

Dimensionsstabilität im Bogenoffsetdruck; Einfluss der Druckbedingungen auf das Dehnungsverhalten

FORSCHUNGSSTELLE 1:

Institut für Zellstoff und Papier – PTS-IZP, Heidenau

Leiter der Forschungsstelle: Prof. Dr. Frank Miletzky

Projektleiter: Dr.-Ing. Rainer Klein

FORSCHUNGSSTELLE 2:

Sächsisches Institut der Druckindustrie (SID)

Leiter der Forschungsstelle: Dr.-Ing. Jürgen Stopporka

Projektleiter: Beatrix Genest

FORSCHUNGSSTELLE 3:

Papiertechnisches Institut – PTS-PTI, München

Leiter der Forschungsstelle: Dr. Frank Miletzky

Projektleiter: Beatrix Mair

LAUFZEIT: 01.10.2015 – 30.09.2017

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Zusammenfassung.....	4
2 Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung	6
2.1 Anlass für das Forschungsprojekt	6
2.2 Stand der Forschung und Entwicklung.....	7
3 Forschungsziel	12
4 Gesamtverfahren	12
5 Material und Methoden inklusive Projektbegleitung	15
5.1 Vorhabensbezogene Leistungen der Industrie – vAWs	15
5.1.1 Versuchsanlage(n)/Gerät(e)	15
5.1.2 Sachleistungen	15
5.1.3 Dienstleistungen	15
5.1.4 Projektbegleitender Ausschuss	16
5.2 Probenmaterial, Geräte, Methoden	17
5.2.1 Papiere.....	17
5.2.2 Rohstoffe für Streichversuche - VESTRA	18
5.2.3 Materialien Druckversuche.....	18
5.3 VESTRA-Versuchsstrechanlage / Kalandar.....	19
5.4 Bogenoffsetdruck und Bewertung	20
5.5 Papierprüfung	22
5.6 Erweiterte Streichfarbenprüfung	23
6 Ergebnisse	24
6.1 AP1 – Marktanalyse zur Dimensionsstabilität (Bogenoffsetdruck)	24
6.2 AP2 – Papierbeschaffung und konventionelle Papierprüfung.....	25
6.3 AP3 – Messung spezieller Papiereigenschaften	28
6.4 AP4 – Strichdickenanalytik	30
6.5 AP5 – Indirekte Messung der Strichgleichmäßigkeit (OBA-Verteilung).....	33
6.6 Bewertung der Papierdehnung im Labor	34
6.7 AP7 – Modellerweiterungen.....	36
6.8 AP8 – Druckversuche	41
6.9 AP9 – Auswertung Druckversuche.....	43
6.10 AP10 – Herstellung modifizierter Papiere (VESTRA).....	54
6.11 AP11 – Simulation Flüssigkeitspenetration und Dehnung	56
6.12 AP12 – Beziehungen Papier- / Druckparameter zu Druckergebnis.....	59
6.13 AP13 – Klassifizierung von Papieren und Fehlerkompensation	64
7 Gegenüberstellung der Ergebnisse den Zielen inkl. Diskussion der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	66
8 Maßnahmen zum Transfer der Forschungsergebnisse	69
8.1 Spezifische Transfermaßnahmen während der Laufzeit des Vorhabens.....	69
8.2 Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach Abschluss des Vorhabens:.....	70

9	Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)	70
9.1	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzung der erzielten Forschungsergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen kmU	70
9.2	Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der kleinen und mittleren Unternehmen kmU	71
9.3	Industrielle Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende	72
10	Schlussfolgerungen	73
11	Durchführende Forschungsstelle	74
	Literaturverzeichnis	75

1 Zusammenfassung

Zielstellung	Ziel des Projektes war die Abschätzung der Dimensionsänderung der Papiere bei definierten Druckbedingungen zur Optimierung der Passerqualität und Minimierung des Ausschusses. Die Papiere sollten bezüglich ihrer Dehnungseigenschaften klassifiziert und Empfehlungen zur Kompensation der Papieränderung durch Druckmaschineneinstellungen und Druckplattenherstellung erarbeitet werden.
Ergebnisse	Im Rahmen des Projektes wurden 22 industriell gefertigte, gestrichene Bilderdruckpapiere, die den Bereich der flächenbezogenen Masse von 90 g/m² bis 170 g/m² abdecken und hinsichtlich ihrer Oberfläche von matt bis glänzend reichten, sowie speziell hergestellte Papiere mit verschiedenen Strichrezepturen und -auftragsarten, unter Variation einer Vielzahl drucktechnischer Parameter, des Sujets sowie der Druckfarbe in einer Bogenoffsetdruckmaschine in Breit- und Schmalbahn im Format 500 mm x 500 mm bedruckt (879 Druckversuche). Die Dimensionsänderungen der Druckbögen in Druckrichtung (Längung) und quer zur Druckrichtung (Dehnung) wurden anhand von Kontrollelementen mit dem Passermessgerät LUCHS erfasst. Dabei wurden Dimensionsänderungen in der Größenordnung von bis zu 0,5 mm gemessen, was beim verwendeten Druckformat einer Größenänderung von 0,1 % entspricht und eine erhebliche Beeinträchtigung der Druckqualität bedeutet. Interessant war, dass die größten Dimensionsänderungen bei den Papieren mit der Laufrichtung parallel zur Zylinderachse (Schmalbahn) auftraten und diese dort gleichzeitig in Form von Längung und Dehnung festgestellt wurden. Es wurde ermittelt, dass das Wasser (Feuchtmittel) nicht den größten Einfluss auf die Dimensionsstabilität hat, d. h. die wasserinduzierte „Quellung“ ist nicht dominant, entgegen der weit verbreiteten Lehrmeinung, für die Verzerrungen verantwortlich. Bedeutungsvoll sind die beim Drucken auf das Papier ausgeübten Kräfte in x-, y-, z-Richtung, insbesondere die Kräfte in Druckrichtung, die vorwiegend bei der Trennung des Papiers vom Gummituch (Abzugskräfte) auf den Bogen ausgeübt werden. Deren Größe wird extrem durch die Farbbelegung der Druckform, also dem Druckbild (Sujet) bestimmt. Von großem Einfluss sind in diesem Zusammenhang die Festigkeiten des Papiers, nämlich die Biegesteifigkeit und die Zugfestigkeit. Hinsichtlich der Biegesteifigkeit sind somit der E-Modul des Papiers und das Flächenträgheitsmoment, welches zur dritten Potenz der Dicke (flächenbezogene Masse) proportional ist, relevant. Da die Papiere meist über die optischen Eigenschaften und ihre flächenbezogene Masse spezifiziert werden, wird häufig von einer Abhängigkeit der Dimensionsstabilität von letzterer gesprochen, d. h. höhergrammige Papiere weisen im allgemeinen niedrige Dimensionsänderung auf. Der Wassereinfluss kommt dadurch zum Tragen, dass mit der Schwächung (bis hin zum Bruch der Bindung) der H-Brückenbindungen zwischen den Fasern eine „wasserbasierte“ Abnahme des E-Moduls und der Zugfestigkeit einhergeht. Des Weiteren wird durch das Wasser die Zügigkeit der Druckfarbe reduziert, wodurch die Abzugskräfte abnehmen, d. h. hier liegen gegenläufige Effekte vor. Geringere Auswirkungen haben das Gummituch, die Eigenschaften der Druckfarbe, die Pressung, die Druckgeschwindigkeit und die Feuchtmittelzusammen-

setzung auf die Dimensionsstabilität.

Die Untersuchungen zum Streichrohpapier, der Strichrezeptur und der Streichtechnologie haben gezeigt, dass der Einfluss dieser Parameter vernachlässigbar ist. Lediglich die Satinage hat zu einer Erhöhung der Dimensionsänderung geführt. Dies wird darauf zurückgeführt, dass bei einer glatteren Oberfläche die einwirkenden Kräfte sofort zur Dimensionsänderung beitragen.

Es wurden umfangreiche Arbeiten zur Modellierung der Flüssigkeitspenetration in das Papier, als notwendige Voraussetzung für eine wasserbasierte Festigkeitsreduzierung, vorgenommen. Dazu wurden die verfügbaren Modelle für reale Papierstrukturen angepasst. Es zeigte sich, dass aufgrund der Ungleichmäßigkeit der Dicke der Striche bereits bei einfach gestrichenen Papieren im 1. Druckwerk Wasser das Streichrohpapier erreichen kann. Dabei sei vermerkt, dass die Penetrationszeit $\ll 10$ ms ist und somit 2 Zehnerpotenzen unter der Zeit für den Bogentransport von Druckwerk zu Druckwerk liegt, d. h. die Penetrationszeiten sind gegenüber der Zeit der Wassereinwirkung auf die Fasern vernachlässigbar. Die Arbeiten zur FE-Modellierung haben ergeben, dass die klimatisch bedingten Dimensionsänderungen abgebildet werden können, jedoch die in den Druckversuchen erhaltenen Dimensionsänderungen damit gegenwärtig noch nicht abschätzbar sind, was auf die noch fehlende Berücksichtigung der beim Druck wirkenden Kräfte zurückzuführen ist.

Schlussfolgerung

Durch die Druckbedingungen wird das Dehnungs- bzw. Längungsverhalten des Papiers beeinflusst. Am stärksten wirkt sich dabei die Farbbelegung des Druckbildes aus. Das bedeutet, dass Kompensationsmethoden, die das Druckbild bei der Belichtung auf die Druckplatte so verzerren, dass die Dimensionsänderung des Bedruckstoffes ausgeglichen werden kann, nicht allein die Papiersorte und -grammatur berücksichtigen können, sondern den jeweiligen Flächenanteil der zu übertragenden Druckfarbe einbeziehen müssen.

Entgegen der weitverbreiteten Ansicht, dass der Breitbahndruck die größeren Dimensionsprobleme bereitet, sollte diese Druckrichtung favorisiert werden.

Mit der vorliegenden Arbeit wird die Dimensionsänderung im Bogenoffsetdruck sehr präzise beschrieben. Jedoch fehlt jetzt noch die Quantifizierung der „sujet-, kräfte- und wasserinduzierten“ Anteile an der Dimensionsänderung.

Zielerreichung

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben IGF 18875 BG der kooperierenden AiF-Forschungsvereinigungen PTS-IZP, SID und PTS-PTI wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.



Unser Dank gilt außerdem den beteiligten Firmen der Papier-, Druck und Zulieferindustrie für die Unterstützung der Arbeiten.

2 Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung

2.1 Anlass für das Forschungsprojekt

Vorangestellte Bemerkungen

Das beantragte Forschungsvorhaben konnte nur durch die enge Zusammenarbeit der Forschungsstellen PTS-IZP (FS1) und PTS-PTI (FS3) der Forschungsvereinigung PTS und SID (FS2) realisiert werden. Jede der Forschungsstellen besaß dabei ihre eigenen Aufgabenbereiche und Expertisen. FS1 war zuständig für alle speziellen Untersuchungen an den eingesetzten Papieren und die zugehörigen Modellüberlegungen. FS2 übernahm alle den Druckbereich betreffenden Aufgaben und die Bewertung der Papiere aus drucktechnischer Sicht. FS3 stellte Papiere mit speziellen Eigenschaften (Strichen) her.

Alle Forschungsstellen haben sich bereits in unterschiedlichen Projekten mit ähnlichen Fragen beschäftigt (z. B. in der Literatur^{1, 2, 3}). Das Forschungsprojekt setzte auf diesen Ergebnissen auf, wobei neue Ansätze bezüglich messtechnischer und modellseitiger Analysen und bezüglich der drucktechnischen Einflussfaktoren verfolgt wurden.

Branchenübergreifende Bedeutung

Bekannt ist, dass sowohl die Papiereigenschaften als auch die Druckbedingungen maßgeblichen Einfluss auf ein optimales Druckergebnis haben. Seit wenigen Jahren wird die „Schuld“ bei Druckproblemen nicht mehr wechselseitig der jeweils anderen Branche zugeschoben, sondern es hat sich langsam eine Zusammenarbeit der Papierhersteller und der Drucker mit der Aufgabe ergeben, die Schwierigkeiten beim Drucken gemeinsam aufzuklären. Dieses Vorgehen wurde im vorliegenden Projekt mit dem Ziel fortgesetzt, die in der Druckindustrie nach wie vor kritischen Passerprobleme besser zu beherrschen und die offenbar sehr komplexen Probleme einer verbesserten Lösung zuzuführen.

Neben den Forschungsstellen der PTS und des SID ermöglichte die Beteiligung von kmUs aus dem Bereich der Druckindustrie, das Projekt erfolgreich durchzuführen, da es so auf die dort real existierenden wichtigsten Probleme gelenkt werden konnte.

Aktuelle Probleme beim Offsetdruck

Die Qualitätsanforderungen an Bogenoffset-Druckerzeugnisse sind in den letzten Jahren enorm gestiegen. So erwarten Auftraggeber heutzutage eine hohe Farbtreue sowie eine saubere Wiedergabe von anspruchsvollen Bildmotiven und technischen Elementen. Um konkurrenzfähig zu bleiben, sehen sich die Druckereien jedoch gleichzeitig gezwungen, Kosten einzusparen. Dazu werden verschiedene Wege eingeschlagen^{4, 5, 6}.

Zuerst besteht ein Trend zu höheren Druckgeschwindigkeiten verbunden mit dem Ziel, die Einrichtezeiten an der Druckmaschine zu verkürzen und die anfallende Makulatur zu reduzieren. Hinzu kommen Bestrebungen, größere Formate kostengünstig zu bedrucken. Der Maschinenbau hat in den letzten Jahrzehnten ständig größere Druckmaschinen bereitgestellt, derzeit mit einer maximalen Bogengröße von bis zu 1,5 m x 2,0 m (**Abb. 1**). Diese drucken zwar prinzipiell kostengünstig, werfen aber verschärft das Problem der größeren Papierdehnung (Passerabweichung) beim Druckvorgang auf.

Vorrangig werden Druckmaschinen derzeit mit großem Aufwand immer weiter automatisiert. So gehört z. B. eine automatische Dichteregelung zur Ermittlung der Farbmengen für ein optimales Druckergebnis seit einigen Jahren zur Standardausstattung der Bogenoffsetmaschinen. Damit wird speziell beim Einrichten neuer Aufträge der Papierverbrauch für diesen Vorgang reduziert. Dieses Vorgehen ist auch insofern wichtig, da die Auflagen schrumpfen und so mehr Auf-

träge pro Tag/Schicht gedruckt werden müssen.

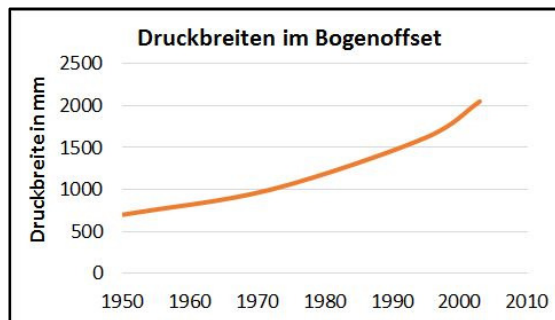


Abb. 1: Entwicklung der Druckbreiten (Bogengrößen) von Druckmaschinen seit 1950

Als zusätzliche Schwierigkeit kommt hinzu, dass sich die Zyklen der Einführung neuer bzw. modifizierter Verbrauchsmaterialien (Papier, Farbe, Zusätze usw.) verkürzen. Damit muss sich das Bedienpersonal oft auf neue Bedingungen einstellen, da auch hier die Kombination der eingesetzten Materialien über die erreichbare Qualität entscheidet.

Somit können Passerschwankungen unterschiedlichste Ursachen haben, wobei Papier einen großen Einfluss hat. Durch den Feuchtigkeitseintrag der Farbe-Feuchtmittel-Emulsion kommt es zu einer Quellung der Papierfasern und damit zu einer Dimensionsänderung des Bedruckstoffs.

Dimensionsverhalten der Papiere beim Bogenoffsetdruck

Trotz vieler Verbesserungen der Dimensionsstabilität von Papieren in den letzten Jahren gibt es im Druckprozess immer noch die beschriebenen, problematischen Effekte, die sich vor allem bei größeren Formaten auf die produzierte Qualität auswirken können.

Je nach Anzahl der Farben pro Seite, aufzutragender Farbmenge, verwendetem Feuchtmittel und Papier fällt die Dehnung des Papiers sehr unterschiedlich aus und muss durch den Maschinenbediener aufwändig kompensiert werden. Abgesehen davon sind noch weitere wichtige Einflussfaktoren zu nennen, wie z. B. die genaue Abwicklung des Druckplatten- auf dem Gummituchzylinder ohne Walken, was ebenfalls zu einer Dimensionsänderung führt.

Treten dimensionsbedingte Passerschwankungen auf, kann dies mittels des mechanischen Spannens der Druckplatte ausgeglichen werden. Beim Verdrucken von Papier mit der Laufrichtung parallel zur Druckrichtung (Breitbahn) ist das Korrigieren der Dimensionsänderungen sehr schwierig. Hier sind die Eingriffsmöglichkeiten in die mechanische Spannung der Druckplatte begrenzt, da die Dimensionsänderung hauptsächlich quer zur Druckrichtung erfolgt. In diesem Fall muss die entstandene Verzerrung bereits bei der Erstellung der Druckplatten berücksichtigt werden.

2.2 Stand der Forschung und Entwicklung

Gestrichene Papiere

Zur Erreichung einer hohen Bildqualität wird ein Teil der Offsetdruckpapiere mit speziellen Strichen versehen, die die jeweiligen Farben bzw. Farbpartikel aufnehmen und stabil halten sollen. Wegen der hohen Feuchtigkeitsaufnahme der Papiere beim Offsetdruck besitzen diese Schichten auch großen Einfluss auf

die Dimensionsstabilität dieser Papiere. Sie beeinflussen außerdem die mögliche Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie die Produktqualität der Papiere (bzw. Papierverbunde) maßgeblich.

Für **Qualitätsdrucke** werden Papiere eingesetzt, die mehrfach gestrichen sind und in einem Grammaturbereich von 75 bis 250 g/m² (Zweifach-Strich) bzw. 100 bis 300 g/m² (Dreifach-Strich) liegen. Diese Drucke werden fast ausschließlich im Bogenoffsetdruck hergestellt. Eine übersichtliche Zusammenfassung des Standes der Technik findet sich in der Literatur⁷.

Für den hochwertigen Offsetdruck werden vorwiegend **holzfreie Rohpapiere** im Bereich 55 bis 80 g/m² eingesetzt. Der Strichaufbau für beidseitigen Strich erfolgt symmetrisch. Typische Strichgewichte und Zusammensetzungen sind in der Literatur zusammengestellt⁸.

Die Dimensionsstabilität für Rohpapiere wurde in Forschungseinrichtungen und bei Herstellern schon mehrmals untersucht (vgl. Literatur^{9, 10}). Möglichkeiten zur Reduzierung der Feuchtedehnung wurde in den PTS-Projekten^{14,15,1} nachgegangen. Offen ist nach wie vor eine genügend genaue Voraussagemöglichkeit für die tatsächliche Dehnung eines konkreten Papiers in der Druckmaschine.

Papierverhalten beim Bogenoff- setdruck

Die Dimensionsstabilität der Papiere ist in einigen Fällen (große Formate, schwierige Druckbilder, Laufrichtung Breitbahn, d. h. Papierfasern parallel zur Druckrichtung) noch nicht befriedigend. Da die Papiere mehrschichtig aufgebaut sind, haben sie die Eigenschaft, dass z. B. Feuchtedehnungskoeffizienten und E-Modul in den Strichschichten von denen des Rohpapiers abweichen. Feuchteinfluss führt so häufig zu ungleichmäßig deformierten Papieren, die nicht qualitätsgerecht be- und verdruckt werden können. Ähnliche Probleme wurden in jüngster Zeit untersucht¹¹. Bekannt sind die Faustregeln, dass die Papiere sich umso mehr dehnen, je dünner sie sind und / oder je mehr und je schneller sie Wasser (Feuchtmittel) aufnehmen. Natürlich dehnen sich kleinere Formate bezüglich der absoluten Abweichungen weniger als Große. Die konkreten Abweichungen für einen Testdruck zeigt beispielhaft **Abb. 2**. Die zulässigen Passerdifferenzen werden mit kleiner als 80 µm bis 100 µm angestrebt.

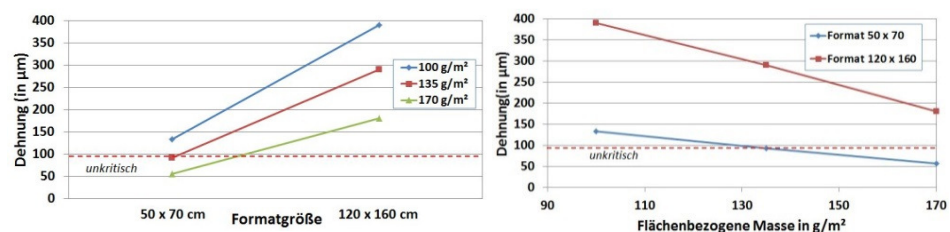


Abb. 2: Passerdifferenzen (Dehnungen) bei unterschiedlichen Formaten und Flächenmassen

In der Praxis stellt die gelegentlich ungenügende Dimensionsstabilität von Offsetdruckpapieren einen relativ häufigen Reklamationsgrund dar. Die Druckplatten bestehen aus 0,3 mm oder 0,4 mm dickem Aluminium und werden nach dem Belichten in die Druckwerke eingespannt. Beim Einrichten eines Druckauftrags werden dann die Teilbilder in die korrekte Lage gebracht.

Dabei ist es nur möglich, die Farbauszüge parallel, quer und diagonal zur Druckrichtung zu verstellen. Eine Verformungskorrektur ist bisher meist nicht

möglich, abgesehen vom Verspannen der Druckplatte. Dazu wird von Hand die Hinterkante in Querrichtung gezogen und neu eingespannt (**Abb. 3**). So kann man die Auswirkung der Papierdehnung an der Hinterkante verringern, es bedarf aber großer Erfahrung, um die Verspannung im geeigneten Ausmaß herbeizuführen. Hinzu kommt, dass der Zeitaufwand für den Eingriff beträchtlich und keinesfalls in den üblichen Rüstzeitkalkulationen enthalten ist.

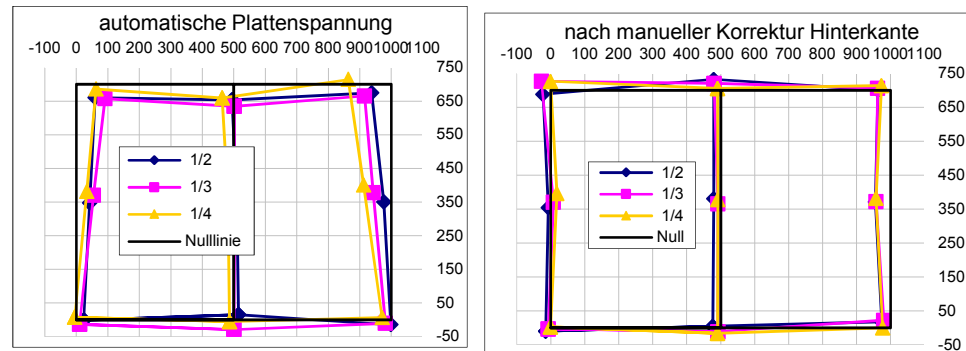


Abb. 3: Position der Farbauszüge zum 1. Druckwerk nach dem automatischen Platteneinzug und Registergrundeinstellung (links) und nach der manuellen Korrektur der Hinterkante (rechts). Die Messpunkte zeigen die Abweichungen der Passer der Druckwerke 2, 3 und 4 zur Idealposition (schwarzes Rechteck, 1. Druckwerk) in µm

Es gibt bereits Lösungen am Markt, die bei der Druckplattenherstellung die erwartete Dimensionsänderung des Papiers berücksichtigen und das Druckbild entsprechend für die aufeinanderfolgenden Druckwerke breiter werdend auf die Platten belichtet. Voraussetzung dafür ist eine bestmögliche Abschätzung der zu erwartenden Dimensionsänderung auf der Basis der Eigenschaften des einzusetzenden Papiers und der Druckbedingungen.

Wichtige Papiereigenschaften für den hochwertigen Offsetdruck

Für Druckprozesse ist die Maßhaltigkeit der Papiere in der Ebene gefordert. Die für hochwertige Offsetpapiere dafür wichtigen Eigenschaften sind für Rohpapiere und Striche in einem Projekt¹ ausführlich untersucht worden.

Für das Dehnungsverhalten beim Druck sind demnach folgende Eigenschaften relevant:

- Oberflächen- und Struktureigenschaften (Porosität, Rauheit, Wegschlagverhalten),
- E-Modul, Biegesteifigkeit und Feuchtdehnung,
- die daraus resultierende Dimensionsstabilität (Dehnverhalten).

Das Projekt konzentrierte sich auf das Zusammenwirken des Wegschlagverhaltens und der daraus resultierenden Dehnung der Papiere unter Beachtung der E-Module aller Schichten, wobei der Einfluss ungleichmäßiger Strichschichten besonders untersucht wurde.

Die Dimensionsstabilität von Rohpapieren wurde bereits in vielen Arbeiten analysiert, z. B. in der Literatur^{12,13,14,15}. Dehnungseigenschaften von Strichen wurden u.a. in der Literatur¹ betrachtet.

Für das Verhalten der Papiere in der Druckmaschine ist nur die X-Y-Dehnung von Interesse, die durch die Feuchtigkeitsübertragung beim Drucken beeinflusst wird. Da meist *MD-Dehnung* < *CD-Dehnung* zu erwarten ist, wird beim Bogen- und Druck CD möglichst in Laufrichtung (Schmalbahn) ausgerichtet. Da aber weitere Verarbeitungsschritte ebenfalls eine bestimmte Laufrichtung voraussetzen,

kann beim Drucken nicht immer darauf Rücksicht genommen werden, weshalb manchmal CD auch in Druckrichtung gedreht wird (Breitbahn).

Zur Messung des **Dehnungsverhaltens** gibt es viele Verfahren. Für Druckuntersuchungen sind vor allem die von Interesse, die Papier nur wenig, im drucktypischen Maße, befeuchten. Hervorzuheben ist hier ein in Literatur¹⁶ beschriebener Labormessplatz, der definiert befeuchtet. Ähnliches wird durch die seit 2014 professionell von IGT angebotene Dehnungsmessung mit dem Probedruckgerät „IGT-Amsterdam“ erreicht (Das Verfahren ist eine Gemeinschaftsentwicklung von IGT und PTS²).

Für die Beurteilung des Verhaltens der Papiere und Striche ist außerdem deren **Elastizitätsmodul (E-Modul)** von Bedeutung, vor allem aber dessen Änderung beim Druckvorgang. Es ist deshalb wichtig, den E-Modul nicht nur im Normklima, sondern auch nach geringer Befeuchtung zu messen (ein starker Abfall des E-Moduls führt zu höheren Gesamtdehnungen¹).

Das **Wegschlagverhalten** von Feuchtmitteln und Offset-Ölen kann sowohl separat gemessen, als auch durch Modelle annähernd berechnet werden¹⁷.

Modellierung von Penetrations- und Dehnungsvorgängen

Modelle können dazu beitragen, die Eigenschaften von Papieren abzuschätzen und zu bewerten oder z. B. Zusammenhänge zwischen Papiereigenschaften und dem Verhalten des Papiers in der Druckmaschine zu erkennen. Im Hinblick auf die Voraussage des Dimensionsverhaltens der Papiere im Druckprozess sind zwei Schritte wesentlich:

- Zunächst muss durch eine Simulation des Penetrationsvorganges ermittelt werden, wie schnell wieviel Fluid in das Papier, insbesondere in das Rohpapier eindringt.
- Dann kann auf der Basis der berechneten Befeuchtungswerte je Papierschicht (Striche, Rohpapier) die zu erwartende Papierdehnung im Druckvorgang abgeschätzt werden.

Durch Modellrechnungen ist es möglich, Papiere mit geringen Dehnungsneigungen von solchen mit höheren Werten zu unterscheiden. Die an der PTS verfügbaren Modelle (Softwarepakete) sind in **Abb. 4** skizziert. Zur Simulation der Penetrationsvorgänge stehen 2 Systeme zur Verfügung: Bosanquet-Modelle (Matlab) und die FEM-Software AMDiS. Die Berechnung des Dehnungsverhaltens bei Kenntnis der Feuchtegehalte erfolgt mit dem Paket LS-DYNA. Alle diese Werkzeuge wurden bereits erfolgreich genutzt^{1,15,17}.

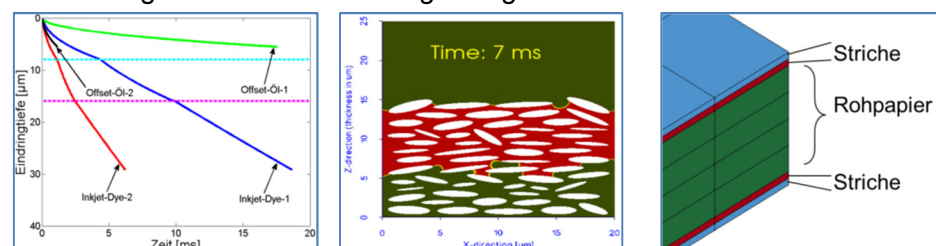


Abb. 4: Bosanquet-Modell (links) und PTS-AMDiS-Modell (Mitte) zur Penetrationssimulation. Teilung des Papiers in quaderförmige „finite Elemente“ - Basis für FEM-Modell zur Dehnungsberechnung (rechts)

Trotz der nützlichen Ergebnisse aus den bisherigen Simulationsrechnungen haben alle bisherigen Modelle den Nachteil, dass sie von einer gleichmäßigen

Schicht- bzw. Strichstruktur ausgehen. Es ist anzunehmen, dass die im Projekt geplante Einbeziehung ungleichmäßiger Strichdicken zu einer Verbesserung der Penetrations- und Dehnungsmodelle und deren Ergebnisse führt.

**Wichtige Druck-
einstellungen**

Neben den Papiereigenschaften beeinflussen die Druckbedingungen die lagegerechte Wiedergabe des Druckbildes. Vordergründig werden das vom Papier aufgenommene Feuchtmittel und die sich daraus ergebende sukzessive Feuchtedehnung des Papiers zwischen den Druckwerken als Ursache für auftretende Lageabweichungen der einzelnen Farbauszüge dafür verantwortlich gemacht. Darüber hinaus wurde der Einfluss der Farbbelegung auf die Dehnung untersucht. Man geht davon aus, dass das Feuchtmittel nicht in erster Linie in den druckfreien Bereichen an das Papier übertragen wird, sondern in den druckenden Bereichen als Bestandteil der Farb-Feuchtmittel-Emulsion. Demzufolge hat der Anteil der druckenden Bereiche größeren Einfluss auf die an das Papier übertragene Feuchtmittelmenge.

Weitere Druckbedingungen mit Einfluss auf die Dimensionsstabilität sind die Druckpressung und die Aufzugshöhe. Im Bogenoffsetdruck wird meist eine Pressung von 0,1 mm eingestellt, d. h. die Außendurchmesser von Gummitchzylinder und Druckzylinder würden sich bei einer Papierdicke von 0 µm 0,1 mm überschneiden. In Abhängigkeit vom Sujet und von den Papiereigenschaften wird die Pressung auftragsbezogen optimiert. Die dadurch auf das Papier einwirkende Kraft erzeugt ebenfalls eine Verformung des Bogens. Beim Austritt aus dem Druckspalt bleibt das Papier zunächst am eingefärbten Gummitch kleben. Beim Weitertransport wird der Bogen vom Gummitch getrennt und die dabei aufgebrachte Zugkraft kann eine zusätzliche Dehnung des Papiers in Druckrichtung verursachen. Die Größe der Zugkraft hängt vom Zylinderumfang der Druckmaschine, der Druckgeschwindigkeit, der Zügigkeit der Druckfarbe und dem Rückhaltevermögen des Gummitchs ab.

