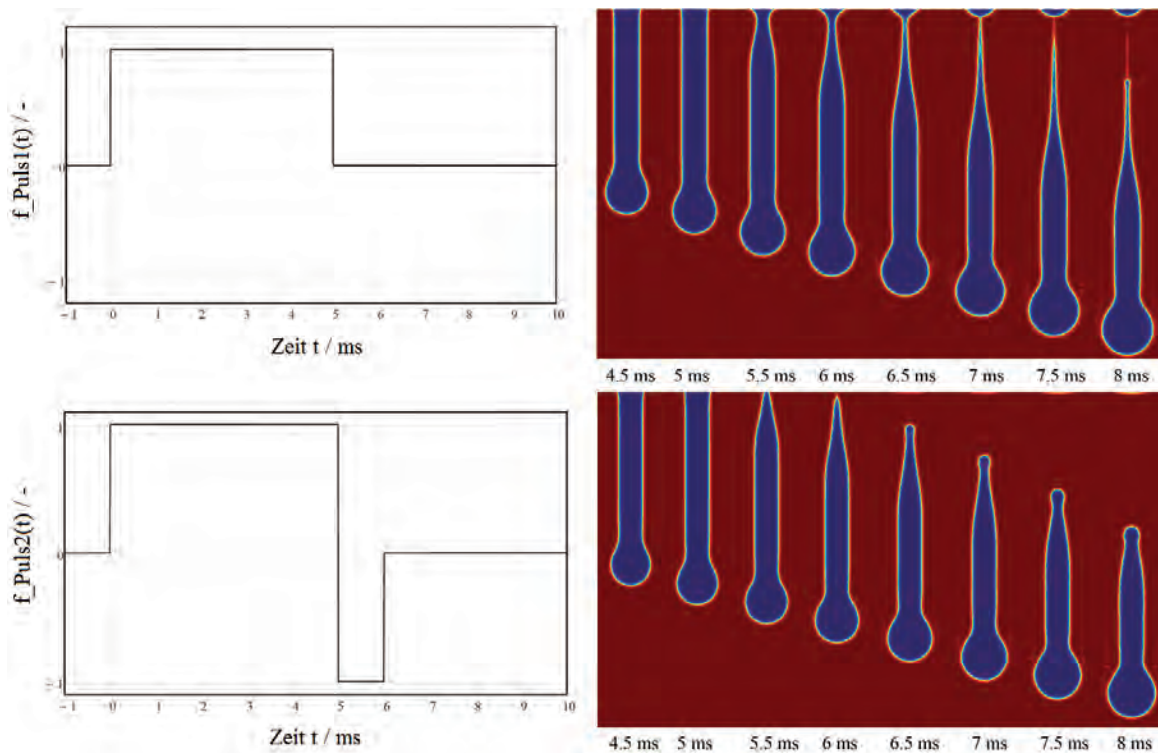


Abbildung 7: Simulierte Tropfenablösung für zwei unterschiedliche Pulsformen der Ansteuerung

bildung unter Elektrolyse stellte sich aber kein stationäres Verhalten ein. Der maximal erzeugte Druck an der Düse lag bei 0.14 bar. Auf Abbildung 8 ist ein typischer Stromfluss- und Pumpendruckverlauf dargestellt. Über einen 5-ms-Puls nimmt der Strom I über die Zeit deutlich ab. Dies führt gemäss Formel 1 zu einer kleineren Lorentzkraft und erklärt den Verlauf des gemessenen Pumpendrucks p_p . Das über mehrere Tropfen gemittelte Tropfenvolumen lag bei $0.63 \mu\text{l}$.

Validation

In Tabelle 1 werden die Ergebnisse aus den Messungen und der Simulation miteinander verglichen. Die Werte liegen in derselben Größenordnung und stimmen in Anbetracht der in der Simulation nicht berücksichtigten elektrochemischen Prozesse gut überein. Einzig beim mittleren Durchfluss kommt es zu grösseren

Abweichungen, welche sich aber durch die besagten Effekte erklären lassen.

Optimierungen / Weiteres Vorgehen

Angesichts des grossen Einflusses der elektrochemischen Prozesse wäre deren Berücksichtigung in der Simulation sicherlich von Interesse. Dies hätte aber den Rahmen der Arbeit gesprengt. Zudem ist das zukünftige Anwendungsgebiet noch nicht definiert. Wenn auch weiterhin mit Ionenleitern, wie es die Phosphorsäure ist, gearbeitet wird, macht eine Untersuchung dieser Effekte sicherlich Sinn. Wenn hingegen Elektronenleiter, wie es zum Beispiel geschmolzene Metalle sind, zum Einsatz kommen, würden die besagten Effekte nicht auftreten. Weiter bietet sich die Konstruktion eines optimierten Funktionsmodells an. Ein vorrangiges Ziel sollte dabei sicherlich die Erhöhung

Spannung, Strom und Pumpendruck mit dem 0.6-mm-Funktionsmuster bei einem 5-ms-Puls mit Phosphorsäure und $U = 35\text{ V}$

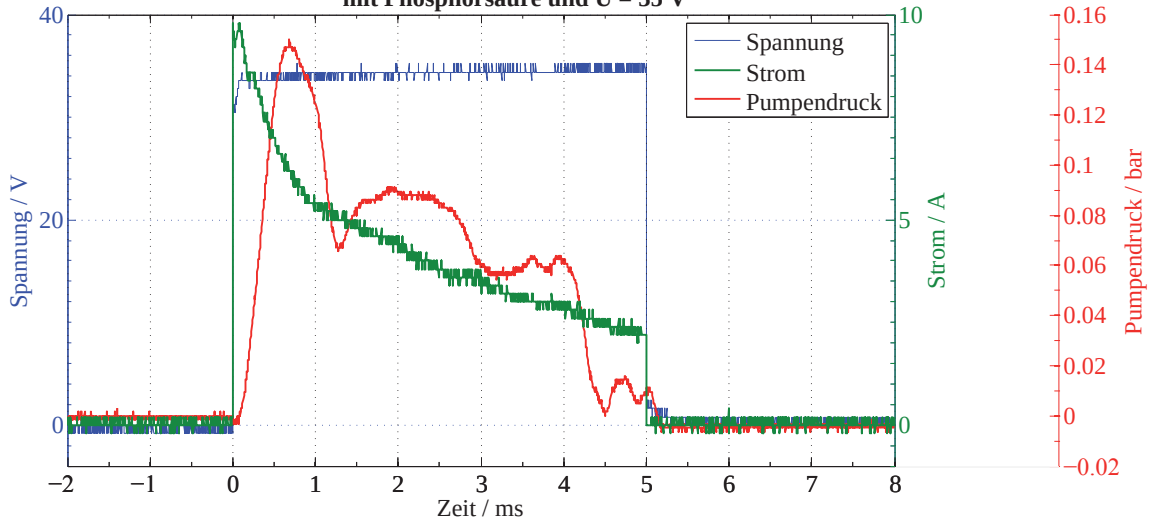


Abbildung 8: Gemessener Strom- I und Pumpendruckverlauf p_p eines Dosierpulses

Tabelle 1: Vergleich von Simulation und Messung

Parameter	Messung	Simulation
Magnetische Flussdichte B (Vergrößerte Luftspaltbreite)	0.51 T	0.72 T
Strom I	9.4 - 2.2 A	7.6 A
Max. Pumpendruck p_p	0.144 bar	0.166 bar
Mittlerer Durchfluss Q	0.127 ml/s	0.560 ml/s

der magnetischen Flussdichte über dem Ausstosskanal sein. Dadurch liesse sich der Lorentzeffekt verstärken, ohne die unerwünschten elektrochemischen Prozesse zu intensivieren. Erste Lösungsansätze dafür wurden in der Arbeit bereits angedacht. Ebenfalls sollten Tests mit anderen Pulsdauern der Ansteuerung und anderen Betriebsfluiden durchgeführt werden.

zesse wie Elektrolyse und Polarisation das Verhalten des Funktionsmusters massgeblich beeinflussen. Unter Nichtberücksichtigung dieser Effekte konnte dessen Verhalten mittels Multiphysics-Simulationen zuverlässig simuliert werden. Weiter konnte durch Zweiphasenströmungssimulationen gezeigt werden, dass sich das Tropfenverhalten durch eine geschickte Ansteuerung positiv beeinflussen lässt.

Zusammenfassung

Im Rahmen der Bachelor-Thesis konnte die prinzipielle Funktionsfähigkeit eines Druckkopfes nach dem Lorentzkraft-Prinzip mittels des Funktionsmusters gezeigt werden. Es stellte sich aber heraus, dass beim Betrieb mit 50%iger Phosphorsäure elektrochemische Pro-

Berner Fachhochschule
Institut für Drucktechnologie
Karl-Heinz Selbmann
Pestalozzistrasse 20
CH - 3400 Burgdorf
+41 34 426 43 29
www.drucktechnologie.ch

Prof. Dr. Kurt Schläpfer

Geschichte der frequenzmodulierten Rasterung



Prof. Dr. Kurt Schläpfer studierte Chemie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich und leitete später während fast 20 Jahren die Abteilung Reproduktion/ Drucktechnik an der Empa St. Gallen. In dieser Funktion war er auch für die Koordination sämtlicher Projekte der Forschungsgemeinschaft Ugra zuständig. Ferner war er während 18 Jahren Dozent für Technologie an der Hochschule St. Gallen. Während sechs Jahren amtierte Prof. Schläpfer als Vorsitzender der Internationalen Vereinigung der grafischen Forschungsinstitute (Iarigai). Er ist Verfasser von über 200 Publikationen auf dem Gebiet der Druck- und Reproduktionstechnik. Seit 2001 lebt Prof. Schläpfer im Ruhestand.

Wenn man die Geschichte der frequenzmodulierten (FM) Rasterung erzählen will, besteht die Herausforderung darin, das etwas komplexe Thema auch für Leser zu erschließen, die nicht Fachleute auf diesem Gebiet sind. Die Motivation des Autors, diesen Beitrag zu schreiben, ist darin begründet, dass er vor über 20 Jahren selbst an der Entwicklung eines FM-Rasterprogramms (Velvet Screen) beteiligt war und daher die Aktivitäten auf diesem Gebiet stets mit Aufmerksamkeit verfolgt hat.

Es begann bei Prof. Scheuter in Darmstadt

Prof. Karl R. Scheuter, damals Leiter des Instituts für Druckmaschinen und Druckverfahren an der Technischen Hochschule Darmstadt, kann für sich in Anspruch nehmen, dass

er den Begriff der Frequenzmodulation erstmals im Zusammenhang mit der Wiedergabe von Druckbildern verwendet hat. Darüber hinaus liess er im Rahmen einer Dissertation eine Lösung ausarbeiten, wie man zu einem frequenzmodulierten Bildaufbau gelangt. Auf der Homepage des heutigen Instituts liest man dazu folgendes:

Karl R. Scheuter interessierte stets – und so auch in der Drucktechnik – das Grundsätzliche. Seine mehr als zwanzig Jahre währende Tätigkeit als Leiter des Fachgebiets für Druckmaschinen und Druckverfahren an der TH Darmstadt ist vor allem verbunden mit dem sogenannten frequenzmodulierten Rastern, bei dem das bis dahin übliche Raster-Prinzip „variable Punktgrösse bei festem Punktabstand“ umgekehrt wird zu dem Prinzip „feste Punktgrösse bei variablem Punktabstand“.



Abbildung 1: Sechsfache Vergrösserung eines Bildausschnitts: Rechts konventionelle Rasterung mit 60 L/cm, links FM-Bildaufbau mit einer Punktgrösse von 20 Mikron. Der Unterschied besteht nicht nur im Rasterprinzip, sondern vor allem auch darin, dass der FM-Bildaufbau mit sehr viel kleineren Punkten realisiert wird.

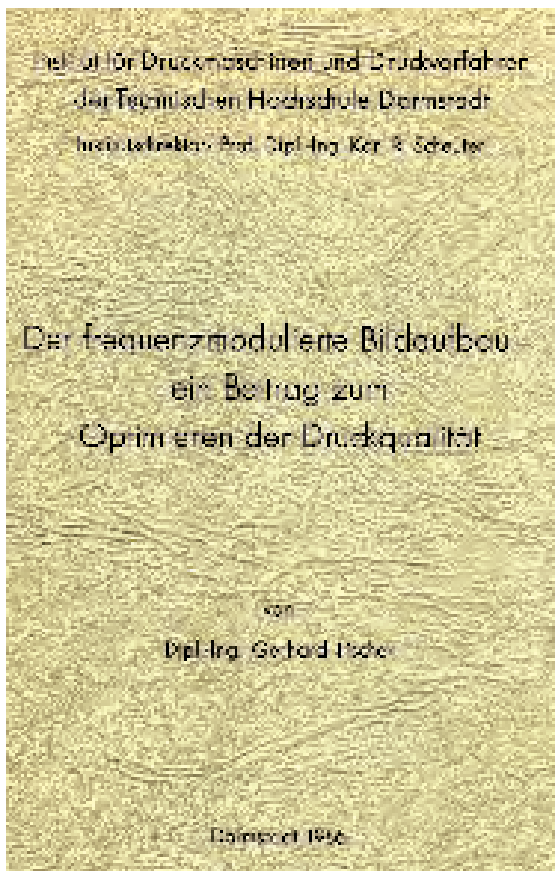


Abbildung 2: Diese Dissertation war der Ausgangspunkt für die FM-Rasterung in der grafischen Industrie

Das Prinzip der frequenzmodulierten Rasterung ist im obigen Zitat sehr verständlich erklärt (siehe auch Abb. 1). Der damalige Doktorand auf diesem Thema hiess Gerhard Fischer. Seine Dissertation wurde 1986 publiziert (Abb. 2). Es zeugt von Prof. Scheuters Weitblick, dass er aber schon 1979 ein Deutsches Patent angemeldet hat, das den FM-Bildaufbau als Erfindung beschreibt. Das Patent wurde im Januar 1983 unter der Nummer DE 2931098 erteilt. Es folgten dann weitere Patente für den EU-Raum und die USA. Da die Firma Dr.-Ing Rudolf Hell GmbH in Kiel dieses Projekt damals förderte, ist diese Firma stets auch als Patentinhaberin aufgeführt. Die Idee des FM-Bildaufbaus beschäftigte Prof. Scheuter eigentlich schon früher, aber erst ab Mitte der 1970er Jahre sah er auch die technischen Voraussetzungen

für eine Umsetzung dieser Idee als gegeben, indem hochauflösende Filmbelichter und einigermaßen schnelle Prozessrechner verfügbar waren. Der Autor dieses Beitrags darf anfügen, dass er schon 1983 Einblick in die Dissertation von Gerhard Fischer erhielt, da dieser den Autor gebeten hat, mikrodensitometrische Messungen an FM-gerasterten Bildern durchzuführen.

Der lange Weg zu einer ersten kommerziellen Lösung

Man hätte erwarten können, dass die Firma Hell GmbH spätestens nach Abschluss der Dissertation die Patente kommerziell auswertet und ein entsprechendes FM-Rasterprogramm auf den Markt bringt. Die Voraussetzung dazu, nämlich ein hochauflösender Filmbelichter, war bei der Firma Hell GmbH mit dem Gerät ChromaGraph DC 300 ER schon seit 1973 vorhanden. Ein Problem stellten jedoch die langen Rechenzeiten dar, die zur Rasterung der FM-Bilder benötigt wurden. Das Programm beinhaltete zu viele Rechenbefehle für die Rechner der damaligen Zeit. Der Autor dieses Artikels kann dieses Problem mehr als nachvollziehen: Bei der Entwicklung des FM-Rasters Velvet Screen, dessen Programm sicher weniger Rechenbefehle enthielt als jenes von Prof. Scheuter und Gerhard Fischer, ergaben sich zuerst auch sehr lange Rechenzeiten. Der Schreibende stiess dann auf einen Fachmann, der darauf spezialisiert war, solche Programme schneller zu machen. Eine erste Neuprogrammierung ergab eine Verkürzung der Rechenzeit um etwa einen Faktor 20. Der betreffende Programmierer offerierte aber eine weitere Verkürzung der Rechenzeit, wenn bestimmte Rechenbefehle vereinfacht oder weggelassen würden. Mit diesem Aspekt hätten sich vielleicht auch die Spezialisten bei der Firma Hell GmbH befassen müssen, was aber offenbar nicht der Fall war. Als Konsequenz stellte die Firma Hell GmbH ihre Arbeiten zur Vermarktung dieses Programms ein. Zu erwähnen ist, dass vor 1990 die Vor-

teile und Möglichkeiten der FM-Rasterung in der Fachwelt noch nicht sehr bekannt waren, obwohl Prof. Scheuter und Gerhard Fischer bei verschiedenen Gelegenheiten über den FM-Bildaufbau referierten und publizierten. Dies weckte aber in der Fachwelt noch keine besonderen Erwartungen, sodass die Firma Hell GmbH auch keinem Druck durch ihre Kunden ausgesetzt war, ein FM-Rasterprogramm anzubieten.

Nach dem Abschluss seiner Dissertation nahm Gerhard Fischer eine Stellung bei Du Pont de Nemours in Neu-Isenburg an und erhielt dort die Möglichkeit, an diesem Rasterprogramm weiterzuarbeiten. Du Pont und Gerhard Fischer reichten für diese neueren Arbeiten auch eine Anmeldung für ein US-Patent ein. Für die Umsetzung in eine praxisgerechte Lösung zog Du Pont 1987 einen Spezialisten bei, nämlich Dr. Jean Fischer (nicht verwandt mit Gerhard Fischer) von der Firma Bilda GmbH. Dadurch konnte die Rechenzeit deutlich verringert werden, betrug aber (nach Aussagen von Jean Fischer) für einen Vierfarbensatz im Format DIN A4 immer noch mehr als zwei Stunden. Aus diesen und anderen Gründen wurden die Arbeiten an diesem Rasterprogramm auch von Du Pont nicht weitergeführt. Die Firma Bilda GmbH arbeitete in der Folge mit eigenen Verfahrensansätzen weiter und konnte die Rechenzeit für einen DIN A4 Farbsatz auf 15 Minuten reduzieren. Das war aber nur möglich, indem das ursprüngliche Rechenprogramm erheblich vereinfacht wurde.

In der Zwischenzeit wurde Dieter Maetz von der Unternehmensgruppe Vignold auf diese Entwicklungen aufmerksam. (Vignold war damals eine Gruppe von zwölf Vorstufenbetrieben und mit einer Abteilung Forschung und Technik, deren Leiter Dieter Maetz war.) Im Rahmen eines Kooperationsvertrages übernahm Vignold 1991 den FM-Rasterrechner von Bilda und integrierte ihn in den eigenen Produktionsablauf. Das neue Rasterverfahren wurde CristalRaster genannt. Damit konnte Vignold ihren Kunden exklusiv FM-Raster-

filme anbieten, was in der Fachwelt auf ein grosses Echo stiess. Ebenso wurde der Beweis angetreten, dass die FM-Rasterung mit vertretbarem Aufwand zu einer Qualität führt, die den konventionellen Rasterbildern überlegen ist. Angesichts dieses Erfolgs beschloss Vignold, dieses Verfahren zu vermarkten und verkaufte das Rasterprogramm Ende 1992 an Agfa-Gevaert N.V. Agfa präsentierte das CristalRaster-Programm als kommerzielles Produkt im April 1993 am Seybold-Seminar in Boston.

Die Firma Dr.-Ing. Rudolf Hell GmbH, die in der Zwischenzeit (1990) mit der Firma Linotype fusioniert hatte, besann sich angesichts dieser Entwicklungen wieder auf ihre Patentrechte und entwickelte anfangs 1993 unter dem Namen Diamond Screen ebenfalls ein kommerzielles FM-Rasterprogramm. Es gelang Linotype-Hell, ihr Produkt zeitgleich mit Agfa am gleichen Seybold-Seminar 1993 in Boston anzukündigen. Dies rief natürlich auch die damals anderen grossen Anbieter im Druckvorstufenbereich auf den Plan, nämlich die Firmen Crosfield und Scitex. Crosfield kam noch 1993 mit seinem Programm Lazel Screening auf den Markt, während Scitex 1994 mit dem Produkt Fulltone Screen folgte. In der Folge sah sich praktisch jeder Anbieter eines Filmbelichters für die Druckindustrie mit der Notwendigkeit konfrontiert, ein FM-Rasterprogramm anzubieten. Bis Herbst 1994 gab es daher nicht weniger als 23 verschiedene FM-Rasterprogramme auf dem Markt.

Einige Worte zu den Rechenverfahren

Es gibt vereinfacht betrachtet drei Möglichkeiten, wie ausgehend von einem Halbtonwert Druckpunkte von gleicher Grösse in variablem Abstand angeordnet werden können. Das Verfahren, das in Abb. 2 mit „Patterning“ bezeichnet ist, ist am einfachsten zu erklären: Man ordnet einem Bildpunkt, der einen bestimmten Halbtonwert besitzt, ein Punktmuster – eine so genannte Rasterpunktmatrix – zu. Die Matrix kann beispielsweise aus $10 \times$



Abbildung 3: Vereinfachte Einteilung der Algorithmen für FM-Rasterprogramme.

10 Punkten bestehen. Damit lassen sich 100 Tonwerte wiedergeben. Wenn das zu rasternde Bild 60 Bildpunkte pro Zentimeter aufweist, besitzt dieser druckende Punkt einen Durchmesser von knapp 17 μm (Mikron). Wenn man nun jedem der 100 möglichen Tonwerte eine bestimmte Punktverteilung zuordnet, sind das 100 verschiedene Punktemuster. Würde man diese Punktverteilung beim gleichen Tonwert stets wiederholen, würde man jedoch feststellen, dass die scheinbar regellos angeordneten Punkte im Bild visuell störende Wiederholstrukturen ergeben. Um diesen Nachteil zu beseitigen, muss die Punktverteilung für den gleichen Tonwert variiert werden. Man muss somit jedem Tonwert verschiedene Punktver-

teilungen zuordnen und diese abwechselungsweise abrufen. Dies hat damals zu Problemen mit der Kapazität der Datenspeicher geführt. Eine elegantere Idee ist daher jene, die in der Dissertation von Gerhard Fischer zur Anwendung gelangte, nämlich die Punktverteilung mit Hilfe einer Zufallsfunktion jedes Mal neu zu errechnen. Dabei muss man allerdings sicherstellen, dass extreme Zufallsverteilungen wie beispielsweise eine Anhäufung aller Punkte am Rande oder ähnliches ausgeschlossen wird.

Es gibt aber noch andere Möglichkeiten, wie man Punkte von gleicher Grösse in variablem Abstand anordnen kann. Diese Rechenverfah-

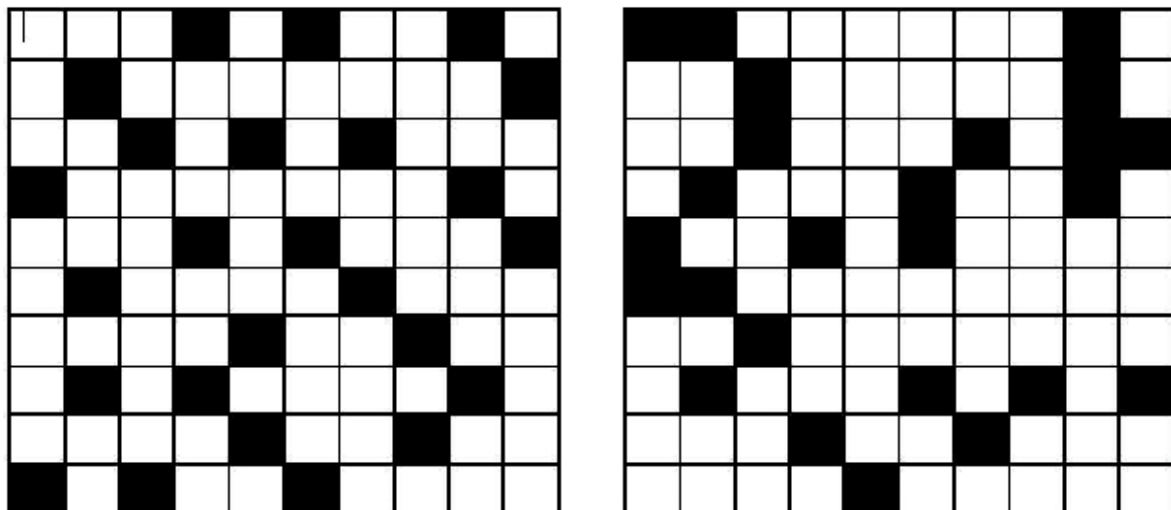


Abbildung 4: Links gleichmässige Verteilung von FM-Punkten in einem 25%-Tonwert, rechts ungleichmässige Verteilung, die visuell zu körnigem Aussehen führt.

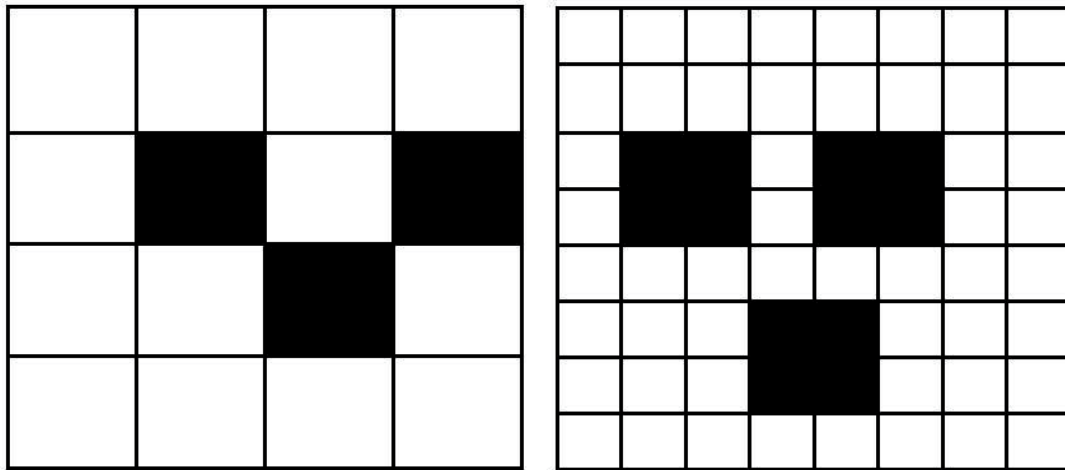


Abbildung 5: Ursprünglich war der kleinste Punkt beim FM-Bildaufbau gleich gross wie der kleinste Punktabstand (siehe links). Wenn man jedoch vier Aufzeichnungspunkte zur Bildung des kleinsten FM-Bildpunkts verwendet (siehe rechts), kann man den Punktabstand halbieren. Damit erhält man mehr Spielraum in der Variation der Punktabstände.

ren wurden in der Mitte der 70er-Jahre erstmals publiziert, aber nicht mit Blick auf die grafische Industrie sondern für die Anwendung auf niedrig auflösenden Laser- und Inkjet-Printern. In der Form, wie sie damals publiziert wurden, erschienen diese Verfahren für die grafische Industrie nicht relevant. Da aber einige Varianten des oben beschriebenen Patterning-Verfahrens durch Patente geschützt sind, befassten sich verschiedene Institute und Hersteller von Laserbelichtern trotzdem mit der Frage, ob diese alternativen Verfahren als Basis für ein FM-Rasterprogramm verwendbar sind. Es zeigte sich, dass das in Abb. 3 als „Dithering“ bezeichnete Verfahren für FM-Rasterprogramme, die in der grafischen Industrie Verwendung finden sollen, nicht in Frage kommt. Das Verfahren sei daher an dieser Stelle auch nicht weiter erläutert. Für die Erzeugung von konventionellen flächenvariablen Rasterpunkten ist das Dithering-Verfahren hingegen durchaus geeignet.

Im Hinblick auf die FM-Rasterung erwies sich jedoch das „Error Diffusion“-Verfahren als interessant, insbesondere auch deshalb, weil Elemente dieses Verfahrens in der Dissertation von Gerhard Fischer Eingang fanden. Das Verfahren arbeitet in seiner einfachsten Form wie folgt: Einem Bildpunkt, dessen

Halbtonwert oberhalb einem bestimmten Schwellwert liegt, wird ein druckender Punkt zugeordnet, und bei einem tieferen Wert ein nicht-druckender Punkt. Der dadurch entstehende Quantisierungsfehler wird zum Halbtonwert des folgenden Bildpunkts addiert. Dabei entsteht ein neuer Quantisierungsfehler, der wiederum dem nächsten Bildpunkt zugerechnet wird. Auf diese Weise wird der Fehler von einem Bildpunkt zum nächsten übertragen. Der gewählte Schwellwert liegt typischerweise in der Mitte der Halbtonskala. Die Erfahrung hat gezeigt, dass mit dieser einfachen Art der Fehlerfortpflanzung keine optimalen Ergebnisse erhalten werden. Wenn man jedoch den Fehler auf mehrere Bildpunkte verteilt und zudem bei der Verteilung noch unterschiedlich gewichtet, erhält man ähnlich gute Resultate wie mit dem Patterning-Verfahren. Das Kriterium, ob das Rasterergebnis als brauchbar oder unbrauchbar beurteilt wird, ist die visuell empfundene Gleichmässigkeit der resultierenden Punktverteilung (siehe Abb.4). Interessant ist, dass beim Patterning-Verfahren eher die Mitteltöne kritisch sind, d.h. zu einer störenden Körnigkeit neigen können, während beim Error-Diffusion-Verfahren störende Strukturen in den Lichtern auftreten können, so z.B. wurmförmige Punktverläufe.

Erste Erfahrungen in der Praxis

Als die ersten FM-Rasterverfahren angeboten wurden, hatten die Druckfachleute vor allem daran Zweifel, ob die kleinen Einzelpunkte auch stabil drucken würden. Bei der konventionellen Rasterung wusste man ja, dass ein Rasterpunkt von 20 Mikron, der einem Tonwert von 1% bei einer Rasterweite von 60 L/cm entspricht, bei der Plattenherstellung und im Druckprozess ausbrechen kann. Die gleiche Punktgrösse besitzt aber auch ein 4% Tonwert bei einer Rasterweite von 120 L/cm. Interessanterweise verhalten sich diese gleich grossen Punkte stabiler als 1% Punkte bei 60 L/cm. Es kommt also darauf an, wie nah beieinander die einzelnen Druckpunkte liegen. Prof. Scheuter selbst fühlte sich verpflichtet, das Druckverhalten von kleinen Punkten abklären zu lassen, da ja der Markterfolg des FM-Bildaufbaus von diesem Aspekt abhängt. Es zeigte sich, dass sogar Punkte von 10 Mikron stabil gedruckt werden können, wenn sie verlustfrei auf die Offsetplatte übertragen werden. Für den FM-Bildaufbau im Offsetdruck haben sich in der Folge Punktgrössen von 14 Mikron bis 21 Mikron eingebürgert. Zur verlustfreien Übertragung dieser feinen Punkte vom Film auf die Offsetplatte war allerdings eine sorgfältige Kontrolle der Belichtungszeit unumgänglich. Und Streufohlen durften unter keinen Umständen verwendet werden. Je grösser jedoch der Aufzeichnungspunkt gewählt wurde, umso grösser war auch die Toleranz bei der Plattenbelichtung. Zu erwähnen ist, dass 1993 zwar die ersten Computer-to-Plate-Anlagen auf den Markt kamen, dass aber der Stand der Technik für die Plattenherstellung immer noch die analoge Belichtung ab Filmen war. Heute hingegen ist die Übertragung von FM-Rasterpunkten auf die Druckplatte kein Problem mehr, da die Anwendung von Computer-to-Plate-Anlagen für den FM-Bildaufbau Stand der Technik ist.

Eine andere Frage war, wie diese kleinen Punkte auf rauen Papieren drucken. Hier konnten die Fachleute von den Erfahrungen

in der Unternehmensgruppe Vignold profitieren, da diese mit dem FM-Bildaufbau vor der Markteinführung von FM-Rasterprogrammen während fast zwei Jahren Erfahrungen gesammelt hatten und entsprechende Druckbelege vorzeigen konnten. Eine weitere Unsicherheit war die Tonwertzunahme im Druckprozess. Man erkannte rasch, dass der FM-Bildaufbau höhere Tonwertzunahmen im Druck ergab, und es brauchte eine gewisse Zeit, bis die Anwender dieses Problem beherrschten. Mit den heute angebotenen FM-Rasterprogrammen kann man die Tonwertkurve in einfacher Weise wählen oder anpassen.

Die Übertragung der kleinen Punkte ab Film auf die Offsetplatte war nur dann ein Problem, wenn ab Positivfilmen belichtet wurde. Bei der Anwendung von Negativfilmen werden die FM-Punkte auf der Platte jedoch grösser anstatt kleiner. Da Negativfilme damals vor allem im Zeitungsdruck verwendet wurden, war dieses Kopierverhalten eine günstige Voraussetzung, um die FM-Rasterung auch im Zeitungsdruck anzuwenden. Das Ifra-Institut (Forschungsinstitut für Zeitungsdruck in Darmstadt) liess daher die Anwendung von FM-Rastern im Zeitungsdruck schon 1994 untersuchen, wobei für die Projektdurchführung das Institut beigezogen wurde, in welchem der Schreibende damals arbeitete. Es zeigte sich, dass der FM-Bildaufbau bei Punktgrössen von 30 Mikron und 40 Mikron auf normalem Zeitungspapier hervorragende Resultate ergab. Naturgemäss bestand die Gefahr, dass die Zeichnung in den Bildtiefen etwas weniger gut abgestuft wurde, doch erwies sich dies nicht als entscheidender Nachteil. Interessanterweise führte dies nicht zu einer breiten Anwendung der FM-Rasterung im Zeitungsdruck. Nicht einmal die beim Ifra-Projekt beteiligten Druckereien konnten sich dazu entschliessen, die FM-Rasterung in ihrer täglichen Produktion anzuwenden.

Es gab ziemlich rasch auch Druckversuche mit FM-Rastern in anderen Druckverfahren. Dabei zeigte sich, dass der FM-Bildaufbau grundsätzlich mit allen Druckverfahren mög-

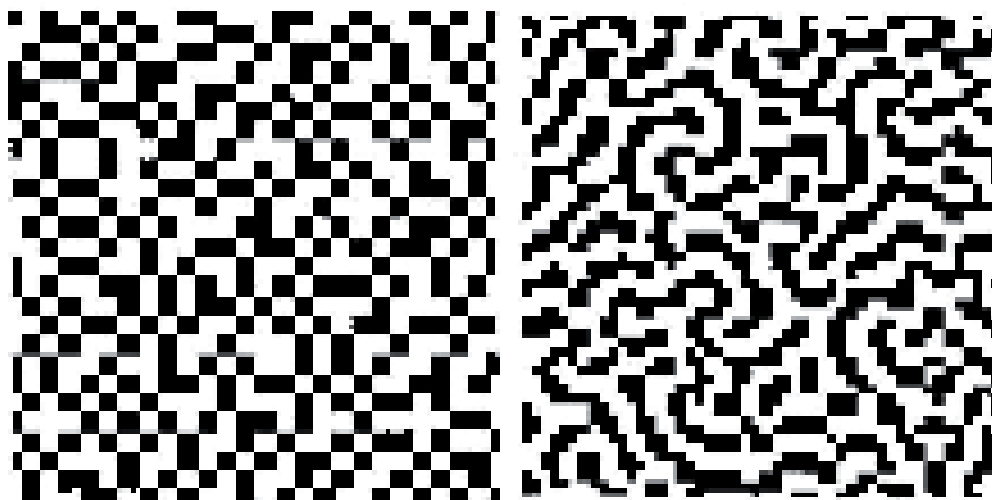


Abbildung 6: Typische Punktstrukturen für FM-Raster der ersten Generation (links) und der zweiten Generation (rechts).

lich ist. Am wenigsten bot sich jedoch der FM-Bildaufbau im Tiefdruck an, da bei der Zylinderherstellung längere Gravierzeiten resultieren. Wählt man beispielsweise bei der FM-Rasterung eine Näpfchengrösse von 40 Mikron, resultiert im Vergleich zu einer konventionellen Rasterung mit 70 Näpfchen/cm eine dreieinhalb Mal längere Gravierzeit. Ferner ist dann der Vorteil des Tiefdrucks, nämlich der tiefenvariable Näpfchenaufbau, nicht mehr gegeben. Ein 1995 durchgeführter Versuch mit der schnelleren Lasergravur bei der Firma Max Dätwyler in Bleienbach (Schweiz) zeigte, dass mit dem FM-Bildaufbau im Tiefdruck hervorragende Ergebnisse möglich sind, und dass zusätzlich die Detailwiedergabe und die Schriftwiedergabe verbessert werden.

Mit einem gewissen Erfolg wird der FM-Bildaufbau heute im Flexodruck und im Siebdruck angewendet. In beiden Verfahren muss jedoch der druckende Punkt grösser sein als im Offsetdruck. Im Flexodruck können auf Folien Punktgrössen von 40 Mikron verwendet werden, während auf Papier 60 bis 90 Mikron üblich ist. Im Siebdruck muss die Punktgrösse mindestens 60 Mikron betragen. Es wird aber auch mit Punktgrössen über 100 Mikron gearbeitet. Damit kann in diesen Verfahren auf die üblichen Grobraster mit ihren störenden Punktstrukturen verzichtet werden.

Weitere Entwicklungen

Bei den ersten FM-Rastern war der kleinstmögliche Punktabstand gleich gross wie der Punktdurchmesser. Das Prinzip, die Punkte abstandsvariabel anzuordnen, konnte dadurch nur eingeschränkt realisiert werden. Indem man sich entschloss, die druckenden Punkte mit 2×2 oder 3×3 Belichtungspunkten anstatt nur mit einem einzigen Belichtungspunkt auf-

Anbieter	Produkt	FM	Hybrid
Heidelberg	Prinect	x	
	Hybrid		x
Agfa	Cristal Raster	x	
	Magnum X	x	
	Sublima		x
Kodak/Credo	Staccato	x	
	Madone		x
Fujifilm	Tafeta	x	
Esco	Monet	x	
	SambaFlex		x
Mitsubishi	SilverDot	x	
Global Graphics	Harlequin	x	
	Dispersed		
Screen	Randot X	x	
	Spektra		x
Rampage Systems	Segundo	x	
	Liso		x
Artilex	Green Screen	x	
Ugra	Vekret	x	
Adobe	Brilliant	x	

Tabelle 1: Beispiele vom heute angebotenen FM- und Hybrid-Raster

zuzeichnen, liessen sich die Punktabstände stärker variieren (siehe Abb. 5). Die Hauptbemühungen, die FM-Raster der ersten Stunde zu verbessern, waren aber darauf ausgerichtet, die visuell empfundene Gleichmässigkeit der Punkteanordnung zu optimieren. Eine von verschiedenen Anbietern gewählte Methode bestand darin, die Punkte in den Mitteltönen eher reihenweise zu verbinden anstatt Anhäufungen von vier und mehr Punkten zuzulassen (siehe Abb. 6). Ein anderer Ansatz bestand darin, Punkte von unterschiedlicher Grösse zu verwenden. Da sich grössere Punkte stabiler verhalten, bieten sich diese vor allem bei der Wiedergabe der Lichter und Tiefen an, während in den Mitteltönen kleinere Punkte optimal sind. Den Anbietern von FM-Rastern war es auch daran gelegen, ihre Weiterentwicklungen mit entsprechenden Bezeichnungen zu etikettieren. So wurde von FM-Rastern der zweiten Generation oder von „second order FM screens“ gesprochen. Es gab aber nie eine einheitliche Definition für diese Begriffe. Zudem schufen die Anbieter viele neue Produktnamen, selbst wenn der Grundalgorithmus nur wenig modifiziert wurde. Von den Namen der 23 FM-Programme, die 1994 angeboten wurden, haben nur wenige überlebt, unter anderem immerhin das Programm der allerersten Stunde, nämlich das CristalRaster-Verfahren von Agfa. Darüber hinaus sind etwa zehn neue Namen dazugekommen (siehe Tabelle 1).

Vergleicht man den FM-Bildaufbau mit einem Feinrasterbild, das mit 120 L/cm gerastert wurde, so stellt man fest, dass die Mitteltöne im Feinraster – obwohl die Rasterpunkte grösser sind als die FM-Punkte – ruhiger erscheinen als im FM-Bild. Das Problem der Feinraster ist aber die Wiedergabe der Lichter- und Tiefenzeichnung, da dort die Rasterpunkte kleiner sind als die FM-Punkte. Es ist daher naheliegend, dass man die beiden Rasterverfahren kombiniert, indem man am Anfang und Ende der Tonwertskala die FM-Rasterung einsetzt, und dazwischen die AM-

Rasterung (AM = amplitudenmoduliert). Man spricht dann von der XM-Rasterung (abgeleitet von „cross modulated screening“). Die entsprechenden Rasterprogramme (Beispiele siehe Tabelle 1) nennt man XM-Raster oder Hybridraster. Man kann bei einigen dieser Programme den Übergangspunkt von der FM- zur AM-Rasterung frei wählen, beispielsweise bei 8%. Bei 120 L/cm entspricht ein Tonwert von 8% einem Punktdurchmesser von etwa 26 Mikron. Das ist für die Lichter- und Tiefenzeichnung eine stabile Punktgrösse. Bei der Rasterung erzeugt man nun in einem ersten Rechendurchgang ein periodisches Rastermuster, lässt aber keine kleineren Punkte als 26 Mikron zu. Die Tonwerte unter 8% und über 92% erzeugt man dann in einem zweiten Durchgang, indem man die entsprechende Anzahl Punkte weglässt. Eliminiert man beispielsweise jeden zweiten Punkt, halbiert sich der Tonwert. Die Hybridraster haben heute mindestens die gleiche Bedeutung erlangt wie die eigentlichen FM-Raster.

Heutige Bedeutung des FM-Bildaufbaus

Mit der Standardisierung des Offsetdrucks und der Computer-to-Plate-Technik stellt der FM-Bildaufbau heute grundsätzlich keine besondere produktionstechnische Hürde mehr dar, sodass man erwarten könnte, dass die Vorteile in der Bildwiedergabe zu einer breiten Anwendung dieses Verfahrens führen müssten. In den 1990er Jahren, als die technischen Voraussetzungen für eine breite Anwendung des FM-Bildaufbaus noch nicht gleichermassen gegeben waren, glaubte man, dass in Zukunft etwa 50% aller gedruckten Offsetbilder im FM-Bildaufbau produziert werden könnten. Heute muss man ernüchtert feststellen, dass man diese Marke bei weitem nicht erreicht hat. Kenner der heutigen Marktsituation sprechen davon, dass FM-Raster heute im Offsetdruck nur etwa bei 10% aller Aufträge angewendet werden. Es gibt aber andererseits eine Reihe von Druckereien, die ihre gesamte Produktion mittels FM-Raste-

rung abwickelt. Allerdings gibt es keine Indizien, dass der FM-Bildaufbau in Zukunft eine stärkere Verbreitung erfahren könnte. Diese Einschätzung bezieht sich jedoch nur auf die eigentlichen FM-Rasterprogramme, nicht aber auf die ziemlich verbreiteten Hybridraster, die im Grunde genommen Abkömmlinge der FM-Raster sind. Im Weiteren haben die FM-Raster auch bewirkt, dass die periodischen Raster zu anwendungsfreundlichen Feinrastern weiterentwickelt worden sind. Insofern kann man als Fazit festhalten, dass die Erfindung des FM-Bildaufbaus doch einen gewissen Umbruch in der Rastertechnologie herbeigeführt hat, indem die ursprünglich verwendeten 60er Raster und vor allem die im Flexodruck und Siebdruck verwendeten Grobraster sehr an Bedeutung verloren haben.

Einleitung

Es gibt Erfindungen, bei denen die Idee genial ist und die Umsetzung dann relativ einfach. Beim wasserlosen Offsetdruck ist es genau umgekehrt: Die Idee ist naheliegend, aber die Umsetzung anspruchsvoll.

Der konventionelle Offsetdruck wird durch vier Komponenten bestimmt:

- eine hydrophile Oberfläche, nämlich die Nichtbildstellen,
- eine lipophile Oberfläche, nämlich die Bildstellen,
- eine lipophile Flüssigkeit, nämlich die Druckfarbe,
- eine hydrophile Flüssigkeit, nämlich das Feuchtmittel.

Für das korrekte Zusammenwirken dieser vier Komponenten im Offsetdruck spielen folgende Grössen eine Rolle:

- die Adhäsion der beiden Flüssigkeiten an den beiden Oberflächen,
- die Kohäsion der beiden Flüssigkeiten.

Mit dem wasserlosen Offsetdruck wird angestrebt, die hydrophile Flüssigkeit, d.h. das Feuchtmittel, auszuschalten. Aber es gehört auch zur Geschichte des wasserlosen Offsetdrucks, dass man zunächst nur versuchte, ohne Feuchtwerk zu drucken.

Nicht wasserlos, aber ohne Feuchtwerk

Im frühesten Patent, das dem Autor vorliegt (Abb. 1: Patentschrift Nr. 32509 des Kaiserlichen Patentamts vom 25.12.1884), liest man in der Einleitung: „Es ist ein bekannter

Uebelstand bei den bisherigen Verfahren des Steindruckes, dass man genöthigt ist, nach jedem Abzuge den Stein mit Wasser abzuwischen, welche Manipulation nicht nur zeitraubend ist, sondern auch eine Beschädigung des Originals zur Folge hat.“ Um dies zu beseitigen, wird vorgeschlagen: „1. wird die Farbe besonders präparirt und 2. wird die Auftragswalze während des Gebrauches mit einer Tinktur benetzt.“ Weiter liest man: „Das Verfahren lässt sich auch auf Schnellpressen für Steindruck anwenden, indem die bisher mit Wasser getränkten Wischwalzen in Wegfall kommen und an ihrer Stelle eine Walze tritt, deren Umfang mit der beschriebenen Tinktur getränkt ist“. Die Idee, das Feuchtmittel direkt der Farbauftragswalze zuzuführen, findet sich noch in weiteren Patenten, wobei auch normale Offsetfarben zum Einsatz kommen konnten. Das jüngste Patent dieser Art, das dem Verfasser bekannt ist, datiert vom September 1994 (US Patent Nr. 5'526'743). In den 1970er Jahren wurde dieses Verfahren mit einem gewissen Erfolg im Zeitungsdruck angewendet, allerdings mit voremulgierten Druckfarben (siehe nächster Abschnitt).

Voremulgierte Druckfarben

Da die Druckfarbe mit dem Feuchtmittel eine Wasser-in-Öl-Emulsion bildet, ist die Idee naheliegend, Druckfarben zu verwenden, die bereits emulgiertes Wasser enthalten, sodass auf eine Feuchtmittelzufuhr in der Druckmaschine überhaupt verzichtet werden kann. Vom konventionellen Offsetdruck her weiss man, dass sich das Wasser nicht nur im Innern der Druckfarbe, sondern zusätzlich auch noch an der Oberfläche des Farbfilms befindet. Dieses Oberflächenwasser ist wichtig, da es auf den Nichtbildstellen einen dünnen Flüssigkeitsfilm aufbaut. Aufgrund seiner niedrigen Vis-

kosität bildet das Wasser damit eine leicht spaltbare Trennschicht, die verhindert, dass die Druckfarbe an den Nichtbildstellen haften kann. Man nennt diese Schicht im Englischen „weak fluid boundary layer“.

Es hat sich aber gezeigt, dass Emulsionen mit Oberflächenwasser sehr instabil sind, wenn sie nicht durch Zuführung von Wasser ständig erneuert werden. Damit die voremulgierte Druckfarbe ihre Funktion erfüllt, muss ferner der Wassergehalt der Druckfarbe an den Druckmaschinentyp und sogar an die Druckgeschwindigkeit angepasst werden. In den 1970er Jahren wurden voremulgierte Farben mit einem gewissen Erfolg im Zeitungsdruck beim Milwaukee Journal and Sentinel im Di-Litho-Verfahren auf Buchdruckmaschinen eingesetzt. Man stellte jedoch fest, dass der Druckprozess nur befriedigend funktionierte, wenn der emulgierten Druckfarbe in der Druckmaschine noch frisches Wasser zugeführt wurde. Damit war man wieder beim Prinzip, das im vorhergehenden Abschnitt beschrieben wurde.

Die wasserlosen Drucke von Heinrich Renck

Eine spezielle Anwendung der Methode, die Farbauftragswalzen zu befeuchten, stammt von Heinrich Renck aus Hamburg. Er hatte eine Platte entwickelt, deren farbabweisende Oberfläche eine Amalgamschicht war (US Patent 1'889'376 vom November 1932). Aus der Oberflächenphysik weiss man aber, dass Quecksilber (als Bestandteil von Amalgam) eine sehr hohe Oberflächenspannung besitzt, sodass die Druckfarbe eine Amalgamoberfläche auf jeden Fall benetzt. Um dies zu vermeiden, führte Renck der Farbauftragswalze eine Quecksilbersalz-Lösung zu. Diese bildete dann auf dem Amalgam eine „weak fluid boundary layer“ (siehe Erklärung oben), sodass die Druckfarbe auf dem Amalgam nicht haften konnte. Dieses Verfahren ist insofern erwähnenswert, als noch Druckmuster davon erhalten sind. Ob diese Drucke als „Inkunabeln des

wasserlosen Flachdrucks“ („Deutscher Drucker“, Nr. 17, 2004) bezeichnet werden können, sei dahingestellt, da zeitgleich oder sogar noch früher auch Caspar Hermann aus Leipzig wasserlose Drucke hergestellt hat.

Druckfarben mit hydrophilen Bindemitteln

Es gab schon vor 1900 Vorschläge, anstatt Wasser hydrophile Lösungsmittel wie Glycerin in die Druckfarbe zu geben, immer im Bestreben, damit eine dünne hydrophile Trennschicht an den Nichtbildstellen zu erzeugen. Man stellte jedoch fest, dass Glycerin allein oder zusammen mit wässrigen Salzlösungen die Trocknung der Farbe erheblich verzögerte. Die nächste Idee war daher, die hydrophile Komponente mit einem Bindemittel zu kombinieren. In verschiedenen Patentschriften des Kaiserlichen Patentamts werden gebrauchsfertige Pasten, bestehend aus Glycerin, Harz und Leinölfirnis, beschrieben, die den damals handelsüblichen Flachruckfarben beigemischt werden konnten. Die Patentschrift DRP Nr. 128'130 aus dem Jahr 1891 bildete beispielsweise die Basis für einen Druckfarbenezusatz unter dem Namen „Hygrol“. Ein anderer Zusatz, der unter dem Handelsnamen „Umido“ angeboten wurde, wird im DRP Nr. 102'747 (1897) beschrieben. Wie weit diese Farbzusätze eine praktische Bedeutung erlangten, ist dem Verfasser nicht bekannt. Die nächste Idee war dann, ein hydrophiles Bindemittel direkt in die Druckfarbe einzubauen. Bei geringem hydrophilem Anteil war die Farbe, wie bis anhin, lipophil. Bei höherem Anteil konnte die Farbe aber auch hydrophil oder sogar wasserlöslich sein. Es sei nochmals betont, dass alle bisher beschriebenen Druckfarben für Druckformen konzipiert waren, deren Bildstellen lipophil und deren Nichtbildstellen hydrophil waren.

