

BMUB-Umweltinnovationsprogramm

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

Energie- und ressourceneffizientes digitales Druckverfahren in der Dekorindustrie

NKa3-002058

(Bezeichnung, KfW-Az)

Fördernehmer/-in:

Interprint GmbH

Laufzeit des Vorhabens:

15.08.2013 – 31.12.2016

Autor/Ansprechpartner:

Dr. Robert David

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung:

28.03.2017

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen: UBA	Vorhaben-Nr.: NKa3-002058
Titel des Vorhabens: Energie- und ressourceneffizientes digitales Druckverfahren in der Dekorindustrie	
Autor:	Vorhabensbeginn: 15.08.2013
Dr. Robert David	Vorhabensende: 31.12.2016
Fördernehmerin:	Veröffentlichungsdatum:
Interprint GmbH	
Westring 22	Seitenzahl: 31
59759 Arnsberg	
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung / Summary Ein erstmals angewandtes industrielles digitales Druckverfahren ermöglicht die Herstellung von Dekorpapier für die Weiterverarbeitung in der Holzwerkstoffindustrie. Dabei wird weniger Energie eingesetzt und Ressourcen wie Papier, Kupfer und Chromsäure werden geschont. Das CO ₂ -Äquivalent kann durch eine Fertigung im Digitaldruck halbiert werden. A first time used digital printing enables the production of décor paper for the finishing in the wood working industry. Less energy is used and raw materials like paper, copper and chrome acid are saved. The CO ₂ -equivalent can be cut to half by running the digital printer.	
Schlagwörter Dekordruck, Holzwerkstoffindustrie, Digitaldruck, Tiefdruck	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 5 Stck. Elektronische Datenträger: pdf-Datei	Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.Interprint.de

Kurzfassung / Summary

Beschreibung / Description

Dekorpapiere, die in der Holzwerkstoffindustrie zu Möbeloberflächen, Laminatfußböden oder Küchenarbeitsplatten weiterverarbeitet werden, werden heute überwiegend im Tiefdruck bedruckt. Auf Grund umfangreicher Vorarbeiten, insbesondere das Herstellen der Tiefdruckzylinder mit galvanischem Abscheiden von Kupfer- und Chromschichten ist eine kostengünstige Produktion erst ab einer Losgröße möglich, die die Bedarfe der Industrie übersteigt. Zudem ist ein erheblicher Einsatz von Rohstoffen und Energie notwendig, um die Dekorpapiere zu fertigen.

In diesem Projekt wird demonstriert, dass eine Fertigung im Digitaldruck energie- und ressourceneffizienter möglich ist als im Tiefdruck. Hierzu wurde eine Digitaldruckanlage in Betrieb genommen und optimiert, die auf Grund ihrer Druckbreite und Druckgeschwindigkeit das industrielle Bedrucken von Dekorpapier erstmalig ermöglicht. Die Vorteile bezüglich des Energieeinsatzes und der eingesetzten Rohstoffe werden beschrieben.

Décor papers, which are finished to furniture surfaces, laminate flooring or kitchen worktops in the wood working industry, are today mostly printed on rotogravure printing presses. Due to extensive preparatory work, especially print cylinder preparation including electroplating of copper and chrome layers, an economical production is possible only starting from a lot size that extends industry demands. Moreover, the production of décor paper is connected with a substantial amount of raw material and energy consumption.

It is shown in this project that a production using a digital printer leads to a reduction of raw material and energy consumption compared to rotogravure printing. A digital printer which is able to print décor papers for the first time in industrial scale due to print size and print speed was set in operation and improved. The benefits for energy and raw material consumption are presented.

Anwendbarkeit der Technik / Applicability

Erstmals wurde eine Single-Pass Digitaldruckanlage in Betrieb genommen und optimiert, die Druckbreiten erlaubt, wie sie in der Holzwerkstoffindustrie zu Fertigung von Möbeloberflächen, Laminatfußböden oder Küchenarbeitsplatten notwendig sind. Dazu mussten erhebliche Hürden in der Fertigungsgenauigkeit der Digitaldruckanlage überwunden werden, um beispielsweise die Ausrichtung von insgesamt 120 Druckköpfen zu ermöglichen. Die Kontrolle der Temperaturstabilität während eines Fertigungsdurchlaufs und die Entwicklung kompatibler Tinten waren weitere Meilensteine.

Die in diesem Projekt erarbeiteten Ergebnisse lassen sich unmittelbar auf weitere Bereiche übertragen. So sind die Ergebnisse auch für den Druck von Tapeten oder Plakaten anwendbar und erlauben auch hier zukünftig eine energie- und ressourceneffizientere Fertigung.

For the first time, a single pass digital printer was set in operation and improved that allows to achieve print sizes necessary for the production of furniture surfaces, laminate flooring or kitchen worktops in the wood working industry. Substantial challenges had to be solved regarding the tolerances of the digital printer for the adjustment of 120 print heads. The temperature control during a production run and the development of interoperable print inks were further milestones.

The results of this project can be transferred directly to other applications. These results can be used for example in printing wallpapers or posters and allow a raw material and energy efficient production there in future.

Wesentliche Vorteile für die Umwelt / Main environmental benefits, main achieved emission levels

Durch den Einsatz der Digitaldrucktechnologie lässt sich das CO₂-Äquivalent im Vergleich zum Tiefdruck mehr als halbieren. Dies setzt sich zusammen aus einem verminderten Bedarf an elektrischer Energie und dem Wegfall von thermischer Energie. Zudem werden Ressourcen wie Kupfer, Chromsäure und Papier in erheblichem Umfang eingespart.

The CO₂-equivalent can be cut to more than half using digital print technology compared to rotogravure printing. This is composed from the reduced demand of electric energy and the abolition of thermal energy. Moreover, the resources copper, chrome acid and paper are saved in substantial amount.

Medienübergreifende Aspekte / Cross-media aspects

Den Einsparungen an elektrischer Energie und Rohstoffen zum Betreiben der Digitaldruckanlage steht ein erheblicher Einsatz an Energie zur Klimatisierung des Raums, in dem die Digitaldruckanlage aufgebaut ist, entgegen. Bei einer hinreichenden Auslastung der Anlage wird dieser Energieeinsatz mehr als kompensiert, sodass eine Halbierung des CO₂-Äquivalent möglich ist. Daraus resultiert eine Einsparung von 291,2 t CO₂-Ausstoss pro Jahr.

The savings of electric energy and raw material for the operation of the digital printer are opposed by the substantial energy consumption for the climate control of the room where the digital printer is operated. This energy consumption is more than compensated with a sufficient usage of the digital printer. The CO₂-equivalent can be cut to half. This results in a CO₂ reduction of 291.2 t per year.

Kostendaten / Economics

Eine kostendeckende Fertigung von Produktionen im Digitaldruck ist möglich, wenn die Auslastung der Digitaldruckanlage hinreichend ist.

A cost effective production with the digital printer is possible when the usage of the equipment is high enough.

Sonstige Betriebsdaten / Operational data

Die Einführung des digitalen Druckens im Dekordruck mit Fertigungen tendenziell kleinerer Losgrößen macht eine Anpassung des Workflows erforderlich. Es müssen kleinere Papierrollen verpackt und transportiert werden. Eine Anpassung der Software zur Erfassung von Betriebsdaten und des Rohstoffeinsatzes wurde im Laufe des Projekts notwendig.

The implementation of digital printing in the décor industry connected with smaller lot size production runs requires an adjustment of the workflow. Smaller paper wheels must be packed and moved. An adjustment of the software for saving production data and raw material consumption was necessary during the project run.

Referenzliteratur / Reference literature

Entfällt / none

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	6
1 Einleitung	7
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens	7
1.2 Ausgangssituation	8
2 Vorhabensumsetzung	12
2.1 Ziel des Vorhabens	12
2.2 Darstellung der technischen Lösung.....	13
2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	17
2.4 Behördliche Anforderungen	19
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	19
3 Ergebnisse	21
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung.....	21
3.2 Stoff- und Energiebilanz	21
3.3 Umweltbilanz	25
3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms	26
3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	26
3.6 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	27
4 Empfehlungen.....	28
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	28
4.2 Modellcharakter.....	28
4.3 Zusammenfassung.....	28
5 Literatur	30
6 Anhang.....	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Interprint Design Center	7
Abbildung 2: Tiefdruckzylinder.....	9
Abbildung 3: Vergleich Prozess Tiefdruck und Digitaldruck.....	11
Abbildung 4: Rotationstiefdruckmaschine	13
Abbildung 5: Digitaldruckanlage bei Interprint	14
Abbildung 6: Abwicklung an der Digitaldruckanlage.....	14
Abbildung 7: Auftragswerk für Primer	15
Abbildung 8: Druckzone mit Zentralzylinder.....	16
Abbildung 9: Geöffneter Infrarot-Trockner.....	17
Abbildung 10: Gegenüberstellung der Energieverbräuche Tiefdruck / Digitaldruck	23
Abbildung 11: Stromverbrauch der Klimatisierung des Digitaldruckraums.....	23
Abbildung 12: Vergleich der Stoff- und Energiebilanz Tiefdruck / Digitaldruck.....	24
Abbildung 13: CO ₂ -Äquivalenzwerte nach [ProBas 2013]	25
Abbildung 14: Umweltbilanz in CO ₂ -Äquivalenten Tiefdruck / Digitaldruck.....	25

1 Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Interprint GmbH gehört als Teil der Interprint-Gruppe zu den weltweit führenden Dekordruckereien. Das Stammhaus von Interprint befindet sich in Arnsberg, wo das Unternehmen 1969 gegründet wurde und sich zu einer der weltweit führenden Dekordruckereien entwickelt hat. Dekore von Interprint gestalten Oberflächen zahlreicher Materialien der Holzwerkstoffindustrie, die dann zu Wohn-, Küchen- oder Badmöbeln, Laminatböden oder im Innenausbau weiterverarbeitet werden.