**Passermessun-
gen und deren
Auswertung**

Die Messung der Verformung des Druckbildes erfolgt über eine Passermessung mit dem vom SID entwickelten Passermesssystem LUCHS an bis zu 25 Positionen auf dem gedruckten Bogen. Dieses Messsystem ist der international anerkannte Standard zu Bewertung der Passgenauigkeit von Druckmaschinen und es lässt sich ebenfalls dazu nutzen, um die Auswirkungen der Papierdehnung auf den Passer zu analysieren. Dafür werden spezielle Messelemente mitgedruckt, mit denen es möglich ist, die Lage der einzelnen Farbauszüge zueinander µm-genau zu bestimmen. Als Bezugsbasis dient dabei die Lage der Messelemente im ersten Druckwerk, da beim Drucken dieser Elemente das Papier erstmalig mit Feuchtmittel und Druckfarbe in Kontakt kommt. Die darauf folgende Dehnung des Bogens macht sich anhand der Lage der Messelemente, die in den folgenden Druckwerken übertragen werden, bemerkbar.

Aus der Lage der einzelnen Teilelemente zueinander lässt sich die Verformung des Papiers von Druckwerk zu Druckwerk berechnen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich auch Einflüsse aus vorangegangenen Prozessschritten (Plattenherstellung, Plattenspannung, Aufzugshöhen...) in der Passgenauigkeit abbilden und durch geeignete Maßnahmen korrigiert werden müssen.

3 Forschungsziel

Ziel Ziel des Forschungsvorhabens war die Abschätzung der Dimensionsänderung der Papiere bei definierten Druckbedingungen zur Optimierung der Passerqualität und Minimierung des Ausschusses. Die Papiere sollten bezüglich ihrer Dehnungseigenschaften klassifiziert und Empfehlungen zur Kompensation der Papieränderung durch Druckmaschineneinstellungen und Druckplattenherstellung erarbeitet werden.

4 Gesamtvorgehen

Übersicht Die Bearbeitung des Projekts erfolgte entsprechend dem folgenden Ablaufschema in verschiedenen Arbeitspaketen (AP).

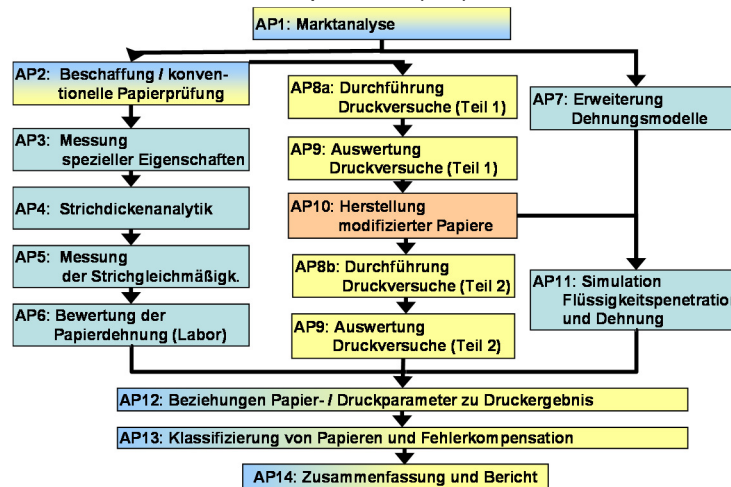


Abb. 5: Ablaufschema des Lösungsweges

Hypothesen

Im Projekt wurden folgende Hypothesen, die verschiedene Einflussfaktoren auf die Papierdehnungen in der Druckmaschine betreffen, überprüft:

Einflussfaktoren aus Papiereigenschaften:

- H1: Eine höhere Ungleichmäßigkeit des Striches bezüglich seiner Schichtdicke führt zu einer größeren Dehnung.
- H2: Mit der Zunahme der Strichdicke nimmt die Dehnung des Papiers ab, da dann weniger Feuchte in das Basispapier eindringen kann.
- H3: Gleiches gilt für Striche mit höherer Porosität, die mehr Flüssigkeit aufnehmen können (insgesamt führt ein hohes Aufnahmevermögen des Striches zu geringerer Dehnung).

Einflussfaktoren beim Drucken:

- H4: Je mehr Zeit zwischen den Druck der einzelnen Farbauszüge ist, desto größer sind die Passerabweichungen (Variation Druckgeschwindigkeit, Druckwerkskombination).
- H5: Auch ohne Wasser findet durch die Krafteinwirkung (vor allem Zugkräfte) eine Dimensionsänderung statt.
- H6: Die Dehnung ist wegen der Krafteinwirkung nicht völlig reversibel. Dies hängt auch vom Wasseraufnahmevermögen des Striches ab.
Wenn das Papier ein zweites Mal bedruckt wird (z. B. Rückseite), tritt ei-

ne geringere Dehnung beim Durchlauf durch die Druckmaschine auf.
 H7: Die Dehnung ist abhängig von der Farbbelegung, da mit der Farbe auch Wasser übertragen wird (Emulsionsbildung). Bei erhöhter Farbe wirken beim Ablösen vom Gummituch auch größere Kräfte auf das Papier. Der Anteil dieser beiden Wirkungsmechanismen an der Dehnung des Papiers ist noch unklar und soll untersucht werden.

In den Arbeitspaketen 2 bis 11 erfolgte die Bereitstellung systematisch strukturierter Daten zur Prüfung der Hypothesen. Die Arbeitspakete 12 und 13 dienen der Prüfung der Hypothesen und Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen.

Arbeitspaket 1	Marktanalyse zur Dimensionsstabilität (Bogenoffsetdruck)
Arbeitspakete 2/3	Papierbeschaffung und konventionelle Papierprüfung; Messung spezieller Papiereigenschaften. Beschaffung industrieller Bogenoffsetpapiere, die den gängigen Bereich der flächenbezogenen Masse sowie die verfügbaren Oberflächen abdecken. Diese Papiere wurden mittels konventioneller Messgrößen charakterisiert. Darüber hinaus erfolgte eine weitergehende Charakterisierung mit Kenngrößen, die im Zusammenhang mit der Dimensionsänderung stehen
Arbeitspaket 4	Strichdickenanalytik Die Industripapiere sowie die VESTRA-Papiere wurden bildanalytisch einer Strichdickenvermessung anhand von REM-RE-Querschnittsbildern unterzogen.
Arbeitspaket 5	Indirekte Messung der Strichgleichmäßigkeit (OBA-Verteilung) Neben der Dicke des Striches ist ihre Gleichmäßigkeit relevant. Sie wurde indirekt über die Verteilung der optischen Aufheller ermittelt.
Arbeitspaket 6	Bewertung der Papierdehnung im Labor Es erfolgten Messungen der klassischen Papierdehnung (Klimaschrank) sowie der Papierdehnung mittels Probedruckgerät.
Arbeitspaket 7	Modellerweiterungen Die an der PTS verfügbaren Modelle wurden dahingehend erweitert, dass Schwankungen der Papierdicke berücksichtigt werden.
Arbeitspaket 8	Durchführung von Druckversuchen Am SID wurden auf einer Bogenoffsetmaschine bei Variation der drucktechnischen Parameter, des Sujets, der Druckfarbe alle Papiere in Breit- und Schmalbahn bedruckt.
Arbeitspaket 9	Auswertung von Druckversuchen Die Druckbögen wurden mit dem Passermessgerät LUCHS hinsichtlich Längung und Dehnung untersucht.

Arbeitspaket 10	Herstellung modifizierter Papiere An der VESTRA wurden 2 Basispapiere mittels verschiedener Strichrezepturen unter Nutzung von Blade und Curtain beschichtet. Die gestrichenen Papiere wurden zusätzlich satiniert.
Arbeitspaket 11	Simulation Flüssigkeitspenetration und Dehnung In Kooperation mit der TU Dresden wurde die Simulation der Penetration des Wassers in den Strich modellseitig weiterentwickelt.
Arbeitspaket 12	Ermittlung von Beziehungen zwischen Parametern und Druckergebnis
Arbeitspaket 13	Klassifizierung von Papieren und Empfehlungen zur Kompensation
Material und Methoden	• 22 industriell gefertigte Bilderdruckpapiere, • 23 VESTRA-Varianten jeweils unsatiniert und satiniert, • 3 verschiedene Drucksujets, • Verschiedene Feuchtmittel, • Mehrere Druckfarben (Standardoffsetfarbe, UV-Farbe, wasserlose Farbe) • 2 Gummitücher.
Abweichung vom Forschungsantrag	Es traten keine Abweichungen zum Forschungsantrag auf.

5 Material und Methoden inklusive Projektbegleitung

5.1 Vorhabensbezogene Leistungen der Industrie – vAWs

5.1.1 Versuchsanlage(n)/Gerät(e)

Geräte/ Versuchsanlagen	Es wurden keine Versuchsanlagen bzw. Geräte der Industrie genutzt
--------------------------------	---

5.1.2 Sachleistungen

Sachleistung 1	Bereitstellung von 11 gestrichenen Bilderdruckpapieren in größerer Menge durch das Druckhaus Mohn Media Mohndruck GmbH.
Sachleistung 2	Lieferung von 2 gestrichenen Bilderdruckpapieren durch die Feldmühle Uetersen GmbH.
Sachleistung 3	Durch die Kastner & Callwey Medien GmbH, Forstinning wurden ebenfalls Bogenoffsetpapiere bereitgestellt, wobei insbesondere Problempapiere ausgewählt wurden.
Sachleistung 4	Bereitstellung von 12 Rollen Streichrohpapier von Sappi 58 g/m ² .
Sachleistung 5	Bereitstellung von Materialien für VESTRA-Streichversuche (Pigmente) Omya, Evonik
Sachleistung 6	Vom Druckhaus Mainfranken wurden verschiedene Bogenoffsetpapiere zur Verfügung gestellt, die unterschiedliche Eigenschaften in Bezug auf die Dimensionsstabilität aufwiesen.
Sachleistung 7	Die Druckerei zu Altenburg (DZA) stellte Druckmuster und Papiere, bei denen Passerprobleme aufgetreten sind, bei.

5.1.3 Dienstleistungen

Dienstleistung 1	Im Rahmen der Marktanalyse fand ein Beratungsgespräch zu den Entwicklungstrends in der Druckindustrie durch einen Mitarbeiter der Firma BST eltro-mat International GmbH (Bielefeld) statt.
Dienstleistung 2	Bei der Marktanalyse und abschließenden Auswertung des Fragebogens erfolgte eine umfassende Beratungsleistung durch die Druckerei Vettters GmbH & Co. KG, Radeburg.
Dienstleistung 3	Beratung und Softwareschulung AMDIS durch die TU Dresden, Fakultät für Mathematik, Institut für wissenschaftliches Rechnen.
Dienstleistung 4	Im Rahmen des AP1 erfolgte eine Befragung zu der Problematik der Dimensionsänderung im Offsetdruck sowie zu allgemeinen Drucktrends an der 10 Betriebe teilgenommen haben. Aufgrund des geringen zeitlichen (ca. 1-1,5 h) und

monetären Aufwandes je Firma, wurde keine konkreten Bestätigungen der beteiligten Firmen eingeholt.

Dienstleistung 5	Mit der Druckerei zu Altenburg (DZA) erfolgte eine Beratung zur Problematik Passerhaltigkeit und Dimensionsstabilität.
Dienstleistung 6	Mit Salzlanddruck erfolgte eine Beratung zu Entwicklungstrends in der Druckindustrie.
Dienstleistung 7	Eine weitere Beratung zu Entwicklungstrends in der Druckindustrie, insbesondere bei Gummitüchern, fand mit der Firma Felix Böttcher GmbH statt.
Dienstleistung 8	Vier Sitzungen a 7 Personen des projektbegleitenden Ausschusses.

5.1.4 Projektbegleitender Ausschuss

1. Sitzung	F&E-Forum am 11.11.2015 an der PTS München In der ersten Sitzung wurde das Ziel des Projektes sowie der projektbegleitende Ausschuss vorgestellt. Es wurden der Stand der Papiercharakterisierung kritisch bewertet sowie die Einflussfaktoren auf die Papierdehnung herausgearbeitet. Des Weiteren wurde das Papierverhalten beim Bogenoffsetdruck beleuchtet. Die papier- und druckbezogenen Arbeitshypothesen wurden vorgestellt. Abschließend wurde grob auf die Arbeitspakete und den Zeitplan eingegangen. Der im Antrag erläuterten Vorgehensweise wurde zugestimmt.
2. Sitzung	F&E-Forum am 14.06.2016 an der PTS München Es wurden die Ergebnisse der umfassenden Ausprüfung der Industripapiere vorgestellt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die getroffene Papierauswahl sowohl hinsichtlich der flächenbezogenen Masse als auch der Oberflächenstruktur und weiteren Papiereigenschaften den Markt gut abbildet, d. h. es war eine ausreichende Spreizung der Papiere hinsichtlich der relevanten Papiereigenschaften vorhanden. Für die Penetration des Wassers zum „quellfähigen“ Basispapier ist die Dicke der Strichschicht, die teilweise lokal stark schwankt, verantwortlich. Für die Papiere wurde diese Schwankungsbreite herausgearbeitet. Diese Daten waren auch gleichzeitig eine wesentliche Eingangsgröße für die vorgestellte Weiterentwicklung des MATLAB-Programms für die Penetration auf der Grundlage der Bosanquet-Differenzialgleichung. Es wurden die Ergebnisse der Druckvorversuche vorgestellt. Eingegangen wurde auf die Druckmaschine, die Druckformen (Sujet) sowie die Passerauswertung mittels LUCHS. Um die Anzahl der Druckversuche zu minimieren, wurden die betrachteten drucktechnischen Parameter vorerst nur an drei Druckpapieren umfassend variiert. Es sollten die dimensionsrelevanten Einflussgrößen ermittelt werden. Nur letztere sollten bei den weiteren Druckversuchen geändert werden. Diese effiziente Vorgehensweise wurde von den Begleitern begrüßt. Des Weiteren wurde das Programm der VESTRA-Versuche zum Streichen von

Bilderdruckpapier vorgestellt und lebhaft diskutiert. Der geplante Vergleich von Blade und Curtain-Coater wurde sehr positiv gesehen.

3. Sitzung

F&E-Forum am 24.11.2016 an der PTS München

Es wurden die Ergebnisse des Drucks der drei Industripapiere bei voller Variation der gewählten Einflussgrößen vorgestellt. Herausgearbeitet wurden der papierseitige Einfluss sowie der Einfluss des Druckens, wie Sujets, Laufrichtung (SB/BB), Feuchtmittels (Art und Menge), Druckfarbe, Druckpressung auf die Längung und Dehnung der Papiere.

Unerwartet war die starke Ausprägung der Längung der Papiere, insbesondere beim Schmalbahndruck. Seitens des Auditoriums wurde dies mit Überraschung zur Kenntnis genommen und angeregt die papier- bzw. drucktechnischen Ursachen dafür herauszuarbeiten.

4. Sitzung

F&E-Forum am 06.04.2017 an der PTS München

Es wurden die Ergebnisse des Drucks sowohl aller Industripapiere als auch der VESTRA-Varianten präsentiert.

Bestätigt wurde die starke Ausprägung der Längung der Papiere, insbesondere beim Schmalbahndruck.

Überrascht waren die Industrievertreter von dem geringen Einfluss der Strichrezeptur sowie des Streichaggregats auf die Dimensionsänderung. Nicht erwartet wurde die starke Abhängigkeit der Dimensionsänderung von der Satinage.

Mit den Projektbegleitern wurde vereinbart, dass die Messungen bis zum Sommer abgeschlossen sein sollen und die wesentlichen Ergebnisse des Projektes auf dem Streichereisymposium in 09/2017 vorgestellt werden sollen.

5.2 Probenmaterial, Geräte, Methoden

5.2.1 Papiere

Industripapiere Um die grundlegenden Einflüsse auf die Dimensionsänderung beim Offsetdruck herauszuarbeiten wurden 22 Bilderdruckpapieren beschafft. Für die drei fett gekennzeichneten Papiere war die Anzahl der betrachteten Einflussparameter maximal.

Tab. 1: Industriell gefertigte Bilderdruckpapiere mit Kurzcharakterisierung

Nr.	Sorte	m _A	m _A	s	G _{Tappi 75°}	PPS in µm			Nr.	Sorte	m _A	m _A	s	G _{Tappi 75°}	PPS in µm		
		g/m²	g/m²	µm	%	OS	US				g/m²	g/m²	µm	%	OS	US	
D01	Bilderdruckpapier	90	89,3	68,4	61,3	1,16	1,06	D12	Bilderdruckpapier	135	135,8	108,6	35,8	1,25	1,48		
D02	Bilderdruckpapier	90	89,7	72,7	31,7	1,35	1,51	D13	Bilderdruckpapier	135	135,1	137,7	13,2	4,00	3,43		
D03	Bilderdruckpapier	90	90,6	79,0	21,9	2,38	2,28	D14	Bilderdruckpapier	150	149,3	161,6	12,2	4,01	3,82		
D04	Bilderdruckpapier	90	88,5	75,8	15,3	2,84	3,15	D15	Bilderdruckpapier	150	148,2	107,5	66,5	0,45	0,51		
D05	Bilderdruckpapier	90	90,8	79,1	22,3	2,41	2,52	D16	Bilderdruckpapier	150	148,2	129,1	18,4	1,62	1,53		
D40	Bilderdruckpapier	90	92,2	68,1	67,6	0,93	1,02	D17	Bilderdruckpapier	150	148,5	162,6	9,4	4,16	3,85		
D07	Bilderdruckpapier	115	115,5	92,5	37,9	1,38	1,38	D18	Bilderdruckpapier	170	169,4	122,1	66,1	0,47	0,60		
D08	Bilderdruckpapier	115	114,5	122,1	13,3	3,24	6,19	D19	Bilderdruckpapier	170	169,8	156,3	24,8	1,46	1,92		
D09	Bilderdruckpapier	130	131,2	102,3	68,8	0,70	0,60	D20	Bilderdruckpapier	170	168,3	154,7	23,3	1,61	1,75		
D10	Bilderdruckpapier	135	135,4	91,7	64,1	0,53	0,55	D06	Bilderdruckpapier	170	169,9	124,1	65,8	0,46	0,55		
D11	Bilderdruckpapier	135	134,5	100,3	72,4	0,63	0,61	D41	Bilderdruckpapier	170	168,6	131,3	69,2	1,07	1,27		
fett	Papiere für umfassende Druckversuche																

Streichrohpa-pie-re Im Wissen darum, dass sowohl das Streichrohpa-pie-re als auch der Strich einen Einfluss auf die Dimensionsänderung im Offsetdruck haben, wurden zwei Basispa-pie-re, die sich in ihrer Formation unterscheiden, für die Streichversuche besorgt:

- Magnostar – 58 g/m²,
- Laserpa-pie-re – 80 g/m².

5.2.2 Rohstoffe für Streichversuche - VESTRA

Pigmente Folgende Pigmente kamen zum Einsatz:

- Hydrocarb 60 ME (HC60) – Kreide – Omya AG,
- Hydrocarb 90 ME (HC90) – Kreide – Omya AG,
- Hydragloss 90 EM (HG90) – Kaolin – OMYA AG,
- Covercarb 75 ME (CC75) – Kreide – Omya AG
- EXP 4115 – Siliciumdioxid – Evonik.

Details zu den Pigmenten und Rezepturen sind im AP 10 sowie im **Anhang** und der Datei **IGF 18875 BG – FB 16_17 – Dimensionsstabilität - VESTRA-Versuch.pdf** zusammengestellt.

Binder/Additive Eine rezepturabhängige Zusammenstellung der Binder sowie der eingesetzten Additive können dem **Anhang** bzw. der Datei: **IGF 18875 BG – FB 16_17 – Dimensionsstabilität - VESTRA-Versuch.pdf** entnommen werden.

5.2.3 Materialien Druckversuche

Drucksujets Die umfangreichen Druckversuche wurden drei Sujets entworfen. Das Sujet „**leer**“ beinhaltet ausschließlich 25 Messelemente zur Bestimmung der Dimensionsänderung (Längung und Dehnung). Bei den Sujets „**Raster**“ bzw. „**Vollton**“ kommen zu den Messelementen eine Rasterfläche bzw. Volltonfläche hinzu (**Abb. 6**). Weitere Details in AP 10.

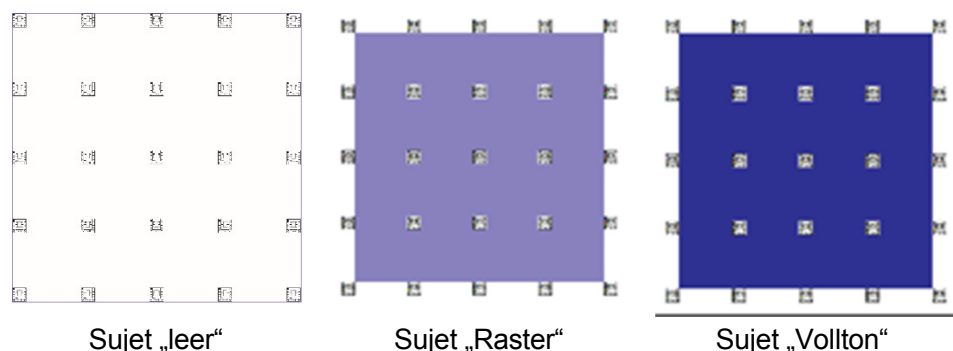


Abb. 6: Drucksujets mit unterschiedlicher Farbbelegung

Druckfarben	Folgende Offsetdruckfarben kamen zum Einsatz: • Standardoffsetfarben Flint Novavit F700 Speed Plus BMCY, • UV-härtende Offsetfarben Huber NewV set Premium BCMY. Offsetfarben für den wasserlosen Offsetdruck Flint Novaless Power Dry.
Gummitücher	Druckversuche wurden sowohl mit einem Standardgummituch (Phönix Amaranth High Speed) als auch einem Gummituch mit verbesserten Abzugsverhalten und erhöhter Rauigkeit (BöttcherTop 7600 Twin) vorgenommen.
Feuchtmittel	0 % bzw. 5 % Isopropylalkohol, 3 % Feuchtmittelzusatz SunFount
Druckplatten	Agfa Energy Elite, Toray waterless

5.3 VESTRA-Versuchsstreichenanlage / Kalandrier

Anlage / Kalandrier Die VESTRA Versuchsstreichenanlage ist eine Anlage mit der Papier- und Kartonqualitäten unter Praxisbedingungen gestrichen werden können. Die Papierbahn wird von der Abrollung zum Auftragswerk über die Trocknung wieder zur Aufrollung von zwei Zugpressen gezogen. Das nachfolgende Schema verdeutlicht die einzelnen Verfahrensschritte (**Abb. 7**).

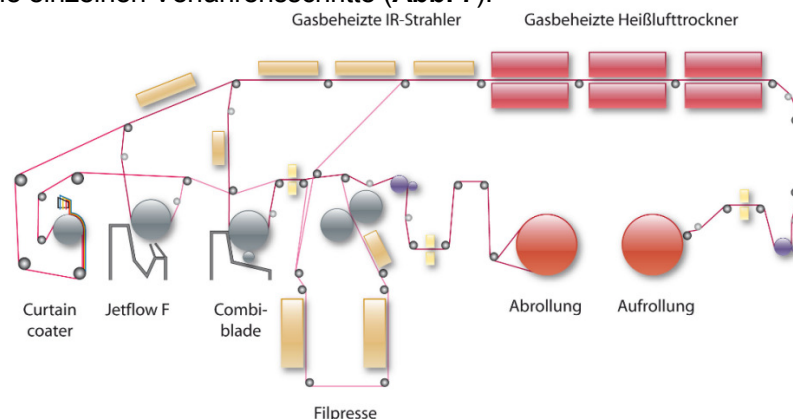


Abb. 7: Prinzipskizze – VESTRA-Versuchsstreichenanlage

Die wesentlichen Daten der Anlage können **Tab. 2** entnommen werden.

Tab. 2: Allgemeine Daten der Versuchsstreichenanlage VESTRA

Allgemeine Daten Streichmaschine	
Hersteller:	Jagenberg, Voith, Andritz, GapCon
Arbeitsbreite:	0,6 m
Geschwindigkeit:	50 - 2500 m/min
Flächengewicht:	28 - 400 g/m ²
Auftragsgewicht :	1 - 18 g/m ² pro Seite

Eine umfassende Beschreibung der Versuchsstreichenanlage VESTRA sowie des dazugehörigen Kalenders enthalten der **Anhang** bzw. die Datei:

IGF 18875 BG - FB 16_17 - Dimensionsstabilität Anhang - VESTRA.pdf

Bei diesem Projekt wurde die Versuchsanlage der PTS eingesetzt, um Muster-

material mit ausgewählten Papiereigenschaften für die Verarbeitung in der Druckmaschine zu kreieren. Zu diesem Zweck kamen ein traditionelles Auftragswerk (CombiBlade mit Walzenauftrag und Blade Dosierung) und das Curtainsystem (3-lagiger Slide) im Vor- wie auch im Deckstrich zum Einsatz.

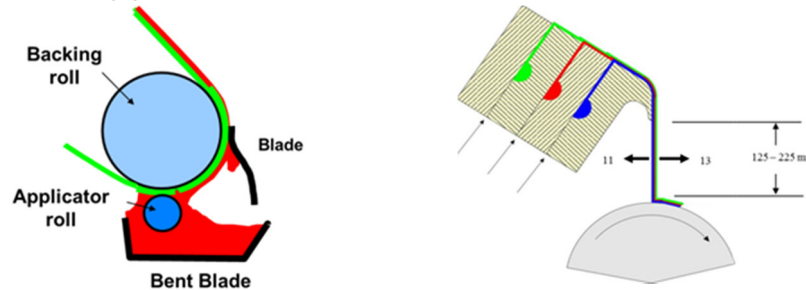


Abb. 8: Prinzipskizzen: CombiBlade und Curtain Coater

Die Verarbeitungsgeschwindigkeit lag generell bei 800 m/min. Sowohl im Curtain, als auch bedingt durch den Einsatz von rheologisch sehr anspruchsvollen Pigmenten musste teilweise die Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Verarbeitungsverhalten während der Versuche neu angepasst bzw. optimiert werden. Teilweise war eine Reduzierung der Geschwindigkeit auf bis zu 600 m/min erforderlich.

Die Satinage der Versuchspapiere erfolgte Offline in einem 12 Walzen Versuchskalender der PTS (siehe **Anhang**).

Tab. 3: Allgemeine Daten des Satinagekalenders

Allgemeine Daten Streichmaschine	
Hersteller:	Jagenberg, Voith, Andritz, GapCon
Arbeitsbreite:	0,6 m
Geschwindigkeit:	50 - 2500 m/min
Flächengewicht:	28 - 400 g/m ²
Auftragsgewicht:	1 - 18 g/m ² pro Seite

In Vorversuchen wurden die zum Erreichen einer praxisnahen Qualität (Glätte, Glanz) erforderlichen Kalenderparameter unter Verwendung einer zweifach-gestrichenen Standardqualität ermittelt und für alle Versuchspunkte festgelegt.

- Geschwindigkeit: 300 m/min,
- Nippanzahl: 11,
- Temperatur: 80 °C,
- Linienkraft: 180 N/mm.

Neben den sogenannten „fertig“ gestrichenen Varianten sollten in diesem Projekt auch die Zwischen- sowie Ausgangsqualitäten betrachtet werden. Zu diesem Zweck wurden diese Zwischenschritte und das Rohpapier auch entsprechend unter den gleichen Bedingungen im Kalender bearbeitet.

5.4 Bogenoffsetdruck und Bewertung

Speedmaster CD 74

Für die Druckversuche wurde eine Bogenoffset-Druckmaschine Heidelberg Speedmaster CD 74 genutzt. Das maximale Bogenformat beträgt 740 mm x 600 mm, die maximale Druckgeschwindigkeit 15.000 Bg/h. Die Druckmaschine verfügt über 5 Druckwerke ein Lackwerk, eine doppelte Auslageverlänge-

rung sowie diverse Trockeneinrichtungen (IR, UV, Warmluft).



Abb. 9: Bogenoffsetmaschine Speedmaster CD 74-5¹⁸

Druckbedingungen 10.000 Bg/h (einzelne Versuche mit 6.000 Bg/h), Reibertemperatur 27 °C, Pressungseinstellungen 0,07/0,10/0,13 mm bezogen auf die jeweilige Papierdicke, Aufzugshöhen PZ 0,14 - 0,15 mm, GT 0,02 - 0,03 mm, Feuchtmitteltemperatur 12 °C, Feuchtmittelführung Standard (Schmiergrenze), 15 % bzw. 30 % Überfeuchtung, (bei 0 % IPA 5 % und 15 % Überfeuchtung).

Passermesssystem LUCHS

Die Passermessung erfolgte mit dem Messsystem LUCHS (**Abb. 10**). Es wurden 25 Messelemente gedruckt, wobei jedes Druckwerk ein eigenes Koordinatensystem aufweist.

Das Messsystem erfasst die Messelemente mit einer Kamera und berechnet die Lage der einzelnen Teilfarbauszüge mit einer Genauigkeit im Bereich von 1 µm. Durch den Vergleich der Ergebnisse für die einzelnen Positionen lassen sich Rückschlüsse auf die Verformung des Bedruckstoffes ziehen.

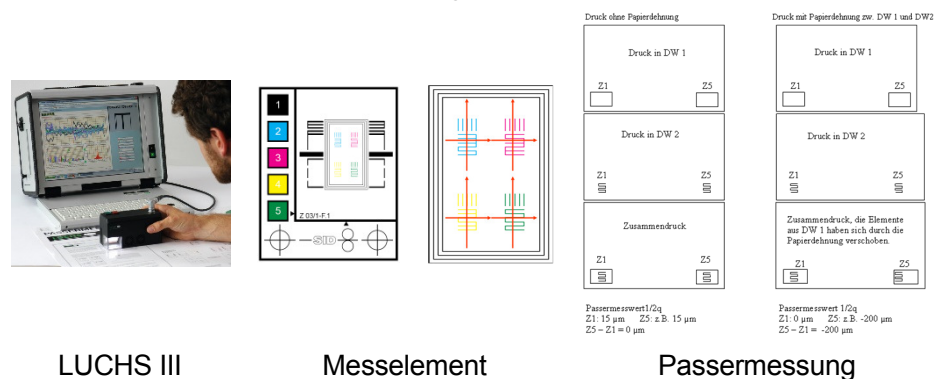


Abb. 10: Passermessung mittels Messsystem LUCHS

5.5 Papierprüfung

Konventionelle Papierprüfung

Die folgenden konventionellen Messverfahren wurden angewandt:

Tab. 4: Messverfahren zur konventionellen Papiercharakterisierung

	Verfügbare Norm(en)
Allgemeine Eigenschaften	
flächenbezogene Masse	DIN EN ISO 536
Dicke, Rohdichte, spez. Volumen	DIN EN ISO 534
Optische Eigenschaften	
Weißgrad (R_{457})	DIN 53145
Farbwerte $L^*a^*b^*$	DIN ISO 13655
Opazität	DIN 53146
Glanz (DIN 45°, DIN 75°)	DIN EN 14086
Festigkeitseigenschaften	
Reißfestigkeit	DIN EN ISO 1924-2
E-Modul	ISO EN 1924-2
Oberflächenstruktureigenschaften	
Parker Print Surf	DIN ISO 8791-4

Konkrete Ergebnisse der untersuchten Papiere sind in den **Anlagen** zusammengestellt.