Caspar Hermann und der wasserlose Offsetdruck

In einzelnen historischen Darstellungen wird Caspar Hermann aus Leipzig, Inhaber von 26 Patenten auf dem Gebiet des Flachdrucks, als Erfinder des wasserlosen Offsetdrucks bezeichnet. Caspar Hermann kann sicher in Anspruch nehmen, dass er erstmals einem grösseren Kreis von Fachleuten wasserlose Offsetfarbdrucke von einwandfreier Qualität vorlegen konnte, aber verfahrenstechnisch griff er auf schon früher vorgeschlagene Ideen zurück. Dies ist vielleicht der Grund, weshalb ihm in Deutschland ein Patent für sein Verfahren verweigert wurde. Er hatte ein solches Patent im Mai 1931 sowohl in Deutschland als auch in Österreich angemeldet. Das österreichische Patent (Nr. 141'7219) wurde ihm im Mai 1935 (ein halbes Jahr nach seinem Tod) erteilt. Gemäss dieser Patentschrift „findet eine glyzerinhaltige Farbe Verwendung, die durch den Zusatz einer dem Glyzeringehalt entsprechende Menge Sikkativ und einer Mineralsäure, vorzugsweise Phosphorsäure, gekennzeichnet ist“. Während in Österreich wahrscheinlich bislang noch keine Druckfarben dieser Art zum Patent angemeldet worden sind, gab es, wie der vorhergehende Abschnitt zeigt, in Deutschland bereits eine Reihe von Patenten mit ähnlichem Inhalt. Dies dürfte der Grund sein, weshalb ihm das Patent nicht erteilt wurde. Es ist aber anzunehmen, dass Caspar Hermann in diesem Patent nicht alle Details seines Verfahrens offengelegt hat und somit einen guten Teil des notwendigen Know-hows für sich behalten hat. Es gibt auch Hinweise, dass er Druckplatten mit Silikon beschichten liess. Da der Silikonkautschuk, wie er heute bei wasserlosen Druckplatten verwendet wird, erst nach 1940 entwickelt wurde, bleibt offen, wie weit er hier als Pionier für den späteren wasserlosen Druck gelten kann.

Hydrophile Druckfarben mit lipophilem Feuchtmittel: Reverse Lithography

Fast alle bisher beschriebenen Vorschläge für Druckfarben mit hydrophilen Komponenten erlangten wenig oder keine Bedeutung. Oft blieb es bei der in einem Patent formulierten Idee, vielleicht noch ergänzt durch Laborversuche. Aber dann gab es auch den Vorschlag, hydrophile Druckfarben mit einem lipophilen „Feuchtmittel“ unter Anwendung eines klassischen Feuchtwerks zu verdrucken. Konsequenterweise mussten dann die Nicht-Bildstellen lipophil und die Bildstellen hydrophil sein. Das war sozusagen die Umkehrung des klassischen Offsetdrucks, weshalb dafür der Name „Reverse Lithography“ geschaffen wurde.

Konkret arbeitet dieses Verfahren mit folgenden Komponenten:

- wasserlösliches Polymer als Druckfarbe,
- Kohlenwasserstoff mit einem Verdunstungsverhalten, das ähnlich ist wie Wasser, als „Feuchtmittel“,
- Silikon als farbabweisende Oberfläche,
- eloxiertes Aluminium als farbführende Oberfläche.

Es gibt zahlreiche Patente für dieses Verfahren, wobei Erfindungsansprüche sowohl für die obigen Komponenten als auch für bestimmte Merkmale der Druckmaschine geltend gemacht wurden. Das erste Patent unter der Bezeichnung „Reverse Lithography“ stammt aus dem Jahr 1965 und führt als Erfinder Paul W. Greubel von der Interchemical Corporation, New York, auf (US Patent Nr. 3'167'005). Dieser führte in seiner Firma auch entsprechende Druckversuche durch. Die Idee hinter diesem Verfahren war, dass Druckfarben verwendet werden konnten, die praktisch geruchsfrei sind, was bei Druckfarben auf der Basis von trocknenden Ölen damals nicht

möglich war. Solche Farben bieten vor allem im Verpackungsdruck Vorteile. Das Verfahren hat aber nie eine grössere praktische Bedeutung erlangt.

Single-fluid Inks

Man kann Druckfarben, die eine hydrophile und eine lipophile Komponente besitzen, auch so aufbauen, dass diese Komponenten eine chemische Affinität zueinander haben. Es handelt sich dann um eine relativ stabile Mischung von zwei verschiedenen Phasen, bei denen man nicht mehr von einer Emulsion sprechen kann. Für solche Farben wurde der Begriff „Single-fluid Ink“ geprägt. Auch auf diesem Gebiet gab es zunächst nur Patentanmeldungen. An der Drupa 2000 präsentierte dann aber der Druckfarbenhersteller Flint unter der Abkürzung SFI (für Single-fluid Ink) eine Druckfarbe dieses Typs, die bei den Besuchern auf sehr viel Interesse stiess. Die Farbe wurde von Flint für alle Plattentypen und sowohl für Bogen- als auch für Rollen-anwendungen als geeignet bezeichnet. Aufgrund des grossen Interesses liess Flint diese Druckfarbe in elf amerikanischen Druckereien testen. Dann hörte man jedoch nichts mehr davon. Auch der Druckfarbenhersteller Sun Chemical bot an der Drupa 2000 zwei neue Druckfarben vom Typ der Single-fluid Inks an. Diese waren mit Wasser mischbar und nur für den Druck mit Toray- und Presstek-Platten ausgelegt (siehe späterer Abschnitt).

Das Driography-Verfahren von 3M

Während in vielen bisher beschriebenen Vorschlägen und Verfahren für den wasserlosen Offsetdruck das Wasser als Druckfarbekomponente noch eine Rolle spielte, kam mit dem Driography-Verfahren von 3M ein Denkan-satz ins Spiel, in welchem vollständig auf ein Feuchtmittel oder auf hydrophile Farbzusätze verzichtet wurde (siehe Abb. 2). Es ist anzunehmen, dass sich der Inhaber des ersten massgeblichen Patents (US Patent Nr. 3'511'178 vom 12. Mai 1970, ausgestellt auf John L. Curtin)

vom „Reverse Lithography“-Verfahren inspirieren liess. Dort besteht die farbabweisende Oberfläche aus Silikonkautschuk, und die farbführende Oberfläche ist Aluminium. Da Silikonkautschuk eine sehr niedrige Oberflächenspannung besitzt (15 mN/m), Aluminium aber eine hohe Oberflächenspannung aufweist (70 mN/m), ging man davon aus, dass eine konventionelle Offsetfarbe von 35 mN/m an der Metalloberfläche haften müsste, jedoch nicht auf dem Silikonkautschuk. In seiner Patentschrift belegt Curtin den Haftungsunterschied dieser beiden Oberflächen mit dem bekannten Klebbandtest. Erste Druckversuche schienen diese grundsätzlichen Überlegungen zu bestätigen. Das neue Verfahren, das eigentlich nur eine neue Druckplatte war, wurde daher an der Drupa 1967 auf den Markt gebracht, noch bevor das Patent endgültig erteilt war. Bald folgten auch Berichte über Praxisversuche in Druckereien und Instituten. Als grösstes Problem erwies sich, dass sich die Druckfarbe in der Druckmaschine wegen des fehlenden Feuchtwassers rasch erwärmte, und die Kohäsion dann nicht mehr gross genug war, um ein Haften an den Nichtbildstellen zu verhindern. Das Resultat war ein Tönen an den bildfreien Stellen. War die Kohäsion aber zu gross, oder wie der Drucker sagt, die Farbe zu streng, bestand die Gefahr des Rupfens auf dem Papier. Ferner erwärmte sich dann die Farbe bei der Farbfilmspaltung noch stärker. Man hätte also damals sicherstellen müssen, dass sich die Farbe während des Auflagedrucks nicht zu stark erwärmt. Heute weiss man, dass es dazu mindestens eine Temperaturstabilisierung im Farbwerk braucht. Ein weiteres Problem war, dass die Silikonbeschichtung extrem kratzempfindlich war, was dazu führte, dass die beschädigten Stellen dann farbannehmend wurden. Lange Zeit war die Platte nur in kleinen Formaten erhältlich, sodass keine grossformatigen Druckversuche erfolgen konnten. Auch am Institut, an dem der Verfasser dieses Artikels damals arbeitete, hätte man die 3M-Platte gerne getestet. Aber die schweizerische 3M-Vertretung war nicht in der Lage, eine solche zu liefern. Da

die Druckfarbenindustrie eine gewisse Zeit brauchte, um geeignete Farben für die 3M-Platte zu herzustellen, fand die Platte nur zögernd Abnehmer. Als Folge davon zog 3M ihre Platte 1972 vom Markt zurück und verkaufte ihre Patente an die Firma Toray.

Rückblickend kann man sagen, dass 3M vor allem zwei Faktoren falsch eingeschätzt hatte, sodass es zu diesem Rückzug kommen musste. Der eine war, dass 3M die Wahl der Druckfarbe ihren Kunden überliess. Im Grunde genommen hätte 3M von Anfang an die Zusammenarbeit mit einem Druckfarbenhersteller suchen sollen. Vielleicht hätte sogar ein Druckmaschinenhersteller beigezogen werden sollen. Man hätte dann am Schluss ein Verfahren anstatt nur eine Platte verkaufen können. Ein weiterer kritischer Faktor war, dass die Silikonschicht der 3M-Platte mit der lichtempfindlichen Kopierschicht kombiniert war. Da die lichtempfindliche Komponente eine gewisse Polarität besitzt, wurde dadurch die Haftung der Druckfarbe an der Silikonschicht noch zusätzlich begünstigt.

Die Toray-Platte

Die Firma Toray hat zwar die Patente der Firma 3M (und noch weiterer Firmen) gekauft, aber ein weitgehend neues Produkt entwickelt. Der wichtigste Unterschied zur 3M-Platte war, dass die farbführende Schicht nicht mehr Aluminium, sondern eine Fotopolymer-Kopierschicht war. Die farbabweisende Schicht bestand andererseits aus reinem Silikonkautschuk. Von den Oberflächenspannungen her war diese Kombination aber nicht günstiger als bei der 3M-Platte, denn die Differenz zwischen der Druckfarbe und der Silikonschicht betrug nur etwa 15 mN/m. Aus den Erfahrungen mit der 3M-Platte hat man aber zwischenzeitlich gelernt, wie eine optimale Druckfarbe für dieses Verfahren beschaffen sein muss. Insbesondere hat man festgestellt, dass durch die Zugabe von Silikonöl zur Druckfarbe die Farbannahme auf der Silikonschicht nachhaltig verhindert wer-

den konnte. Das Silikonöl baut ähnlich wie das Feuchtwasser im Nass-Offsetdruck eine leicht spaltbare Trennschicht auf, also eine „weak fluid boundary layer“, sodass dann die Druckfarbe auf der Silikonschicht nicht mehr haftet. Silikonöl wird ja auch eingesetzt, um die Farbannahme an beschädigten Stellen der Silikonschicht zu verhindern. Der Drucker spricht hier vom „Silikonpinsel“. An sich ist es aber auch möglich, ohne Silikonölsatz zu drucken, doch werden dann die Toleranzgrenzen für die optimale Kohäsion der Druckfarbe deutlich enger. Die Toray-Platte wurde an der Drupa 1977 erstmals präsentiert, aber in der Folge vom Markt nur zögernd akzeptiert. Zum einen war die Platte anfänglich kratzempfindlich wie die 3M-Platte, was die Auflagebeständigkeit verminderte. Dann gab es nur wenige Druckfarbenhersteller, die geeignete Farben liefern konnten. Da die erste Toray-Platte eine Positivplatte war, war sie auch nicht auf den amerikanischen Markt zugeschnitten, da dort die Negativkopie dominierte. Eine Negativplatte wurde dann an der Print ,80 präsentiert.

Man kann sich überlegen, dass eine Druckfarbe mit einer höheren Oberflächenspannung eine noch günstigere Voraussetzung bieten müsste, um die Farbannahme auf der Silikonschicht zu verhindern. Es könnte dann auch der Zusatz von Silikonöl entfallen. Eine höhere Oberflächenspannung erreicht man mit hydrophilen Komponenten in der Druckfarbe. Auf der Basis dieser Überlegung hat Sun Chemical seit der Drupa 2000 für den wasserlosen Druck verschiedene Druckfarben auf Wasserbasis vorgestellt, so für Bogenmaschinen die Typen Irodry W2 und DriLith W2, und für den Zeitungsdruck die Farbserie Shark. Diese haben auch den Vorteil, dass keine lösemittelhaltige Waschmittel notwendig sind, was die VOC-Bilanz erheblich verbessert (VOC = volatile organic compounds).

Weitere Entwicklungen und heutiger Stand

Von 1977 bis 1991 gab es nur die Toray-Platte. Da diese erheblich teurer war als eine konventionelle Offsetplatte, schreckte dies viele Interessenten am wasserlosen Offsetdruck ab, dazu vielleicht auch die Abhängigkeit von einem einzelnen Plattenhersteller. Dann gab es bis 1991 auch keine Druckmaschine, die speziell für den wasserlosen Druck konzipiert war. Der wasserlose Druck erfolgte damals auf konventionellen Offsetmaschinen mit abgestelltem Feuchtwerk. Die notwendige Temperierung der Farbwalzen und des Druckzylinders wurde oft durch nachträgliche Einbauten realisiert. Noch hatte kaum jemand den Mut, das Feuchtwerk auszubauen oder gar eine Druckmaschine ohne Feuchtwerk zu bestellen. Dann bekam der wasserlose Offsetdruck plötzlich Auftrieb durch eine neue Technologie, die an sich mit dem wasserlosen Druck nichts zu tun hatte. Die Rede ist von der DI-Technologie (DI = Direct Imaging), mit welcher Druckplatten digital in der Druckmaschine bebildert wurden. Die erste Druckmaschine dieser Art war die Heidelberg GTO-DI, die an der Print '91 vorgestellt wurde. Als Begründung, weshalb für diese Maschine eine wasserlose Druckplatte gewählt wurde, wurde genannt, dass die digitale Bebilderungseinheit am einfachsten dort platziert werden konnte, wo sich normalerweise das Feuchtwerk befindet. Aber man dachte auch an die geringere Anfahrmakulatur, die kleinere Auflagen begünstigte. Mit der DI-Technologie kam zudem ein neuer Plattenhersteller auf den Markt, nämlich die US-Firma Presstek, die nebst der digitalen Bebilderungseinheit auch die wasserlose Druckplatte lieferte. In der Folge schrieb die DI-Technologie mit wasserlosen Platten eine eigentliche Erfolgsgeschichte. 1995 kam die Heidelberg Quickmaster DI auf den Markt. An der Drupa 2000 wurden gleich mehrere neue DI-Maschinen vorgestellt. Die Firma Presstek war für fast alle diese Maschinen der Plattenlieferant. 2006 stellte Presstek dann auch noch selbst eine DI-Maschine vor. Die DI-Maschi-

nen deckten vorwiegend den Kleinauflagenmarkt ab, sodass der wasserlose Druck im grösseren Auflagenbereich zunächst noch eine relativ geringe Bedeutung hatte.

In der Zwischenzeit hatten sich zur Förderung des wasserlosen Drucks drei Vereinigungen gebildet, nämlich 1992 die WPA (Waterless Printing Association USA), die sich ab 2009 IWPA (International Waterless Printing Association) nannte. 1993 wurde die JWSA (Japan Waterless Printing Association) und 1995 die EWPA (European Waterless Printing Association e.V.) gegründet. Die japanische Vereinigung gibt an, dass sie 200 Mitglieder hat. Die Mitgliederzahlen der zwei anderen Vereinigungen sind nicht bekannt.

Ein neues Anwendungsfeld tat sich auf, als KBA und Heidelberg ab 2000 Rollenoffsetmaschinen für den wasserlosen Druck anboten. Zwar gab es schon früher Betriebe, die im Rollenoffset wasserlos druckten, aber auf Maschinen, die nicht speziell für den wasserlosen Druck angeboten wurden. So praktizierte beispielsweise die Firma AVD in Goldach (Schweiz) den wasserlosen Druck von 1995 bis 2002 auf einer Rotoman D. Mit der Einführung der KBA Cortina fand der wasserlose Offsetdruck schliesslich auch im Zeitungsdruck Anwendung. In der Zwischenzeit gibt es 18 Anwender-Betriebe in neun Ländern. Einer davon (Freiburger Druck GmbH & Co. KG) wurde 2012 von der Zeitschrift „Druck&Medien“ sogar zum „Zeitungsdrucker des Jahres“ ernannt.

Im Bogendruck ist der wasserlose Offsetdruck speziell in Kombination mit Kurzfarbwerken attraktiv. Die Firma KBA gibt an, dass ihre wasserlos druckenden Bogenmaschinen mit Kurzfarbwerken nur eine einzige Bedienungsperson benötigen. Damit ergibt sich trotz höheren Plattenpreisen eine günstige Kostenrechnung. Auch wenn die weiteren (hier nicht aufgezählten) Vorteile des wasserlosen Offsetdrucks sehr überzeugend sind, bleibt die Bilanz über die heutige Bedeutung dieses

Verfahrens eher ernüchternd. Gemäss einer Presseinformation der Heidelberger Druckmaschinen belief sich der wasserlose Anteil im Offsetdruck 2009 auf etwa fünf Prozent. An dieser Aussage dürfte sich bis heute wenig geändert haben. Die wasserlos arbeitenden DI-Offsetmaschinen haben sogar seit etwa 10 Jahren ständig an Bedeutung verloren, was die Heidelberger Druckmaschinen 2006 ver-

anlasste, sich aus diesem Markt zurückzuziehen. Es gibt zwar immer wieder neue Anwendungen im wasserlosen Druck, doch werden diese zu einem guten Teil von solchen kompensiert, die wieder aus diesem Verfahren aussteigen. Nicht zu Unrecht wurde der wasserlose Offsetdruck daher in der Fachpresse schon als „ewiges Talent“ bezeichnet.



Abbildung 1: Wahrscheinlich das erste Patent, das den lithographischen Druck ohne Feuchtwerk beschreibt.

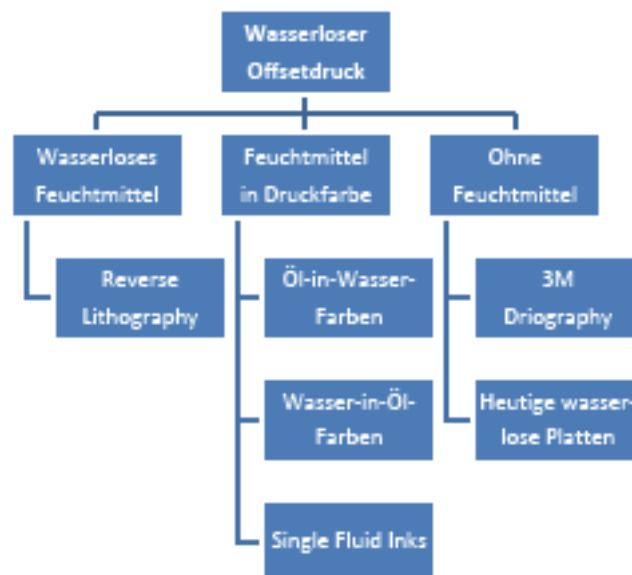


Abbildung 2: Einteilung der Möglichkeiten, ohne wässriges Feuchtmittel zu drucken

Dr.-Ing. Dipl.-Math. Michael Dattner, Bielefeld

Die wellenlängenabhängige Flächendeckung



geboren am 18. April 1972 in Gerolstein. 1991 Abitur am Staatlichen St.-Matthias Gymnasium in Gerolstein 2011 Promotion zum Dr.-Ing. an der Bergischen Universität Wuppertal mit dem Thema: Spektrales Farbvorhersagemodell für den Rasterdruck auf Basis der wellenlängenabhängigen Flächendeckung. April 2005 Hochschul-Abschluss als Diplom-Mathematiker an der Technischen Universität Kaiserslautern. Das Thema der Diplomarbeit: Ein Produktkernsystem zur Behandlung von Randwertproblemen der Helmholtz-Schwingungsgleichung. Aktuell: Projektleiter techn. Entwicklung, BST-International GmbH Bielefeld

Einleitung

Der vorliegende Artikel basiert auf meiner Dissertationsschrift mit dem Titel „Spektrales Farbvorhersagemodell für den Rasterdruck auf Basis der wellenlängenabhängigen Flächendeckung“.

Die wellenlängenabhängige Flächendeckung ist demnach die innovative Grundlage für ein neues spektrales Farbvorhersagemodell, das auf empirische Parameter verzichten kann. Anhand der spektralen Auswertung von gedruckten 50% Rastertonfeldern können sämtliche Lichtstreu- und Farbübertragungseffekte implizit bei der Berechnung der zu erwartenden Remission bezüglich aller übrigen Flächendeckungsgrade im einfarbigen Rasterdruck berücksichtigt werden. Auch der Übereinanderdruck mehrerer Primärfarben lässt sich auf dieser Basis modellieren, was die spektrale Farbvorhersage für den Mehrfarben-Rasterdruck ermöglicht. Sämtliche erforderlichen Parameter sind physikalisch begründet, können aber auch praxisrelevant numerisch bestimmt werden.

Viele der heutigen Farbvorhersagemodelle binden wahrnehmungsrelevante Einflussgrößen des Druckprozesses sowie Lichtstreuungs- und Farbspreizungseffekte in die Modellierung ein. Dies geschieht aber über eine Vielzahl von meist empirischen Parametern, deren Abschätzung oft schwierig bzw. mit sehr hohem Erhebungsaufwand verbunden ist. Im Gegensatz dazu kann der hier vorgestellte wellenlängenabhängige Flächendeckungsansatz ohne großen Aufwand bei der Initialisierung und ohne empirische Parameter arbeiten. Dabei beschreibt er die optische Wirkung sämtlicher relevanter Effekte und bietet die Möglichkeit diese Informationen in ein spektrales Farbvorhersagemodell einfließen zu lassen.

Dieser Artikel beschränkt sich darauf die vorbereitenden Passagen der Gesamtschrift nur zu streifen, den eigentlichen Ansatz und die Einbindung in ein spektrales Farbvorhersagemodell ausführlich wider zu geben und zum Abschluss sowohl die Konsolidierung als auch die Ergebnis-Validierung des Ansatzes wieder sehr kurz darzustellen.

Grundlegendes

Die für die Modellkonsolidierung relevanten Ansätze beginnen mit der Rastertonvorhersage von MURRAY-DAVIES [Mur36]. Demichel und Neugebauer gehen auch noch von idealen Druck- und Materialeigenschaften aus [Dem24][Neu37], während YULE-NIELSEN und CLAPPER-YULE schon Ansätze zur Berücksichtigung der Lichtstreuung im Bedruckstoff entwickeln [Yul51] [Yul53]. Die Implementierung der Punktspreizfunktion nach ROGERS oder RUCKDESCHEL & HAUSER [Rog00] [Hau78] wird ergänzt durch Ergebnisse von Untersuchungen bezüglich der Farbspaltung und deren Einfluss durch BEHLER oder EMMEL & HERSCH [Beh93] [Her02].

Eine abstrakte Herangehensweise die Lichtstreuung im Bedruckstoff im Zusammenwirken mit gedruckten Rasterpunkten zu beschreiben ist der Ansatz von PAUL: Modellierung der Farbspreizungs- und Lichtstreuungseffekte durch kreisförmige Punkte mit Ringen unterschiedlicher Schichtdicke und Breite. Dabei geht man davon aus, dass der innere Teil von Rasterpunkten die Schichtdicke des Volltons hat, ein (theoretischer) Ring um diesen Punkt herum jedoch eine geringere Schichtdicke aufweist. Durch Variieren des Kreis- und Ringdurchmessers sowie der Schichtdicke des Ringes werden die gemessenen Farbwerte von gerasterten Primärfarben simuliert [Pau97].

Die Idee, den Druckpunkt als Kombination von Teilbereichen individueller Schichtdicke zu betrachten, ist nach den vorgestellten Ansätzen also nichts Neues. Aber die Berücksichtigung der Lichtstreuung im Bedruckstoff und der tatsächlichen Schichtdickenverteilung innerhalb der Rasterpunkte ohne Mikrofarbmessung und ohne empirische Abstrahierung erfolgt zum ersten Mal in der angesprochenen Dissertation.

Es gelingt mittels spektraler Daten eines gedruckten 50% Rastertons sämtliche Informationen bezüglich der individuellen und tatsächlichen Punktstreu- und Farbstreufunktionen implizit zu berücksichtigen, und diese Informationen für alle übrigen Flächendeckungen und Flächendeckungskombinationen für die Berechnung der zu erwartenden Rastertonremission zu übertragen.

Der Ansatz

Die wellenlängenabhängige Flächendeckung ist eine spezielle Form der optisch wirksamen bzw. effektiven Flächendeckung. Sie bietet die Möglichkeit, ausgehend von wenigen Remissionsmessungen, die Spektralwertverläufe beliebiger nomineller Flächendeckungskombinationen der Primärfarben ohne empirische Parameter zu berechnen. Nun wird ausgehend von der allgemeinen optisch wirksamen Flächendeckung die Definition der wellenlängenabhängigen Flächendeckung und ihre Einbindung in die Farbvorhersage vorgestellt.

Im Gegensatz zum Tonwert im Datensatz (nominelle Flächendeckung) oder der geometrischen Flächendeckung auf der Druckplatte ist die optisch wirksame Flächendeckung diejenige, die auf dem Druckergebnis "gemessenen" werden kann. Die Differenz zwischen der nominellen und optisch wirksamen Flächendeckung wird als "Tonwertzunahme" bezeichnet [Bei00] und beinhaltet sowohl mechanische Einflüsse, die durch eine tatsächliche geometrische Vergrößerung der übertragenen Druckpunkte hervorgerufen werden und den optisch, spektralen Einfluss des so genannten "Lichtfangs" [Hüb93]. Lichtfang im Rasterdruck entsteht in diesem Zusammenhang durch die Streuung im Bedruckstoff und insbesondere dann, wenn Strahlungsanteile

die Grenze zwischen unbedruckter und bedruckter Fläche (und umgekehrt) durch Horizontalstreuung innerhalb des Bedruckstoffs überqueren [Hüb93]. Zwischen dem Tonwert im Datensatz und der geometrischen Flächendeckung auf der Druckplatte sind durch das Auflösungsvermögen der Druckplatten und des Druckplattenbelichters ebenfalls Unterschiede zu erwarten, die aber als gering einzustufen sind [Kip00].

Die zulässigen Tonwertzunahmen sind im Prozess Standard Offset (PSO) geregelt [bvd08] und zur Einhaltung dieses Standards müssen individuelle Tonwertkorrekturen bei der Druckplattenbebilderung vorgenommen werden. Um jedoch die Einflüsse unterschiedlichster Tonwertkorrekturen auszuschließen, sind alle in den Versuchsreihen verwendeten Druckplatten rein linearisiert, also ohne Tonwertkorrektur, bebildert worden. Damit entspricht die geometrische Flächendeckung auf der Druckplatte dem Tonwert aus dem Datensatz, womit die nominelle Flächendeckung in der vorliegenden Arbeit sowohl für den Tonwert im Datensatz als auch für die geometrische Flächendeckung der Druckplatte steht. Eine Berücksichtigung tonwertkorrigierter Nominalflächendeckungen ist jedoch sehr leicht möglich und stellt somit keinerlei Einschränkung für die Umsetzung in der Praxis dar.

Die Betrachtung der optisch wirksamen Flächendeckung konzentriert sich in erster Linie auf Primärfarben. Demnach ist auch der Ausgangspunkt der wellenlängenabhängigen Flächen- deckung die optisch wirksame bzw. effektive Flächendeckung A_{eff} nach Murray-Davis bezüglich eines einfarbig aufgebauten Rastertonfelds mit nomineller Flächendeckung a definiert. In der folgenden Gleichung nach DIN 16527-3 [DIN93] stehen die relativen Dichten des Raster- tonfeldes mit der nominellen Flächendeckung a bzw. 100%:

$$A_{eff}^a := \frac{1 - 10^{-\tilde{D}_a}}{1 - 10^{-\tilde{D}_{VT}}}$$

Die aufgeführten relativen Dichten sind nach DIN 16536-1 anhand von Dichtemessungen und vorgegebenen optischen Filtern (zusätzlich zum Polfilter) oder durch Remissionsmessungen (nach Systemkalibrierung auf dem Bedruckstoff ebenfalls mit Polfilter) mit mathematischen Gewichtungsfunktionen laut folgender Gleichung zu bestimmen. Sowohl die Lichtart der Mess- beleuchtung, also das Eingangsspektrum $S(\lambda)$, als auch die farbspezifische Gewichtungsfunk- tion, also die relative spektrale Empfindlichkeit des Empfängersystems $s(\lambda)$, sind in dieser DIN definiert [DIN97]:

$$D := -\lg \frac{\sum_{\lambda} \beta(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot s(\lambda)}{\sum_{\lambda} S(\lambda) \cdot s(\lambda)}$$

Durch die Vorgabe der relativen spektralen Empfindlichkeit des Empfängersystems $s(\lambda)$ wird sichergestellt, dass insbesondere der Wellenlängenbereich der Hauptabsorption der jeweiligen Farbe berücksichtigt wird. In Abbildung 1 ist dieser Zusammenhang am Beispiel der Primär- farbe Magenta dargestellt.

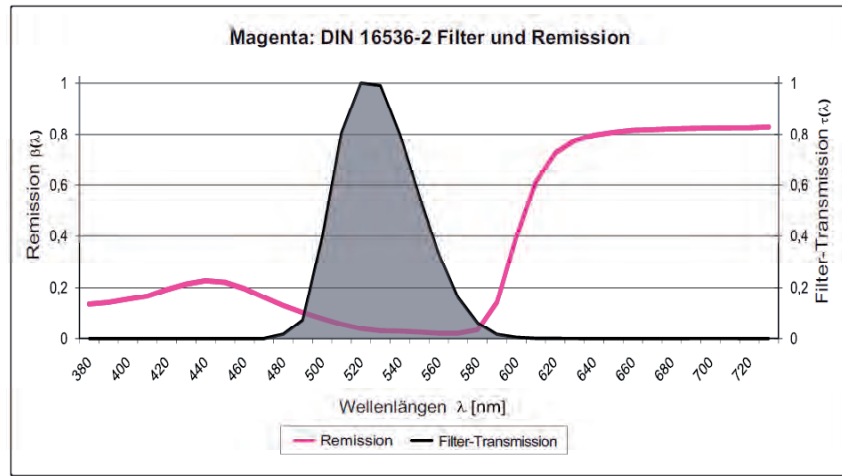


Abbildung 1: Spektrale Empfindlichkeit des Empfängersystems nach DIN 16536-2 zur Bestimmung der A_{eff} und die Remission der betreffenden Primärfarbe Magenta [Dat09]

Anpassungen bei der Berechnung der A_{eff} nach DIN 16527-3 erfolgen durch Rodriguez (vgl. ISO 5 „narrow-band“) dahingehend, dass die spektrale Empfindlichkeit des Empfängersystems $s(\lambda)$ auf eine farbspezifische Wellenlänge reduziert wird. Darüber hinaus wird nicht mehr der Bedruckstoff zur Systemkalibrierung herangezogen, sondern Referenzweiß wieder standardmäßig als Bezug für die spektralen Messungen verwendet [Rod03].

Demnach muss gegenüber der obigen Gleichung zunächst die Dichte des verwendeten Bedruckstoffs DPW berücksichtigt werden, wobei $s(\lambda)$ für deren Berechnung ebenfalls entsprechend der jeweiligen farbspezifischen Empfindlichkeit des Empfängersystems definiert ist:

$$A_{eff}^a := \frac{10^{-D_{PW}} - 10^{-D_a}}{10^{-D_{PW}} - 10^{-D_{VT}}}$$

Ersetzt man in dieser Gleichung, die direkt aus der ursprünglichen Murray-Davies-Gleichung ist, alle relevanten Dichten durch die jeweilige Formel nach DIN 16536-2 [DIN95], erhält man nach einigen Umformungen und der Beschränkung auf eine Wellenlänge pro Primärfarbe, folgenden Zusammenhang:

$$A_{effRod}^a := \frac{\beta_{PW}(\lambda) \cdot s(\lambda) - \beta_a(\lambda) \cdot s(\lambda)}{\beta_{PW}(\lambda) \cdot s(\lambda) - \beta_{VT}(\lambda) \cdot s(\lambda)}$$

$$\text{mit } s(\lambda) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{für } \lambda = 635 \text{ nm im Fall von Cyan} \\ 1 & \text{für } \lambda = 560 \text{ nm im Fall von Magenta} \\ 1 & \text{für } \lambda = 425 \text{ nm im Fall von Gelb} \\ 0 & \text{sonst} \end{array} \right\}$$

Abbildung 2 zeigt diese Anpassung am Beispiel der Primärfarbe Magenta und führt nun direkt zur wellenlängenabhängigen effektiven Flächendeckung, die bei der Farbvorhersage ihre

Anwendung finden wird.

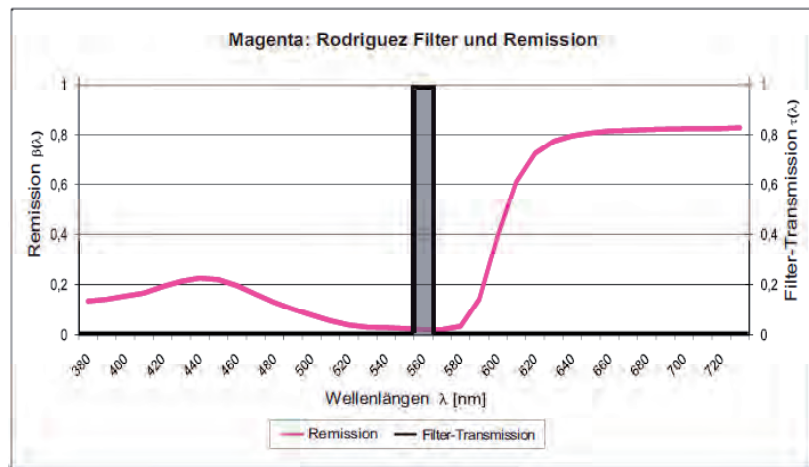


Abbildung 2: Spektrale Empfindlichkeit des Empfängersystems nach Rodriguez zur Bestimmung der Aeff Rod und die Remission der Primärfarbe Magenta [Dat09]

Aus der oben definierten skalaren, effektiven Flächendeckung Aeff Rod wird die vektorielle und damit wellenlängenabhängige, effektive Flächendeckung Aeff(λ) (Abbildung 3) abgeleitet, indem sie im Bezug auf jeden einzelnen Wellenlängenbereich individuell berechnet wird (Abbildung 4):

$$A_{eff}^a(\lambda) := \frac{\beta_{PW}(\lambda) - \beta_a(\lambda)}{\beta_{PW}(\lambda) - \beta_{VT}(\lambda)} \quad \forall \quad \lambda \in [380 \text{ nm}, \dots, 780 \text{ nm}]$$

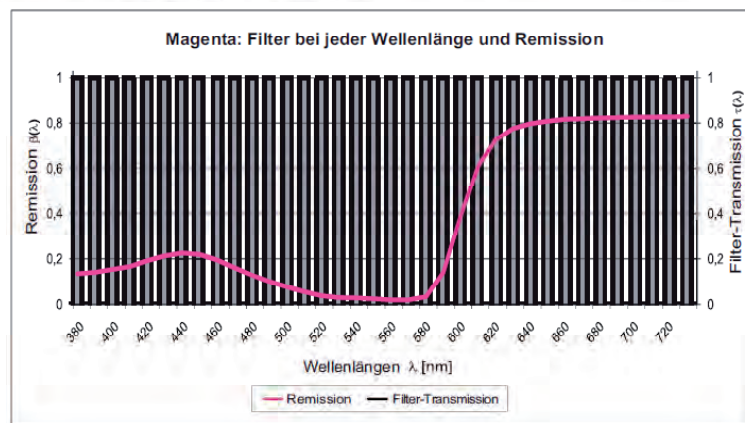


Abbildung 3: Spektrale Empfindlichkeit des Empfängersystems zur Bestimmung der Aeff (λ)

bezüglich jeder Wellenlänge und die Remission einer möglichen Primärfarbe Magenta [Dat09]

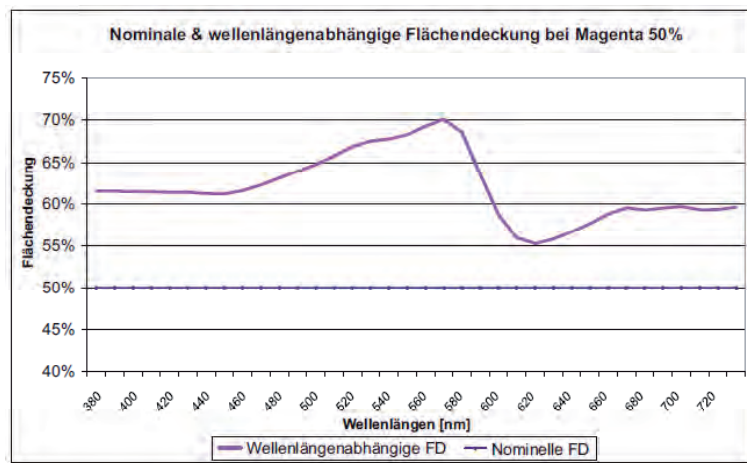


Abbildung 4: Gegenüberstellung der nominellen Flächendeckung $a = 50\%$ und $A_{50\%eff}(\lambda)$ am Beispiel einer Primärfarbe Magenta [Dat09]

Ist die jeweilige wellenlängenabhängige, effektive Flächendeckung eines gedruckten Primärfarbenrasterfelds bekannt, so ist die Berechnung der Remissionswerte des Tonwerts anhand dieser $A_{eff}(\lambda)$ und der Remissionen des Volltons und der unbedruckten Fläche (nach der angepassten Murray-Davies-Gleichung) nahezu fehlerfrei möglich.

Dies war zu erwarten, da in die Berechnung der $A_{eff}(\lambda)$ die spektralen Informationen des Rasterfelds eingeflossen sind. Die Berechnung der wellenlängenabhängigen, effektiven Flächendeckung allein bringt also noch keinen Vorteil im Bereich der spektralen Farbvorhersage. Erst die offensichtliche Beziehung zwischen der nominellen Flächendeckung und der wellenlängenabhängigen, effektiven Flächendeckung bietet die Möglichkeit, ausgehend von wenigen Remissionsmessungen, sämtliche Spektralverläufe beliebiger nomineller Flächendeckungskombinationen der Primärfarben vorausberechnen zu können. Dazu sind in Abbildung 5 die nach der angegebenen Definition berechneten $A_{eff}(\lambda)$ bezüglich einfarbiger Rastertonfelder mit verschiedenen Flächendeckungen (von 10% bis 90% in 10% Schritten, am Beispiel einer Primärfarbe Magenta) dargestellt. Deutlich erkennbar ist der charakteristische Kurvenverlauf von $A_{50\%eff}(\lambda)$, der sich in allen $A_{eff}^a(\lambda)$ mit $a \in [10\%, 20\%, \dots, 90\%]$ wieder findet. Dabei ist die Charakteristik dieses Kurvenverlaufs bei allen $A_{eff}^a(\lambda)$ unterschiedlich stark ausgeprägt.

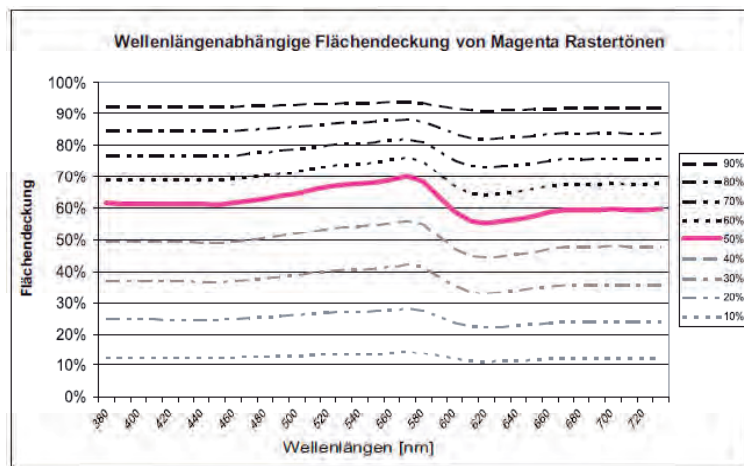


Abbildung 5: Berechnete, effektive, spektrale Flächendeckungsverläufe bezüglich verschiedener nomineller Flächendeckungen [Dat09]

Wie gleichmäßig und damit vorausberechenbar die "gemessenen" $A_{\text{eff}}^a(\lambda)$ von einem in 1% Schritten abgestuften Magenta Farbverlauf liegen zeigt Abbildung 6. Erkennbare Unregelmäßigkeiten liegen (auch bei den übrigen Druckfarben) ausschließlich im Bereich geringster Absorption (hier bei $\lambda > 620 \text{ nm}$, vgl. Abbildung 3) und sind demnach für den Einfarbendruck vernachlässigbar.

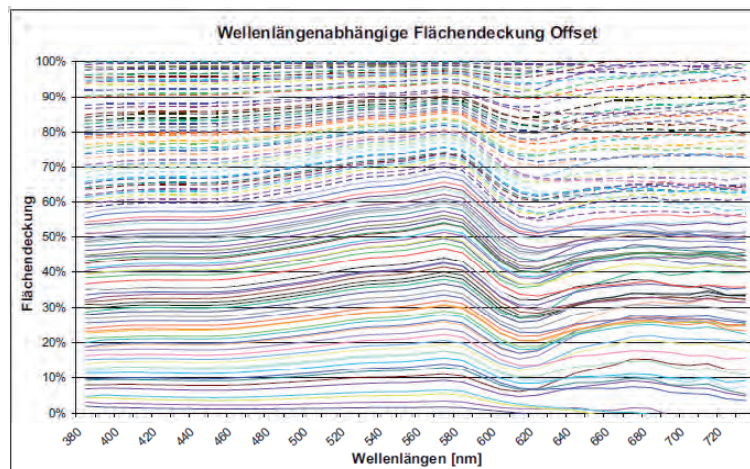


Abbildung 6: "gemessene" $A_{\text{eff}}^a(\lambda)$ von 100 nominellen Flächendeckungen in Magenta im Offsetdruckverfahren auf APCO II/II gedruckt.

Für die eigentliche Definition der wellenlängenabhängigen Flächendeckung wird der angesprochene injektive Zusammenhang zwischen der nominellen Flächendeckung a und $A_{\text{eff}}^a(\lambda)$ mit Hilfe des charakteristischen Kurvenverlaufs $C(\lambda)$ des 50% Tonwerts formuliert. Diese Beziehung lässt sich mathematisch wie folgt ausdrücken:

Definition 1 (wellenlängenabhängige Flächendeckung)

Sei $A_{\text{eff}}^a(\lambda)$ die wellenlängenabhängige effektive Flächendeckung des 50% Tonwerts, sei a die nominelle Flächendeckung zu deren Basis die wellenlängenabhängige Flächendeckung $Aa(\lambda)$ berechnet werden soll und sei $\square(a)$ eine von der nominellen Flächendeckung a abhängige

Gewichtungsfunktion. Dann ist durch

$$A_a(\lambda) := (A_{eff}^{50\%}(\lambda) - 0.5) \cdot \vartheta(a) + a \quad \forall \quad \lambda \in [380 \text{ nm}, \dots, 780 \text{ nm}]$$

die individuelle wellenlängenabhängige Flächendeckung bezüglich der nominellen Flächendeckung a definiert.

Hier besteht die Möglichkeit, gänzlich ohne empirische Parameter die direkte Beziehung zwischen der Randlänge der druckenden Elemente und der jeweiligen nominellen Flächendeckung über die noch nicht näher beschriebene Gewichtungsfunktion $\vartheta(a)$ auszunutzen. Mathematisch lässt sich $\vartheta(a)$ über diesen Zusammenhang folgendermaßen definieren.

Definition 2 (Gewichtungsfunktion)

Sei R_a die individuelle freie Randlänge der druckenden Elemente (auf der Druckplatte gemessen) bezüglich der nominellen Flächendeckung a . Dann ist durch

$$\vartheta(a) := R_a / R_{50\%}$$

die Gewichtungsfunktion definiert.

Dies muss im Vorfeld anhand eines Primärfarbverlaufs einmalig durchgeführt werden, um $A_a(\lambda)$ zur Farbvorhersage ohne empirische Parameter nutzen zu können. Abbildung 7 zeigt, wie eine Anpassung der Mikroskopaufnahmen von der in "RoundSquare"-Rasterung [Hei07] bebilderten Druckplatte erfolgt, um mittels Bildanalysesoftware die freie Randlänge exakt ermitteln zu können.

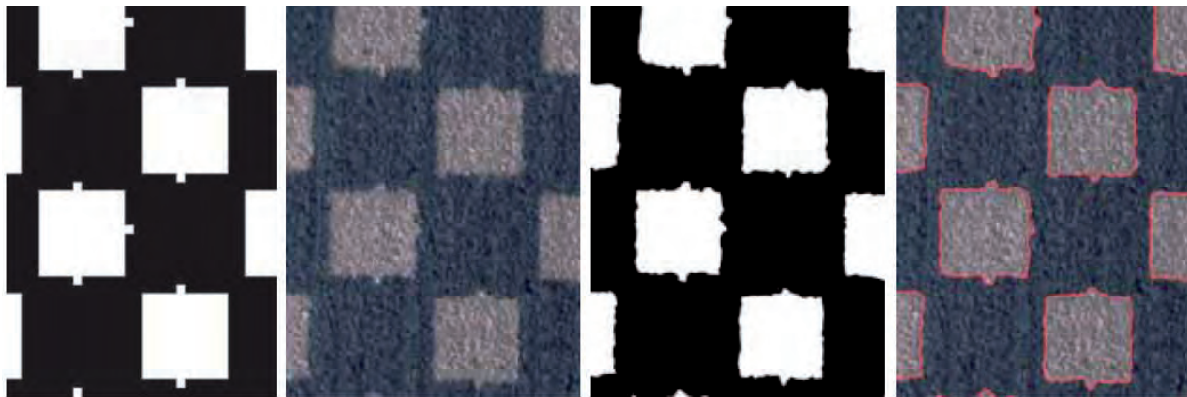


Abbildung 7: Druckplattenbelichtungsdatei mit 70% Flächendeckung (1. von links); Mikroskopaufnahme einer Druckplatte (2. von links); für die Randlängenbestimmung angepasste Aufnahme (3. von links); ermittelter Rand auf Mikroskopaufnahme projiziert (rechts)

Dieser optophysikalisch begründete Ansatz wird durch empirische Untersuchungen bestätigt, bei denen $\vartheta(a)$ anhand einer Messreihe mit eng abgestuften Nominalflächendeckungen $a \in [1\%, 2\%, \dots, 100\%]$ in einer Primärfarbe bestimmt wird. Wie gut die empirisch ermittelten $\vartheta(a)$ mit den von der Druckpunktrandlänge abgeleiteten Werten übereinstimmen, zeigt Abbildung 8. Dementsprechend vergleichbar gute Ergebnisse sind bei der Farbvorhersage zu erwarten. Bei der rein empirischen Berechnung von $\vartheta(a)$ muss über alle Wellenlängen und für jede Flächendeckung der optimale Wert durch Minimierung der Spektralwert-Metrik ΔE_s gefunden werden, die sich im Gegensatz zur Farbvalenzmetrik auf die Spektralwerte bezieht:

Definition 3 (Spektralwert-Metrik)

Seien $\beta_1(\lambda)$ und $\beta_2(\lambda)$ Remissionen, dann ist durch

$$\Delta E_s := \sum_{\lambda} \left(\beta(\lambda) - \widehat{\beta(\lambda)} \right)^2$$

deren spektraler Abstand ΔE_s definiert.

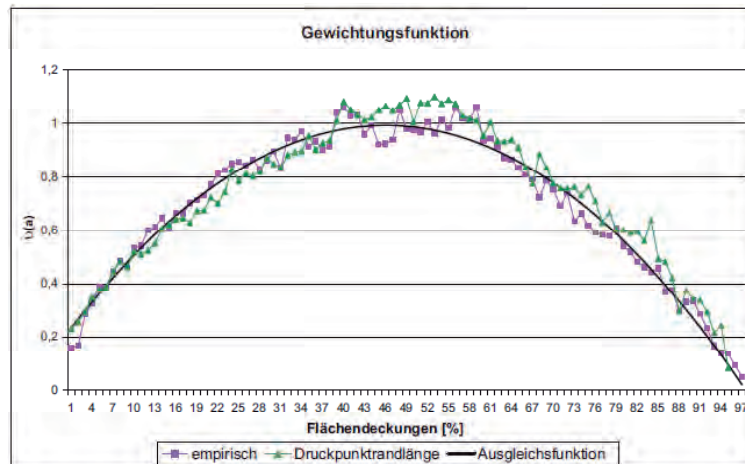


Abbildung 8: Die Gewichtungsfunktion $u(a)$ bezüglich der gemessenen Randlänge mit Ausgleichsfunktion sowie rein empirisch generierte Werte

Diese $u(a)$ für alle Flächendeckungen a über wenige Bezugswerte zu bestimmen, ist eine empirische, aber praxisrelevante Möglichkeit: Für alle Flächendeckungen, die zwischen den gemessenen Stützstellen liegen, werden die $u(a)$ durch Interpolation dieser Lösung bestimmt. Kennt man nun die von Druckplatten- und Rastertyp abhängige $u(a)$, wird die Farbvorhersage mittels $A_a(\lambda)$ möglich.

Die grundlegende Verbesserung gegenüber anderen Ansätzen ist demnach die konkrete Messbarkeit sämtlicher Material- und Prozessgrößen, die durch die wellenlängenabhängige Flächendeckung und der darin enthaltenen spektralen Informationen auch ohne empirische Parameter im Modell berücksichtigt werden.

