

Fercon GmbH

**Ersatz der konventionellen Herstellung von galvanisch aufgekupferten
Tiefdruckzylindern begrenzter Verschleißfestigkeit durch eine vielfach
bebilder- und nutzbare Keramikrasterwalze als Druckbildspeicher und
eines Inkjetdruckers zur Einbringung des Bebilderungsmaterials**

mit dem Kurztitel

Gravurejet

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: DBU-AZ 27894 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Peter Urban, Erhard Lorch, Martin Pott, Wolfgang Wüsten

Juni 2013

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	27894- 2/21	Referat	Fördersumme	125.000,-
Antragstitel		Ersatz der konventionellen Herstellung von galvanisch aufgekupferten Tiefdruckzylindern begrenzter Verschleißfestigkeit durch ein vielfach bebildert und nutzbare Keramikrasterwalze als Druckbildspeicher und eines Inkjetdruckers zur Einbringung von Bebilderungsmaterial		
Stichworte		Tiefdruck, Keramikrasterwalze, Inkjetdrucker, Bebilderungsmaterial		
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
24 Monate (36 Monate mit Verlängerungen)	26.5.2010	31.5.2013	1	
Zwischenberichte	Kurzbericht v. 2.5.2012			
Bewilligungsempfänger	FERCON GmbH Falkensteinstrasse 21 54329 Konz-Niedermennig		Tel	01712833337
			Fax	06501-040040
			Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Peter Urban (BUW)
			Bearbeiter	Wolfgang Wüsten
Kooperationspartner	MPS Sägen GmbH, Conrad-Röntgen-Strasse 1-3, 54332 Wasserliesch Bergische Universität Wuppertal, Gaußstrasse 20, 42119 Wuppertal Lorch Engineering Systems, Waldesruh 28, 71543 Wüstenrot			

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist die Realisierung eines Verfahrens zur Herstellung von Tiefdruckzylindern mit im Vergleich zu eingeführten Verfahren deutlich verringertem Herstelleraufwand. Anstatt einer Herstellung in Cu-Oberflächen soll ein Druckbildspeicher mit keramisch beschichteter und lasergravierter Oberfläche mit einem Inkjet-Bebildersystem so beschrieben werden, das die druckenden Stellen offen bleiben und die nichtdruckenden Stellen verschlossen werden. Nach Druck im Tiefdruckverfahren und Herauslösung des Bebilderungsmaterials kann der Druckbildspeicher erneut bebildert werden. Wegen der deutlich besseren Standzeit einer keramisch beschichteten Walze ist der wiederholte mögliche Vorgang der Bebilderung energetisch und hinsichtlich der benötigten Materialmengen deutlich günstiger.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Grundlage des Tiefdruckzylinders sind keramisch beschichtete und lasergravierter Rasterwalzen, die als Druckbildspeicher Verwendung finden. Diese sind Stand der Technik, werden jedoch mit deutlich größeren Rasterfeinheiten und verringerten Schöpfvolumen zum Einsatz gebracht, als sonst im Illustrationstiefdruck üblich.

Es wird zur Bebilderung dieser Druckbildspeicher ein Inkjetdrucksystem entwickelt, das die Aufbringung des Bebilderungsmaterials mit entsprechend nötigen Volumen und Positionierungsposition erlaubt. Das Drucksystem wird so ausgestattet, dass ein Verlaufen des Bebilderungsmaterials auf dem nicht saugenden Druckbildspeicher durch eine geeignete Vorbehandlung der Oberfläche vermieden wird.

Ein Polierverfahren der bebilderten Oberflächen wird entwickelt, so dass aus der Bebilderung zurückgebliebene Störelemente auf der Oberfläche entfernt und eine für den Tiefdruck brauchbare Glätte erreicht wird.

Es werden Druckversuche an einer Labortiefdruckmaschine durchgeführt, um die Druckqualität hinsichtlich Abbildungsgenauigkeit, Tönen, Auflagenstabilität zu bewerten.

Ein Reinigungsverfahren zum Herauslösen des Bebilderungsmaterials und sonstigen Verunreinigungen wird entwickelt, um eine erneute Bebilderung zu ermöglichen.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt □ An der Bornau 2 □ 49090 Osnabrück □ Tel 0541/9633-0 □ Fax 0541/9633-190 □ <http://www.dbu.de>

Ergebnisse und Diskussion

Seitens der Fa. FERCON wurde mit dem Gravurejet 01 ein Bebilderungssystem entwickelt, das den mehrfachen, passgenauen, Überdruckung zur Deponierung der erforderlichen Tintenmenge erlaubt.