Erweiterte Pa- pierprüfung

Verschiedene
Messverfahren

Folgende erweiterte Papierprüfungen wurden durchgeführt¹⁹:

- Äußere Struktur → optische Topografie mittels Fokusvariation (Alicona IFM G3),
- Innere Struktur → bildanalytische Strichdickenanalyse anhand von REM-RE-Bildern,
- Porosität → Hg-Porosimeter,
- Wegschlagverhalten von Flüssigkeiten (HFC-Messung).

Erweiterte Pa- pierprüfung

Strichgleichmä-
ßigkeit

Besonders bei den gestrichenen, grafischen Papieren wird das Verarbeitungsergebnis z. B. Druckergebnis neben der Gesamtmasseverteilung entscheidend von der Strichschicht und ihrer partiellen Schwankung bestimmt. Eine direkte messtechnische Erfassung der Strichdicke und ihrer Schwankung ist mit einfachen messtechnischen Mitteln bisher nicht möglich, weshalb in der Regel auf indirekte Methoden zurückgegriffen wird. Im Allgemeinen enthalten gestrichene grafische Papiere im Strich optische Aufheller (OBA – optical brightness agent). Diese haben die Aufgabe Licht aus dem ultravioletten Bereich ($< 420 \text{ nm}$) anteilig in den Sichtbaren zu transformieren, wodurch die Papiere weißer erscheinen. Unter UV-Lichteinstrahlung wird die Verteilung der OBA's sichtbar und repräsentiert die Gleichmäßigkeit der Strichschicht. Die Bewertung erfolgt bisher visuell und subjektiv.

Im Projekt wurde diese Vorgehensweise objektiviert und die Gleichmäßigkeit der Strichschicht einerseits visualisiert und andererseits mit Kenngrößen quantifiziert, wozu ein Versuchsstand OBA-Verteilungsmessung aufgebaut wurde (**Abb. 11**).

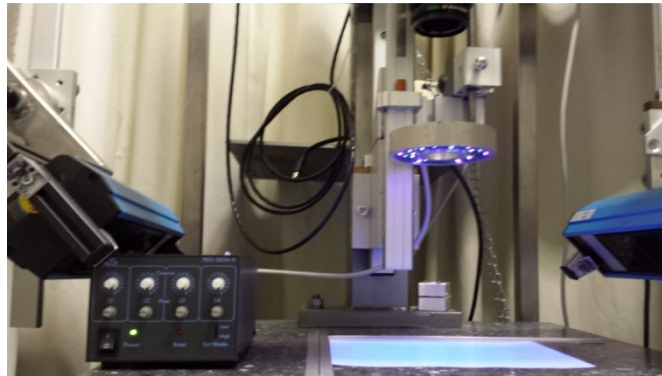


Abb. 11: Versuchsstand zur UV-Messung – UV-Diodenringlicht – 4 Wellenlängen (365 nm, 375 nm, 385 nm, 395 nm)

5.6 Erweiterte Streichfarbenprüfung

WRV-Messung

Nach den Versuchen am Pilotcoater und den ersten durchgeführten Druckversuchen unter Verwendung der an der VESTRA hergestellten Papiere im Rahmen dieses Projektes ergab sich die Fragestellung nach dem Verhalten der Strichschicht und damit auch der verwendeten Streichfarbe im flüssigen Zustand. Die gezielte Auswahl von Pigmenten in den verwendeten Streichfarben sollte, sofern vorhanden, einen Einfluss auf die Dimensionsstabilität erkennbar machen.

Um dieser wichtigen Randbedingung Rechnung zu tragen, ist eine passgenaue Validierung hinsichtlich des Wasserrückhaltvermögens von großer Bedeutung. Diese Bewertung könnte bereits im wässrigen Milieu durchgeführt werden, so dass die bis dato notwendigen nachgelagerter Auftrags- und Trocknungsschritte nicht mehr benötigt würden, was den Messvorgang entsprechend verkürzt. Dieser zentrale Analysenschritt lässt sich jedoch nur mit einem Water Retention Meter realisieren. Im Rahmen des Projektes wurde deshalb ein WRV-Messgerät AA-GWR-250 der Firma „novi profibre“ beschafft und die erforderliche Methodik erarbeitet.

6 Ergebnisse

6.1 AP1 – Marktanalyse zur Dimensionsstabilität (Bogenoffsetdruck)

Ziel Zielstellung dieses AP's war die Herausarbeitung der relevanten Einflussfaktoren auf die Dimensionsstabilität aus der Sicht der Papier- und Druckindustrie sowie die Erfassung von Entwicklungstrends.

Dimensionsänderung beim Offsetdruck

In **Abb. 12** ist der Verfahrenszug der Druckproduktherstellung unter Berücksichtigung des Einflusses der Dimensionsänderung dargestellt.

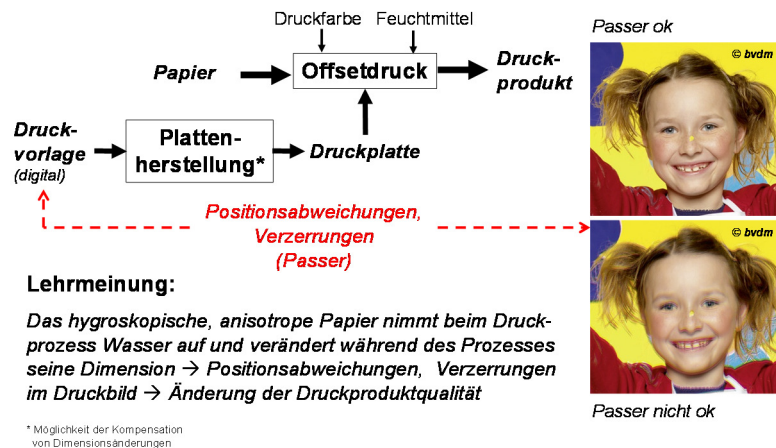


Abb. 12: Dimensionsänderung beim Offsetdruck

Als wesentliche Ursache der Dimensionsänderung wird allgemein das beim Offsetdruck verwendete Wischwasser, das eine Quellung der Fasern und somit eine Änderung der Papierabmessungen bewirkt, angesehen. Es sollte geklärt werden, ob diese Lehrbuchmeinung die realen Verhältnisse korrekt abbildet.

Einflussfaktoren auf Dimensionsänderung

Real sind die Faktoren, die eine Änderung der Papierdimension hervorrufen, wesentlich vielgestaltiger, wie **Abb. 13** entnommen werden kann.

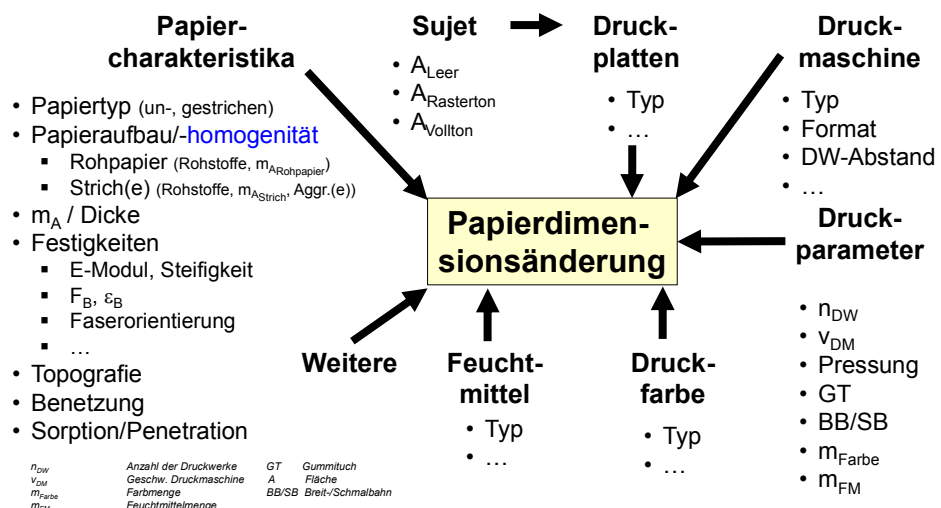
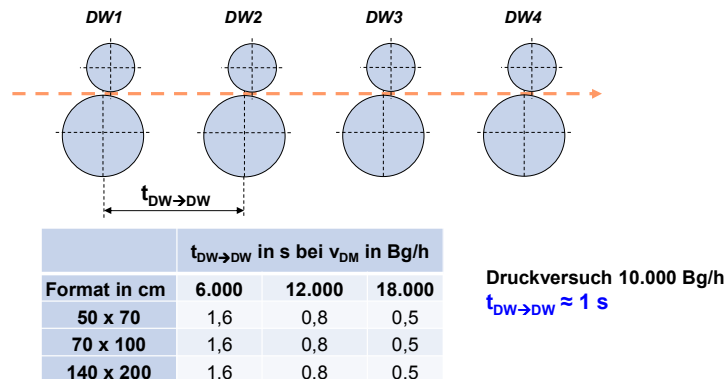


Abb. 13: Einflussfaktoren auf Papierdimensionsänderung

Mit Ausnahme der Druckmaschine wurden die in **Abb. 13** aufgelisteten Einflussgrößen im Projekt näher beleuchtet.

Zeitverhalten beim Bogenoff- setdruck

Neben den geometrischen Verhältnissen spielt auch das Zeitverhalten eine nicht unwesentliche Rolle bei der Dimensionsänderung des Papiers. In **Abb. 14** ist die Durchlaufzeit des Papierbogens durch eine Bogenoffsetmaschine angegeben.



Druckspaltbreite, die zur Farbübertragung benötigt wird, beträgt $\approx 5\text{--}10 \text{ mm}$
Bei unkomprimierbarem Material ist die optimale Pressung $100 \text{ N/cm}^2 \rightarrow$ bei Kompression kommt es zur Verschiebung (ähnlich der Druckpunktzunahme) $\rightarrow$ resultierender Druckbereich $\approx 0,8 - 2,0 \text{ MPa}$. ($1 \text{ N/cm}^2 = 1 \text{ MPa}$).

Abb. 14: Zeitverhalten in Bogendruckmaschine

Es wird deutlich, dass je nach Bogenanzahl pro Stunde die Zeit, die ein Bogen von Druckwerk (Farb- und Wasserübertragung) zu Druckwerk benötigt, zwischen $0,5 \text{ s}$ und $1,6 \text{ s}$ beträgt. Diese Zeitspanne steht somit den niedrigviskosen Druckfarbenbestandteilen und dem Wasser (Wischwasser, in Druckfarbe emulgiertes Wasser) zum Wegschlagen in das Papier zur Verfügung, bevor im nächsten Druckwerk сюжетabhängig weitere Flüssigkeitsmengen übertragen werden.

Entwicklungs- trends

Die Qualitätsanforderungen an Bogenoffset-Druckerzeugnisse sind weiterhin steigend und stehen einem hohen Kostendruck gegenüber. Daraus ergibt sich ein Trend zu hohen Druckgeschwindigkeiten und größeren Formaten, ergänzt durch zunehmende Automatisierung, mit dem Ziel, Rüstzeiten zu verkürzen und die Maschine optimal einzustellen.

Dabei verschärft sich das Problem der Passerabweichung aufgrund von Papierdehnung, da hierfür keine automatisierte Lösung seitens der Druckmaschine zur Verfügung steht. Eine Korrektur erfolgt entweder durch manuellen Eingriff in die Druckplattenspannung oder durch Vorwegnahme der Druckbildverzerrung bei der Herstellung der Druckplatten. Hierfür ist es wesentlich, die zu erwartende Dimensionsänderung korrekt vorhersagen zu können, denn nur so kann eine verlässliche und reproduzierbare Verbesserung der erreichbaren Qualität erreicht werden.

6.2 AP2 – Papierbeschaffung und konventionelle Papierprüfung

Ziel Ziel dieses AP's war die Beschaffung von Papiermustern, die einerseits den Bereich der Bilderdruckpapiere gut abbilden und andererseits als Problempapiere identifiziert wurden.

Vorbemerkungen In den folgenden Kapiteln werden aus Gründen des Umfangs nur ausgewählte Ergebnisdarstellungen (Grafiken) präsentiert. Weiterführende Grafiken sind im

Anhang bzw. der Datei IGF 18875 BG - FB 16_17 - Dimensionsstabilität - Anhang.docx enthalten.

Allgemeine Eigenschaften Industriepapiere

Im Projekt wurden 22 Bilderdruckpapiere, die den gängigen Bereich der flächenbezogenen Masse von 90 g/m² bis 170 g/m² für Bilderdruckpapiere repräsentieren, beschafft (**Tab. 1, Abb. 15**).

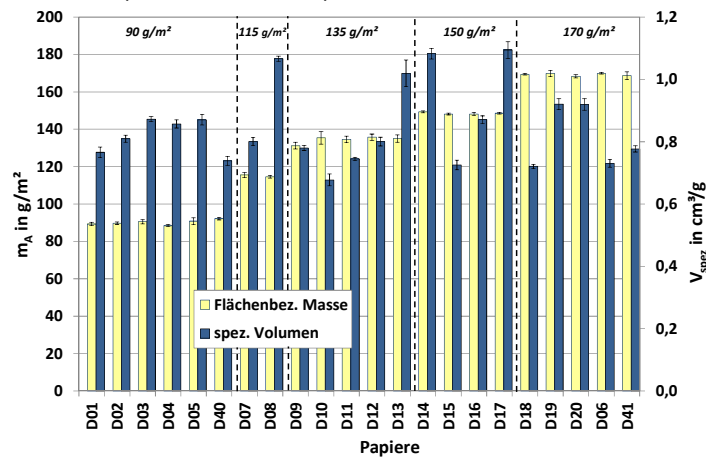


Abb. 15: Flächenbezogene Masse, V_{spez} - Industriepapiere

Innerhalb der Stufung der flächenbezogenen Masse wiesen die Papiere variierende Volumina auf, was einerseits mit dem Porensystem und andererseits mit der Oberflächengüte (matt bis glänzend) einhergeht.

VESTRA-Papiere

Bei den VESTRA-Papiervarianten lag hinsichtlich der flächenbezogenen Masse aufgrund der beiden Rohpapiere von 58 g/m² und 80 g/m² und den Strichauftrag von ca. 10 g/m² je Strich und Seite kaum eine Variation vor.

Topografie / Glätte

Die Rauheit nach Parker Print Surf für die Industriepapiere in den Bereichen der flächenbezogenen Masse kann **Abb. 16** entnommen werden. In jedem Bereich sind sowohl raue als auch glatte bis sehr glatte Papiere vertreten, womit ein großer Bereich hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit abgedeckt wird.

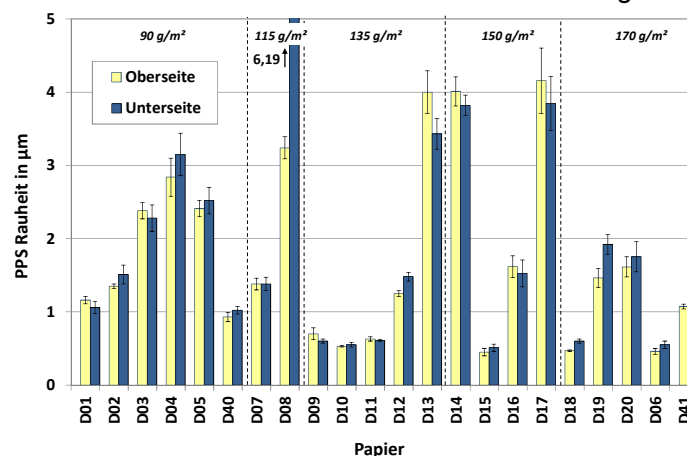


Abb. 16: Rauheit Parker Print Surf - Industriepapiere

Weiterführende Ergebnisse einer echten Topografiemessung sind im **Anhang** zusammengestellt.

Optische Eigenschaften

Industriepapiere

Die Anforderungen an ein- bzw. mehrfachgestrichene Bilderdruckpapiere bezüglich des Weißgrades sind sehr hoch, was anhand der Weißgradwerte in **Abb. 17** erkennbar ist. In grober Näherung korrespondierend zu den topografischen Kennwerten sind die Glanzwerte, hier als Glanz TAPPI₇₅ ausgewiesen.

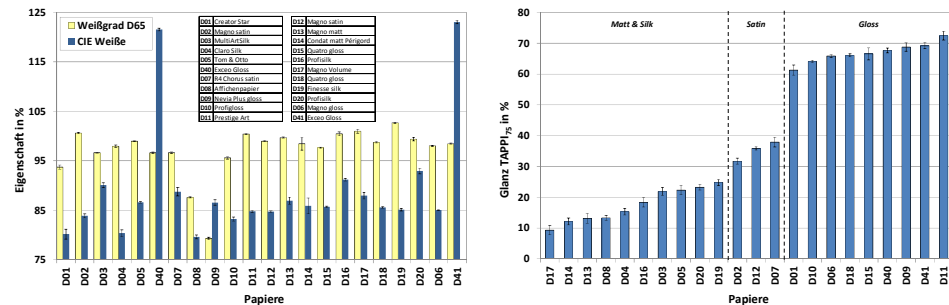


Abb. 17: Weißgrad und Glanz - Industriepapiere

Der Glanzbereich reichte von extrem matt bis sehr glänzend (**Abb. 17**).

Festigkeiten

Industriepapiere

Die Festigkeiten der Papiere, insbesondere die Steifigkeit, sind bedeutend für das Laufverhalten der Papiere in der Druckmaschine. In **Abb. 18** ist die aus E-Modul (**Anhang**) und Flächenträgheitsmoment kalkulierte spezifische Steifigkeit grafisch dargestellt. Die **Abb. 18** enthält eine Gegenüberstellung der Steifigkeit des getrockneten Papiers zum gefeuchteten Papier.

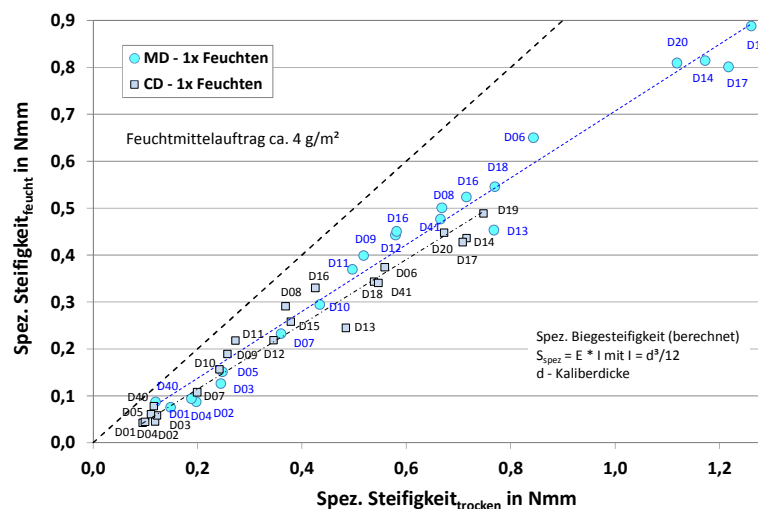


Abb. 18: Spezifische Biegesteifigkeit = f{Feuchten} - Industriepapiere

Die Steifigkeit des feuchten Papiers wurde aufgenommen, um Aussagen zur Festigkeitsreduzierung bei Wassereinfluss (Wischwasser, Wasser in Druckfarbe) zu bekommen. Es sei vermerkt, dass die verfahrenstechnisch bedingte Wassermenge, die bei den Labormessungen aufgebracht wurde (ca. 4 g/m²) wahrscheinlich wesentlich höher war, als im realen Druckprozess. Die Steifigkeit in Maschinenrichtung (MD) ist erwartungsgemäß signifikant höher als in Querrichtung (CD). Durch den Wassereinfluss erfolgte eine Steifigkeitsreduzierung im Mittel von 36 % für CD und von 30 % für MD (Bereich: 20-62 % CD; 23-56 % MD).

Dieser Festigkeitsbeeinfluss wird bei der Interpretation der Dimensionsänderung, insbesondere der Längung, noch von Interesse sein.

6.3 AP3 – Messung spezieller Papiereigenschaften

Ziel

Da die konventionellen Papiereigenschaften mit vielen Effekten bei der Papierverarbeitung und gegebenenfalls beim Gebrauch nicht korrespondieren, ist eine umfassendere Papiercharakterisierung zwingend erforderlich. Mit der Messung ausgewählter spezieller Papiereigenschaften wurde angestrebt, das Druckergebnis besser beschreibbar und damit genauer vorhersagbar zu machen.

Oberflächen- spannung

In den **Abb. 19** und **Abb. 20** sind die Oberflächenspannung der Industripapiere und der VESTRA-Papiere für einen Messzeitpunkt von 0 s nach Tropfenablage als Balkendiagramme dargestellt.

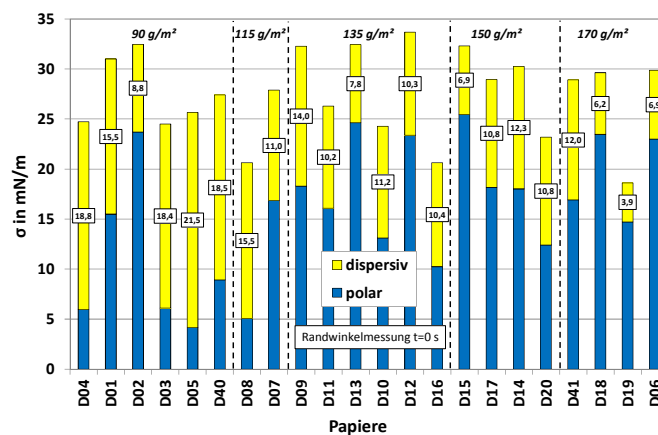


Abb. 19: Oberflächenspannung – Industripapiere

Obwohl Unterschiede in der Oberflächenspannung zu verzeichnen sind, waren diese nicht gravierend und es gab keine Benetzungsprobleme beim Druck der Industripapiere. Diese Aussage gilt auch für die Varianten der VESTRA-Papiere. Lediglich beim Streichrohpapier D21 wurde der Oberflächenspannungswert durch die Satinage signifikant vergrößert, was in der Beeinträchtigung des Tropfens durch die Topografie erklärbar ist – raue Papiere weisen in der Regel geringere Randwinkel und infolge höhere Oberflächenspannungen auf.

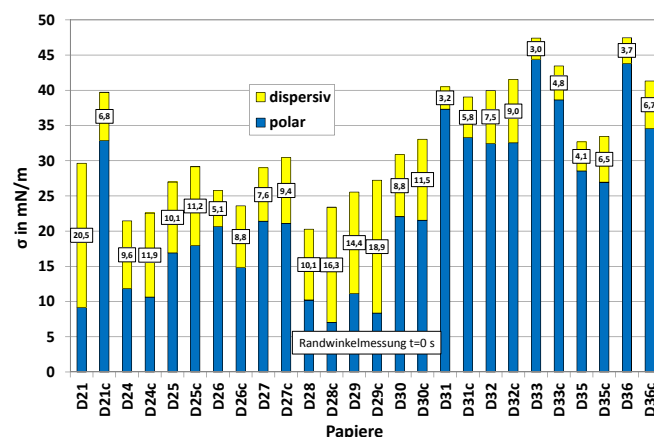


Abb. 20: Oberflächenspannung – VESTRA-Papiere

Es sei noch vermerkt, dass die Oberflächenspannungswerte wesentlich höher ausfallen, wenn die Randwinkelmessung nach einer Totzeit von 1 s erfolgt.

Hg-Porosimetrie

Die Gesamtporenverteilung der Industripapiere gibt **Abb. 21** wieder (siehe auch **Anhang**).

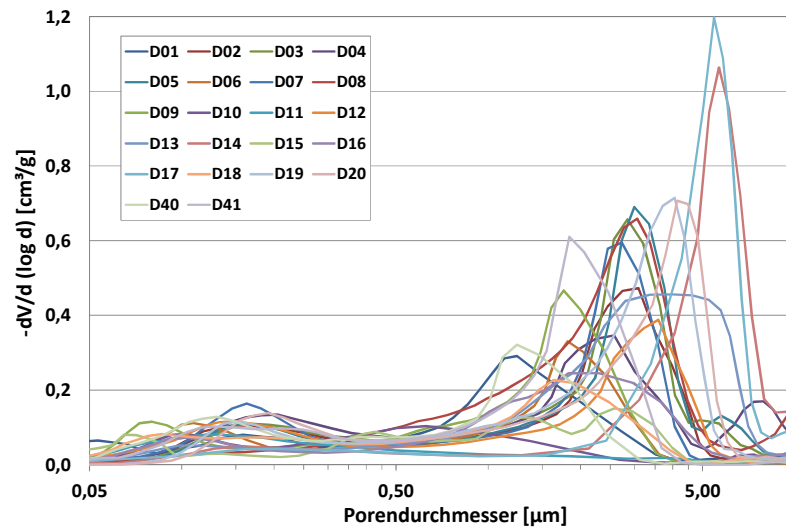


Abb. 21: Porenverteilung Industripapiere

Entscheidend für die Problematik der Dimensionsänderung ist das Erreichen des Rohpapiers (Fasern) durch das Wasser. Hierfür ist natürlich ausschließlich die Strichschicht verantwortlich. In **Abb. 22** ist die Porenverteilung des Striches für ausgewählte Industripapiere aufgezeigt.

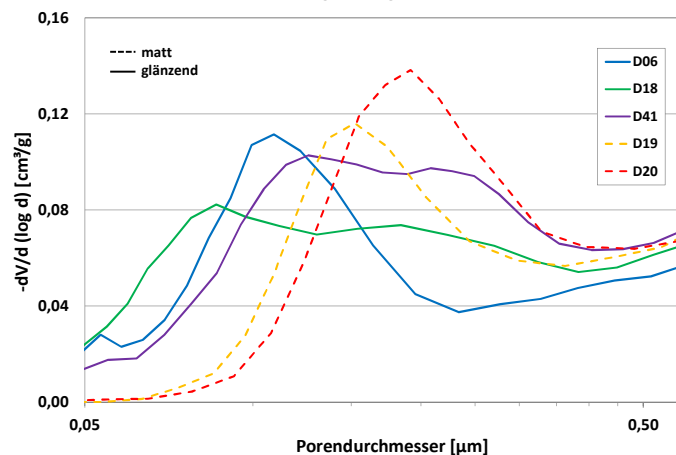


Abb. 22: Porenverteilung der Strichschicht – ausgewählte Industripapiere

Mit Ausnahme von D06 weisen die satinierten Papiere eine breitere Porenverteilung auf, als die matten bis halbmatten Muster.

Wegschlagverhalten

HFC-Messung

Neben der Kalkulation des Wegschlagverhaltens (vgl. 6.7) von Flüssigkeiten in das Papier wird auch der Weg der direkten Messung beschritten, wobei vermerkt werden muss, dass die aufgebrachte Flüssigkeitsmenge meist wesentlich größer ist, als das Flüssigkeitsangebot beim Offsetdruck. Die spezifische Wegschlaggeschwindigkeit für ausgewählte Industripapiere in Balkenform ist in **Abb. 23** dargestellt.

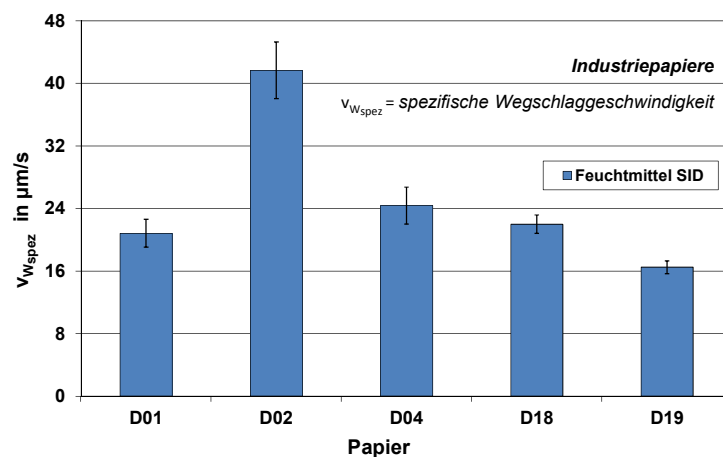


Abb. 23: Spezifische Wegschlaggeschwindigkeit – HFC-Messung

Mit Ausnahme von Papier D02 lag die Wegschlaggeschwindigkeit in einem engen Bereich. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen der Modellrechnung nur, dass hier die Wegschlagzeiten aufgrund der realistischeren Flüssigkeitsmenge (1 μm FM-Film) wesentlich geringer waren.

6.4 AP4 – Strichdickenanalytik

Ziel Streichrohpapiere sind in ihrer partiellen flächenbezogenen Masse (Dicke) nicht konstant (Formation). Diese Schwankungen bedingen partielle Schwankungen in der Strichdicke bei den gestrichenen Papieren. Diese Dickenvariation hat einen nicht unerheblichen Einfluss auf das Penetrationsverhalten der Flüssigkeiten beim Offsetdruck und sollte quantitativ erfasst werden.

Strichdicke
Industriepapiere

Detaillierte Informationen zur Fertigung der Bilderdruckpapiere lagen nicht vor, d. h. Aussagen zur Strichanzahl je Seite und den Strichrezepturen waren nicht verfügbar. In **Abb. 24** sind die Strichdicken der Industriepapiere sowie die Dicke des Streichrohpapiers visualisiert.

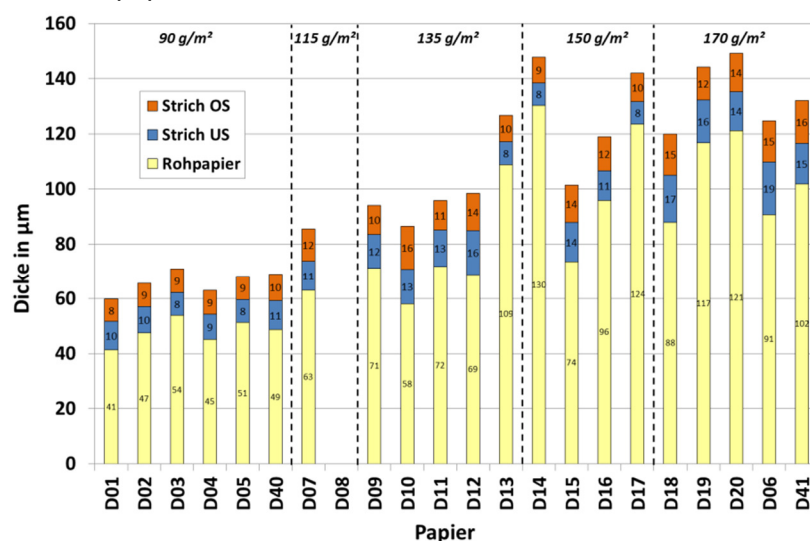


Abb. 24: Schichtdicken - Industriepapiere

Es zeigte sich, dass die niedergrammigen Papiere Strichdicken von 8-11 g/m² je Seite aufwiesen. Bei den Papieren mit höherer flächenbezogener Masse wurde diese vorwiegend über das Rohpapier erbracht, jedoch stieg auch bis auf wenige Ausnahmen (D14, D17) die Dicke des Striches leicht an. Weiterführende Grafiken zur Strichdickenproblematik können dem **Anhang** entnommen werden.

Strichdickenverteilung

Industriepapiere
Extreme

Die mittlere Strichdicke und insbesondere ihre partielle Schwankung sind entscheidend für die zeitabhängige, anteilige Benetzung des „quellbaren“ Streichroh-papiers. **Abb. 25** beinhaltet die Strichdickenverteilung der zwei Extrempapiere D01 (90 g/m²) und D06 (170 g/m²) der Industriepapiere.