Die Einbindung der wellenlängenabhängigen Flächendeckung in die Farbvorhersage erfolgt ganz analog zu der skalaren Flächendeckung bei den Anfängen der Rasterdruckvorhersage. Im einfarbigen Rasterdruck ersetzt $A_a(\lambda)$ die Flächendeckung a in der Murray-Davies-Formel und bindet somit alle angesprochenen Einflüsse mit ein, die über die Annahme einer homogen liegenden Farbschicht auf ideal streuendem Bedruckstoff hinaus gehen:

$$\widehat{\beta_a(\lambda)} := A_a(\lambda) \cdot \beta_{VT}(\lambda) + (1 - A_a(\lambda)) \cdot \beta_{PW}(\lambda) \quad \forall \quad \lambda \in [380 \text{ nm}, \dots, 780 \text{ nm}]$$

Des Weiteren lassen sich für die Modellierung des Übereinanderdrucks die neuen wellenlängenabhängigen Flächendeckungen $A_{ac}(\lambda)$, $A_{am}(\lambda)$ bzw. $A_{ay}(\lambda)$ statt der a_c , a_m bzw. a_y in den DEMICHEL-Gleichungen verwenden:

$$\begin{aligned} f_{PW}(\lambda) &:= (1 - A_a^c(\lambda)) \cdot (1 - A_a^m(\lambda)) \cdot (1 - A_a^y(\lambda)) \\ f_c(\lambda) &:= A_a^c(\lambda) \cdot (1 - A_a^m(\lambda)) \cdot (1 - A_a^y(\lambda)) \\ f_m(\lambda) &:= (1 - A_a^c(\lambda)) \cdot A_a^m(\lambda) \cdot (1 - A_a^y(\lambda)) \\ f_y(\lambda) &:= (1 - A_a^c(\lambda)) \cdot (1 - A_a^m(\lambda)) \cdot A_a^y(\lambda) \\ f_r(\lambda) &:= (1 - A_a^c(\lambda)) \cdot A_a^m(\lambda) \cdot A_a^y(\lambda) \\ f_g(\lambda) &:= A_a^c(\lambda) \cdot (1 - A_a^m(\lambda)) \cdot A_a^y(\lambda) \\ f_b(\lambda) &:= A_a^c(\lambda) \cdot A_a^m(\lambda) \cdot (1 - A_a^y(\lambda)) \\ f_{DFS}(\lambda) &:= A_a^c(\lambda) \cdot A_a^m(\lambda) \cdot A_a^y(\lambda) . \end{aligned}$$

Diese Flächendeckungsanteile lassen sich wiederum in die Neugebauer-Gleichung einbinden:

$$\widehat{\beta_{cmy}}(\lambda) := \sum_{i \in \Psi} f_i(\lambda) \cdot \beta_{VT_i}(\lambda) \cdot \Gamma_i(\lambda) \quad \forall \quad \lambda \in [380 \text{ nm}, \dots, 780 \text{ nm}]$$

wobei die Indizes $i \in \Psi = \{\text{PW}, c, m, y, r, g, b, \text{DFS}\}$ für Papierweiß, Cyan, Magenta, Gelb, Rot, Grün, Blau und „Dreifarbenschwarz“ stehen. Mittels zusätzlichem Übereinanderdruck-Parameter $\Gamma_i(\lambda)$ werden die Veränderungen bei der Rasterübertragung auf schon bedruckte Bereiche berücksichtigt.

Konsolidierung

Ausgehend von einem idealisierten kreisrunden Druckpunkt mit einem ebenfalls idealisierten helleren Rand erfolgt die Konsolidierung des Modells, das die tatsächliche Erscheinung von Druckpunkten auf dem Bedruckstoff berücksichtigt. Die Erweiterung zeigt, wie sämtliche Informationen bezüglich der individuellen Dichte von einer Vielzahl an Teilbereichen eines Druckpunkts statt durch Mikrodensitometrie durch spektrale Auswertung erfasst werden. Abbildung 9 visualisiert die Konsolidierung.

Validierung

Es genügen 24 identifizierte Flächendeckungskombinationen, um die Remissionen sämtlicher CMY-Flächendeckungskombinationen voraus berechnen zu können. Der dabei zu erwartende Farbabstand ΔE_{2000} ist bei 89% aller betrachteten Testfelder kleiner als die laut CIE Definition überhaupt wahrnehmbare Farbabweichung von einer ΔE -Einheit (vgl. Abbildungen 10 und 11).

Der wellenlängenabhängige Flächendeckungsansatz

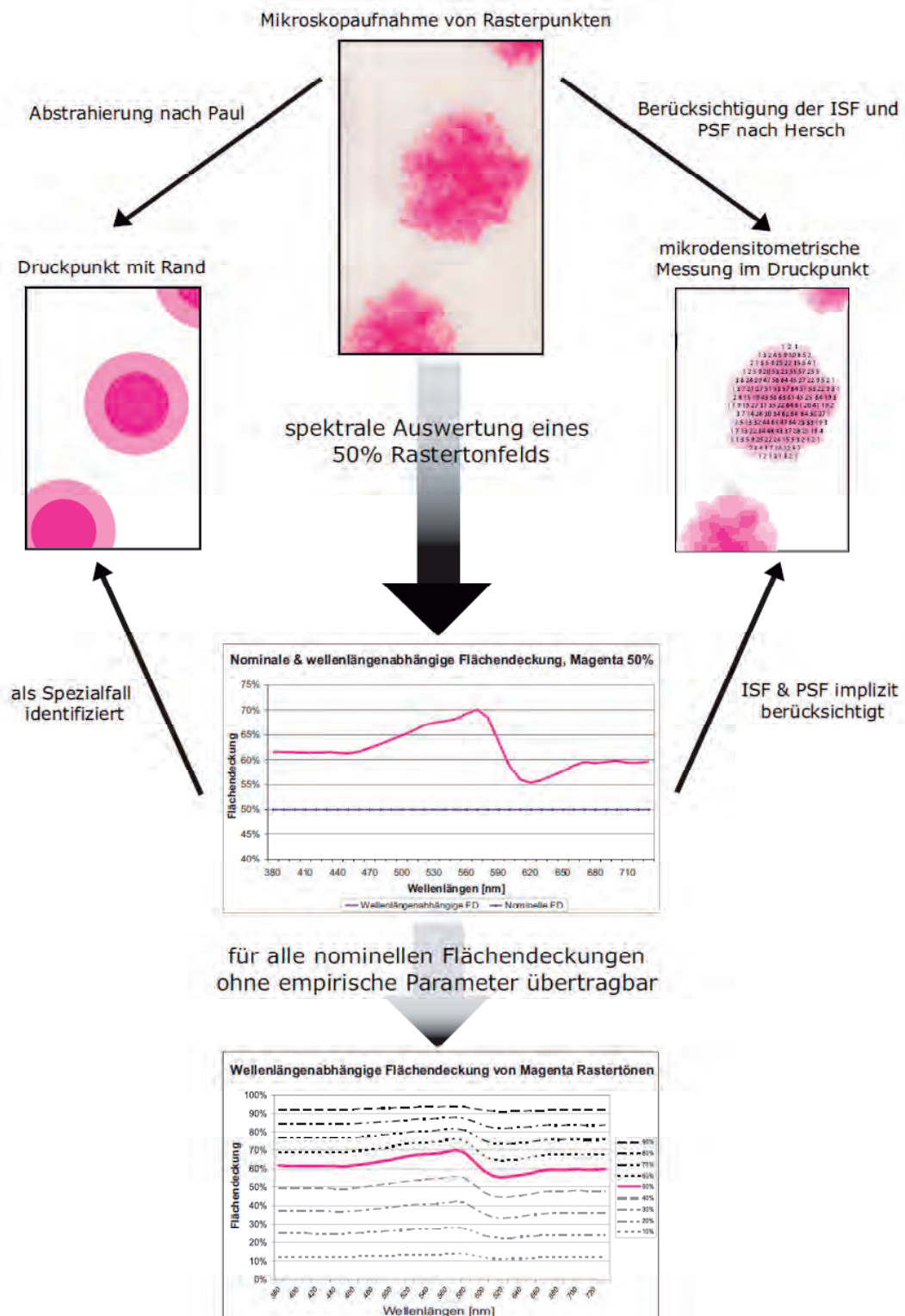


Abbildung 9: Konsolidierung

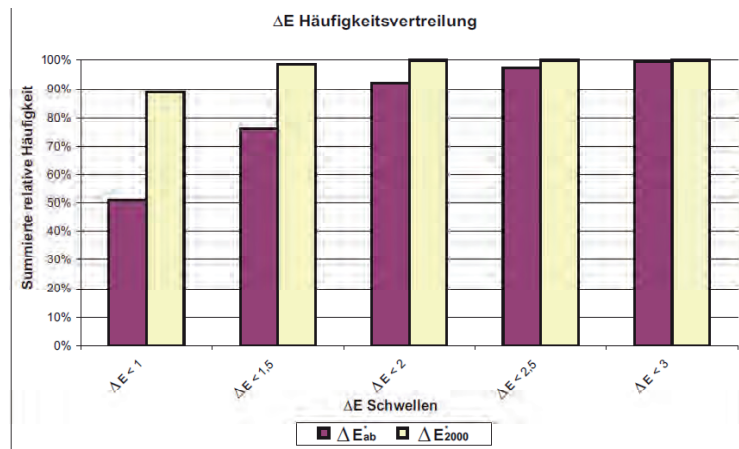


Abbildung 10: Erreichte Übereinstimmung zwischen modellierten und gemessenen Remissionen.

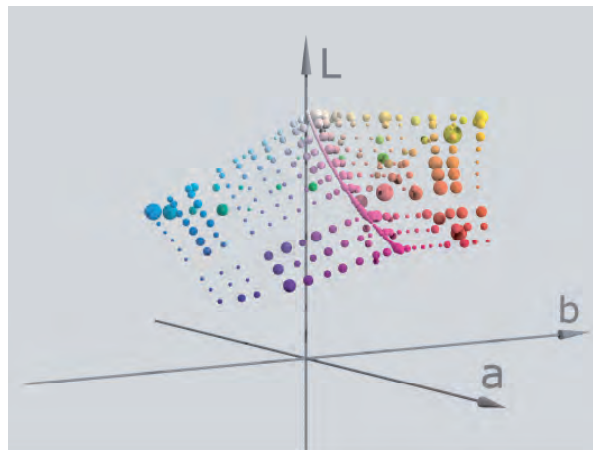


Abbildung 11: Dreidimensionale Darstellung der Farbabstände zwischen berechneten und gemessenen Farbvalenzen: die kleinsten Kugeln symbolisieren ΔE_{ab} -Abweichung kleiner 0,7 die größte beschreibt 3,7 ΔE_{ab} -Abweichung.

Bei dieser Validierung wird sowohl die Reproduzierbarkeit von spektralen Farbmessungen berücksichtigt, als auch (in der Gesamtschrift) gezeigt wie das Modell bezüglich des Inkjet-, Flexodruck- und Tiefdruckverfahrens arbeitet. Es wird gezeigt und erklärt, welche Einflüsse auf die Farbproduktion (und damit auf die Modellparameter) beispielsweise verschiedene Rasterfeinheiten oder -punktformen haben, wie sich verschieden stark pigmentierte Druckfarben auswirken, oder wie man den im Bogenoffset unvermeidlichen Farbabbau in Druckrichtung berücksichtigen kann.

Fazit

Letztendlich liegt die Vorhersagegenauigkeit des Modells im Bereich der Reproduktionsgenauigkeit der Druckverfahren und könnte somit anhand weniger Bezugsfelder für die Maschinenkalibrierung verwendet werden. Demnach könnte der bisher unumgängliche separate Druckjob mit formatfüllenden Test-Charts zur Maschinenkalibrierung eingespart werden. Dabei können die wenigen Bezugsfelder neben den Nutzen platziert und während der laufenden Produktion auch zur Prozessregelung verwendet werden.

Referenzen

- [Beh93] H. Behler. Die Randstruktur von Druckpunkten - eine experimentelle Untersuchung der Farbspaltungsströmung. PhD thesis, TH Darmstadt, 1993.
- [Bei00] W. Beier. Handbuch der Printmedien; Kapitel 3. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [bvd08] Arbeitsgruppe Medienstandard Druck bvd. Medienstandard Standard Druck 2008. Print + Media Forum AG, 2008.
- [Dat09] P. Urban J. Rodriguez H. Mantler M. Dattner. Colour prediction model on basis of the wavelength dependent area coverage including the scattering of light and optical brightener. IARIGAI, 36:161–169, 2009.
- [Dem24] M.E. Demichel. Procédé, 26:17–21, 1924.
- [DIN93] DIN. Deutsches Institut für Normung: DIN 16527-3 Kontrollfelder Anwendung im Druck, Teil 3. Beuth Verlag, Berlin, 1993.
- [DIN95] DIN. Deutsches Institut für Normung: DIN 16536-2 Farbdichtemessung an Drucken, Teil 2. Beuth Verlag, Berlin, 1995.
- [DIN97] DIN. Deutsches Institut für Normung: DIN 16536-1 Farbdichtemessung an Drucken, Teil 1. Beuth Verlag, Berlin, 1997.
- [Hei07] Heidelberger. Einführung in die Rastertechnologie. Heidelberger Druckmaschinen AG, Heidelberg, 2007.
- [Her02] P. Emmel R. D. Hersch. Modelling Ink Spreading for Color Prediction. JOURNAL OF IMAGING SCIENCE AND TECHNOLOGY, 46:237–247, 2002.
- [Hüb93] A. Hübler. Zur Struktur der Strahlungsprozesse in autotypisch gerasterten Druckbildern. PhD thesis, Technische Universität Berlin, 1993.
- [Kip00] H. Kipphan. Handbuch der Printmedien. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [Mur36] A. Murray. A monochrom reproduction of photograving. Journal of Franklin Institute, 221:721–744, 1936.
- [Neu37] H.E.J. Neugebauer. Die theoretischen Grundlagen des Mehrfarbendrucks. Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, 36:73–89, 1937.
- [Pau97] A. Paul. Drucktechnische Farbschwankungen im Offsetdruck und ihre farbmetrische Bewertung in verschiedenen Farbraumbereichen. PhD thesis, Hochschule der Künste Berlin, 1997.
- [Rod03] C. Biendarra H. Mantler J. Rodriguez. A bridge between colour and process-related magnitudes in autotypic printing. IARIGAI, 30:119–125, 2003.
- [Yul51] W.J. Nielsen J.A.C. Yule. The penetration of light into paper and its effect on halftone reproductions. TAGA, 3:65–76, 1951.
- [Yul53] F.R. Clapper J.A.C. Yule. The effect of multiple internal reflections on the densities of halftone prints on paper. Journal of the Optical Society of America, 43:600–603, 1953.

Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jürgen Willmann

Innovationen in der druckbaren Elektronik: Von der Idee zur Produktion



Geboren 1979 in Donaueschingen, 1999 Abitur, 2000 bis 2008 Studium des Wirtschaftsingenieurwesens mit der Fachrichtung Maschinenbau an der Technischen Universität Darmstadt. In der Zeit von 2005 bis 2008 als selbstständiger Berater (Willmann Consulting) tätig, 2009 – 2012 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der Technischen Universität Darmstadt, 2012 Promotion.

Die druckbare Elektronik ist noch eine junge Technologie, der großes Potential vorhergesagt wird. So wird für die druckbare Elektronik mittel- bis langfristig ein globales Marktvolumen von mehreren hundert Milliarden Euro prognostiziert, was in etwa dem wirtschaftlichen Stellenwert der heutigen konventionellen, siliziumbasierten Elektronik entspricht.

Druckbare Elektronik beschreibt eine Technologie, die mit angepassten Materialien in Kombination mit adaptierten Fertigungstechnologien, neuartige Anwendung ermöglicht, die der konventionellen Elektronik bisher nicht zugänglich waren. Beispiele für diese neuen Anwendungen sind: OLED Beleuchtung, intelligente Verpackungen, Smart Labels, RFIDs, Aktoren, flexible bzw. rollbare Displays, flexible Solarzellen und Batterien.

Der Erfolg der druckbaren Elektronik hängt unter anderem davon ab, ob die vielen Produktideen in eine erfolgreiche Produktion überführt werden können. Im Mittelpunkt dieser Untersuchung steht daher die Fragestellung, welche Einflussfaktoren die Produktion von druckbarer Elektronik bestimmen.

Die Erkenntnisse werden in dem Innovationsprozess der druckbaren Elektronik zusammengefasst und ermöglichen so eine Planung einer Produktion von druckbarer Elektronik. Produktionsprozess von druckbarer Elektronik. Der Produktionsprozess von druckbarer Elektronik ist in Abbildung 1 am Beispiel von OPV in allgemeiner Weise dargestellt. Zunächst muss das Substrat für das Aufbringen der Schichten vorbereitet werden. Dazu zählen beispielsweise das Reinigen oder Behandeln der Oberfläche, um die Benetzbarkeit für die nasschemischen Beschichtungsverfahren

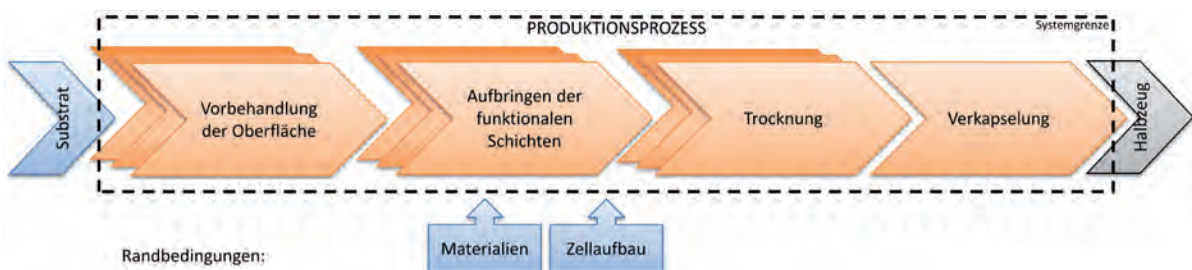


Abbildung 1: Allgemeine Darstellung des Produktionsprozesses der druckbaren Elektronik am Beispiel von OPV

zu gewährleisten. Diese Vorbereitungsschritte müssen gegebenenfalls für jede aufzutragende Schicht wiederholt werden. Daraufhin können die Funktionsmaterialien aufgebracht werden. Eine OPV-Zelle besteht je nach Zellenaufbau aus mehreren übereinander liegenden Schichten.

Je nach eingesetztem Material folgt jeweils ein Trocknungsschritt, indem die Lösemittel aus der Schicht ausgetrieben werden und nur noch das Funktionsmaterial auf dem Substrat verbleibt. Bei bestimmten Materialien können auch noch Aktivierungs- oder Sinterschritte notwendig werden. Der letzte Schritt ist die Verkapselung, bei der eine Schutzschicht aufgebracht wird, um die empfindlichen Funktionsschichten vor Umwelteinflüssen zu schützen.

Soll ein Produkt der druckbaren Elektronik weiterentwickelt werden, genügt es nicht, isoliert das Material oder das Layout zu verbessern. Es müssen mehrere voneinander abhängige Variablen gleichzeitig optimiert werden. Dazu zählen das Device-Layout, das Material und dessen Formulierung sowie der dazugehörige Prozess (s. Abbildung 2).

In der Untersuchung wurden die kritischen Parameter zum Aufbau einer Produktion druckbarer Elektronik analysiert und beschrieben. Die Parameter des Device-Designs betreffend sind: Schichtaufbau, geometrische Struk-

tur und Register sowie Empfindlichkeit ggü. Schmutz. Die Parameter des Funktionsfluids betreffend sind: Lösemittel und Explosionschutz, Stabilität ggü. Luft und Inertisierung, Preis sowie Fertigungsverfahren. Die Parameter des Substrats betreffend sind: mechanische Eigenschaften, Temperaturbeständigkeit, Transport-Methode sowie Handling. Parameter, die sich nicht den drei oberen Kategorien zuordnen lassen, werden zu sonstigen Parametern zusammengefasst: Qualitätssicherung, Leistungskennzahlen wie Fertigungsmenge und Gutmenge, sowie Anordnung der Bearbeitungsstationen.

Aus der Untersuchung geht hervor, dass die drei wichtigsten Aspekte der Produktionsplanung für die druckbare Elektronik die Auswahl der Fertigungsverfahren, die Auswahl der Substrattransportmethode sowie die Anordnung der ausgewählten Bearbeitungsstationen zu einem Produktionssystem sind. Die Aufzählung der untersuchten Parameter suggeriert einen linearen Ablauf eines Entwicklungsprozesses. Da dies nicht so ist, gilt es die untersuchten Parameter zu systematisieren.

Allgemeiner Innovationsprozess

Die erarbeiteten Erkenntnisse über die kritischen Parameter zum Aufbau einer Produktion druckbarer Elektronik werden im folgenden Abschnitt in den Innovationsprozess der druckbaren Elektronik eingebunden, und eine Systematik abgeleitet. Das Ziel ist, einen Weg von der Idee hin zu der Produktion für die druckbare Elektronik aufzuzeigen.

Der allgemeine Innovationsprozess lässt sich in fünf Phasen einteilen. Abbildung 3 zeigt im oberen Abschnitt die fünf Phasen des Innovationsprozesses nach Verwoorn und Herstatt (2007).

Der Innovationsprozess startet in der ersten Phase mit der Ideengenerierung und deren Bewertung. In der zweiten Phase werden aus

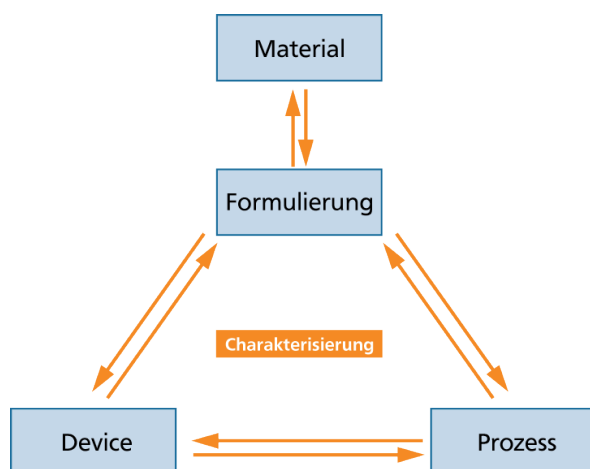


Abbildung 2: Multi-Level-Ansatz zur Entwicklung von funktionalen Devices

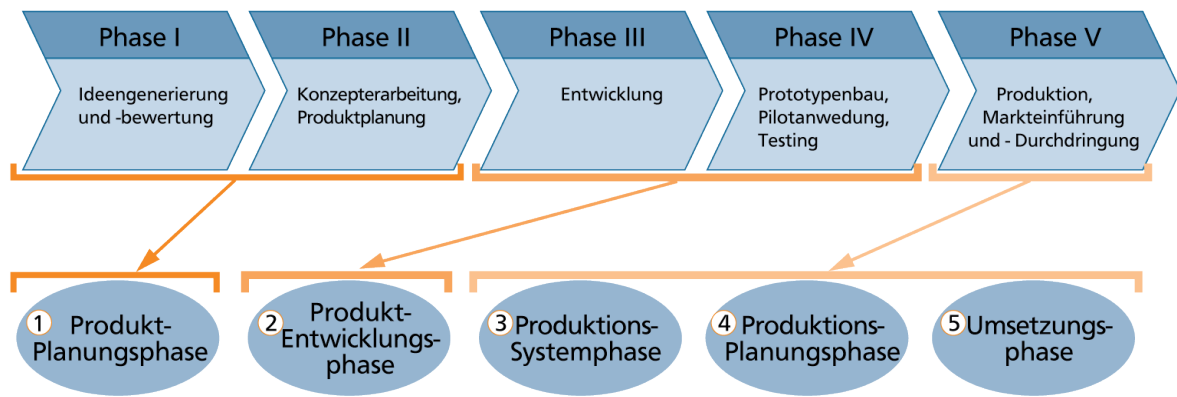


Abbildung 3: Gegenüberstellen des allgemeinen Innovationsprozesses nach Verworn und Herstatt (obere Darstellung) mit den Phasen des Innovationsprozesses der druckbaren Elektronik (untere Darstellung).

den gut bewerteten Ideen Konzepte erarbeitet und eine Produktplanung durchgeführt. In der dritten Phase findet die eigentliche Entwicklung nach den Vorgaben aus der Phase II statt. In der folgenden Phase wird die Entwicklung in Prototypen umgesetzt und getestet, bevor in der Phase V die Produktion gestartet und die Entwicklung in den Markt eingeführt wird. Der Innovationsprozess nach Verworn und Herstatt ist sehr allgemein gehalten und berücksichtigt folglich nicht die Besonderheiten der druckbaren Elektronik. Im unteren Abschnitt von Abbildung 3 sind die Innovationphasen der druckbaren Elektronik dem allgemeinen Innovationsprozess gegenüber gestellt. Die Abbildung zeigt, dass die ersten beiden Phasen von Verworn und Herstatt für die druckbare Elektronik in der Produktplanungsphase zusammengefasst sind. Die zweite und dritte Phase werden für die druckbare Elektronik in der Produktentwicklungsphase zusammengefasst. Die fünfte Phase wird für die druckbare Elektronik in drei unterschiedliche Phasen aufgeteilt: Produktionssystemphase, Produktionsplanungsphase und Umsetzungsphase.

Die Darstellungsform in Abbildung 3 suggeriert einen linearen Ablauf von Innovationsprozessen. Diese sind allerdings sehr iterativ und deutlich komplexer, als es mit einer Prozessdarstellung wiedergegeben werden kann. Um diesen Besonderheiten gerecht zu werden, wird die Darstellungsform eines Ablaufplans

gewählt. Dieser hat neben der übersichtlichen Darstellung den Vorteil, dass er die Reihenfolge der Schritte anzeigt und Iterationsschleifen zulässt.

Innovationsprozess der druckbaren Elektronik

Abbildung 4 zeigt die fünf Phasen des Innovationsprozesses der druckbaren Elektronik. Die jeweiligen Phasen sind grau hinterlegt. Die wichtigsten Arbeitsschritte sind in blauen Rechtecken dargestellt. Jede der fünf Phasen endet mit einem (Zwischen-) Ergebnis, welches in einer orangenen Raute dargestellt ist. Diese können als eine Chance zur Überprüfung und in Frage Stellens der Ergebnisse und des Projekts angesehen werden. Um dies zu verdeutlichen, wurden Feedbackschleifen an diesen Zwischenergebnissen vorgesehen, die das Abgleichen mit den Vorgaben und dem Businessplan ermöglichen. Im folgenden werden die fünf Phasen im Detail beschrieben:

1. Phase: Produktplanung

Die Aufgaben der Produktplanung sind vor allem Ideenfindung, Ideensammlung, Ideenbewertung, Ideenpriorisierung, Ideenauswahl, Projektbildung, Projektplanung und zum Schluss die Projektauswahl. Die Aufgaben der Produktplanung eines Innovationsprozesses sind auf Grund des frühen Status

häufig mit Unsicherheiten in den Bereichen Markt, Technologie und Organisation verbunden. Steht nun eine Geschäftsidee fest, welche Produkte der druckbaren Elektronik benötigt, gilt es daraus einen Businessplan zu gestalten. Dieser sehr aufwendige Schritt ist notwendig, um die Wirtschaftlichkeit der Geschäftsidee zu überprüfen und um notwendige Geldgeber von der Idee zu überzeugen.

Der Businessplan kann an dieser Stelle nicht als abgeschlossen betrachtet werden, da noch wichtige Informationen über das Produkt und den Markt fehlen. Dieser Prozess sollte als iteratives Vorgehen verstanden werden, wie die Feedbackschleifen in Abbildung 4 zeigen. Für die wichtigen Eckdaten werden bereits in der Produktplanungsphase erste Schätzungen durchgeführt, die im Zuge der Konkretisierung im Laufe des Innovationsprozesses immer genauer geschätzt werden können. Aus Produktionssicht sollten aus der ersten Version des Businessplans hervorgehen, welches Produkt produziert werden soll und welches Device der druckbaren Elektronik dafür notwendig ist. Daraus sollten erste Spezifikationen des Devices, eine Abschätzung für die zu produzierende Stückzahl sowie erste Preisabschätzungen abgeleitet werden. Mit der ersten Beschreibung eines Devices kann die zweite Phase des Innovationsprozesses, die Produktentwicklungsphase, gestartet werden.

2. Phase: Produktentwicklung

Die Produktentwicklung hat, übertragen auf die druckbare Elektronik, das Ziel, ein funktionierendes und herstellbares Device zu entwickeln, welches den in der ersten Phase definierten Anforderungen entspricht. Hierfür werden mehrere Lösungsmöglichkeiten erarbeitet, von denen die Lösung ausgewählt wird, welche die Anforderungen erfüllt und am günstigsten zu fertigen ist. Ergebnis der zweiten Phase muss ein Device sein, welches den Anforderungen aus der ersten Phase möglichst gut entspricht, und reproduzierbar hergestellt

werden kann. In der ersten Iteration genügt es, dieses Device in Einzelstücken reproduzierbar herzustellen. Die Anforderungen an das Device müssen zunächst in technische Daten übersetzt werden. Hierfür ist es notwendig, aus den Anforderungen die Spezifikationen für das Device-Layout, das Substrat und die einzusetzenden Funktionsmaterialien abzuleiten. Abbildung 4 zeigt die gegenseitige Abhängigkeit dieser drei Größen. Nach dem Multi-Level-Ansatz sind diese drei Kriterien voneinander abhängig, so dass eine Veränderung an einer Stelle immer auch Änderungen an anderer Stelle hervorruft. Im nächsten Schritt müssen das Substrat und die Funktionsmaterialien nach dem Device-Layout zu einem funktionierenden Device kombiniert werden. Hierfür müssen zunächst die Materialien auf das Substrat zu funktionierenden Schichten aufgebracht werden, um so das ausgewählte Design nachzubauen. Als erster und wichtigster Schritt des Entwicklungsprozesses müssen zunächst geeignete Fertigungsverfahren gefunden werden, um die ausgewählten Materialien zu Schichten zu verarbeiten. Dafür sind neben den eigentlichen Beschichtungsprozessen auch ggf. Vorbehandlungsschritte und Nachbehandlungsschritte notwendig.

Für diesen Auswahlprozess sind viele Iterationsschleifen notwendig, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Die vielen aufeinander abzustimmenden Parameter und die nur zum Teil erforschten Zusammenhänge machen diese Iterationen notwendig. Deshalb sind in Abbildung 4 von jedem Teilprozess der Fertigungsverfahren Rückkopplungen zu dem zuvor definierten Device vermerkt.

Dieser iterative Prozess wird in dem dreistufigen Prozess entwickelt. Die ersten Versuche werden zunächst alle in der ersten Stufe auf kleinen Bedruckbarkeitsgeräten durchgeführt. Diese Maschinen ermöglichen ein schnelles Abarbeiten verschiedener Versuchsreihen bei geringen Material- und Betriebskosten. Ziel der ersten Stufe ist es, dass alle Materialien auf der vorhergesehenen Oberfläche die geplanten Schichten bilden.

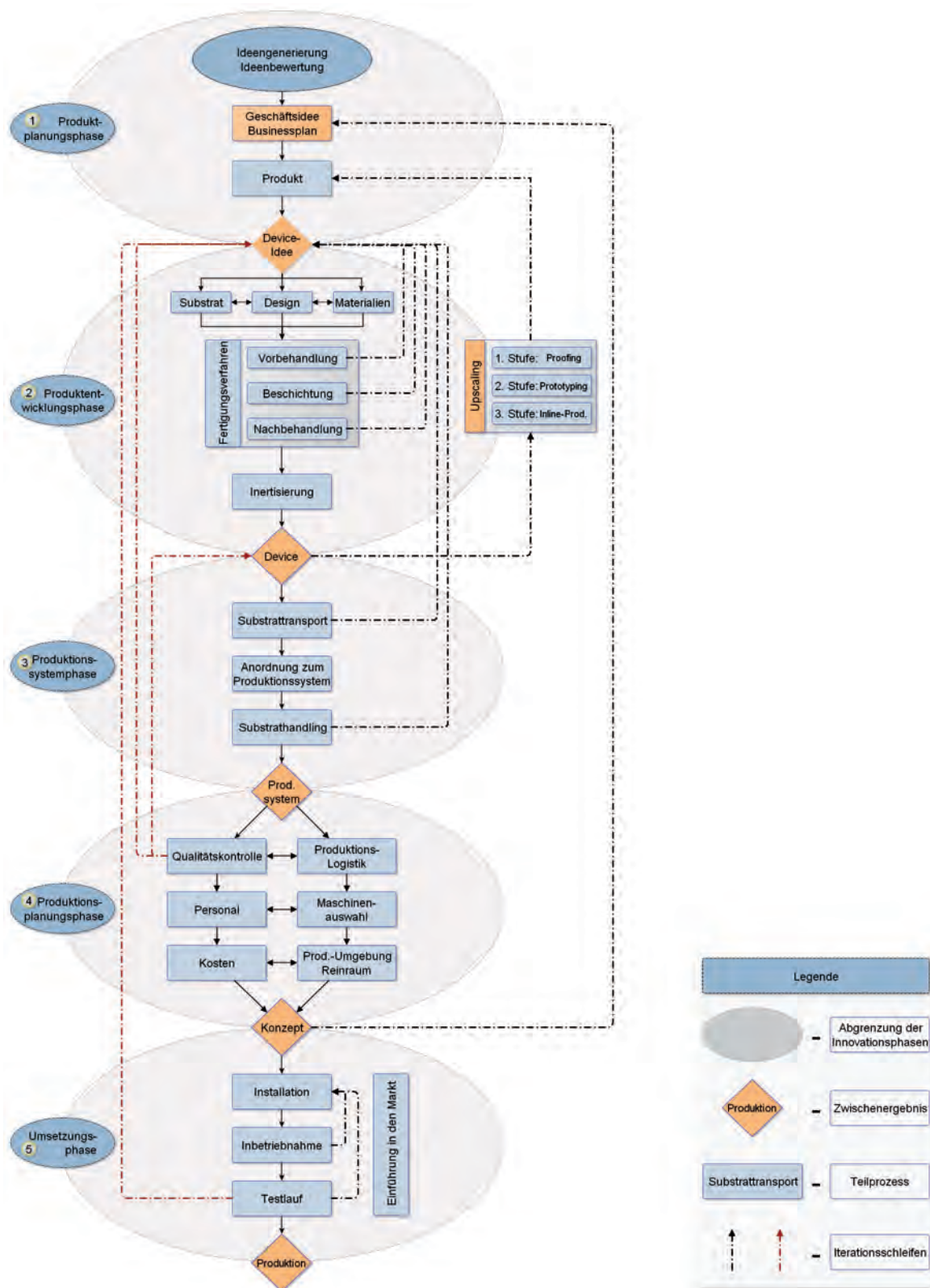


Abbildung 4: Die fünf Phasen des Innovationsprozesses von druckbarer Elektronik

Ist das Ziel erreicht, können die Versuche auf den Labordruckmaschinen der zweiten Stufe durchgeführt werden. Diese Maschinen sind deutlich exakter und haben keine Einschränkung in der Druckformauswahl. Somit können mit Hilfe dieser Maschinen aus den Einzelschichten funktionierende Devices entwickelt werden. In weiteren Iterationsschleifen wird die Leistungsfähigkeit des Devices optimiert. Ziel der zweiten Stufe sind optimierte Devices, die den zuvor gestellten Anforderungen möglichst nahe kommen. In dieser Phase werden nach wie vor nur Einzelexemplare prozessiert. Konnten zufriedenstellende Devices realisiert werden, wird der erste Prototyp in der dritten Stufe auf Fertigbarkeit im industriellen Maßstab getestet und optimiert. Hierfür sind Maschinen notwendig, die zumindest seriennah sind. Dazu zählt neben der Druckqualität vor allem der kontinuierliche Betrieb. Diese Maschinen sind noch nicht auf die Produktion eines bestimmten Produkts optimiert, aber lassen wichtige Rückschlüsse auf die Produktion zu.

Während den Iterationsschleifen des Upscalingprozesses muss die Entscheidung getroffen werden, ob bestimmte Prozesse unter inerten Bedingungen stattfinden müssen, um die in der Produktplanungs-Phase festgelegten Spezifikationen erfüllen zu können. Als Ergebnis der zweiten Phase steht ein Device, welches die durch die Iterationsschleifen evtl. angepassten Spezifikationen erfüllt und reproduzierbar herstellbar ist.

3. Phase: Produktionssystemplanung

Das Ziel der Produktionssystemplanung ist aus den Einzelprozessen aus der zweiten Phase ein produktives und effizientes Produktionssystem zu gestalten, welches mindestens die im Businessplan geschätzte Menge der Devices wirtschaftlich herstellen kann. Zu diesem Zeitpunkt steht bereits fest, welche Prozesse in welcher Reihenfolge durchgeführt werden müssen. Die Reihenfolge wird von dem in der

zweiten Phase ausgearbeiteten Devicedesign vorgegeben. Wie in Abbildung 4 dargestellt, müssen hierfür der Substrattransport, die Anordnung zu einem Produktionssystem und das Substrathandling optimiert werden. Der Substrattransport und das Substrathandling haben wiederum Einfluss auf andere Größen. Zunächst gilt es, den Substrattransport gemäß den Auswahlkriterien auszuwählen und an das Produktionssystem und die verwendeten Prozesse gemäß den in den ersten Phasen definierten Spezifikationen anzupassen. Aus heutiger Sicht stehen vier Methoden des Substrattransports zur Verfügung: Roll to Roll, Sheet to Sheet, Roll to Sheet und Sheets on Shuttle (s. Abbildung 5).

Die Entscheidung über den Substrattransport hat große Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Produktionssystems. Darüber hinaus birgt diese Entscheidung auch große Risiken, da die Substrattransportmethode eines Systems nicht mehr änderbar ist. Die Entscheidung kann nur mit erheblichem Aufwand, oft nur mit dem Neubau der Anlage, korrigiert werden. Die Folgekosten eines Entwicklungsfehlers wären in diesem Falle besonders hoch und kommen einer Neukonstruktion gleich. Andere Entscheidungen wie beispielsweise der Einsatz der Fertigungsverfahren sind deutlich leichter zu korrigieren. So ist es mit begrenztem Aufwand möglich, auf einer bestehenden Produktionsanlage einzelne Beschichtungsverfahren auszutauschen. Von dem Substrattransport ist erneut eine Iterationsschleife zu dem Device notwendig. So müssen die Spezifikationen des Devices, im speziellen des Substrats, und die Prozesse sowie die herzustellende Menge mit der Substrattransportmethode abgeglichen werden. Steht die Substrattransportmethode fest, müssen alle Einzelprozesse unter Berücksichtigung der Substrattransportmethode und den ökonomischen Randbedingungen zu einem Produktionssystem angeordnet werden. Die Reihenfolge der Bearbeitungsstationen ist durch die Reihenfolge der Schichten des Devices vorgegeben. Hierfür werden zunächst

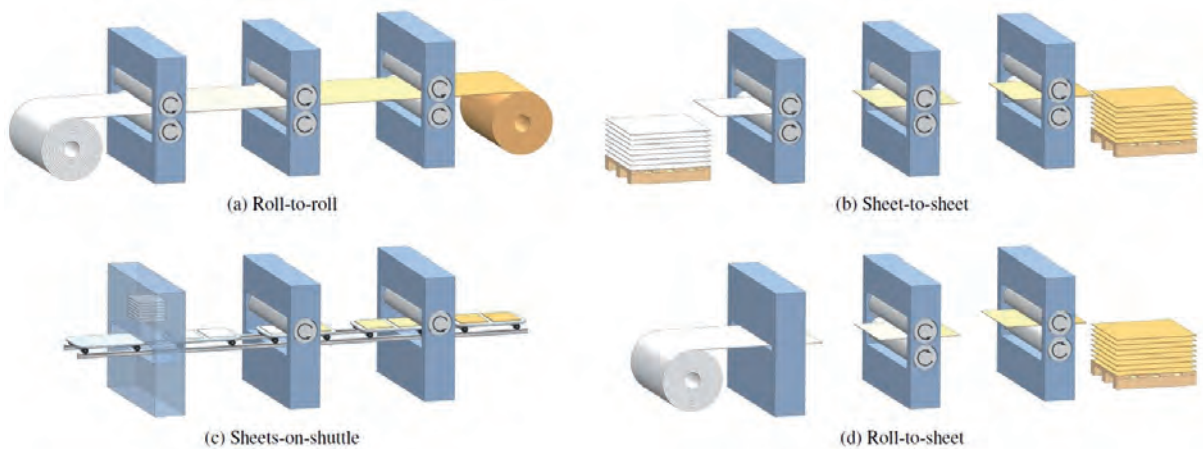


Abbildung 5: Die vier Methoden des Substrattransports: Roll to Roll, Sheet to Sheet, Roll to Sheet und Sheets on Shuttle

die Bearbeitungszeiten inklusive Transport- und Rüstzeiten einzelner Stationen miteinander verglichen, und so Engpässe identifiziert. Diese müssen durch geeignete Maßnahmen wie Optimierung oder Parallelisierung der Bearbeitungsstation entschärft werden. Das optimierte Produktionssystem muss noch mit dem Substrathandling ergänzt werden. Damit sind alle Substrat- und Materialbewegungen zwischen den Maschinen zusammengefasst.

Als Ergebnis der dritten Phase steht ein optimiertes Produktionssystem, welches das zuvor definierte Device in ausreichender Menge und Qualität zu minimalen Kosten herstellen kann.

4. Phase: Produktionsplanung

Das Ziel der Produktionsplanung ist das zuvor ausgearbeitete Produktionssystem in eine funktionierende und vollständig durchgeplante Produktion zu überführen. Das Ergebnis der vierten Phase ist ein Konzept für die Produktion des Devices, welches direkt umgesetzt werden kann. Hierfür müssen folgende Aspekte im Detail ausgearbeitet werden: Produktionslogistik, Maschinenauswahl, Reinraum sowie Qualitätskontrolle, Personal und Kosten. Die Reihenfolge dieser Aspekte ist in Abbildung 4 dargestellt, wobei die Aspekte sehr stark voneinander abhängig sind. Die Produktionslogistik ist die Planung, Steue-

rung und Überwachung der innerbetrieblichen Transport- und Lagerprozesse und muss dafür Sorge tragen, dass der Produktionsfluss nicht unterbrochen wird. In dem Fall einer Produktion von druckbarer Elektronik wird eine Bevorratung von den notwendigen Substraten und Funktionsfluiden benötigt. Diese müssen im festgelegten Takt an die Anlage transportiert werden. Je nach Produktionssystem müssen evtl. Zwischenprodukte zwischengelagert werden. Somit gibt es eine Schnittstelle zum Substrathandling aus der Produktionssystemphase. Wurden die Substrate in dem Produktionssystem fertig prozessiert, müssen diese von der Anlage abtransportiert und zwischengelagert werden. Daher müssen mehrere Lager verwaltet und die Materialien zum Produktionssystem hin und wieder abtransportiert werden.

Des Weiteren muss in der Produktionsplanung die Maschinenauswahl für das Produktionssystem getroffen werden. Die Voruntersuchungen aus der Produktentwicklungs- und Produktionssystemphase haben gezeigt, welche Fertigungsverfahren und welche Substrattransportmethode eingesetzt werden. Diese Kriterien bestimmen, neben anderen Kriterien wie die Produktionsmenge oder die Notwendigkeit einer Inertisierung, in erheblichen Maßen die Produktionsanlagen. Aus heutiger Sicht gibt es noch keine Produktionsanlagen, die als Standardprodukte zur Verfügung ste-

hen. Daher müssen Produktionsanlagen speziell für den Einzelfall entwickelt und gebaut werden. Die hier beschriebenen Kriterien stellen dabei das Grundgerüst eines Lastenheftes für mögliche Maschinenlieferanten dar. Im nächsten Schritt muss geklärt werden, welche Produktionsumgebung notwendig ist. So muss beispielsweise die Frage geklärt werden, ob ein Reinraum erforderlich ist. Unter Umständen kann die Notwendigkeit eines Reinraumes bereits deutlich früher feststehen, aber erst mit dem Konzept zur Produktionslogistik und den notwendigen Lagerplätzen kann abschließend der Reinraum dimensioniert werden. Zunächst muss geklärt werden, wie viel Schmutz auf den betroffenen Oberflächen toleriert werden kann. Da ein Reinraum hohe Investitions- und Betriebskosten verursacht, sollte dieser aus Kostensicht entweder vermieden oder so klein wie möglich ausgelegt werden. Werden beispielsweise alle Substrate einem Reinigungsschritt unterzogen, müssen diese nicht unbedingt in einem Reinraum gelagert werden. Außerdem müssen unter Umständen nur sensible Bereiche in einem Reinraum sehr sauber sein. Eine Qualitätssicherung in der Produktion von druckbarer Elektronik ist unerlässlich.

Die Funktion der produzierten Devices muss überprüft werden, damit zum einen keine defekten Produkte an die Kunden geliefert werden. Zum anderen wirkt sich hoher Ausschuss an Zwischen- oder Fertigerzeugnissen negativ auf die Wirtschaftlichkeit aus. So sind Qualitätskontrollen nach jedem Arbeitsschritt denkbar, um die Makulaturkosten so gering wie Möglich zu halten. Somit ist die fertigungsbegleitende und massenfertigungstaugliche Qualitätssicherung ein wichtiger Bestandteil einer wirtschaftlichen Massenfertigung der druckbaren Elektronik. Zu prüfen sind zum einen die Funktion, und zum anderen auch die Lebensdauer der produzierten Devices. Um die Betriebskosten einer Produktion abschätzen zu können, muss eine vorläufige Personalplanung durchgeführt werden. Bereiche, in denen je nach konkreter Situation

Personal eingeplant werden muss, sind an der Maschine, im Lager, im Versand und in der Produktionsleitung. Darüber hinaus handelt es sich in diesem Fall um einen neuen Produktionsprozess, mit dem es noch keinerlei Erfahrung gibt. So muss von Beginn an von einem fehleranfälligen Prozessablauf ausgegangen werden. Deshalb müssen zu den Bereichen, die direkt der Produktion zuzuordnen sind, auch Ressourcen in den Bereichen Qualitätsüberwachung und Optimierung der Anlage bereitgestellt werden. Abhängig von der im Businessplan geplanten Produktionsmenge und der Kapazität der Anlage, müssen unter Umständen mehrere Arbeitsschichten eingeplant werden, was den Personalbedarf entsprechend erhöht. Für eine endgültige Entscheidung bezüglich des Produktionskonzeptes müssen dessen Kosten mit dem Businessplan in Einklang gebracht werden. Die bei der Erstellung des Businessplans geschätzten Kosten gilt es nun mit einer höheren Genauigkeit zu bewerten. Ist das Produktionskonzept in der ersten Iteration vollständig, können die Kosten berechnet werden. Die Kosten werden hierbei in Investitions- und Betriebskosten unterschieden. Für die Realisierung des Produktionskonzeptes müssen folgende Investitionskosten aufsummiert werden: Kosten für die Produktionsanlage mit Substrattransport und allen Fertigungsverfahren, Kosten für den Reinraum, Kosten für die Installation und Inbetriebnahme, Kosten für das Lager und Transporteinheiten. Darüber hinaus müssen unter anderem die folgenden Kosten zu den Investitionskosten hinzugezählt werden: Entwicklungskosten der Anlage, Kosten für die Produktentwicklung, Kosten der Entwicklung des Produktionskonzeptes, Kosten der Lizenzierung und Abnahme der Anlage durch unabhängige Prüfinstitute. Zu den Betriebskosten gehören neben den Material- und Substratkosten noch die Maschinekosten, Infrastrukturkosten, Kosten für Miete sowie Personalkosten und Schulungskosten. Nachdem ein Konzept für die Produktion erarbeitet und die Kosten geschätzt wurden, werden diese Ergebnisse mit dem Businessplan abgeglichen. So ist

denkbar, dass bei zu hohen Kosten die ersten vier Phasen erneut durchlaufen werden müssen, um das Device oder das Produktionskonzept zu überarbeiten.

5. Phase: Umsetzung

Die fünfte Phase des Innovationsprozesses beschreibt die Umsetzung des iterativ optimierten Produktionskonzepts. Ziel dieser Phase ist der Start der Produktion der zuvor definierten Devices, um so die Produkte erfolgreich auf dem Markt einführen zu können.

Folgende Schritte sind notwendig, um das zuvor erstellte Konzept umzusetzen: Entwicklung und Bau der Maschinen, Installation der Anlage, Inbetriebnahme der Anlage sowie Testlauf und Abnahme der Anlage. Mit dem Start der Produktion beginnt auch die Einführung der Produkte in den Markt. In dieser Phase sind mehrere Iterationsschleifen notwendig. Zum einen wird bei einer Neuentwicklung einer solch komplexen Anlage nicht von Beginn an alles nach Plan funktionieren, so dass nach der Inbetriebnahme und nach dem Testlauf noch Anpassungen an der Anlage vorgenommen werden müssen. Zum anderen ergeben die Ergebnisse des Testlaufs auch Rückschlüsse für das Device und den zu Grunde liegenden Businessplan. Allgemein kann festgehalten werden, dass ein optimierter Innovationsprozess eine große Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit hat. So kann beispielsweise die Betrachtung der Qualitätssicherung von Beginn an wirtschaftlich von Vorteil sein. Werden das Device und dessen Herstellung unabhängig von der Qualitätssicherungsoptimiert, können spätestens bei der späteren Betrachtung der Qualitätssicherung erneute Anpassungen am Device oder dem Herstellprozess notwendig werden. Solche Nacharbeiten sind mit höheren Kosten und längeren Entwicklungszeiten verbunden, als wenn von Beginn an alle notwendigen Parameter beachtet werden.

Zusammenfassung:

Der Produktionsprozess von Devices druckbarer Elektronik besteht aus vier Hauptprozessen: Vorbehandlung der Oberfläche, Aufbringen der funktionalen Schicht, Trocknung und Verkapselung. Es wurden die kritischen Parameter zum Aufbau einer Produktion druckbarer Elektronik analysiert und beschrieben. Daraus geht hervor, dass neben den wirtschaftlichen Vorgaben, die drei wichtigsten Aspekte der Produktionsplanung für die druckbare Elektronik die Auswahl der Fertigungsverfahren, die Auswahl der Substrattransportmethode sowie die Anordnung der ausgewählten Bearbeitungsstationen zu einem Produktionssystem sind.

Es wurde der Innovationsprozess der druckbaren Elektronik entwickelt und beschrieben. Die entwickelte Vorgehensweise hat einen sehr iterativen Charakter und ist daher als operative Handlungsempfehlung aufzufassen, die der Logik des hier notwendigen Handelns und der schrittweisen Lösungsentwicklung folgt. Damit wurde ein Leitfaden für die Unternehmenspraxis erarbeitet, der Unternehmen die Möglichkeit bietet, ihre Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu strukturieren und ein umfassendes Bild der Einflussfaktoren und möglicher Problemfelder zu erarbeiten.

Quellen:

Willmann, Jürgen: Innovationen in der druckbaren Elektronik: Von der Idee zur Produktion. Eine technische und wirtschaftliche Analyse. Dissertation, Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren, Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt. Darmstadt, 2012.

Willmann, J. et.al.: „Is Roll-to-Roll the best Solution for Printed Electronics? - Characteristics and Evaluation Criteria of Substrate-based Manufacturing“ [Eingereicht bei Organic Electronics] 2013

Dr.-Ing. Michael Desch, Heidelberg

Der Einfluss der Schneidlage auf den effektiven Keilwinkel des Messers - eine methodische Untersuchung an Schnellschneidern



Geboren 1979 in Frankfurt am Main, 1999 – 2007 Studium des allgemeinen Maschinenbaus an der Technischen Universität Darmstadt, 2007 – 2012 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren (IDD) der TU Darmstadt, seit 2013 Process Leader im Bereich Finished Products bei SCA Hygiene Products GmbH in Mannheim

Papier, Pappe und andere artverwandte faserartige Stoffe werden im industriellen Verarbeitungsprozess mit Schnellschneidern zugeschnitten. Die Wirkprinzipien und der grundsätzliche Aufbau der Schnellschneider haben sich seit den 30er Jahren nicht geändert.