Abbildung 1: Interprint Design Center

Weltweit verfügt Interprint über acht Produktionsstandorte. Über Serviceabteilungen, Vertriebsstandorte und Handelsvertreter ist Interprint auf allen Erdteilen präsent.

Die Interprint-Gruppe gehört zu 100% der in Arnsberg ansässigen Wrede Industrieholding. Die Wrede Industrieholding ist ein traditionsreiches, familiengeführtes Unternehmen mit über 125jähriger Erfahrung im Holzwerkstoffbereich.

Die Interprint-Gruppe verfügt auf insgesamt 25 Produktionsanlagen über eine Gesamtkapazität von 100.000 Tonnen pro Jahr. Darüber hinaus betreibt die Interprint-Gruppe sechs Anlagen zur Weiterverarbeitung der Dekorpapiere. Bei der Interprint-Gruppe sind insgesamt 1.200 Mitarbeiter beschäftigt, davon etwa 400 am Stammsitz in Arnsberg, wo sieben Tiefdruckproduktionsmaschinen und fünf Tiefdruck-Ausmusterungsmaschinen betrieben werden. Der Umsatz der Interprint GmbH betrug 2016 insgesamt 100 Mio. €.

Das Demonstrationsvorhaben wurde durch die Interprint GmbH in Arnsberg durchgeführt.

1.2 Ausgangssituation

In der Möbelindustrie dient der Dekordruck der optischen Gestaltung von Oberflächen wie z. B. Arbeitsplatten und Fronten sowie der Raumgestaltung (Wandpaneele, Fensterbänke, Laminatfußböden etc.). Tendenziell ist in der Branche eine zunehmende Nachfrage nach individuellen Dekoren in kleinen Stückzahlen und hoher Qualität zu beobachten. Der konventionelle Tiefdruck, über den die Dekore derzeit noch auf das zu bedruckende Papier aufgebracht werden, ist jedoch vor allem für große und größte Stückzahlen geeignet – die Realisation kleiner Losgrößen in individuellen Designs ist mit der derzeit zur Verfügung stehenden Technologie nicht möglich, sodass die Diskrepanz zwischen den Möglichkeiten des Tiefdrucks und dem Marktbedarf zunimmt, wie im Folgenden dargestellt wird.

Eine Produktion im Tiefdruck bedarf umfangreicher Vorarbeiten. Zunächst muss eine Vorlage eingescannt werden. Im Anschluss an den Scanvorgang wird die so erstellte Datei in einem TIFF-Workflow weiter bearbeitet. Im Arbeitsschritt des so genannten Separierens wird eine Zerlegung des vorliegenden Dekors in mehrere Strukturen („Separationen“) vorgenommen. Jede dieser Separationen wird später auf einen eigenen Tiefdruckzylinder übertragen und unterschiedlich eingefärbt – erst die anschließende Kombination der zerlegten Strukturen auf dem Druckpapier führt dann zur wirklichkeitstreuen farbigen Abbildung des gewünschten Dekors auf dem Druckpapier.

Im nächsten Schritt müssen Tiefdruckzylinder bebildert werden. Die Gravur der separierten Strukturen auf die Labor- und Produktionszylinder erfolgt üblicherweise elektromechanisch mithilfe eines Diamantstichels. Das Aufbringen eines neuen Designs erfordert zunächst die Entfernung der alten Gravur von der Zylinderoberfläche. Hierzu ist im ersten Schritt die zum Verschleißschutz aufgebrauchte harte Chromschicht zu entfernen. Dies geschieht auf elektrolytischem Weg in einem Entchromungsbad, in dem das Chrom unter Stromfluss in Schwefelsäure gelöst wird. Anschließend wird die freigelegte Arbeitskupferschicht soweit abgedreht, dass die eingravierte Struktur entfernt ist und eine glatte Oberfläche zum Aufbringen einer neuen Kupferschicht vorliegt.

Voraussetzung für einen einwandfreien elektrolytischen Niederschlag in der anschließenden Verkupferung des Zylinders ist eine gereinigte und entfettete Oberfläche. Zur Entfettung wird ein hochkonzentriertes Natron- oder Kalilaugebad eingesetzt. Nach diesem Behandlungsschritt findet das galvanische Aufbringen einer neuen Arbeitskupferschicht statt. Nach der galvanischen Beschichtung erfolgt eine Nachbehandlung der Arbeitsschicht durch Abschleifen, so dass eine einwandfreie Oberfläche für den anschließenden Bebilderungsprozess bereitgestellt wird.

In der elektromechanischen Gravur werden die Nöpfchen zur späteren Aufnahme der Farbe mittels eines Diamantstichels mechanisch in die Arbeitskupferschicht gestochen. Der Diamantstichel ist auf dem Gravierkopf aufgebracht. Während des Gravierens dreht sich der eingespannte Zylinder stetig um seine eigene Achse, gleichzeitig bewegt sich der Gravierkopf auf einem Schlitten parallel zur Zylinderachse. Der Durchmesser (ca. 200 μm) und die Tiefe (ca. 30-35 μm) der gravierten Nöpfchen werden durch die Pixelgrauwerte der einzelnen Farben gesteuert. Die Maschinensteuerung nimmt diese Daten auf und wandelt sie in ein analoges Signal um. Das Signal wird in elektrische Impulse übersetzt, die den Diamantstichel ansteuern und so die Einstichtiefe des Gravurstichels steuern. Der Stichel vibriert mit einer sehr hohen konstanten Frequenz, die je nach Rasterbreite bis zu 7.500 Hertz betragen kann. Der Gravurvorgang ist sehr empfindlich gegenüber Verunreinigungen – ggf. kann es im Verlauf des 3-4stündigen Prozesses zu einer Beschädigung des Stichels kommen, die erst nach Abschluss des Gravurvorgangs über eine Endkontrolle der Nöpfchengröße festgestellt werden kann.

In diesen Fällen ist die aufgebrachte Gravur nicht mehr verwendbar und der Prozess muss wiederholt werden.

Da die Gravur in das vergleichsweise weichen Metall Kupfer eingebracht wurde, ist noch vor Einsatz der Zylinder im Produktionsprozess das Aufbringen eines Verschleißschutzes notwendig. Hierzu wird eine ca. 7 µm starke Chromschicht auf die gravierten Strukturen aufgalvanisiert. Da in diesem Arbeitsschritt gesundheitsschädliche Dämpfe und Aerosole freigesetzt werden können, kommen geschlossene Bäder mit Absaugungen und Abscheidetechnik zum Einsatz. Zur Sicherstellung eines einwandfreien elektrolytischen Chromniederschlags erfolgt vorab analog zur schon beschriebenen Verkupferung eine Entfettung mittels Natron- oder Kalilauge. Der Prozess der Verchromung stellt einen Verfahrensschritt mit hoher Umweltrelevanz dar, da dieser den Einsatz von Chromsäure (CrO_3) und somit die Verwendung einer stark in die Kritik geratenen Cr(VI)-Verbindung erfordert. Chrom(VI)-Verbindungen sind äußerst giftig und auch seit langem als krebserregend bekannt. Bei Kontakt erzeugen die Verbindungen Irritationen an Augen, Haut und Schleimhäuten. Chronischer Kontakt mit Chrom(VI)-Verbindungen kann bei unterlassener Behandlung zu bleibenden Augenschäden führen. Inzwischen ist die Verwendung von Cr(VI)-Verbindungen in Europa über die REACH-Verordnung [REACH 2007] stark eingeschränkt – derzeit gibt es jedoch keine Alternative zur beschriebenen Verchromung der Tiefdruckzylinder, so dass zum Betrieb der Anlagen i. d. R. Sondergenehmigungen erteilt werden. Einen weiteren negativen Umweltaspekt der Verchromung stellt die Notwendigkeit des Einsatzes von perfluorierten Tensiden (PFT) als Additiv dar. PFT gelten als toxisch und stehen im Verdacht, Krebs zu erregen – eine Anreicherung dieser Verbindungen in Klärschlämmen kann beispielsweise zu Kontaminationen des Trinkwassers führen.