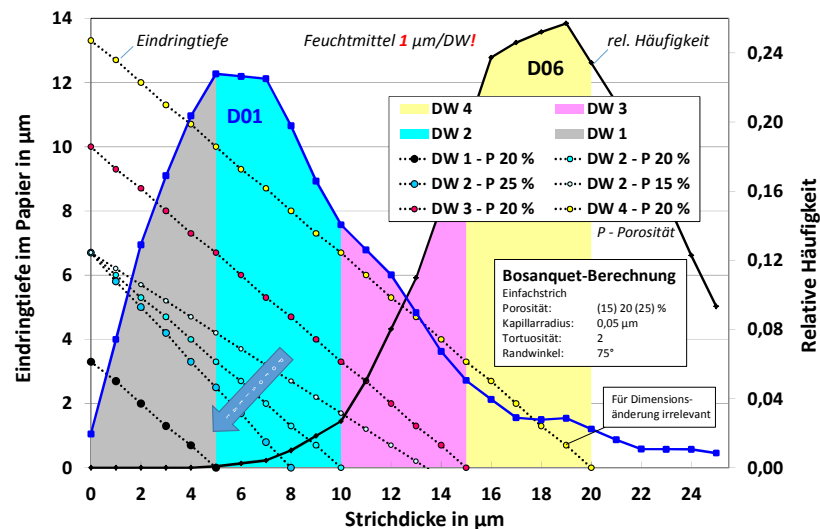


Abb. 25: Strichdickenverteilung sowie Eindringverhalten des Feuchtmittels für zwei extreme Papiere (OS)

Des Weiteren ist in der **Abb. 25** unter Annahme einer übertragenen Feuchtmittelmenge (FM) von 1 µm (1 g/m²) pro Druckwerk (DW) die berechnete Eindringtiefe desselben in den Strich und das Rohpapier (linke Ordinate) eingetragen. Die Berechnung erfolgte mit dem weiterentwickelten Softwaretool auf der Basis der Differenzialgleichung von Bosanquet (vgl. Kapitel 6.7). Die Eingabegrößen für die Berechnung können **Abb. 25** entnommen werden. Die Porosität der Strichschicht betrug 20 %. Da die Porosität von allen Eingabeparametern den größten Einfluss hat, wurde sie für das 2. Druckwerk (Cyan) zwischen 15 % und 25 % gezielt variiert.

Zunächst soll die Feuchtmittelpenetration nach dem 1. DW betrachtet werden. Ohne Strichschicht (Anteil ca. 0,02 bei D01) würde das FM ungefähr 3,5 µm in das Streichroh-papier eindringen. Mit Zunahme der Strichdicke wird dieses jedoch immer mehr im Strich zurückgehalten. Für alle Bereiche – Integral des grau hinterlegten Strichdickenbereichs - des gestrichenen Papiers D01 mit einer Strichdicke kleiner 5 µm erreicht das FM anteilig das Rohpapier und kann zur Dimensionsänderung beitragen, jedoch ergibt sich strichdickenabhängig ein geringer Zeitunterschied hinsichtlich der Penetration in das Basispapier. Bei einer Strichdicke > 5 µm wird das FM des 1. DW vollständig im Strich gebunden.

Im 2. DW steht nun erneut FM zur Verfügung und der Prozess der Flüssigkeitspenetration wird fortgesetzt. Bei einer Porosität von 20 % ist eine Mindeststrich-

dicke von 10 μm erforderlich, damit das FM vom 1. und 2. DW nicht ins Rohpapier gelangt. Wird die Porosität auf 15 % verringert, sind es nur 8 μm und bei Erhöhung auf 25 % werden 13,5 μm benötigt. Somit kann optisch integrierend mit **Abb. 25** abgeschätzt werden, wie hoch der Anteil des gestrichenen Papiers bei einer gegebenen FM-Menge ist, bei der eine Benetzung der Fasern mit FM bzw. eine Penetration des FM's in das Fasernetzwerk stattfindet und somit die Voraussetzungen für eine „quellungsinduzierte“ Dimensionsänderung gegeben sind. Für die Problematik der Dimensionsänderung ist bei den durchgeführten Versuchen nur noch das 3. DW von Interesse, da die Wasseraufnahme im 4. DW infolge des fehlenden weiteren Druckbildes hinsichtlich der Dimensionsänderung irrelevant ist.

Der Vergleich der beiden Papiere D01 und D06 bringt zum Ausdruck, dass aufgrund des höheren Strichgewichts (Verteilungsbreite hier untergeordnet) erst nach dem 3. DW nennenswerte Papierbereiche mit FM-Kontakt zum Rohpapier vorhanden sind, d. h. die Dimensionsänderung wird bei diesem Papier im Vergleich zu Papier D01 wesentlich geringer ausfallen.

Strichdicke VESTRA-Papiere

In **Abb. 26** sind die Strichdicken sowie die Summe der flächenbezogene Masse von Ober- und Unterseitenstrich wiedergegeben.

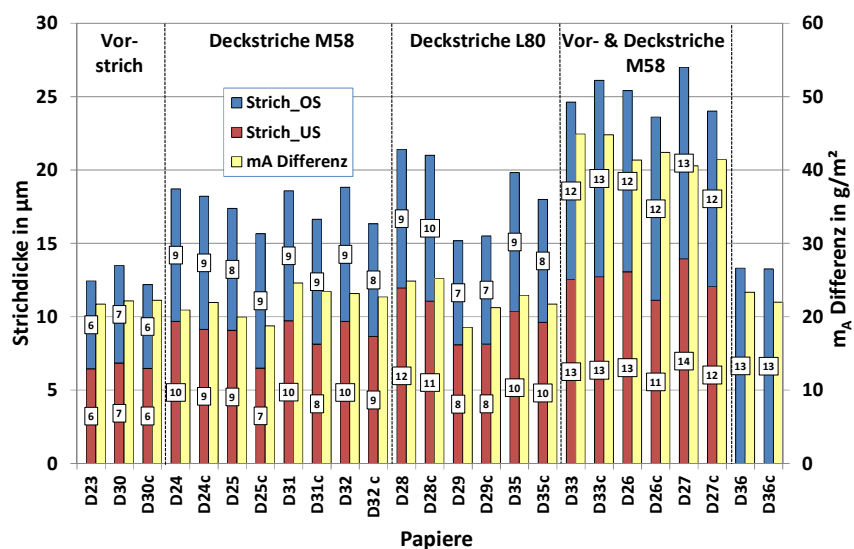


Abb. 26: Strichdicken – VESTRA-Papiere

Für die einzelne Strichschicht wurde eine flächenbezogene Masse von 10 g/m^2 angestrebt, was auch weitgehend bei den Versuchen realisiert wurde. Weitere Grafiken sind im **Anhang** zusammengestellt.

6.5 AP5 – Indirekte Messung der Strichgleichmäßigkeit (OBA-Verteilung)

Ziel

Mit der bildanalytischen Strichdickenanalytik werden exakte Aussagen zum Anteil der jeweiligen Strichdicke im gestrichenen Papier gewonnen. Diese Messung liefert jedoch keine Aussage zur Verteilung der Strichdicken in der Papierfläche. Diese Aussagen sind auch bedingt für die Dimensionsänderung, aber insbesondere für die Gleichmäßigkeit der Druckbilder (Mottling), von Interesse. Die Quantifizierung der Strichdickenverteilung in der Fläche mittels indirekter Methode war Zielstellung des AP's.

OBA-Messung

Im Rahmen des Projektes wurde ein Versuchsstand zur Messung der Gleichmäßigkeit der Verteilung der optischen Aufheller (OBA) (vgl. 5.5) entwickelt. Dazu wurde ein Ringlicht mit den Wellenlängen 365, 375, 385, 395 nm generiert. Dieses Wellenlängenspektrum wurde gewählt, da die optischen Aufheller in diesem Bereich ihre Anregungswellenlängen haben. Es wurden die optimalen Bildgewinnungsbedingungen ermittelt und eine Messmethodik erarbeitet. Für die Auswertung der Gleichmäßigkeit der OBA-Bilder wurde das DOMAS-Messsystem genutzt.

Gleichmäßigkeit der OBA-Verteilung

Die Quantifizierung der Gleichmäßigkeit der OBA-Verteilung im Strich, die mit der Strichdickenverteilung korrespondiert, ist in **Abb. 27** zusammengestellt.

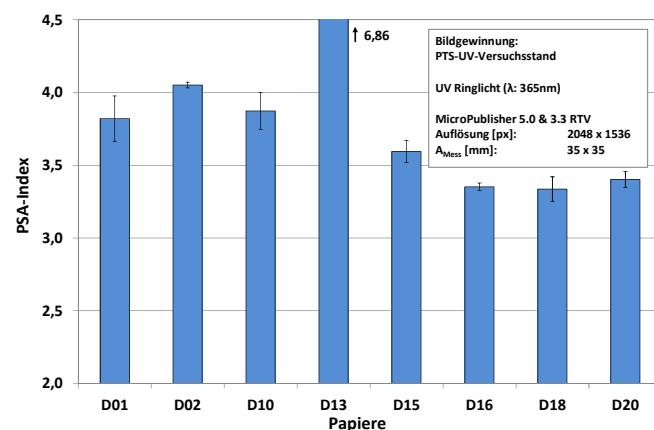


Abb. 27: PSA-Index der OBA-Verteilung im Strich

Obwohl es sich bei den Bilderdruckpapieren um hochwertige Druckpapiere handelt, konnten auch für diese Papiere Unterschiede in der Gleichmäßigkeit, die jedoch nicht überdurchschnittlich hoch sind, detektiert werden.

Weiter Grafiken sind im **Anhang** enthalten.

6.6 Bewertung der Papierdehnung im Labor

E-Modul- Messung bei Normklima und Befeuchtung

Die E-Module im Normklima wurden anhand von Zugversuchen nach DIN EN ISO 1924-2 bestimmt. Weiterhin wurden Zugversuche an definiert vorbefeuchteten Proben nach einer bei PTS entwickelten Methodik durchgeführt²⁰. Dazu wird das Papier im Zugversuchsgerät auf der Rückseite durch ein verzinktes, nur oben eingespanntes Blech gestützt (**Abb. 28**) und mittels eines Feuchtestiftes ein- oder mehrmals in seiner ganzen Breite befeuchtet. Ca. 1 s nach der Befeuchtung erfolgt dann der Start des Zugversuches. Die aufgetragenen Feuchtemengen liegen bei 1-maliger Befeuchtung in der Größenordnung von 4 g/m².

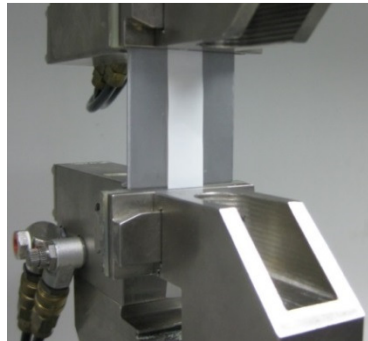


Abb. 28: Vorrichtung für Zugversuch mit Befeuchtung, Papierprobe mit eingespanntem Blech

Feuchtdehnung

Die Messung der Feuchtdehnung erfolgte in Anlehnung an die ISO 8226 Teil 1 und 2. Es wird die Längenänderung eines Papierstreifens bei einer Änderung der Umgebungsfeuchte zwischen 33 % relative Luftfeuchte und 68 % bzw. 86 % relativer Luftfeuchte in Prozent gemessen. Die Prüfung erfolgt sowohl in Querrichtung (CD) als auch in Längsrichtung (MD).

Dehnungs- messung mit IGT-Gerät

Für die Messung der Feuchtdehnung kam weiterhin ein mit einer Kamera ausgestattetes Probedruckgerät der Firma IGT Testing Systems zum Einsatz. Das Verfahren ist eine Gemeinschaftsentwicklung von IGT und PTS²¹.

Längenänderung infolge Luftfeuch- teänderung

Die Feuchtdehnung der untersuchten VESTRA-Varianten sind in **Abb. 29** zusammengestellt. Die Feuchtezunahme bei der Luftfeuchteänderung von 33 % auf 86 % liegt bei ca. 6-7 %, was etwa 5-7 g/m² „Feuchteauftrag“ entspricht. Das Rohpapier ist dabei immer vollständig durchfeuchtet. Es wurden größere Werte für CD als beim IGT-Gerät gemessen. Zum Teil traf dies auch für die MD-Richtung zu. Wahrscheinlich ist der Abbau von Spannungen infolge schrumpfungsbehinderter Trocknung dafür verantwortlich. Die Messung ist extrem zeitaufwendig, so dass mehr Zeit für die Dehnung zur Verfügung steht (Gleichgewicht kann sich einstellen).

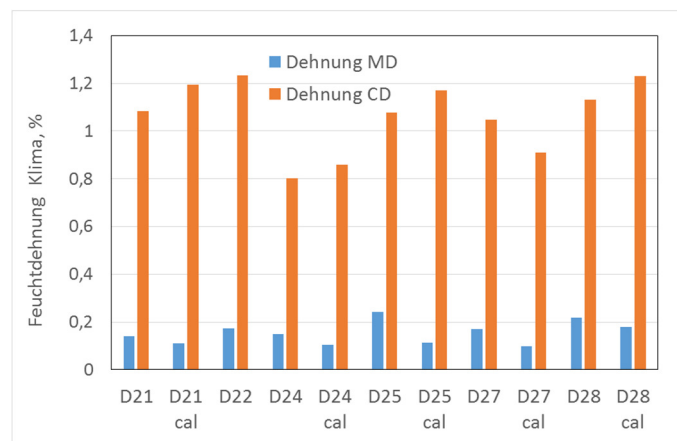


Abb. 29: Messergebnisse Feuchtdehnung nach ISO 8226: Längenänderung eines Papierstreifens bei einer Änderung der rel. Luftfeuchte von 33 % auf 86 %

Feuchtdehnung bei druckähnlicher Befeuchtung (IGT-Gerät)

Die Messergebnisse für die Feuchtdehnung, gemessen mit dem modifizierten IGT-Probedruckgerät, beinhaltet **Abb. 30**.

Es wird abgeschätzt, dass ca. die Hälfte der angebotenen Wassermenge (ca. 10,5 g/m²) auf das Papier übertragen wird. Damit wäre die Wassermenge wesentlich höher, wie beim industriellen Bogenoffsetdruck.

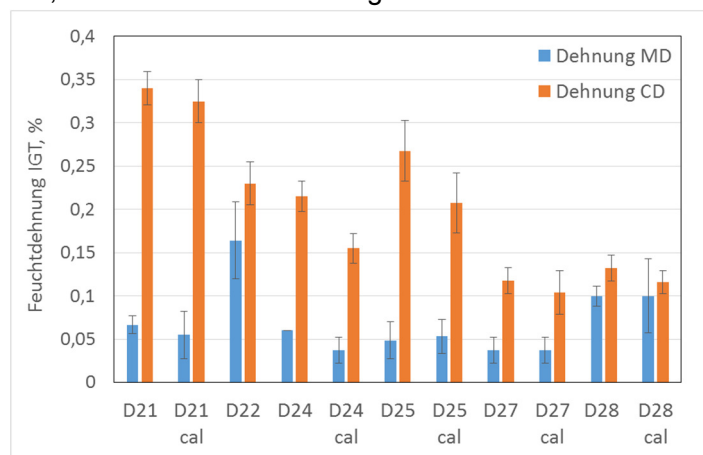


Abb. 30: Messergebnisse Feuchtdehnung IGT-Gerät für verschiedene unkalandrierte und kalandrierte VESTRA-Papiere (Auftragswalze Feuchtmittel 10,5 ml/m², Geschwindigkeit 1 m/s, Kraft 450 N, Streifenbreite 3 cm, Messlänge 10 cm)

Die Unterschiede im Dehnungsverhalten der beiden Streichrohpapiere kommen klar zum Ausdruck. Mit der Satinage geht allgemein eine geringe Dehnungsabnahme einher, was in der Veränderung des Porensystems durch die Satinage begründet sein kann. Der Strich führte zu keiner oder nur einer geringen Reduzierung des Dehnungsverhaltens. Dies bestätigt, dass die Penetration der Flüssigkeit sehr schnell erfolgt und somit dem Basispapier für die Dimensionsänderung zur Verfügung steht.

6.7 AP7 – Modellerweiterungen

Ziel Das bisher vorliegende MATLAB-Programm zur Berechnung des Penetrationsverhaltens basiert auf Strichschichten konstanter Dicke. Die Analyse realer Striche (**Abb. 31**) verdeutlicht, dass diese so nicht zutrifft. Ziel des AP's war die Erweiterung der Modelle auf reale Papierstrukturen.

MATLAB-Programm Das an der PTS verfügbare MATLAB-Programm zur Berechnung wurde so erweitert, dass reale Strichstrukturen (**Abb. 31**) behandelt werden können. Basis ist weiterhin die Differenzialgleichung von Bosanquet.

Berechneter Penetrationsverlauf Neben einer Visualisierung realer Strichschichten für zwei extreme Papiere können **Abb. 31** auch das berechnete Penetrationsverhalten sowie die Berechnungsgrundlage dafür entnommen werden.

Die Ergebnisse der Strichdickenverteilung sowie der Eindringtiefe des FM für die vier DW wurde bereits in **Abb. 25** dargestellt und in Kapitel 6.4 besprochen.

Wesentlich ist in **Abb. 31** noch, dass die Penetrationszeiten im Bereich unter 10 ms liegen. Vergleicht man diese Zeiten mit den Zeiten, die der Bogen geschwindigkeitsabhängig von DW zu DW (0,5 s – 1,6 s) benötigt, wird offensichtlich, dass hier einen Unterschied von 2 Zehnpotenzen vorliegt. Dies bedeutet, dass das FM bzw. das in die Druckfarbe emulgierte Wasser sehr schnell das „quellbare“ Fasermaterial erreicht und dessen Modifikation bewirken kann.

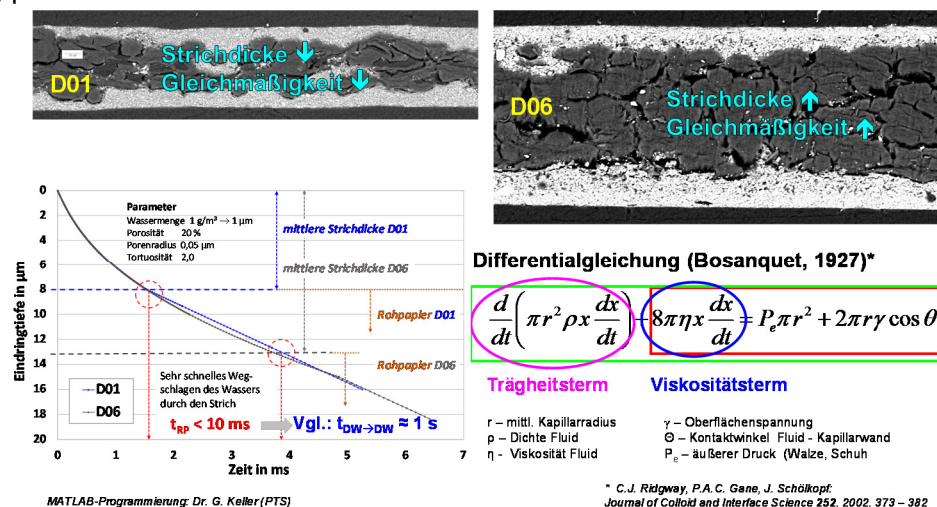


Abb. 31: Visualisierung der Strichdicke und ihrer Schwankung sowie berechnete Penetrationskurven

Dehnungsmodell Feuchtdehnung

Bei der Anwendung der ausgewählten Modellsoftware LSDYNA (Finite-Elemente-Methode, FE-Modelle) werden die zu untersuchenden Papiere bzw. Papierlagen in kleine Teile (FE) zerlegt, denen die jeweils zutreffenden physikalischen Parameter, z. B. E-Modul und Dehnungskonstanten, zugeordnet werden. Aus den sich für definierte Belastungssituationen resultierenden Gleichungssystemen lassen sich dann Dehnungen oder Verbiegungen der untersuchten Körper berechnen.

Die vorhandenen Werkzeuge sind geeignet, eine Berechnung des Dehnungsverhaltens in Abhängigkeit von den physikalischen Eigenschaften der Striche

bzw. der Rohpapiere durchzuführen. Damit können Parameter, die für das Dehnungsverhalten wesentlich sind, herausgearbeitet werden. Aus Variantenrechnungen kann der Einfluss der Eigenschaftsparameter auf die Dehnungen bestimmt werden, so dass auf theoretischem Wege auch Vorschläge zur Verringerung der Papierdehnung abgeleitet werden können.

Durchgeführte Arbeiten

Bei den durchgeführten Modellierungsarbeiten wurde die Finite-Elemente-Methode (FEM) eingesetzt, um das Dehnungsverhalten von Papiermustern bei Feuchteänderungen in Kombinationen mit TSO-Winkelabweichungen in einzelnen Lagen zu beschreiben. Dazu wurden verschiedene mehrlagige Aufbauten mit 6 Lagen nachgebildet. Ausgangspunkt war ein an der Forschungsstelle vorliegendes Modell²⁰, welches erweitert wurde, um auch reale, unregelmäßige Schichten (**Abb. 33**) abbilden zu können. Für die einzelnen Materiallagen erfolgte die Implementierung der zugehörigen Materialkennwerte. Es wurde dann das Dimensionsverhalten bei definierten Feuchteänderungen berechnet. Die für die Rechnungen vorzugebenden Modellparameter wie Schichtdicken, E-Module und Dehnungskoeffizienten wurden auf der Basis von Messungen festgelegt. Weitere, weniger wichtige Kenngrößen wurden abgeschätzt bzw. aus der Literatur übernommen.

Modellaufbau

Lagen und Blattformat

Abb. 32 zeigt den 6-lagigen Modellaufbau (Rohpapier und beidseitiger Vor- und Deckstrich) sowie die Blattgeometrie mit Berücksichtigung der richtungsabhängigen Papiereigenschaften.

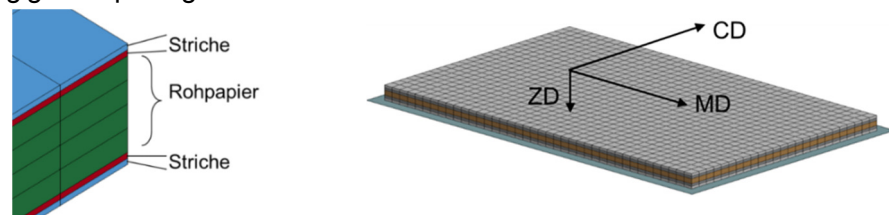


Abb. 32: Modellierung der Komplettpapiere – Lagenaufbau (links) und beispielhafte Blattgeometrie 500 x 700 mm² (rechts)

Unregelmäßige Schichten

Bei realen Papieren ist die Strichdicke insbesondere des Vorstriches nicht konstant, sondern stark uneinheitlich infolge der durch die Faserstrukturen mitbestimmten Ungleichmäßigkeit der Basispapieroberflächen. Das bisherige Modell, welches nur homogene, gleichmäßige Striche abbilden konnte, wurde erweitert, um auch unregelmäßige Strichdicken berücksichtigen zu können. Dazu wurden in die Modellgeometrie für die Vorstrichdicke zufällig verteilte Schwankungen eingebracht (**Abb. 34**), während die Deckstrich- und die Gesamtdicke jeweils unverändert blieben.

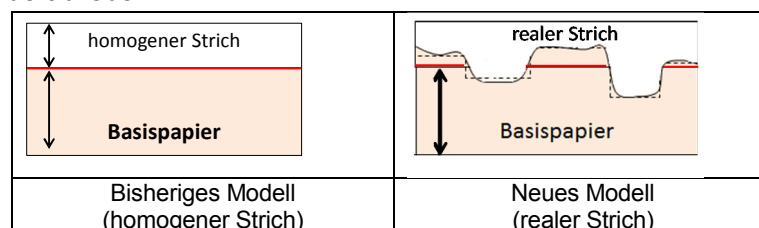


Abb. 33: Bisheriges Modell (links) und Modellerweiterung (rechts)

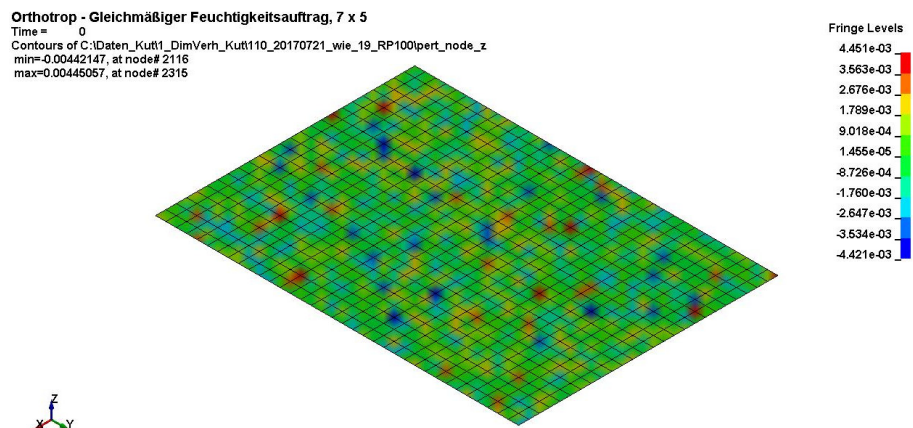


Abb. 34: Berücksichtigung der unregelmäßigen Schichtdicke im Vorstrich (zufällige, normalverteilte Strichdicke im Vorstrich mit Ausgangsdicke $5\mu\text{m}$ und Standardabweichung $1,5\mu\text{m}$; max. Abweichungen von ca. $\pm 4,5\mu\text{m}$)

Effekte der Dimensionsstabilität

Betrachtet man das Verhalten der Bögen bei Auflage auf einer Unterlage (ohne Fixierung in Dickenrichtung), so resultiert aus der Befeuchtung der unteren Strichlage auch eine Planlageabweichung (Wölbung). Bei einer Fixierung in Dickenrichtung (Zwangsführung beim Drucken) hingegen tritt eine Ausdehnung bei Befeuchtung ausschließlich in der Ebene auf, wodurch prinzipiell eine bessere Vergleichbarkeit mit Messwerten aus Labor- und Druckversuchen gegeben ist.

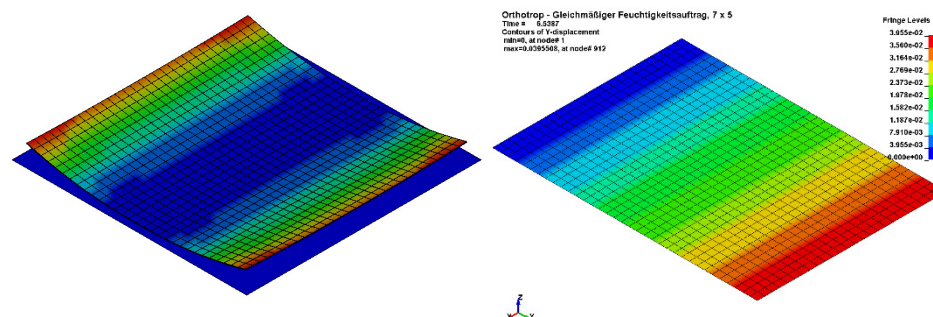


Abb. 35: Modellierung der Dehnungseffekte bei Auflage auf Unterlage ohne Fixierung in Dickenrichtung (Befeuchtung bewirkt auch Planlageabweichung, links) bzw. bei Fixierung in Dickenrichtung (Ausdehnung nur in der Ebene)

Modellparameter **Tab. 5** zeigt eine Übersicht der für die Simulationsrechnungen verwendeten Materialparameter.

Tab. 5: Materialparameter (reale Papiere) für die Modellrechnungen

Schicht	Strich (VorStr.=Deckstr.)		Rohpapier	
Dichte, g/cm ³	1,80		0,74	
Materialmodell	isotrop elastisch, Feuchte		orthotrop elast., Feuchte	
E-Modul (feuchteabhängig)	Feuchte, %	E, GPa	Feuchte, %	E, GPa
	0	2,53	0	6,00 (MD)
	5	1,18		3,50 (CD)
	10	0,85		<i>0,50</i> (ZD)
	15	0,68		
	20	0,58	5	3,00 (MD)
	25	0,52		1,75 (CD)
	30	0,46		<i>0,25</i> (ZD)
	36	0,43		
Weitere, geschätzte Werte (nicht feuchteab- hängig)	Querdehnzahl <i>0,3</i>		Querdehnzahl <i>0,2</i> (MD/CD) <i>0,1</i> (MD/ZD) <i>0,1</i> (CD/ZD) Schubmodul, GPa <i>2,0</i> (MD/CD), <i>0,4</i> (MD/ZD) <i>0,4</i> (MD/ZD)	
Dehnungskonstante	0,0002		0,001 (CD), 0,0003 (MD), <i>0,01</i> (ZD)	

(Messwerte sind fett dargestellt, Schätzwerte kursiv)

**Modell-
rechnungen** Es wurden Modellrechnungen zur Bestimmung des Dehnungsverhaltens bei unterschiedlichen Strich- und Rohpapiereigenschaften (Geometrie, Materialparameter) durchgeführt, jeweils in Abhängigkeit von der aufgetragenen Feuchtemenge. Spezielles Augenmerk wurde daraufgelegt, ob die Feuchte in den einzelnen Fällen nur in den Strich oder auch in das Rohpapier eindringt.

**Modellergebnis
Dehnung bei
Befeuchtung** **Abb. 36** zeigt das berechnete Dehnungsverhalten infolge der Feuchtdéhnung beispielhaft in MD- (oben) und CD-Richtung (unten) für ein Papier mit beidseitigem Vor- und Deckstrich, Format 700 (MD) x 500 (CD) mm². Die Ergebnisse für das Modell mit gleichmäßigen, homogenen Strichdicken hängen maßgeblich davon ab, ob die Feuchte nur in den Strich oder auch in das Basispapier eindringt und dort zu einer Déhnung führen kann. Solange bei geringen Feuchtemengen nur der Strich befeuchtet wird, ist die Déhnung des Bogens relativ gering. Wird dann auch das Substrat-Papier feucht, steigt die Déhnung stark an. Im Beispiel wurde eine Strichporosität von 20 % zugrunde gelegt, so dass der Strich bei 10 µm Dicke 2 g/m² Feuchte aufnehmen kann. Ein größerer Feuchteauftrag als 2 g/m² bewirkt dann auch eine Feuchteaufnahme und Déhnung im Rohpapier.

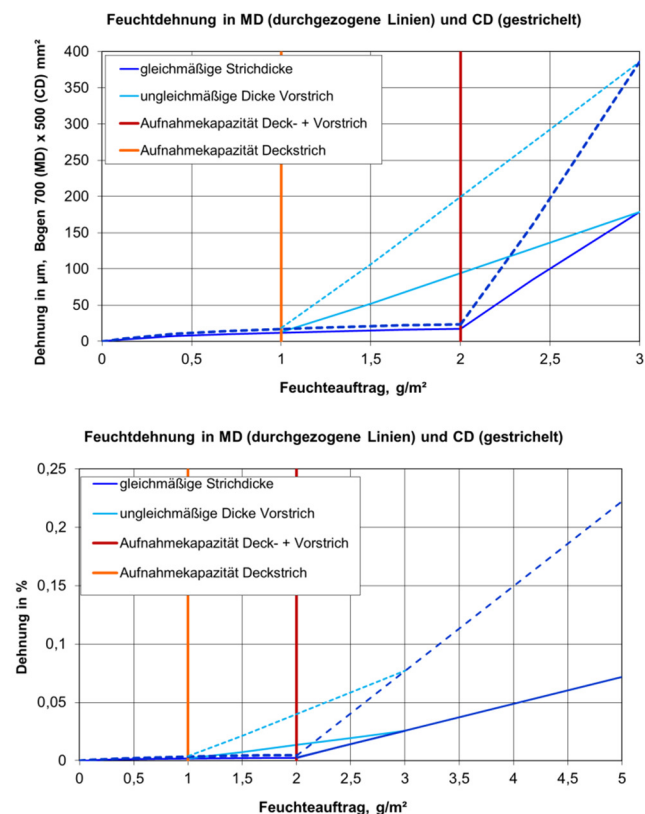


Abb. 36: Ergebnisse der Modellrechnungen für einen Bogen 700x500 mm^2 : oben: Feuchtdehnung MD und unten: Feuchtdehnung CD (mittlere Dicke Deckstr.= Vorstr.= 5 μm , Rohpapier-Dicke 100 μm , Materialparameter lt. **Tab. 5**; Erweitert man die Darstellung bis ca. 5 g/m^2 Feuchteauftrag, trifft man gut die Größenordnung der IGT-Werte 0,2 % CD; 0,05 % MD.