Heutzutage ist die Produktivität der Betriebe gestiegen, und Schnellschneider werden im Mehrschichtbetrieb eingesetzt. Die Anforderungen an Genauigkeit, Produktivität, Leistung der Schnellschneider, wie auch an die Standzeit der Messer sind gewachsen.

Um Schnellschneider an die höheren Anforderungen anzupassen, ist ein gerichteter Entwicklungsprozess notwendig. Dieser beginnt mit verlässlichen Messdaten, um den mechanischen Prozess während des Zuschneidens zu beschreiben.

Während meiner Anstellung am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der TU Darmstadt wurde ein Laborplanschneider entworfen, mit dessen Hilfe belastbare Messdaten für die Kräfte und Bewegungen, die beim Zuschnitt von Schneidlagen auftreten, gemessen werden können.

Mit den so gewonnenen Daten habe ich ein geometrisches Modell entwickelt. Dieses

soll den Einfluss des Schneidgutes, in Art und Form, auf den effektiven Keilwinkel des Messers nachweisen. Die Literatur geht bisher davon aus, dass nur die Bewegungskomponenten des Messers für die Ausprägung des effektiven Keilwinkels am Messer ausschlaggebend sind. Der Keilwinkel beschreibt die „Schärfe“ des Messers. Nähere Informationen zu allen Themendieses Artikels können meiner Dissertation entnommen werden.

Keilwinkel des Messers

In der Papierverarbeitung gibt es im Gegensatz zur Metallverarbeitung keine Formel, die den Schneidwiderstand beschreibt. Aber der Zusammenhang zwischen kleinerem Keilwinkel ϵ des Messers und daraus resultierender kleinerer Schnittkraft kann in der Literatur nachgewiesen werden. Auch deshalb konnte sich der Schwingschrägschnitt in Schnellschneidern durchsetzen. Hier setzt sich die Messerbewegung aus zwei Bewegungsrichtungen zusammen. Die Geschwindigkeit des Messers ergibt sich aus der horizontalen und der vertikalen Geschwindigkeitskomponente des Messers. Aufgrund der zusätzlichen vertikalen Bewegung in der Geschwindigkeitskomponente des Messers kommt es zusätzlich zu einer Verringerung des effektiven Keilwinkels ϵ^* .

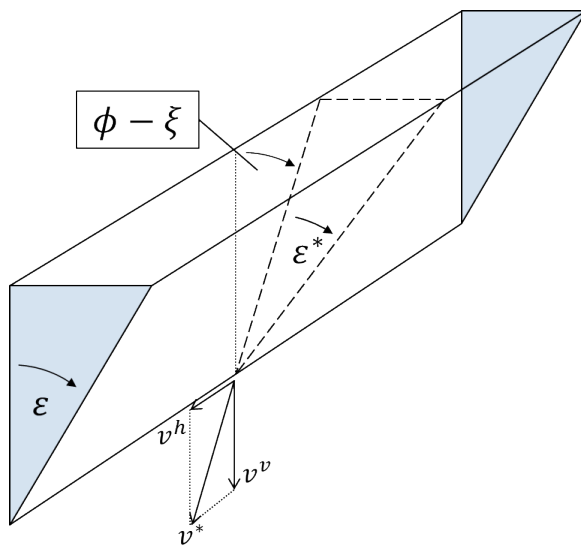


Abbildung 1: Effektiver Keilwinkel ε^* aus der Bewegung des Schwingschrägschnittes, da das Messer nicht nur eine vertikale Bewegungskomponente aufweist.

Schnellschneider

Ein Schnellschneider ist prinzipiell so aufgebaut, wie Abbildung 2 darstellt. Die Schneidlage liegt auf dem Hintertisch und kann mittels des Sattels wie gewünscht positioniert werden. Zum Einhalten der Formatoleranzen hilft hier zusätzlich der Seitenanschlag, sodass die Schneidlage nun an zwei Seiten geführt und ausgerichtet werden kann. Bevor der eigentliche Schnitt ausgeführt wird, klemmt der Pressbalken die Schneidlage, um

die Formathaltigkeit während des Schnittes zu gewährleisten. Die durch den Pressbalken auf die Schneidlage ausgeübte Kraft, also die Klemmkraft, kann durch den Benutzer variiert werden. Das Langmesser wird von dem Messerträger (auch Messerbalken genannt) geführt. Im untersten Punkt der Messerbewegung dringt dieses in die Schneidleiste ein, welche aus einem weicherem Material als das Messer ausgeführt ist. Verfügbare Materialien für Schneidleisten sind Polypropylen und das hochwertigere Nylon.

Nachdem das Messer den untersten Punkt erreicht hat, kehrt es in seine Ausgangssituation oberhalb der Schneidlage zurück, und der Pressbalken gibt die Schneidlage (das Schneidgut) wieder frei.

Laborplanschneider

Der Laborplanschneider im Klimalabor des IDD umfasst die gleichen Komponenten wie ein industriell genutzter Schnellschneider, jedoch im kleineren Labormaßstab. Zusätzlich wurde dieser mit hoch präziser Messtechnik ergänzt, um die Bewegungen des Messers und des Pressbalkens zu erfassen. Auch die Schnittkräfte werden durch einen 3-Komponenten Dynamometer der Firma Kistler nach dem Prinzip „actio = reactio“ erfasst. Abbildung 3 zeigt ein CAD Modell des Laborplanschneiders.

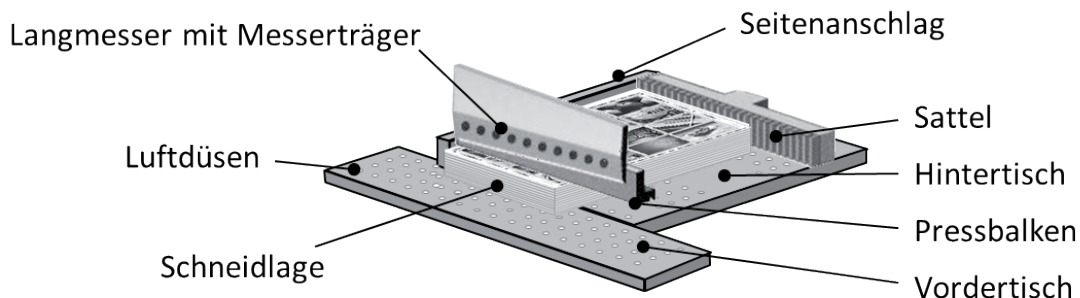


Abbildung 2: Prinzipskizze eines Schnellschneiders

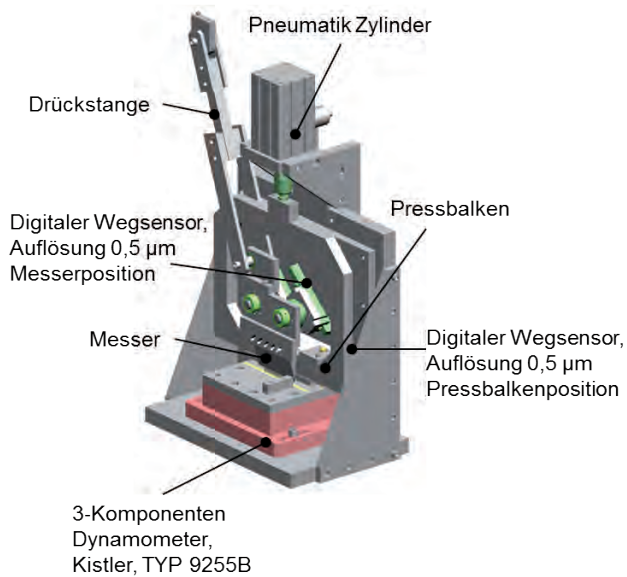


Abbildung 3: CAD Modell des Laborplanschneiders mit Messtechnik

Exemplarische Messergebnisse

Die Messungen am Laborplanschneider erfolgten modellbasiert. Mit Hilfe eines geometrischen Modells können die Messergebnisse interpretiert werden. Das Messprinzip ist in Abbildung 4 dargestellt. Aus dem vom Messer zurückgelegten Weg s , der Bewegung

des Pressbalkens und den vom Dynamometer aufgenommenen Kräften lassen sich über die Rechenvorschrift der modellbasierten Messung die Zielgrößen berechnen.

Im Folgenden sind die Messdaten eines exemplarischen Schnittes eines Papiers dargestellt (Abbildung 5) und interpretiert. Messbeginn ist Zeitpunkt $t=0$ sec. Die Abbildung 5 zeigt ca. 0,5 Sekunden lang den Stillstand des Laborplanschneiders, bis dieser das Messer in Punkt 1 in Bewegung setzt und die damit verbundenen Schwingungen auftreten. In Punkt 2 setzt das Messer auf die Schneidlage auf, komprimiert diese bis zu Punkt 3. Hier beginnt das eigentliche Schneiden, welches durch den Bereich 4 gekennzeichnet ist. Im Punkt 5 ist der letzte Bogen geschnitten und das Messer dringt in die Schneidleiste ein. Die Gegenkraft der Schneidleiste stellt den Bereich 6 dar. Während das Messer in die Schneidleiste eintaucht, wird es abgebremst und wieder in Gegenrichtung beschleunigt. Es fährt nach oben, aus der Schneidleiste heraus, an der Schneidlage entlang und hat in Punkt 7 den Kontakt zur Schneidlage verloren.

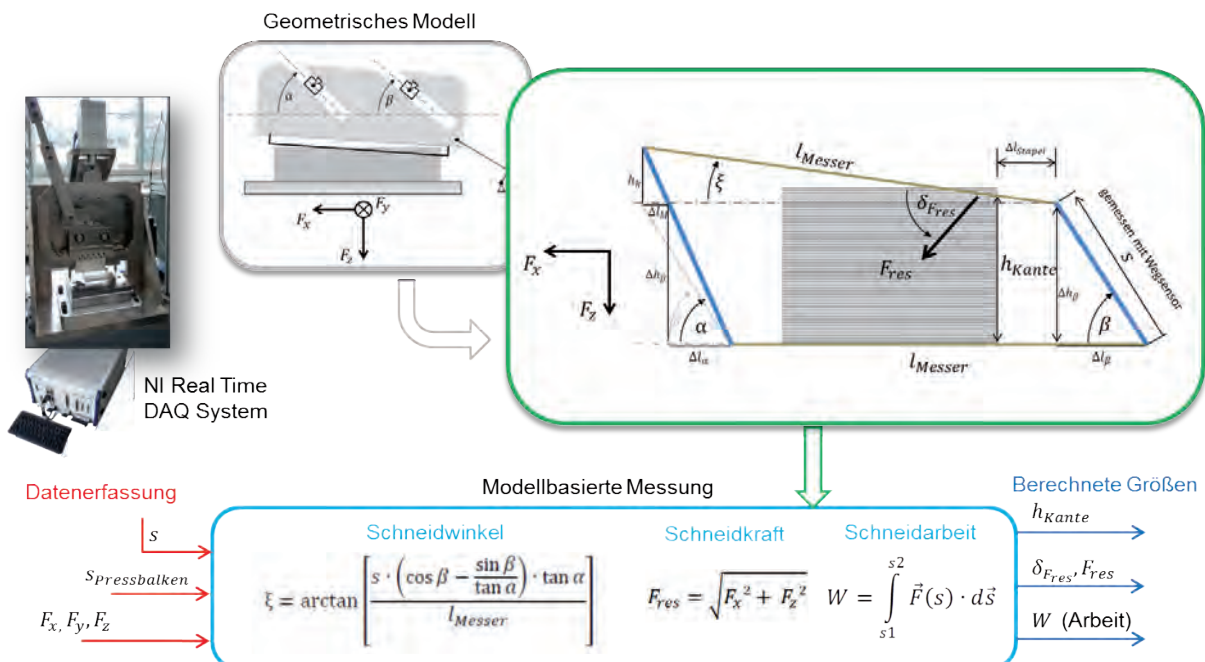


Abbildung 4: Messprinzip vom geometrischen Modell zur Modellbasierten Messung

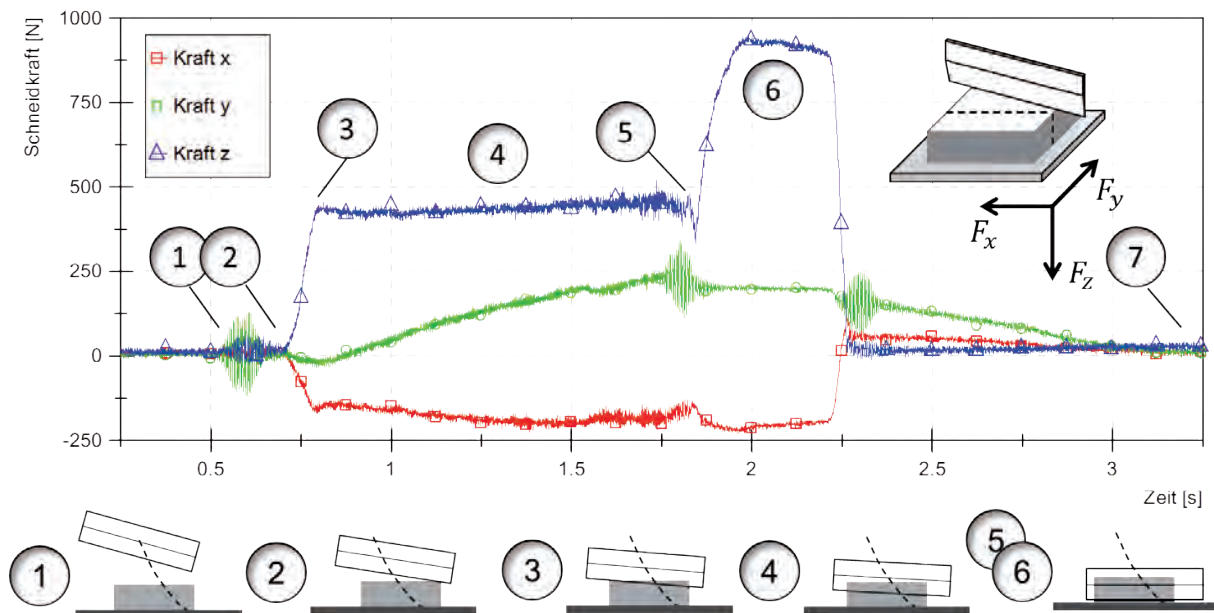


Abbildung 5: Exemplarische Messung einer Schneidlage mit den einzelnen Phasen des

Die Kraft F_z (blau) stellt den Verlauf der Schneidkraft in vertikaler Richtung dar. Der Verlauf ist immer positiv, und die mittlere Schneidkraft beträgt ca. 440 N (Bereich 4) mit einem Maximum in der Schneidleiste von 930 N. F_x (rot) ist die Komponente der Schneidkraft in horizontaler Bewegungsrichtung des Messers. Sie ist während des Verlaufs des Schnitts (Bereich 4) immer negativ und liegt bei ca. -200 N. Die Kraft F_x wird negativ aufgezeichnet, da die vertikale Bewegung des Messers entgegen der positiven Definition der Kraftmessplattform verläuft.

Die Kraft F_y (grün) ist die Kraft senkrecht zur Messerbewegung. Sie zeigt im Beispiel von diesem Papier einen kleinen Abfall, wenn das Messer die Schneidlage berührt (Punkt 2). Danach steigt die Kraft während des Schnitts bis zu einem Maximum von 280 N im Punkt 5 bei Trennung des letzten Bogens an.

Interpretieren lässt sich das Abfallen der Kraft F_y nach Punkt 2 damit, dass das Messer die Schneidlage zusätzlich komprimiert und hierbei ein Abbiegen der Bogen vom Pressbalken

hervorgerufen wird. Da die Bogen unter Zugspannung gesetzt werden müssen, um diese vom Pressbalken durch weitere Kompression nach unten abbiegen zu können, resultiert aus dem Abbiegen der Bogen von dem Pressbalken weg eine Belastung des Messers senkrecht zu den Komponenten der Messerbewegung. Diese Belastung des Messers wirkt auch auf die Schneidlage und resultiert in einem Abfall der Kraft in z-Richtung. Die Zugspannung in den Bogen bewirkt eine elastische Dehnung derselben. Wird der Bogen in diesem Zustand durch das Messer getrennt, entsteht ein Bogen, der ein wenig länger geschnitten wurde als erwartet. Diese etwas längeren Bogen (der Unterschied ist kaum mess- oder sichtbar) nehmen nach dem Schnitt ihre Ausgangsposition wieder ein, also nicht abgelenkt vom Pressbalken. Dieser Vorgang wiederholt sich bis zum Ende des Schneidvorgangs und erklärt den weiteren kontinuierlichen Anstieg der Kraft F_y bis zum Ende des Schnitts.

Durch den Schwingschrägschnitt und der damit verbundenen Messerschragstellung hat am Anfang des Schnitts das Messer deutlich mehr Bogen im Eingriff als zum Ende des

Schnittes, da es dort parallel zum Schneidtable steht. Dies erklärt den zunehmenden Anteil der Schwingungen im Bereich 4 der Grafik, sichtbar sowohl bei der Kraft F_z , wie auch F_x . Der Schneidvorgang gleicht hier fast dem Stanzen. Das bedeutet, dass nicht mehr der Schnitt innerhalb eines Bogens weitervorangetrieben wird, sondern das Messer auf den Einzelbogen aufsetzt, diesen komprimiert und es zum Versagen des einzelnen Bogen über die gesamte Breite kommt. Das resultiert in der Entstehung von Schwingungen.

Dass nach Bereich 6 die Kraft F_x deutlich größer als die Kraft F_z ist, lässt sich damit interpretieren, dass das Messer hier noch in Aufwärtsbewegung ist und an der geklemmten Schneidlage unter dem Pressbalken entlang geführt wird. Durch das Nachrutschen des Pressbalkens während des Schnittes, muss sich die Schneidlage unter dem Pressbalken weiter komprimieren und kann zusätzlich gegen das Messer drücken. Sichtbar ist der Effekt der Schneidlage in Y-Richtung auf das Messer auch sehr gut an dem Verlauf der Kraft F_y während und nach dem Schnitt, da nach dem Schnitt diese Kraft erst mit Herausfahren des Messers aus der Schneidlage abnimmt.

Alle Kräfte F_x , F_y und F_z sind nach dem Schnitt in Punkt 7 leicht größer als 0 N. Interpretieren lässt sich dieses Verhalten damit, dass das piezoelektrische Messverfahren immer einer leichten Drift unterliegt. Diese ist hier sichtbar und äußert sich in einem geringen Wert von 5 N in den 3 sec der Zeit des Messens.

Erweiterung des geometrischen Modells

In der Literatur wird beschrieben, wie allein die Bewegungskomponenten des Messers den effektiven Keilwinkel des Messers definieren. Nun soll dargestellt werden, wie zusätzlich die am Messer angreifende Kraft den effektiven Keilwinkel des Messers bestimmt. Diese Definition des Keilwinkels wird erstmalig durchgeführt und soll zeigen, dass auch die Schneidlage einen Einfluss auf den effektiven Keilwinkel hat. Dieser Ansatz ist der erste Schritt, um in weiteren Forschungsvorhaben zeigen zu können, an welcher Stelle Reibung von Schneidlage zu Messer und der Schneide stattfinden könnte. Der neu definierte Keilwinkel wird im Folgenden erweiterter effektiver Keilwinkel genannt.

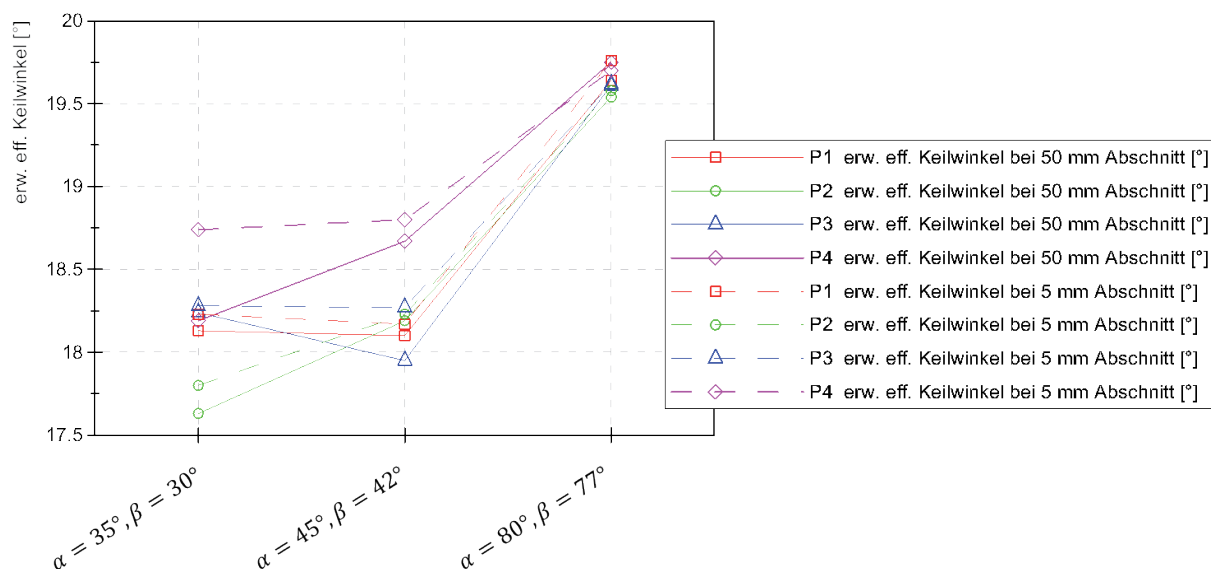


Abbildung 6: Vergleich des erweiterten effektiven Keilwinkels $\epsilon^{()}$ bei 50 mm und 5 mm Abschnitt und vier Papieren (P1, P2, P3, P4) und variierten Messerbewegungen. (Schnitt senkrecht zur vorherrschenden Faserrichtung). Die Verbindungslinien im Diagramm stellen keine Messwerte dar, sie dienen nur zur Identifikation der variierten Versuche.**

Dieser Berechnet sich analog zu Abbildung 1, aber nicht ausschließlichaus den Bewegungs-komponenten des Messers, sondern auch aus den gemessenen Kraftkomponenten. Dazu werden die gemessenen Kräfte des Dynamometers in Kraftvektoren umgerechnet und an das sich durch den Stapel bewegende Messer projiziert.

Die Auswertung der Versuche hinsichtlich des erweiterten effektiven Keilwinkels zeigt eine deutliche Abweichung der verschiedenen untersuchten Papiere zueinander, wie Abbildung 6 zeigt. Des Weiteren ist bei allen Papieren eine Verringerung des Keilwinkels signifikant, wenn der abzuschneidende Teil der Schneidlage vor dem Messer vergrößert wurde. Zudem ist in Abbildung 6 auch ersichtlich, wie sich unterschiedliche Schwingbewegungen des Messers auf den erweiterten effektiven Keilwinkel auswirken. Weiterführende Informationen hierzu entnehmen Sie bitte meiner Dissertation.

Zusammenfassung

Basierend auf diesen experimentellen Ergebnissen wurde ein geometrisches Modell entwickelt, das den Einfluss des Schneidgutes auf den effektiven Keilwinkel des Messers zeigt. Das Modell definiert dazu den erweiterten effektiven Keilwinkel, der beschreibt, mit welchem Keilwinkel das Messer auf das Schneidgut wirkt. Der Keilwinkel beschreibt die Schärfe der Schneide des Messers und der erweiterte effektive Keilwinkel beschreibt einen Keilwinkel, der sowohl von den Bewegungs-komponenten des Messers, als auch von den Schneidkräften, die durch das Messer hervorgerufen werden, bestimmt ist. Damit erweitert das Modell die Beschreibung des effektiven Keilwinkels der Literatur.

Die in diesem Artikel entwickelte Methode zur Generierung belastbarer Messdaten für auftretende Kräfte am Schnellschneider trägt dazu bei, das grundsätzliche Verständnis für den Prozess des Schneidens mit Schnellschneidern zu erweitern.

Für weitere Arbeiten auf dem Gebiet des Zuschnittes von Schneidlagen in Schnellschneidern scheint es erstrebenswert, mehr über die Reibung an der Schneide zu erarbeiten. Die Fragestellung ergibt sich daraus, wie die verrichtete Arbeit beim Schneiden aufgeteilt werden kann. Ist der Haupteinfluss die Trennarbeit, oder die Arbeit, die benötigt wird, die Schneidlage vor dem Messer zu verdrängen.

Quelle:

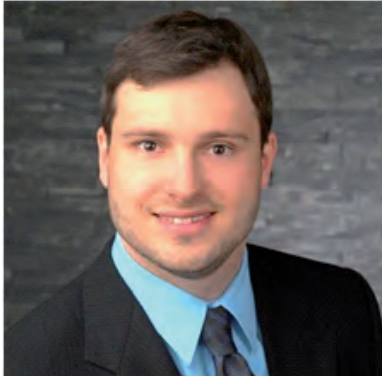
Desch, Michael: Der Einfluss der Schneidlage auf den effektiven Keilwinkel des Messers - eine methodische Untersuchung an Schnellschneidern. Dissertation. Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren, Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt. Darmstadt, 2013.

Sierke Verlag, Göttingen. ISBN 978-3-86844-532-9

Online-Edition:<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/3264>

Dr.-Ing. Simon Stahl, Darmstadt

Charakterisierung von Schichtdicke und Schichthomogenität zur Untersuchung des Einflusses von Viskosität und Druckform auf funktionale Tiefdruckschichten



Geboren 1984 in Berlin, 2003 Abitur, 2003-2009 Studium des allgemeinen Maschinenbaus an der TU Darmstadt, 2009-2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren (IDD) der TU Darmstadt, Promotion im Mai 2013

Der folgende Artikel stellt eine Zusammenfassung meiner Dissertation [1] dar, die ich im Rahmen meiner wissenschaftlichen Arbeit am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren an der TU-Darmstadt verfasst habe.

Einleitung und Zielsetzung

Die druckbare Elektronik hat in der Forschung, aber auch in der Industrie, immer mehr an Bedeutung gewonnen. Als Produktionstechnik für diese neuartige Technologie kommt die Drucktechnik infrage. Eingesetzt werden Druckverfahren, mit denen seit vielen Jahren erfolgreich die Produktion von grafischen Erzeugnissen durchgeführt wird. Dieser neue Anwendungsbereich der Drucktechnik, das funktionale Drucken, führt zu neuen wissenschaftlichen Herausforderungen. Für viele Druckverfahren existieren zudem wenig wissenschaftliche Beschreibungen oder geschlossene physikalische Modelle der Prozesse. Für das grafische Drucken ist dies meist auch nicht notwendig, da viel Erfahrung über die Abhängigkeit von Einflussparametern auf die Prozesse existiert. Durch eine starke Standardisierung von Materialien und Prozessen können gleichbleibende Ergebnisse auf verschiedenen Druckmaschinen erzielt werden.

Eine Übertragung dieser Erkenntnisse auf das funktionale Drucken ist oft nicht möglich, da sich die an den Prozess gestellten Anforderungen und die verwendeten Materialien vom grafischen Druck unterscheiden.

Das funktionale Drucken hat zum Ziel, Strukturen aus funktionalen Materialien zu erzeugen. Diese sollen zu einem funktionierenden Bauteil (Device) verarbeitbar sein. Diese funktionalen Materialien werden wie Druckfarbe mittels Drucktechnologie aufgetragen, in einigen Schichten übereinander. Die gedruckten Strukturen bestehen meist aus feinen Linien oder geschlossenen Vollflächen. Ein gerastertes Druckergebnis ist im funktionalen Drucken nicht gewünscht, da die funktionalen Eigenschaften der Schichten über die gesamte Fläche vorhanden sein müssen. In Abbildung 1 sind vergrößerte Aufnahmen von einem typischen grafischen Druck und einer funktionalen Schicht gezeigt.

Im grafischen Drucken wird der Tiefdruck als Verfahren für größte Auflagen verwendet, dessen Markanteil beständig sinkt [2]. Im funktionalen Drucken wird der Tiefdruck jedoch als Produktionsverfahren mit großem Potential gesehen [3]. Es gibt zahlreiche Parameter,

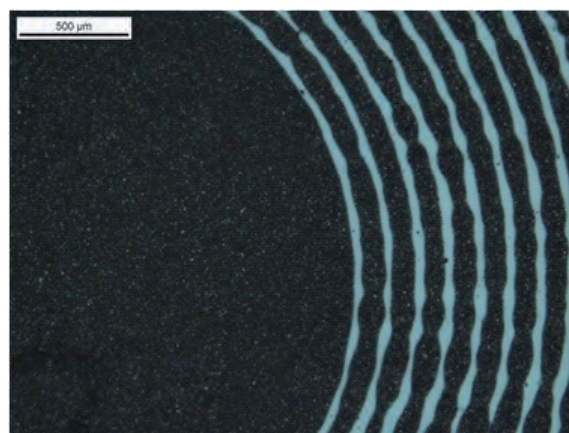
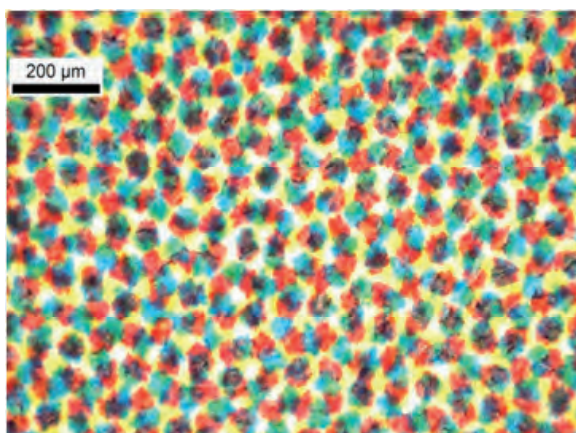


Abbildung 1: Vergleich zwischen grafischen und funktionalen gedruckten Schichten. Links: ein typisches Farbraster, Rechts: gedruckte funktionale Fläche und Linien.

die im Tiefdruck Einfluss auf das Druckergebnis haben. Viele dieser Parameter werden im grafischen Druck aus Erfahrung oder durch Erprobung eingestellt oder festgelegt. Diese Erfahrung ist im Zusammenhang mit funktionalen Materialien nicht vorhanden. Daher wird das Drucken funktionaler Materialien im Tiefdruck vermehrt wissenschaftlich untersucht. Auch die Charakterisierung von gedruckten Schichten im funktionalen Drucken erfordert weitere wissenschaftliche Arbeit, da viele der im grafischen Drucken etablierten Verfahren nicht angewendet werden können. Oberflächenmesstechnik, wie sie für unterschiedliche andere Anwendungszwecke bekannt ist, kann zwar zur Charakterisierung gedruckter Schichten verwendet werden, bietet jedoch, aufgrund der geringen Geschwindigkeit und Messfläche, nicht die Möglichkeit einer echten Qualitäts- oder Prozesskontrolle.

In meiner Dissertation [1] werden zwei wichtige Einflussparameter auf den Tiefdruck untersucht: die Druckform und die Fluidviskosität. Um den Einfluss der Parameter beurteilen zu können, wird eine optische Messtechnik eingesetzt, die eine großflächige und schnelle Untersuchung der Schichten ermöglicht. Als Ziel der Arbeit steht ein besseres Verständnis der Veränderung der Schichtdicke und Schichthomogenität mit den angesprochenen Einflussparametern bei dem Verdrucken

von funktionalen Materialien. Mit dem Begriff Schichthomogenität ist in diesem Fall die Ebenheit der Schicht, also die Schwankung der Schichtdicke gemeint. Der Begriff Schichthomogenität kann auch als Einheitlichkeit der Schichtmorphologie (Zusammensetzung der Schicht) verwendet werden. In dieser Untersuchung bezieht er sich jedoch ausschließlich auf die Ebenheit der Oberfläche der Schicht.

Die Schichthomogenität kann großen Einfluss auf die Funktionalität von Schichten im funktionalen Drucken haben. Als Beispiel können gedruckte organische Leuchtdioden dienen. In Abbildung 2 ist ein möglicher Schichtaufbau einer organischen Leuchtdiode (OLED) gezeigt. Diese besteht aus übereinander prozessierten Schichten von definierter Dicke. Wenn an den beiden Elektroden eine Spannung angelegt wird, entsteht ein elektrisches Feld, welches unter anderem von der Schichtdicke der Emitterschicht abhängt. Die Leuchtstärke der OLED hängt wiederum vom elektrischen Feld ab. Schwankungen in der Schichtdicke der Emitterschicht führen also zu einem inhomogenen elektrischen Feld, was ein ungleichmäßiges Leuchten der OLED zur Folge hat [4]. In Abbildung 2 ist das Schema einer OLED mit schwankender Schichtdicke in der Emitterschicht dargestellt. Die fertige OLED zeigt Inhomogenitäten in der leuchtenden Fläche.

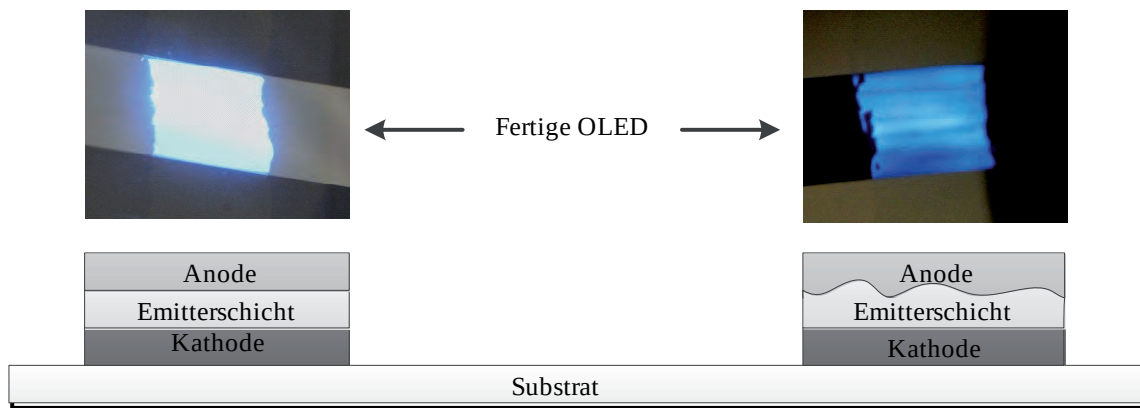


Abbildung 2: Schematischer Aufbau einer idealen OLED (links) und einer OLED mit Schichtdickenschwankungen in der Emitterschicht (rechts). Die fertige, leuchtende OLED zeigt im Fall der inhomogenen Emitterschicht Schwankungen in der Leuchtstärke. (Bildquelle: Heidelberger Druckmaschinen AG)

Charakterisierung Druckfluide

Für den Druckprozess ist die Kenntnis von Fluideigenschaften von großer Wichtigkeit. Die Viskosität und die Oberflächenspannung der Fluide definieren deren Einsatzmöglichkeiten in den unterschiedlichen Druckverfahren. In Abbildung 3 sind die empfohlenen Viskositäten und Oberflächenspannungen für Druckfarben im grafischen Druck dargestellt.

Es ist erkennbar, dass sich die Fluide für die unterschiedlichen Druckverfahren in Bezug auf die Viskosität und die Oberflächenspannung unterscheiden. Dies ist durch die unterschiedlichen Mechanismen beim Auftrag der Fluide zu erklären. Für den Siebdruck ist beispielsweise eine hohe Viskosität nötig, damit das Fluid nicht durch die Siebmaschen auf das Substrat läuft. Diese hohe Viskosität würde im Tiefdruck die Fluidübertragung stark verringern. Bei der Abbildung 3 handelt es sich um die Darstellung von Prozessfenstern.

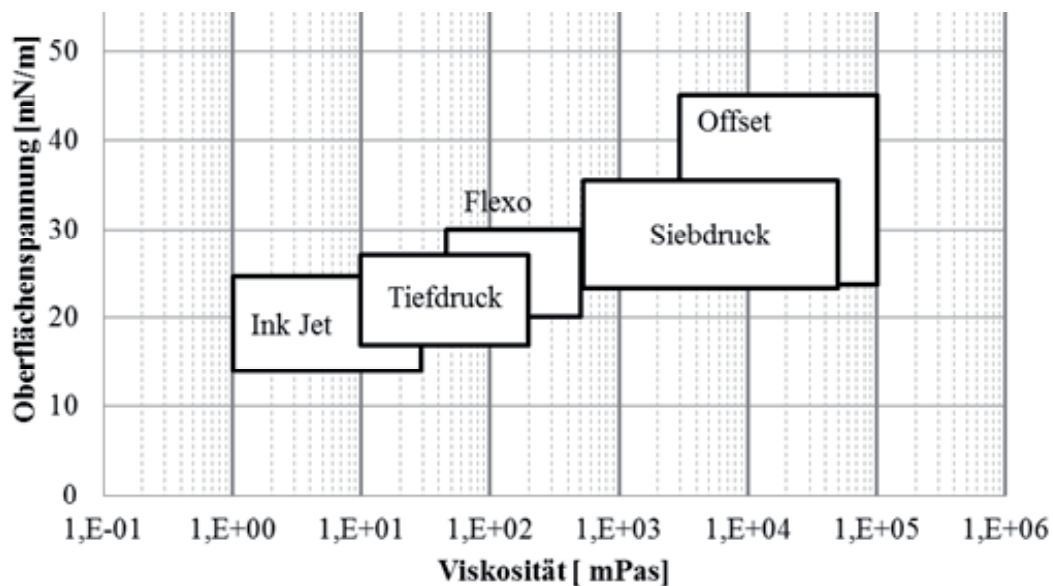


Abbildung 3: Prozessfenster für Viskosität und Oberflächenspannung von Fluiden für unterschiedliche Druckverfahren (nach [5]).

Weder die Viskosität noch die Oberflächenspannung sind absolute Parameter, sondern immer von verschiedenen Einflussgrößen abhängig. Durch unterschiedliche Beanspruchung (Scherung) des Fluids während des Druckvorgangs verändert sich die Viskosität von einigen Fluiden drastisch. Zusätzlich existiert eine starke Temperaturabhängigkeit der Fluidparameter. Die Prozessfenster sind also nur als Empfehlung für die jeweiligen Druckverfahren zu verstehen, vor allem im funktionalen Drucken müssen oft Fluide verarbeitet werden, die außerhalb dieser Fenster liegen. Durch Anpassungen an den Druckverfahren lassen sich diese Grenzen erweitern und andere Fluide verarbeiten.

Tiefdruckformen

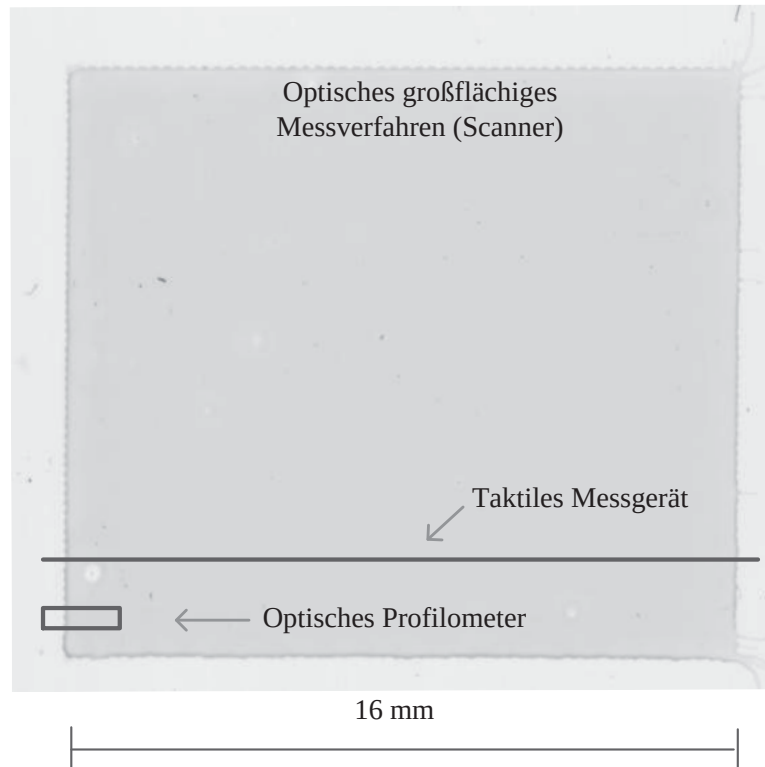
Das Schöpfvolumen einer Tiefdruckform ist ein wichtiger Parameter, denn von diesem hängt ab, welche Fluidmenge bei optimalen Bedingungen auf das Substrat übertragen werden kann. Das maximale Schöpfvolumen einer Gravur ist von den unterschiedlichen Gravurparametern abhängig. Aus dem Rasterwinkel, der Rasterweite und dem Spitzenwinkel ergibt sich, bei Annahme einer minimalen Stegbreite, ein bestimmtes Schöpfvolumen für den Vollton der Gravur. Diese minimale Stegbreite wird jedoch von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich eingestellt. So kann nicht davon ausgegangen werden, dass bei gleichen Gravurparametern immer identische Schöpfvolumina entstehen.

In der Veröffentlichung von Bornemann und Guck [6] wurde eine neue Methode zur Vermessung von Tiefdruckknäpfchen vorgestellt, die in dieser Arbeit angewendet wurde. Diese nutzt die konfokale Mikroskope als Messmethode. Wichtig zur Anwendung der Methode ist die Benutzung eines speziellen 50-fach-Objektivs mit sehr geringer numerischer Apertur was eine Auflösung von Flanken mit bis zu 71° ermöglicht. Als Messgerät wurde das am IDD vorhandene SensofarPlus Neox verwendet, das aufgrund seines piezoelektrischen Antriebs sehr genaue Höheninforma-

tionen liefert. Zu Vermessung von Zylindern wurde ein spezieller Tisch entwickelt, der das genaue Positionieren und Rotieren der Tiefdruckzylinder ermöglicht.

Charakterisierung von gedruckten Schichten

Die Charakterisierungsmethoden für gedruckte Schichten wählt man zweckmäßig in Abhängigkeit von der jeweiligen Versuchsreihe und den Zielgrößen. Im grafischen Drucken wird oft eine visuelle Auswertung vorgenommen. Dabei werden meist die Farbdichte, die Vergrößerung der Rasterpunkte oder weitere optische Eigenschaften (z.B. Glanz) der Schicht vermessen [7]. Im funktionalen Drucken werden Messungen der gewünschten Funktionalität durchgeführt wie z. B. Leitfähigkeit oder Fluoreszenz. Um ein Druckergebnis zu beurteilen, werden allerdings auch die topografischen Schichteigenschaften, vor allem die Schichtdicke und die Schichthomogenität, untersucht. Die Messverfahren für die Schichttopografie lassen sich in 3d-Profilometer und großflächige Messverfahren kategorisieren. 3d-Profilometer sind in der Industrie und Wissenschaft häufig eingesetzte Messgeräte zur Oberflächencharakterisierung. Die gängigsten Methoden sind die Interferometrie, die konfokale Mikroskopie und das taktile Messen. Diese Messmethoden zeichnen sich durch eine hohe laterale (wenige Mikrometer) sowie eine sehr hohe vertikale (wenige Nanometer) Auflösung aus. Für die Bestimmung der Schichtdicke bei relativ homogenen Proben und der Erkennung von lokalen Druckfehlern sind die 3d-Profilometer gut geeignet. Zum vollständigen Erfassen eines gedruckten Feldes oder gar eines Druckbogens sind sie jedoch ungeeignet, da dies sehr viel Zeit und Rechenleistung erfordern würde. Die Abbildung 4 zeigt einen Vergleich zwischen der Größe des Messfeldes der beschriebenen Verfahren, um eine Schicht von einigen hundert Nanometern Dicke zu messen. Zusätzlich ist beispielhaft eine Messfläche angegeben, in der eine erfolgreiche Messung an der gezeigten Probe möglich ist.



Messverfahren	Messfläche	Messzeit
Scanner	16*16 mm ²	ca.3 s
Optisches Profilometer	0,9*0,25 mm ²	Mehrere Minuten
Taktils Messgerät	18 mm	> 5 min.

Abbildung 4: Vergleich der Messfläche und der Messzeit von verschiedenen Messverfahren zur

Mit optischen großflächigen Verfahren kann die gesamte Fläche eines Druckbogens auf einmal aufgenommen werden. Je nach Verfahren und Auflösung und Feldgröße variiert dabei die Messzeit, sie liegt jedoch weit unter der von 3d-Profilometern. Mit optischen Profilometern ist nur eine Messung von wenigen Millimetern möglich, weil sonst kein korrektes Leveling möglich ist. Mit einem taktilen Messgerät kann die Probe nur linienweise abgetastet werden, für die Vermessung einer Fläche ist sehr viel Messzeit notwendig. Viele dünne Filme aus funktionalem Material sind, genauso wie die in dieser Arbeit verwendeten Materialien, semitransparent. Dies bedeutet, dass die Schichten Licht durchlassen (Transmission), abschwächen (Absorption) und zurückwerfen (Reflexion). Es wird davon ausgegangen, dass die Reflexion der verwen-

deten Schichten sich nicht mit der Schichtdicke ändert, so können mit einer Durchlichtmessung die transmittierten und durch die Schicht absorbierten Anteile des einfallenden Lichts bestimmt werden. Als Messgerät wird ein handelsüblicher Flachbettscanner verwendet. Dieser bietet die Möglichkeit, im Durchlichtmodus zu scannen, dabei fahren Sensor und Beleuchtung auf gegenüberliegenden Seiten das Substrat ab. Der Sensor des Scanners wandelt die transmittierte Lichtintensität in diskrete Einheiten (Pixel) und digitale Signale (Graustufenwerte). Abhängig von der Auflösung wird so eine Pixelmatrix erzeugt, in der die gemessenen Graustufenwerte gespeichert werden. Diese Graustufenwerte entsprechen der relativen, vom Sensor detektierten Lichtintensität, die von der Beleuchtung durch die Probe transmittiert wurde.

Eine Schwierigkeit bei der Messung im Durchlichtmodus von semitransparenten Schichten sind Verunreinigungen auf dem Substrat. Vor allem bei Polymerfolien ist es kaum möglich, außerhalb eines Reinraums das Substrat vom Drucken zur Auswertung verschmutzungsfrei zu halten. Die Verunreinigungen sind meist Staubpartikel, die von den elektrostatisch aufgeladenen Folien angezogen werden. Da diese kaum lichtdurchlässig sind, werden sie bei der Durchlichtmessung als dunkle Punkte im Bild sichtbar. Wenn nun von dem gemessenen Graustufenwert auf die Schichthomogenität geschlossen werden soll, erzeugen diese Punkte bei der Mittelung der Schichtdickenunterschiede einen erheblichen Fehler. Daher muss in der Auswertung eine Fehlerkorrektur eingebunden werden. Hierzu wurde eine eigene Methode implementiert, die auf einem pixelweisen Vergleich der Graustufenwerte mit dem Mittelwert der gesamten Probe basiert.

Als Maß für die durchschnittliche Schichthomogenität einer Probe wird der Variationskoeffizient (CV-Wert) der Schichtdicke verwendet, der sich aus der Standardabweichung und dem Mittelwert zusammensetzt. Berechnet werden kann dieser ausschließlich aus den gemessenen Graustufenwerten des Scanners. Dabei wird von einem logarithmischen Absorptionsgesetz (Lambert-Beersches Absorptionsgesetz) ausgegangen. Über die Bestimmung des Absorptionskoeffizienten kann so auch die absolute Schichtdicke berechnet werden. Auf eine genauere Darstellung der Berechnungsmethodik wird hier verzichtet, diese ist in meiner Dissertation [1] genauer beschrieben.

Versuche und Ergebnisse

Um den Einfluss von Druckform und Viskosität auf die Schichtdicke und Homogenität von gedruckten Schichten zu untersuchen, wurden verschiedene Versuchsreihen geplant und durchgeführt. Als Fluide wurden in Toluol gelöstes Polystyrol (PS) und in Anisol gelöstes PMMA verwendet, welches mit

einem Farbstoff zur besseren Absorption versetzt wurde. Diese beiden Polymerlösungen bieten die Möglichkeit über das Anpassen der Konzentration, bei nahezu konstanter Oberflächenspannung, die Viskosität zu ändern und eignen sich daher als Modellfluide für diese Untersuchung. Die Ausdrücke erfolgten auf einem RK Printing Proofer mit verschiedenen elektromechanisch gravierten Tiefdruckformen. Die Raster und Schöpfvolumen der Druckformen wurden dabei über einen sehr großen Bereich variiert. Die Viskosität der Fluide wurde als zusätzlicher Einflussparameter berücksichtigt. Dieser wurde mit 5-100 mPas in einem für das grafische wie auch für das funktionale Drucken relevanten Bereich eingestellt. Die folgende Diskussion der Ergebnisse konzentriert sich auf die Schichten aus Polystyrol (PS), es werden exemplarisch einige Ergebnisse vorgestellt.

Schichtdicke

Die Schichtdicken der gedruckten Proben wurden mit der vorher beschriebenen Methode ermittelt. Es wird dabei immer eine mittlere Schichtdicke der gesamten Probe angegeben, die Messfeldgröße ist etwa $10 \times 10 \text{ mm}^2$. Verglichen werden die Ergebnisse mit Messungen eines Interferometers, bei der die Schichtdicke über die Kante der gedruckten Schicht bestimmt wurde. Im Unterschied zu den Messungen mit dem Scanner können dabei nur Flächen von ca. $0,9 \times 0,25 \text{ mm}^2$ gemessen werden. Im folgenden Diagramm ist exemplarisch, anhand eines Fluids, die mit beiden Verfahren gemessene Schichtdicke über dem Schöpfvolumen dargestellt.

Es fällt auf, dass die mit dem Interferometer gemessenen Werte deutlich von den mit dem Scanner erzeugten Werte abweichen. Die mit dem Scanner ermittelten Werte zeigen eine deutliche lineare Tendenz und liegen bei höheren Schichtdicken als die mit dem Interferometer gemessenen Werte, bei denen die lineare Tendenz nicht so ausgeprägt vor-

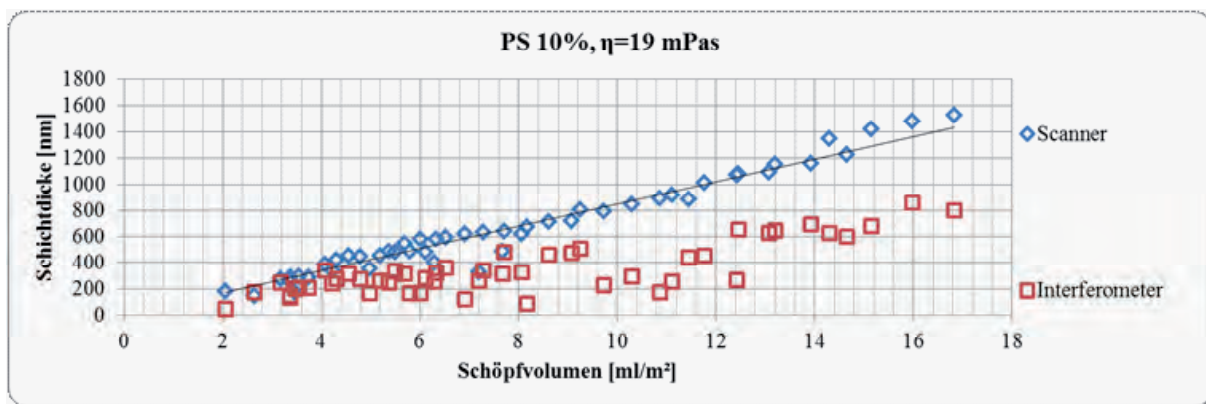


Abbildung 5:Die Schichtdicke von mit PS in Toluol hergestellten Schichten, aufgetragen über dem Schöpfvolumen. Es sind die mit dem Interferometer gemessenen Schichtdicken und die aus den Messungen mit dem Scanner berechneten Schichtdickenwerte aufgetragen.

liegt und eine höhere Streuung erkennbar ist. Diese Streuung kann durch die inhomogenen Schichten zustande kommen, da für diese keine exakten Messungen mit dem Interferometer möglich sind. Der Grund hierfür ist im kleinen Messfeld des Interferometers zu suchen. Die lateralen Dimensionen der Inhomogenitäten liegen dabei über der Messfeldgröße und können so vom Interferometer nicht aufgelöst werden. Daher sind die Messergebnisse mit dem Scanner in diesem Anwendungsfall als genauer zu interpretieren, als die Ergebnisse der Messungen mit dem Interferometer. Dies setzt allerdings eine korrekte Berechnung des Absorptionskoeffizienten voraus.