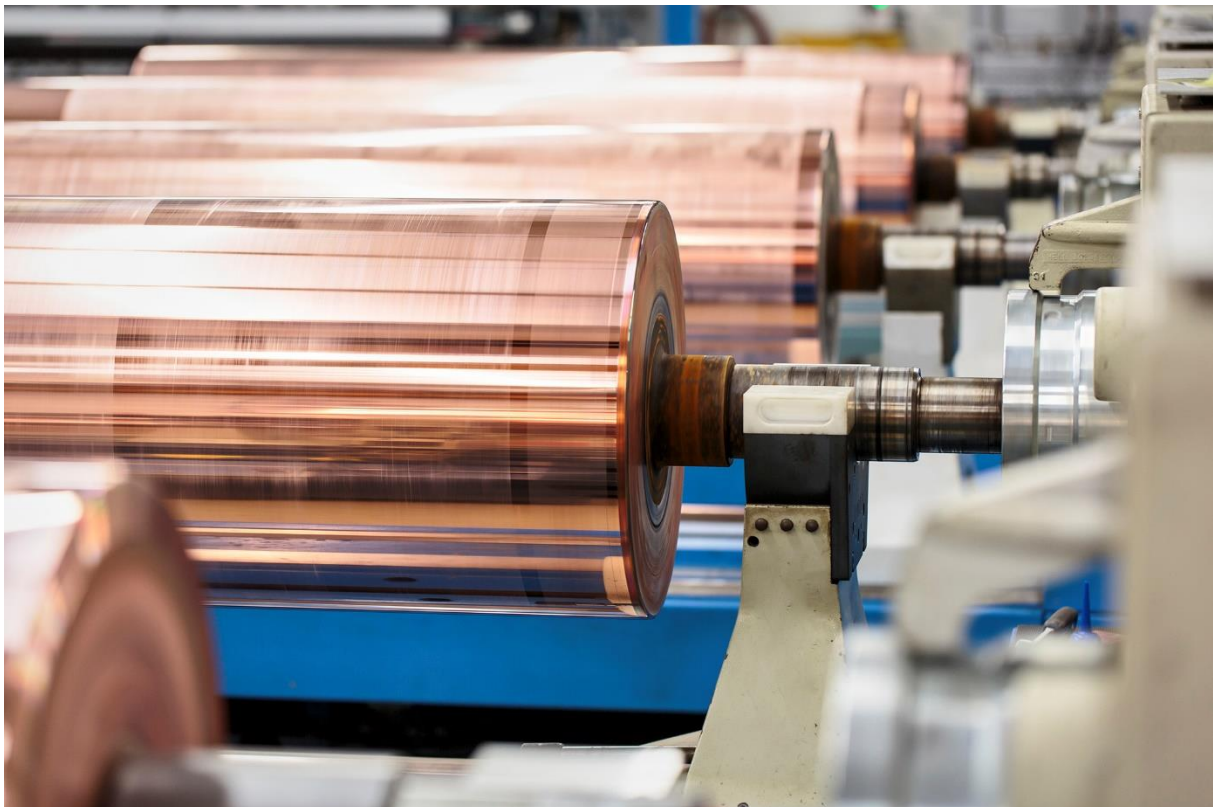


Abbildung 2: Tiefdruckzylinder

Die derartig vorbereiteten Tiefdruckzylinder werden in die Produktionsmaschinen eingebaut. Danach findet ein Angleichvorgang an den Produktionsmaschinen statt, um die dort eingestellten Farbqualitäten mit den Kundenanforderungen zu vergleichen und somit eine größtmögliche

Übereinstimmung der Produktionscharge mit dem abgestimmten Kundenwunsch zu erreichen. Die Einstellung der gewünschten Farben richtet sich nach den Farbvorlagen der letzten Produktionscharge und wird per Hand unter Berücksichtigung der Viskositäten und Maschinengeschwindigkeiten eingestellt. Während des Drucks werden Proben entnommen. Hierfür wird aus den frisch bedruckten Substraten ein Stück von ca. 60 x 50 cm ausgeschnitten und mit dem Ausmusterungsdruck verglichen. Diese Probe ist zunächst zu imprägnieren und zu verpressen, da nur auf diese Weise ein angemessener farblicher Vergleich durchgeführt werden kann. Wenn nötig, wird eine manuelle Farbänderung an der Produktionsmaschine vorgenommen. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis der Druck farblich mit den Kundenanforderungen übereinstimmt. Da die zu bedruckende Papierbreite und die Maschinengeschwindigkeiten im Angleichvorgang mit der realen Produktion übereinstimmen, entsteht in diesem Schritt ein hoher Papierausschuss, die so genannte „Papiermakulatur“.

Aufgrund der aktuell noch bestehenden technologischen Restriktionen wegen der umfangreichen Vorarbeiten geben Dekordrucker ihren Kunden gewöhnlich eine Mindestbestellmenge vor, die deutlich über deren Erstbedarf liegt. Aus diesem Grund ist der Kunde häufig gezwungen, die nicht benötigten Mengen – teilweise ist dies deutlich mehr als die Hälfte der insgesamt bestellten Menge – zu entsorgen. Dies führt zu einem immensen Ressourcenverbrauch und zu einer deutlichen wirtschaftlichen Belastung der Dekorpapierabnehmer, da ein großer Teil der bedruckten Fläche gar nicht erst der eigentlichen Endanwendung zugeführt wird. Daher sehen sich die Dekordruckereien einem zunehmenden Kundendruck ausgesetzt, die Mindestbestellmengen zu senken und idealerweise sogar die Bestellung von Losgrößen < 100 kg zuzulassen. Zudem besteht schon seit Jahren ein zunehmender Bedarf nach einer Produktion so genannter „Mulitdekorrollen“ – hierbei werden verschiedene Dekore auf einer Rolle bereitgestellt. Dies würde dem Kunden ermöglichen, in der anschließenden Weiterverarbeitung mehrere Dekore in einem Imprägniervorgang zu verarbeiten. Hierdurch würden die energieintensiven An- und Abfahrvorgänge der Imprägniereinrichtungen entfallen. Die Umsetzung der dargestellten Kundenanforderungen ist mit der derzeit etablierten Tiefdrucktechnologie nicht möglich. Somit besteht großer Bedarf nach einer Technologie, mit der es gelingt, kleine und mittlere Produktionsgrößen schneller, effizienter und flexibler zu bewältigen.

Eine vielversprechende Lösung stellt der Einsatz digitalisierter Drucktechnologie dar. Die hiermit verbundene Flexibilität ermöglicht kürzere Reaktions- und Produktionszeiten, wodurch ein höheres Auftragsvolumen mit unterschiedlichen Losgrößen bewältigt werden kann. Das Thema beschäftigt die in der Branche namhaften Unternehmen bereits seit Jahren – Interprint setzte diese Technologie beispielsweise zu Beginn des Projektes (2013) zur Unterstützung der Ausmusterungsvorgänge im Labormaßstab ein. Der industrielle Einsatz des Digitaldrucks im Dekorpapierbereich scheiterte damals jedoch an einer wesentlichen Hürde – der Digitaldruck war wesentlich langsamer (100 qm/h) als der konventionelle Dekordruck (> 1.500 qm/min), was ihn noch ungeeignet für große Produktionsmengen machte.

Hinzu kommt, dass für den industriellen Digitaldruck Aspekte zu beachten sind, die im Tiefdruck nicht auftauchen. Zur Sicherstellung einer geeigneten Aufnahme der vom Inkjet-Printer „aufgeschossenen“ Farbe ist vor dem eigentlichen Druckvorgang meist eine Barrierschicht, ein sogenannter Primer auf das Basispapier aufzubringen. Dies geht einher mit einem Energieeinsatz, der im Tiefdruck nicht notwendig ist, da die dort verwendeten Papiere keiner Vorbehandlung bedürfen.

Digitaldrucke reagieren sehr empfindlich auf thermische Schwankungen. Werden einzelne Druckpunkte um wenige µm versetzt auf das Papier gedruckt, ergeben sich daraus nicht zu akzeptierende Störungen des Druckbildes. Daher muss der gesamte Raum, in dem eine Digitaldruckanlage aufgebaut wird, klimatisiert werden und die Parameter Raumtemperatur und auch Luftfeuchte in sehr engen Grenzen kontrolliert werden. Die Temperaturschwankungen dürfen

± 1 K nicht übersteigen. Die relative Luftfeuchtigkeit muss innerhalb von ± 5 % konstant gehalten werden.

Ein Vergleich der beiden Druckverfahren mit den jeweils verbundenen Prozessschritten ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

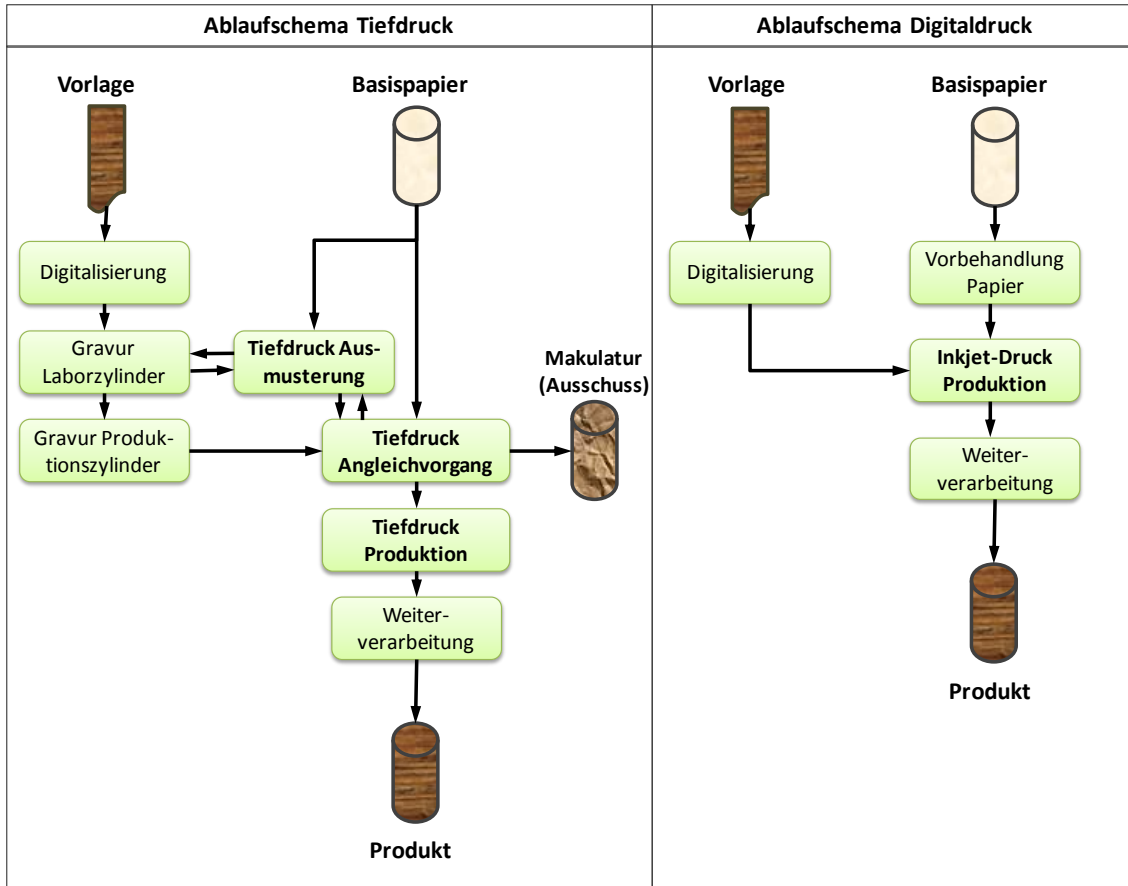


Abbildung 3: Vergleich Prozess Tiefdruck und Digitaldruck

2 Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

In diesem Vorhaben werden die beiden Drucktechnologien Tiefdruck und Digitaldruck zur Herstellung von Dekordrucken miteinander verglichen. Dabei wird insbesondere die Energiebilanz für jedes Druckverfahren unter Beachtung von vorgelagerten Prozessen untersucht. So müssen für die Produktion im Tiefdruck zunächst die Druckzylinder aufbereitet werden. Dazu sind energieintensive Prozesse wie das galvanische Abscheiden von Kupfer und Chrom notwendig. Zudem soll die Energiebilanz während des Druckens und der Trocknung der Druckfarbe für die zwei Druckverfahren ermittelt werden.