Berücksichtigt man hingegen eine ungleichmäßige Vorstrichdicke, so ergeben sich ab einer Feuchteauftragsmenge von 1 g/m^2 (Sättigung des Deckstriches) deutlich größere Dehnungen als im erstgenannten Fall, da hier im Bereich sehr kleiner Vorstrichdicken bereits Feuchte in das Basispapier eindringt und eine Dehnung der Papierlagen bewirkt.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Durch die Berücksichtigung einer in der Praxis vorliegenden, ungleichmäßigen Strichdicke, werden bei Feuchteauftragsmengen im für Offsetdrucke praxisrelevanten Bereich 1 – 2 g/m^2 deutlich größere Dehnungen berechnet, die auch für eine vergleichsweise große Basispapierdicke von 100 μm im Bereich der kritischen Passer-Differenzen (80 μm) liegen können. Der Richtungseinfluss (deutlich größere Dehnung in CD als MD) korrespondiert dabei mit dem, auch in den Laborversuchen beobachteten, Verhalten. Im Vergleich mit den Passermessungen aus den Druckversuchen bestehen jedoch deutliche Abweichungen, sowohl bzgl. der absoluten Werte als auch des MD/CD-Verhältnisses.

Das Simulationsmodell beschreibt das bei druckähnlicher Befeuchtung auftretende Dehnungsverhalten, wobei im Gegensatz zum realen Druckprozess u. a. die mechanischen Effekte infolge des Zusammenpressens zwischen den Walzen im Druckwerk und die Abzugskräfte (Tack) beim Passieren der Druckwalze

nicht berücksichtigt werden. Anhand der Auswertung der umfangreichen Druckversuche kann geschlussfolgert werden, dass die im Modell abgebildeten Effekte (noch) nicht ausreichend zur Beschreibung der beobachteten Phänomene sind. Zur Verbesserung der Situation müssten insbesondere auch die genannten Einflüsse der mechanischen Beanspruchung zwischen den Walzen im Druckwerk einbezogen werden. Dies war aber im Rahmen dieses Projektes nicht möglich. Arbeiten anderer Forschungsgruppen²² zeigen aber, dass die hierdurch verursachten Dehnungen in ähnlicher Größenordnung wie die Feuchtdehnung liegen können und damit die resultierenden Passerdifferenzen maßgeblich mitbestimmen.

6.8 AP8 – Druckversuche

Ziel Ziel des AP's war die Anfertigung von Druckproduktion bei umfassender Variation der relevanten Einflussgrößen auf die Dimensionsänderung.

Definitionen Bevor im Detail auf die Druckversuchsvarianten eingegangen wird, sollen kurz einige Definitionen vorgenommen werden, damit die unterschiedliche Terminologie von Papierherstellern und Druckern nicht zu Missverständnissen führt.

Abb. 37 zeigt für die gegebene Druckrichtung die zwei Varianten der Papierpositionierung (Laufrichtung). Liegen die Fasern in Druckrichtung spricht der Drucker vom Breitbahndruck (BB), d. h. aus papiertechnischer Sicht wird in Längsrichtung (MD) gedruckt. Bei 90° gedrehter Papierrichtung (CD) wird von Schmalbahndruck (SB) gesprochen.

Wie der in **Abb. 37** eingezeichnete Druckspalt sowie die Richtung der Fasern verdeutlichen, sind die Beanspruchungen des Papiers beim Druck signifikant unterschiedlich, was nicht unbedeutend für die Dimensionsänderung ist. Es wurde bewusst von einem Druckspalt gesprochen, da es aufgrund des flexiblen Gummituchs zu einem Spalt mit einem Druckverlauf (Abb. 37 links unten) kommt. Des Weiteren wurde eine typische Faserlängenverteilungskurve eingebunden. Dies soll verdeutlichen, dass bei einem Druckspalt von mehreren Millimetern mehrere Fasern drucktechnisch betroffen sind.

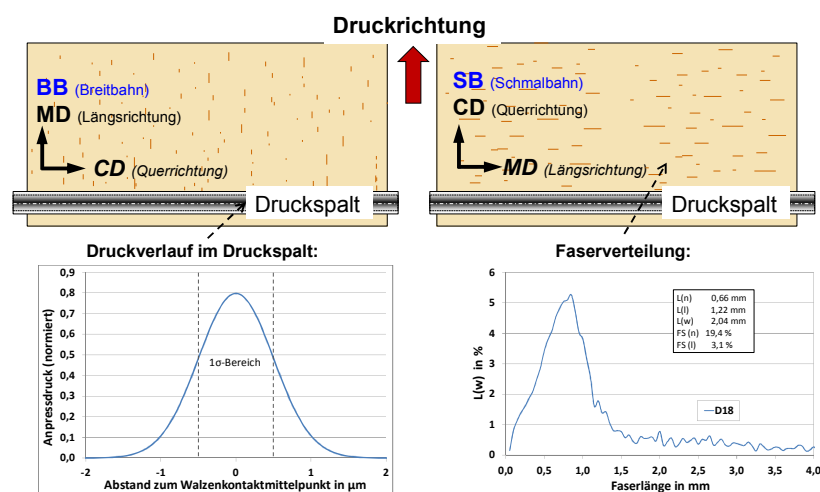


Abb. 37: Definitionen, geometrische Verhältnisse

Druckvarianten

In **Abb. 38** ist die Belegung der Druckwerke für die drei Sujetvarianten „Leer“, „Rasterton“- und „Vollton“-Druck dargestellt. In allen Druckwerken wurden die 25 Messelemente für die Passermessung gedruckt. Beim „Raster“-Druck wurden im 2. (Cyan) und 3. (Magenta) DW eine Rastertonfläche mit einem Deckungsgrad von 50 % gedruckt. Beim Volltondruck wurden im 2. und 3. DW Volltonflächen appliziert.

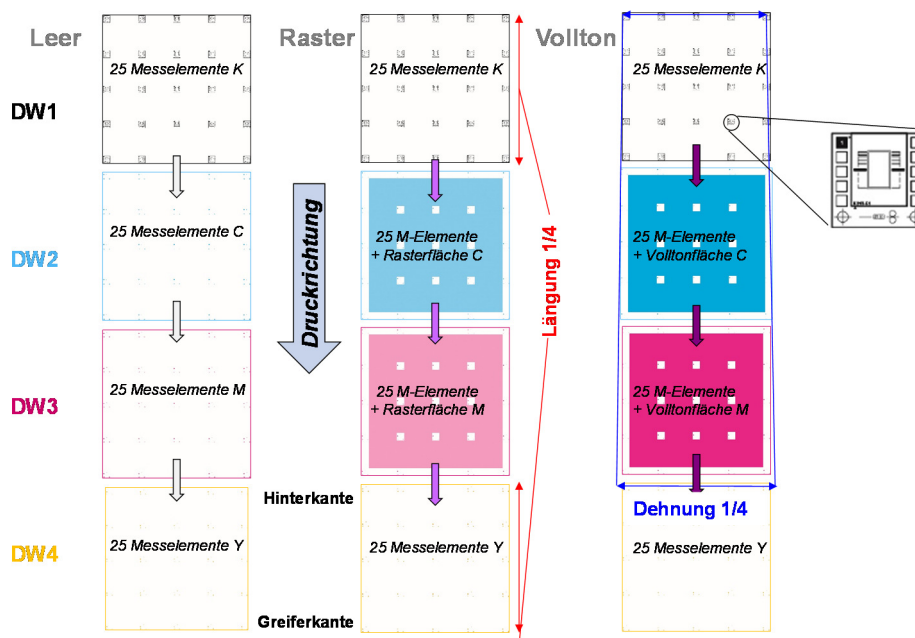


Abb. 38: Sujetabhängige Druckvarianten für Breit- und Schmalbahn

Gedruckt wurde sowohl Breit- als auch Schmalbahn. Des Weiteren sind in **Abb. 38** die Definition der Längung bzw. Dehnung zwischen 1. Und 4. DW eingetragen.

Parametervariationen

Unter Nutzung der Informationen aus **Abb. 13** sind in **Tab. 6** die variierten Druckparameter zusammengestellt. Da ein kompletter Versuchsplan vom Aufwand nicht realisierbar und auch nicht sinnvoll war, wurden in einem Vorversuch, unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren, drei Papiere bedruckt. Nach erfolgter Auswertung wurden die für die Dimensionsänderung relevanten Einflussparameter (**Tab. 6** fette Schrift) festgelegt und alle weiteren Papiere sowie die VESTRA-Varianten nur unter Variation dieser Parameter für BB und SB bedruckt.

Tab. 6: Druckvarianten → Ermittlung relevanter Einflussparameter (-stärke)

Parameter	Einfluss
Bedruckstoff Papier (D05 (90 g/m ²); D09 (130 g/m ²); D10 (135 g/m ²))	stark
Laufrichtung (BB, SB)	stark
Druckfarbe (oxidativ, UV)	gering
Feuchtmittelmenge (Standard, +30 Schritte)	stark
Feuchtmittelzusatz (ohne/mit 5% IPA)	gering
Gummituch (Standardgummituch)	gering
Druckpressung (Standard; erhöht)	gering
Sujet (Leer, Rasterton, Vollton)	stark

In Summe ergaben sich total 879 Druckversuche.

Druckdichte

Insbesondere wegen der teilweise geringen Papiermenge und aus Effektivitätsgründen wurden die Papiere fortlaufend bedruckt, d. h. eine papierspezifische Regelung der Druckdichte konnte nur bedingt realisiert werden, wodurch sich geringe Schwankungen in der Druckdichte ergaben (**Abb. 39** und **Anhang**).

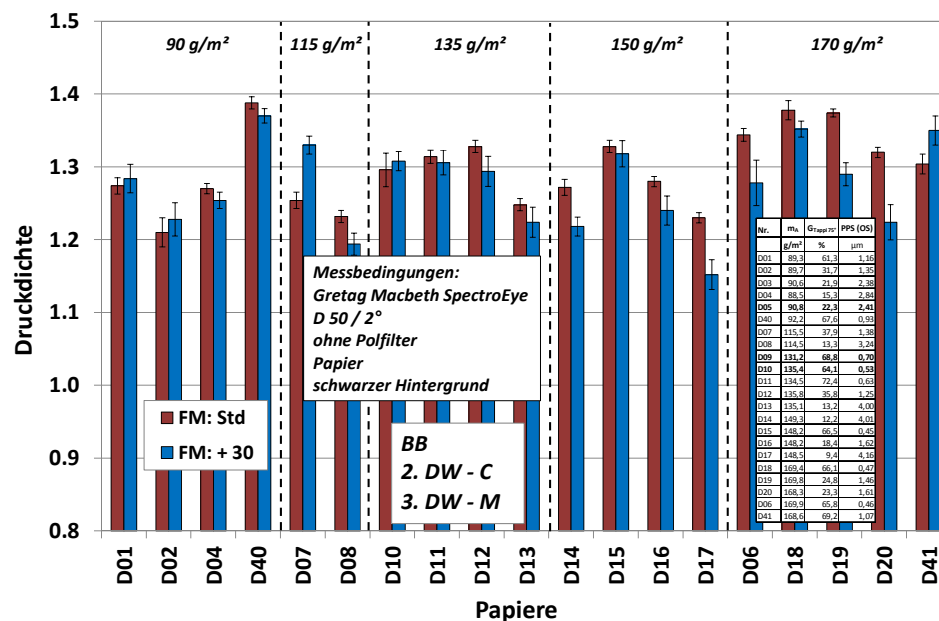


Abb. 39: Druckdichte Breitbahn - Industripapiere

6.9 AP9 – Auswertung Druckversuche

Ziel

Ziel des AP's war die Ermittlung der Dimensionsänderung in Abhängigkeit von den Einflussgrößen.

Auswertungs-prozedur

Die Bestimmung der Dimensionsänderung erfolgte mit dem Passermessgerät LUCHS, wobei folgende Randbedingungen bestanden:

- Auswertung 25 Passermesselemente/Bogen,
- N= 6 aufeinanderfolgende Bogen,
- Mittelwert pro Messstelle und Druckwerks (DW)-Kombination,
- Darstellung der Verzerrung,
- Berechnung der Dehnung - Hinterkante (Passerdifferenz links, rechts),
- Berechnung der Längung - Bogenmitte (Passerdifferenz vorn hinten).

Visualisierung der Dimensions-änderung

Typische Verzer-rungen

Die **Abb. 40** bis **Abb. 42** beinhalten Visualisierungen typischer Verzerrungen (Längung, Dehnung), wie sie bei den Versuchen bei SB- bzw. BB-Druck für die drei Sujetvarianten aufgetreten sind. Beim „Leer“-Druck konnte für das 150 g/m² Papier (**Abb. 40**) trotz erhöhter FM-Menge nur eine geringe Längung und Dehnung laufrichtungsunabhängig ermittelt werden. Mit dem Übergang zum „Ras-ter“-Druck nahmen Längung und Dehnung zu (**Abb. 41** - 90 g/m² Papier). Ext-reme Verzerrungen traten bei dem 90 g/m²-Papier (**Abb. 42**) auf. Auf die Ursa-

chen wird in den folgenden Kapiteln eingegangen werden.

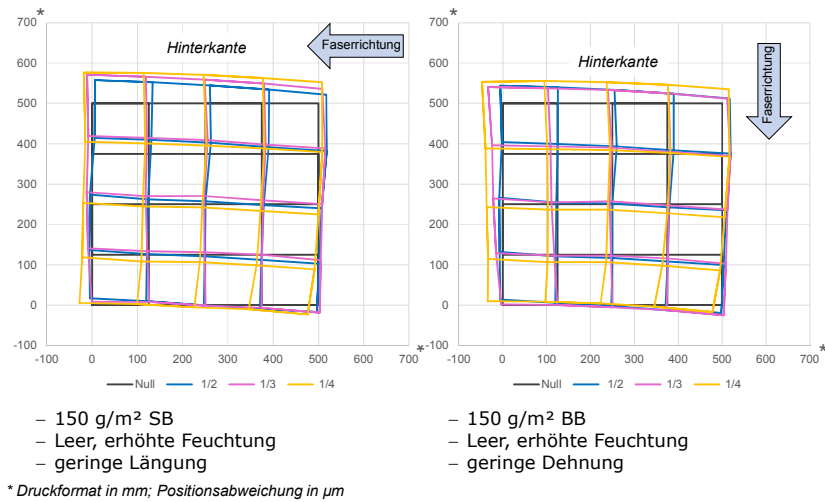


Abb. 40: Dimensionsänderung – typische Verzerrungsformen

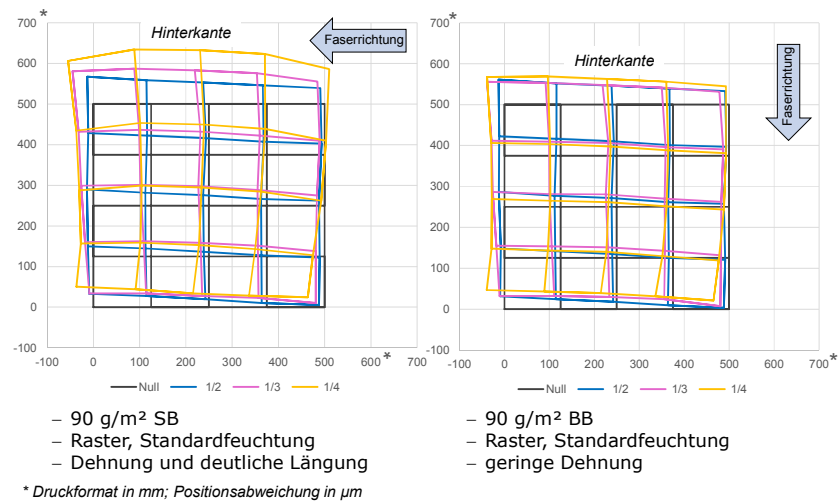


Abb. 41: Dimensionsänderung – typische Verzerrungsformen

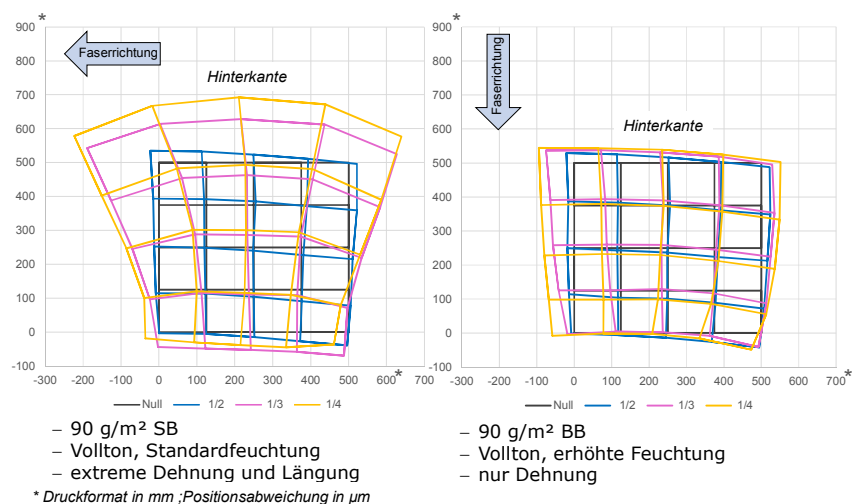
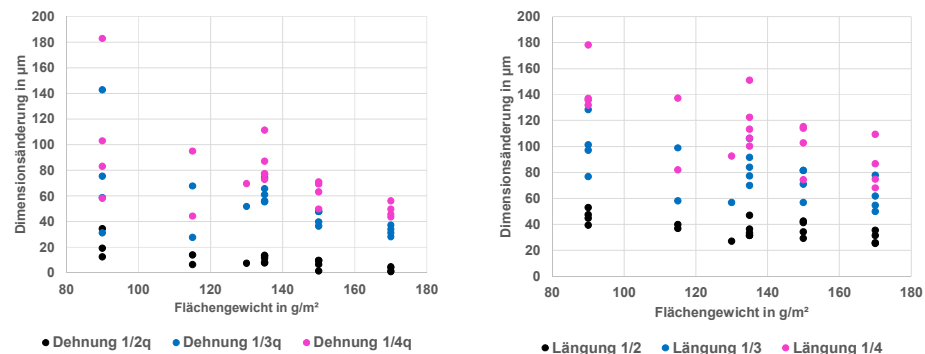


Abb. 42: Dimensionsänderung – typische Verzerrungsformen**Einfluss der flächenbezogenen Masse**

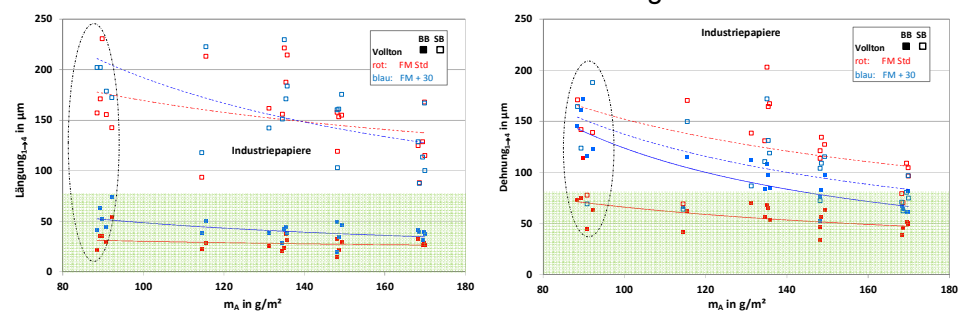
Industriepapiere

Die Entwicklung von Dehnung und Längung über die Druckwerke und die flächenbezogene Masse beinhaltet **Abb. 43**.

**Abb. 43:** Druckwerke und Einfluss der flächenbezogenen Masse

Ersichtlich ist die Zunahme der Dimensionsänderung über die Druckwerke wofür einerseits das höhere Angebot an Wasser und andererseits das wiederholte Abziehen der Papierbahn vom Gummituch verantwortlich sind. Entscheidend ist natürlich die maximale Änderung, die zwischen 1. DW und 4. DW auftritt. Diese wird bei der weiteren Auswertung deshalb vorwiegend herangezogen.

Dehnung und Längung als Funktion der flächenbezogenen Masse sowie der Laufrichtung des Papiers bringt auch **Abb. 44** zum Ausdruck, wobei die roten Markierungen die Dimensionsänderung bei Standard- und die blauen bei erhöhter Feuchte wiedergeben. Der grün hinterlegte Bereich in den Diagrammen kennzeichnet den Bereich der tolerierbaren Verzerrungen.

**Abb. 44:** Einfluss der flächenbezogenen Masse sowie der Laufrichtung

Bei der BB-Längung wird dieser Bereich feuchteunabhängig nicht überschritten. Nur die Dehnung weist beim BB-Druck bei erhöhter FM-Menge größere Werte auf. Dagegen treten beim SB-Druck weitgehend unabhängig von der FM-Menge nicht tolerierbare Dimensionsänderungen auf.

Einfluss des Sujets

Industriepapiere

In den komplexen Grafiken (**Abb. 45** bis **Abb. 47**) werden Dehnung und Längung für die beiden Laufrichtungen des Papiers und die zwei FM-Zustände sujettabhängig aufgezeigt. Der grüne Bereich kennzeichnet wiederum die vernachlässigbaren Veränderungen. **Abb. 45** kann entnommen werden, dass bei Standardfeuchtung die Dimensionsänderung tolerierbar ist.

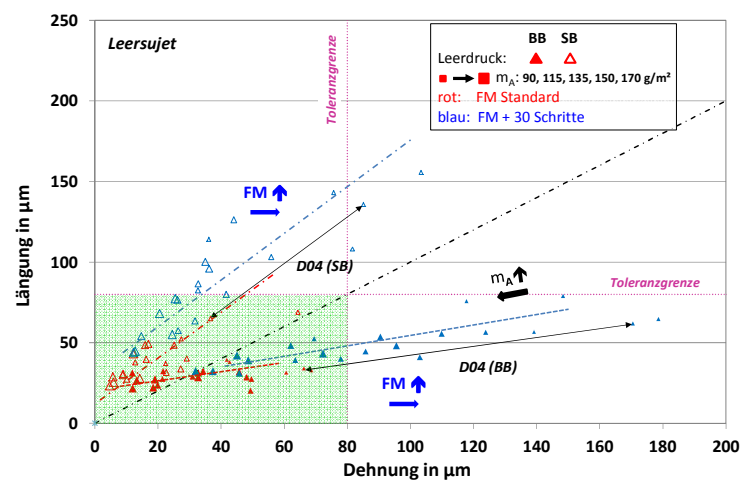


Abb. 45: Einfluss des Leersujets auf die Dimensionsänderung

Bei größerer FM-Menge kommt es bei SB vereinzelt zur Überschreitung des Toleranzbereichs der Längung. Bei der BB ist die Anzahl der Papiere mit erhöhter Dehnung größer, wobei hauptsächlich die Papiere mit geringer flächenbezogener Masse nicht tolerierbare Verzerrungen aufweisen.

Eine Verletzung der Toleranzgrenze in Richtung Längung tritt bei BB nicht auf. Die aufgezeigten Toleranzbereichsüberschreitungen wurden so nicht erwartet, da allgemein davon ausgegangen wird, dass das nicht farbführende Gummituch kein FM führt und somit übertragen kann. Diese Annahme ist auf der Basis dieser Messdaten zumindest bei erhöhter Feuchtmittelführung nicht haltbar.

Mit dem „Rasterton“- und „Vollton“-Druck (Abb. 46, Abb. 47) kommt es durch das in die Druckfarbe emulgierte Wasser zu einer gesteigerten Wasserübertragung auf das Papier. Des Weiteren muss der Farbfilm gespalten werden. In Abhängigkeit von der Viskosität der Druckfarbe, die eine Funktion der Wassermenge in der Farbe ist, und der Adhäsion zwischen Druckfarbe und Gummituch sowie Druckfarbe und Papier kommt es zu unerwünschten Mitnahmeeffekten des Papiers durch das Gummituch, die sich auf die Dimensionsänderung auswirken.

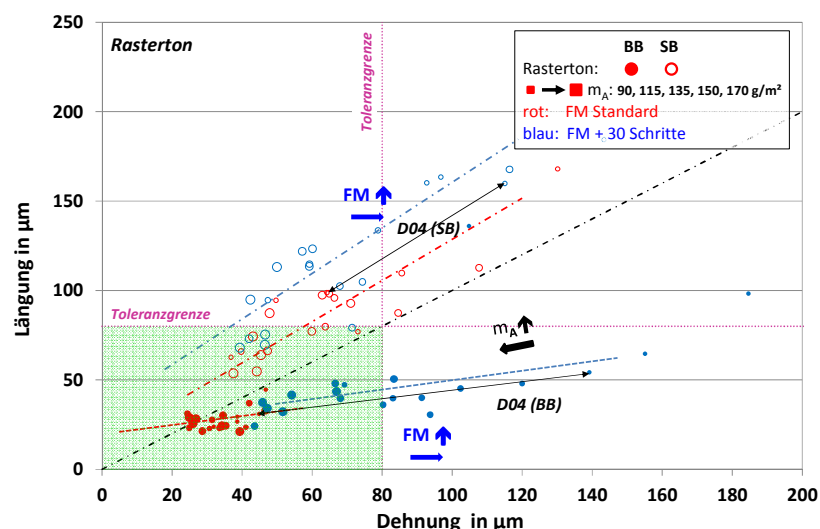


Abb. 46: Einfluss des Rastertonsujets auf die Dimensionsänderung

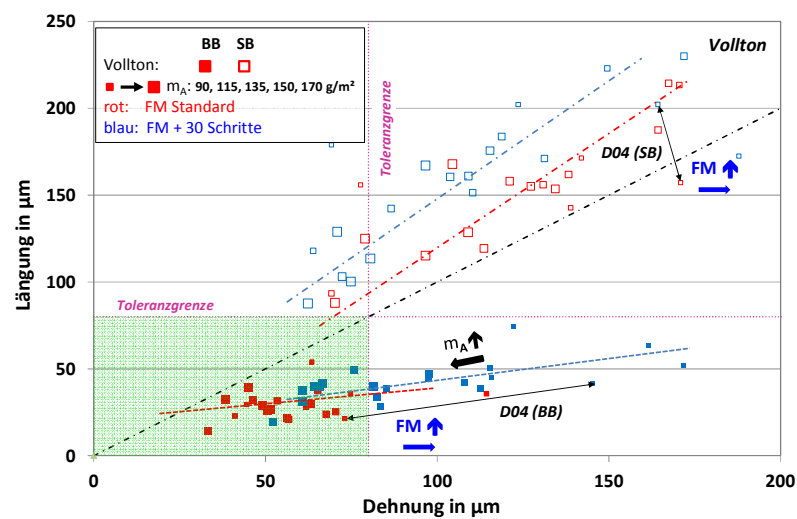


Abb. 47: Einfluss des Volltonsujets auf die Dimensionsänderung

Mit steigender Farbmenge und abnehmender flächenbezogener Masse der Papiere werden Papierlänge und -dehnung bei SB-Druck kritischer. Dieser Effekt wird durch eine FM-Erhöhung noch verstärkt. Etwas moderater verhält sich der BB-Druck. Hier sind sowohl Dehnung, als auch Längung bei Standardfeuchtmittelmenge noch im Toleranzbereich. Wird jedoch die FM-Menge erhöht, kommt es zu einer signifikanten Steigerung der Papierdehnung, während die Längung kaum verändert wird. Detaillierte Darstellungen der Messergebnisse, meist als Balkengrafik, sind im **Anhang** enthalten.

In **Abb. 48** sind alle Sujet- und Feuchtigkeitsvarianten als Punktwolke visualisiert. Basierend auf dieser Datenmenge wurde in **Abb. 49** Trendlinien für die Entwicklung der Dimensionsänderung eingetragen.

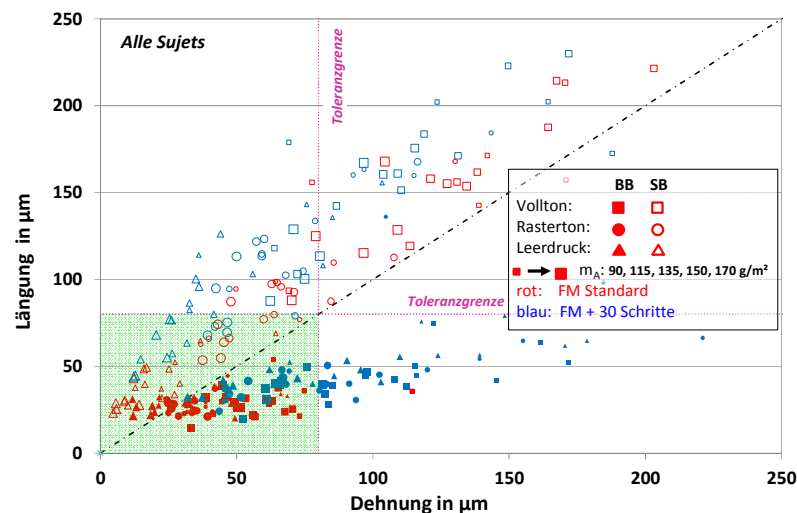


Abb. 48: Sujeteinfluss auf die Dimensionsänderung

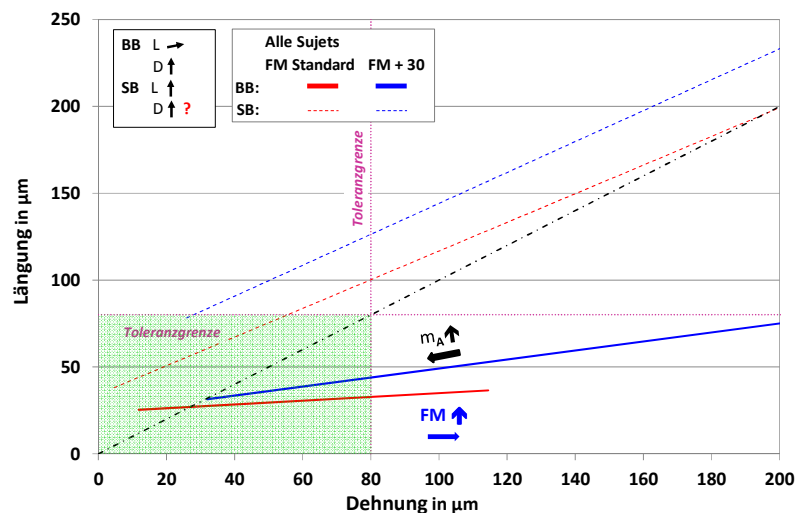


Abb. 49: Sujeteinfluss auf die Dimensionsänderung - Trendliniendarstellung

Die Komplexgrafik (**Abb. 50**) soll der Veranschaulichung der Dimensionsänderungen in Abhängigkeit der Einflussfaktoren Papier, Laufrichtung und Feuchtmittelmenge dienen.