Die Arbeitsschritte des Polymerisierens des nach Trocknung auf dem Zylinder verbleibenden Bebilderungsmaterials und des Polierens auf die zum tonfreien Druck nötigen Glätte wurden erfolgreich entwickelt und zeigten zufriedenstellende Ergebnisse.

Der Verfahrensschritt des Herauslösen des Bebilderungsmaterials zur Vorbereitung einer erneuten Bebilderung hat sich erwartungsgemäß als schwierig erwiesen und letztendlich zum Einsatz von Salz- und Ameisensäure geführt, mit der das polymerisierte Bebilderungsmaterial aus dem Druckbildspeicher herausgelöst wurde. Aus dieser Unempfindlichkeit folgt eine große Flexibilität hinsichtlich verdruckbarer Farben. Für einen industriellen Einsatz ergeben sich Forderungen hinsichtlich des Korrosionsschutzes und des sicheren Arbeitens bei der Entbilderung.

Damit ist die komplette Prozesskette geschlossen, sodass das Projekt hinsichtlich der technischen Machbarkeit gelungen ist.

Hinsichtlich des Stromverbrauchs zur Bebilderung eines Druckzylinders ist der Vorteil gegenüber der Zylinderherstellung im konventionellen Tiefdruck bereits bei der im Projekt eingesetzten Technologie deutlich.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Parallel zum Abschlussbericht erfolgt die Vorbereitung von Artikeln in der Fachpresse (Deutscher Drucker, Flexo- und Tiefdruck) sowie die Vorstellung vor gezielt angesprochenen Industrievertretern mit dem Ziel einer Überführung in die Marktreife.

Fazit

Es ist unter Inanspruchnahme von zeitlichen Verlängerungen gelungen, dass anvisierte Ziel zu erreichen. Das Potential des Tiefdruckzylinders auf Grundlage einer keramisch beschichteten und lasergravierten Rasterwalze als Druckbildspeicher und eines per Inkjetdruck auftragbaren Bebilderungsmaterials konnte gezeigt werden. Alle Verfahrensschritte und Anforderungen konnten erfüllt werden. Der Energieverbrauch bei der Bebilderung ist um den Faktor 4 – 5 mal günstiger, als bei der konventionellen, kupferbasierten, Fertigungsstrecke.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt □ An der Bornau 2 □ 49090 Osnabrück □ Tel 0541/9633-0 □ Fax 0541/9633-190 □ <http://www.dbu.de>