Auch im Digitaldruck sind einige vorbereitende Prozesse notwendig. So ist es für viele Dekore üblich, dass auf das Papier vor dem Drucken eine Schicht aufgebracht wird, die die mit hoher Geschwindigkeit auftreffenden Tröpfchen des Inkjet Drucks aufnimmt. Zum Aufbringen der Schicht wie insbesondere auch zum Trocknen dieser Farbempfangsschicht muss Energie aufgebracht werden. Zudem erfolgt der Digitaldruck in einem klimatisierten Umfeld mit sehr engen Toleranzen. Aus diesen Gründen ist nicht ab initio klar, welches Druckverfahren die günstigere Energiebilanz aufweist.

Im Rahmen dieses Projektes werden die Energiebilanzen der beiden Druckverfahren ermittelt und miteinander verglichen.

Digitaldruckanlagen wurden im Dekordruck bislang nur mit sehr schmalen Breiten oder mit für eine industrielle Fertigung nicht ausreichender Geschwindigkeit betrieben. Tiefdruckanlagen erreichen heute im Dekordruck Geschwindigkeiten von bis zu 600 m/min mit Bahnbreiten bis zu 2,75 m. Somit hat eine moderne Tiefdruckmaschine einen Output von über 1.500 qm pro Minute. Dagegen erreichen Large-Format Digitaldrucker bei hinreichender Druckqualität einen Output von nur 100 qm pro Stunde. Single Pass Digitaldrucker mit Druckgeschwindigkeiten von bis zu 150 m/min waren bis zum Beginn des Projektes für den Dekordruck auf Breiten von maximal 75 cm beschränkt. Somit ist ein weiteres Ziel dieses Vorhabens aufzuzeigen, dass die technologischen Herausforderungen für einen industriellen Digitaldruck mit einer Druckbreite von bis zu 1,68 m bei einer Druckgeschwindigkeit von 150 m/min beherrscht werden. Hier ist insbesondere die räumliche Ausrichtung zueinander von insgesamt 120 Druckköpfen im Bereich nur weniger Mikrometer zu nennen.

Daneben soll die zeitliche Stabilität der Digitaldrucke untersucht werden. Der Tiefdruck ist das bevorzugte Druckverfahren im Dekordruck, weil er für seine zeitliche Druckstabilität bekannt ist. Farbliche Änderungen im Laufe einer Produktionscharge kommen im Gegensatz zu anderen Druckverfahren wie Offsetdruck oder Flexodruck praktisch nicht vor. Gerade der Dekordruck fordert eine sehr hohe Farbstabilität sowohl innerhalb einer Charge als auch von Fertigung zu Fertigung. Aus diesem Grund ist ein zeitintensives Angleichen, das heißt Justieren der Färbung, vor einem Produktionsstart im Tiefdruck notwendig.

Zum Angleichen wird die Tiefdruckanlage auf Produktionsgeschwindigkeit gefahren und dann wieder angehalten. Ein Muster wird entnommen und muss die Weiterverarbeitungsprozesse der Holzwerkstoffindustrie im Labormaßstab durchlaufen. Erst dann kann eine Bewertung der aktuellen

Charge mit einer zuvor gefertigten Charge erfolgen. Daraus ergibt sich ein Papierausschuss, die Papiermakulatur. Da im Digitaldruck für jede Charge die identischen Daten und Tinten verwendet werden, geht man davon aus, dass ein Angleichen nicht mehr notwendig ist oder zumindest deutlich weniger Angleichschritte notwendig sind und damit verbunden deutlich weniger Papiermakulatur anfällt. Dies soll in diesem Projekt verifiziert werden.



Abbildung 4: Rotationstiefdruckmaschine

Der Digitaldruck ermöglicht es, auch kleinere Mengen wirtschaftlich fertigen zu können. Somit ergeben sich für die Holzwerkstoffindustrie neuartige Möglichkeiten der Einführung neuer Produkte oder der Lagerhaltung. Im Rahmen des Projekts soll die Reaktion des Marktes auf die Einführung der neuen Technologie untersucht werden. Insbesondere soll die Wirtschaftlichkeit von Fertigungen auf Digitaldruckanlagen nachgewiesen werden. Dabei werden die deutlich höheren Investitionskosten und die laufenden Kosten für die im Digitaldruck eingesetzten Tinten auf der einen Seite berücksichtigt. Dagegen stehen die höheren Fixkosten der Tiefdruckanlagen für kleine Losgrößen. Diese ergeben sich aus den Kosten für die Aufarbeitung der Druckzylinder und die Kosten für das Angleichen der Färbung jeder Charge.

2.2 Darstellung der technischen Lösung

In diesem Projekt wird eine Digitaldruckmaschine Rotajet 168 IP der König & Bauer AG, Würzburg, erstmalig entwickelt, aufgebaut und in Betrieb genommen. Dabei handelt es sich um eine sogenannte Single-Pass Digitaldruckanlage mit einer Druckbreite von 168 cm und einer Druckgeschwindigkeit von bis zu 150 m/min. Dabei bewegt sich die Papierbahn unter den Druckköpfen, die fest montiert sind. Single-Pass Digitaldruckanlagen waren bis dato auf deutlich kleinere Druckbreiten von etwa 70 cm limitiert.



Abbildung 5: Digitaldruckanlage bei Interprint

Eine Druckrolle, die ein Gewicht von bis zu 1000 kg aufweisen kann, wird in einer Abwicklung, die einen automatischen Papierwechsel erlaubt, eingebaut. Dabei handelt es sich um ein Standardaggregat für Rotationsdruckmaschinen, wie es im Tiefdruck aber auch in anderen Druckverfahren wie Flexodruck oder Offsetdruck verwendet wird.



Abbildung 6: Abwicklung an der Digitaldruckanlage

Nach dem Papiereinzug läuft die Papierbahn in ein Auftragswerk für einen Primer. Ein Kammerrakel benetzt eine Rasterwalze, die den Primer auf eine Auftragswalze überträgt. Die Papierbahn wird an die Auftragswalze gepresst und nimmt den Primer auf. Die dann noch feuchte Papierbahn wird zu einem Infrarot-Trockner geführt, in dem der Primer getrocknet wird.

Das Auftragen von Flüssigkeiten in der beschriebenen Kombination von Kammerrakel, Rasterwalze und Übertragungswalze ist eine bekannte Technologie. Bislang wurden damit vorzugsweise Lacke flächig auf bahnförmige Oberflächen übertragen. Neu für die Anlage dieses Projekts ist, dass nun ein saugfähiges Papier beschichtet werden muss. Der Primer wurde bislang im Tiefdruck auf die Papierbahn übertragen. Die notwendige Homogenität der übertragenen Volumina war jedoch nicht ausreichend für anspruchsvolle Dekore, die im Digitaldruck in großer Breite gedruckt werden.



Abbildung 7: Auftragswerk für Primer

Vor dem Einlauf in die Druckzone wird die Papierbahn mittels einer Kühlwalze, durch die Wasser mit einer Temperatur von 22° C geleitet wird, temperiert. Es hat sich im Laufe des Projekts gezeigt, dass die Temperatur der einlaufenden Druckbahn auf $\pm 3^\circ$ C konstant gehalten werden muss, um die Aufwärmung anderer Maschinenteile, insbesondere des Zentralzylinders in der Druckzone zu verhindern.

Das Herzstück der Anlage ist die Druckzone. Hier wird die Papierbahn über einen Zentralzylinder geführt. Dabei umschlingt die Papierbahn den Zentralzylinder mit einem Winkel von 320°. So wird verhindert, dass sich auf der Papierbahn Falten während des Druckens durch die Aufnahme von Wasser in die Papierfasern bilden können. Ein derartiger Zentralzylinder wird erstmals im Digitaldruck eingesetzt.

Oberhalb des Zentralzylinders sind die Druckköpfe installiert. Insgesamt sind 120 Druckköpfe verbaut. Zunächst wird die blaue Tinte, dann die rote, gefolgt von der schwarzen und zuletzt die gelbe Tinte auf das Papier aufgebracht. Die Druckköpfe sind für jede Farbe in zwei Reihen auf einer Curve-Plate angeordnet. Somit wird eine Redundanz bei Ausfall einzelner Düsen sichergestellt.



Abbildung 8: Druckzone mit Zentralzylinder

In Stillstandszeiten können die Druckköpfe in eine Capping-Station gefahren werden. Eine Capping Station ist eine Wanne, die feucht gehalten wird. Hiermit wird ein Eintrocknen der Tinten an den Druckköpfen verhindert. Ein Eintrocknen würde die Düsen der Druckköpfe verschließen. Zudem wird in festgelegten zeitlichen Abständen Tinte durch die Druckköpfe gepumpt. Dieses sogenannte Spitting soll ebenfalls verhindern, dass Tinte an nur wenig genutzten Düsen eintrocknet.