Das gestrichelte schwarze Quadrat kennzeichnet das unverzerrte Druckbild. Eingetragen sind sowohl der Druckspalt in BB und SB, womit auch die Druckrichtungen festgelegt sind. Ebenfalls vermerkt ist die Faserlaufrichtung im Papier. Betrachtet werden zwei 90 g/m² Papiere (D01 und D40). Veranschaulicht ist die Dimensionsänderung zwischen dem 1. und 4. DW.

Zunächst sollen Dehnung und Längung bei BB-Druck beleuchtet werden. Hier ist die Greiferkante mit der unteren gestrichelten schwarzen Linie identisch. Demzufolge finden Längung und Dehnung an der gegenüberliegenden Seite (oben) statt. Der Übersicht halber ist jeweils nur eine Hälfte der Dimensionsänderung eingetragen, da davon ausgegangen werden kann, dass die Änderung weitgehend symmetrisch ist. Unter Nutzung des eingetragenen kartesischen Koordinatensystems findet die Längung in y-Richtung statt. Die Längungsunterschiede zwischen den beiden Papieren D01 und D40 sind dabei nicht ausgeprägt. Auch der Einfluss des FM ist nicht sehr groß. Anders verhält es sich mit der Dehnung (x-Richtung), die bei FM-Erhöhung zu einer signifikanten Dehnungszunahme führt, hier ist auch der Einfluss des Papiers nachweisbar.

Die Betrachtung des SB-Drucks verdeutlicht die extreme Zunahme der Längung (jetzt x-Richtung). Zwar ist der Einfluss der Papierart und der FM-Menge gegeben, aber dieser ist nicht ausgeprägt. Auch die Dehnung (y-Richtung) erfährt eine große Änderung.

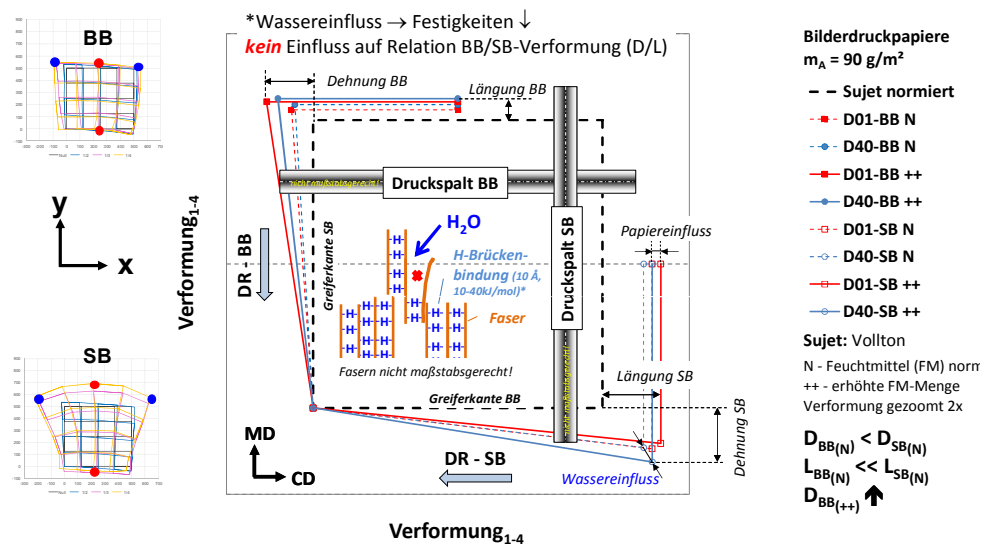


Abb. 50: Einfluss von Papier, Laufrichtung und Feuchtmittelmenge auf die Dimensionsänderungen (Längung/Dehnung)

Zwischen die „idealisierten“ und nicht maßstabsgerechten Fasern in **Abb. 50** wurden symbolisch die für die Bindungsfestigkeit verantwortlichen H-Brückenbindungen, inklusive ihres Energiewertes, eingezeichnet. Bei genügender Menge Wasser erreicht dieses den Faserverbund sehr schnell und kann sich zwischen die Fasern einlagern und zu einer Schwächung bis hin zur Auflösung der H-Brücken führen, wodurch das Festigkeitspotential des Faserverbundes herabgesetzt wird (**Abb. 18**). Eine Dimensionsänderung durch echte Quellung der Einzelfaser wird in der Zeitspanne von wenigen Sekunden, die der Bogen in der Druckmaschine verweilt, nicht erfolgen. Dies bedeutet, dass neben der Reduzierung der Festigkeit des Faserverbundes noch mechanische Kräfte für die Dimensionsänderung erforderlich sind.

Zum besseren Verständnis sind auch typische Verzerrungsbilder in **Abb. 50** eingefügt.

In der **Abb. 51** sind die wichtigsten Einflussgrößen auf die Dimensionsänderung aufgelistet.

Wie bereits erwähnt, haben die mechanischen Kräfte, die während des Druckprozesses wirken, einen großen Einfluss auf die Dimensionsänderung bzw. sind sogar entscheidend für diese. Wie in **Abb. 51** ersichtlich, wird im Walzenspalt eine Linienkraft aufgebracht, die sich in einer Flächenpressung äußert. Dem ist noch ein Transportprozess überlagert. Anschaulich kann man sich dies vorstellen, wie beim Auswalzen von Teig mit einem Nudelholz, wobei der Teig (Papier) an der Greifkante fixiert ist. Es wirken somit Kräfte in x-, y- und z-Richtung auf das Papier. Neben diesen Kräften sind bei der Trennung des Papiers vom Gummituch Abzugskräfte vorhanden, die vorwiegend in Druckrichtung orientiert sind. Die Höhe dieser Kräfte ist einerseits abhängig von der viskositätsabhängigen Kohäsion der Druckfarbe und andererseits von den Adhäsionskräften zwischen Druckfarbe und Gummituch bzw. Papier.

Mechanische Einflüsse (axial, Druckrichtung, z-Richtung)**Druck** (Liniendruck, Flächenpressung) + **Transport**

→ Kräfte in x-, y- z-Richtung → Nudelholzeffekt

**Abzugseffekte** (Trennung Papier – Druckfarbe – Gummituch)

→ vorwiegend Kräfte in Druckrichtung (Längung)

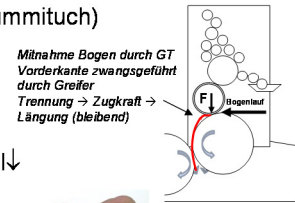
Wassereinfluss**Papier** (physiko-chemisch)

Schwächung der H-Brücken (Quellung) → E-Modul↓

→ Steifigkeit ↓

Druckfarbe

Viskosität ↓ → Zügigkeit DF↓ → Zug auf Bogen↓



F-Linienkraft

Abb. 51: Modellvorstellungen – Ursachen für die Dimensionsänderungen

Zu diesen mechanischen Kräften kommt als zweite Einflussgröße das Wasser hinzu. Durch die bereits beschriebene Schwächung der H-Brücken, die zu einer Abnahme der Papierfestigkeit (E-Modul) führt, ist der Widerstand, den das Papier den Längungs- und Spreitungs Kräften entgegensetzt, reduziert, was die Dimensionsänderung verstärkt. Dem entgegen wirkt die mit der Einlagerung des Wassers in die Druckfarbe einhergehende Viskositätsabnahme, d. h. es kommt zu einer reduzierten Zügigkeit der Farbe.

Diese Effekte treten simultan auf und können in ihrer Quantität gegenwärtig noch nicht eindeutig bestimmt werden.

Spezielle Druckvarianten

Industriepapiere

Um die These „Wasser führt zur Dimensionsänderung“ beim Offsetdruck zu hinterfragen, wurden auch einige Papiere zusätzlich im wasserlosen Offsetdruck bedruckt (**Abb. 52**). Die Ergebnisse des wasserlosen Offsetdrucks wurden gegen die Daten des wasserbasierten Drucks mit Standard- und erhöhter FM-Menge aufgetragen, d. h. für den wasserlosen Offsetdruck war dann nur ein Messwert vorhanden.

Unverkennbar ist der starke Einfluss der wasserlosen Offsetfarbe auf die Dehnung und die Längung beim SB-Druck. Dies bestätigt, dass das FM sowie das Wasser in der Druckfarbe nicht allein für die Dimensionsänderungen im Offsetdruck verantwortlich sind.

Da neben dem Wasser auch die auf das Papier wirkenden Abzugskräfte für die Dimensionsänderung relevant sind, wurde untersucht, inwieweit der Zusatz von sogenannten Antitack-Mitteln zur Offsetfarbe eine Verringerung der Dimensionsänderung bewirkt (**Abb. 53**). Die Anordnung der Messpunkte um die 45°-Linie lässt erkennen, dass kein signifikanter Einfluss dieser Mittel nachweisbar war.

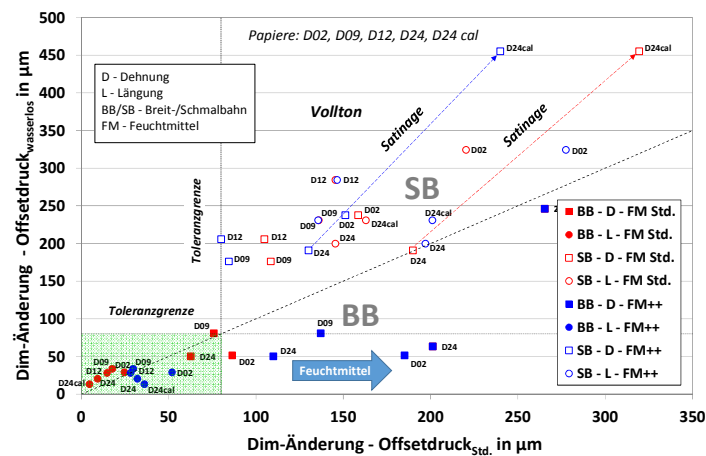


Abb. 52: Wasserloser gegen wasserbasierten Offsetdruck

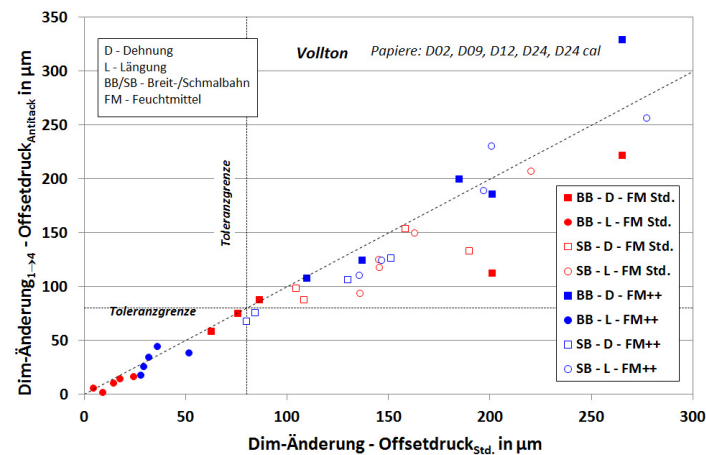


Abb. 53: Standardoffsetdruck gegen Offsetdruck bei Einsatz von Antitackmitteln

Ebenfalls im Fokus war das Gummituch. Neben dem eingesetzten Standardgummituch wurden einige Papiere bei Einsatz eines Gummituchs mit verbesserten Abzugeigenschaften (QuickRelease) bedruckt (**Abb. 54**).

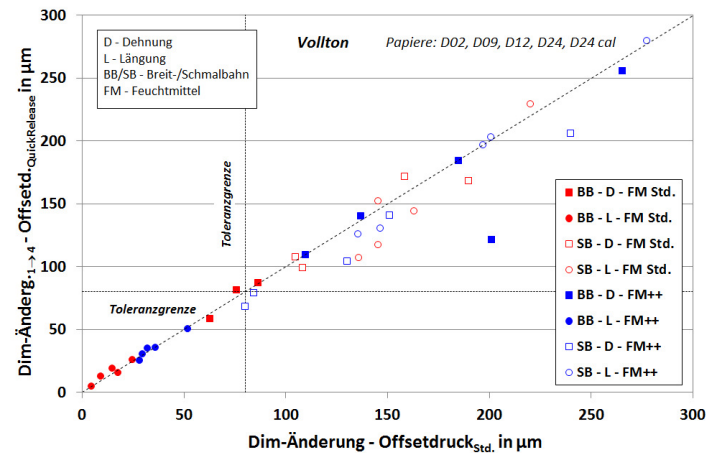


Abb. 54: Standardoffsetdruck gegen Offsetdruck bei Einsatz eines Gummituchs mit verbesserten Abzugeigenschaften

Auch das Gummituch mit den verbesserten Abzugseigenschaften hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Dimensionsänderung.

VESTRA-Papiere

Die Ergebnisse der Dimensionsänderung der VESTRA-Papiere getrennt für Längung und Dehnung beinhalten **Abb. 55** und **Abb. 56**.

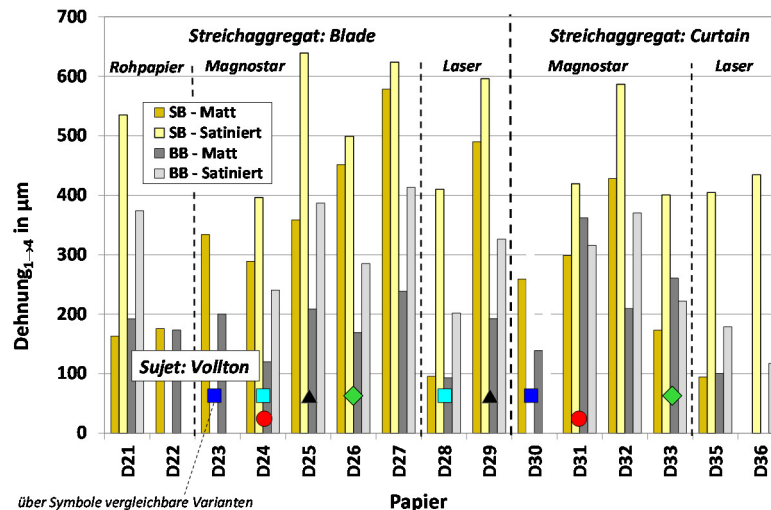


Abb. 55: Dehnung 1→4 für die VESTRA-Varianten

In ihrem grundsätzlichen Verhalten hinsichtlich Dimensionsänderung sind VESTRA-Papiere mit den Industripapieren vergleichbar, wobei jedoch das Niveau der Änderung bei den VESTRA-Varianten signifikant oberhalb der der Industripapiere lag.

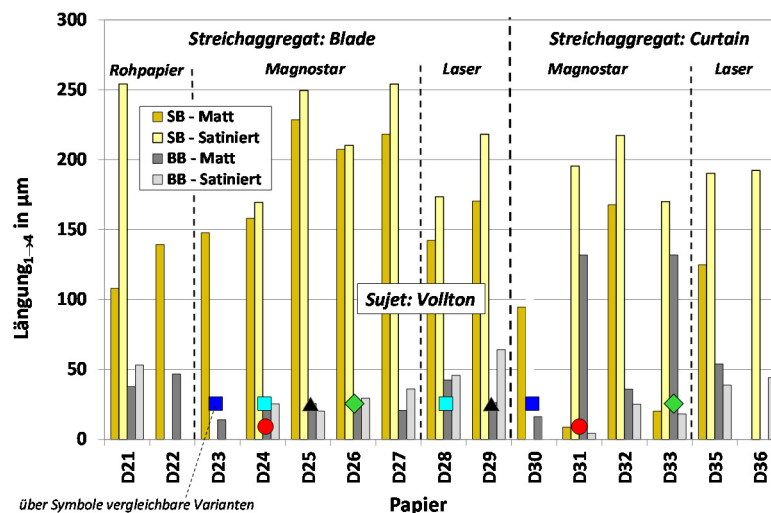


Abb. 56: Längung 1→4 für die VESTRA-Varianten

In den **Abb. 55** und **Abb. 56** sind die strichrezepturmäßig und streichaggregatmäßig vergleichbaren Varianten über farbige Symbole gekennzeichnet. So unterscheiden sich z. B. die Varianten D23 (Blade) und D31 (Curtain) bzw. D26 (Blade) und D33 (Curtain) nur in der Art des Streichaggregates. Die Varianten D24 (MagnoStar) und D28 (Laser) sind rezepturmäßig identisch und nur das

Streichrohpapier variierte.

Es konnten sowohl für die Längung als auch die Dehnung keine signifikanten Unterschiede im Dimensionsverhalten, die bedingt sind durch:

- das Streichpapier,
- die Strichrezeptur,
- die Strichanzahl,
- das Steichaggregat

festgestellt werden.

Im Gegensatz zu den Industripapieren lag bei den VESTRA-Varianten auch die Dimensionsänderung der Basispapiere vor. MagnoStar wurde zu Vergleichszwecken auch kalandriert. Die Satinage erbrachte eine erhebliche Erhöhung der Dimensionsänderung, worauf folgend noch eingegangen wird.

Topografieeinfluss

Aufgrund der detaillierten Kenntnisse zu den VESTRA-Varianten konnte für diese der Einfluss der Topografie des Papiers herausgearbeitet werden (**Abb. 57**).

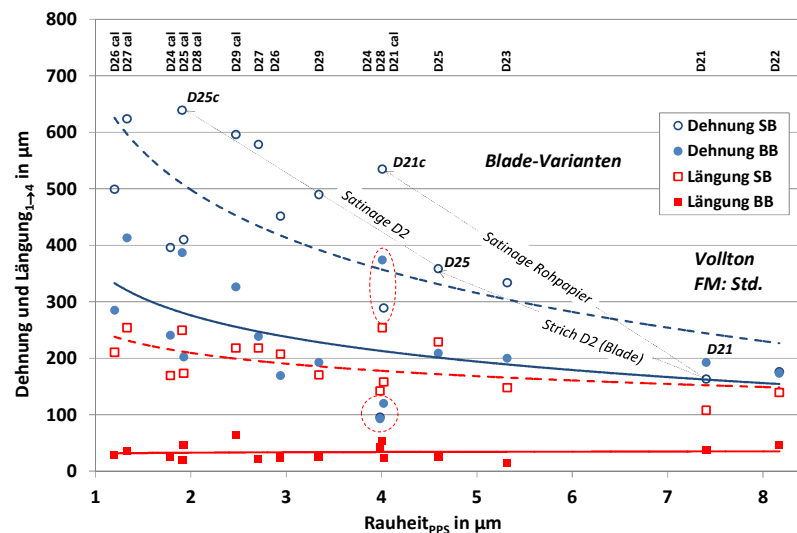


Abb. 57: Dehnung und Längung als Funktion der Rauheit nach Parker Print Surf

Mit Ausnahme der Längung in BB war für alle anderen Varianten ein Einfluss der Topografie der Papiere erkennbar, der bei der Dehnung der BB am größten war. Eine mögliche Ursache für den Topografieeinfluss wird darin gesehen, dass bei rauen Papieren ein Teil der Kräfte zur Reduzierung der Rauheit der Papieroberfläche verwendet wird, bevor es zur Dimensionsänderung kommt.

Der Topografieeffekt konnte leider bei den Industripapieren, die ebenfalls von rau bis glatt vorlagen, nicht nachgewiesen werden. Hier wirken jedoch die Einflussfaktoren Festigkeit und Oberfläche gleichzeitig, so dass in der Überlagerung dieser Einflüsse keine eindeutige Tendenz erkennbar war.

6.10 AP10 – Herstellung modifizierter Papiere (VESTRA)

Ziel Ziel dieses AP's war die Herstellung gestrichener Papiere deren Erzeugung hinsichtlich Basispapier, Strichrezeptur, Streichaggregat sowie Veredelung gezielt gesteuert wurde, um den Einfluss dieser Faktoren herauszuarbeiten.

Varianten Eine detaillierte Beschreibung aller VESTRA-Varianten kann dem **Anhang** entnommen werden. Ausgehend von den zwei sich in ihrer Formation unterscheidenden Rohpapieren wurden die beiden Streichaggregate Blade (Nivellierstrich) und Curtain (Konturstrich) genutzt.

Die applizierten Streichrezepturen waren für Blade und Curtain weitgehend identisch, wobei jedoch die rheologischen Eigenschaften gezielt für das jeweilige Streichaggregat eingestellt wurden. Es wurden eine Vorstrichrezeptur und zwei Deckstrichrezepturen erarbeitet.

Bladevarianten Die Bladestrichvarianten enthält **Tab. 7**.

Tab. 7: Rohpapiere und Bladevarianten

	Basispapiere m_A		Papier	Strichvarianten	Pigmenteinsatz
		g/m^2			
D21	M	58	Magnostar 58		
D22	L	80	Laser 80		
D21cal	M	58	Magnostar 58		
Bladevarianten (B)					
D23	M-B1/B2 (P)	80	Magnostar 58	Vorstrich	HC60ME (100)
D24	M-B3 (D1)	80	Magnostar 58	Deckstrich 1	HC90ME (70)/Hydragloss (30)
D24cal					
D25	M-B4 (D2)	80	Magnostar 58	Deckstrich 2	CC75 (70)/Hydragloss (20)/EXP4115 (10)
D25cal					
D26	M-B1D1	100	Magnostar 58	Vor-+ Deckstrich 1	HC60ME (100) + HC90ME (70)/Hydragloss (30)
D26cal					
D27	M-B2D2	100	Magnostar 58	Vor-+ Deckstrich 2	HC60ME (100) + CC75 (70)/Hydragloss (20)/EXP4115 (10)
D27cal					
D28	L-B5 (D1)	100	Laser 80	Deckstrich 1	HC90ME (70)/Hydragloss (30)
D28cal					
D29	L-B6 (D2)	100	Laser 80	Deckstrich 2	CC75 (70)/Hydragloss (20)/EXP4115 (10)
D29cal					

Curtainvarianten **Tab. 8** zeigt die Curtainvarianten.

Tab. 8: Rohpapiere und Curtainvarianten

	Basispapiere m_A		Papier	Strichvarianten	Pigmenteinsatz
		g/m^2			
D21	M	58	Magnostar 58		
D22	L	80	Laser 80		
D21cal	M	58	Magnostar 58		
Curtainvarianten (C)					
D30	M-C1/C2 (P)	80		Vorstrich	HC60ME (100)
D30cal					
D31	M-C3 (C1)	80		Deckstrich 1	HC90ME (70)/Hydragloss (30)
D31cal					
D32	C7 (D5)	80			
D32cal	C7 (D5) cal	80			
D33	M-C1.1D1	100		Vor-+ Deckstrich 1	HC60ME (100) + HC90ME (70)/Hydragloss (30)
D33cal	M-C1.1D1	100		Vor-+ Deckstrich 1	HC60ME (100) + HC90ME (70)/Hydragloss (30) cal
D35	L-C5.1 (D1)	100		Deckstrich 1	HC90ME (70)/Hydragloss (30)
D35_2	L-C5.1 (D1)	100		Deckstrich 1	HC90ME (70)/Hydragloss (30)
D35_2cal					
D36	C1D1 top zusätzlich einseitig Doppelstrich				
D36cal	C1D1 cal zusätzlich einseitig Doppelstrich cal				

Satinage

Alle relevanten Strichvarianten lagen sowohl matt, wie sie die Streichmaschine verlassen haben, als auch glänzend nach Satinage im Kalender vor. Die Satinagebedingungen sind im **Anhang** zusammengefasst.

WRV

Wie bereits in 5.6 ausgeführt, sollte im Rahmen des Projektes untersucht werden, inwieweit aus der Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens (WRV) der Streichfarbe auf das Verarbeitungsverhalten sowie die Trocknung geschlossen werden kann. **Tab. 9** enthält die Streichrezepturen und die dazugehörigen Daten der WRV-Messung.

Tab. 9: Strichrezepturen und WRV-Ergebnisse

Versuche		Blade			Curtain			
		precoat	topcoat		precoat	topcoat		
		B-P	B-D1	B-D2	C-P	C-D1	C-D2	C-D5
Total parts pigments		Run Solids [%]	100	100	100	100	100	100
HC60ME	78	100			100			
HC90ME	78,1		70			70		
Hydragloss90EM	72,1		30	20		30	20	20
Acronal S360 D niedriger TG	50		12			12		
LitexP7110 hoher TG	50	8		12	8		12	12
C-Film7311	30,2	4			4			
PVOH BF-05	14,5		0,5	0,5		0,5	0,5	0,5
OBA BlankophorP01	100		0,5	0,5		0,5	0,5	0,5
SterocollFS	40	0,2	0,1	0,2				
Chupasurf LP763	100				0,3	0,3	0,3	0,3
Viscosol LP764	100				0,1	0,1	0,1	0,1
Ligafluid CA50F	50		0,5			0,5		
EXP4115	100			10			10	10
CC 75	72,6			70			70	70
SokolanCP10	45							0,1
Total parts		112,2	113,6	113,2	112,4	113,9	113,4	113,5
Colour PilotCoater								
Feststoffgehalt [%]		68,9	69,8	62,5	68,0	65,6	60,6	59,4
pH - Wert		8,8	8,9	9,7	8,8	8,9	9,9	9,9
Temperatur		30	30	30	45	43	40	37
Brookfield Visk.100		1640	1660	1010	480	550	460	390
Colour Labortest								
Feststoffgehalt		68,5	67,4	61,0	68,4	65,4	61,0	59,4
pH-Wert		9,0	9,2	9,8	9,1	9,1	9,9	9,8
Temperatur		28	27	29	40	40	40	40
Brookfield Visk. 100		2160	2550	2870	690	1120	2220	1490
WRV AA-GWR (60sec; 1bar)		73	138	150	74	144	186	169
WRV		0.0573	0.1075	0.1173	0.0574	0.1125	0.1448	0.1320

Bei diesen nach den Pilotversuchen durchgeführten Labortests konnten die Streichfarben ohne das Spezialpigment (EXP4115) im Labor annähernd reproduziert werden, was durch die Farbdaten bestätigt wird. Unterschiede in den Brookfieldviskositäten sind auf den unterschiedlichen Energieeintrag bei der Dispergierung und damit Dispergierqualität des Pigments sowie auch bei der Herstellung (z. B. Eintrag des Verdickers) zurückzuführen. Insbesondere die Dispergierung des Spezialpigmentes erwies sich als kritischster und im Vergleich zu den Versuchen am Pilotcoater nicht reproduzierbarer Part.

Für ergänzende Versuche am Pilotcoater stand leider nicht das dafür erforderliche Material mehr zur Verfügung. Welchen Einfluss schlussendlich die unterschiedliche Dispergierung des Spezialpigments auf das WRV in diesen Streichfarben hat, konnte im Rahmen der in diesem Projekt zur Verfügung stehenden Mittel nicht weiter spezifiziert werden, wodurch Schlussfolgerungen hinsichtlich Qualität und Verarbeitbarkeit am Pilotcoater rückwirkend durch die später durchgeführten Labortests zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich sind. Die mit diesem Gerät gewonnenen ersten Ergebnisse hinsichtlich des WRV's zeigen folgende Tendenzen:

- generell sehr hohe Werte (150 – 186) bei Einsatz des Spezialpigments,
- kein Einfluss der Hilfsmittel bei den Farben B-P (Bladesystem) und C-P (Curtain) auf das ermittelte WRV,

die bei weiterführenden Untersuchungen dringend näher betrachtet werden sollten. Rückschlüsse auf die Endqualität d. h. Druckqualität können mit dem jetzigen Kenntnisstand noch nicht gezogen werden.

6.11 AP11 – Simulation Flüssigkeitspenetration und Dehnung

Ziel

Ziel des AP's war die Weiterentwicklung des Modells zur Flüssigkeitspenetration auf der Basis von AMDiS.

Überblick

PAP

Der prinzipielle Ablauf der Modellierung, beginnend mit der Generierung der Strichschichten, der Eingabe der Modellierungsparameter und dem Start der Modellierung kann dem PAP in **Abb. 58** entnommen werden.

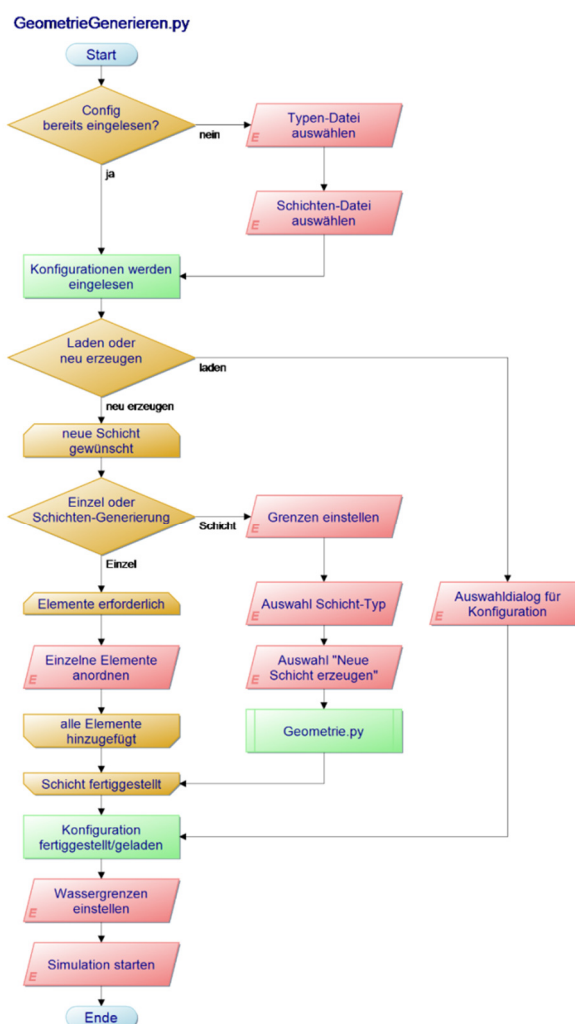


Abb. 58: PAP zur Strukturgenerierung und Modellierung

Strukturgenerierung

Die Strukturgenerierung erfolgt nach Auswahl des entsprechenden Schicht-Typs unter Verwendung der messtechnisch ermittelten Verteilungsfunktion der Pigmentteildurchmesser automatisch. Um eine möglichst dichte Packung der Teilchen (realistische Porosität) zu erreichen, muss die Struktur dann

mehrmals manuell komprimiert und wieder aufgefüllt werden. Abschließende Feinbearbeitung der Struktur kann händisch erfolgen über Einfügen/Löschen/Verschieben von einzelnen Teilchen. Zur Generierung anderer Schichten als der Vorkonfiguration, muss in den JSON-Template Dateien eine neue Verteilungskurve hinterlegt werden und diese einer Schicht (anteilig) zugewiesen werden.

Zwei generierte Strichstrukturen der an der VESTRA verarbeiteten Streichrezepturen sind in **Abb. 59** zusammengefasst. Die Strukturen der weiteren Streichrezepturen sind im **Anhang** enthalten.

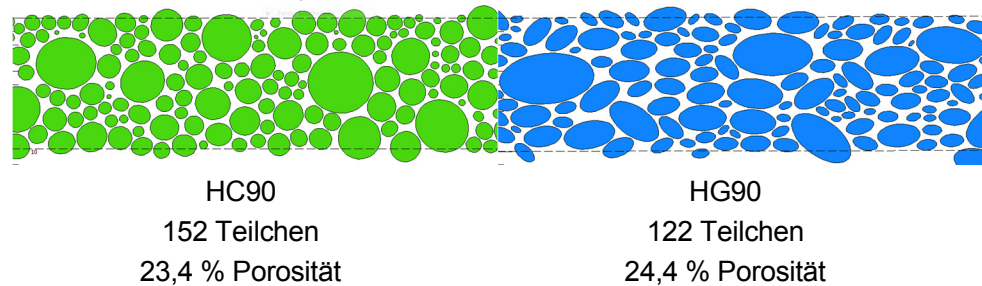


Abb. 59: Generierte Strichstrukturen für Hydrocarb 90 und Hydragloss 90

Die Schichtdicke beträgt jeweils 5 μm und die x-Ausdehnung 20 μm . Eine Vergrößerung der x-Ausdehnung würde sich in einem extremen Anstieg der Modellierungszeit niederschlagen.