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt	2
Inhaltsverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	5
Zusammenfassung.....	7
Einleitung.....	8
Hauptteil.....	10
Entstandene und genutzte Geräte	10
Bebildereinrichtung	10
Walzenwaschmaschine	12
Drehbank mit Zubauten.....	13
Bebildersystem Gravurejet 01	15
Primer und Bebilderungsmaterial.....	20
Polymerisation/Aushärten	23
Abtragen des im Überschuss aufgetragenen Bebilderungsmaterials.....	26
Reinigung des Druckbildspeichers.....	30
Waschen der Walzen mit NaOH-Lösung.....	30
Strahlen der Walze mit Natriumbicarbonat / Baking Soda	31
Ultraschallreinigung.....	31
CO ₂ -Schneestrahilverfahren.....	32
Versuche mit verschiedenen Chemikalien / Lösemitteln	33
Ökologische Bewertung	33
Zusammenfassung/Fazit.....	36
Literatur.....	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verlaufsplan und Arbeitspakete des Projektes laut Antrag.....	8
Abbildung 2: Bebilderungseinrichtung Gravurejet 01 (links) der Firma FERCON mit Detailansichten des (rechts) Bedienpanel Sprühprimerung und Trocknung und der Versorgung mit Bebilderungsmaterial.....	10
Abbildung 3: Sprüheinrichtung in Gravurejet 01 mit Zuleitungen für Primer (durchsichtig), Luft (blau) und Absaugschläuchen für Sprühnebel. Sprühdüse aus Messing über linkem Rand des Walzenballens.....	11
Abbildung 4: Blick von unten in die zwischen Sprühprimerung und Bebilderungsteil untergebrachte Heizbrücke - man erkennt die Keramikheizelemente.....	11
Abbildung 5: Leistungsversorgung und Steuerung im mittleren Teil des Gravurejet 01.....	12
Abbildung 6: Walzenwaschmaschine (links, geöffnet) und Innenansicht (rechts) bei eingebauter Walze mit traversierender Düse.....	13
Abbildung 7: Hobelklinge und Halter (links, mit einer kleinen Portion abgehobelten Bebilderungsmaterials auf der Klinge) und Drehbank mit vorgebauter pneumatischer Halteranstellung.....	13
Abbildung 8: Seitlicher Einblick (links) in die Heizvorrichtung im Betrieb (IR-Strahler mit Abschirmung oben, Walze unten) und rechts der Blick von der Rückseite im Betrieb mit unter der Walze befindlicher Halterung für den IR-Temperatursensor zur Heizungsregelung.....	14
Abbildung 9: Adaption des Bandpoliergerätes von Thielenhaus an die Drehbank.....	14
Abbildung 10 Rasterwalze/Druckbildspeicher ($1/T = 350 \text{ L/cm}$ und typisch $hr = 11,5 \mu\text{m}$ Näpfchentiefe) und maßstabsgetreu ein Tropfen mit 4pl Volumen (entsprechend etwa $20 \mu\text{m}$ Durchmesser, beschrieben über die Koordinaten x_d und y_d); alle Maße in $[\mu\text{m}]$	16
Abbildung 11: Düsenzeile (blau) und Druckbildspeicher (rot) maßstabsgerecht im Querschnitt.....	17
Abbildung 12: Vorverzerrtes Linienmuster inklusive nichtdruckender Teile oben und unten (links) im Vergleich zur beabsichtigten Abbildung im Druck (rechts) - die Bildhöhe entspricht der Düsenhöhe des Druckkopfes.....	18
Abbildung 13: Aufbau des Bildes über mehrere Umdrehungen des Druckbildspeichers bei auf die Mitte eingeschränkter Nutzung der Düsenmatrix.....	18
Abbildung 14: Zerlegung eines Bildes (links) in Streifen (rechts) entsprechend der gedanklichen Veranschaulichung in Abb. 6.....	19
Abbildung 15: Zusammenwirken der Testdruckdatei mit den Zylinderabwicklungen.....	19
Abbildung 16: Auftrag von eingefärbtem Primer auf eine mit Papier umwickelte Walze – das Papier ist hier abgewickelt.....	21
Abbildung 17: Tauchrohr zur gleichmäßigen Walzenbeschichtung mit Primer.....	22
Abbildung 18: Beispiele für das schichtweise Ablösen des Bebilderungsmaterials nach Schichtaufbau über abwechselndes Primern/Bebildern.....	22
Abbildung 19: Bedienpanel des Gravurejet 01 zur Steuerung des Druckumfeldes - links im Bild die Einstellmöglichkeiten für zwei Heizzeiten und die Temperatur.....	23
Abbildung 20: links der IR-Strahlungssensor MLX90614 mit vier Anschlüssen für Versorgungsspannung und serielle Kommunikation und rechts das Controllerboard (Arduino Duemilanove).....	24
Abbildung 21: Ansicht von der Rückseite auf die Walze beim Heizen - unter der Walze ist die Halterung für den IR-Sensor zu sehen. Der Sensor befindet sich zwischen den beiden gelochten Klötzen in dem Verbindungsblech.....	24
Abbildung 22: Blick in Achsenrichtung in die U-förmige Strahlerhalterung - man erkennt den Beginn des Strahlers, der über den Walzenballen hinausragt.....	25
Abbildung 23: Temperaturmessung mit IR-Strahlungssensor während des Aufheizens der Walze – es verdeutlicht die potentielle Fehlerhaftigkeit solcher Messungen – hier bei der Stahloberfläche (rot).....	25
Abbildung 24: Mikroskopische Aufnahmen von zwei lasergravierten Keramikrasterwalzen. Die Gravurfeinheit liegt bei 300 Näpfchen/cm , die Anordnung ist hexagonal. Das Maß über die Diagonale beträgt etwa $270 \mu\text{m}$. Links: schwächere Politur, Rechts: starke Politur.....	27
Abbildung 25: Ausdruck mit Lösemittelfarbe (NC-Farbe, Magenta, Hauptlösemittel Ethanol), links Siemensstern und nichtdruckende Streifen mit unterschiedlicher Überdruckungsanzahl, rechts Siemensstern im Detail.....	29
Abbildung 26: Drei verschiedene Rauheitszustände auf dem Druckbildspeicher oben: Nichtdruckender Strahl eines Siemenssterns im Übergang von gut zu sehr gut poliert mitte: nichtdruckendes Umfeld eines Siemensstern (wie Abb. 24, linkes Bild - weißer Bereich um linken Siemensstern) unten: ungravierter Rand des Druckbildspeichers – polierte Cr_2O_3 Oberfläche.....	30
Abbildung 27: Ultraschallreiniger mit aufgesetzter Walzendrehvorrichtung.....	32
Abbildung 28: Energie- und Materialverbräuche in zwei ähnlichen Illustrationstiefdruckereien.....	34