Sollte sich trotzdem an einzelnen Düsen Tintenreste eingetrocknet sein, ist es möglich die Druckköpfe zu reinigen. Dazu fahren Wiper unterhalb der Druckköpfe entlang und wischen die Druckkopfunterseite ab.

Alle Druckköpfe können mittels Stellmotoren zueinander ausgerichtet werden. Die Ausrichtung der Druckköpfe zueinander ist entscheidend für Drucke ohne Druckbildstörungen. Fehljustagen von Druckköpfen führen zu streifigen Drucken oder farblichen Änderungen, die seitens der Weiterverarbeiter nicht akzeptiert werden. Aus diesem Grund wird auch die Temperatur der Curve-Plates überwacht.

Nach dem Aufbringen der Tinte läuft die Papierbahn in zwei nacheinander durchlaufenen Infrarot-Trockner. In jedem Trockner sind 40 Infrarot-Strahler nebeneinander montiert. Die aufgebrauchte Tinte absorbiert die Strahlung und trocknet. Die feuchte Luft wird mit einem Gebläse in den

umgebenden Raum gefördert. Die Trocknung ist deutlich kompakter als dies für Tiefdruckanlagen der Fall ist. Wenn die Papierbahnbreite schmaler als die maximal mögliche Breite ist, werden die nicht benötigten Strahler ausgeschaltet. Somit wird verhindert, dass unnötig Energie abgestrahlt wird.



Abbildung 9: Geöffneter Infrarot-Trockner

Nach dem Trocknen wird die Papierbahn in einer Aufwicklung wieder aufgewickelt. Der Wickler ist wie die Abwicklung ein gebräuchliches Bauelement für Druckanlagen.

Die gesamte Maschine ist in einem Raum aufgebaut, dessen Temperatur und Luftfeuchtigkeit permanent geregelt werden. Dabei liegt die Temperatur bei $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ und die Luftfeuchtigkeit bei $50\% \pm 5\%$ relative Feuchte. Das dazu notwendige Kühlaggregat steht außerhalb des Gebäudes.

2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Nach Projektstart im August 2013 wurde zunächst mit dem Lieferanten ein detailliertes Pflichtenheft der Digitaldruckanlage erarbeitet. Im Rahmen der Diskussion wurde festgelegt, dass die Papierbahn in einem inline installierten Auftragswerk mit einem Primer beschichtet werden kann. Dies führt zu einer erheblichen Verringerung der Papiermakulatur, da das Papier nicht in einer Tiefdruckanlage offline beschichtet werden muss. Zudem wurde ein neuartiges Trocknungskonzept festgelegt. Eine Trocknung mit einem Infrarot-Trockner erlaubt es, die Strahlung auf die Papierbreite einzustellen und Strahler außerhalb der Papierbahn abzuschalten. Dagegen erfolgt die Trocknung von Papierbahnen in Tiefdruckanlagen immer durch Aufblasen heißer Luft über die gesamte Maschinenbreite, auch wenn die Papierbahn schmaler als die maximale Bahnbreite ist. Die Erhitzung der Luft erfolgt in Tiefdruckanlagen mit Gasbrennern.

Die Digitaldruckanlage wurde zunächst beim Lieferanten aufgebaut und in Betrieb genommen. Nachdem die Vorabnahme erfolgreich abgeschlossen war, wurde sie zum endgültigen Aufstellungsort bei Interprint überführt.

Nach Wiedermontage der Anlage mussten zunächst 120 Druckköpfe zueinander justiert werden. Hierzu wurden neue Strategien erarbeitet. Durch speziell entwickelte Druckmuster kann die Justierung der Druckköpfe überprüft und eingestellt werden. Geringe Fehljustierungen führen zu streifigen Drucken, die qualitativ nicht akzeptiert werden können. Zudem zeigte sich, dass geringe Erwärmungen der Druckkopfhalterungen und des zentralen Zylinders, auf dem die Papierbahn unter den Druckköpfen geführt wird, zu Änderungen der farblichen Erscheinung des Druckbildes führt. Erst der Austausch des zentralen Zylinders gegen einen Zylinder aus Carbon und eine Überwachung der Druckkopftemperaturen stellte dieses Problem ab.

Im Rahmen des Projekts stellte sich immer wieder heraus, dass die Tinte nicht alle Anforderungen der Holzwerkstoffindustrie zur vollen Zufriedenheit erfüllte.

Die Entwicklung der Tinten wurde auf einer Technikumsanlage bereits nach der Formulierung des Pflichtenhefts begonnen. Die Tinte muss einerseits die notwendigen Anforderungen der Holzwerkstoffindustrie wie Lichtechtheit, Ausschluss von Metamerie oder störungsfreie Weiterverarbeitung der Papiere einerseits und die Kompatibilität mit den Druckköpfen erfüllen.

Zunächst fiel die gelbe Tinte hinsichtlich ihrer Lichtechtheit durch. Der Lieferant modifizierte mehrfach die Pigmentierung bis er zu einem befriedigenden Ergebnis kam. Zudem stellte sich heraus, dass die rote Tinte deutlich metamer zu der im Tiefdruck eingesetzten Tinte war. Somit war zunächst eine direkte Umstellung von Produktionsaufträgen vom Tiefdruck auf den Digitaldruck nicht möglich.

In der Weiterverarbeitung der Papiere fiel auf, dass ein spezieller Test, der Kochtest, nicht bestanden wurde. Dabei wird der fertige Werkstoff 2 Stunden in kochendes Wasser gelegt. Er darf sich dabei nicht verändern, bei Drucken mit den Digitaldrucktinten zeigten sich jedoch Blasen auf der Oberfläche des Werkstoffs.

Erst ein Wechsel des Lieferanten der Tinten hin zu einem Farbhersteller aus dem Dekordruck im vierten Quartal 2016 brachte eine Lösung. Der Kochtest wird seitdem bestanden und die Tinten sind nicht mehr metamer zu den im Tiefdruck eingesetzten Farben. Damit verbunden war jedoch, dass die Gewährleistung auf die Druckköpfe seitens des Maschinenlieferanten erlosch. Die Einkaufspreise der Tinten konnten mit dem Wechsel aber deutlich gesenkt werden, was für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens entscheidend ist. Eine voll umfängliche Bemusterung von Kunden konnte dann im vierten Quartal 2016 begonnen werden.

Im Rahmen des Projekts zeigte sich, dass ein Anfahren der Digitaldruckanlage nach Produktionsstillständen beispielsweise am Wochenende sehr mühselig war. Farbe trocknete unter den Druckköpfen ein und verstopfte einzelne Düsen. Teilweise fielen Druckköpfe komplett aus. Zum Reinigen der Druckköpfe waren bereits in der ersten Auslegung der Anlage Wiper vorgesehen, die die Druckköpfe von unten auf der Düsenseite abwischen. Im Rahmen des Projekts wurden die Parameter der Wiper und Materialien für die Wischgummis entwickelt. Eine befriedigende Lösung brachte jedoch erst eine neu eingebrachte Spitting-Funktion. Dabei wird in Stillstandzeiten eine geringe Menge Farbe durch die Düsen gedrückt. Die Farbe wird in einer Capping-Station aufgenommen.

Somit trocknet deutlich weniger Farbe an den Druckköpfen ein und das Wiederanfahen der Digitaldruckanlage ist mit weniger Reinigungsaufwand der Druckköpfe verbunden.

2.4 Behördliche Anforderungen

In diesem Projekt gab es nur wenige behördliche Anforderungen zu erfüllen. Da der Aufstellungsort der Digitaldruckanlage in einem bis dahin als Lagerhalle genutzten Bereich stattfand, wurde die Beantragung einer Raumnutzungsänderung notwendig.

Aufgrund des Umgangs mit Drucktinten und dem Primer, die als wassergefährdend WGK 1 nach § 62 Absatz 4 Nummer 1 WHG eingestuft sind, wurde der Fußboden des gesamten Raums mit einer zugelassenen Beschichtung versehen. Als Havarievolumen dient eine Vertiefung unterhalb der Abwicklung der Digitaldruckanlage.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Wesentlich für dieses Projekt ist die Erfassung der Stromverbräuche der Digitaldruckanlage und der Nebenaggregate auf der einen Seite sowie die Erfassung der Stromverbräuche und Gasverbräuche der Tiefdruckanlagen.

An der Digitaldruckanlage sind separate Stromzähler für den Verbrauch der Maschine, hier insbesondere die Antriebe, die Infrarot-Trocknung des Primer-Auftragswerks, die Infrarot-Trocknung nach dem Drucken, die Kälteerzeugung zur Temperierung der Papierbahn, die Klimatisierung des Druckraums, den Befeuchter für die Luft im Druckraum und den Lüfter im Druckraum installiert. An den Tiefdruckanlagen sind Zähler für den gesamten Strom- und Gasverbrauch einer Tiefdruckanlage installiert.

Darüber hinaus wird der Stromverbrauch im Bereich der Zylinderherstellung erfasst.

Alle Stromzähler werden automatisiert mit der Software GridVis® der Firma Janitza electronics GmbH, Lahnau ausgelesen. Dabei werden die Stromverbräuche nach jeweils 15 Minuten archiviert, sodass der Verbrauch mit einer Auflösung von 15 Minuten bestimmten Produktionszuständen zugeordnet werden kann. Es handelt sich um einen Teil des bei Interprint nach ISO 50001 zertifizierten Energiemanagementsystems.

Der Gasverbrauch der Tiefdruckanlagen wird monatlich abgelesen.

Im Rahmen einer Erfassung in SAP-Modulen werden der Papiereinsatz und der Farbeinsatz an den Tiefdruckanlagen für jeden Auftrag dokumentiert. Auch werden der Output sowie weitere Produktionsdaten in SAP erfasst. Ebenso werden die Produktionsdaten für die Vorbereitung der Tiefdruckzylinder in SAP erfasst.