Schichthomogenität

Außer der absoluten Schichtdicke ist die Homogenität der gedruckten Schichten von großer Wichtigkeit. Diese Schichthomogenität ist in dieser Arbeit als die mittlere, quadratische Abweichung der Schichtdicke vom Mittelwert des gesamten Messfeldes (ca. $10 \times 10 \text{ mm}^2$) definiert. Ausgedrückt wird diese durch den vorher erwähnten CV-Wert (Variationskoeffizient), der aus den mit dem Scanner erzeugten Messwerten berechnet wird. Ein CV-Wert von null charakterisiert eine absolut homogene Schicht, je höher dieser Wert wird, desto inhomogener ist die Schicht. In den folgenden Diagrammen ist der CV-Wert

über dem Schöpfvolumen aufgetragen, bei konstanter Fluidviskosität. Ein Punkt darin entspricht der Auswertung der Homogenität von einem Feld einer Druckform mit einem bestimmten Raster und Schöpfvolumen.

Es zeigt sich, dass bei den Viskositäten 5 und 58 mPas eine breite Verteilung der Homogenität (CV-Werte) der einzelnen Felder vorliegt. Die kleinsten CV-Werte (beste Schichthomogenität) bei der Viskosität von 58 mPas werden bei großen Schöpfvolumina erzielt, bei 5 mPas ist der Trend nicht sehr deutlich. Die Ergebnisse der mittleren Viskosität von 19 mPas zeigen kaum Abhängigkeit vom Schöpfvolumen.

Qualitatives Druckprozessmodell

Diese Ergebnisse zur Schichthomogenität zeigen für unterschiedliche Schöpfvolumina Prozessfenster zum Drucken von homogenen Schichten. Da es sich bei dem CV-Wert um eine gemittelte Größe handelt, lassen sich keine Rückschlüsse auf die Verteilung oder Art der Inhomogenitäten ziehen. Für die Interpretation der gewonnenen Ergebnisse und der Optimierung von fehlerhaften Ausdrucken kann es nützlich sein, die Geometrie und Verteilung der Inhomogenitäten auf dem Substrat zu betrachten. Zu diesem Zweck wurde eine optische Abmusterung der Proben durchge-

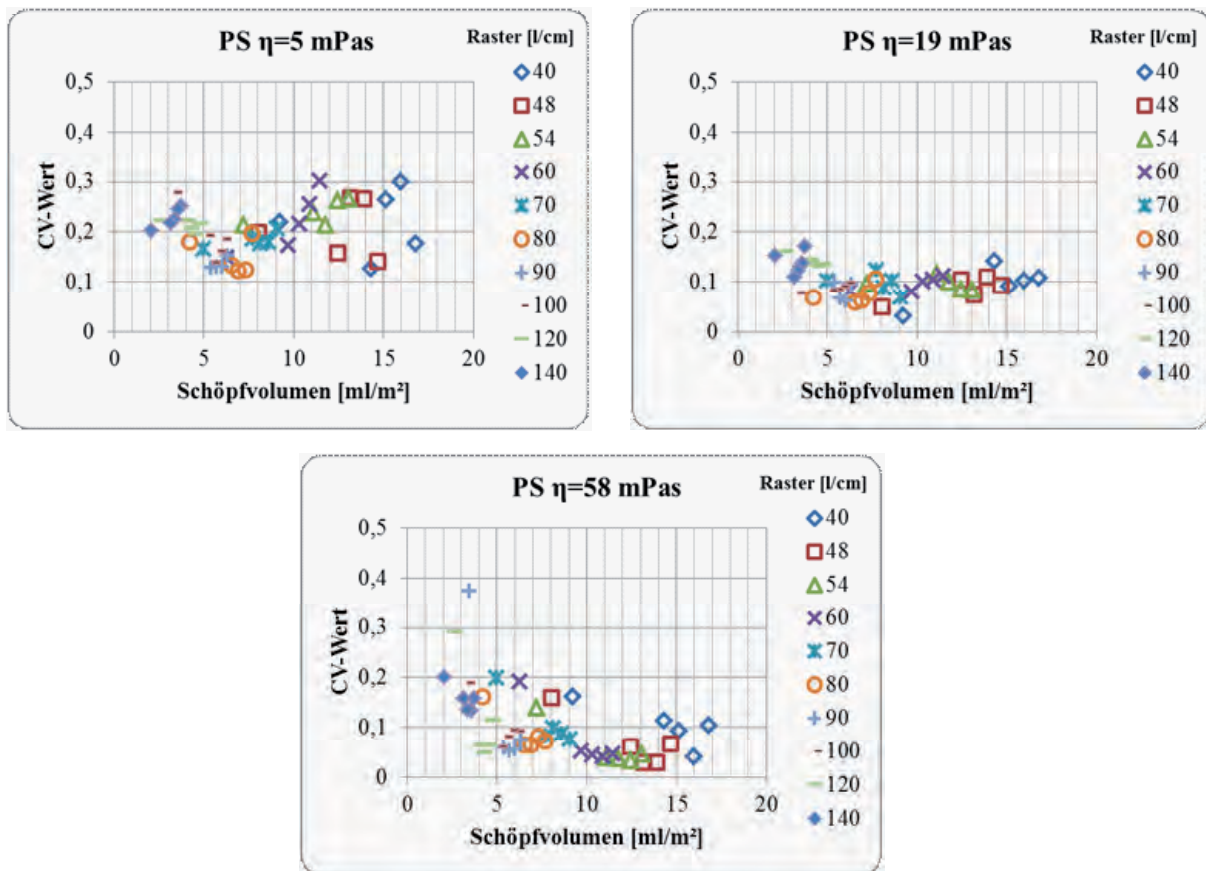


Abbildung 6: Auswertung der Druckergebnisse von in Toluol gelöstem Polystyrol in Bezug auf die Schichthomogenität. Aufgetragen ist der CV-Wert, als Maß für die Schichthomogenität, über dem Schöpfvolumen. Jeder Punkt entspricht einem gedruckten und ausgewerteten Testfeld, je kleiner der CV-Wert ist, desto homogener ist die Schicht. Die verschiedenen Raster sind mit unterschiedlichen Markern gekennzeichnet. Die Diagramme unterscheiden sich in der

führt und zwei unterschiedliche charakteristische Druckbilder identifiziert: ein dominant in Druckrichtung verlaufendes streifenförmiges Muster und regelmäßige Strukturen. Im Vergleich zur Druckform ist die Strukturgröße der Streifen deutlich größer als die Näpfchen, die regelmäßigen Strukturen entsprechen dem Raster auf der Druckform. Mit dem Ziel, die Abhängigkeiten der Parameter zueinander verständlicher auszudrücken, wurde so ein Druckprozessmodell entwickelt, in der auch die Fluidviskosität als veränderlicher Parameter eingeht. Dies ist vor allem interessant, wenn die Viskosität des verwendeten Fluids verändert werden kann.

Dieses qualitative Druckprozessmodell beschreibt die Veränderung der Schichthomo-

genität mit der Viskosität von in Toluol gelöstem Polystyrol. Mit Hilfe dieses Modells lässt sich der Druckprozess von Polystyrol in Toluol beschreiben und optimieren. Anhand der entstehenden charakteristischen Druckbilder kann eine Veränderung der Viskosität des Fluids vorgenommen werden, mit dem Ziel, homogene Schichten mit einer bestimmten Druckform zu erzeugen. Die Lage des Minimums und die Steigung der Kurve verändert sich mit den Parametern der Druckform.

Eine Erklärung für dieses Verhalten kann in der Theorie der Farbspaltung gefunden werden. Die Streifen, die bei geringen Viskositäten auftreten deuten auf eine Farbspaltung erster Klasse (nach Hübner [8]) hin. Dabei wird davon ausgegangen, dass vor der Spal-

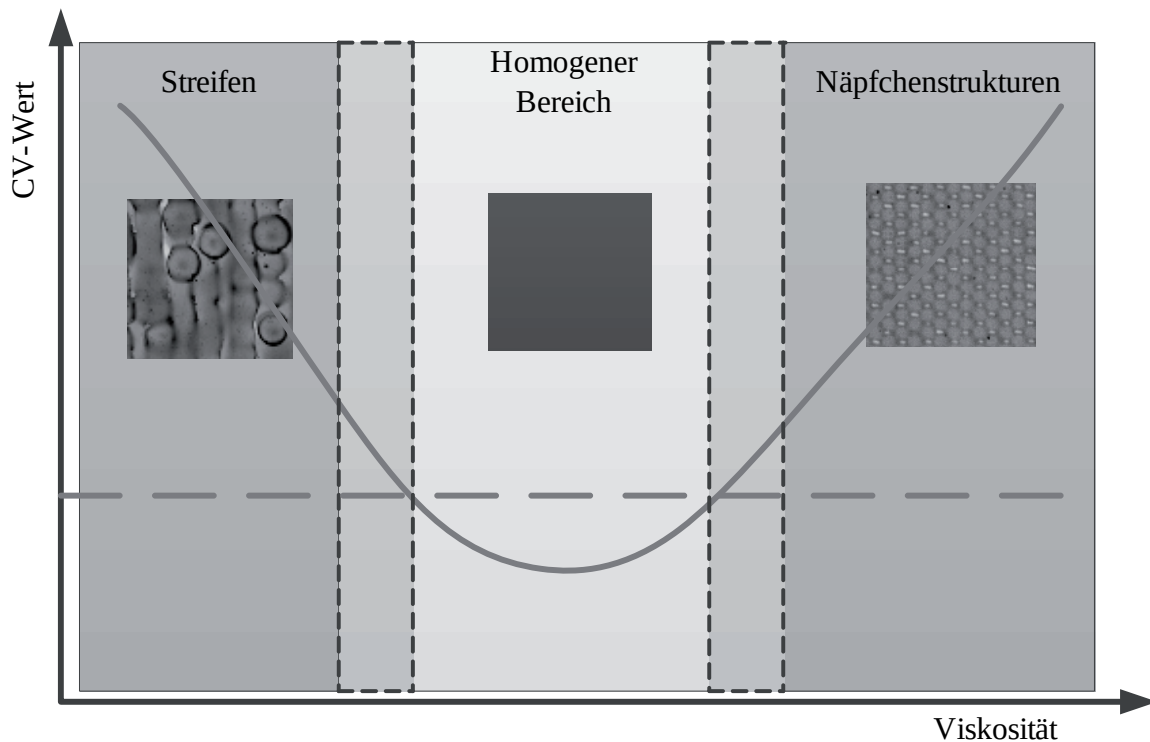


Abbildung 7: Qualitatives Druckprozessmodell für die Veränderung der Schichthomogenität mit der Viskosität von gedrucktem Polystyrol in Toluol. Danach bildet der CV-Wert mit steigender Viskosität einen minimalen Bereich und steigt danach wieder an. Dieser Verlauf ergibt sich aus der Veränderung des Druckbildes von streifenförmigen Inhomogenitäten über eine nahezu

tung zwischen den beteiligten Flächen ein geschlossener Fluidfilm vorliegt. Auch im Tiefdruck kann es dazu kommen, dass in der Druckzone ein geschlossener Fluidfilm vorliegt und es zu einer Filmspaltung kommt. Bei einem niederviskosen Fluid ist es möglich, dass nach dem Rakelprozess die Stege mit Fluid überflutet werden und sich ein geschlossener Meniskus bildet. Begünstigt wird dies auch durch ein großes Schöpfvolumen und kleine Stege zwischen den Näpfchen. Die Folge einer solchen Filmspaltung sind Instabilitäten, die in den meisten Fällen zu streifenförmigen Inhomogenitäten in Druckrichtung führen. Im anderen Fall kann davon ausgegangen werden, dass eine Farbspaltung zweiter Klasse vorliegt und es entstehen gleichmäßige Inhomogenitäten, die dem Raster auf der Druckform entsprechen. Diese Farbspaltungsart wird auch als Punktsplattung bezeichnet. Bei optimaler Rakelung befindet sich auf den Stegen zwischen den Näpfchen der Tiefdruckform nur so viel Fluid, wie für

eine Gleitwirkung der Rakel notwendig ist. Bei der Farbübertragung wird nun das Fluid in den Näpfchen gespalten und ein Teil auf das Substrat übertragen, an den Kreuzungspunkten der Stege zwischen den Näpfchen befindet sich allerdings nur wenig Fluid. Damit sich eine homogene Schicht bildet, müssen sich also die einzelnen Fluidvolumina zu einer Schicht vereinen. Dies wird durch eine hohe Viskosität und einen großen Abstand zwischen den Näpfchen behindert. Zum Drucken einer homogenen Schicht ist bei einer Filmspaltung also notwendig, dass die Instabilitäten, angetrieben durch die Oberflächenspannung, vergrößert werden. Im Fall von Punktsplattung kann nur eine homogene Fläche entstehen, wenn die einzelnen übertragenen Fluidvolumina zu einer Schicht zusammenlaufen. Hierfür ist eine niedrige Viskosität von Vorteil oder ein kleiner Abstand zwischen den Näpfchen. Aus diesen beiden Bedingungen ergibt sich ein Viskositätsbereich, in dem es möglich ist, homogene Schichten zu drucken.

Zusammenfassung

In der dieser Arbeit ist der Einfluss von Druckform und Fluidviskosität auf die Schichtdicke und Schichthomogenität von im Tiefdruck hergestellten Polymerschichten untersucht worden. Diese Schichten können als Modellsysteme für viele Anwendungen des funktionalen Druckens dienen. Für die Auswertung der Schichtdicke und Schichthomogenität wurden Messmethoden entwickelt, die schnelle und großflächige Charakterisierungen von gedruckten Schichten ermöglichen. Für die Berechnung der Schichthomogenität ist ein Homogenitätsparameter (CV-Wert) eingeführt worden, mit dem sich gedruckte Schichten von unterschiedlicher Schichtdicke und Schichthomogenität vergleichen lassen, ohne dass die Kenntnis weiterer Materialparameter erforderlich ist. Durch Kalibration der Messmethode auf die Absorptionseigenschaften der gedruckten Schichten mit Hilfe von Referenzproben konnten auch absolute Schichtdicken bestimmt werden. Es konnte eine lineare Tendenz der Schichtdicke mit dem Schöpfungsvolumen nachgewiesen werden. Dabei stellte sich heraus, dass das entwickelte Messverfahren für die verwendeten Schichten genauere Ergebnisse als herkömmliche Messverfahren liefern kann. Durch das Messverfahren war es zudem möglich, Zusammenhänge der Schichthomogenität mit unterschiedlichen verwendeten Druckformen und Fluidviskositäten festzustellen. Diese Zusammenhänge konnten in einem qualitativen Druckprozessmodell ausgedrückt werden, welches zur Optimierung des Druckprozesses für die verwendeten Polymerschichten im Tiefdruck angewendet werden kann.

- [1] Stahl, S. Einfluss der Druckform und der Fluidviskosität auf die Schichtdicke von im Tiefdruck hergestellten Funktionsschichten und deren Charakterisierung, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2013
- [2] Bergmann, G., Publishing-Tiefdruck: Wie reagiert man auf einen schrumpfenden Markt. Deutscher Drucker, 2012. 35.
- [3] Subramanian, V., Chang, J.B., de la Fuente Vornbrock, A., Huang, D.C., et al. Printed electronics for low-cost electronic systems: Technology status and application development. In 34th European Solid-State Circuits Conference, ESSCIRC 2008. 2008.
- [4] Michels, J.J., de Winter, S.H.P.M., Symonds, L.H.G., Process optimization of gravure printed light-emitting polymer layers by a neural network approach. Organic Electronics, 2009. 10(8): p. 1495-1504.
- [5] Dörsam, E., Printing Technology for Electronics. Vorlesung: Technische Universität Darmstadt, 2011.
- [6] Bornemann, N., Guck, T., Bitsch, T., Dörsam, E. Characterization of Gravure Cells using Confocal Microscopy. In Advances in Printing and Media Technology: Proceedings of the 39th International Research Conference of IARIGAI. 2012. Ljubljana, Slowenien.
- [7] Dörsam, E., Praktische Farbmessung. Vorlesung: Technische Universität Darmstadt, 2011.
- [8] Hübner, G., Ein Beitrag zum Problem der Flüssigkeitsspaltung in der Drucktechnik. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 1991.

Dr.-Ing. Katharina Kehren, Königstein im Taunus

Optical Properties and visual Appearance of Printed Special Effect Colors

Optische Eigenschaften und visuelle Wahrnehmung von gedruckten Spezialeffektfarben



1983 Geburt in Hilden, 2003 Abitur in Mettmann, 2003 bis 2008 Maschinenbaustudium mit Vertiefung im Papier- und Chemieingenieurwesen am Institut für Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik der TU Darmstadt, 2008 bis 2013 Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe Farbe am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der TU Darmstadt mit Promotion zur Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.), seit 2013 Entwicklungsingenieurin bei TECHKON GmbH in Königstein im Taunus.

Zusammenfassung

Die vorgestellte Studie wurde im Zuge einer Promotion am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren (IDD) durchgeführt. Es geht um die optischen Eigenschaften und die visuelle Wahrnehmung gedruckter Spezialeffektfarben. Durch ihre besonderen Objekteigenschaften, bereitet das Drucken mit Spezialeffektfarben Probleme in der Prozesskontrolle und Qualitätssicherung. Die Transformation messbarer optischer Größen in visuelle Wahrnehmungsattribute ist unvollständig. Die Anzahl und Art der notwendigen visuellen Wahrnehmungsattribute waren unbekannt und wurden in dieser Studie ermittelt.

Unter definierten experimentellen Bedingungen wurden visuelle Experimente durchgeführt und unter Verwendung von statistischen Methoden ausgewertet. In einer Lichtkabine und einem Mehrwinkelprüfstand wurden Probanden 14 gerollte Sieb- beziehungsweise 20 ebene Flexodruckproben präsentiert. Daran wurden visuelle Wahrnehmungsdifferenzen beziehungsweise zwölf visuelle Wahrnehmungsattribute in relativen und absoluten kategorischen Skalierungsexperimenten bewertet. Zur statistischen Auswertung wurden

die klassische multidimensionale Skalierung, zwei Korrelationsanalysen, eine Hauptkomponentenanalyse und eine exploratorische Faktorenanalyse angewendet.

Höchstens sechs visuelle Wahrnehmungsattribute sind unter Berücksichtigung aller verfügbaren Dimensionalitätskriterien für STRESS-Werte, kumulierte Varianzen und Eigenwerte notwendig. Signifikant positive Korrelationskoeffizienten zeigen, dass die zwei und drei getesteten Glanz- beziehungsweise Texturattribute in Kombination betrachtet werden können. Die sechs notwendigen visuellen Wahrnehmungsattribute umfassen vier Farbattribute (Button, Buntheit, Helligkeit und Bunttonwechsel) sowie zwei kombinierte Attribute für Glanz und Textur.

Abstract

The presented study was conducted in the course of a doctoral thesis at the Institute of Printing Science and Technology (IDD). It focuses on the optical properties and the visual appearance of printed special effect colors. Due to their special object characteristics, printing with special effect inks causes problems in process control and quality assu-

rance. The transformation of measurable optical quantities into visual appearance attributes is incomplete. The number and nature of essential visual appearance attributes were unknown before and therefore determined in this study.

Under defined experimental conditions, visual experiments were conducted and evaluated using statistical methods. With respect to the experimental equipment, 14 rolled screen and 20 planar flexo printing samples were presented in a color matching light booth and a multi-angle test bench. In relative and absolute category scaling experiments, visual appearance differences and twelve visual appearance attributes were rated, respectively. Classical multidimensional scaling, two correlation analyses, a principal component analysis and an exploratory factor analysis were used for statistical evaluation.

Considering all available dimensionality criteria for STRESS values, cumulated variances and eigenvalues, at most six visual appearance attributes are essential. The two and three tested gloss and texture attributes, respectively, can be combined indicated by significantly positive correlation coefficients. According to rotated composition and factor loadings, the six essential dimensions are four color attributes (hue, chroma, lightness and hue shift) as well as two combined attributes for gloss and texture.

Introduction

With the trend towards high-quality printing, special effect colors are printed more frequently [KehUD2011, KehUD2012]. Bank notes, admission tickets, jewelry chases, perfume wrappings, chocolate boxes, cigarette packets and wall papers are typical examples for printed special effect colors. Their special object characteristics cause unique optical properties and a fascinating visual appearance. The general connection of object characteristics, optical properties and visual appearance is explained subsequently.

An object is characterized by general parameters such as material, shape and size. Radiometric quantities depending on wavelength, geometry and location are used to describe the optical properties of an object. The associated visual appearance is described by visual appearance attributes for color, gloss and texture.

In more detail, printed special effect colors [PfaGKMW2008] have the following special object characteristics, optical properties and visual appearance. The printed layer of a special effect ink applied on a printing substrate includes special effect pigments. Due to the flaky particle shape and the large particle size, the special effect pigments are arranged more or less parallel to each other in multiple layers. Each pigment itself is composed of a flaky pigment substrate with at least one thin coating layer. The high-refractive pigment coating causes thin-layer interference. Between the layers and on the surfaces of the individual pigments, specular reflections occur. The local specular reflections are perceived as visible texture. The pearlescent gloss is induced by the inter-layer reflections. The thin-layer interference causes a shifting color. Figure 1 illustrates the shifting color, the pearlescent gloss and the visible texture.

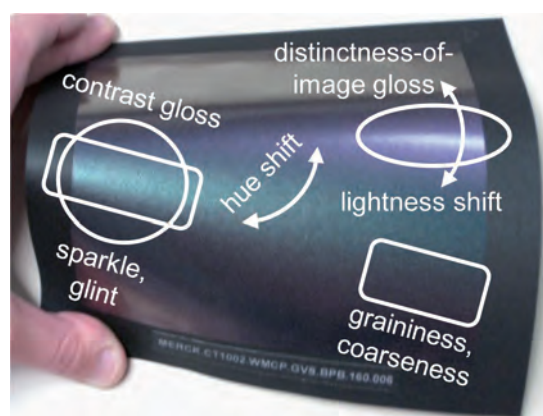
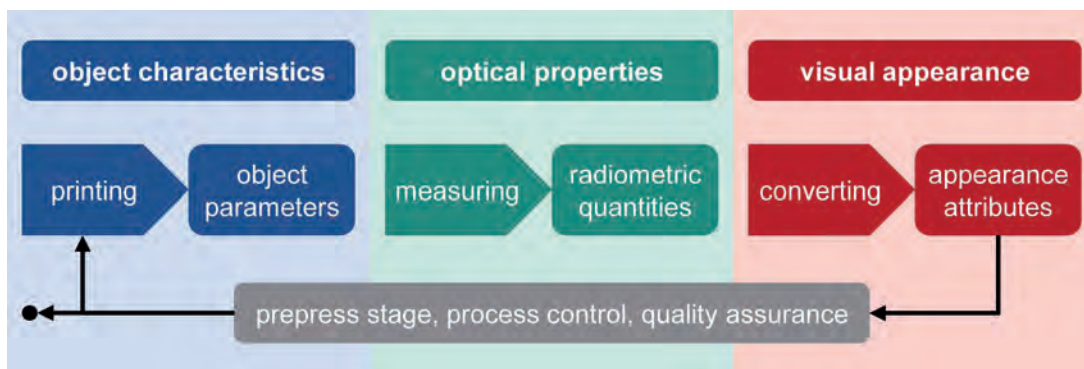


Figure 1: Visual appearance of printed special effect colors including the shifting color, the



Concerning the shifting color of the presented printing sample, the hue and lightness shift are each indicated by a curved double arrow. Along one of these arrows, the hue shifts from turquoise to violet. For the other arrow, the lightness increases from the arrow heads to the arrow center.

The regions showing a pearlescent gloss are indicated by ellipses for the contrast gloss and the distinctness-of-image gloss. Similar to the lightness shift, the contrast gloss describes the dissimilarity between the more or less light regions caused by specular and off-specular reflection. The sharpness of the highlight caused by specular reflection is called distinctness-of-image gloss.

The rounded rectangles highlight regions with visible texture described by graininess and coarseness or sparkle and glint. Graininess and coarseness specify the size of components in a system observed under rather diffuse illumination conditions. For rather directional illumination conditions, bright tiny light spots in the less bright surrounding called sparkle or glint can be observed.

The special visual appearance of printed special effect colors is considered in the presented study. It was carried out at the Institute of Printing Science and Technology (IDD) in the course of a doctoral thesis.

Problem and Approach

In contrast to light-absorbing colors, there is a problem regarding printing special effect inks. The underlying problem is introduced by means of figure 2.

In each printing process, a printed product with specific object characteristics (blue box) described by object parameters (green box) is produced. Its optical properties are described by means of radiometric quantities determined in optical measurements. From this, visual appearance attributes (red box) are calculated according to a psychophysical equation. Apart from the use in the prepress stage, the determined visual appearance attributes are required for process control and quality assurance (grey box).

For printed light-absorbing colors, the measured radiometric quantity is the spectral reflectance. It is converted into three color attributes called hue, chroma and lightness in the CIELCH color space. The CIELAB color space is an alternative representation using the redness-greenness value, the yellowness-blueness value and the lightness.

In case of printed special effect colors, the spectral reflectance is insufficient to represent the optical properties. In addition to the spectral dependence, the geometric and spatial dependence should be determined and depicted as bidirectional reflectance and tex-

ture distribution for its subsequent conversion into visual appearance attributes for color, gloss and texture. However, their number and nature are not known.

How many and which types of visual appearance attributes are essential? This question is answered in this study based on visual experiments and statistical evaluations. In the visual experiments, specified appearance dimensions are investigated under application of specific psychophysical methods. The collected visual appearance datasets are then evaluated by the use of statistical methods.

Experimental Conditions

Previous to the visual experiments, the experimental conditions were specified. These include the tested visual appearance attributes, the selected printing samples and the experimental equipment.

Visual Appearance Attributes

According to the technical report CIE TC1-65 [CIETC165] and Eugène [Eug2008], the visual appearance of any material can be subdivided into components for color, gloss, texture and translucency. For printed special effect colors, the appearance of translucency can be neglected. Therefore, the following explanation on visual appearance attributes is limited to color, gloss and texture attributes rated in this study.

Color attributes

In the standard practice ASTM E 284-03a [ASTME28403a] and in books [Fai2005, HunH1987, Hun1998], multiple color attributes, such as hue, chroma, colorfulness, chromaticness, saturation, lightness and brightness, are defined. In the color community, the attributes hue (h), chroma (C) and lightness (L) are generally used to describe the appearance of color. These color attributes are represented in the CIELCH color space shown in figure 3.

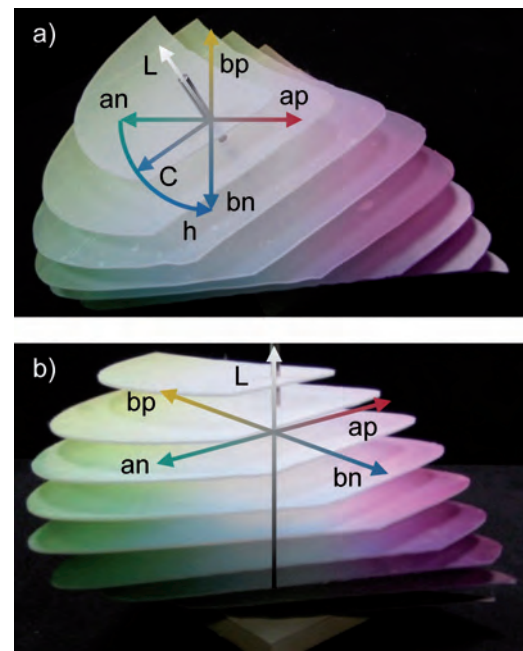


Figure 3: CIELCH and CIELAB color space in top (a) and side (b) view.

The hue (h) varies along a circle around the lightness (L) axis whose radius specifies the chroma (C). The linear scale of chroma and lightness allows their direct rating in the visual experiments. Due to its circular scale, hue needs to be assessed indirectly. Alternatively, the redness (ap), yellowness (bp), greenness (an) and blueness (bn) used in the CIELAB color space were rated.

In addition to these attributes for light-absorbing colors, the hue shift (dH) and the lightness shift (dL) were selected for the visual experiments. In the context of printed special effect colors, the hue shift was introduced by Kehren et al. [KehUD2011, KehUD2012]. Apart from the color shift, Pfaff et al. [PfaGKMW2008] describe the lightness shift. Due to their similar meaning, the lightness shift is tested together with the so-called contrast gloss explained next.

Gloss Attributes

In their book on special effect pigments, Pfaff et al. [PfaGKMW2008] also use the visual

appearance attributes metal and pearl gloss. Other universal gloss attributes, such as specular gloss, contrast gloss, luster, bloom, haze, diffuseness, sheen, distinctness-of-image gloss, absence-of-bloom gloss, absence-of-texture gloss and surface-uniformity gloss are defined in standard practices [ASTMD444990, ASTMD52389, ASTMD576795, ASTM E28403a, ASTM E43097] and in the book of Hunter and Harold [HunH1987].

Among them, the contrast gloss and the distinctness-of-image gloss were found to be essential by Pellacini et al. [PelFG2000] and Ferwerda et al. [FerPG2001]. On the basis of this finding, these gloss attributes were included in the present study. Figure 4 and figure 5 illustrate the contrast gloss (CG) and the distinctness-of-image gloss (DOIG).

In figure 4, a metal cylinder with a partly unpolished (left part) and polished (right part) surface is shown. The contrast gloss is the degree of dissimilarity between the luminance in specular and off-specular directions. In the unpolished left half, the luminance is high in specular direction and medium high in off-specular directions. The luminance is very high in specular direction and low in off-specular directions for the polished right half. Compared to the unpolished left half, the dissimilarity in luminance is higher in the polished right half. Thus, the unpolished left half has a lower contrast gloss than the polished right half.

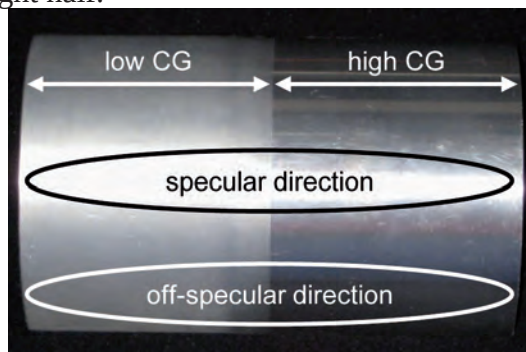


Figure 4: Partly unpolished (left) and polished (right) metal surface with low (left) and high (right) contrast gloss (CG).

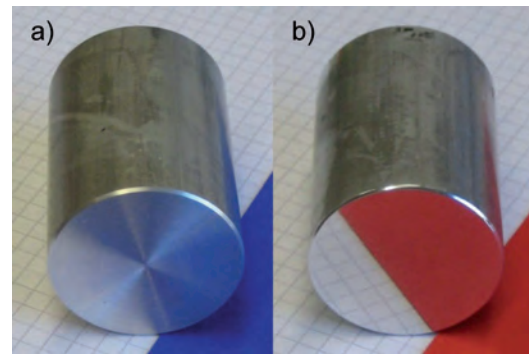


Figure 5: Weakly (a) and strongly (b) polished metal surfaces with low (a) and high (b)

In a similar way, the metal surfaces in figure 5 differ in distinctness-of-image gloss. The weakly polished metal surface (figure 5a) reflects a blurry image perceived as low DOIG. A high DOIG is perceived for the strongly polished metal surface (figure 5b) reflecting a sharp image.

Texture Attributes

The appearance of texture was investigated by Rao and Lohse [RaoL1996]. A wide range of textures can be described by means of three texture dimensions. The first texture dimension correlates with repetitiveness, randomness, directionality, regularity, orientation and uniformity. Texture contrast and directionality are represented in the second dimension. The third dimension describes graininess, complexity and coarseness. Among the enlisted texture attributes, the texture contrast (TC) shown in figure 6 as well as the graininess (G) and coarseness (C) shown in figure 7 were assumed to be relevant for printed special effect colors.

The particle systems in figure 6 exemplify the texture contrast. It is low for the system consisting of particles with nearly equal lightness (figure 6a). The system composed of light and dark particles has a high texture contrast (figure 6b). In a more general sense, the texture contrast is the perceived degree of visual dissimilarity in the location-dependent optical properties.

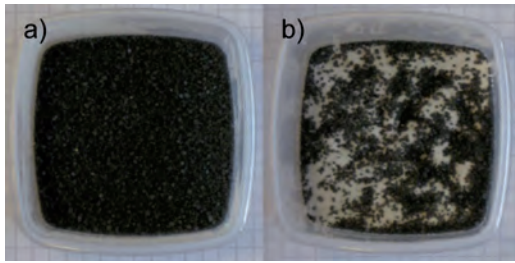


Figure 6: Particle systems with low (a) and

The graininess and coarseness (GC) are explained by means of the particle systems shown in figure 7. A fine-grained system like sand (figure 7a) consisting of many small components has a low graininess or coarseness. It is high for coarse-grained systems like gravel (figure 7b) being composed of few large components. More generally, the size of components into which a system can be subdivided is called graininess or coarseness.

The related texture attributes graininess and coarseness (GC) can be only observed for diffuse illumination conditions. Graininess is used by Rentschler [Ren2012], Ćuricovič and Martens [DurM2003], Ćuricovič et al. [DurEKM2004] and by Ershov et al. [ErsKM2001, ErsDKM2004] while coarseness is used by Kirchner et al. [KirKNSG2007, KirHN2008, KirDSKG2009] and Dekker et al. [DekKSKG2010]. The same usage of texture attributes holds for the related texture attributes sparkle (S) and glint (G), respectively. Specular illumination is the condition to observe sparkle or glint (SG). These are bright tiny light spots in a less bright surrounding. Specular reflections of sunlight at small waves on a calm sea are a vivid example.

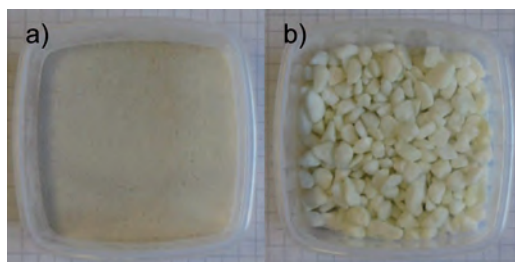


Figure 7: Particle systems with low (a) and high (b) graininess and coarseness.

Printing Samples

For the planned visual experiments, two sample sets were compiled. Their differences concerning their printing, measuring, selection and preparation are explained in the following.

Sample Printing

For the production of the samples, several parameters including the printing technology, the pigment type, the printing substrate, the background color and the varnishing state were varied. Due to the comparably high ink layer thickness resulting in pronounced optical and visual effects, screen and flexo printing were chosen.

The best-selling and most particular products were selected and provided by the pigment producers BASF SE and MERCK KGaA. The selected pigments were chosen from different pigment classes named silver white, gold, iron oxide, interference effect, multi-color and sparkle pigments. As an example, figure 8 shows flexo printing samples with silver white, iron oxide and multi-color pigments.

The visual appearance of the illustrated samples is in accordance with the designation of the respective pigment class. This is also valid for the classes of gold, interference effect and sparkle pigments.

As printing substrates, paper grades differing in roughness, porosity and color were used. The white or black paper or primed background defines the background color. The varnishing state is either an unvarnished or a glossy varnished surface. The influence of the background color and the varnishing state is visualized by means of figure 9 showing the consecutive process sequences realized in flexo printing [KehUD2011].

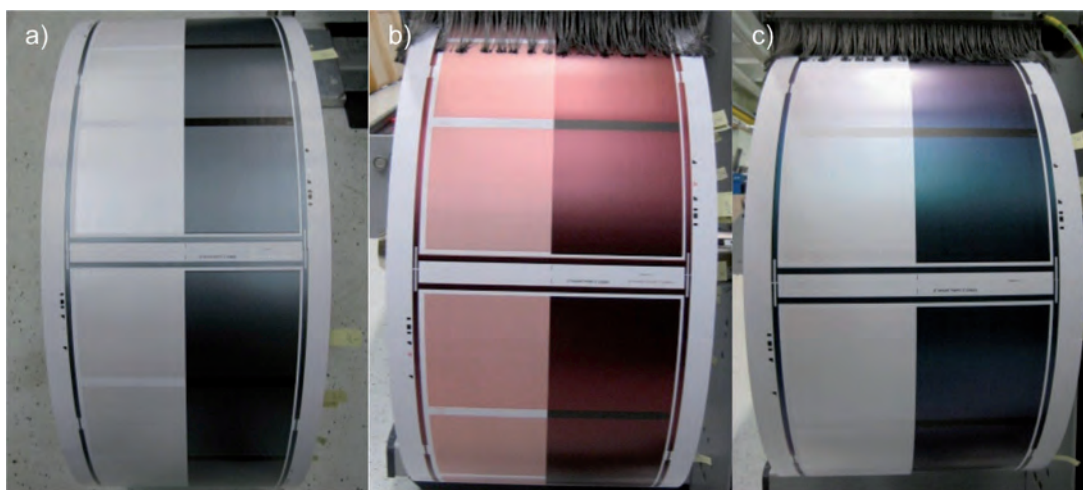


Figure 8: Flexo printing samples with silver white (a), iron oxide (b) and multi-color (c) pigments.

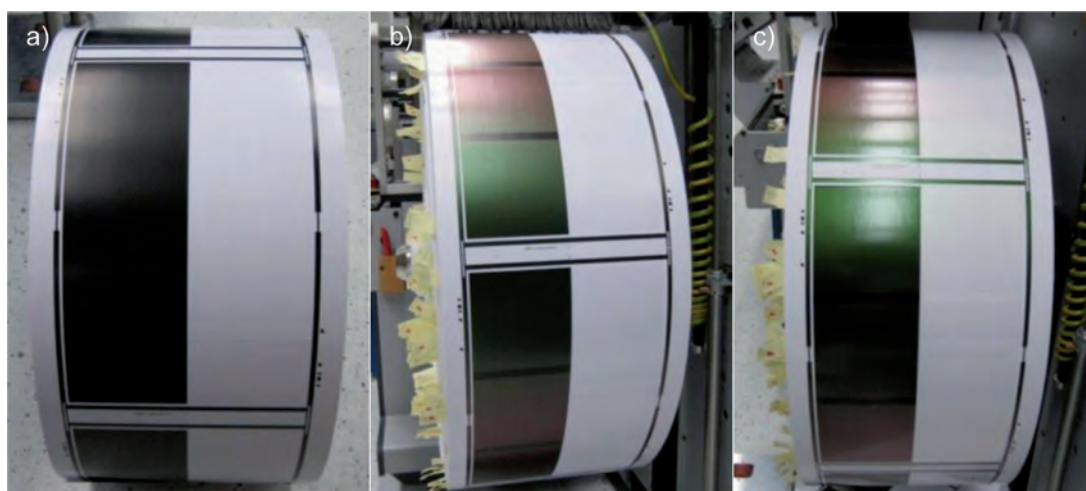


Figure 9: Flexo printing sequences called priming (a) with black light-absorbing ink, printing (b)

During the priming sequence (figure 9a), the paper web is partially primed with a black light-absorbing ink. The water-based special effect inks were successively applied during the printing sequence (figure 9b). The finishing sequence (figure 9c) is an optional application of an UV-curing clear gloss varnish. On the described way, 224 representative application cases were realized in flexo printing. These are the supplement to 44 application cases realized in screen printing.

Sample Measuring

All 44 screen and 224 flexo printing samples being available in multiple copies were measured with multi-angle spectrophotometers [KehUDHW2011, KehUD2011]. The characteristic of the multi-angle spectrophotometers MA98 (X-Rite GmbH) and BYK-mac (BYK-Gardner GmbH) is their capability to measure the spectral reflectance in multiple geometric configurations of light source and detection system relative to the sample surface. The geometry-specific reflectance spec-

tra are transferred into the associated color coordinates. In addition to the spectral detector, the multi-angle spectrophotometer BYK-mac is equipped with an imaging detector for the determination of texture parameters.

All detected reflectance spectra as well as all determined color coordinates and texture parameters are filed in a hierarchic structure as described by Kehren et al. [KehUD2011]. The so-called bidirectional reflectance and texture database (www.idd.tu-darmstadt.de, office@idd.tu-darmstadt.de) is freely available for other studies. In the present study, the measured reflectance spectra were used during the sample selection.

Sample Selection

The large sets of 44 screen and 224 flexo printing samples are not testable in visual experiments. From both total sample sets, each a subset of representative printing samples was selected considering the aspects of spectral sorting, visual specialty and combination diversity [KehUD2012].

Using the spectral sorting algorithm of Hardeberg [Har1999], the samples were ranked according to the dissimilarity of their spectral reflectance taken from the bidirectional reflectance and texture database. From the resulting dissimilarity ranking, the first eleven screen and 14 flexo printing samples were picked out for visual validation and further extension according to the remaining selection aspects.

For the selection according to the visual specialty, all samples were spread out on a table and visually evaluated in the specialty of their visual appearance. Some samples catch your eye due to a large hue shift. Other samples are visually special due to their intense sparkle. If not already covered by spectral sorting, such visually unique samples were marked down. Some of them were added to the already selected samples considering the last aspect.

Finally, the diversity in the combination of the varied printing parameters was considered. Besides the special effect pigment, the paper quality, the background color and the varnishing state were varied. Among the unselected but earmarked samples, those increasing the combination diversity are preferred over others.

In total, 14 screen and 20 flexo printing samples were selected. The variety in the sample sets is visualized by means of figure 10 showing the 14 selected screen printing samples [KehUD2012].

The set of 14 screen printing samples includes samples differing in color, gloss and texture. Apart from almost achromatic white (B01, B12, B14) and grey (B13) samples, notably chromatic more or less light samples with hues from red (B11) over orange (B03, B06, B07) and green (B04, B05) to blue (B09, B10) are included. Some samples (B05, B09, B13) have a low visual gloss while others (B01, B12, B14) have a high one. The perceived texture varies from weak (B01, B11) to strong (B02, B08).



Figure 10: 14 screen printing samples [KehUD2012].

Sample Preparation

The selected samples were prepared in different styles. The screen printing samples were prepared as rolled samples shown in figure 10. The screen printing samples measuring 120 mm in square are fixed on a black paper cylinder of 46 mm in diameter and 160 mm in height. The protruding seam of the black paper allows the handling of the sample without touching the printed region [KehUD2012]. The same holds for the flexo printing samples prepared as planar samples. A black paper of 160 mm in square supports the flexo printing sample measuring 130 mm in square. The 14 rolled screen and 20 planar flexo printing samples are presented in the color matching light booth and the multi-angle test bench, respectively.

Experimental Equipment

The color matching light booth and the multi-angle test bench are the experimental equipment. Especially with regard to the preparation style, they are explained in the following.

Color Matching Light Booth

The commercial color matching light booth Spectra Light III of X-Rite GmbH was enhanced by a black light-absorbing wall covering [KehUD2012]. It reduces inter-reflections in the test field shown in figure 11.

The sample or sample pair is illuminated more or less diffuse from above and observed from ahead under 45° . Due to the cylindrical shape of the sample, a series of geometric configurations is simulated simultaneously. Using the mean illumination angle and the adjusted observation angle both counted to the perpendicular on the sample surface for specification, geometric configurations from $-40^\circ/90^\circ$ to $90^\circ/-49^\circ$ are realized.

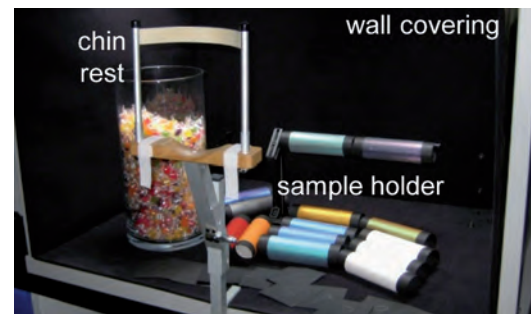


Figure 11: Color matching light booth Spectra Light III of X-Rite GmbH [KehUD2012].

The spectral power distribution of the filtered light source approximately corresponds to that of the standard illuminant D65 [CIETC165]. The 10° standard observer [CIETC165] is realized by means of an adjusted observation distance.

Multi-Angle Test Bench

The multi-angle test bench is a custom-made setup developed and evaluated at the Institute of Printing Science and Technology (IDD). Figure 12 shows this setup for a rough impression.

The main elements of the multi-angle test bench are the light source, the sample holder and the chin rest. For an almost directional illumination from arbitrary directions, the light source rotates around the vertical axis of the also rotating sample holder. With these two rotational degrees of freedom, any desired geometric configuration is realizable although the subject stays at a fixed position defined by the chin rest. In the present case,

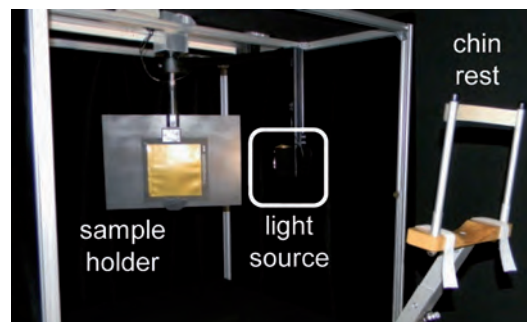


Figure 12: Custom-made multi-angle test bench.

the six geometric configurations 45as-15, 45as15, 45as20, 45as45, 45as75 and 45as110 were successively simulated. They are given in the standard practices ASTM E 2194-03 [ASTME219403] and DIN 6175-2:2001-03 [DIN61752200103]. In the geometry specification, the first number indicates the position of the light source by means of the illumination angle counted to the perpendicular on the sample surface. The so-called aspecular angle counted to the direction of specular reflection is given by the second number and indicates the position of the observer.

The spectral power distribution of the standard illuminant D50 [CIETC165] is approximated by the used light source. The observation distance was adjusted according to the 10° standard observer [CIETC165].

Visual Experiments

To generate datasets for statistical evaluations, visual experiments were conducted. The two related processes are shown in figure 13.

During the visual experiments, a perceptual dimension (green ellipses) is assessed under the application of an experimental method (blue ellipses) resulting in visual data (red ellipses) [KehUD2012]. More detailed information about the visual experiments is given in the following.

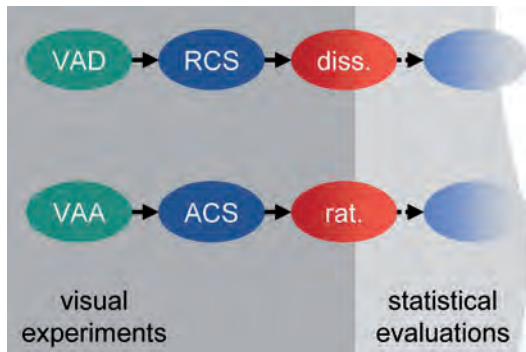


Figure 13: Visual experiments [KehUD2012].

Relative Category Scaling (RCS)

In the relative category scaling (RCS, figure 13) experiment, total visual appearance differences (VAD) between two presented samples is rated resulting in the so-called dissimilarity matrix (diss.). For each sample pair, the subject is asked to judge the size of the visual appearance difference on a scale from zero to ten. All difference judgments are stored in a symmetric n-by-n matrix with n for the number of samples whose diagonal elements $d_{i,i}$ are equal to zero. Element $d_{i,j}$ representing the dissimilarity between sample i and sample j is equal to the element $d_{j,i}$.

Absolute Category Scaling (ACS)

In the absolute category scaling (ACS, figure 13) experiment, the twelve visual appearance attributes (VAA) presented above are rated and stored in the rating matrix (rat.). On a scale from zero to ten, the subject is asked to judge the size of each of the twelve visual appearance attributes for each of the n samples. The twelve-by-n rating matrix consists of the elements $r_{k,i}$ representing the rating of attribute k for sample i.

Statistical Evaluations

The visual data obtained during the visual experiments are processed in statistical evaluations. Under exclusion of an also conducted inter-matrix correlation analysis as well as an exploratory factor analysis based on a dimension reduction, the evaluation concept of this study is shown in figure 14.

Different statistical evaluation methods (red ellipses) are applied to obtain interim and final results (red ellipses) [KehUD2012]. The statistical evaluation methods are namely classical multidimensional scaling (CMDS), an intra-matrix correlation analysis (CA) and a principal component analysis (PCA) followed by an orthogonal rotation (OR). The so-called configuration (conf.) and composition (comp.)

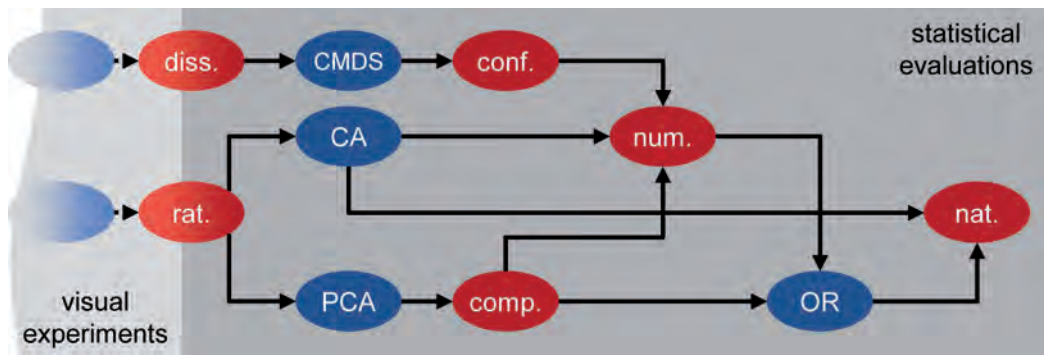


Figure 14: Statistical evaluation [KehUD2012].

are interim results. The final results are the number (num.) and nature (nat.) of the essential visual appearance attributes. In the following, detailed information about the statistical evaluations is provided and the obtained results are presented.