Abbildung 29: Bedarfe pro Quadratmeter Walzenoberfläche im Illustrationstiefdruck in der von Breuer untersuchten Druckerei (Druckformchemie aus Abb. 28, rechte Spalte, über Kupferbedarf auf linke Spalte umgerechnet)	34
Abbildung 30: Bedarf an elektrischer Energie zur Bebilderung des verwendeten Druckzylinders. Für die Beleuchtung wird von 200 W während der gesamten Bebilderung ausgegangen	35

Zusammenfassung

Das Projekt mit dem Kurztitel Gravurejet verfolgte das Ziel, die konventionelle Herstellung von Tiefdruckzylindern durch einen neuartigen Ansatz in Hinblick auf den energetischen Aufwand und die umgesetzten Materialien je Druckauftrag deutlich günstiger zu gestalten.

Der Grundgedanke sieht vor, eine Keramikrasterwalze als Druckbildspeicher zu verwenden und die Walze in den Stellen, die später im Tiefdruckverfahren nicht drucken sollen, mit einem Bebilderungsmaterial zu verschließen. Das Bebilderungsmaterial soll mit einem Inkjet Drucksystem aufgetragen werden.

Im Projekt wurden die Teilschritte

- Bebildern,
- Polymerisieren des Bebilderungsmaterials,
- Polieren des Bebilderungsmaterials,
- Druck des Zylinders und
- Entfernen des Bebilderungsmaterials

jeweils realisiert. Für die Bebilderung rotativer Körper wurde eine Vorrichtung eigens von der Firma FERCON gebaut, die auch eine mehrmalige passgenaue Wiederholung des Druckbildes zum Erreichen des erforderlichen Auftrages ermöglicht. Die Polymerisation erfolgte Anfangs innerhalb, schlussendlich aber außerhalb des Bebilderungssystems in einem zeitgesteuerten temperaturgeregeltem Vorgang. Die Glättung/der Abtrag des Überschusses an Bebilderungsmaterial erfolgte nach einer Untersuchung der Verfahren Hobeln und Bandpolieren schließlich im Bandpolieren. Der Druck des Zylinders zeigte, dass beim Polieren bis auf die Stege des Druckbildspeichers eine konstante Druckqualität über eine größere und praktisch brauchbare Anzahl von Nutzen erzielt wurde. Das Entfernen des Bebilderungsmaterials hat erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Sämtliche im Bereich der Reinigung von Rasterwalzen üblicherweise eingesetzten Verfahren waren erfolglos. Das war insoweit zu erwarten, als auch die Flexodruckindustrie seit langem mit gewissen Schwierigkeiten bei der Reinigung von Rasterwalzen bei eingetrockneten Farben hat und von dieser Seite noch keine allgemein nutzbare Lösung vorliegt. Erfolg im Sinne des Herauslösens des Bebilderungsmaterials konnten im Rahmen des Projektplans nur mit stark sauren Medien erreicht werden. Von diesen ist bei der Reinigung von Rasterwalzen wegen der Korrosionsproblematik bei nicht besonders geschützten Walzen abzuraten. Entsprechende Korrosionsschutzmassnahmen sind möglich, etwa durch Beschichtung mit Tantal („Tantaline“-Verfahren), waren aber nicht Gegenstand des Projektes. Im Labormaßstab führte die Korrosion nicht zu Schädigungen der Keramik.

Für weiterführende Arbeiten scheinen insbesondere im Bereich der Reinigung neue Ansätze möglich. Man könnte im Bereich des Kontaktes zwischen Bebilderungsmaterial und Rasterwalze eine trennende und einem Lösemittel zugängliche Schicht einbringen. Ebenfalls könnte man anstelle von Keramikrasterwalzen Metallrasterwalzen einsetzen. Diese werden gelegentlich aus Gründen der besseren Reinigung von Unternehmen im Beschichtungsbereich bevorzugt, weisen allerdings eine verringerte Standzeit auf. Für Tiefdruckjobs mit kleineren Auflagen kann das Verfahren dann immer noch attraktiv sein.