Im Bereich der Digitaldruckanlage werden die Aufträge noch in Excel-Listen erfasst. Hier werden der Zeitpunkt einer Produktion und die Produktionsmenge für jedes Dekor festgehalten. Ein Modul der Digitaldruckanlage gibt den Farbverbrauch für jeden Auftrag an.

Zur Aufbereitung der Daten stehen verschiedene Softwaremodule zur Verfügung. Die Daten können in Microsoft Excel® betrachtet werden. Für weiter gehende Analysen steht die Software Origin® der OriginLab Corporation zur Verfügung.

3 Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Das Projekt wurde sehr zielorientiert durchgeführt. Alle technischen Herausforderungen wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Lieferanten der Digitaldruckanlage gelöst. Dabei wurden die Fragestellungen zunächst sehr intensiv mit begleitender Messtechnik analysiert und auf Basis der Analysen wurden Lösungen konstruiert. Auf diese Weise wurde die Digitaldruckanlage in verschiedenen Punkten weiterentwickelt und optimiert.

Als deutlich komplexer als zunächst erwartet stellte sich die Entwicklung geeigneter Tinten heraus. Jede Modifikation mit dem damit verbundenen Tintenwechsel führte dazu, dass die Parameter der Digitaldruckanlage neu justiert werden mussten. Als Beispiel sei genannt, dass nach Tintenwechsel die Ansteuerung der Druckköpfe neu eingestellt werden musste.

Der Markt für die Digitaldrucke konnte auf Grund der Tintenentwicklung noch nicht so weit entwickelt werden, wie dies zu Beginn des Projekts erwartet wurde. Viele Kunden waren an Verfahrensdetails des Digitaldrucks interessiert; auch um die Möglichkeiten für neuartige Produkte auszuloten. Andererseits konnten vorhandene Produktionen nicht ohne Information der Kunden umgestellt werden. Es zeigt sich jedoch, dass sich der Markt jetzt positiv auf die Möglichkeiten des Digitaldrucks reagiert und das Projektziel der Produktion von 8.000.000 qm pro Jahr weiterhin nicht unrealistisch ist, auch wenn dieses Ziel im Jahr 2017 noch nicht erreicht werden wird.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

Die Auswertung der Strom- und Gaszähler erlaubt es für die zwei Druckverfahren Tiefdruck und Digitaldruck Energiebilanzen aufzustellen. Hier wird eine typische Tiefdruckanlage mit der Digitaldruckanlage verglichen.

Der gesamte Stromverbrauch der Produktionsmaschine 10 bei Interprint lag im Jahr 2016 bei 496.682 kWh bei einer Ausbringung von 66.203.919 qm. Daraus ergibt sich ein Verbrauch von 7,5 kWh pro 1.000 qm. Es muss jedoch betont werden, dass dieser Wert erheblich vom Alter der Tiefdruckanlage und dem genauen Auftragspektrum abhängt. Es finden sich für das Jahr 2016 Werte zwischen 4,6 kWh pro 1.000 qm und 15,5 kWh pro 1.000 qm. Die hier betrachteten Losgrößen werden eher auf älteren Tiefdruckanlagen gefertigt, die einen Stromverbrauch von 15,5 kWh aufweisen. In der weiteren Betrachtung werden die Daten der im Jahr 2001 in Betrieb gegangenen Tiefdruckproduktionsmaschine 10 herangezogen.

Die zum Trocknen der Tiefdruckfarbe an der Produktionsmaschine 10 verbrauchte Gasmenge lag im Jahr 2016 bei 1.675.906 kWh. Somit errechnet sich thermische Energie zu 25,3 kWh pro 1.000 qm. Auch dieser Wert ist stark abhängig vom Alter der Tiefdruckanlage und dem Produktionsspektrum. Für das Jahr 2016 finden sich Werte zwischen 24,9 kWh pro 1.000 qm und 62,9 kWh pro 1.000 qm. Es gilt wiederum die zu dem Stromverbrauch gemachte Aussage, dass die hier betrachteten Losgrößen eher auf Anlagen produziert werden, die einen Verbrauch von 62,9 kWh pro 1.000 qm haben.

Zusammengenommen ergibt sich daher als typischer Wert zum Bedrucken von 1.000 qm ein Verbrauch von 32,8 kWh, der aber durchaus auch bei 78,4 kWh liegen kann.

Im Bereich der Herstellung der Tiefdruckzylinder wurde im Jahr 2016 eine Strommenge in Höhe von 1.071.493 kWh eingesetzt. Es wurden 4.447 Produktionszylinder und 1.591 sogenannte Ausmusterungszylinder hergestellt. Dabei wird zur Herstellung von Produktionszylindern etwa dreimal mehr Strom benötigt wie zur Herstellung von Ausmusterungszylindern, was sich aus den unterschiedlichen Größen der Zylinder ableiten lässt. Zur Herstellung der Druckformen für die Produktion im Tiefdruck werden somit je Druckform 215 kWh benötigt.

Es wird erwartet, dass bei einer Produktion von 8.000.000 qm im Digitaldruck die Gravur von 1.000 Produktionszylindern entfällt. Daraus folgt, dass pro 1.000 qm eine Energie von 26,9 kWh für Zylindergravuren dem Tiefdruck zugerechnet werden muss.

Zwei Beispiele für die Stromverbräuche während des Druckens der Digitaldruckanlage sind im Folgenden dargestellt. Die Produktion dieser Beispiele erstreckte sich jeweils über mehr als 1 Stunde, damit die Verbräuche aus der zeitlichen Auflösung der Stromzähler ausgelesen werden konnten.

Am 17.11.2016 wurde ein Dekor gedruckt. Dabei lag der Verbrauch der Digitaldruckanlage bei 7,1 kWh für das Bewegen der Papierbahn. Der Infrarot-Trockner des Primers benötigte 29,3 kWh und die Infrarot-Trockner der Tinten benötigten 69,4 kWh. Somit lag der Gesamtverbrauch bei 105,8 kWh. In der Zeit wurden 15.367 Quadratmetern bedruckt, sodass sich ein Verbrauch von 6,9 kWh pro 1.000 qm ergibt. Davon entfielen 0,5 kWh pro 1.000 qm auf die Antriebe und 6,4 kWh pro 1.000 qm auf die Trocknung des Primers und der Tinte.

Am 03.02.2017 wurde ein Dekor gedruckt. Dabei lag der Verbrauch der Digitaldruckanlage bei 1,1 kWh pro 1.000 qm für das Bewegen der Papierbahn. Der Infrarot-Trockner des Primers benötigte 4,6 kWh pro 1.000 qm und die Infrarot-Trockner der Tinten benötigten 10,9 kWh pro 1.000 qm. Somit lag der Gesamtverbrauch bei 16,6 kWh / 1.000 qm.

Es ist offensichtlich, wie deutlich insbesondere die Verbrauchswerte der Infrarot-Trocknung vom Farbauftrag abhängen.

Als typische Verbrauchswerte kann somit konservativ 15 kWh pro 1.000 qm angegeben werden mit einem Anteil von 1 kWh pro 1.000 qm für die Antriebe und 14 kWh pro 1.000 qm für die Trocknung des Primers und der Tinte.

Der Raum, in dem die Digitaldruckanlage aufgebaut ist, muss permanent klimatisiert werden. Hierzu wurden im Jahr 2016 insgesamt 274.050 kWh eingesetzt. Bei einem geplanten Output von 8.000.000 qm ergibt dann ein Energieeinsatz von 34,3 kWh / 1.000 qm.

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung der Verbräuche zum Bedrucken von 1.000 qm im Tiefdruck und im Digitaldruck.

	Tiefdruck	Digitaldruck
Antriebe	7,5 kWh	1,0 kWh
Trocknung	thermisch 25,3 kWh	elektrisch 14,0 kWh
Zylinderherstellung	26,9 kWh	0 kWh
Klimatisierung	0 kWh	34,3 kWh
Gesamt	59,7 kWh	49,3 kWh

Abbildung 10: Gegenüberstellung der Energieverbräuche Tiefdruck / Digitaldruck

Der größte Verbraucher im Digitaldruck ist der Befeuchter der Luft im Digitaldruckraum, der im Jahr 2016 insgesamt 121.508 kWh bezog, gefolgt von der Temperierung des Raums mit 72.124 kWh. Die Verbrauchswerte des Befeuchters hängen sehr stark von den Wetterbedingungen ab. So lag der Verbrauch im Januar 2016 bei 18.544 kWh, während im Juli 2016 lediglich 1.106 kWh verbraucht wurden. Erwartungsgemäß zeigt sich für die Temperaturregelung des Raums eine gegenläufige Tendenz. Hier wurde im Februar 2016 3.030 kWh verbraucht und im Juli 2016 12.140 kWh. Die monatlichen Verbräuche im Jahr 2016, die mit der Klimatisierung des Aufstellungsortes verbunden sind, werden in der folgenden Grafik dargestellt.