Classical Multidimensional Scaling (CMDS)

The statistical evaluation method called classical multidimensional scaling (CMDS, figure 14) is explained by means of an example [KehUD2012]. Imagine three places, such as those for living, working and shopping. Their

respective distance allows a conclusion to their mutual position. In case of a negligible difference in their altitude, their locations on a map are obtained. The two dimensions of the map do not necessarily correspond to the cardinal directions.

In more general, known dissimilarities between samples can be used to determine their so-called configuration in a low-dimensional space [Eng2000]. With an increasing number of dimensions, its accuracy increases. The associated coordinates represent meaningful variables. This representation provides a clearer insight in the underlying relations.

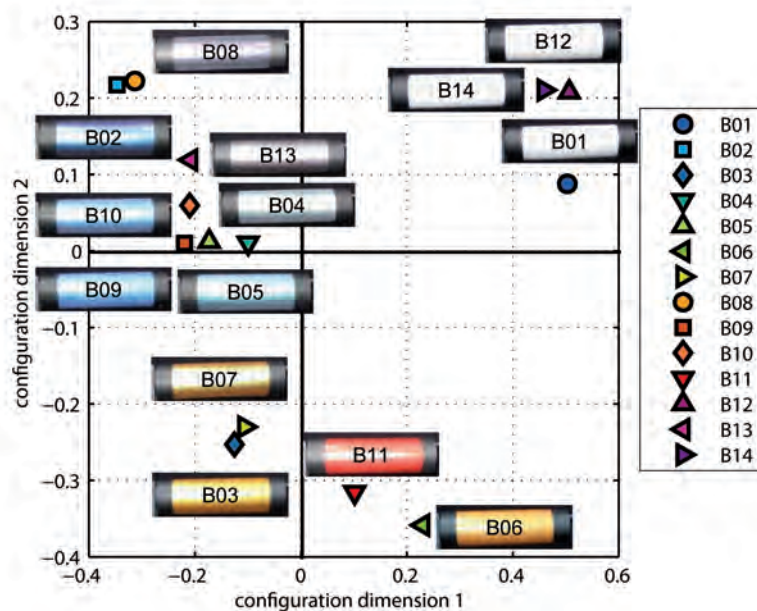


Figure 15: Configuration of the 14 rolled screen printing samples projected on the first and second dimension [KehUD2012].

The dissimilarity matrix of the 14 rolled screen printing samples was used to calculate the configuration. It is shown in figure 15 as a projection on the first and second dimension.

Samples being similar in their visual appearance form local groups [KehUD2012]. In the first quadrant, white samples (B01, B12, B14) with a high lightness are located. Green (B04, B05) and blue (B02, B09, B10) samples with a high greenness and blueness, respectively, are grouped together in the second quadrant. Here, the perceived texture gets more pronounced with an increasing distance from the zero point. In the third and fourth quadrant, there are orange (B03, B06, B07) and red (B11) samples with a high yellowness and redness as well as a high chroma. The perceived gloss increases in the positive direction of the first dimension.

The coordinates of the samples in the low-dimensional space are calculated by an iterative minimization of the standardized residual sum of squares (STRESS) S introduced by

Kruskal [Kru1964]. In other words, the generated disparities $\delta_{i,j}$ are approximated to the known dissimilarities $d_{i,j}$ of the n samples i and j as shown in equation 1.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^n (\delta_{i,j} - d_{i,j})^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^n d_{i,j}^2}}$$

(Equation 1: STRESS.)

By definition, the STRESS takes values between zero and one. It decreases with an increasing number of dimensions considered in the configuration. The level of the STRESS and the shape of the curve give information about the number of essential dimensions. Figure 16 shows the STRESS plotted against the configuration dimension number for the 14 rolled screen printing samples.

With an increasing configuration dimension number, the stress value steadily decreases below the tolerance and excellence level of 0.15 and 0.1, respectively, with an inflection point for five dimensions [KehUD2012].

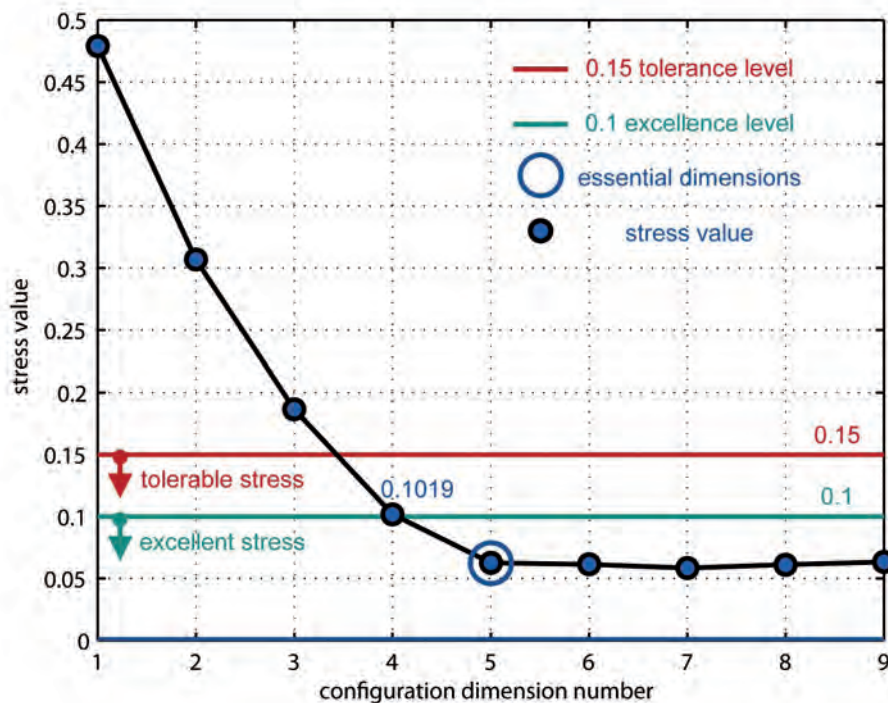


Figure 16: Stress value plotted against the configuration dimension number for the 14 rolled screen printing samples [KehUD2012].

According to the inflection point and tolerance-excellence criterion [JawC2009], five dimensions are essential to describe the visual appearance of printed special effect colors.

Comparable results were obtained by the use of other dimensionality criteria of other statistical measures and methods, such as the eigenvalue or variance criterion of a dimension reduction or principal component analysis. Overall, the considered dimensionality criteria result in at most six essential dimensions. Thus, a number of six visual appearance attributes are concluded to be essential to characterize printed special effect colors.

Correlation Analysis (CA)

In a correlation analysis (CA, figure 14), the presence, direction and intensity of relations between variables are investigated by means of correlation matrices [KehUD2012]. A correlation matrix includes correlation coefficients of all possible variable pairs at the respective position. Correlation coefficients take values between minus one and plus one. A correlation coefficient near the minimum or maximum value indicates a strong correlation in the opposite or same direction, respectively. A weak correlation between the variables is indicated by a correlation coefficient near zero. The significance of the observed correlation is specified by the so-called p-value.

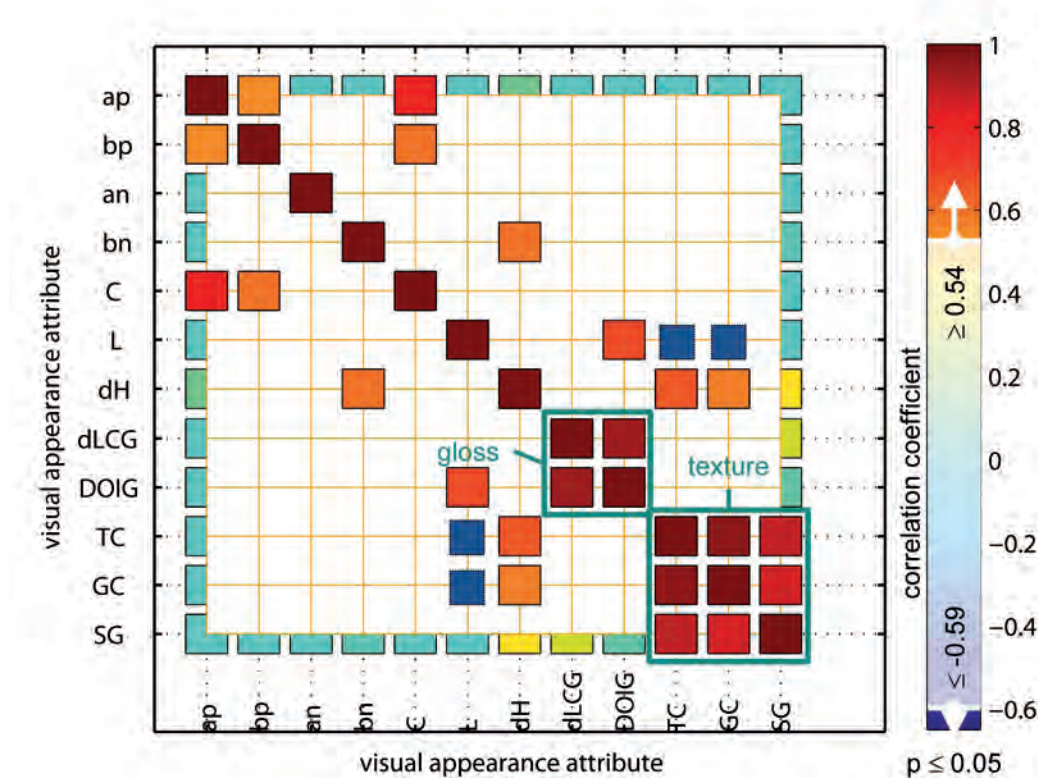


Figure 17: Correlation matrix with correlation coefficients between the twelve visual appearance attributes for the 14 rolled screen printing samples.

In this study, the Pearson correlation coefficient is used to search for linear relations between the twelve tested visual appearance attributes. Thus, the correlation analysis is applied on the rating matrix. The resulting twelve-by-twelve correlation matrix for the 14 rolled screen printing samples is shown in figure 17.

This diagram is a horizontal projection of colored vertical bars whose height and color indicate the sign and size of the correlation coefficients. The displayed correlation coefficients are below -0.59 and above 0.54 with p-values below 0.05 indicating a high significance.

Different types of correlations between the visual appearance attributes can be observed. These are the intra-attribute correlations, real perception-based correlations and sample-set-induced correlations [KehUD2012].

Intra-attribute correlation means the self-evident ideal positive correlation of each visual appearance attribute with itself. All correlation coefficients on the downward matrix diagonal are equal to one indicated by the dark red squares.

The other dark red squares highlighted by dark green frames indicate significantly high positive correlations. Lightness shift and contrast gloss (dLCG) correlate with distinctness-of-image gloss (DOIG). Texture contrast (TC) correlates with graininess and coarseness (GC) and again with sparkle and glint (SG). These inter-gloss-attribute and inter-texture-attribute correlations are perception-based correlations each suggesting their combined treatment.

Further perception-based correlations are the significantly high negative correlations of lightness (L) with texture contrast (TC) as well as with graininess and coarseness (GC) indicated by the dark blue squares. For light samples, the texture is perceived to be lower.

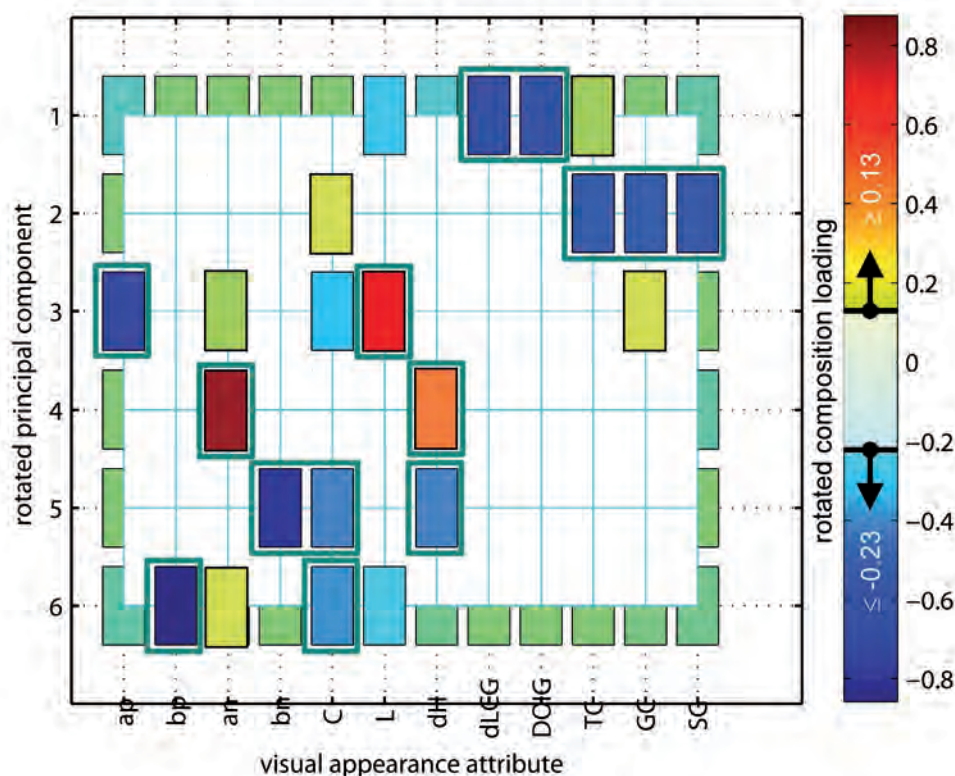


Figure 18: Rotated composition loadings for the 14 rolled screen printing samples.

The remaining red squares indicating significantly high positive correlations are unwanted sample-set-induced correlations. For example, redness (ap), yellowness (bp) and chroma (C) correlate with each other due to the highly chromatic orange (B03, B06, B07) and red (B11) samples. Due to their clear identification, these pseudo correlations do not influence the results. Such confusions can be avoided by large and diverse sample sets.

Principal Component Analysis (PCA) followed by Orthogonal Rotation (OR)

The aim of a Principal Component Analysis (PCA, figure 14) is the replacement of multiple original variables by few new variables with an enhanced force of expression. The new variables called principal components are a linear combination of the original variables. For this purpose, eigenvalues and eigenvectors in the original space are determined. The eigenvectors are the so-called composition loadings specifying the orientation of the principal components. The orthogonal arrangement of the principal components avoids redundant information.

Under maintenance of this advantage, the ability to interpret the composition loadings can be enhanced by a subsequent orthogonal

rotation (OR, figure 14). Thereby, the coordinate system is rotated orthogonally so that the composition loadings take values near zero and minus or plus one. Values near minus or plus one indicate a strong representation. A weak representation is indicated by values near zero.

The rating matrix was processed in a principal component analysis followed by an orthogonal rotation. The determined rotated composition loadings for the 14 rolled screen printing samples are shown in figure 18.

In this diagram, vertical bars whose height and color indicate the sign and size of the rotated composition loadings are projected on the horizontal plane. To reduce the information, only the rotated composition loadings below the negative mean of -0.23 and above the positive mean of 0.13 are displayed. The dark green frames highlight the most important rotated composition loadings.

As indicated by the two dark blue rectangles, the first rotated principal component represents the combined gloss attribute (lightness shift or contrast gloss (dLCG) and distinctness-of-image gloss (DOIG)). The combined texture attribute (texture contrast (TC), graininess or coarseness (GC) and sparkle or glint (SG)) is

Table 1: Comparison of results on number and nature of essential visual appearance attributes.

visual appearance study				visual appearance attribute	
researcher	year	material	domain	number	nature
Judd	1941	light-absorbing colors	color	three	lightness
					hue
					saturation
Pellacini et al., Ferwerda et al.	2000, 2001	modeled surfaces	gloss	two	contrast gloss
					distinctness-of-image gloss
Rao and Lohse	1996	arbitrary textures	texture	three	directionality, orientation, ...
					texture contrast, ...
					graininess, coarseness, ...

represented by the second rotated principal component indicated by the three dark blue rectangles. The third rotated principal component represents redness (ap) and lightness (L) while the fourth rotated principal component represents greenness (an) and hue shift (dH). The hue shift (dH) is again represented by the fifth rotated principal component also representing blueness (bn) and chroma (C). In addition to the repeated representation of chroma (C), the sixth rotated principal component represents yellowness (bp).

In this list, all assessed visual appearance attributes appear at least one time. Thus, they all are essential. Their nature is represented in a number of six dimensions as found above. These are the four color attributes hue, chroma, lightness and hue shift, the combined gloss attribute as well as the combined texture attribute.

Result Comparison

Finally, the results of this study were compared with the results of other studies. In the present case, no earlier study investigated color, gloss and texture appearance of printed special effect colors. According to table 1, other materials were investigated in separate domains of visual appearance.

In an early paper of Judd [Jud1941], the color appearance of light-absorbing colors is described. Three color attributes named lightness, hue and saturation are stated to be required but sufficient. Today, hue, chroma and lightness are generally used in the color community. In addition to hue, chroma and lightness, the hue shift is essential to describe the shifting color of printed special effect colors as found in this study. Please note, it is not possible to give any statement about the essentiality of other color attributes not rated in this study due to the associated additional effort by a pretended unimportance. An extended study with more visual appearance attributes, more samples and more subjects should be taken into consideration.

Pellacini et al. [PelFG2000] and Ferwerda et al. [FerPG2001] investigated the gloss appearance of metal objects in images rendered on the basis of a reflectance model. Two gloss attributes called contrast gloss and distinctness-of-image gloss were found to be essential. Differing from this, contrast gloss and distinctness-of-image gloss can be considered in combination in case of printed special effect colors treated in the present study. As mentioned above, no statement is possible about the existence of other essential gloss attributes excluded due to the necessity of some limitations and the assumption of their negligibility. Insufficiently high gloss variations among the selected samples might cause this low number of essential gloss attributes.

In their study on texture appearance, Rao and Lohse [RaoL1996] found that three dimensions are sufficient to characterize the visual appearance of any texture. Among others, these include texture contrast, graininess and coarseness. As found in the presented study, the texture appearance of printed special effect colors is described by a combined texture attribute. It includes texture contrast, graininess and coarseness as well as sparkle or glint. Recall that further texture attributes not assessed in this study due to economic reasons and their supposed insignificance might be essential. The reason for this low number of essential texture attributes might be the insufficiently high texture variations among the selected samples.

Without any profound impact on the result concerning the combined texture attribute, the following should be mentioned about the illumination conditions realized during the visual experiments. By definition [KirKNSG2007, KirHN2008, KirDSKG2009, DekKSKG2010], the illumination condition decides about the perceptibility of specific texture attributes. Graininess and coarseness are visually perceived under rather diffuse illumination as realized in the color matching light booth. In the multi-angle test bench,

the rather directional illumination permits the visual perception of sparkle and glint. In addition to the texture contrast, the combined texture attribute includes percentages of graininess and coarseness as well as sparkle and glint depending on the illumination condition. The experimental equipment should provide the selection and setting of both illumination conditions in the same visual experiment.

Summary and Outlook

In the presented study, the visual appearance of printed special effect colors was investigated. In more detail, the number and nature of essential visual appearance attributes were identified. For printed special effect colors, six visual appearance attributes are required and sufficient. These are the four color attributes named hue, chroma, lightness and hue shift as well as a combined gloss attribute and a combined texture attribute. On the basis of these findings, the psychophysical equations transforming measured radiometric quantities into visual appearance attributes can be investigated in future studies.

Danksagung

Die vorliegende Studie ist im Zuge meiner wissenschaftlichen Tätigkeit in der Arbeitsgruppe Farbe am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der TU Darmstadt entstanden. Ich danke dem Institutsleiter Prof. Dr.-Ing. Edgar Dörsam sowie dem Gruppenleiter Dr. Philipp Urban für die Betreuung beziehungsweise Begleitung meiner Arbeit.

References

- [ASTMD444990] ASTM. Standard Test Method for Visual Evaluation of Gloss Difference Between Surfaces of Similar Appearance, ASTM D 4449-90 (Reapproved 1999), 1999.
- [ASTMD52389] ASTM. Standard Test Method for Specular Gloss, ASTM D 523-89 (Reapproved 1999), 1999.
- [ASTMD576795] ASTM. Standard Test Methods for Instrumental Measurement of Distinctness-of-Image Gloss of Coating Surfaces, ASTM D 5767-95 (Reapproved 1999), 1999.
- [ASTME28403a] ASTM. Standard Terminology of Appearance, ASTM E 284-03a, 2003.
- [ASTME43097] ASTM. Standard Test Methods for Measurement of Gloss and High-Gloss Surfaces by Goniophotometry, ASTM E 430-97 (Reapproved 2003), 2003.
- [ASTME219403] ASTM. Standard Practice for Multiangle Measurements of Metal Flake Pigmented Materials, ASTM E 2194-03, 2003.
- [CIETC165] CIE. CIE TC1-65 - A Framework for the Measurement of Visual Appearance – Technical Report 2005. Technical report, International Commission on Illumination CIE, Technical Committee TC1-65, 2005.
- [DekKSKG2010] N. Dekker, E. J. J. Kirchner, R. Supér, G. J. van den Kieboom, and R. Gottenbos. Total Appearance Differences for Metallic and Pearlescent Materials: Contributions From Color and Texture. *Color Research and Application*, 36(1):4-14, 2010.
- [DIN61752200103] DIN. Farbtoleranzen für Automobillackierungen - Teil 2: Effektlackierungen, DIN 6175-2:2001-03, 2001.
- [DurEKM2004] R. Đuriković, S. Ershov, K. Kolchin, and K. Myszkowski. Solution of an Inverse Problem in Rendering Metallic and Pearlescent Appearance. *3D Forum Society*, 18(4):54-60, 2004.
- [DurM2003] R. Đuriković, and W. L. Martens. Simulation of Sparkling and Depth Effects in Paints. *Association for Computing Machinery*, 19:193-198, 2003.
- [Eng2000] P. G. Engeldrum. Psychometric scaling: a toolkit for imaging systems. Imcotek Press, Winchester, 2000.
- [ErsKM2001] S. Ershov, K. Kolchin, and K. Myszkowski. Rendering Pearlescent Appearance Based on Paint-Composition Modelling. *Eurographics*, 20(2):1-12, 2001.
- [ErsDKM2004] S. Ershov, R. Đuriković, K. Kolchin, and K. Myszkowski. Reverse engineering approach to appearance-based design of metallic and pearlescent paints. *The Visual Computer*, 8-9(20):586-599, 2004.
- [Eug2008] C. Eugène. Measurement of „total visual appearance“: A CIE challenge of soft metrology. 12th imeko tc1 and tc7 joint symposium on man science and measurement, CIE, 2008.
- [Fai2005] M. D. Fairchild. *Color Appearance Models*. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, 2nd edition, 2005.
- [FerPG2001] J. A. Ferwerda, F. Pellacini, and P. P. Greenberg. A physically-based model for surface gloss perception. In *Proceedings of SPIE Human Vision and Electronic Imaging*, pages 291-301, 2001.
- [Har1999] J. Y. Hardeberg. Aquisition and reproduction of color images: colorimetric and multispectral approaches. PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, 1999.
- [Hun1998] R. W. G. Hunt. *Measuring Colour*. Fountain Press, Kingston-upon-Thames, 3rd edition, 1998.
- [HunH1987] R. S. Hunter and R. W. Harold. *The Measurement of Appearance*. John Wiley and Sons Inc., New York, 3rd edition, 1987.
- [JawC2009] N. Jaworska and A. Chupetlovska-Anastasova. A review of multidimensional scaling (MDS) and its utility in various psychological domains. *Tutorials in Quantitative*

Methods for Psychology, 5 (1):1-10, 2009.

[Jud1941] D. B. Judd. Introduction to Color. In Symposium on Color, American Society for Testing and Material, pages 1-13, 1941.

[KehUD2011] K. Kehren, P. Urban, and E. Dörsam. Bidirectional Reflectance and Texture Database of Printed Special Effect Colors. In Proceedings of 19th Color and Imaging Conference, volume 19, November 2011.

[KehUDHW2011] K. Kehren, P. Urban, E. Dörsam, A. Höpe, and D. R. Wyble. Performance of multi-angle spectrophotometers. In Proceedings of AIC Midterm Meeting, 2011.

[KehUD2012] K. Kehren, P. Urban, and E. Dörsam. Visual Appearance of Printed Special Effect Colors. In Proceedings of 20th Color and Imaging Conference, Color Science and Engineering Systems, Technologies, and Applications, pages 200-205, 2012.

[KirKNSG2007] E. Kirchner, G.-J. van den Kieboom, L. Njo, R. Supèr, and R. Gottenbos. Observation of Visual Texture of Metallic and Pearlescent Materials. Color Research and Application, 32(4):256-266, 2007.

[KirHN2008] E. Kirchner, K. de Haas, and L. Njo. Objektiv glitzern und funkeln - Effektlacke mit Textur instrumentell charakterisieren. Farbe und Lack, 114(2):3236, 2008.

[KirDSKG2009] E. Kirchner, N. Dekker, R. Supèr, G.-J. van den Kieboom, and R. Gottenbos. Quantifying the influence of texture on perceived color differences for effect coatings. In Proceedings of the 11th Congress of the International Color Association, Sydney, 2009.

[Kru1964] J. B. Kruskal. Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit to a Nonmetric Hypothesis. Psychometrika, 9(1):1-27, 1964.

[PelFG2000] F. Pellacini, J. A. Ferwerda, and D. P. Greenberg. Toward a Physically-Based Light Reflection Model for Image Synthesis. In ACM Transaction on Graphics, Proceedings of Siggraph 2000, pages 55-64, 2000.

[PfaGKMW2008] G. Pfaff, P. Gabel, M. Kieser, F. Maile, and J. Weitzel. Special Effect Pigments – Technical Basics and Applications. Vincentz Network, Hannover, 2nd edition, 2008.

[RaoL1996] A. R. Rao and G. L. Lohse. Toward a Texture Naming System: Identifying Relevant Dimensions of Texture. Vision Research, 36(11):1649-1669, 1996.

[Ren2012] T. Rentschler. Ausflug ins Blaue - Mit Effektpigmenten funkeln und stylen und das Glitzern messen. Farbe und Lack, 118(1):29-32, 2012.

Ingmar Lißner, Darmstadt

Verbesserung von Farbabstandsformeln mittels Gauß-Prozessen



Geboren 1983 in Bielefeld, 2002 Abitur in Hamburg, 2003–2009 Studium an der TU Hamburg-Harburg (Dipl.-Ing. Informatik-Ingenieurwesen), 2009–2012 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Darmstadt, Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren, 2013 Promotion zum Dr.-Ing. (Prüfung bestanden)

Die folgende Einführung zu CIELAB, CIE94, CIEDE2000 und der experimentellen Bestimmung sowie Schätzung von visuellen Farbabständen basiert auf meiner Dissertation „Improving Color-Difference Formulas and Perceptual Color Spaces“ (eingereicht Ende 2012, Publikation folgt). Die beschriebene Methode zur Verbesserung von Farbabstandsformeln wurde bereits anderweitig veröffentlicht (s.u.) und wird ebenfalls in meiner Dissertation behandelt.

Die Schätzung wahrgenommener Farbabstände ist entscheidend für die Herstellung einer Vielzahl von bedruckten, lackierten und gefärbten Produkten. Zu diesem Zweck wurden in der Vergangenheit diverse Farbabstandsformeln verwendet [1], die teilweise für sehr spezielle Einsatzbereiche optimiert waren, wie etwa die Überprüfung gefärbter Textilien. Mittlerweile hat sich die Anzahl der eingesetzten Farbabstandsformeln verringert — dies ist vor allem der internationalen Beleuchtungskommission CIE anzurechnen, welche zwei der am weitesten verbreiteten Formeln standardisiert hat: CIE94 [2] und CIEDE2000 [3].

Der CIELAB-Farbraum

Beide Formeln basieren auf dem ebenfalls von der CIE eingeführten CIELAB-Farbraum [4]. In diesem Raum werden Farben durch drei Attribute beschrieben: relative Helligkeit L^* , Grünheit bzw. Rotheit a^* , und Blauheit bzw. Gelbheit b^* . Eine Farbe in CIELAB ist folglich ein Vektor mit drei Komponenten. Dabei be-

wegt sich die relative Helligkeit L^* zwischen 0 (schwarz) und 100 (weiß), und die Komponenten a^* und b^* nehmen sowohl negative (grün, blau) als auch positive (rot, gelb) Werte an. Darüber hinaus werden Attribute verwendet, die man durch die Darstellung von CIELAB in Polarkoordinaten erhält [4]: relative Helligkeit L^* , Buntheit C_{ab}^* (Abstand von der Grauachse, wo $a^*, b^* = 0$), und Bunttonwinkel h_{ab} . Diese Darstellung ist für die Bestimmung von Farbabständen von besonderer Bedeutung.

Der CIELAB-Farbraum ermöglicht eine einfache Schätzung visueller Farbabstände über den Abstand zweier Farben im Farbraum [4]:

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2},$$

wobei ΔL^* , Δa^* und Δb^* die Differenzen in den drei CIELAB-Komponenten sind [4]. Unter bestimmten Betrachtungsbedingungen ist diese Schätzung eine gute Annäherung wahrgenommener Farbabstände [4]. Untersuchungen zeigen jedoch eine mäßige Übereinstimmung von ΔE_{ab}^* mit den Ergebnissen visueller Experimente [5].

Die CIE94- und CIEDE2000-Formeln

Um die Übereinstimmung zwischen visuellen Daten und Vorhersagen zu verbessern, wurde die CIE94-Formel entwickelt. In ihrer Struktur ähnelt sie der CIELAB-Schätzung [2]:

$$\Delta E_{94}^* = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}^*}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{k_H S_H} \right)^2 \right]^{1/2}.$$

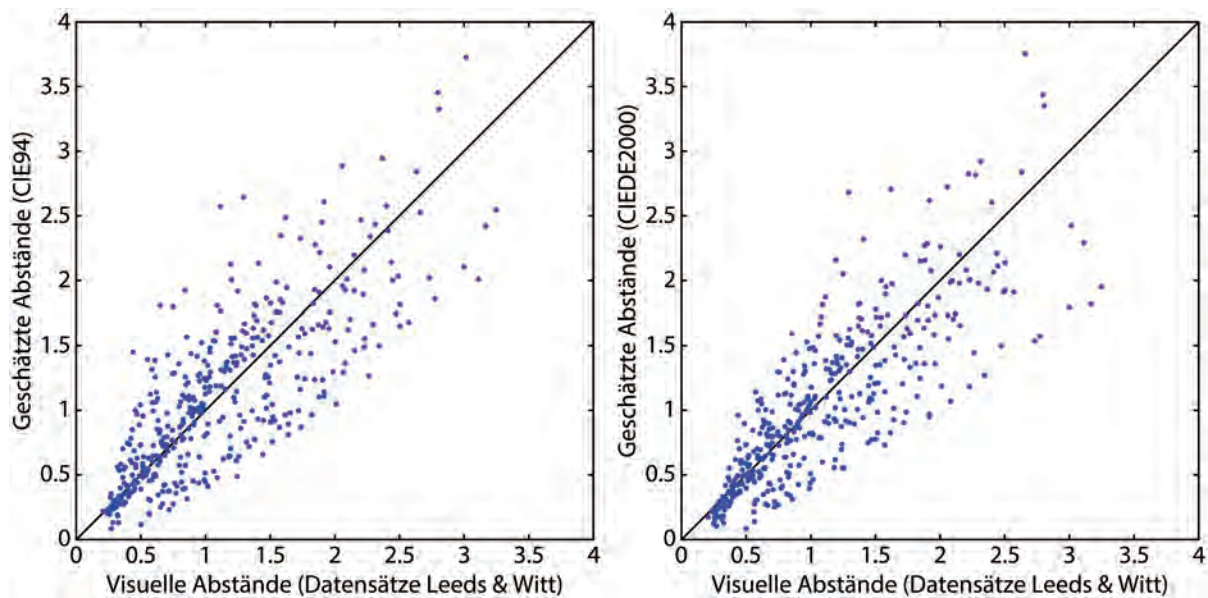


Abbildung 1: Vergleich der Farbabstände der Leeds- und Witt-Datensätze mit den dazugehörigen Schätzungen der CIE94-Formel (links) und der CIEDE2000-Formel (rechts). Bei vollständiger Übereinstimmung würden sich die Punkte auf der Diagonalen befinden.

Das linke Streudiagramm ist eine modifizierte Version von Abb. 8 (a) und 8 (c) aus Ref. [6]. Es erscheint hier gemäß „Copyright Transfer Agreement“ der Optical Society of America.

Der Unterschied zur Schätzung ΔE_{ab}^* sind die Funktionen S_L , S_C und S_H , welche die Übereinstimmung mit der menschlichen Farbwahrnehmung verbessern sollen [2]. Änderungen in den Betrachtungsbedingungen werden über die „parametric factors“ k_L , k_C und k_H ausgeglichen [2]. Für eine umfassende Beschreibung der Formel und ihrer Komponenten sei auf die entsprechende Literatur verwiesen [2].

Um ungenaue Vorhersagen in bestimmten Bereichen des Farbraums zu verbessern, schlug die CIE wiederum eine neue Formel vor [3, 7]: CIEDE2000. Durch ihre zusätzlichen Korrekturen ist diese Formel erheblich komplexer als CIE94 [3]. Da CIEDE2000 im Folgenden eine geringe Rolle spielen wird, verweise ich für ihre mathematische Struktur auf den CIE-Bericht [3].

Abbildung 1 veranschaulicht die Vorhersagegenauigkeit der beiden Formeln auf zwei Datensätzen, den Leeds- [8, 9] und den Witt-Daten [10]. Die Streudiagramme zeigen deutliche Abweichungen zwischen visuellen und

geschätzten Abständen, die allerdings in beiden Fällen keinen klaren Trend zeigen.

Die höhere Komplexität von CIEDE2000 resultiert nicht in einer deutlich besseren Übereinstimmung mit den visuellen Daten, obwohl beide Datensätze zur Entwicklung der Formel verwendet wurden [7], was ein klarer Vorteil gegenüber CIE94 ist. Dieses Erkenntnis legt nahe, dass eine entscheidende Verbesserung der Genauigkeit auf anderem Wege erzielt werden muss.

Probleme bei der Vorhersage

Für große Teile des CIELAB-Farbraums sind momentan keine Farbabstandsdaten verfügbar [6]. Dies erschwert die Farbproduktion innerhalb enger Toleranzen, welche genaue Vorhersagen des wahrgenommenen Abstands erfordert; besonders kritisch sind Spezialfarben, die Bestandteil einer Corporate Identity sind („IBM-Blau“) [6]. Hier ist es sinnvoll, die verwendete Formel in diesem Teil des Farbraums mit weiteren Daten zu verbessern; dabei sollte darauf geachtet werden, dass die ursprüngliche

Struktur der Formel beibehalten wird, so dass ihre Vorhersagen in anderen Bereichen unverändert bleiben [6].

Der Gauß-Prozess

Im Folgenden wird ein statistischer Ansatz beschrieben, der die Genauigkeit von Farbabstandsformeln lokal verbessert, ohne ihre Vorhersagen in anderen Bereichen des Farbraums zu verändern. Mein Ko-Autor Philipp Urban und ich haben diese Methode bereits im Jahr 2010 auf der *CGIV* [11] vorgestellt und, in erheblich verbesserter Form, im *Journal of the Optical Society of America* veröffentlicht [6]. Die folgende Beschreibung der Methode inklusive Anwendungsbeispielen und Ergebnissen ist fast vollständig der letzteren Veröffentlichung entnommen.

Visuelle Farbabstände werden in Experimenten gewonnen, bei denen eine möglichst große Anzahl von Beobachtern einen Satz von Farbdifferenzen bewertet — da die Bewertungen der Beobachter mitunter erheblich variieren, wird ein Mittelwert des visuellen Abstands berechnet, der dem entsprechenden Farbpaar zugewiesen wird [6]. Eine Relation zwischen einem Farbpaar $\mathbf{x} = \{x_1, x_2\}$ und dem mittleren visuellen Farbabstand $v(\mathbf{x})$ ist ein elementares Resultat eines solchen Experiments [6]. Im Folgenden werden ausschließlich CIELAB-Farben behandelt, also $x_1, x_2 \in \text{CIELAB}$.

Bei der Modellierung visueller Farbabstände bietet es sich an, diese als gaußverteilt um den zuvor erwähnten mittleren Abstand anzusehen [6, 12]. Zusätzlich kann angenommen werden, dass ein Satz von Farbabständen einer gemeinsamen Gaußverteilung folgt [6], was der Definition eines Gauß-Prozesses nach Rasmussen und Williams entspricht [13]:

„A Gaussian process is a collection of random variables, any finite number of which have a joint Gaussian distribution.“

Ein Gauß-Prozess wird durch eine Mittelwertfunktion $m(\mathbf{x})$ und eine Kovarianzfunktion

$k(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}})$ beschrieben [13], wobei $\mathbf{x}$ und $\hat{\mathbf{x}}$ in unserem Fall Paare von CIELAB-Farben sind. Die Mittelwertfunktion berechnet eine Annäherung des visuellen Abstands über eine Farbabstandsformel [6]; der Formel, die lokal verbessert wird. Wenn also die Genauigkeit von CIE94 erhöht werden soll, würde die Mittelwertfunktion wie folgt lauten [6]:

$$m(\mathbf{x}) = \Delta E_{94}^*(\mathbf{x}).$$

Diese erste Annäherung durch $m(\mathbf{x})$ wird nun mittels visueller Daten verbessert, den „Trainingsdaten“ des Gauß-Prozesses; dabei muss die visuelle Unschärfe berücksichtigt werden (s.u.), damit keine Überanpassung erfolgt [6]. Zudem müssen die zusätzlichen Daten unter ähnlichen experimentellen Bedingungen entstanden sein wie die Trainingsdaten der Farbabstandsformel [6].

Bei der Einbindung der zusätzlichen visuellen Daten kommt die Kovarianzfunktion $k(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}})$ ins Spiel — sie bestimmt die Korrelation zweier Farbpaare $\mathbf{x}$ und $\hat{\mathbf{x}}$ [6]. Für die folgenden Ausführungen ist es hilfreich, sich Farbpaare als Differenzvektoren vorzustellen [6]:

$$\mathbf{x}_d = (x_2 - x_1), \quad \hat{\mathbf{x}}_d = (\hat{x}_2 - \hat{x}_1).$$

Die Korrelation zweier Farbpaare bzw. Farbvektoren wird nun anhand von drei Kriterien bewertet, die durch drei Funktionen repräsentiert werden [6]:

1. Entfernung $\phi_{\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}}$,
2. Längenunterschied $\rho_{\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}}$,
3. Winkel $\alpha_{\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}}$.

Diese Kriterien basieren auf einer Analyse [6] der RIT-DuPont-Daten [5], einem zuverlässigen Satz von Farbabstandsdaten. Hierbei zeigte sich, dass die visuellen Abstände von Farbpaaren umso ähnlicher sind, je näher die Paare im Farbraum beieinander liegen und je kleiner der Winkel zwischen den dazugehörigen Vektoren ist [6].

Die Entfernung wird dabei wie folgt berechnet (euklidischer Abstand der Mittelpunkte der

Vektoren) [6]:

$$\phi_{\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}} = \left\| \left(\frac{x_1 + x_2}{2} \right) - \left(\frac{\hat{x}_1 + \hat{x}_2}{2} \right) \right\|_2.$$

Der Längenunterschied entspricht der absoluten Differenz der euklidischen Längen [6]:

$$\rho_{\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}} = \text{abs}(\|\mathbf{x}_d\|_2 - \|\hat{\mathbf{x}}_d\|_2).$$

Für den Winkel verwenden wir den Kosinus des Winkels zwischen den Vektoren [6]:

$$\alpha_{\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}} = \frac{\mathbf{x}_d^T \cdot \hat{\mathbf{x}}_d}{\|\mathbf{x}_d\|_2 \cdot \|\hat{\mathbf{x}}_d\|_2} = \cos\{\angle(\mathbf{x}_d, \hat{\mathbf{x}}_d)\}.$$

Die geringste Korrelation besteht also bei einem Winkel von 90°, die höchste bei 0°/180°.

Die endgültige Funktion $k(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}})$ ist eine Komposition aus mehreren für Gauß-Prozesse typischen Kovarianzfunktionen (siehe Rasmussen und Williams [13]). Sie setzt sich wie folgt zusammen [6]:

$$k(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}) = \exp \left[-\frac{\phi_{\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}}^2}{2l_1^2} - \frac{\rho_{\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}}^2}{2l_2^2} \right] \cdot \frac{\alpha_{\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}}^2}{l_3}.$$

Die Werte dieser Funktion sinken mit steigendem Abstand, steigendem Längenunterschied, sowie größerem Winkel zwischen den Vektoren $\mathbf{x}_d$ und $\hat{\mathbf{x}}_d$ (bis 90°, s.o.). Die Parameter l_1 , l_2 und l_3 werden „Hyperparameter“ genannt [13]; sie erlauben eine Anpassung der Kovarianzfunktion an die Trainingsdaten.

Mit dieser Funktion wird nun die sogenannte Kovarianzmatrix $\mathbf{K}$ des Gauß-Prozesses berechnet (für n Farbpaare) [6]:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_1) & \cdots & k(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k(\mathbf{x}_n, \mathbf{x}_1) & \cdots & k(\mathbf{x}_n, \mathbf{x}_n) \end{bmatrix}.$$

Experimentell bestimmte Farbabstände sind mit einer gewissen Unschärfe behaftet [6], was unter anderem an der Auswahl der Beobachter von visuellen Experimenten liegt [14]. Diese Unschärfe wird als Gaußverteilung mit Mittelwert 0 und Varianz σ_ε^2 zur Kovarianzmatrix $\mathbf{K}$

hinzuaddiert [6]: $\mathbf{K} + \sigma_\varepsilon^2 \mathbf{I}$, wobei $\mathbf{I}$ die Einheitsmatrix ist. Die Varianz σ_ε^2 ist ein weiterer Hyperparameter.

Gauß-Prozess-Regression

Vom Aufbau eines Gauß-Prozesses gehen wir nun zur Vorhersage von Daten über, der sogenannten „Gauß-Prozess-Regression“ [13]. Im Folgenden soll der visuelle Abstand $v(\mathbf{x}_*)$ eines Farbpaars $\mathbf{x}_*$ geschätzt werden. Grundlage der Schätzung ist der Wert der Mittelwertfunktion $m_* = m(\mathbf{x}_*)$; durch die Trainingsdaten des Gauß-Prozesses wird diese erste Annäherung korrigiert. Paare, die gemäß Kovarianzfunktion $k(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}})$ eine höhere Korrelation zu $\mathbf{x}_*$ aufweisen, fließen stärker in die Korrektur ein. Mathematisch lässt sich die Schätzung des visuellen Abstands $v_* = v(\mathbf{x}_*)$ wie folgt ausdrücken [6]:

$$E(v_*) = m_* + \underbrace{\mathbf{k}_*^T (\mathbf{K} + \sigma_\varepsilon^2 \mathbf{I})^{-1} (\mathbf{v}' - \mathbf{m})}_{\text{Korrekturterm } \delta},$$

wobei $E(v_*)$ der Erwartungswert von v_* ist. Der Vektor $\mathbf{k}_*$ gibt die Korrelation des Farbpaars $\mathbf{x}_*$ mit den Trainingsdaten wieder [6]:

$$\mathbf{k}_* = (k(\mathbf{x}_*, \mathbf{x}_1), \dots, k(\mathbf{x}_*, \mathbf{x}_n))^T.$$

Der Vektor $\mathbf{v}'$ enthält die visuellen Abstände der Trainingsdaten [6]:

$$\mathbf{v}' = (v'(\mathbf{x}_1), \dots, v'(\mathbf{x}_n))^T,$$

wobei „'“ die mit Unschärfe behafteten Daten kennzeichnet (das gaußverteilte Rauschen mit Varianz σ_ε^2 wurde oben eingeführt). Der Vektor $\mathbf{m}$ besteht aus den Schätzungen der Mittelwertfunktion für die Trainingsdaten [6]:

$$\mathbf{m} = (m(\mathbf{x}_1), \dots, m(\mathbf{x}_n))^T.$$

Mit dieser Methode lässt sich nun die Genauigkeit einer Farbabstandsformel durch visuelle Daten verbessern. Für die praktische Anwendung müssen noch einige Fallstricke beseitigt werden — so dürfen die Vorhersagen $E(v_*)$ beispielsweise niemals negativ sein [6]. Dies kann dadurch erreicht werden, dass der

Korrekturterm δ mit folgender Funktion „gedämpft“ wird [6]:

$$f(\delta, m_*) = \begin{cases} \frac{m_*}{2} \cdot \exp\left(1 + \frac{2\delta}{m_*}\right) - m_* & \text{für } \delta < -\frac{m_*}{2} \\ -\frac{m_*}{2} \cdot \exp\left(1 - \frac{2\delta}{m_*}\right) + m_* & \text{für } \delta > \frac{m_*}{2} \\ \delta, & \text{sonst.} \end{cases}$$

Unter Einbezug der Dämpfungsfunktion lautet die endgültige Vorhersageformel [6]:

$$\hat{v}'_* = m_* + \underbrace{f\{\mathbf{k}_*^T(\mathbf{K} + \sigma_\varepsilon^2 \mathbf{I})^{-1}(\mathbf{v}' - \mathbf{m}), m_*\}}_{\text{gedämpfter Korrekturterm}},$$

wobei $\hat{v}'_*$ die gedämpfte Schätzung für den visuellen Abstand $v(\mathbf{x}_*)$ ist.

Bevor der Gauß-Prozess allerdings zur Schätzung von Farbabständen eingesetzt wird, müssen die Hyperparameter l_1, l_2, l_3 und σ_ε^2 bestimmt werden; hierzu kommen verschiedene Optimierungsverfahren wie die Maximierung der „Marginal Likelihood“ oder auf Kreuzvalidierung basierende Verfahren in Frage [13].

Ergebnisse

Um die Effektivität der Methode unter Beweis zu stellen, haben wir in Ref. [6] einen Gauß-Prozess mit folgender Konfiguration erstellt:

- Mittelwertfunktion: CIE94
- Kovarianzfunktion: (siehe oben)
- Trainingsdatensätze: Leeds und Witt
- Parameterbestimmung: Maximierung der Marginal Likelihood (Details in Ref. [6])

Die Verbesserung der Vorhersageleistung auf den Leeds- und Witt-Daten veranschaulicht Abbildung 2. Wie bereits zuvor gezeigt, weichen die CIE94-Schätzungen teilweise stark von den visuellen Abständen ab (links). Wird die Formel über Gauß-Prozess-Regression mit den Leeds- und Witt-Daten verbessert, ist die Übereinstimmung wesentlich höher (rechts). Dabei ist zu beachten, dass Trainingsdaten und Testdaten übereinstimmen, was in praktischen Anwendungen selten der Fall sein wird.

Nichtsdestotrotz kann mit einer Verbesserung gerechnet werden, wenn die Daten aus ähnlichen Bereichen des Farbraums stammen und unter ähnlichen Betrachtungsbedingungen gesammelt wurden [6].

Eine numerische Bewertung der Vorhersagegenauigkeit von Farbabstandsformeln erlaubt der „STRESS index“ [15]. Dieses Maß beziffert die Abweichung von visuellen Abständen und Vorhersagen mit einem einzigen Wert. Zudem kann mittels statistischer Tests eine Aussage getroffen werden, ob sich zwei STRESS-Werte signifikant voneinander unterscheiden (bezüglich eines Vertrauensintervalls) [15].

Der STRESS-Wert für einen Satz geschätzter Farbabstände ΔE_i mit den dazugehörigen visuellen Daten ΔV_i ist [15]:

$$\text{STRESS} = \left(\frac{\sum (\Delta E_i - F_1 \Delta V_i)^2}{\sum F_1^2 \Delta V_i^2} \right)^{1/2}$$

mit $F_1 = \frac{\sum \Delta E_i^2}{\sum \Delta E_i \Delta V_i}$

$$\text{und } i = 1, \dots, n.$$

Ein STRESS-Wert von 0 bedeutet, dass keine Abweichungen zwischen visuellen Abständen und Schätzungen bestehen [15], wobei dies in unserem Fall wegen der berücksichtigten Unschärfe nicht eintreten wird.

Tabelle 1 zeigt STRESS-Werte für CIELAB, CIE94, CIEDE2000 und einen Gauß-Prozess aus Ref. [6] mit CIE94 als Mittelwertfunktion, berechnet auf den Leeds- und Witt-Daten. Dabei sind die Vorhersagen des Gauß-Prozesses mit Abstand am genauesten und sogar signifikant besser als die der drei anderen Formeln (gemäß F -Test mit 95%-Vertrauensintervall) [6]. Besonders auf den Witt-Daten ist die Verbesserung erheblich. Es ist zu beachten, dass der Gauß-Prozess (wie auch CIEDE2000) auf beiden Datensätzen trainiert wurde.

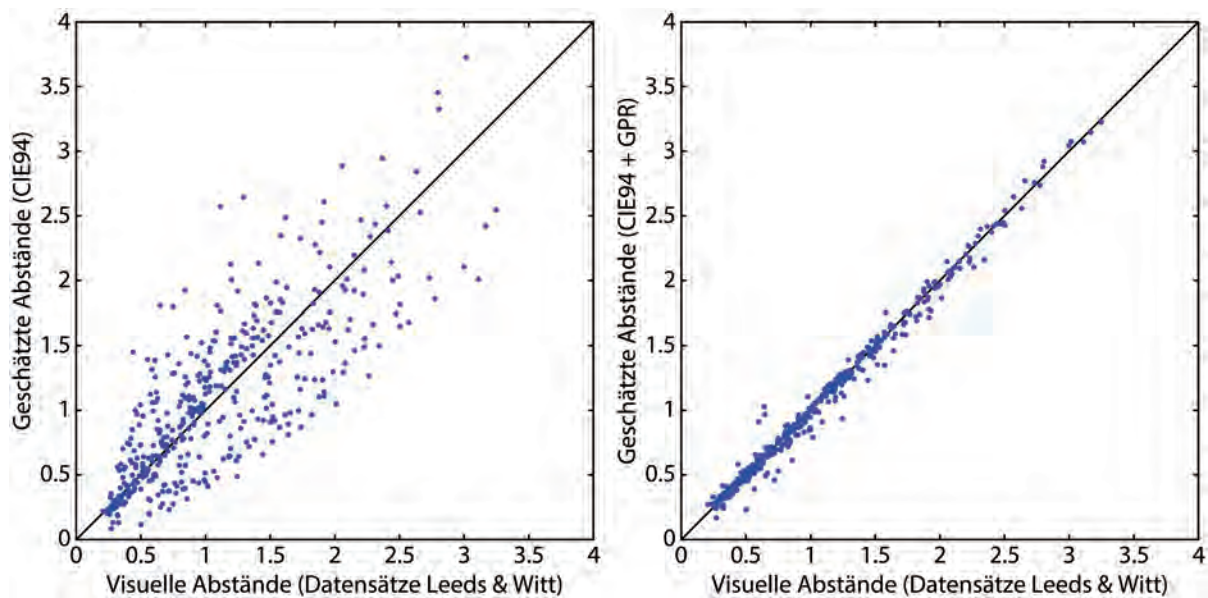


Abbildung 2: Vergleich der Farbabstände der Leeds- und Witt-Datensätze mit den dazugehörigen Schätzungen der CIE94-Formel (links) und der mittels Gauß-Prozess-Regression (GPR) verbesserten CIE94-Formel (rechts). Der Prozess wurde mit beiden Datensätzen trainiert.