Modellierung mit AMDiS

Eingabeparameter

Um die Modellierung/FEM-Simulation mit AMDiS zu starten, benötigt das Programm noch einige Steuergrößen. Diese sind mit dem meistverwendeten Norm-Wert sowie sinnvollen Minima und Maxima in **Tab. 10** angegeben.

Tab. 10: Eingabeparameter für Modellierung

Parameter	Einheit	Norm-Wert	min	max
Fluidschicht	μm	1	1	2
Viskosität Fluid	$\text{mPa}\cdot\text{s}$	1	0,7	1,5
Dichte Fluid	g/cm^3	1	0,9	1,1
Oberflächenspannung	mN/m	72	65	75
Anzahl Gitterpunkte		16	14-16	32
Epsilon (korrespondiert mit Kapillarradius)	μm	0,2	0,1	0,2

Bei den grau hinterlegten Zeilen handelt es sich um Parameter des Fluids. In der Regel wurde mit einer Fluidschichtdicke von 1 μm gerechnet.

Die Anzahl der Gitterpunkte legt fest mit wie vielen Punkten im Gitternetz ein Pigmentteilchen (Ellipse) approximiert wird. Eine größere Gitterpunktanzahl führt zu einem genaueren Modellierungsergebnis, geht aber mit einer nichtlinearen Vergrößerung der Modellierungszeit einher.

Das vorliegende Modellierungspaket AMDiS arbeitet im 2D-Raum. Reale Strichstrukturen sind jedoch dreidimensional. Um das Fließverhalten des Fluids im 3D-Raum zweidimensional abzubilden, wird die Steuergröße Epsilon verwendet. Mit steigendem Epsilon wird die Grenze zwischen Luft und Fluid unschärfer, was einen vorzeitigen Abbruch der Simulation aufgrund fehlender Lösung des Differenzialgleichungssystems verhindert.

Modellierung mit AMDiS

Visualisierung der Penetration

Das Eindringen von Wasser in die Strukturen HC90 (links) und die HG90 (rechts) ist in **Abb. 60** visualisiert. Dargestellt sind der Ausgangs- und Endzustand der Penetration sowie eine Zwischenstand nach 100 Iterationsschritten.

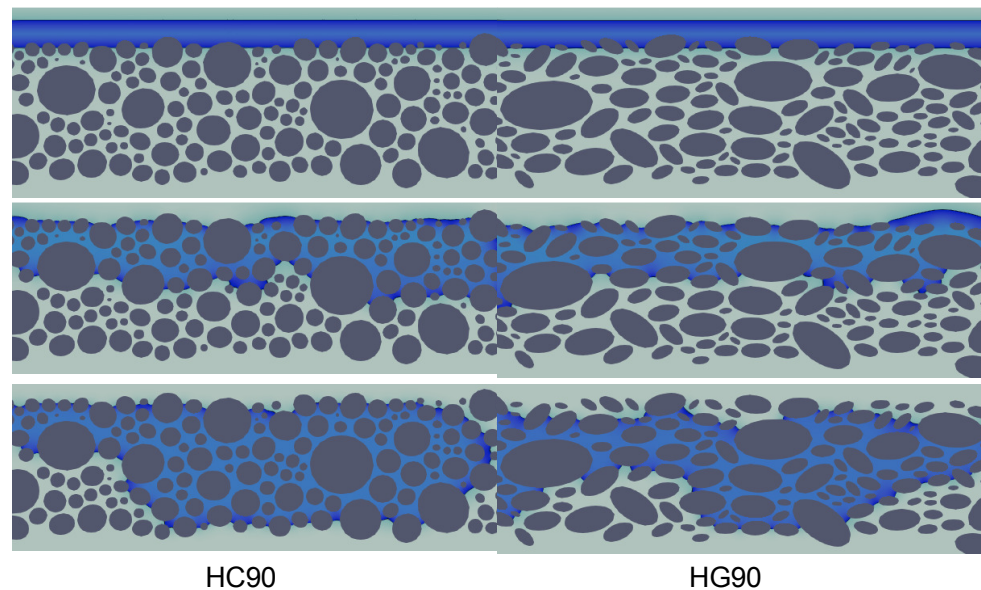


Abb. 60: Flüssigkeitspenetration in zwei Strichstrukturen in Abhängigkeit vom Iterationsschritt

Für die weiteren VESTRA-Strukturen ist die Visualisierung der Penetration im **Anhang** enthalten.

In der Visualisierung des Penetrationsvorgangs wird deutlich, dass es ortsauflösend Unterschiede in der Eindringtiefe des Fluids gibt. Diese sind auf die lokalen Unterschiede in der Pigmentverteilung und die davon hervorgerufenen Kapillarkräften zurückzuführen. Wie **Abb. 60** entnommen werden kann, sind die Schwankungen der Dicke der generierten Striche im Vergleich zu den realen Strichstrukturen im Papier gering ($\ll 1 \mu\text{m}$). Grundsätzlich lassen sich problemlos noch realistischere Strukturen erzeugen, jedoch muss dann gewährleistet sein, dass die Strukturen des Rohpapiers ebenfalls modelliert werden, da ansonsten an dünnen Strichstellen nach Durchdringung des Strichs die Triebkräfte für die weitere Penetration (Modellierung) fehlen. Mit Faserdicken von $20 \mu\text{m}$ bis $50 \mu\text{m}$ und Faserlängen von $0,5 \text{ mm}$ bis 3 mm ergeben sich jedoch Strukturen mit einer x-Ausdehnung von mehreren Millimetern. Diese komplexen Strukturen sind zwar generierbar aber mit der derzeit verfügbaren Rechentechnik mit vertretbarem Zeitaufwand nicht modellierbar.

Modellierung mit AMDiS

Ergebnis

Die abschließenden numerischen Modellierungsergebnisse für die an der VESTRA verwendeten Pigmente sowie ausgewählte Strichrezepturen verdeutlicht **Abb. 61**. Dargestellt ist die mittlere Eindringtiefe in die Strukturen. Es wird deutlich, dass die rhomboedrischen Kreidepartikel (HG90) gegenüber den plättchenförmigen Kaolinpartikel (HG90) eine schnellere Penetration der Flüssigkeit ermöglichen. Die Unterschiede zwischen dem reinen Pigment HG90 und der Deckstrichrezeptur aus 70 % HC90 und 30 % HG90 sind jedoch nicht so gravierend. Der Doppelstrich zeigt, dass das fast identische Verhalten wie die Deckschichtrezeptur, da die Penetration bei der angebotenen Flüssigkeitsmenge vorwiegend in dieser Schicht stattfindet.

Leider wird die Eindringtiefe über der Anzahl der Iterationsschritte ausgegeben, d. h. eine direkte Kopplung zur Zeitachse fehlt gegenwärtig noch. Hier sind noch entsprechende Kalibrierungsarbeiten erforderlich.

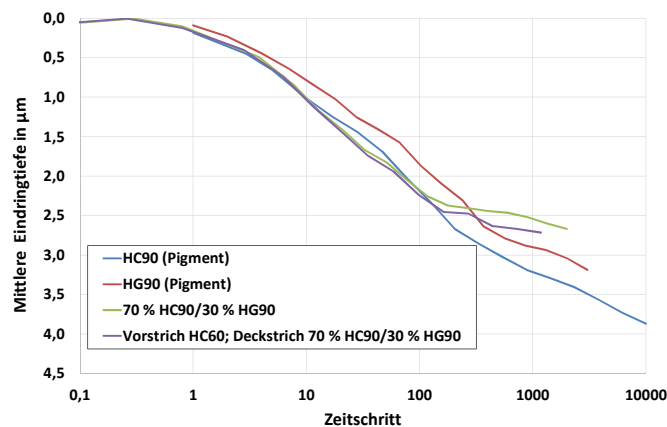


Abb. 61: Fluideindringtiefe als Funktion der Iterationsschritte der Modellierung

6.12 AP12 – Beziehungen Papier- / Druckparameter zu Druckergebnis

Ziel

In diesem Arbeitspaket wurden auf der Basis einer detaillierten Datenauswertung die Zusammenhänge zwischen den Eingangsparametern und den resultierenden Passerabweichungen hergestellt. Dabei wurden Materialparameter und Druckbedingungen betrachtet und deren Einflussstärke und Wirkungstendenz bestimmt.

Druckrichtung

In Vorversuchen wurden die Auswirkungen der wesentlichen Druckparameter untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass nach der flächenbezogenen Masse die Laufrichtung der Papiere, also die Ausrichtung der Papierfasern im Bogen bezogen auf die Druckrichtung den größten Einfluss hat. Grundsätzlich kommt es bei der Laufrichtung Schmalbahn eher zur Längung des Substrats und bei der Laufrichtung Breitbahn eher zur Dehnung. Das ist plausibel, weil die Dimensionsänderung am stärksten quer zur Faser erwartet wird.

Allerdings ist die Größenordnung der Dimensionsänderung unterschiedlich, die Dehnung ist für beide Laufrichtungen ähnlich groß, die Längung ist bei Schmalbahn wesentlich größer, bei Breitbahn wesentlich kleiner (**Abb. 62**).

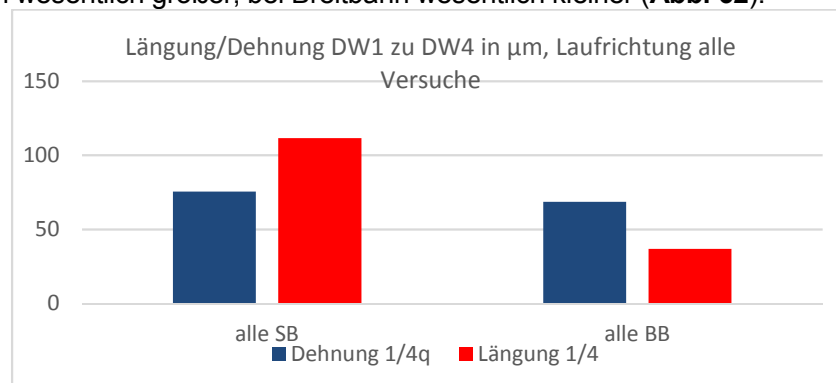


Abb. 62: Mittelwert der Dehnung und Längung für beide Laufrichtungen über alle untersuchten Industripapiere

Sujet

Einen deutlichen Einfluss hat die Farbbelegung der Druckform: Bei vollflächiger Farbbelegung ist die Dimensionsänderung am größten, bei einer Rasterfläche etwas geringer und bei einer Druckform, die außer den notwendigen Messelementen keine Farbe übertrug, ist die Dimensionsänderung mit Abstand am geringsten (**Abb. 63**).

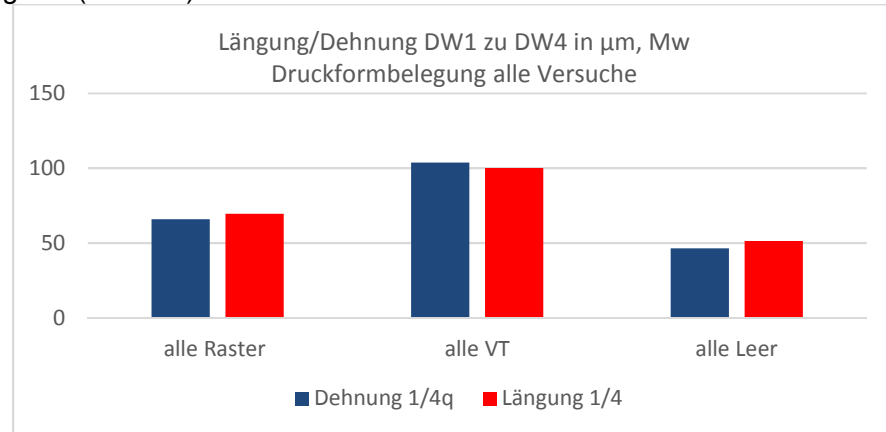


Abb. 63: Mittelwert der Dehnung und Längung für die Druckformen Raster, Vollton (VT) und Leer über alle untersuchten Industrierapiere

Sujet und Druckrichtung

Betrachtet man die Dimensionsänderung der verschiedenen Druckformen getrennt nach Laufrichtungen, so wird offensichtlich, dass die Längung bei Schmalbahn stets größer ist als bei Breitbahn. Bei Breitbahn hat die Farbbelegung keinen Einfluss auf die Längung, bei Schmalbahn ist die Längung bei vollflächiger Farbbelegung deutlich höher als bei der Rasterfläche und diese immer noch deutlich höher als bei der leeren Druckform.

Die Dehnung ist bei der Rasterform für beide Laufrichtungen etwa gleich groß, bei der leeren Druckform ist die Dehnung für Breitbahn größer als für Schmalbahn, aber bei der Vollton-Druckform ist sie für die Laufrichtung Schmalbahn wesentlich größer als für die Laufrichtung Breitbahn.

Dieser Effekt ist unerwartet, da allgemein Breitbahn-Substrate als empfindlich gegenüber Dehnung gelten. Wird die gesamte Verformung des Bogens betrachtet, so wird sichtbar, dass die Schmalbahn-Bedruckstoffe eine große Dehnung aufweisen, die auch eine große Längung zeigen (**Abb. 64**).

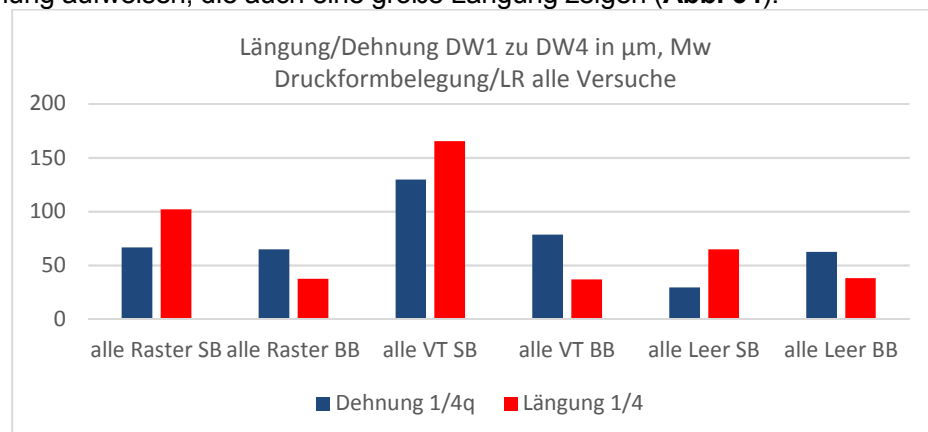


Abb. 64: Mittelwert der Dehnung und Längung für die Druckformen Raster, Vollton (VT) und Leer nach Laufrichtungen (SB, BB) über alle untersuchten Industrierapiere

Feuchtmittel

Die Dimensionsänderung nimmt mit mehr Feuchtmittelzufuhr zu, der größte Unterschied ist wie erwartet bei der Dehnung in Laufrichtung Breitbahn zu erkennen. Die Auswirkung der Feuchtmittelzufuhr hängt ebenfalls von der Farbbelegung ab, sie ist bei der Rasterform größer als bei der leeren Druckform. Bei der Volltonform ist sie am geringsten. In der Laufrichtung Schmalbahn nimmt die Dimensionsänderung mit mehr Feuchtmittel sogar leicht ab. Das wird durch die Verringerung der Zügigkeit der Druckfarbe bewirkt, wodurch auf die Bogenhinterkante weniger Kraft ausgeübt und damit weniger Längung und Dehnung erzeugt wird (**Abb. 65**).

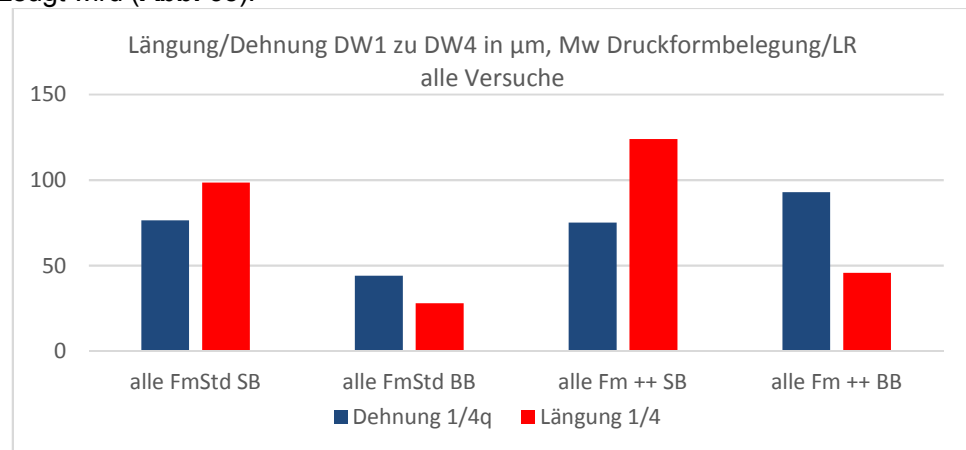


Abb. 65: Mittelwert der Dehnung und Längung für zwei Feuchtmittelmengen (Std, ++) nach Laufrichtungen (SB, BB) über alle untersuchten Industrierapiere

Druckpressung

Die Druckpressung hat wie die Zusammensetzung des Feuchtmittels nur einen geringen Einfluss auf die Dimensionsstabilität. Da IPA-freies Feuchtmittel ein anderes Emulgierverhalten hat, wird von der Farbe weniger Feuchtmittel aufgenommen und somit weniger an das Papier übertragen, was sich auf die Dehnung bei der Laufrichtung Breitbahn auswirkt.

Interessanterweise führte das Bedrucken der Rückseite von frisch bedruckten Bogen zu einer etwas größeren Dehnung bzw. Längung, was mit einer Schwächung des Papiers durch den vorangegangenen Druckgang zu erklären ist.

Wichtung

Wichtet man die Einflussfaktoren über alle Versuche mit den Industrierapieren, so ergibt sich folgende Reihenfolge mit absteigender Einflussstärke:
Flächengewicht/Papiersorte - Laufrichtung (besonders Längung) - Farbbelegung - Feuchtmittelmenge - Feuchtmittelzusammensetzung - Pressung.

VESTRA-Papiere

Eine weitere Versuchsrunde befasste sich mit Papieren, die unter definierten Bedingungen an der VESTRA gestrichen wurden. In **Abb. 66** sind die Ergebnisse für die Dehnung entsprechend der Streichparameter zusammengefasst.

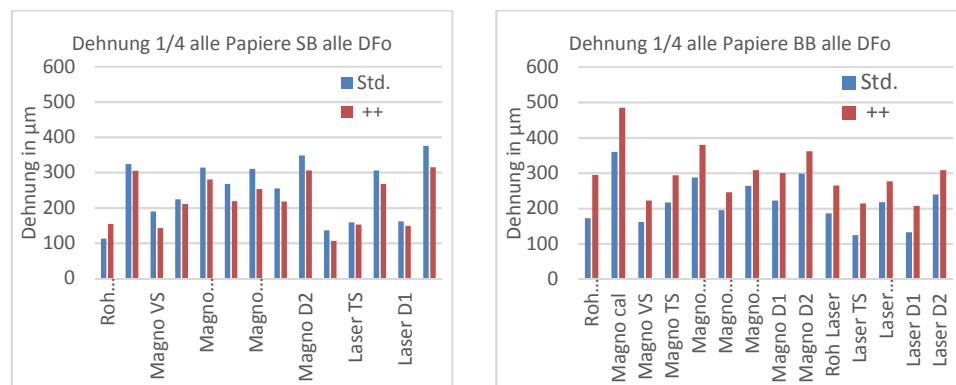


Abb. 66: Dehnung der VESTRA-Papiere, Mittelwerte für 2 Feuchtmittelmengen (Std, ++) und Streichparameter (Laser/Magno - Rohpapiere, cal - kalandriert, VS - Vorstrich, TS - Topstrich, D1/D2 - Rezepturvariation)

Betrachtet man die Dehnung, stellt man fest, dass durch die Kalandrierung die Dimensionsänderung stark ansteigt. Dieser Effekt wird durch das Streichen noch verstärkt. Zwischen den Rohpapieren ist nur in Laufrichtung Breitbahn ein Unterschied zu sehen (**Abb. 66**).

Bei der Längung in Laufrichtung Schmalbahn lassen sich bezüglich der Rohpapiere Unterschiede erkennen. Die Kalandrierung und der Strich bewirken ebenfalls eine größere Änderung.

In Laufrichtung Breitbahn sind bei allen Varianten nur relativ kleine Längungen zu beobachten (**Abb. 67**).

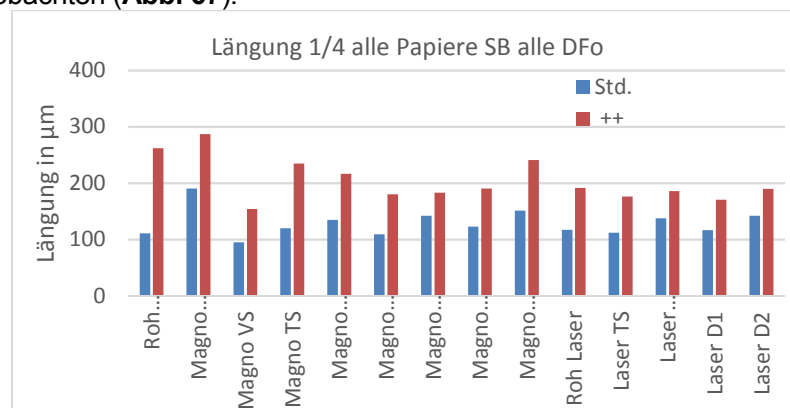


Abb. 67: Längung der VESTRA-Papiere nur Schmalbahn, Mittelwerte für 2 Feuchtmittelmengen (Std, ++) und Streichparameter (Laser/Magno - Rohpapiere, cal - kalandriert, VS - Vorstrich, TS - Topstrich, D1/D2 - Rezepturvariation)

Druckgeschwindigkeit

Der Einfluss der Druckgeschwindigkeit lässt sich für alle Papiere jeweils quer zur Faserrichtung erkennen, d. h. bei Breitbahn in der Dehnung und bei Schmalbahn in der Längung. Das ist nachvollziehbar, da diese Effekte durch das Eindringen des Feuchtmittels bewirkt werden, und die dafür benötigte Zeit im Bereich der Transportzeit von Druckwerk zu Druckwerk liegt. Bei geringerer Druckgeschwindigkeit ist die Dimensionsänderung dementsprechend größer.

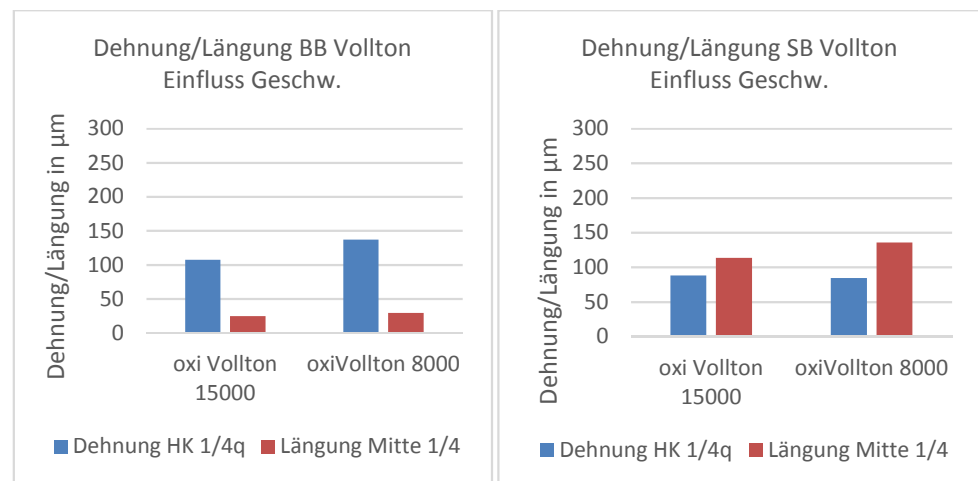


Abb. 68: Dehnung der VESTRA-Papiere, Mittelwerte für 2 Feuchtmittelmengen (Std, ++), Streichparameter (Laser/Magno - Rohpapiere, cal - kalandriert, VS - Vorstrich, TS - Topstrich, D1/D2 - Rezepturvariation)

Einflussfaktoren

Stellt man die Wirkung der Einflussparameter über vergleichend dar, so ergibt sich folgendes Bild (**Abb. 69**):

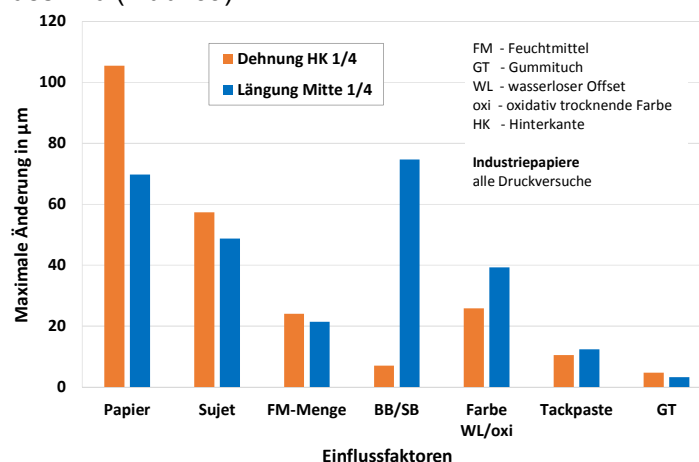


Abb. 69: Übersicht der Einflussfaktoren

Den größten Einfluss bringt das Papier mit sich. Dabei wird es hauptsächlich durch seine flächenbezogene Masse charakterisiert. Dieser Einflussparameter betrifft die Dehnung noch stärker als die Längung. Den größten Einfluss auf die Längung hat die Laufrichtung des Papiers, während bei der Laufrichtung Breitbahn nur eine sehr geringe Längung auftritt, führt die Laufrichtung Schmalbahn in der Regel zu einer großen Längung.

Dann folgt in der Wirkungsstärke die Farbbelegung der Druckform.

Die übertragene Feuchtmittel-Menge hat einen relativ geringen Einfluss auf die Dimensionsstabilität.

Einen etwas größeren Einfluss hat die Druckfarbe selbst, insbesondere durch ihre Zügigkeit. So ist es zu erklären, dass zwischen oxidativ trocknender und UV-Farbe fast kein Unterschied festgestellt wurde und auch durch die Zugabe von Anti-Tack-Paste keine deutlich anderen Dimensionsänderungen erreicht wurden. Diese Variationen erzeugen alle nur eine relativ geringe Änderung der Zügigkeit.

Druckt man dagegen mit Wasserlos-Farbe, ist die Zügigkeit erheblich höher und es entfällt der verringemde Einfluss der Emulsionsbildung durch das Feuchtmittel. Diese Versuche zeigten dann eine erheblich größere Längung, die durch die größere Zugkraft auf die Bogenhinterkante beim Ablösen des bedruckten Bogens vom Gummituch bewirkt wird. Da bei den Versuchen außerdem ein Zusammenhang zwischen Längung, die durch Einwirkung mechanischer Kräfte erzeugt wird, und Dehnung festgestellt wurde, ist die Folge einer starken Längung von Schmalbahn-Bedruckstoffen auch eine große Dehnung dieser Materialien.

Keine nennenswerte Auswirkung auf die Dimensionsstabilität konnte durch den Einsatz verschiedener Gummitücher festgestellt werden. Auch ein Gummituch, das eine extrem geringe Anhaftung der Druckfarbe und damit geringere Zugkräfte auf die Bogenhinterkante aufweisen sollte, zeigte die gleichen Ergebnisse wie die Standard-Gummitücher.

6.13 AP13 – Klassifizierung von Papieren und Fehlerkompensation

Ziel Die Papiere sollten bezüglich ihrer Dehnungsneigung auf der Basis messbarer Parameter klassifiziert werden. Auf der Basis der Klassifizierung und unter Berücksichtigung der Druckbedingungen sind geeignete Kompensationsmaßnahmen zu beschreiben.

Papiereinfluss Die Ergebnisse der Passermessungen haben gezeigt, dass das Papier den stärksten Einfluss auf die Dimensionsstabilität hat (**Abb. 70**).



Abb. 70: Einfluss des Papiers auf die Dimensionsstabilität

Die wesentliche Papiereigenschaft, die die Verformungsneigung charakterisiert,

ist die flächenbezogene Masse. Wie aus **Abb. 70** oben erkennbar, nimmt die Verformungsneigung mit zunehmender flächenbezogener Masse ab. Die Dimensionsänderungen jeweils quer zur Faser (Dehnung bei Breitbahn, Längung bei Schmalbahn) sind bei den Papieren mit 90 g/m² ca. doppelt so groß wie bei den Papieren mit 170 g/m². Hinzu kommt, dass der Einfluss, den das Feuchtmittel ausübt umso größer ist, je geringer die flächenbezogene Masse des Bedruckstoffes ist.

In Faserlaufrichtung muss man zwischen den beiden vorliegenden Fällen unterscheiden. Die Längung bei Breitbahn-Papier ist relativ gering, so dass die Auswirkung der Papiereigenschaften auch klein ist.

Die Dehnung bei Schmalbahnpapier wird deutlicher vom Papier beeinflusst. Hierbei spielt das Zusammenwirken von Längung und Dehnung eine Rolle. Das Papier wird im Druckspalt gepresst und beim Ablösen vom Gummituch an der Hinterkante gezogen. Dabei wird die Hinterkante verformt, was nicht nur zu einer Längung des Bogens, sondern auch zu einer Dehnung an der Hinterkante führt, wodurch die bereits beschriebene „Muffin“-Form entsteht. Diese tritt bei Schmalbahn-Papier stets im Zusammenhang mit einer starken Längung auf (**Abb. 71**).

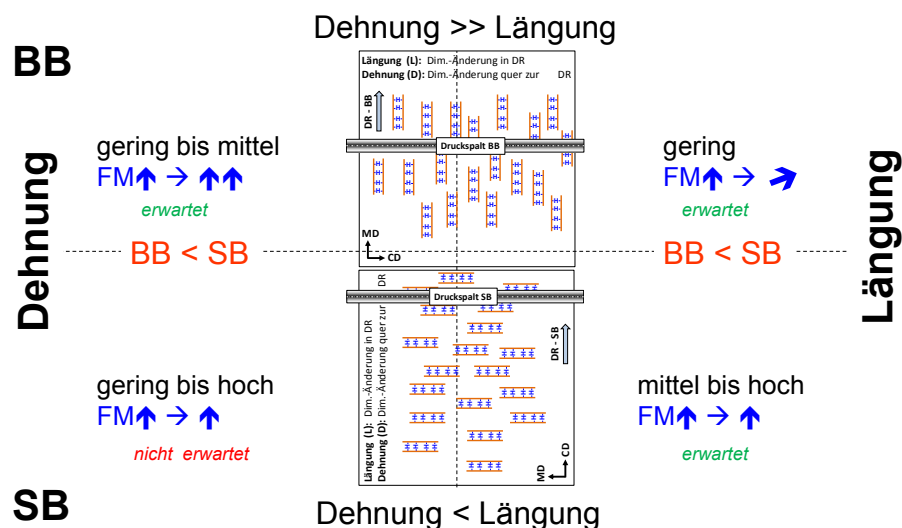


Abb. 71: Dimensionsänderungen (Dehnung/Längung) in Abhängigkeit von der Druckrichtung

Kompensationsmaßnahmen

Für die Umsetzung von Kompensationsmaßnahmen heißt das, dass zunächst die flächenbezogene Masse und die Laufrichtung des Papiers berücksichtigt werden muss, da sich für die einzelnen Varianten verschiedene Verzerrungsformen in unterschiedlicher Ausprägung ergeben.