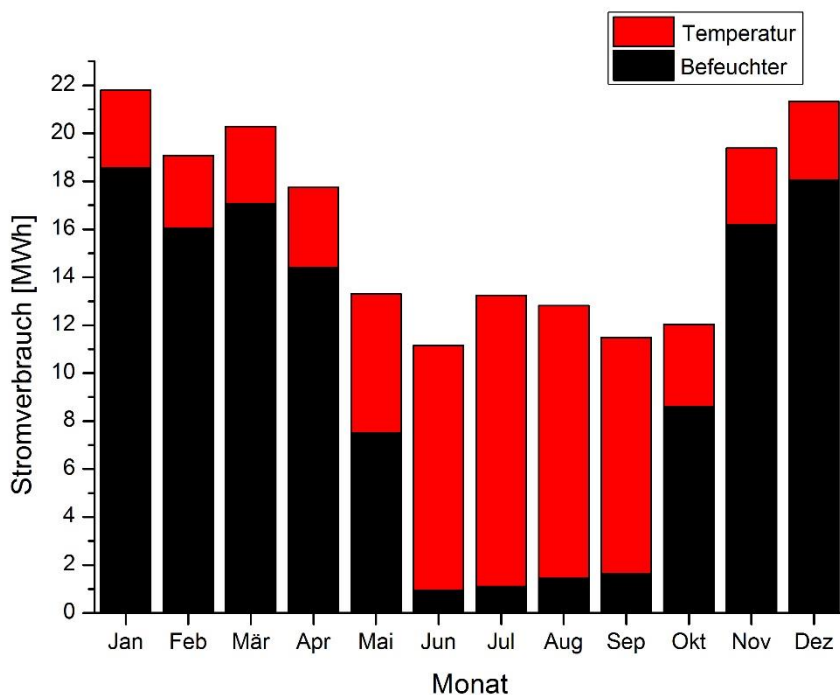


Abbildung 11: Stromverbrauch der Klimatisierung des Digitaldruckraums

Der gesamte Wasserverbrauch, der der Produktion im Tiefdruck und der Herstellung der Tiefdruckzylinder direkt zugeordnet werden kann, lag im Jahr 2016 bei 5.347 m³. Der Verbrauch für den Bereich Digitaldruck kann dagegen vernachlässigt werden. Bei einer Gesamtproduktionsmenge im Tiefdruck von 350.842.181 qm ergibt sich eine Einsparung von 15,24 Liter Wasser pro 1.000 qm durch den Digitaldruck.

Im Jahr 2016 wurden 18.000 kg Kupferklippings zum Herstellen von 4.447 Produktions- und 1.591 Ausmusterungs-Tiefdruckzylindern verbraucht. Bei einer erwarteten Einsparung von 1.000 Produktionszylindern durch den Einsatz des Digitaldrucks ergibt sich eine Einsparung von 3.616 kg Kupfer pro Jahr, was bei einem Output von 8.000.000 qm eine Einsparung von 0,452 kg Kupfer pro 1.000 qm entspricht.

Der Verbrauch von Chromsäure (Konzentration 50%) lag im Jahr 2016 bei 4.725 kg. Somit ergibt sich eine Einsparung von etwa 703 Litern Chromsäure zur Herstellung von 1.000 Tiefdruckzylindern oder 0,12 kg Chromsäure pro 1.000 qm.

Basierend auf den Daten aus dem Jahr 2016 liegt die Papiermakulatur für das farbliche Angleichen von Produktionsaufträgen an die Kundenanforderungen unabhängig von der Auftragsgröße bei etwa 250 kg pro Produktionsauftrag, was etwa 3.500 qm entspricht. Bei der Verlagerung von 1.000 Produktionsaufträgen pro Jahr entspricht dies einer Papiermakulatur in Höhe von 250 t Papier oder 3.500.000 qm. Im Digitaldruck liegt die Papiermakulatur durch das farbliche Angleichen bei 1.000 qm oder etwa 70 kg. Es hat sich gezeigt, dass bei Wiederholungsdrucken ein farbliches Angleichen im Digitaldruck nicht notwendig ist. Somit kann die Papiermakulatur des ersten farblichen Angleichens auf alle Folgeaufträge umgelegt werden. Hier wird sehr konservativ angenommen, dass es zu jedem Erstauftrag nur einen Folgeauftrag gibt. Mit einer Auftragsgröße von 8.000 qm pro Auftrag ergibt sich somit eine Papiermakulatur in Höhe von 31,3 kg pro 1.000 qm in Tiefdruck und 4,4 kg pro 1.000 qm im Digitaldruck

Zusammengefasst ergibt sich folgende Stoff- und Energiebilanz pro 1.000 qm produzierter Ware:

	Tiefdruck	Digitaldruck
Energie elektrisch	34,4 kWh	49,3 kWh
Energie thermisch	25,3 kWh	
Wasser	15,2 l	
Kupfer	0,45 kg	
Chromsäure (50%)	0,12 kg	
Papierverbrauch	31,3 kg	4,4 kg

Abbildung 12: Vergleich der Stoff- und Energiebilanz Tiefdruck / Digitaldruck

Der größte Anteil der elektrischen Energie, die im Digitaldruck verwendet wird, fällt in der Klimatisierung des Raumes an. Zur Abschätzung des flächenmäßigen Verbrauchs wird dieser Wert auf die geplante Auslastung umgelegt. Bei steigender Auslastung verbessert sich die Bilanz somit Richtung Digitaldruck. Die Annahme von 8.000.000 qm pro Jahr ist sehr konservativ. Die theoretische Kapazität bei Vollgeschwindigkeit, voller Bahnbreite und einer 24/7 durchlaufenden Produktion ohne Stillstandzeiten läge immerhin bei über 132 Mio. qm. Der somit vergleichsweise geringe Wert von erwarteten 8 Mio. qm trägt der Tatsache einer langsamen Markteinführung Rechnung.

3.3 Umweltbilanz

Aus den Daten der Stoff- und Energiebilanz lässt sich eine Umweltbilanz ableiten. In dieser Darstellung wird eine Emissionsbilanz in CO₂-Äquivalenten gewählt. Dabei werden die Umrechnungsfaktoren aus [ProBas 2013] angesetzt.

Für die Chromsäure wird als Vergleichswert der Wert für Phosphorsäure angesetzt, was sehr konservativ ist, da die Herstellung der Chromsäure deutlich aufwändiger ist.

Die Umrechnungsfaktoren sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

	CO ₂ -Äquivalent
Strom aus öffentlichem Netz	0,566 kg / kWh
Erdgas aus Erzeugung von Prozesswärme	0,233 kg / kWh
Wasserverbrauch	0,399 kg / m ³
Kupfer	3,97 kg / kg
Chromsäure (50%)	1,52 kg / kg
Papierverbrauch	1,37 kg /kg

Abbildung 13: CO₂-Äquivalenzwerte nach [ProBas 2013]

Aus den Umrechnungsfaktoren ergibt sich die in der folgenden Tabelle dargestellte Umweltbilanz.

	Tiefdruck	Digitaldruck
Stromverbrauch	19,5 kg CO ₂ -Äquivalent	27,9 kg CO ₂ -Äquivalent
Gasverbrauch	5,9 kg CO ₂ -Äquivalent	
Kupfereinsatz	1,8 kg CO ₂ -Äquivalent	
Chromsäure (50%)	0,2 kg CO ₂ -Äquivalent	
Papierverbrauch	42,9 kg CO ₂ -Äquivalent	6,0 kg CO ₂ -Äquivalent
Gesamt	70,3 kg CO₂-Äquivalent	33,9 kg CO₂-Äquivalent

Abbildung 14: Umweltbilanz in CO₂-Äquivalenten Tiefdruck / Digitaldruck

Aus einer Differenz von 36,4 kg CO₂-Äquivalent ergibt sich eine jährliche Einsparung des CO₂-Ausstoßes bei einer Fertigung von 8.000.000 qm im Digitaldruck statt im Tiefdruck in Höhe von 291,2 t.

Zusätzliche Aspekte verbessern die Umweltbilanz zugunsten des Digitaldrucks.

Beim farblichen Angleichen im Tiefdruck müssen die Papiere zunächst mit Melaminharz imprägniert und anschließend mit Spanplatten verpresst werden. Die dazu notwendigen Ressourcen von Melaminharz, Energie zum Aufheizen der Pressen und zur Herstellung der Spanplatten.

Weitere Verbesserungen der Umweltbilanz ergeben sich dadurch, dass weniger Überproduktionen vernichtet werden müssen, da Kunden durch die Einführung des Digitaldrucks nicht mehr an Mindestbestellmengen gebunden sind und so nur die tatsächlich benötigte Menge an Dekorpapier bestellen können.

3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Zur Aufstellung des Messprogramms wurden insbesondere automatisch auslesbare Stromzähler verwendet. Es wurden Zähler für jeweils eine Tiefdruckanlage installiert. Für die Digitaldruckanlage wurden insgesamt sechs Zähler verbaut, um detaillierte Analysen von Teilverbräuchen zu ermöglichen.

Alle Zähler speichern die Werte und schreiben sie in eine Datenbank. Dabei werden die Daten der Leistungsaufnahme in 15-Minuten Intervallen abgelegt. Die Daten der Wirkarbeit liegen im Stundenrhythmus vor.

Am vertrauenswürdigsten erscheinen Daten für Produktionen, die deutlich länger als eine Stunde dauern. In einem mittleren Intervall fallen keine Anfahr- und Abschaltprozesse an. Andererseits sind die Daten des Outputs in dem Mittelintervall bekannt oder leicht nachzurechnen. Diese Daten werden als vertrauenswürdig angesehen und sind Grundlage der Energiebilanz und Umweltbilanz.

Für die Produktion im Tiefdruck können jeweils Jahresdaten verwendet werden, da hier auf Grund permanenter Auslastung ein kontinuierlicher Betrieb stattfindet.

3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Wirtschaftlichkeit der auf der Digitaldruckanlage gefertigten Produkte ist sehr eng mit den Kosten der Tinte und des Primers verknüpft. Kosten für Primer fallen im Tiefdruck nicht an. Die Farbkosten sind im Tiefdruck deutlich geringer als im Digitaldruck.

Zu Beginn des Projekts war die Fertigung im Digitaldruck für typische Dekore bis zu einer Losgröße von etwa 300 kg wirtschaftlicher als im Tiefdruck. Durch den Wechsel des Farbsystems und einem höheren jährlichen Verbrauch des Primers verbunden mit Preisanpassungen liegt der Break-even bis zu dem die Fertigung im Digitaldruck wirtschaftlicher ist im Falle einer Auslastung von 8 Mio. qm bei einer Losgröße von etwa 700 kg.