Die Diagramme sind modifizierte Versionen von Abb. 8 (a)–(d) aus Ref. [6]. Sie erscheinen hier gemäß „Copyright Transfer Agreement“ der Optical Society of America.

Formel	STRESS-Wert	
	Leeds	Witt
CIELAB ΔE_{ab}^*	40.09	51.71
CIE94	30.57	31.94
CIEDE2000	19.25	30.22
CIE94 / Gauß-Proz.	08.42	05.90

Tabelle 1: STRESS-Werte für Farbabstandsformeln auf den Leeds- und Witt-Daten. Der Gauß-Prozess (letzte Zeile) wurde mit beiden Datensätzen trainiert.

Die Tabelle ist ein Auszug aus Table 3 aus Ref. [6]. Sie erscheint hier gemäß „Copyright Transfer Agreement“ der Optical Society of America.

Zusammenfassung

Es wurde eine bereits veröffentlichte Methode beschrieben, die die Genauigkeit von Farbabstandsformeln mit visuellen Daten verbessert. Zentrales Element ist ein Gauß-Prozess, der eine Mittelwertfunktion (die zu verbessernde Formel) und eine Kovarianzfunktion besitzt. Die Mittelwertfunktion berechnet Annäherungen für visuelle Abstände; die Kovarianzfunktion modelliert Korrelationen von Farbvektoren abhängig von Ort, Länge und Winkel.

In einer Beispielanwendung wurde die CIE94-Formel mit den Leeds- und Witt-Datensätzen verbessert. Grafische und numerische Ergebnisse belegen, dass die Vorhersagen der resultierenden Formel deutlich genauer sind als die der Standardformel.

Für die Anwendung in der Praxis sind zusätzliche Schritte notwendig — so muss etwa sichergestellt werden, dass die zusätzlichen Daten unter den gleichen Betrachtungsbedingungen gewonnen wurden wie die Daten, die der Formel zu Grunde liegen [6].

Literatur

- [1] R. G. Kuehni, “Industrial color difference: Progress and problems,” *Color Research & Application*, vol. 15, no. 5, pp. 261–265, 1990.
- [2] CIE, “Industrial colour-difference evaluation,” CIE Central Bureau, Vienna, Austria, Tech. Rep. 116-1995, 1995.

- [3] CIE, "Improvement to industrial colour-difference evaluation," CIE Central Bureau, Vienna, Austria, Tech. Rep. 142-2001, 2001.
- [4] CIE, "Colorimetry, 3rd Edition," CIE Central Bureau, Vienna, Austria, Tech. Rep. 15-2004, 2004.
- [5] R. S. Berns, D. H. Alman, L. Reniff, G. D. Snyder, and M. R. Balonon-Rosen, "Visual determination of suprathreshold color-difference tolerances using probit analysis," *Color Research & Application*, vol. 16, no. 5, pp. 297–316, 1991.
- [6] I. Lissner and P. Urban, "Upgrading color-difference formulas," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 27, no. 7, pp. 1620–1629, 2010.
- [7] M. R. Luo, G. Cui, and B. Rigg, "The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000," *Color Research & Application*, vol. 26, no. 5, pp. 340–350, 2001.
- [8] D.-H. Kim, "The influence of parametric effects on the appearance of small colour differences," Ph.D. dissertation, University of Leeds, 1997.
- [9] D. H. Kim and J. H. Nobbs, "New weighting functions for the weighted CIELAB colour difference formula," in *Proc. 8th Congress of the International Colour Association (AIC Color 97)*, Kyoto, Japan, 1997, pp. 446–449.
- [10] K. Witt, "Geometric relations between scales of small colour differences," *Color Research & Application*, vol. 24, no. 2, pp. 78–92, 1999.
- [11] I. Lissner and P. Urban, "Improving color-difference formulas using visual data," in *Proc. 5th European Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision (CGIV)*, Joensuu, Finland, 2010, pp. 483–488.
- [12] D. H. Alman, R. S. Berns, G. D. Snyder, and W. A. Larsen, "Performance testing of color-difference metrics using a color tolerance dataset," *Color Research & Application*, vol. 14, no. 3, pp. 139–151, 1989.
- [13] C. E. Rasmussen and C. K. I. Williams, *Gaussian Processes for Machine Learning*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 2006.
- [14] R. G. Kuehni, "Variability in estimation of suprathreshold small color differences," *Color Research & Application*, vol. 34, no. 5, pp. 367–374, 2009.
- [15] P. A. García, R. Huertas, M. Melgosa, and G. Cui, "Measurement of the relationship between perceived and computed color differences," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 24, no. 7, pp. 1823–1829, 2007.

Dr. h.c. Dipl.-Ing. (FH) Siegbert Holderried

Das Letzte zur Branche 2012/2013



Geboren 1941 in Esslingen am Neckar, 1956 Lehre als Buchdrucker. 1966-1969 Studium an der Staatlichen Ingenieurschule für Wirtschafts- und Betriebstechnik der graphischen Industrie; heute Hochschule der Medien, Stuttgart. 1969-1973 Abteilungs- und Betriebsleiter in Druckereien. 1973-2006 Geschäftsführer der PRINTPROMOTION, Gesellschaft zur Förderung der Druck- und Papierverarbeitungsindustrie mbH, Frankfurt, stellv. Geschäftsführer beim VDMA und der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V., 1982-1987 stellv. Bundesvorsitzender der Führungskräfte der Druckindustrie (FDI), Mitglied des VDD seit 1974 und Schriftführer 1976-2005. Verleihung der Ehrendoktorwürde der Moskauer staatlichen Universität und Ehrenmitgliedschaft des VDD und Eintritt in den Ruhestand 2006. Verleihung der Friedrich-Koenig-Medaille 2012.

Die Druckindustrie im Allgemeinen

Die deutsche Druckindustrie hatte 2012 etwa 154.000 sozialversicherungspflichtige Beschäftigte in 9.700 Betrieben. 83 % dieser Betriebe haben weniger als 20 Beschäftigte. Der Produktionswert der Druckindustrie ist im Jahr 2012 um 3,3 Prozent auf 15,752 Mrd. gesungen

Während die Zahl der Arbeitsplätze in diesem Zeitraum um 5,5 % sank, stieg der pro Kopf-Umsatz um 3,4 % auf 173.210 Euro. Bei der Gruppe der Betriebe mit 50 und mehr Beschäftigten sank die Anzahl der Betriebe um 6,4%.

Die Anzahl der eröffneten Insolvenzverfahren ist im Jahr 2011 um 5,3 % auf 200 gegenüber dem Vorjahr (190) gestiegen. Wegen einer Großinsolvenz im April 2011 waren 4.332 Beschäftigte von Insolvenzen betroffen, das sind 37,9 % mehr als im Vorjahr.

Die Zeiten, als die Druckindustrie wie früher vom Werbewachstum profitieren konnte, sind endgültig perdü, denn die Werbeausgaben wandern zunehmend in elektronische Medien ab. Printmedien haben zwar am Medienmix des Bruttowerbemarkts noch immer einen

Anteil von 40 %, können aber vom Werbewachstum auch 2011 mit 0,6 % (2,7 %) nur unterproportional profitieren. Zeitungen verloren mit -2,1 % weiter Werbevolumen (+0,9 %), Publikumszeitschriften legten 1,4 % zu, (4,3 %), Plakate konnten wegen des starken Wahljahres 11,5 % zulegen (6,4 %), und Fachzeitschriften legten immerhin 2,9 % (1,3 %) zu.

Neben den Turbulenzen an den Finanzmärkten und der internationalen Schuldenkrise wird die Druck- und Druckmaschinenindustrie zusätzlich mit einer nie da gewesenen Strukturkrise konfrontiert, die viel Raum zu Spekulationen bietet.

Insbesondere die Verlage, die ja -sofern diese mit Printmedien handeln- die Kunden von Druckereien sind, überlegen sich auf Grund des Wettbewerbs Wege zur Umorientierung. Ein Verlag ist ein Medienunternehmen, das Werke der Literatur, Kunst, Musik, Unterhaltung oder Wissenschaft vervielfältigen lässt und verbreitet. Hierbei ist die technische Realisierung der Werke zur Verbreitung abhängig von der Nachfrage und dem Konsumverhalten der Mediennutzer. Im Prinzip ist daher die Technik zur Vermittlung der Information lediglich

das Vehikel zur Vermarktung von Texten oder Tönen und dies betrifft die Druckindustrie. Nun gibt es Verlage wie z. B. Burda, Springer, Bertelsmann etc., die über eigene Druckereien verfügen. Hierbei sind jedoch meist der Verlag und die Druckerei eigene Profitzentren, d. h. der Verlag lässt in der eigenen Druckerei drucken und dies wird intern verrechnet, wobei es öfters vorkommt, dass ein Fremdbezug günstiger ist, als der Druck in der eigenen Druckerei.

Ein Musterbeispiel für die wirtschaftliche Trennung von Druckerei und Verlag ist das im Jahr 2005 gegründete Unternehmen Prinovis mit Firmensitz in Hamburg und einer Rechtsform als Limited & Co. KG. Der Name Prinovis ist ein aus den Worten „Print“, „Innovation“ und „Vision“ zusammengesetztes Kunstwort.

Ursprünglich ist Prinovis als Joint Venture der Tiefdruckaktivitäten der drei Medienkonzerne Gruner + Jahr (37,45 %), Axel Springer (25,1 %) und arvato (dem Geschäftsfeld Media Services von Bertelsmann, 37,45 %) entstanden. 2012 wurde Prinovis aus dem arvato-Verbund herausgelöst und Teil der neu entstandenen Printers Group, einem Zusammenschluss der Druckaktivitäten von Bertelsmann. Somit steuert die Bertelsmann SE & Co. KGaA die Anteile von 74,9 % direkt.

Die gesunkene Nachfrage nach Tiefdruckprodukten, wie durch den Wegfall des Katalogdrucks (Quelle, Neckermann, Bauer), zwang Europas größtes Tiefdruckunternehmen Prinovis zur Schließung des Werkes in Itzehoe, womit rund 1.000 Beschäftigte ihren Arbeitsplatz verloren.

Wie die Bertelsmann AG, mitteilte, hat sich die Ertragslage im Zeitschriftengeschäft weiter verschlechtert. Aufgrund hoher Sonderaufwendungen bei der Einstellung der „Finanzial Times Deutschland“ und wegen hoher Wertberichtigungen im Druckgeschäft und Magazin-

bereich in Spanien hat G+J unter dem Strich 11 Mio. Euro Verluste eingefahren. G+J führt dies auf die Anzeigenflaute in Deutschland, und hierbei insbesondere bei den Flaggschiffen „Stern“ und „Brigitte“, zurück. So hatte beispielsweise der „Stern“ vor zehn Jahren noch eine Auflage bei über einer Mio. und bringt es heute, wenn man die die Frei- und Bordexemplare nicht mitzählt, mit der „harten Auflage“ gerade noch auch rund 600.000 Exemplare. Allein im vierten Quartal 2012 sind rund 30.000 Exemplare weniger verkauft worden. Mit einem „Relaunch“ im März 2013 versucht der Verlag, die Auflagenerosion zu bremsen und verschleudert 1,6 Mio. Exemplare der gelifteten Version zu einem Euro. Den daraus entstehenden Verlust von 25 Mio. betrachtet Bertelsmann und G+J als notwendiges Marketing.

Dass Bertelsmann trotzdem das Konzernergebnis in etwa auf Vorjahresniveau halten konnte, war dem sensationellen Erfolg der „Fifty-Shades-Triologie“ zu verdanken, von der mehr als 70 Mio. Exemplare verkauft wurden. Der Erotikroman katapultierte das operative Ergebnis von Random House um 76 % auf 325 Mio. Euro nach oben. Ob das wohl wiederholt werden kann?

Das Internet holt auf

Insbesondere sind die Zeitungsverlage von dem Strukturwandel der Digitalisierung betroffen. Die Kernfrage ist, wie die Verlagsleistungen zu den Konsumenten gelangt. Der Verlag hat die Alternativen, die produzierten Informationen als Hard- oder Softkopie (gedruckt oder per Datensatz) zu vermarkten. Nahezu alle überregionalen Zeitungen oder Magazine folgen dem Mainstream und bieten neben den kommerziell angebotenen klassischen Printversionen auch kostenlose Online-Versionen an. Hierbei treibt die Verleger verständlicherweise um, wie sie neben den Werbeeinnahmen die journalistischen Leistungen auch den Konsumenten in Rech-

nung stellen können. Während die Franzosen es geschafft haben, unter dem Druck des französischen Staates Google zu bewegen, einen Fond mit 60 Mio. Euro zur Verrechnung der in der Suchmaschine benutzen journalistischen Inhalten einzurichten, kämpfen die deutschen Verleger weiterhin mit der Politik um eine gesetzliche Regelung des Schutzrechtes. Der im Bundestag zuständige Ausschuss für Kultur und Medien befasste sich mehrfach mit der Frage, wie die Presseverlage gegen die Ausbeutung von Zeitungsartikeln im Internet geregelt werden können. Im Februar 2013 fand in dem Bundestagsausschuss in Berlin eine hochkarätige Expertenrunde mit Mathias Döpfner, Vorstandsvorsitzender der Springer AG, Rainer Esser, Geschäftsführer des „Der Zeit“-Verlags, Julia Jäkel, Vorstand von Gruner + Jahr, Ulrich Lingnau, Verlag der Chemnitzer „Freien Presse“ und Christian Nienhaus, WAZ Mediengruppe zum Thema „Die Zukunft der Presse?“ statt.

Nach jahrelangem Streit hat nun der Bundestag eine Stärkung der Urheberrechte von Presseverlagen im Internet beschlossen. Mit der Mehrheit von Union und FDP beschloss er am Freitag, 3. März 2013, die Einführung eines Leistungsschutzrechts, wie es etwa die Film- und Musikbranche längst besitzen. Danach dürfen Internet-Suchmaschinen und gewerbliche Nachrichten-Aggregatoren nur noch kurze Auszüge von Presseerzeugnissen unentgeltlich anzeigen. Für eine weitergehende systematische Nutzung können die Verlage eine Lizenzgebühr verlangen. Das Gesetz steht jedoch auf tönernen Beinen, denn die SPD-Opposition drohte bereits, dieses Gesetz im Bundesrat zu blockieren.

Es wird erkannt, dass die Zukunft der Presse in Deutschland nicht allein politisch gelöst werden kann, sondern dass das Angebot und die Nachfrage der unterschiedlichsten Medien das Rennen entscheiden werden. Die im Rahmen der Datenschutznovelle und der EU-Regulierung des Werbemarktes angedachten politischen Lösung wird skeptisch beurteilt.

Viele Verlage versuchen das Problem selbst zu lösen und richten für die Nutzung der journalistischen Inhalte im Internet eine „Bezahl-schranke“ ein und vermarkten damit gegen Gebühr die publizierten Artikel.

Zunehmend fahren die Verlage mehrgleisig, wobei die digitale Schiene Vorfahrt gegenüber den konventionellen Hardcopy Techniken erhält. Die Springer AG hat im vergangenen Jahr für hunderte Mio. Unternehmen wie z. B. Totaljobs, Immonet und Seloger gekauft, die auf Rubrikenanzeigen und Digitalvermarktung ausgerichtet sind und mit Journalismus nichts mehr zu tun haben. Mit diesen neu gekauften Portalen erzielte Springer erstmals mit der Sparte „Digitale Medien“ mit 1,17 Milliarden Euro einen höheren Umsatz, als mit den nationalen Zeitungen, mit denen 1,13 Milliarden erreicht wurden.

Die F.A.Z. verkündet im Juli 2013 ein hohes Tempo bei der Gewinnung von Lesern für die elektronische Ausgabe. Die Auflage der E-Paper Version stieg im zweiten Quartal 2013 auf 19 716 Exemplare. Dagegen sank die verkaufte Print-Version im gleichen Zeitraum um 5,7 Prozent 334 263 Exemplare. Offensichtlich tritt die F.A.Z. die Flucht nach Vorne an und bietet in ganzseitigen Eigenanzeigen das Abonnement der E-Paper-Version für 46,90 Euro als Digitalpaket an, das ein iPad und die iPhone App beinhaltet (ohne iPad 31,90). Dagegen kostet der monatliche Abonnementpreis der Print-Version 53,90 Euro. Bei der regulären E-Paper Version spart man damit bereits heute 264 Euro im Jahr.

Frankfurter Rundschau fast am Ende

Am Dienstag dem 13. November 2012, einem wunderschönen sonnigen Novembertag, meldete die seit Jahren vor sich hinsiehende Frankfurter Rundschau die Insolvenz an. Überrascht war eigentlich niemand, denn seit den neunziger Jahren herrschte bei den Redakteuren eine Krisenstimmung und seit Jahren waren die massiven Umsatzverluste im Anzeigengeschäft bekannt.

Bereits im Jahre 2006, als das von Wilhelm Berentzen entworfene Rundschau-Haus mit seinen eleganten Rundungen und großzügigen Verglasungen in der Großen Eschenheimer Landstraße den Bodenspekulationen zum Opfer fiel, ging für Frankfurt eine Zeitungsepoche zu Ende.

Das linksliberale Blatt, das am 1. August 1945 gegründet worden ist und zu seiner Glanzzeit im Jahr 1989 eine Auflagenhöhe von 197.085 Exemplare erreichte (2012, 118 000 Exemplare), hat mit Sparrunden, Gehaltsverzicht, der Umstellung auf ein kleineres Format, der Bildung einer Redaktionsgemeinschaft mit anderen Blättern und der DuMont Verlagsgruppe alles versucht, im darwinistischen Überlebenskampf der Tageszeitungen bestehen zu können. Nachdem der Klein- und Stellenanzeigenmarkt den Suchmaschinen der „Scouts“ und Konsorten fast völlig zum Opfer fiel und die Redaktionsarbeit eher bleiern und langweilig war, und der rot/grün getünchten Gewerkschaftstenor den Lesern überdrüssig wurde, lehnten es auch die SPD-Medienholding DDVG und der Kölner Medienpatriarch Alfred Neven DuMont ab, weiter für die Verluste aufzukommen. Rund 136 Mio. Euro sollen der Kölner Konzern DuMont Schauberg und die SPD-Medienholding DDVG in den vergangenen Jahren in die linksliberale Zeitung gesteckt haben.

Der Misserfolg dieser Gazette ist offensichtlich auch auf das Versagen der SPD-Medienholding zurückzuführen, die nicht in der Lage war, ein vernünftiges Businessmodell zu realisieren und erneut 16 Mio. Verlust verursachte. Bedauern über das Versagen der Genossen drückte der Frankfurter SPD Oberbürgermeister Feldmann aus, und von linker Seite wurde sogar eine öffentliche Subventionierung der Frankfurter Rundschau gefordert.

Die Besitzverhältnisse am Ende der FR:
 DDVG und SPD 40
 DuMont Schauberg 50 % + 1 Stimme
 Karl-Gerold-Stiftung 9,99 %



Das Rundschau-Haus, entworfen von Wilhelm Berentzen mit seinen eleganten Rundungen und großzügigen Verglasungen in der Großen Eschenheimer Landstraße im Zentrum der Frankfurter City, war 2006 das erste Opfer der erfolglosen FR.

Als mögliche neue Investoren zeigten sich kurz vor dem endgültigen Aus die „Frankfurter Allgemeine Zeitung“ und der türkische Verleger Burak Akbay. Am 25.02.2013 teilte der Insolvenzverwalter mit, dass das Angebot des türkischen Verlags Estetik Yayincilik abgelehnt wurde, da der Kaufpreis zu niedrig und die angebotenen Zahlungssicherheiten nicht ausreichend gewesen sei. Als alleiniger Bewerber für eine Übernahme verblieb der Frankfurter Societäts-Verlag, zu dem bereits die F.A.Z. und die Frankfurter Neue Presse gehören. Gegenstand der FR Insolvenzmasse waren der FR Verlag mit der Redaktion und das Druckzentrum in Neu-Isenburg. In dem Druckzentrum wurde auf acht KBA-Commander-Linien neben der FR auch die BILD, die BILD am Sonntag, DIE WELT und das Handelsblatt gedruckt. Nachdem der Axel Springer Verlag die Produktionssicherheit infolge der Insolvenz des FR Verlags gefährdet sah, kündigte er die Zusammenarbeit mit dem Druckzentrum nach 36. Jahren. Damit entfiel dem Druckzentrum die Hälfte des Umsatzes, was das Ende bedeutete.

Für den Frankfurter Societäts-Verlag, stand eine Übernahme des Druckzentrums der FR zu keiner Zeit zur Diskussion. Der Großteil

der 450 Arbeitsplätze der FR fiel der Insolvenz zum Opfer. Die neue Gesellschaft übernahm lediglich 28 Redakteure. Die Produkte der Axel Springer AG werden nun in der F.A.Z.-Schwester Frankfurter Societäts-Druckerei in Mörfelden-Walldorf gedruckt.

In letzter Minute genehmigte das Bundeskartellamt am 27. Februar 2013 eine sogenannte Sanierungsfusion und die Übernahme der FR durch den Societäts-Verlag, so dass die FR auch nach dem 1. März 2013 mit dem neuen Unternehmen „Verlags- und Redaktionsgesellschaft „Frankfurter Rundschau GmbH“ erscheinen konnte.

Gesellschafter sind mit 55 % der Anteile die Frankfurter Societät GmbH, mit 35 % der Verlag dieser Zeitung, die Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH, und mit 10 % die Karl-Gerold Stiftung. Diese garantiert mit ihrer Stiftungsverfassung die Ausrichtung der „Frankfurter Rundschau“ als „unabhängige, linksliberale Tageszeitung“.

23.10.2012

Ende der Newsweek Printausgabe



Bye bye Newsweek

Aus den Zeitschriftenauslagen der Kioske ist das US-Nachrichtenmagazin „Newsweek“ endgültig verschwunden. Eines der bekanntesten Nachrichtenmagazine der USA stellte sein Erscheinen als Printmedium Ende 2012 ein und wird künftig nur noch in digitaler Form angeboten. Das Newsweek-Heft vom 31. Dezember 2012 war die letzte gedruckte Ausgabe.

Das Nachrichtenmagazin war erstmals im Februar 1933 erschienen. Ab 2013 soll „Newsweek Global“ nur noch im Internet und für E-Reader, Tablets und Smartphones veröffentlicht werden. Das neue Magazin werde in „einer einzigen globalen Ausgabe für eine hochmobile und meinungsführende Zielgruppe“ erscheinen, schreiben Chefredakteurin Tina Brown und Verlags-Chef Baba Shetty. Zwar soll nach Brown und Shetty „Newsweek“ weiter für Qualitätsjournalismus stehen, doch seien im Zuge des „Übergangs“ und weiterer Rationalisierungsmaßnahmen in Redaktionen und anderen Abteilungen „bedauerlicherweise“ auch Entlassungen zu erwarten. „Der Abschied von Print sei ein extrem schwieriger Moment für alle.“

Wegen anhaltend sinkender Werbeeinnahmen und Auflage hatte der ehemalige Eigentümer, die Washington Post, das Magazin im Jahr 2010 verkauft. Danach fusionierte Newsweek mit dem von Tina Brown gegründeten Online-Magazin The Daily Beast, das zu IAC gehört.

23.11.2012

Die FTD - Financial Times Deutschland wirft das Handtuch

Der Verlag Gruner + Jahr, Hamburg, verkündete im November 2012 das Ende der Financial Times Deutschland (FTD) zum 7. Dezember 2012. Das Unternehmen begründete das Aus für die FTD mit der schlechten wirtschaftlichen Lage der Zeitung. Seit dem Jahr 2000 hat G+J 250 Mio. Euro investiert und zu keinem Zeitpunkt schwarze Zahlen geschrieben, d. h. die FTD war immer defizitär. Die FTD, die sich im Besitz des Verlagshauses Gruner + Jahr (G+J) und somit indirekt im Mehrheits-eigentum des Medienkonzerns Bertelsmann AG befindet, erschien bösensfarbenen Papier und erreichte eine verkaufte Auflage von ca. 100.000 Exemplaren. Dem Ende der FTD fielen rund 300 Arbeitsplätze zum Opfer.

Eine gute Nachricht: Burda erzielt Rekordergebnis mit Print- produkten

Im Jahr 2012 hat der Medienkonzern Burda (Focus, Playboy, Bunte u. a.), München, eine Umsatzrendite von 15 bis 20 % erwirtschaftet. Nach Angaben von Burda ist im Jahr 2012 ein Rekordergebnis mit Printprodukten erwirtschaftet worden. Burdas Verlags-Erlöse im Inland sollen rund 650 Mio. Euro betragen. Der Gewinn könnte bei einem niedrigen dreistelligen Mio.-Euro-Betrag liegen. Absolute Zahlen sind jedoch von dem Familienunternehmen traditionsgemäß nicht zu erhalten.

Derzeit liegen die Erlöse 1 % unter dem Vorjahr. Trotz sinkender Werbeumsätze will Burda mit einer weiteren Frauenzeitschrift auf den Markt kommen. Für den Herbst ist der Start der US-Frauenzeitschrift „Harper’s Bazar“ geplant. Die Investitionskosten sollen sich dabei laut Handelsblatt auf fünf bis zehn Mio. Euro belaufen. Das Erste Halbjahr 2013 bestätigte den Trend und lässt Burda einen Umsatzzuwachs von 10-25 % erwarten.

Druckmaschinen-Industrie: Keine Aufhellung in Sicht

Die Heidelberger Druckmaschinen AG verbucht auch im Geschäftsjahr 2012/2013 zum fünften Mal in Folge aufgrund der problematischen Finanzstruktur und der erodierenden Eigenkapitalquote einen Verlust. Im zweiten Quartal (1. Juli bis 30. September 2012) wurde mit 668 Mio. Euro ein Auftragseingang auf Vorjahresniveau erzielt. Im Vergleich zur Vorjahresperiode sind im ersten Halbjahr die Auftragseingänge, bedingt durch die drupa, im Mai um 225 Mio. Euro auf 1,558 Mrd. Euro gestiegen (Vorjahr: 1,333 Mrd. Euro). Der Auftragsbestand lag zum Halbjahr mit 790 Mio. Euro rund 60 Mio. Euro über dem Vorjahr.

Das Ergebnis der betrieblichen Tätigkeit (EBIT) war im zweiten Quartal durch höhere Umsätze und gestiegene Deckungsbeiträge mit 1 Mio. Euro leicht positiv. Mit minus 57 Mio. Euro lag das EBIT vor Sondereinflüssen zum Halbjahr aufgrund von Messe- und Produktanlaufkosten sowie fehlender Deckungsbeiträge aus dem geringen Umsatzniveau des ersten Quartals erwartungsgemäß unter dem Vorjahreswert (minus 21 Mio. Euro). Das Finanzergebnis verbesserte sich im Halbjahr mit minus 37 Mio. Euro gegenüber dem Vorjahreszeitraum (minus 42 Mio. Euro). Das Ergebnis vor Steuern betrug im zweiten Quartal minus 33 Mio. Euro nach minus 19 Mio. Euro im Vorjahr. Im Halbjahr verringerte sich das Ergebnis vor Steuern gegenüber dem Vorjahr von minus 66 Mio. Euro auf minus 116 Mio. Euro. Das Ergebnis nach Steuern lag im zweiten Quartal bei minus 30 Mio. Euro und betrug zum Halbjahr minus 104 Mio. Euro (Vorjahr: minus 66 Mio. Euro).

Zum 30. September 2012 beschäftigte Heidelberg weltweit 14.745 Mitarbeiter (Vorjahr 15.782). Die Mitarbeiterzahl sank binnen Jahresfrist damit um rund 1.000 Personen.

Anlässlich der Hauptversammlung der Heidelberger Druckmaschinen AG am 23. Juli 2013 hat der neue Vorstandsvorsitzende Gerold Linzbach öffentlich „große Fehler“ des Unternehmens eingeräumt. „Wir haben uns selbst zu lange etwas vorgemacht und auf eine Markterholung gehofft“. Im Geschäftsjahr 2012/2013 hatte die HDM einen Verlust von 110 Mio. Euro gemacht. Lt. Geschäftsbericht müsse der operative Gewinn je Mitarbeiter von 8 000 auf 14 000 Euro gesteigert werden.

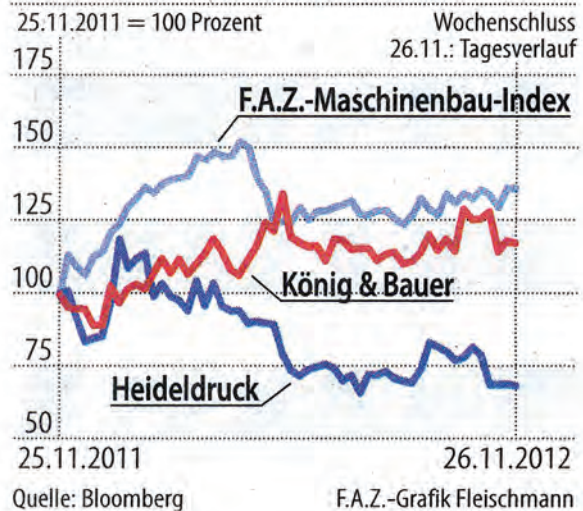
Wieder einmal wird angekündigt, dass Heidelberg in diesem Geschäftsjahr, das am 31. März 2014 enden wird, ein positives Ergebnis anstrebt. Was sonst?

Der KBA Konzern dagegen zeigt sich stabil, und erreichte im vierten Jahr hintereinander einen positiven Jahresüberschuss. Nach den publizierten Zahlen konnte der Konzernumsatz um gut 10 % auf annähernd 1,3 Mrd. Euro gesteigert werden. Das operative Betriebsergebnis vor Sondereinflüssen wurde gegenüber dem Vorjahr mit über 30 Mio. Euro (9,9 Mio. Euro) mehr als verdreifacht. Im vierten Quartal 2012 wurde eine Sonderabschreibung im Segment Bogenmaschinen in der Größenordnung von knapp 30 Mio. Euro gebucht. Trotz dieser Sonderabschreibung verzeichnete KBA ein Ergebnis vor Steuern leicht über dem Vorjahreswert (2011: 3,3 Mio. Euro). Die Beschäftigtenzahl in der Gruppe ging im Geschäftsjahr um über 200 auf 6.187 Mitarbeiter zurück. Gut 30 % des Umsatzes erzielte KBA im vergangenen Geschäftsjahr in weniger vom Strukturwandel der Druck- und Medienindustrie betroffenen Segmenten wie z. B. dem Wertpapier- und Blechdruck. Im zyklischen Geschäft mit Rollen- und Spezialdruckanlagen wurden 2012 weniger Aufträge vergeben, als im weit überdurchschnittlichen Vorjahr. Daher unterschritt der Auftragseingang im Konzern den Vorjahreswert um etwa 28 %. Der Auftragsbestand war Ende des Jahres 2012 mit rund 650 Mio. Euro höher als in den Vergleichsjahren 2008 bis 2010.

KBA wächst im Verpackungsbereich

Mit der Übernahme des italienischen Druckmaschinenherstellers Flexotecnica S.p.A. will KBA sein Angebot in den wachsenden Markt für flexible Verpackungen erweitern. Das Unternehmen ist eine Tochtergesellschaft des vorwiegend auf Verpackungs- und Publikationstiefdruckanlagen spezialisierten italienischen Unternehmens Officine Meccaniche G. Cerutti S.p.A. (OMGC) mit Hauptsitz in Casale Monferrato bei Turin. Flexotecnica bietet mit ca. 100 Mitarbeitern, ohne eigene Fertigung, Flexorotationen in Zentralzylinderbauweise für den Druck auf flexiblen Verpackungsmaterialien an. Mit der Mehrheitsübernahme sieht KBA gute Möglichkeiten,

Schwächer als der Index



Die Aktienentwicklung der HDM und KBA 2011/2012 im Vergleich zur Entwicklung des DAX.

seine Marktposition im Verpackungsdruck zu erweitern.

Mit der Übernahme der Mehrheitsbeteiligung von 85% an der Kammann Maschinenbau GmbH in Bad Oeynhausen wird weiter in den Verpackungsdruck investiert. Die restlichen 15 % der Anteile werden von den beiden Kammann-Geschäftsführern gehalten.

Im Jahr 2012 hat das 1955 gegründete mittelständische Unternehmen mit 175 Mitarbeitern einen Jahresumsatz von ca. 30 Mio. € und einen positiven Jahresüberschuss erzielt. Bei Siebdruckanlagen für die Direktdekoration von Glasbehältern ist Kammann Weltmarktführer. Die Maschinen kommen vor allem für Premium-Marken im Kosmetik- und Getränkebereich zum Einsatz.

Werk Trennfeld wird geschlossen

Koenig & Bauer AG (KBA) wird wie angekündigt bis Ende 2013 sein 1964 gegründetes Zweigwerk in Trennfeld (Landkreis Main-Spessart) schliessen und die dortige Fertigung in das Würzburger Stammwerk integrieren. Damit wird dem Strukturwandel in der Druckbranche und den kleiner gewordenen Welt-

markt für Rollenoffsetdruckmaschinen Rechnung getragen. Die Werkszusammenführung wurde am 4. Dezember 2012 in einer Mitarbeiterversammlung in Trennfeld bekanntgegeben

manroland berichtet von erfolgreicher Sanierung

Von manroland sheetfed ist wenig zu hören. Der letzten Entlassungswelle im November 2012 sind in Offenbach 70 Arbeitsplätze zum Opfer gefallen und wie mitgeteilt wird, bestehen noch rund 800 Arbeitsplätze. Weiterhin gab das Unternehmen bekannt, dass das Werk in Mainhausen, in dem der Versand der Druckmaschinen erfolgte, geschlossen wird. Das 2,9 Hektar große Gelände soll als Bauland verkauft werden. Niederlassungen in Hamburg, Leipzig, Stuttgart und München wurden ebenfalls geschlossen. Der Versand soll nach Offenbach verlagert werden. Um dafür Platz zu schaffen, sollen rund 10 % des unternehmenseigenen Werkzeugmaschinenparks verkauft werden.

Von dem Possehl-Unternehmensteil manroland Augsburg ist ebenfalls nicht allzu viel zu lesen oder hören. Wie die Augsburger Nachrichten berichten, wies das Unternehmen im ersten Halbjahr 2011 nach eigenen Angaben operativ ein Minus von 25 Mio. Euro aus und hat damit die Verluste gegenüber dem Vorjahr fast halbiert. Der Umsatz stieg um 7 % auf 435 Mio. Euro. Bis Ende des Jahres 2012 wollte manroland die Zahl der Mitarbeiter von 6.630 auf unter 6.000 reduzieren. Diese Maßnahme spricht nicht gerade für eine positive Zukunftserwartung.

Plamag, Plauen wiederbelebt

Die Plamag in Plauen, einst das Werk der manroland AG in dem die einfachbreiten Rotationsdruckmaschinen hergestellt wurden und das vor der Wende zusammen mit Planeta ein Vorzeigebetrieb der DDR war, hat nach einer stürmischen Suche und einer bereits ein-

geleiteter Insolvenz, doch noch einen Investor gefunden. Dieser plant mit vertragsgemäß 150 Mitarbeitern einen neuen Anfang zu wagen. Allerdings hat dieser mit Druckmaschinen nicht mehr viel am Hut. Volker Weingartner, ein Millionär aus Bayern der die Nation mit mobilen Hochwasser-Barrieren beliefert und sich einen Fußballverein, den BC Aichach der in der Bayernliga spielt, leistet, erschien wie Phönix aus der Asche und hat die Plamag übernommen. Das neue Unternehmen produziert als Zulieferer für renommierte Firmen, darunter auch die manroland-Werke in Augsburg und Offenbach. Der Chef Weingarten will auf mehreren Gleisen fahren, um nicht abhängig zu sein und es sei geplant, dass irgendwann die Plauener eine eigene Produkte entwickeln.

Handelsgericht eröffnet das Insolvenzverfahren von Goss International France

April 2013: Gegen Goss International France, ein Tochterunternehmen des amerikanischen Druckmaschinenherstellers Goss International, wurde das Insolvenzverfahren eingeleitet. Goss gehört seit dem Jahr 2010 zu dem Industrieunternehmen Shanghai Electric. Der chinesische Konzern erzielte im Geschäftsjahr 2012 einen Gesamtumsatz von umgerechnet 9,6 Mrd. Euro und einen Vorsteuergewinn in Höhe von 722 Mio. Euro.

Ryobi und Mitsubishi Heavy Industries vereinbaren ein Joint Venture

Die japanischen Druckmaschinen-Hersteller Ryobi Limited (Ryobi) und Mitsubishi Heavy Industries Printing & Packaging Machinery, Ltd (MHI-PPM) unterzeichneten am 20. Juni 2013 ein Anteilseigner-Abkommen über die Gründung eines Joint Venture und die Geschäftsintegration bei Akzidenzdruckmaschinen. Anteilseigner sind Ryobi mit 60%, MHI-PPM mit 40% der Firmenanteile. Diese Kooperation ist das Resultat aus dem Rückgang der internationalen Nachfrage nach Druckmaschinen. Mit dem geplanten

Joint Venture verfolgen die Unternehmen MHI-PPM und Ryobi das Ziel, sich gegen den globalen Wettbewerb besser aufzustellen und eine stärkere Präsenz im Gesamtmarkt zu erreichen. Als neuer Firmennamen wurde „Ryobi MHI Graphic Technology Ltd.“ vereinbart. Der Hauptsitz befindet sich in Ukai-cho, Fuchu City, Hiroshima, Japan. Gegenstand des Unternehmens ist die Herstellung und der Verkauf von Druckmaschinen und der dazu gehörenden Produkten. Das Eigenkapital soll 100 Mio. Yen (etwa 770.000 Euro) betragen. Die Geschäftstätigkeit soll am 1. Januar 2014 starten. Die Mitarbeiterzahl wird mit 450 angegeben. Als Ziel für das Geschäftsjahr 2014 wird ein Umsatz von 30 Mrd. Yen angestrebt. Dies würde einem pro Kopf Umsatz von ca. 520 TEuro entsprechen. Wie dies erreicht werden soll, bleibt ein asiatisches Geheimnis.

2012 war Drupa Jahr - fast schon wieder vergessen

Von der drupa 2012 wurden, wie in der Vergangenheit, weltweite Impulse für die Print- und Medienindustrie erwartet. Für die 1.850 Aussteller und die Branche erbrachte die drupa jedoch nur einen mäßig nachhaltigen Erfolg und es stellt sich die Frage, wie viel Maschinen weniger verkauft worden wären, wenn die drupa nicht stattgefunden hätte.

Die Maschinen würden alle schöner und weiter optimiert und die Messegesellschaft bestätigte die wegweisenden Impulse für die „crossmediale-print-medienindustrie“ ohne dies zu konkretisieren. Der Knaller war jedoch wieder einmal unbestritten die Show von Benny Landa. Sein Drupa-Amphitheater, entwickelte sich zum Mekka, zu dem auch fast jeder Besucher gepilgert ist. Der Showmaster der sich selbst zum „Vater des Digitaldrucks“ erkoren hat, demonstrierte erneut wie einst 1983 mit der inzwischen an HP verkaufte Indigo-Druckmaschine die zweite digitale Revolution im Druck. Mit einer Serie von Nanographic Printing™ Maschinen, soll

die Vielseitigkeit des Digitaldrucks und die Qualität und Schnelligkeit des Offsetdrucks vereint werden

Benny Landa betrat die Bühne und hatte sein Publikum ieder vom ersten Moment an im Griff. Landa präsentierte sechs Maschinen - drei Bogen- und drei Rollensysteme, die sich schon rein optisch von klassischen Druckmaschinen abhoben. Im Mittelpunkt des Nanographic Printing™ Verfahrens steht die Landa NanoInk™. Die dafür eingesetzten Nanopigmente bestehen aus Pigmentteilchen, deren Größe im zweistelligen Nanometerbereich liegt. Nanopigmente sollen eine außerordentliche Fähigkeit zur Lichtabsorption erzielen und eine unübertroffene Druckbildqualität liefern. Nach Landa erzeugt die Nanography™ ultrascharfe, sehr gleichmäßige Punkte, hohe Glanzwiedergabetreue und ein Prozessfarbenspektrum, das alle anderen Druckverfahren in den Schatten stellt. Das Verfahren soll praktisch für alle handelsüblichen Bedruckstoffe geeignet sein. Hinzu kommt, dass im Nanographic™ Printing erzeugte Bilder nur 500 Nanometer dick sind – etwa halb so dick wie Offsetdruckbilder. Damit produziert Lt. Landa NanoInk digitale Druckbilder mit den niedrigsten Seitenkosten in der gesamten Branche. Und das alles in einem wasserbasierten, energieeffizienten und umweltfreundlichen Verfahren. Allerdings war es nicht möglich auf diesen zur Drupa gezeigten Maschinen zu drucken, Die Serienreife soll in einem Jahr garantiert sein. Wir werden sehen. (Siehe auch www.landanano.com.)



Zur drupa 2012 wurden 314.500 Besucher aus über 130 Ländern registriert. Dies waren 75.500 weniger Besucher als 2008. Dieser Rückgang entsprach der allgemeinen Entwicklung der Branche. So sank die Zahl der deutschen Unternehmen der Druckindustrie in den Jahren 2000 bis 2011 um rund 3.900 Betriebe mit einer Reduzierung der Beschäftigten um über 61.000. In den USA wurden im gleichen Zeitraum über 7.700 Druckereien geschlossen.

Die Messegesellschaft, bemühte sich sehr, mit den Konstrukten drupa innovation park, drupa cube, der Kongresslocation für crossmedialen printbasierten Kommunikation mit crossmedialen Kampagnen, Corporate Publishing und Out-of-Home-Aktionen „Printbuyer“ zu gewinnen. Zu den einzelnen Thementagen kamen immerhin rund 1.000 Fachleuten aus 55 Ländern.

Auch das Messengeschäft muss sich dem Strukturwandel anpassen. Die Zeit der großen Messeauftritte scheint vorbei zu sein. Der Kostendruck im Maschinenbau und der Wettbewerb großer Aussteller verändert die internationale Messelandschaft. In öffentlichen Foren wie z. B. XING wird ernsthaft die Frage diskutiert, „Wird es die drupa 2016 noch geben?“.

Um den Kostendruck von den Ausstellern zu nehmen war die erste Reaktion des drupa Komitees, die Messezeit zu verkürzen. So wird die drupa des Jahres 2016 von 14 auf 11 Tage verkürzt und vom 31. Mai bis 10. Juni 2016 stattfinden.

digi:media abgesagt

Die digi:media, die von der Messegesellschaft Düsseldorf vom 10. bis 12. April 2013 als lösungsorientierte Kongressmesse, die für die Zielgruppe crossmediale Medienkanäle unter dem Motto „Content trifft Technik trifft Business“ angekündigt war, musste mangels Interesse der Zulieferindustrie abgesagt werden. Die internationale Zulieferindustrie hat

jedoch auf das innovative Konzeptangebot der Messegesellschaft für eine Fachmesse für commercial publishing und digital printing und den „Dreiklang aus Content, Technik und Business“ nicht angenommen.

Die Ipex ist vom 24. bis 29. März 2014 in London mit neuem Konzept geplant

Nachdem die Unternehmen Agfa, Xerox, Kodak, HP, Heidelberg, KBA, Manroland Sheetfed und Landa ihre Absage verkündeten, beschloss der Messebeirat im Januar, die Laufzeit der Ipex um vier auf sechs Tage zu verkürzen und inhaltlich neu zu orientieren. So werde der Schwerpunkt von einer rein druckorientierten Veranstaltung in Richtung eines Cross-Media-Events verschoben. Die Rolle des Drucks in der Gesamtkommunikation werde unter anderem durch den Kongress „World Print Summit“ unterstrichen. Es wird interessant, was von der Ipex übrigbleibt.

Die China Print mausert sich zur Weltmesse. Auf Grund des dynamischen asiatischen Wachstums und den Bestrebungen der chinesischen Druckindustrie ist die erst im Jahr 1984 ins Leben gerufene China Print zur Print-Media Fachmesse Nummer zwei aufgestiegen und hat damit die IGAS in Tokio und die PRINT in Chicago überholt. Die Chinesen hatten sehr schnell erkannt, dass mit dem wachsenden internationalen Markt auch mit einer Fachmesse Geld verdient werden kann. Wenn ein Unternehmen im fernöstlichen Raum Geschäfte machen möchte, kommt es an dieser Messe nicht mehr vorbei.

Die 8. China Print fand vom 14. bis 18. Mai 2013 im neuen Ausstellungsgelände in Peking statt. Auf rund 160.000 Quadratmeter präsentierten über 1.200 internationale Unternehmen den etwa 180.000 Besucher ihre Produkte und Leistungen.

Der Buchhandel verzeichnet mit weniger Buchhändlern ein Umsatzplus

Die Buchbranche ist schwungvoll in das Bücherjahr 2013 gestartet. Der Börsenverein des Deutschen Buchhandels meldet 1,7 % mehr Umsatz. Anlässlich der Leipziger Buchmesse 2013 stellte Alexander Skipis, Hauptgeschäftsführer des Börsenvereins des Deutschen Buchhandels fest, dass „Das Interesse an Büchern und am Lesen ungebrochen groß sei“. Die Wachstumsmöglichkeiten und Veränderungsprozesse will die Buchbranche mit einer Buchmarketingkampagne mit dem dubiosen Aufschrei „Vorsicht Buch!“ zur Werbung für das gedruckte Buch nutzen. Hinter diesem Aufschrei verbirgt sich der existenzbedrohende Wandel, den die Buchhändler erfahren. Die Bedrohung hat einen Namen: Amazon, der amerikanische Internetkonzern, hat es geschafft, die Szene aufzumischen.

Durch den heimischen Computer ist Amazon in jedem Haushalt präsent und mit DHL, UPS, Hermes und Consorten werden die Bücher flächendeckend auch in die Regionen geliefert, in denen die Buchhandlungen ausgestorben sind. Durch Amazon, wird der Zwischenhandel durch die Sortimentsbuchhändler ausgehebelt. Dafür verlangt Amazon von den Verlagen Rabatte. Der Online Verkauf dürfte weiter steigen, und die Konzentration im Buchgeschäft wird sich verstetigen..

Sind die Zeitungen noch zu retten?

Dieser Frage widmen sich alle großen Zeitungs-Feuilletons und beleuchten das Szenarium von allen möglichen Perspektiven. Das Wegbrechen des Anzeigenmarktes und das veränderte Werbeverhalten der Industrie führen bei allen Gazetten zu erheblichen finanziellen Einbußen, die nicht ausgeglichen werden können. Da Zeitungsverlage nun mal - im Gegensatz zu den öffentlich rechtlichen Medien - Wirtschaftsunternehmen sind, die Gewinne erzielen müssen, können Leistungen nur angeboten werden, wenn es auch Käu-

ferschichten für die Produkte gibt. Die Wirtschaftlichkeit der Tageszeitungen ist aufgrund des Strukturwandels in der Medienindustrie international im Sinkflug.

Man kennt solche aussichtslosen Szenarien aus dem Ausland. In Frankreich erscheint seit dem Jahr 2011 „France-Soir“ nur noch online. In vielen US-Großstädten gibt es inzwischen nur noch eine Tageszeitung. Spaniens größte Qualitätszeitung „El País“ überlebt nur mit massiver Unterstützung des Staates.

So schloss die WAZ Mediengruppe die Redaktion der defizitären „Westfälischen Rundschau“. Die „Westfälische Rundschau“ (WR) ist mit einer verkauften Auflage von 115.000 einer der vier NRW-Titel der WAZ-Gruppe und hat in den vergangenen Jahren nach Verlagsangaben 50 Mio. Euro Verlust eingefahren. Die anderen drei WAZ-Titel in Nordrhein-Westfalen, die „Westdeutsche Allgemeine Zeitung“ WAZ, die „Neue Ruhr/Neue Rhein Zeitung“ NRZ, und die „Westfalenpost“ schreiben dagegen schwarze Zahlen. Alle vier Zeitungen zusammen verkaufen täglich immerhin noch 700 000 Exemplare, allerdings auch bei insgesamt sinkenden Auflagen. Wie die F.A.Z. anlässlich ihrer Gesellschafterversammlung im Juni 2013 mitteilte belastet die konjunkturelle Abkühlung durch die Verschärfung der Euro-Krise das Anzeigengeschäft in Deutschland erheblich. So schrumpften die Anzeigenumfänge der überregionalen Tageszeitungen gegenüber dem Vorjahr um 10,8 Prozent. Die F.A.Z. GmbH schloß das Geschäftsjahr 2012 mit einem Verlust von 4,3 Millionen bei einer Bilanzsumme der Verlagsgruppe von 413,1 Millionen.

Trotz aller Hiobsbotschaften aus der Medienbranche ist Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern noch ein Zeitungsland: Nach Angaben des Bundesverbandes deutscher Zeitungsverleger (BDZV) gibt es in Deutschland 315 lokale und regionale Abonnentenzeitungen, 10 überregionale Blätter sowie 8 Straßenverkaufszeitungen, vor allem die „BILD“.



Ein Indikator für den verzweifelten Versuch neue Abonnenten zu gewinnen sind die Lockangebote der Verlagshäuser. Abonnements werden angeboten wie saures Bier. Die FAZ bietet neuen Abonnenten Werkzeugsets an, DIE WELT Billiguhren von Madison New York und die BILD ferngesteuerte Hubschrauber.

Print stirbt – Na und?

Unter diesem provozierenden Titel stand das am 4. Mai 2003 im Frankfurter Schauspielhaus stattgefundene traditionelle Römerberggespräch. Den Veranstaltern war es Wert, in Anbetracht des Untergangs der Frankfurter Rundschau und anderer Gazetten, dieses Thema zum Favoriten für dieses Jahr gewählt zu haben. Das Fazit vorweggenommen; Am Ende der Vortragsveranstaltung war man sich einig: Print stirbt natürlich nicht.

Die Referenten, vornehmlich Journalisten, befassten sich mit dem Thema Print nur marginal, denn die Technik wird von der Presse nur als Vehikel zur Vermittlung von Informationen angesehen. Letztendlich ging es mehr um die Zukunft des Journalismus. Hierbei ist es den Journalisten offensichtlich weniger wichtig, mit welcher Technik – konventionell, online oder digital - die journalistische Leistung verbreitet, sprich vermarktet wird. Keiner der Referenten verurteilte Print zum Tode, sondern unisono wird an Print als bewährter Form der Informationsübermittlung und der Dokumentation der Zeitgeschichte festgehalten. Allerdings kann auch resümiert werden, dass die Medienlandschaft durch die neuen Medien ganz schön aufgemischt wird und in Unordnung geraten ist, wobei niemand vorhersagen kann, wie es letztendlich weitergeht.



Print lebt, und wie. Die Zahl der Zeitschriften- und Magazintitel steigt ständig wobei allerdings die Auflagen unterm Strich sinken.