Darüber hinaus zeigen die Projektergebnisse, dass die Farbbelegung der Druckform unbedingt berücksichtigt werden muss. Während bei Druckformen mit geringer Farbbelegung die Dimensionsänderungen im Bereich von 50 µm bleiben, werden bei hoher Farbbelegung Dimensionsänderungen im Mittel von 130 µm bis 160 µm erreicht. Dabei ist die Auswirkung der Farbbelegung bei Schmalbahn-Papieren wesentlich größer als bei Breitbahn-Papieren. Das heißt, eine Kompensationsmethode, die die Dimensionsänderung des Bedruckstoffes bei der Druckplattenbelichtung vorwegnimmt, muss für die Anwendung auf

Schmalbahn-Papiere die Farbbelegung berücksichtigen. Üblicherweise wird heute die tatsächlich erreichte Verzerrung durch einen Testdruck auf einigen wenigen Standardpapieren erfasst und dann in der Kompensations-Software hinterlegt. Es ist zu empfehlen, diesen Testdruck mit mindestens zwei Farbbelegungen durchzuführen, um die Praxistauglichkeit des Verfahrens deutlich zu verbessern.

Andere Einflussfaktoren, wie die Art der Druckfarbe oder des Gummituchs, sind für die Kompensation zu vernachlässigen.

Zum Einfluss des Feuchtmittels sind die gleichen Regeln zu beachten, wie für die meisten anderen verfahrensrelevanten Faktoren: Es sollte immer mit so wenig Feuchtmittel gedruckt werden wie möglich.

7 Gegenüberstellung der Ergebnisse den Zielen inkl. Diskussion der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Projektziel

Ziel des Projektes war die Abschätzung der Dimensionsänderung der Papiere bei definierten Druckbedingungen zur Optimierung der Passerqualität und Minimierung des Ausschusses. Die Papiere sollten bezüglich ihrer Dehnungseigenschaften klassifiziert und Empfehlungen zur Kompensation der Papieränderung durch Druckmaschineneinstellungen und Druckplattenherstellung erarbeitet werden.

Die geplanten Projekthinhalte wurden vollumfänglich erarbeitet. Die vorgegebenen Teilziele:

- Marktanalyse zur Dimensionsstabilität (Bogenoffsetdruck) (AP1),
- Papierbeschaffung und konventionelle Papierprüfung (AP2),
- Messung spezieller Papiereigenschaften (AP3),
- Strichdickenanalytik (AP4),
- Indirekte Messung der Strichgleichmäßigkeit (OBA-Verteilung) (AP5),
- Bewertung der Papierdehnung im Labor (AP6),
- Modellerweiterungen (AP7),
- Druckversuche (AP8),
- Auswertung Druckversuche (AP9),
- Herstellung modifizierter Papiere (VESTRA) (AP10),
- Simulation Flüssigkeitspenetration und Dehnung (AP11P),
- Beziehungen Papier- / Druckparameter zu Druckergebnis (AP12)
- Erstellung Abschlussbericht (AP13)

wurden erreicht.

Das Projektziel wurde erreicht.

Personaleinsatz

Forschungsstelle 1 - IZP

Das Personal wurde wie geplant in den oben beschriebenen Arbeitspaketen eingesetzt. Für die durchgeführten Recherchen und Untersuchungen wurden mehrere wissenschaftliche Mitarbeiter (auch im Nachweis durch FuE-Controlling belegt) in Teilzeit beschäftigt.

Entsprechend kamen 26,97 MM wissenschaftlich-technisches Personal im Zeitraum 01.10.2015 – 30.09.2017 für die Arbeitspakete zum Einsatz.

Die Personalaufwände sind in **Tab. 11** für die einzelnen Arbeitspakete zusammengestellt. Das Personal wurde, von einer geringfügigen Abweichung in AP 12 abgesehen, wie geplant eingesetzt.

Tab. 11: Personaleinsatz Forschungsstelle 2 - SID

	Plan		Ist	
	HPA A	HPA E	HPA A	HPA E
AP1	2,00		2,230	
AP2	2,00	1,00	2,129	1,079
AP8	2,80	2,90	2,892	3,008
AP9	5,80		5,804	
AP12	2,00		1,603	
AP13	2,00		2,000	
AP14	1,50		1,500	
Summe	18,10	3,90	18,16	4,09
Gesamt		22,00		22,25

Das Personal wurde wie geplant in den oben beschriebenen Arbeitspaketen eingesetzt. Für die durchgeführten Recherchen und Untersuchungen wurden mehrere wissenschaftliche Mitarbeiter (auch im Nachweis durch FuE-Controlling belegt) in Teilzeit beschäftigt.

Entsprechend kamen 2 MM wissenschaftlich-technisches Personal im Zeitraum 01.10.2015 – 30.09.2017 für die Arbeitspakete zum Einsatz.

Nach intensiver Recherche konnte ein hierfür notwendiges Gerät gefunden werden, was von der angeboten wird (vgl. beiliegendes Angebot). Für diese ursprünglich nicht geplante Methodenentwicklung wurde eine kostenneutrale Personalaufstockung A.1 von zwei Monaten veranschlagt.

Um zudem eine kostenneutrale Finanzierung sicherzustellen, wurden freiwerdende Mittel betreffend der eingeplanten Fremdleistung „Schneiden von Papierrollen auf Bogenformat“ genutzt. Zum Zeitpunkt der Antragstellung war der hierfür notwendige Umroller der Forschungsstelle nicht verfügbar. Da damals nicht abschätzbar war, wann eine Nutzung wieder möglich ist, wurden diese Arbeiten als Fremdleistung beantragt.

Durchgeführte Arbeiten in den Arbeitspaketen;

Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeiten

Erzielte Ergebnisse in Bezug auf die vorgegebenen Ziele

Alle Arbeiten wurden im angemessenen Umfang erledigt und waren gemäß der befürworteten Antragstellung notwendig. Die Projektziele wurden vollumfänglich erreicht. Die Arbeiten in den einzelnen Arbeitspaketen wurden wie geplant erfolgreich durchgeführt:

AP1: die geplanten Arbeiten wurden vollumfänglich abgeschlossen; Insbesondere die hierfür geleisteten Arbeiten zur Marktanalyse in Form von Befragungen und Literaturlauswertungen waren erforderlich und zweckentsprechend. Das Personal wurde wie geplant eingesetzt; das erzielte Ergebnis – fundamentierte Erkenntnisse zum Bogenoffsetdruckmarkt und den Entwicklungstrends entspricht dem angestrebten Teilziel.

AP2/3: die geplanten Arbeiten wurden vollumfänglich abgeschlossen; Insbesondere die hierfür geleisteten Arbeiten Papierbeschaffung, konventionelle und erweiterte Ausprüfung waren nötig und adäquat. Das Personal wurde planmäßig eingesetzt. Im Ergebnis lagen 22 bewertete, industrielle Bilderdruckpapiere für die geplanten Druckversuche vor. Das Ergebnis entspricht dem angestrebten Teilziel Papierbeschaffung und deren messtechnischer Charakterisierung.

AP4: die geplanten Arbeiten zur Strichdickenanalytik wurden vollumfänglich abgeschlossen. Die Probenpräparation, die Anfertigung von REM-RE-Querschnittsaufnahmen sowie deren bildanalytische Auswertung waren erforderlich und angemessen. Das Personal wurde planmäßig eingesetzt. Im Ergebnis lag für alle Industripapiere sowie die VESTRA-Varianten die Strichdickenverteilung vor. Das Ergebnis entspricht dem angestrebten Teilziel Strichdickenanalytik.

AP5: die geplanten Arbeiten wurden vollumfänglich abgeschlossen. Die geleisteten Arbeiten zur indirekten Messung der Strichungleichmäßigkeit waren erforderlich und zweckentsprechend. Das Personal wurde wie geplant eingesetzt. Es wurden alle Papiere hinsichtlich ihrer Strichgleichmäßigkeit vermessen, womit das angestrebte Teilziel erreicht wurde.

AP6: die geplanten Arbeiten wurden vollumfänglich abgeschlossen. Die Bestimmung der Papierdehnung war erforderlich und zweckentsprechend. Mit dem planmäßigen Einsatz des Personals wurde das angestrebte Teilziel erreicht.

AP7: die geplanten Arbeiten zur Modellerweiterung wurden vollumfänglich abgeschlossen. Das Personal wurde planmäßig eingesetzt. Im Ergebnis lagen für alle drei Modelle die angestrebten Erweiterungen vor. Das angestrebte Teilziel wurde somit erfüllt.

AP8: die geplanten Arbeiten wurden vollumfänglich abgeschlossen. Die geleisteten Arbeiten, die Druckversuche, waren nötig und angemessen. Das Personal wurde planmäßig eingesetzt. Im Ergebnis waren 879 Druckmusterserien verfügbar, womit das angestrebte Teilziel erfüllt war.

AP9: die geplanten Arbeiten wurden vollumfänglich abgeschlossen. Die geleisteten Arbeiten zur Druckproduktbewertung waren notwendig und zweckentsprechend. Das Personal wurde wie geplant eingesetzt. Mit der Bewertung aller Druckprodukte wurde das angestrebte Teilziel erreicht.

AP10: die geplanten Arbeiten zur Anfertigung definierte Papiere auf der VESTRA-Versuchsstrechanlage wurden vollumfänglich bei planmäßigem Personaleinsatz abgeschlossen und waren nötig und adäquat. Im Ergebnis waren 23 VESTRA-Varianten verfügbar. Das Ergebnis entspricht dem angestrebten Teilziel. Zusätzlich wurde gemäß Umstellungsantrag noch eine Methode zur Bestimmung des WRV von Streichfarben entwickelt.

AP11 die geplanten Arbeiten wurden vollumfänglich abgeschlossen. Die geleisteten Arbeiten zur Penetrationssimulation waren erforderlich und zweckentsprechend. Das Personal wurde wie geplant eingesetzt. Das angestrebte Teilziel der Penetrationssimulation wurde erreicht

AP12: die geplanten Arbeiten wurden vollumfänglich abgeschlossen. Die hierfür geleisteten Arbeiten zur Ermittlung der Beziehungen zwischen Papier und Druckergebnis erforderlich und adäquat. Das Personal wurde wie geplant eingesetzt; das erzielte Ergebnis entspricht dem angestrebten Teilziel.

AP13: die geplanten Arbeiten wurden vollumfänglich abgeschlossen. Die geleisteten Arbeiten zur Klassifizierung und Kompensationsempfehlungen waren notwendig und zweckentsprechend. Das Personal wurde wie geplant eingesetzt. Mit den Empfehlungen wurde das angestrebte Teilziel erreicht.

Geräte	Zur Durchführung des Arbeitspaketes wurde das beantragte Gerät UV-Beleuchtung für OBA-Messung wie geplant bestellt und wurde von der Forschungsstelle zur Projektdurchführung erfolgreich genutzt.
Leistungen Dritter	Zur unterstützenden Durchführung des Arbeitspaketes 11 wurden wie geplant im entsprechenden Berichtszeitraum folgende Leistungen Dritte erfolgreich in Anspruch genommen: Erweiterung der Modellierungssoftware AMDiS durch die TU Dresden.

8 Maßnahmen zum Transfer der Forschungsergebnisse

Der Transfer der Forschungsergebnisse wurde bereits Mitte September 2017 mit einer umfassenden Vorstellung derselben auf dem 28. Internationalen Streichereisymposium in München (228 Teilnehmer) begonnen und von den Teilnehmern gut aufgenommen. Mit diesem Symposium wurde eine erste große Verbreitung der Ergebnisse erreicht, da auf diesem Symposium sowohl die Papiererzeuger (Papierfabriken) als auch die Papierverarbeiter (Drucker) sowie die Zulieferindustrien vertreten waren. Auf dem Symposium war neben Teilnehmern aus großen Industrieunternehmen auch eine große Anzahl aus klein- und mittelständischen Unternehmen anwesend.

Ausgehend von diesem sehr positiven Start des Ergebnistransfers werden auch die folgend aufgelisteten zahlreichen Transfermaßnahmen zur weiteren erfolgreichen Vermarktung der Ergebnisse beitragen. Ein weiterer Höhepunkt im Rahmen des Ergebnistransfers wird das 25. Jubiläum des SID/PITSID in 2018 in Leipzig sein, wo die Forschungsergebnisse in Form eines umfassenden Vortrags präsentiert werden. Zu diesem Jubiläum werden zahlreiche Vertreter aus der Druck- und der Papierindustrie sowie deren Zulieferindustrien erwartet. Auf dieser Jubiläumsveranstaltung können besonders viele kmU's erreicht werden, da die Druckindustrie einen hohen Anteil an kmU's aufweist.

Auch die weiteren in der Tabelle aufgelisteten und hier nicht explizit im Detail erläuterten Transfermaßnahmen werden zur Vermarktung der Ergebnisse erfolgreich beitragen.

8.1 Spezifische Transfermaßnahmen während der Laufzeit des Vorhabens

	Maßnahme	Ort/Rahmen	Zeit
1	Projektbegleitender Ausschuss (PA)	Fortlaufender Ergebnistransfer (4 Beratungen / Projekt)	2./9./14./19. Projektmonat
2	Externe Fachgremien	SID: Vorstellung der Ergebnisse und Diskussion auf Veranstaltungen der IG Offsetdruck im Bundesverband Druck und Medien (SID ist Mitglied der IG)	12./13.11.2015, 6./7.10.2016
3	Projektflyer	ca. 500 Stück zur Verteilung durch PTS-Vertrieb, 100 Stück als Beileger im SID-Handbuch	ca. 6 Monate nach Projektstart
4	PTS-Forschungsforum Papierveredlung	Fortlaufender Ergebnistransfer im Dialog mit ca. 20-30 Firmenvertretern	2 Meetings pro Jahr
5	Forschungsreport	Veröffentlichung Kurzbeschreibung im IN-FOR-Forschungsreport	2016, 2017
6	Lehre und berufliche Weiterbildung	PTS: Einbeziehung von Studenten in Messaufgaben und Datenauswertung (Praktika und Belege); SID: Regelmäßige Vorlesung	2016, 2017

		bei Drucktechnikstudenten der HTWK Leipzig	
7	Neue Medien	PTS- u. SID-Homepage, PTS-News	2016, 2017

8.2 Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach Abschluss des Vorhabens:

Nr.	Maßnahme	Ort/Rahmen	Zeitraum
1	Fachveranstaltungen der Forschungsstellen	SID: Vorstellung auf Gutenberg-Symposium	November 2018
2	Veröffentlichungen	Web-Seiten von PTS und SID, PTS-News Artikel in Fachzeitschriften Papier bzw. Druck Deutscher Drucker Print & Produktion Beitrag für BVDM-Rundschreiben	1./2. Q. 2018 3. Q. 2018 3. Q. 2018 2. Q. 2018
3	Vorträge	Vortrag Streicherei-Symposium Anlässlich Firmenjubiläum SID/PITSID Präsentation auf Drupa Vorstellung in Zellcheming FA „Test“	09/2017 2. o. 3. Q. 2018 06/2020
4	Beratung von Unternehmen, Ergebnistransfer	SID und PTS begleiten den Transfer der Ergebnisse in die betriebliche Praxis	ab Ende 2017
5	Arbeitsblätter / Technische Regelwerke	Eingang der Ergebnisse in den „Prozess-Standard Offsetdruck“ bzw. in die ISO 12647-2	2020

9 Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)

9.1 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzung der erzielten Forschungsergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen kmU

Zuordnung – Fachgebieten	Die Forschungsergebnisse sind insbesondere nutzbar in den Fachgebieten Werkstoffe, Materialien sowie Verfahrenstechnik. Eine Nutzung der Ergebnisse ist auch denkbar in den Gebieten Mess-, Regel- und Automatisierungstechnik und Software.
Zuordnung – Wirtschaftszweigen	Die Ergebnisse betreffen die Wirtschaftszweige Erzeugung von Papier und Pappe sowie die Herstellung von Druckprodukten. Die Ergebnisse sind auch relevant für den Maschinenbau, hier konkret den Druckmaschinenbau.
Systemischer Gedanke	Die wirtschaftliche Bedeutung der Ergebnisse dieses Projektes erstreckt sich über die gesamte Herstellungskette der grafischen Industrie: • Papierhersteller (präzise Fertigung der grafischen Papiere), • Druckereien (sachgerechte Nutzung optimierter Produkte), • Forschungseinrichtung (Modellierung, Dienstleistung, Zertifizierung). Die Wettbewerbsfähigkeit von kmU wird hier vor allem im Bereich der Drucke-

reien gestärkt. Durch die Vorprüfung und eventuelle Zertifizierungen der Papiere ergibt sich ergänzend eine Ausweitung der Geschäftstätigkeit verschiedener Labore und Forschungseinrichtungen.

Papierfabriken

Die Erkenntnisse und Vorgehensweisen aus den Papiermessungen und den Modellierungen sind für mehrlagige Spezialpapiere und damit für kmU relevant. Sie erhalten wichtige Hinweise zur Verbesserung der Dimensionsstabilität von Papieren. (Die im Projekt untersuchten hochwertigen Offsetpapiere werden z. Z. jedoch vorwiegend von größeren Firmen hergestellt.)

Druckereien und Verlage

Die deutsche Druckindustrie ist überwiegend mittelständisch organisiert. In Deutschland existieren rund 9.000 Betriebe, von denen 97 % weniger als 100 Mitarbeiter beschäftigen²³. Die gesamte Druckindustrie hatte 2012 einen Umsatz von 15,7 Milliarden €²⁴.

Die Kosten der Druckereien wachsen seit Jahren, besonders die Energiekosten (proportional zur Laufzeit der Maschinen) sind überdurchschnittlich gestiegen. Während der Preisindex sich im Jahr 2012 um 1,1 % erhöhte, sind die Preise seit 2005 um 3,8 % gesunken. Das zeigt den hohen Kostendruck für die Druckereien, der auch mit Ergebnissen dieses Projektes gemildert werden kann.

Die Ergebnisse ermöglichen eine Effizienzsteigerung der Druckprodukte im Bogenoffsetdruck. Dies ist besonders vor dem Hintergrund des Konkurrenzdrucks durch die oft billiger produzierenden Druckereien aus Nachbarländern und die elektronischen Medien wichtig. Außerdem können durch eine höhere Produktionssicherheit Reklamationen vermieden werden, die gerade für kmU ein hohes Risiko darstellen.

Mit den verbesserten Kenntnissen zur Dimensionsstabilität sind kurzfristig Erfolge zu erreichen, da sie unmittelbare Auswirkungen auf die Produktionssicherheit versprechen und helfen, hohe Vorbereitungskosten (Makulatur) und aufwändige Reklamationen zu vermeiden.

9.2 Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der kleinen und mittleren Unternehmen kmU

Kostenersparnis kmU

Bei ungenügender Dimensionsstabilität der Papiere lässt sich der Druckpasser nicht über das gesamte Format optimal einstellen. Für hochwertige Drucke ist es also notwendig, eine korrekte Einstellung in den anspruchsvollen Bildbereichen anzustreben und die Abweichungen in möglichst nicht relevante Bereiche des Druckformats zu verschieben. Dafür müssen Bogen gedruckt und geprüft werden, die Verstellung innerhalb der Druckmaschine kann aber nur bei Stillstand erfolgen. Es entsteht vermeidbare Makulatur und kostet Zeit. Durch verbesserte Papierauswahl oder Methoden zur Kompensation der Papierdehnung ist eine deutliche Kosteneinsparung zu erwarten.

Kosteneinsparungen sind auch durch den Einsatz großformatiger Bogenoffsetdruckmaschinen möglich, da großformatige Druckmaschinen bezogen auf die bedruckte Fläche weniger Energie (Kosten) benötigen, als Maschinen mit kleineren Formaten. Eine Minderung der Passerabweichungen kann Investitionsentscheidungen diesbezüglich unterstützen.

Mit den Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens können Druckereien (vor allem kmU) und Verlage zusammenfassend folgende Vorteile erlangen:

- Rationellere und flexiblere Produktion, höhere Qualität der Endprodukte,
- Kosten- und Zeiteinsparung bei der Einrichtung von Druckmaschinen,
- Reduzierung der Makulatur,
- Energie- und Materialeinsparung.

Konkreter Nutzen – unmittelbar oder mittelbar – der Unternehmen

Mit der Abschätzung der Dimensionsänderungen durch den Eintrag von Farbe und Feuchtmittel können die Verbräuche an Materialien optimiert werden.

Das Papier macht beim Bogenoffsetdruck ca. ein Drittel der gesamten Herstellungskosten aus. Der jährliche Papierverbrauch einer typischen Bogenoffsetdruckerei (kmU) mit 12-15 Beschäftigten kann mit etwa 300 t angenommen werden. Durch eine Reduzierung der Makulatur von nur 2 % ergibt sich somit eine Papiereinsparung von 6 t. Bei einem durchschnittlichen Preis von 1.200 €/t betragen die Einsparungen 7.200 € pro Jahr²⁵.

Die Maschinenstunde einer Vierfarbenmaschine mit einem Format von 75x105 cm² beträgt rund 360 €²⁶. Bei einer Zeitreduzierung von 5 min pro Auftrag und 5 Aufträgen pro Tag ergibt sich bereits eine Einsparung von 25 min, was täglich 150 € spart. Bei einer Nutzung der Maschine an 220 Arbeitstagen pro Jahr ergibt sich hier eine mögliche Kostenreduzierung von über 30.000 € pro Maschine. Oft sind mehrere Maschinen in diesem Format in einer Druckerei im Einsatz, womit sich der Nutzen vervielfacht. Bei großformatigen Maschinen, bei denen sich die Dimensionsänderung besonders gravierend im Druckbild auswirkt, sind die Kosten für die Beseitigung der Effekte mittels der mechanischen Änderung in der Druckmaschine deutlich höher anzusetzen.

Gewerbliche Schutzrechte

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden keine schutzfähigen Geräte und Verfahren entwickelt. Daher ist eine Anmeldung von Patenten oder eine gewerbliche Verwertung der Forschungsergebnisse nicht vorgesehen.

9.3 Industrielle Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende

Wirtschaftliche/technische Erfolgsaussichten

Die erzielten Ergebnisse werden das Verständnis für die zu Druckproblemen führenden Faktoren steigern und somit direkt zur deren Vermeidung beitragen. Im Projekt wurde die technische Basis hierfür bereit. Die wirtschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten zur Umsetzung der Ergebnisse sind somit außerordentlich hoch.

Einschätzung der Finanzierbarkeit einer anschließenden industriellen Umsetzung

Für die Anwendung der Ergebnisse sind keine prinzipiellen Hürden vorhanden. Die industrielle Umsetzung kann unverzüglich beginnen, da keine speziellen Voraussetzungen oder Investitionen seitens der Nutzer notwendig sind. Es entstehen nur geringfügige Kosten auf Nutzerseite, um die Papiereigenschaften in die genutzten Datenbanken einzupflegen. Auch Schulungen für das Personal zum Umgang mit den Daten und Einstellempfehlungen sind einzuplanen.

Ausblick inkl. Umsetzbarkeit nach Projekten

Die klein- und mittelständischen Messgerätehersteller profitieren in direkter Weise von der Verbreitung ihrer Messtechnik. Drucktechnische Betriebe setzen neue Messtechnik ein und/ oder nutzen die modellbasierten Möglichkeiten der Vorhersage von Wechselwirkungen. Hierbei ist u. U. auch konventionelle, bereits vorhandene Messtechnik teilweise von Nutzen.

10 Schlussfolgerungen

Resümee

Die umfangreichen Untersuchungen zur Dimensionsstabilität (879 Druckversuche) haben gezeigt, dass die weitverbreitete Lehrmeinung, dass das Wasser in Form der Druckfarbenemulsion bzw. des Feuchtmittels nicht die alleinige und auch nicht zwingend die dominante Ursache für die Dimensionsänderung ist, nicht die wirklichen Verhältnisse widerspiegelt. Neben dem Wasser sind die in der Druckmaschine auf das Papier übertragenen Kräfte von ausschlaggebender Bedeutung. Natürlich hat das Wasser dabei eine unterstützende Wirkung, da mit dem Wassereinfluss die Festigkeit des Papiers signifikant herabgesetzt wird.

Durch die Druckbedingungen wird das Dehnungs- bzw. Längungsverhalten des Papiers beeinflusst. Am stärksten wirkt sich dabei die Farbbelegung des Druckbildes aus. Das bedeutet, dass Kompensationsmethoden, die das Druckbild bei der Belichtung auf die Druckplatte so verzerren, dass die Dimensionsänderung des Bedruckstoffes ausgeglichen werden kann, nicht allein die Papiersorte und -grammatur berücksichtigen können, sondern den jeweiligen Flächenanteil der zu übertragenden Druckfarbe einbeziehen müssen.

Entgegen der weitverbreiteten Ansicht, dass der Breitbahndruck die größeren Dimensionsprobleme bereitet, sollte diese Druckrichtung favorisiert werden.

Mit der vorliegenden Arbeit wird die Dimensionsänderung im Bogenoffsetdruck sehr präzise beschrieben. Jedoch fehlt jetzt noch die Quantifizierung der „sujet-, kräfte- und wasserinduzierten“ Anteile an der Dimensionsänderung.

Die Arbeiten zur Modellierung waren hauptsächlich auf die Wasserpenetration fokussiert. Diese Arbeiten sind sehr weit fortgeschritten und beschreiben die Penetration inzwischen sehr gut. Nicht berücksichtigt werden bei den heutigen Modellen die Kräfte in der Druckmaschine, die ebenfalls für die Dimensionsänderung verantwortlich sind. Zukünftig Arbeiten sollten diesen entscheidenden Anteil an der Dimensionsänderung zum Fokus haben.

Mit den vorliegenden Forschungsergebnissen werden die Druckindustrie und insbesondere die klein- und mittelständischen Druckereien in die Lage versetzt die Probleme, die mit der Dimensionsstabilität verbunden sind, zu minimieren und somit die Kosten zu reduzieren.

11 Durchführende Forschungsstelle

Forschungsstelle 1: Papiertechnische Stiftung Institut für Zellstoff und Papier – IZP, Heidenau Pirnaer Straße 37, 01809 Heidenau Leiter: Prof. Dr. Frank Miletzky Projektleiter: Dr. Rainer Klein	Forschungsstelle 2: Sächsisches Institut für die Druckindustrie GmbH Mommsenstraße 2 04329 Leipzig Leiter: Dr.-Ing. Jürgen Stopporka Projektleiter: Dipl.-Ing. Beatrix Genest	Forschungsstelle 3: Papiertechnische Stiftung Papiertechnisches Institut – PTI, München Heßstraße. 134, 80797 München Leiter: Prof. Dr. Frank Miletzky Projektleiter: Dipl.-Ing. Beatrix Mair
---	--	---

Literaturverzeichnis

- 1 Keller, G.; Gericke, R.; Gemeinhardt, J.:
Modellierung des Dimensionsverhaltens von hochwertigen Offsetpapieren bei Bedruckung. Projekt IGF 17217. Abschlussbericht 2013
- 2 Pensold, S.:
Analyse und messtechnische Bewertung der Dimensionsstabilität von Druckpapieren, Abschlussbericht zum Projekt IW 060086, Abschlussbericht 2007
- 3 Loh, G.
Passermessung an Druckmaschinen mit konventioneller Videotechnik, Dissertation, TU Dresden, 2006
- 4 Sajdowski, J
Wem gehört die Zukunft? In: Der Druckspiegel (2009), Nr. 9-10, S. 32-35
- 5 Veil, J:
Produktivität – entscheidender Kostenfaktor. In: KBA Report (2010), Nr. 36, S. 8-9
- 6 Nicolay, K.-P.:
Ein neues Kapitel? In: Druckmarkt (2009/2010), Nr. 63, S. 22-27
- 7 Sappi:
www.sappi.com/KnowledgeBank (Fachbroschüren von Sappi)
- 8 Koch, T.;
Statistische Auswertung der VESTRA-Versuche; PTS-internes Arbeitspapier, 2009
- 9 Rutland, D. F.:
Dimensional stability and curl; Pulp and Paper Manufacture, 3th Edition, Vol.9 Chapter V; Ed. M. Kouris TAPPI / CPPA Atlanta und Montreal, 1992
- 10 Zhao, S.; Schabel, S.
Mechanische Erfassung und Ursachenanalyse des Curls bei Zeitungsdruckpapieren
AiF-Forschungsvorhaben Nr. 14169, 2006
- 11 Pollex, I.:
Auswirkungen mechanischer Belastungen von Papier und Karton während des Offsetdruckprozesses auf das Bogenlaufverhalten in Bogenrotationsmaschinen und die Weiterverarbeitung.
Projekt IW VF 080001/VF 080002
- 12 Neagu, R. C.
Hygroelastic behaviour of wood-fibre based materials on the composite, fibre and ultrastructural level
Dissertation an der Königlich Technischen Hochschule (KTH), Stockholm, Schweden (2006)
- 13 LE Moigne N.; Navard, P.
Swelling and Dissolution of Cellulose Fibres under Tension
Vortrag, 49. Cellulosesymposium anlässlich der ZELLCHEMING-Tagung, Wiesbaden 2007
- 14 Erhard, K.:
Reduzierung der Feucht- und Nassdehnung von Druck- und Spezialpapieren zur Verbesserung des Dimensionsverhaltens und der Planlage bei der Verarbeitung, IW 081042, Abschlussbericht 2010

- 15 Kuntzsch, T.:
Entwicklung eines Tools zur Beschreibung des Designs und der Erzeugungsbedingungen von Papierverbunden mit hoher Dimensionsstabilität, IW 081045, Abschlussbericht 2010
- 16 Niedernhuber, M.; Bartonitz, W.:
Entwicklung einer Labormethode zur Charakterisierung der Dimensionsstabilität und des Dehnungsverhaltens von Papier beim Bogenoffsetdruck – AiF 14345, Abschlussbericht 2008.
- 17 Kleebauer, M., Keller, G.:
Simulationsgestützte Strichkonzepte zur Bedruckbarkeitsverbesserung gestrichener Papiere bei Kombination von Offset- und Flexodruck mit Inkjetdruck. ZUTECH-Projekt IGF Z363. Abschlussbericht 2013
- 18 Bogenoffsetmaschine Speedmaster CD 74-5
<http://www.cd102.net/images/02Y%20CD74-5%201206.jpeg>
- 19 Klein, R.:
Moderne Messtechniken zur Charakterisierung von Offsetpapieren hinsichtlich Druckergebnis PTS-FB 14/14; Heidenau 2014
- 20 Keller, G.; Gericke, R.; Gemeinhardt, J.:
Modellierung des Dimensionsverhaltens von hochwertigen Offsetpapieren bei Bedruckung. Projekt IGF 17217. Abschlussbericht 2013
- 21 Pensold, S.
Analyse und messtechnische Bewertung der Dimensionsstabilität von Druckpapieren, Abschlussbericht zum Projekt IW 060086, Abschlussbericht 2007
- 22 Wiberg, A.:
Rolling contact of a paper web between layered cylinders with implications to offset printing. Licentiate thesis. KTH Stockholm Sweden, 1999
- 23 Wilhelm Zacharias:
Beschäftigtenstruktur in der Druckindustrie, Der Druckspiegel. Nr. 6/2014, S. 12
- 24 Jahresbericht 2012/2013, Bundesverband Druck und Medien e.V., Wiesbaden, 2013
- 25 Aktuelle Papier-Rundschau, Ausgabe 01/2015, S. 7 (bzw. Jahresverbrauch von IGEPA Queis)
- 26 Bundesverband Druck und Medien e.V., Kosten- und Leistungsgrundlagen für Klein- und Mittelbetriebe in der Druck- und Medienindustrie, Wiesbaden, 51. Ausgabe, 2010