Hier wird angesetzt, dass der Stundensatz im Tiefdruck deutlich geringer ist als im Digitaldruck, da die Abschreibungen der Tiefdruckanlagen abgeschlossen oder weit fortgeschritten sind. Zudem werden die Tiefdruckanlagen 150 Stunden pro Woche betrieben, was sich ebenfalls im Stundensatz widerspiegelt. Bei einem identisch zum Digitaldruck angesetzten Stundensatz liegt der Break-even bei etwa 5.000 kg.

Bei der Auslegung der Digitaldruckanlage standen Aufträge mit einer Losgröße von bis zu 1.000 kg im Fokus. Es wurde davon ausgegangen, dass Kunden eigentlich eine geringere Losgröße bevorzugen

würden. Mit einem Break-even von 700 kg ist die Fertigung im Digitaldruck in eine wirtschaftlich akzeptable Größenordnung vorgedrungen.

Wenn ein Dekor nur einen geringen Farbauftrag hat, kann es im Digitaldruck ebenfalls ohne das Aufbringen des Primers gefertigt werden. In solch einem Fall liegt der Break-even heute bei 5.000 kg. Andererseits kann der Break-even bei einer hohen Farbbelegung allerdings auch auf 300 kg fallen.

Für Fertigungen im Digitaldruck, die nicht im Tiefdruck gefertigt werden können, werden am Markt höhere Preise erzielt. Dies trägt ebenfalls zu einer guten Rentabilität der Digitaldruckanlage bei.

Es hat sich gezeigt, dass durch die Digitaldruckanlage neue Märkte erschlossen werden können. So wurden umfangreiche Test zum Bedrucken von Tapetenpapiere durchgeführt. Somit kann zukünftig die Auslastung der Digitaldruckanlage verbessert werden.

3.6 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Die Einführung des Digitaldrucks erlaubt es, kleinere Losgrößen wirtschaftlich sinnvoll zu produzieren. Hieraus resultiert eine Reihe von Vorteilen für Kunden, da nun eine bedarfsgerechte Bestellmenge platziert werden kann. Überproduktionen können vermieden werden und die Markteinführung neuer Dekore ist mit geringeren wirtschaftlichen Risiken verbunden. Es zeigt sich in der Praxis, dass die Losgröße für Erstaufträge im Digitaldruck bei nur 200 kg liegt. Im Tiefdruck beträgt die Mindestlosgröße 1.000 kg.

Der Wegfall der zeitaufwändigen Herstellung von Tiefdruckzylindern ermöglicht es, deutlich schneller auf Marktanforderungen reagieren zu können. So können beispielsweise Wiederholungsaufträge, bei denen ein Datenbestand freigegeben ist, sofort abgearbeitet werden. Als wesentlicher Vorteile hat sich dargestellt, dass ein farbliches Angleichen bei Wiederholungsaufträgen nicht mehr notwendig ist. Damit sind umfangreiche Vorteile in der Stoffbilanz und der Umweltbilanz verknüpft.

Nicht alle Sujets können im Tiefdruck problemfrei produziert werden. So führen große druckfreie Flächen im Tiefdruck gelegentlich zu Schwierigkeiten, weil sich auf dem Tiefdruckzylinder Farbe ansammelt, die dann auf das Papier übertragen wird. Dieses Phänomen nennt sich „Tonen“. Die druckfreien Bereiche werden dann doch eingefärbt. Derartige Dekore können jedoch im Digitaldruck produziert werden.

Andererseits hat sich herausgestellt, dass es bezüglich der Dekorauswahl auch im Digitaldruck Limitierungen gibt. Große homogene Flächen erscheinen schnell streifig. Dies hängt damit zusammen, dass Misalignments der Druckköpfe des Digitaldrucks in homogenen Flächen als streifiger Druck wahrgenommen werden. Bei „gewöhnlichen“ Holz- oder Steinimitationen kaschiert das Auge diesen Effekt. Störungen fallen dann nicht auf.

Während der Tiefdruck relativ robust gegenüber Änderungen der Umweltbedingungen ist, müssen die Bedingungen für den Digitaldruck sehr stabil gehalten werden. Alle Temperaturänderungen führen häufig zu Störungen im Druckbild. Hier können bereits Ausdehnungen von Halterungen auf Grund von Temperaturänderungen zu qualitativ nicht vertretbaren Drucken oder zu Änderungen der Farbwahrnehmung führen.

4 Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Bei der Einführung der neuen Technologie Digitaldruck zeigte sich, dass neben den technologischen Herausforderungen zudem eine Reihe organisatorischer Fragen zu beantworten waren. So musste insbesondere die Erfassung von Betriebsdaten angepasst werden.

War es in der Vergangenheit übliche, eine nicht bedruckte Papierrolle einem Produktionsauftrag im Tiefdruck fest zuzuordnen, kann nun mit dem Digitaldruck eine Papierrolle für unterschiedliche Produktionsaufträge und Kunden eingesetzt werden. Zu diesem Zweck sah die Software vor, diese Rolle auszubuchen, zu wiegen und neu einzubuchen. Dies ist jedoch für den Digitaldruck nicht sinnvoll, da die Rolle gar nicht erst ausgebaut wird und so auch nicht gewogen werden kann.

Die innerbetriebliche Logistik musste auf das Handling kleinerer Papierrollen angepasst werden.

Entgegen der ersten Erwartungen erweist sich das Produkt „digital bedruckte Papierrollen“ als deutlich beratungsintensiver. Ein Grund ist, dass das Produkt viele Fragen bei Kunden auslöst. Letztendes loten Kunden damit auch ihre eigenen neuen Möglichkeiten aus. Eine intensive Schulung der Vertriebsmitarbeiter war notwendig, bis dahin gehend, dass im Vertrieb einige Mitarbeiter zu Spezialisten für das Geschäftsfeld Digitaldruck ausgebildet wurden.

Ein intensives Marketing des Projekts in das eigene Unternehmen hinein half dabei, die Akzeptanz für das Projekt zu erhöhen. In verschiedenen Phasen war es notwendig, die neuen Möglichkeiten aber auch die derzeitigen Grenzen des neuen Produkts klar zu formulieren. Hier mussten verschiedentlich Erwartungshaltungen und Möglichkeiten aufeinander abgeglichen werden.

4.2 Modellcharakter

Das Projekt hat einen klaren Modellcharakter. So war es zu Projektbeginn nicht klar, ob die neue Technologie weniger Ressourcen benötigt als die konventionelle Technologie. Diese Frage konnte im Rahmen dieses Projekts positiv beantwortet werden, wie in diesem Bericht ausführlich dargestellt ist.

Der Markt hat zwischenzeitlich auf das Projekt reagiert. Verschiedene Wettbewerber im Dekordruck haben begonnen, ebenfalls Digitaldruckanlagen zu installieren oder zu projektieren. Somit kann dem Projekt ein Leuchtturmcharakter attestiert werden.

4.3 Zusammenfassung

In dem Projekt „Energie- und ressourceneffizientes digitales Druckverfahren in der Dekorindustrie“ konnte demonstriert werden, dass das digitale Druckverfahren eine positive Umweltbilanz im Vergleich zum Tiefdruck hat. Der Energieeinsatz pro Fläche ist bei hinreichend großer Auslastung geringer als im Tiefdruck. Darüber hinaus werden weitere Ressourcen wie Materialien zur Herstellung von Tiefdruckzylindern oder Makulaturpapier geschont.

Die Umweltbilanz zeigt, dass das CO₂-Äquivalent durch die Einführung des digitalen Dekordrucks mehr als halbiert werden kann.

Die Produktionen auf der Digitaldruckanlage sind auch unter wirtschaftlichen Aspekten mit den Produkten, die im Tiefdruck hergestellt werden, konkurrenzfähig.

In Zukunft ist zu erwarten, dass der Digitaldruck einen wachsenden Anteil an der weltweiten Produktion von Dekorpapieren gewinnen wird. Dadurch wird der CO₂-Ausstoß signifikant gesenkt werden.

5 Literatur

[ProBas 2013] www.probas.umweltbundesamt.de

[REACH 2007] Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission der Richtlinie 76/769 EWG des Rates sowie Richtlinie 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2002/21/EG der Kommission

6 Anhang

Glossar

Capping-Station

Parkstation der Druckköpfe einer Digitaldruckanlage bei Betriebsstillstand

Curve-Plate

Befestigungsplatte der Druckköpfe in einer Druckkopfreihe.

Digitaldruck

Drucken eines Motivs ohne physikalische Druckform direkt aus einem Datenbestand

Kochtest

Test nach EN 438

Lichtehtheit

Beständigkeit einer Farbe gegen Bestrahlung mit Licht

Makulaturpapier

Nicht bedrucktes oder nicht verwertbares Papier

Metamerie

Farbeindruck nach Bescheinen mit unterschiedlichen Lichtquellen

Multi-Pass

Digitales Bedrucken mit Bewegung der Druckköpfe über einen Bedruckstoff mit Weitertransport des Bedruckstoffes nach jeweils eines Zyklus der Druckköpfe

Primer

Auftragsschicht zur Aufnahme von Druckfarbe auf Papier

SAP

Software, Anwendung, Produkte in der Datenverarbeitung

Single-Pass

Digitales Drucken mit fest stehenden Druckköpfen und kontinuierlicher Bewegung des Bedruckstoffes

Spitting-Funktion

Durchdrücken von Tinte durch nicht druckende Düsen von Digitaldruckköpfen

Tiefdruck

Druckverfahren mit Vertiefungen in der Druckform

Verpressen

Aufbringen von imprägniertem Dekorpapier auf einen Holzwerkstoffträger

Wiper

Wischeinheit zur Reinigung von Digitaldruckköpfen