Platz	Titel	verk. Aufl.	2012-II vs. 2011-II	
		2012-II	absolut	in %
1	TV 14	2.417.345	-9.349	-0,4
2	TV Digital	1.907.297	131.875	7,4
3	TV Spielfilm plus	1.477.314	-93.526	-6,0
4	Bild am Sonntag	1.393.828	-131.652	-8,6
5	TV Movie	1.328.373	-39.194	-2,9
6	Hörzu	1.290.653	-46.060	-3,4
7	TV Direkt	1.192.193	13.229	1,1
8	Auf einen Blick	1.061.493	-77.529	-6,8
9	LandLust - Die schönst.	995.271	166.619	20,1
10	Der Spiegel	906.804	-44.852	-4,7
11	Freizeit Revue	884.154	-23.217	-2,6
12	Bild der Frau	878.027	-78.151	-8,2
13	stern	812.142	-39.603	-4,6
14	TV Hören und Sehen	744.242	-46.993	-5,9
15	Neue Post	694.736	-7.148	-1,0
16	TV pur	663.369	45.076	7,3
17	Gong plus +	607.990	-27.454	-4,3
18	Brigitte	601.696	-53.676	-8,2
19	nur TV	594.218	-19.404	-3,2
20	Reader's Digest Das B.	582.709	-117.940	-16,8
21	Bunte	582.575	-52.205	-8,2
22	tina plus	578.800	-5.639	-1,0
23	Focus	550.737	-27.765	-4,8
24	Computer Bild	531.797	-1.839	-0,3
26	Funk Uhr	517.802	-35.072	-6,3
27	Freizeitwoche	494.599	-8.393	-1,7
28	Das Neue Blatt	482.748	8.060	1,7
29	Fernsehwoche	454.607	-29.687	-6,1
30	Glamour	440.246	-47.242	-9,7
31	InStyle	438.527	-10.545	-2,3
32	Sport Bild	417.636	-25.956	-5,9
33	Freundin	412.087	-98.747	-19,3
34	Freizeit Spass	400.258	-22.578	-5,3
35	Die Aktuelle	376.172	-9.530	-2,5
36	auto motor und sport	376.018	-21.758	-5,5
37	Mein schöner Garten	373.427	-27.422	-6,8
38	Für Sie	366.957	-47.248	-11,4
39	Superillu	366.258	-15.820	-4,1
40	Meine Familie & ich	352.384	24.196	7,4
41	Jolie	340.959	-18.602	-5,2
42	Gala	330.466	341	0,1
43	Lisa	316.678	-14.759	-4,5
44	Frau im Trend	312.359	-20.917	-6,3
45	Bravo	307.659	-109.960	-26,3
46	Laviva	305.723	-17.895	-5,5
47	c't magazin für comp.	303.272	-10.307	-3,3
48	Joy	298.873	-115.207	-27,8
49	Cosmopolitan	298.198	-11.976	-3,9
50	neue woche	297.702	-11.403	-3,7

Daten-Quelle: VDZ-Auflagentdienst / Tabelle: MEEDIA

Professor Wolfgang Donsbach der TU Dresden stellt zu Beginn der Tagung die Kernfrage, ob die eingesetzte und erforderliche Technik durch die Verlage noch finanziert werden kann. Die bisherige Herstellungsart und der konventionelle Druck sind im Hinblick auf die Mediennutzung nicht alternativlos. Im Rahmen einer Studie wurde an der TU Dresden ein DFG-Forschungsprojekt zur Nutzung und Qualität von Nachrichtenmedien im Altersvergleich mit dem Thema: „Was wissen die Deutschen über aktuelle Nachrichten und woher wissen sie es?“ durchgeführt. Als Ergebnis hat sich gezeigt, dass insbesondere jüngere Deutsche der Altersgruppe unter 29 Jahren über aktuelle Tagesereignisse ein geringes Wissen zeigen und die Bedeutung des Internet zum Bildungs- und Nachrichtentransfer überschätzt wird. Zwar hat das Internet zu einer erheblichen Zunahme von Informationen geführt, dennoch liefern die mit dem Internet entstandenen Blogger weder bei den traditionellen Medien noch im Internet eine vergleichbare Qualität zum professionellen Journalismus. Informieren sich Jugendliche über das aktuelle Nachrichtengeschehen, so nutzen sie dafür zunehmend Quellen, die eine eher höhere Informationsqualität und Informationsdichte bieten.

Die Tageszeitung liefert die meisten Informationen zu den Top-Ereignissen, berichtet am objektivsten über das Geschehen und bezieht vielfältige Perspektiven und Meinungen ein. Gleichzeitig wird ein hoher und zunehmender Grad an Boulevardisierung - d.h. einer Tendenz zu sensationeller Aufmachung von [Presse]informationen festgestellt. Demgegenüber weisen Radionachrichten eine geringere Boulevardisierung auf und stellen das Geschehen sehr ausgewogener und objektiver dar. Die öffentlich rechtlichen Anstalten hängen nun mal nicht sehr von der Werbung ab.

Die strukturelle Veränderung der Gesellschaft erfährt einen Wertewandel und eine Veränderung der Interessenlage. Festgestellt wird, dass

trotz der Zunahme an Informationen und der Omnipräsenz der Medien in der Gesellschaft eine Spirale der Unwissenheit registriert wird und auch bei den Jugendlichen nicht mehr „Wissen“ entsteht. Die Informationsflut und die Boulevardisierung führe eher zu einer Resignation vor der Komplexität der Sachverhalte und in eine Flucht in das Entertainment. Im Hinblick auf die Berichterstattung der Presse wird auch ein Vertrauensverlust gegenüber den Medien festgestellt. Bei dem Problem von Angebot und Nachfrage nach Medienberichten stellt sich auch die Frage, wer Täter und Opfer der derzeitigen Verhältnisse ist. Wenn Wahlen durch Kanzlerduelle und die Eloquenz von Talkpolitikern entschieden werden, muss sich die Presse über ihre Aufgabe zur Meinungsbildung Gedanken machen.

Der Vollblutjournalist Ulrich Fichter vom SPIEGEL ergänze das Spektrum der Mediensituation und stellte fest, dass insbesondere das Internet an die Stelle der klassischen Medien für einen kollektiven Informationsaustausch getreten ist. Hierbei verliert Print Marktteile die nicht revitalisierbar sind.

Informationen werden à la carte konsumiert und was Print hierbei verliert, ist endgültig verloren. Internet ist zu einer Informationsmaschine mutiert und die Grenzen sind nicht vorhersehbar. Wenn man zurückblickt, war die Presse immer ein Subventionsbetrieb und die wirklichen Kosten zur Herstellung einer Ausgabe des Magazins wären nicht bezahlbar.

Das Internet ist eine Ergänzung des Informationskuchens und führt durch die aus dem Nebel aufgetauchten Blogger zu einem Citizen Journalismus und damit zu einer Ergänzung der Meinungsvielfalt. Die Medien verändern den Journalismus und den Konsum von Informationen. Die Verbraucher stellen sich die Frage: Warum soll ich ein ganzes Magazin kaufen, wenn ich nur einen Beitrag lesen möchte. Die Gesamtentwicklung der Medienlandschaft hat eine Geschwindigkeit erreicht, die es den Unternehmen schwermacht, richtig

und schnell darauf zu reagieren. Das Internet wird professioneller. Die Zukunft ist digital und bereits heute zeichne sich ab, dass es nur noch eine Frage der Zeit sein dürfte, bis algorithmisch basierte Programme auch komplexere Beiträge wie z. B. für Sport- und Finanzberichte, durch den Computer entstehen. Die schreibende Zunft wird also mit der Frage konfrontiert: Ersetzt eines Tages der Computer den Redakteur?

Professor Valentin Groebner, der Geschichte an der Universität Luzern lehrt, lieferte und zeichnete als Historiker den Weg von Gutenberg bis Heute. Nach Groebner sind die Pressevertreter in dieser säkularen Zeit zu Nachfolger der Theologen mutiert - die Fragen nach ihrem Beitrag zu dieser Entwicklung stellen. Er stellte fest, dass bereits Luther im Buchdruck die „letzte Flamme vor dem Ende der Welt“ gesehen hat, und die heutigen Blogger, Twitterer und Bürgerjournalisten in der Öffentlichkeit die Angst vor irgendeinem demnächst stattfindenden Weltuntergang weiter schüren.

Schon immer unterlagen die Gesellschaft und die Technik einem Strukturwandel und mit dem Internet, das seit dem Jahr 1993, als der erste grafikfähige Webbrowser namens Mosaic zum kostenlosen Download angeboten wurde, erleben wir eine Entmaterialisierung in vielen Bereichen. Allerdings eignet sich, wie die Vergangenheit gezeigt hat, das Internet nicht als nachhaltiger Informationsspeicher und/oder als Substitut für Bibliotheken. Print und Internet korrespondieren und eine nachhaltige Dokumentation ist ohne Print schwer vorstellbar. Groebner stellte die Frage, obwohl diese niemand beantworten kann – zumindest nicht im Moment: „Was wäre, wenn es den real existierenden Journalismus nicht (mehr) geben würde?“.

Moritz Müller-Wirth (Die Zeit) war dann allerdings der einzige, der den Titel der Veranstaltung kritisch hinterfragte. Davon, dass gedruckte Zeitungen in Deutschland „ster-

ben“, könne nicht die Rede sein. In dieser diagnostischen Zurückhaltung zeigte sich, was die Stärke einer solchen Selbstverständigungs-Tagung sein kann: das reflektierende Innehalten und Nachdenken über den Standort. Einig waren sich alle Referenten, dass die Auflagen der Zeitungen weiter sinken werden. Als Beispiel dient die Zeitungsentwicklung in Berlin. Obwohl die Zahl der Einwohner in Berlin steigt, nimmt die absolute Zahl der Zeitungsleser weiter ab.

In der Diskussion wurde die Meinung vertreten, dass nur noch die F.A.Z. und die Süddeutsche Zeitung als überregionale Tageszeitungen eine Überlebenschance haben, wobei dem gegenüber die Wochenzeitungen wie DIE ZEIT und die Sonntagzeitung der F.A.Z. ein Wachstum aufweisen und neue Produkte, wie das Autorenmagazin „The European“ gewinnbringend arbeiten. Gegenwärtig liegt der Gesamtumsatz der Presse bei 12 Mrd. Euro, wobei Online bereits einen Anteil von 300 Mio. aufweist. Wenn man auch betrachtet, dass in Deutschland nur rund 8 Mio., also nur noch 10 % der Einwohner zur Zeitung greifen, können elektronische Zeitungsausgaben einen rasanten Zuwachs verzeichnen. Die E-Paper-Auflage der Süddeutschen Zeitung stieg gegenüber dem Vorjahr um 45 % und die gedruckte Auflage gab um 2,6 % auf 420.370 Exemplare nach. (Stand Mai 2013).

Mit seinen 351 Tageszeitungen ist Deutschland noch immer der größte Zeitungsmarkt Europas. Doch die „Financial Times Deutschland“ gibt es nicht mehr, die „Frankfurter Rundschau“ erhielt eine Gnadenfrist, die vom Anzeigenerlös abhängt, und bis hin zu BILD, die Personal abbaut, geht es rückwärts. Die weitere Entwicklung ist nicht absehbar. Doch die Zeitung allein ist nicht Print. Zeitungen die auf den Zeitungsrotationsdruckmaschinen hergestellt werden sind nur ein Segment der Druckmedien. Die Hersteller von Bogen- und Druckmaschinen sehen den Markt von Print aus einer anderen Perspektive und sind mit ganz anderen Marktentwicklungen konfrontiert.

Und Warren Buffet kauft Regionalzeitungen

Der Milliardär und Investor Warren Buffet (82), der einst als Zeitungsjunge in Omaha die „World Herald“ austrug, erwarb auf seiner Suche nach Investments in den letzten 15 Monaten in den USA 28 Regionalzeitungen im Wert von 344 Mio. Dollar. Buffet glaubt trotz der Konkurrenz von Internet und Fernsehen an die Zukunft von Tageszeitungen, die sich auf die lokale Berichterstattung konzentrieren und ihre Inhalte nicht kostenlos ins Netz stellen. „Wenn sie wissen wollen, was in ihrer Stadt los ist, ob es um Bürgermeister, um Steuern oder um Highschool-Football geht, gibt es keinen Ersatz für eine Lokalzeitung die ihre Arbeit macht“, schrieb Buffet.

Der Springer Verlag springt ab

Unerwartet wie ein Sommergewitter lief am 25. Juli 2013 die Nachricht über die Ticker, dass der Axel Springer-Verlag für 920 Millionen Euro seine Regionalzeitungen und Zeitschriften an die Essener WAZ, die sich inzwischen Funke-Gruppe nennt, verkauft. Im Paket befinden sich die Printtitel, „Berliner Morgenpost“ das „Hamburger Abendblatt“, die Zeitschriften „Hörzu“, „TV Digital“, „Funk Uhr“, „Bildwoche“, „TV neu“, „Bild der Frau“ und „Frau von heute“. Die „Hörzu“ ist hierbei die Gründungsmarke des Konzerns, die noch mit einer Auflage von 1,2 Millionen Exemplaren erhebliche Profite einfährt. Die Funke-Gruppe bekommt sogar von Springer noch Geld geliehen, damit sie sich die Übernahme leisten kann. Der Funk Gruppe gehören 27 Tages- und 13 Wochenzeitungen, 175 Publikums- und Fachzeitschriften sowie einige hundert Anzeigen- und Kundenblätter. Der Deal soll lt. Springer zum 1. Januar 2014 wirksam werden. Springer entwickelt sich damit vom Verlagsgeschäft zum Mischkonzern.

Bei Springer verbleiben bezüglich der gedruckten Medien lediglich die „Bild“- und die „Welt“-Gruppe. Diese Gazetten existieren

zwar noch auf dem Papier sind aber sichtbar mehr und mehr der materielle Anhang von den Online Versionen und werden mit Sicherheit auch verschwinden, wenn damit kein Geld mehr verdient wird. Die gedruckte „BILD“, die ja nicht gerade den Vorstellungen des von Döpfner gepriesenen Qualitätsjournalismus entspricht, dürfte jedoch alternativlos noch einige Zeit sowohl online oder als Print-Version der Nachfrage entsprechen und Profite garantieren und es geht immer mehr nur noch um Profite und nicht mehr um Journalismus. Die Digitalstrategie des Konzern orientiert sich an Google, Facebook und Consorten und haben nichts mehr mit dem von Döpfner so hoch gepriesenen Qualitätsjournalismus zu tun. Dennoch spiegelt der Deal die Veränderung der Verlagskultur und die weitere Kommerzialisierung der Informations- und Kommunikationsindustrie. Für die Druckmaschinenhersteller und die Drucker ist diese Strukturveränderung in der Verlagsindustrie jedoch nur dann von Bedeutung, wenn auch weniger gedruckt wird. Und dies wird wiederum auch von anderen Faktoren bestimmt.

Murdoch stellt die digitale Zeitung „The Daily“ wieder ein

Bereits im Dezember 2012 wurde die mit großem Tamtam präsentierte „The Daily“ nach 22 Monaten wieder eingestellt. Die Vorstellung von Murdoch mit der „The Daily“ eine Zeitung der Zukunft zu schaffen, die rein digital extra für Tablet-Computer und das iPad angeboten wurde, schlug mangels Akzeptanz der user fehl. Die „Daily“ verdiente nie genug Werbeeinnahmen, um die Kosten des digitalen Ausflugs zu decken. Murdoch hatte rund 30 Millionen Dollar in die digitale Version investiert. Ein Wochen-Abo kostete 99 Cent und ein Jahres-Abo knapp 40 Dollar.

Die „Sun“ versucht einen neuen Weg um digital Pfunde zu verdienen

Das digitale „Sun+“-Paket, das für 1,20 Pfund weniger als die Papiaerausgabe angeboten wird, soll dem Leser als Ergänzung zur Print-Version Zeitung schmackhaft gemacht werden. Bei der Entwicklung eines ausgeklügelten Online-Konzepts hat sich das Blatt von den Modellen der „Times“ und „Sunday Times“ abgesetzt. Diese erlebten bereits vor drei Jahren einen Rückgang der Internetnutzung von neunzig Prozent, nachdem diese Blätter eine Bezahlschranke einführten, die jedoch Nutzer nicht honorierten. Der „Daily Mirror“ konterte bereits mit dem Slogan „Die besten Dinge im Leben sind kostenlos“. Die Suche nach neuen Wegen geht weiter.

Und der Amazon-Boss Bezos kauft die Washington Post

Am 05.08.2013 schlug die Nachricht, dass Jeff Bezos, Gründer und Vorstandsvorsitzender des amerikanischen Online-Händlers Amazon für 250 Millionen Dollar die amerikanische Traditionszeitung „Washington Post“ kaufte, wie eine Bombe ein. Die 1877 gegründete Hauptstadtzeitung befand sich über vier Generationen im Besitz der Verlegerfamilie Graham. Der „Washington Post“ ging es in den letzten Jahren wie vielen Tageszeitungen. Der Auflagenschwund und das geschrumpfte Anzeigenvolumen drückte die Margen und führte zu wachsenden Verlusten. Bezon kündigte bereits an: „Wir werden Erfindungen machen müssen, d.h. wir werden experimentieren müssen“. Was immer darunter zu verstehen ist, die Fachwelt wird mit allergrößtem Interesse verfolgen, wie der „Nerd“ Bezon (FAZ) die Probleme angehen wird.

Und auch der Große Brockhaus ist nun Geschichte



Irgendwann werde ich meinen Enkeln in einer Pause zwischen dem iGame und der Google Glass Betrachtung erzählen, dass es einmal Bücher gab in denen konzentriert das Wissen der Welt festgehalten wurde und die Updates ca. fünf Jahre dauerten.

Der F.A. Brockhausverlag hat endgültig seine Tätigkeit eingestellt. Damit endet ein weiteres großes Traditionsunternehmen und gehört der Geschichte an. Auch die Übernahme des Brockhausverlages im Jahre 2009 durch Bertelsmann war erfolglos, nachdem die Nachfrage im Buchhandel nach der gedruckten Enzyklopädie null zustrebte. Die erste Ausgabe des „Conversationslexikon mit vorzüglicher Rücksicht auf die gegenwärtigen Zeiten“, erschien 1796 -1808 in 6 Bänden.

Die 21. Ausgabe, aus dem Jahre 2007 umfasst 30 Bände in Leder und Leinen mit Kopfgoldschnitt mit rund 300.000 Stichwörtern und 40.000 Bildern. Auf 24.500 Seiten zu einem Gesamtpreis von 2.820 Euro. Dem Verlag zufolge wiegen die Bände zusammen siebzig Kilogramm und nehmen 1,70 Regalmeter ein. Daran gearbeitet haben „70 Fach-, Bild- und Schlussredakteure“ in der Redaktion in Leipzig sowie tausend freie Autoren.

Von der Verlageinstellung sind ca. 300 Mitarbeiter in München und Gütersloh betroffen. Der Große Brockhaus war ein Statussymbol für das gehobene Bildungsbürgertum, das sich dieses Werk leisten konnte. Der Nutzungsgrad war gering und die Enzyklopädien stellte, wie ein Bildungsexperte einmal ironisch zusammenfasste eine „Ikone einer profunden Ignoranz“ dar. Immerhin war das Lexikon über die

Jahre der vordigitalen Zeit die umfassendste Datenbank mit dem Anspruch das Wissen der aktuellen Zeit darzustellen.

Es gab Zeiten, da wurde der Brockhaus als Kapitalanlage betrachtet wie z.B. die handsignierte 19. Ausgabe der Hundertwasser Brockhaus Enzyklopädie mit einer limitierten Auflage von 1800 Exemplaren die in den Jahren 1986–1994 vermarktet wurde und die immerhin bei Ebay heute noch zu einem Preis ab 7.500 Euro gehandelt wird.

Es war geplant im Jahre 2015 die 22. Auflage mit 30 Bänden herauszugeben. Daraus wird nun nichts mehr werden. Leider war es dem Verlag nicht gelungen mit einer wirtschaftlich vermarktbare digitalen Version des Lexikons gegen Wikipedia anzutreten. Aber das ist kein deutscher Alleingang. Auch die Druckversion der Encyclopedia Britannica, dem englischen Pendant zu unserem Großen Brockhaus, wurde im vergangenen Jahr nach 244 Jahren endgültig eingestellt. Das Wissen unserer Zeit ist heute in den Clouds und diese befinden sich, wie man nach der NSA Affäre vermutet, in Utah in einem Bunker.

Quellen:

Statistische Berichte des BVDM, VDMA, Börsenverein des deutschen Buchhandels, Wirtschaftspresse, F.A.Z.+F.A.Z. online, Handelsblatt-online, Augsburger Allgemeine Zeitung, Print und Medien, Der Druckspiegel, print.de, Firmennachrichten der HDM und KBA, Wikipedia.

Mitgliederversammlung 2012

Die Beuth Hochschule für Technik in Berlin war Kooperationspartner und Gastgeber der diesjährigen Mitgliederversammlung und Jahrestagung des VDD. Damit wird die Tradition fortgesetzt, im jährlichen Wechsel jeweils ein Industrieunternehmen bzw. eine Hochschule zu besuchen.

55 Mitglieder kamen am 27. September 2013 zur Mitgliederversammlung in die Beuth-Hochschule in Berlin, womit der Verein beschlussfähig war. Ganz herzlich begrüßt wurden die anwesenden Ehrenmitglieder, Herrn Boris Fuchs, Herrn Dr. Siegbert Holderried und Herrn Rudolf Uhrig. Die Ehrenmitglieder Dr. Rolf Seisser und Dr. Harry M. Greiner konnten leider nicht teilnehmen und hatten Grüße übermittelt.

Vor der Veranstaltung konnten sich interessierte Mitglieder auf einem Rundgang durch das Labor für Drucktechnik und Weiterverarbeitung über die Studiengänge und Studienbedingungen an der Beuth Hochschule informieren.

Zu Beginn der Mitgliederversammlung gedachten die Anwesenden dem langjährigen Leiter des Instituts für Druckmaschinen und Druckverfahren der TU Darmstadt und Ehrenmitglied Prof. Dipl.-Ing. Karl Rudolf Scheuter, der am 24. Januar 2012 im Alter von 92 Jahren in Thun, Schweiz verstorben ist.

Der Vorstand berichtete von seiner Tätigkeit und den Vereinsaktivitäten seit der letzten Mitgliederversammlung. Auf sieben Vorstandssitzungen und einer Klausurtagung wurden die aktuellen Projekte des Vereins diskutiert und vorbereitet. Die sehr gute Zusammenarbeit mit der Zeitschrift Der Druckspiegel wurde mit regelmäßigen Berichten zum VDD fortgesetzt.

Das VDD-Jahrbuch wurde mit Erscheinen der vierten Ausgabe und der Vergabe einer ISSN-Nummer als Publikationsreihe bei der deutschen Bibliothek registriert (Druckausgabe: ISSN 2194-9409, digitale Ausgabe: ISSN 2194-9425). Ein besonderer Dank ging an Dr. Siegbert Holderried, dem es wieder gelungen war, zahlreiche Autoren zur Mitarbeit und pünktlichen Lieferung der Artikel zu motivieren und das Satzdokument druckfertig aufzubereiten.

Fünf interessante Vorträge zu Farbmessung und Digitaldruck konnte der Verein im letzten Jahr über das Institut für Druckmaschine und Druckverfahren (IDD) an der TU in Darmstadt anbieten.

Die drupa im Mai 2012 war Anlass zu einem Empfang der VDD-Mitglieder, der gemeinsam mit der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V. und der Messe Düsseldorf organisiert wurde. Diesmal fand dieses Treffen in modernem Ambiente im drupa-cube auf dem Messegelände statt. An einem drupa-



Gastgeber der diesjährigen VDD-Mitgliederversammlung war die Beuth-Hochschule Berlin



Vier neue Mitglieder wurden in den VDD aufgenommen (von links neben Vorstandsmitglied Prof. Dr. Karl Schaschek): Dipl.-Phys. Karl-Heinz Selbmann, Berner Fachhochschule; M.Sc. Duy Linh Nguyen, IDD/ TU Darmstadt; Dr.-Ing. Kathrin Happel, Baumer hhs Krefeld; Dr.-Ing. Michael Dattner, BST International Bielefeld; Rechts im Bild die Vorstandsmitglieder Dipl.-Ing. Joachim Sonnenschein und Dipl.-Ing. Karlheinz Mohn

Abend folgten zirka 80 Studierende und Professoren der Hochschulen in Berlin, Stuttgart, München, Darmstadt und Chemnitz der Einladung des VDD zu einem Studentenabend in die Düsseldorfer Altstadt.

Hermann Thomas ist neues Ehrenmitglied

Ein Höhepunkt der Mitgliederversammlung war die Verleihung der Ehrenmitgliedschaft an Herrn Hermann Thomas, ehemaliger Geschäftsführer der Firma Goebel Darmstadt und Gründungsmitglied des VDD. Die Laudatio hielt in sehr persönlicher Weise Herr Dr. Felix Berg, der seinerzeit durch Herrn Thomas als Konstrukteur in das Unternehmen geholt wurde und heute das Unternehmen leitet.

Hermann Thomas war 1955 Gründungsmitglied des VDD (damals: Verein Darmstädter Druckingenieure) und über viele Jahre Vorsitzender des Vereins Deutscher Druckingenieure.

Er studierte am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der Technischen Hochschule Darmstadt und beendete das Studium mit seinem Diplom im Jahr 1956.

Im selben Jahr trat er als Konstrukteur bei der Maschinenfabrik Goebel GmbH, Darmstadt ein. Im Alter von 50 Jahren wurde Hermann Thomas zum Technischen Geschäftsführer der Maschinenfabrik Goebel berufen. Diese Funktion führte er bis zu seinem Ausscheiden im Jahre 1996 aus.

1974 bis 1986 war Hermann Thomas Vorsitzender des Technischen Beirats und von 1987 bis 1993 Vorsitzender des Vorstandes der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen (FGD).



Das neue Ehrenmitglied (Mitte) mit Mitgliedern des VDD-Vorstandes und dem Laudator Dr. Felix Berg (ganz rechts im Bild)

Erstmals wurde der VDD Harry M. Greiner- Preis verliehen



Senator Professor Dr.-Ing. Harry M. Greiner

Der Vorstand des Vereins Deutscher Druckingenieure e.V. wird zukünftig jeweils im Drupa-Jahr den Harry-M.-Greiner-Studienpreis ausschreiben. Hiermit ehrt der VDD das Ehrenmitglied Prof. Senator Dr.-Ing. Harry M. Greiner, für seine Leistungen für die Forschung auf dem Gebiet Druckmaschinen und Druckverfahren.

Senator Professor Dr.-Ing. Harry. M. Greiner war von 1977 bis 1987 Vorsitzender der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V., Frankfurt und langjähriges Vorstandsmitglied der Manroland Druckmaschinen A.G., Offenbach (heute: Manroland Sheetfed GmbH). Im Jahre 1987 erhielt Dr. Greiner für seine Leistungen für den Druckmaschinenbau die Friedrich Koenig Medalle. Für sein Engagement für die Forschung und Wissenschaft wurde Dr. Greiner 1987 zum Ehrensensator der TU Darmstadt ernannt.

Der Studienpreis wird für hervorragende Abschlussarbeiten (Bachelor- und Masterthesis, Doktorarbeiten) an Universitäten und Hochschulen auf dem Gebiet der Drucktechnologie verliehen.

Auf der Mitgliederversammlung des VDD 2012 in Berlin wurde dieser Preis an die Herren B.Sc. Micha Güdel, Berner Fachhochschule im schweizerischen Burgdorf, für seine Bachelorthesis „Simulation eines Druckkopfes für leitfähige Medien“ und Dr.-Ing. Michael Dattner, Bergische Universität Wuppertal für seine Dissertation unter dem Titel „Spektrales Farbvorhersagemodell für den Rasterpunkt auf Basis der wellenlängenabhängigen Flächendeckung“, verliehen.



v. links. Prof. Dr. Karl Schaschek, , die Preisträger Güdel und Dattner sowie Dipl.- Ing. Joachim Sonnenschein,



Geselliges Beisammensein im Berliner Traditionslokal „Nolle“ unter der Bahntrasse beim Bahnhof Friedrichstraße.

Nach der Mitgliederversammlung trafen sich die VDD-Mitglieder im traditionellen Berliner „Restaurant Nolle“ zum geselligen Abend. Am Folgetag fand die Jahrestagung zum Thema „Technische Herausforderungen der Online-Print-Produktion“ statt.

Dass Berlin eine attraktive und interessante Stadt ist zeigte sich an der überdurchschnittlichen Beteiligung am diesjährigen Partnerprogramm, das den Besuch des Pergamon-Museums und eine historische Stadtrundfahrt auf der Spree einschloss.

Technische Herausforderungen der Online-Print-Produktion

Bericht von der VDD-Jahrestagung am 28. September 2012 in Berlin, Beuth Hochschule für Technik, Fachrichtung Druck- und Medientechnik

Hatte man seither in der Branche, wenn es um die Bildungseinrichtung für Druckingenieure in Berlin ging, immer nur von der Hochschule der Künste und ihrem Fachbereich für Technologie und Planung Druck am Berliner Einsteinufer gehört, so wurde vielen erst bei dieser VDD-Jahrestagung klar, dass es daneben noch eine traditionsreiche Fachhochschule, die Beuth Hochschule für Technik im Stadtteil Wedding gibt, die sich um die Ausbildung von Druckingenieuren kümmert und nach Schließung der Einrichtung am Einsteinufer deren Aufgaben mit übernommen hat. Der Vorstand des VDD hat also gut daran getan, diese Änderung mit der Veranstaltung in Berlin ins Bewusstsein gerückt zu haben, um das Wis-



Der VDD-Vorsitzende, Dipl.-Ing. Karlheinz



Die Beuth Hochschule für Technik ist mit ihrem Hochhaus ein Markstein des Berliner Stadtteil Wedding



Die historische Maschinenhalle der Hochschule schuf das geeignete Ambiente für diese Tagung.

sen um das bundesweite Bildungsspektrum zu komplettieren. Ein Rundgang am Vorabend der Tagung in den Labors der Fachrichtung für Druck- und Medientechnik hat denn auch die gute Ausstattung gezeigt, die diese Fachhochschule für diesen Zweck zu bieten hat.



In den Maschinenlabors der Hochschule steht u. a. diese Speedmaster der Heidelberger Druckmaschinen AG



Der Vize-Präsident der Beuth Hochschule für Technik bei seiner Begrüßung der Tagungsteilnehmer.

Bei der Eröffnung der VDD-Jahrestagung in einer historischen Maschinenhalle der Beuth Hochschule für Technik am Freitag, 28. September 2012, erklärte der VDD-Vorsitzende, Dipl.-Ing. Karlhein Mohn, nach seiner Begrüßung wie der Vorstand zum übergeordneten Thema „Technische Herausforderungen der Online-Print-Produktion“ gekommen ist: Mit der Online-Print-Produktion verbindet sich



Prof. Dr. Anne König, Fachrichtung Druck- und Medientechnik

auf der Suche nach neuen Betätigungsfeldern, wie beim Verpackungsdruck die Hoffnung auf ein ausbaufähiger Zweig der Druckproduktion, auch wenn diese heute noch ein Nischendasein fristet. Er übergab das Wort an den Vize-Präsidenten der Hochschule, Prof. Dr.-Ing. Hans W. Gerber, der die Teilnehmer im Namen der verhinderten Präsidentin, Prof. Dr. Monika Gross und der Fakultät IV, Informatik und Medien, begrüßte.

Er gab einen kurzen Abriss über die Hochschule, die ihre Gründung bis ins Jahr 1823 zurückführen kann und heute in 8 Fakultäten 11 000 Studentinnen und Studenten bei 800 Bediensteten, davon 290 Professorinnen und Professoren aufweist. Die eigentliche Technische Fachhochschule ging 1971 aus der Zusammenlegung von 4 Ingenieurschulen hervor, wobei es eine Höhere Graphische Fachschule der Stadt Berlin schon seit 1936 gibt. Den Namen von Christian Peter Wilhelm Beuth (1781-1853) wurde der Hochschule im Jahre 2009 verliehen, da er als der geistige Vater der Ingenieurausbildung in Deutschland gilt und schon 1821 mit dem „Technischen Institut“ in Berlin die erste derartige Schule in Preußen initiiert hat. Zudem habe er zusammen mit seinem Freund, dem berühmten Architekten Karl Friedrich Schinkel, schon 1826 einen damals noch nicht so genannten Technologietransfer betrieben, als sie zusammen England bereisten, um den dortigen hohen Stand der Technik und der darauf

ausgerichteten Industriebauten auf Preußen zu übertragen, hob Professor Gerber in seiner Begrüßungsansprache besonders hervor. Was die Zukunftssicherung der Hochschule anbelange, so wies er zum Schluss darauf hin, dass das aufgelassene Gelände des Flughafens Tegel nach Inbetriebnahme des Flughafens in Schönefeld auf Beschluss des Senats einem Neubau der Hochschule zur Verfügung gestellt werden soll, wofür 70 Mio. € eingepulst sind.

Anmerkung: inzwischen wissen wir, dass durch das Planungsdesaster beim neuen Schönefelder Flughafen dieser Umzug in eine unbestimmte Ferne gerückt wurde.

Geschäftsmodell Online-Druck. Geschichte, Stand und Perspektive

Sozusagen als Einstieg in die Thematik der Jahrestagung präsentierte unter der Moderation von VDD-Vorstandsmitglied, Prof. Dr. Karl Schaschek, Frau Prof. Dr. Anne König als Betriebswirtin von der Fachrichtung Druck- und Medientechnik eine Definition, was unter Online-Druck zu verstehen ist, welches Geschäftsmodell ihm zu Grunde liegt und welche Zukunftshoffnungen sich mit ihm verbinden. Beim Online-Druck handelt es sich um online über Internetportale erstellte, vordefinierte Druckprodukte, wobei das Wort „vordefiniert“ das Entscheidende dabei sei.

Von den 16 Mrd. €, die Drucksachen pro Jahr einbringen, haben Werbedrucke, bzw. Akzidenzen einen Anteil von 32%. Lag der Anteil der online erstellten Drucksachen im Jahre 2007 bei 0,2 %, so ist er bis 2012 auf 0,7% gestiegen, was immer noch einen relativ kleinen Markt bedeute. Man müsse dabei jedoch die enorme Kosteneinsparung sehen, die nach Auskunft von Fachleuten bei bis zu 33% betragen kann. Begründet werde die Kosteneinsparung durch Wegfall von mehreren Fertigungsschritten durch die Vordefinition der Produkte, d. h. der generalisierten Vorlagenerstellung, in die nur spezifische Variablen online eingegeben werden müssen.

Als führende Unternehmen auf diesem Gebiet nannte sie u. a. Vistaprint, CEWE mit Saxoprint und Flyeralarm. Sie stellte diese einzeln mit ihren Firmendaten und ihrer Gründungsgeschichte vor, wobei auch die andere blockierende Patentanmeldung von Vistaprint zur Sprache kam – diese wurde erst 2008 durch eine statt gegebene Nichtigkeitsklage aufgehoben. Interessant war zu erfahren, dass die Firmen nach dem Muster des „Long Tail“ mehrere Aufträge zusammenkommen lassen, um diese dann auf einer Form zu vereinen, wodurch auch großformatige Bogenoffsetdruckmaschinen für eine rationelle Auftragsabwicklung eingesetzt werden können. Mit CEWE ist auch ein schon seit 1961 bestehendes Foto-Labor in das Geschäftsfeld eingestiegen, wobei sich dieses für den Druck ihrer Fotobücher in diesem Jahr (2012) mit Saxoprint zusammengetan hat. Daneben sind aber auch ganze Digitaldruckstraßen im Einsatz.

Wie viel Web steckt in Print? Potenziale und Entwicklungen in Web-to-Print

Über diese Fragestellung referierte das VDD-Mitglied Dipl.-Ing. M.Sc. Ralf Schlözer von InfoTrend in Luton, UK. Er unterteilte seinen Vortrag in die Kapitel: 1. Einsatz von Web-to Print, 2. Entwicklungsrichtungen Web-to-Print und 3. Zusammenfassung.

Als Einstieg gab auch er zwei Definitionen, was Web-to-Print bedeutet: „Web-to-Print ist die servergestützte Online-Erzeugung von individuellen Druckdokumenten unter Einbeziehung der notwendigen kaufmännischen Prozesse.“ (Bernd Zipper – Strategie: Web-to-Print)

„Web-to-print solutions are Internet browser-based applications that facilitate commerce, collaboration, and/or customer service interactions between those who buy printed products and those who sell them. These solutions,

which encompass the entire delivery system from page design, job file submission, online job tracking, soft proofing, online payment, online shipping and inventory management, are an integral element of workflow automation.“ (Kaspar Roos ,InfoTrends)

Danach präsentierte er die Sicht der Nutzer und warum Web-to-Print zur Anwendung kommt: Rationalisierung = Kostenersparnis, Bereitstellung von Werkzeugen für die Auftraggeber zur Druckproduktgestaltung, die Standardisierung und die allgemeine Verlagerung von Bestellprozessen ins Internet. Bei der Nutzung von Softwarelösungen besticht die große Vielfalt. Noch seien laut Statistik die Nutzer zwar in der Minderheit, doch zeigen sich große regionale Unterschiede, wobei Deutschland im Mittelfeld liegt. Auch hänge die Nutzung stark von der Betriebsgröße ab.

Was die Entwicklungsrichtung anbelangt, so nannte Herr Schlözer folgende Bereiche: Spezialisierung/Anpassung, Workflow-Integration, Ausbau der Funktionalitäten, The Cloud, Lösungen für mobile Endgeräte und Multi-Channel Kommunikation.

In der Zusammenfassung wies er darauf hin, dass der Markt von Web-to-Print gegenwärtig (2011) ein Volumen von 275 Mio. US-\$ umfasst, es viele Anbieter aber keine Marktführer gibt, viele regionale Anbieter und wenig global agierende Firmen. Web-to-Print sei ein Werkzeug für Geschäftsprozesse und könne neue Märkte erschließen - z.B. senkt es die Eintrittshürden für Druckleistungen Web-to-Print aber ersetze nicht das Marketing oder Geschäftsstrategien. Die Nutzung und der Funktionsumfang von Web-to-Print werden weiter zunehmen. So wie heute fast kein Druckprodukt ohne Computereinsatz produziert wird, werde in Zukunft kaum ein Druckprodukt ohne Internet-Einsatz gefertigt werden.

Katalogproduktion im Zeitalter des iPads

Prof. Dr. Arno Hitzges von der Hochschule der Medien in Stuttgart hatte es übernommen über dieses verwandte Feld zu Web-to-Print zu sprechen. Bekanntlich hat das Auftauchen der so genannten Tablet-PCs mit dem Marktführer Apple-iPad den Absatz von gedruckten Zeitungen und damit die Hersteller von Zeitungsdruckmaschinen stark getroffen. Schon vorher war die Katalogproduktion von elektronischen Medien bedrängt worden, umso mehr vom iPad.

Prof. Hitzges unterteilte seinen Vortrag in die Kapitel: Welche Stellenwert haben Kataloge? Wie sehen aktuelle Entwicklungen aus? Welche Auswirkungen haben dabei mobile Endgeräte? Was macht der deutsche Mittelstand mit Katalogen? Was heißt das für den Produktionsprozess? Was kann man tun? Gibt es noch Hoffnung?

Resümee, warum das iPad den Katalog nicht (kurzfristig) ersetzen kann (wird) nannte er:

Der Katalog kommt als Package, der Katalog hat einen Vor- und einen Rücktitel sowie eine Seite 2 und 3. Er bietet eine gegenläufige Blätter-Bewegung, eine besondere Haptik des Papiers und der Katalog ist dick. Außerdem bietet er eine wiederholte "Ansprache" und sorgt für eine zusätzliche Differenzierung auf dem Schreib- oder Couchtisch der Kunden.



VDD-Senioren: die Herren v. l. Prof. Dr. Helmut Rech, Claus Simeth, Rudolf Uhrig , Hermann Thomas und Boris Fuchs, der Autor dieses Berichtes.

Unter mehreren Beispielen führte er den IKEA-Katalog an, dessen Gesamtauflage von 1954 bis 2011 von 500 000 auf 208 Mio. Stück gestiegen ist. Dabei machen sich die Kataloge elektronische Zusatzleistungen wie „Augmented Reality“, „Scannen mit dem iPhone“ und Einblicke mit dem „Röntgenblick“ zu Nutzen. Seinen erfrischenden Vortrag beendete Prof. Hitzges mit einem Bonmot des beliebten Schriftstellers und Schauspielers Curt Götz: „Man sollte die Dinge so nehmen wie sie kommen. Aber man sollte dafür sorgen, dass die Dinge so kommen wie man sie nehmen möchte“.

Der industrielle Schneidprozess als zentrales Element im Workflow von Online-Print

Wer diesen Vortrag von Dr.-Ing. Thomas Kaulitz von Perfecta Schneidmaschinenwerk GmbH Bautzen als Fremdkörper in der Thematik der Tagung empfunden hatte, wurde eines Besseren belehrt. Beim Sammeln der Druckaufträge von Web-to-Print nach dem Modell von „Long Tail“ nimmt nämlich die automatisierte Schneidetechnik eine zentrale Rolle in der Herstellung dieser Produkte ein.

Herr Kaulitz teilte seinen Vortrag in die folgenden Kapitel ein: Geschäftsmodell von Onlinedruckern, der Schneidprozess im Workflow von Onlinedruckern, Anforderungen an den Schneidprozess, Schneidsysteme für Onlinedrucker, spezifische Lösungen für Onlinedrucker und Ausblick.

Wie schon bei der Jahrestagung 2011 in Solms zu erfahren war, werden Schneidmaschinen heute mit einer weitreichenden Peripherie ausgestattet um eine Automatisierung aller vor- und nachgelagerten Prozesse zu ermöglichen. Als seine Kunden nannte Herr Kaulitz so bekannte Namen im Web-to-Print Business wie Flyeralarm und Saxoprint, mit denen man die Perfecta-Schneidmaschinen an deren Anforderungen angepasst habe. Diese Anforderungen bezogen sich auf die Kosten

(maximale Leistung pro Schneidanlage, Anlagenverfügbarkeit und Steuerung der weiteren Prozesse), den Materialfluss, den Zeitaufwand (Rüstzeitoptimierung, Aufbereitung der Daten und kurze Anlernzeiten) sowie die Qualität (neue Servicekonzepte und automatische Fehlerdiagnose).

Was den Ausblick anbelangt, so nannte Herr Kaulitz: Die Onlinedrucker werden weiterhin stark wachsen. Es wird in Zukunft weitere Betriebe geben die das Geschäftsmodell übernehmen. Nach Eigeneinschätzung der Onlinedrucker wird das Marktpotentials in Europa auf derzeit rund 25 Mrd. € geschätzt. Mit der Steigerung des Umsatzes wird die Standardisierung weiter intensiv ausgebaut. Die Systeme werden sich im stärkeren Maße als bisher vernetzen. Die Selbstdiagnosen der System werden sich schnell weiterentwickeln.

Offset, Hybrid und Digitaldruck bieten neue Möglichkeiten, aber auch Herausforderungen für die Online Print Produktion

Reinhold Frech von der KODAK GmbH in Stuttgart hatte nach der Mittagspause die undankbare Aufgabe, das Auditorium wach zu halten. Er stellte heraus, dass KODAK im Digitaldruck erfolgreich ist, dieser Erfolg aber Differenzierung bedeutet habe. So sei man sowohl bei hochvolumigen Anwendungen, als auch beim niedrigvolumigen Commercial Ink-Jet aktiv. Darüber hinaus kombiniere man Digitaldruck mit Offsetdruck und bringe so das Beste aus beiden Welten zusammen. Die Hybridanwendungen dienen vor allem dem Direct Mailing.

Für die veredelten Anwendungen stellte er die KODAK NexPress SX-Familie vor, deren Urfassung bekanntlich mit der Heidelberger Druckmaschinen AG entwickelt wurde und die man jetzt mit einem 5. Druckwerk in Ink-Jet ausgerüstet hat. Neben Sonderfarben kann man damit Hochglanzveredelungen und

Strukturlacke den Druckprodukten hinzufügen. Auch Perlglanz- und Goldfarben sowie Neon Pink Dry Inks lassen sich so verarbeiten. Auch könne man extra-lange Produkte für 6-seitige Broschüren erzeugen.

In seiner Zusammenfassung postulierte Herr Frech: Sowohl Elektrofotografie als auch Ink-Jet sind hervorragend für die Zukunft positioniert. Inj-Jet bietet steigende Qualität bei immer höherer Geschwindigkeit und bietet zusätzliche Digitaldruckpotenziale für hochvolumige Anwendungen. Elektrofotografie positioniert sich mit neuen innovativen Inline-Veredelungslösungen als ideale Ergänzung für den qualitativ hochwertigen Produktionsdruck in Offset.

Technische Herausforderungen des Online-Drucks aus der Sicht eines Maschinenherstellers

Michael Sack von der Heidelberger Druckmaschinen AG hatte zum Schluss der Tagung die Aufgabe übernommen, die technischen Forderungen, die der Online-Druck an die Qualität der Druckmaschinen stellt, zusammenzufassen. Er teilte dabei seinen Vortrag in folgende Kapitel ein: 1. Besonderheiten des Online-Drucks (Geschäftsmodell, Geschäftsbereiche, Erfolgsfaktoren), 2. Herausforderungen des Online-Drucks aus der Sicht eines Maschinen-Herstellers und 3. Technische Lösungen im Bogenoffsetdruck.

Als Herausforderungen aus Sicht des Maschinen-Herstellers nannte er: Die Produktionskosten minimieren, insbesondere die Rüst-Vorgänge verkürzen (automatisieren / vereinfachen), die Bedienerführung / Auftragsvorbereitung, die Waschzeiten, das Einstellen von Passer und Farbe, die visuelle Bogenkontrolle, die Hilfsmittel-Versorgung (Farben, Platten etc.), die Minimieren der Rüst-Makulatur und die Minimieren der „Papierverschwendung“ im Bogenaufbau, insbesondere die Maximieren der verfügbaren Druckfläche

und des Druckformats. Bei der Druckqualität: auf einheitlich hohem Niveau über mehrere (formatgleiche) Maschinen standardisieren, im Großformat auf dem gleichen Niveau wie im Format 70x100 halten (bei vergleichbaren Rüstzeiten) sowie generell hohe Verfügbarkeit der Maschinen garantieren (Overnight-Geschäft wie bei Web-to-Print üblich).

Herr Sack zeigte bei den technischen Lösungen Beispiele von großformatigen Formen wie sie im Web-to-Print-Geschäft üblich sind und wies zum Schluss auf die neue Wendetechnologie im Großformat hin, wie sie in Heidelberg für den Schön-/Widerdruck mit der 3-Trommel-Wendung, der variablen Bogenführung und der Jacket-Technologie nach der Wendung entwickelt wurde. Auch die motorische Papierdehnungs-Kompensation und die Doppelgreifer-Technologie in der Auslage sprach er an.

Nachzutragen ist noch, dass die Teilnehmer sich am Vorabend im Restaurant „Nolle“ in der Georgenstraße beim Bahnhof Friedrichstraße zu einem gemeinsamen Abendessen trafen. Das Lokal unter einer Bahntrasse war so richtig dazu angelegt, den Alt-Berliner Flair den weit angereisten VDD-Mitgliedern und Gästen nahe zu bringen. Eine wichtige Funktion der alljährlich an verschiedenen Orten stattfindenden VDD-Jahrestagungen ist schließlich darin zu sehen, den Zusammenhalt in der Branche zu fördern und viel Raum für den gegenseitigen Gedankenaustausch zu bieten. Dies erscheint in der gegenwärtigen Situation, in der sich der deutsche und internationale Druckmaschinenbau befindet, wichtiger denn je.

Boris Fuchs

Verstorben

Professor Dr.-Ing. Klaus D. Fritsch



Am 21. Oktober 2012 verstarb nach langer Krankheit unser Mitglied Prof. Dr.-Ing. Klaus D. Fritsch, im Alter von 76 Jahren. Klaus Fritsch studierte 1956 - 1961 am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der TH Darmstadt und promovierte dort nach einer fünfjährigen Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter 1967 zum Dr.-Ing. 1968 bis 1971 arbeitete Klaus Fritsch u.a. als Secretary General der ERA (European Rotogravure Association) in München, in den USA für Forschungs- und Entwicklungsprojekte und für kurze Zeit als Technischer Koordinator bei der Axel Springer AG in Hamburg.

1971 bis 1989 war Fritsch Technischer Leiter der Mohndruck GmbH in Gütersloh und wurde 1990 zum Professor an die Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal BUGH für den Bereich Druckweiterverarbeitung, Verpackungstechnik und Logistik berufen. Besondere Verdienste für die BUGH verdiente sich Prof. Fritsch bei der Planung und Bauüberwachung des Campus Freudenberg und dem Ausbau der Lehre und Forschung für die Studiengänge Druckereitechnik, Kommunikationstechnologie Druck und das Lehramt Drucktechnik Sekundarstufe II.

sh

Professor Dr. Dr. h.c.mult. Helmut Böhme

ehem. Präsident der TH/TU Darmstadt



Der langjährige Präsident der TU/TH Darmstadt, Helmut Böhme starb am 29. Dezember 2012 im Alter von 76 Jahren. Helmut Böhme studierte 1955 bis 1959 Geschichte in Tübingen und Hamburg, promovierte 1964 und habilitiert sich 1968 in Hamburg. 1971 wurde er zum Präsident der TH Darmstadt gewählt und ging 1995 in den Ruhestand. Er forschte und lehrte an der TU Darmstadt am Fachbereich Gesellschafts- und Geschichtswissenschaften und auch als Professor für Stadt- und Stadtbaugeschichte am Fachbereich Architektur. Böhme war der Initiator zur Gründung des Hauses für Industriekultur in Darmstadt.

Die Kontakte des deutschen Druckmaschinenbaus über die Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V. (FGD) und des Vereins Deutscher Druckingenieure e.V. (VDD), waren über Jahrzehnte intensiv und vertrauensvoll. Bereits zum 25-jährigen Jubiläum 1980 hatte Prof. Böhme in seiner Jubiläumsansprache zum Thema „Kann man aus der Geschichte der Technik lernen“ die Schlussfolgerung gezogen, dass Forschung und Lehre nicht nur mit bloßem Wachstum geregelt werden kann. Die große Affinität von Prof. Böhme zu Druck und Papier gipfelte in seinem Festvortrag zum 50-jährigen Jubiläum der FGD und

des VDD zum Thema „Drucktechnik und Kommunikation. Die technische und mentale Bedingung sozialen und kulturellen Wandels“. Mit diesem Vortrag postulierte Helmut Böhme die These, dass die „Drucktechnik“ in allen Weiterungen und Verästelungen nach wie vor der Kern aller menschlichen Kommunikation ist und bleibt.

Am 22. Dezember 2008 wurde Helmut Böhme für seine besondere Leistungen für die Lehre und Forschung das Verdienstkreuz 1. Klasse des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland verliehen.
sh



ISSN-Print 2194-9409
ISSN-Internet 2194-9425