Einleitung

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Tiefdruckzylindern so, dass im Vergleich zu den eingeführten Verfahren mit deutlich verringertem Herstelleraufwand (Material, Energie) eine Druckform erstellt werden kann.

Weiterhin sollen aufgrund der deutlich kleineren übertragenen Farbvolumen zusätzliche Effekte im Betrieb von Tiefdruckmaschinen (Trocknung, Toluolrückgewinnung) erzielt werden und ggf. ein Umstieg auf wasserverdünnbare Tiefdruckfarben ermöglicht werden.

Die Ausgangssituation ist durch eine konventionelle Zylinderherstellung gekennzeichnet, die auf graviertem oder geätzten Kupfer als Druckbildspeicher basiert. Nach jedem Druck ist meist ein Prozessablauf aus Abdrehen, galvanisch neu Aufkupfern, Polieren, Gravieren, Verchromen erforderlich, um den Zylinder erneut einsetzen zu können. Der energetische Aufwand liegt in einer durch Daten belegten Illustrationstiefdruckerei bei durchschnittlich 58 kWh/m² gravierte Fläche.

Der geplante Ablauf des Projektes und die Untergliederung in Arbeitspakete ist in folgender Darstellung (entnommen aus Antrag, gestellt 2010) enthalten:

			Monate																	
	AP	Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
FERCON GmbH	1	Entwicklung Inkjet-Bebildungssystem																		
		1. Auswahl Inkjet-Teilsystem	■																	
		2. Konstruktion Elektromechanik/Beschaffung	■	■	■															
	2	Aufbau und Test																		
		1. Aufbau des Systems			■	■	■	■												
		2. Vorversuche / Test					■	■	■											
	3	Optimierung des Bebilderungssystems										■					■			
Bergische Universität Wuppertal	4	Definition / Beschaffung Versuchswalzen	■	■																
	5	Erstellung RIP-Software																		
		1. Erstellung der Software zur Bildraasterung		■	■	■	■	■												
	6	Verfahren zur Vorpräparation des Druckbildspeichers																		
		1. Grundlagenuntersuchung zur Bebilderung verschiedener Arten von Gravurstrukturen					■	■	■	■	■									
	7	Entwicklung Poliersystem für bebilderte Druckbildspeicher																		
		1. Entwicklung eines Reinigungsverfahrens zur Entfernung von Bebilderungsmaterial und Druckfarbenresten							■	■	■									
	8	Druckversuche																		
		1. Bewertung der Druckqualität									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		2. Bewertung Standzeit Tiefdruckzylinders														■	■	■	■	■
	9	Eignung des Systems für verschiedene Druckfarbensysteme																		
		1. Quellungsuntersuchung													■	■	■	■	■	■
10	Abschlussbericht																		■	■
MPS Sägen GmbH	13	Entwicklung Inkjet-Bebildungssystem																		
		1. Auswahl und Bemessung der für die Elektrik und Pneumatik nötigen Teile, Zeichnung	■																	
	14	Aufbau und Test																		
		1. Demontage und Dokumentation Drucker			■	■	■													
	2. Montage Elektrik					■	■													
	3. Test der fertigen Analge							■	■											

Abbildung 1: Verlaufsplan und Arbeitspakete des Projektes laut Antrag

Zielsetzung des Projektes war es, als Alternative eine Druckformerstellung auf der Basis eines Druckbildspeichers mit graviertem Keramikoberfläche zu entwickeln. Der Druckbildspeicher entspricht dabei einer Keramikraasterwalze mit einer für das beabsichtigte Vorhaben angepassten Gravur. Die Druck-

form sollt aus diesem Speicher mittels Verschließen der nichtdruckenden Bereiche mit einem Bebilderungsmaterial entstehen. Das Bebilderungsmaterial soll mit einem Inkjetdrucker aufgetragen werden.

Hauptziel war dabei, mit einer deutlich reduzierten Energiemenge auszukommen. Des weiteren sind die Stoffströme (Kupfer, Chrom) durch die Zylinderherstellung beträchtlich und würden hier vollständig fortfallen.

Zwei Nebenziele ergaben sich aus der reduzierten Farbmenge durch die feinere Gravur des Druckbildspeichers. Typisch im Illustrationstiefdruck sind in den Volltönen Näpftiefen zw. 30 und 45 μm bei einer Gravurfineinheit von 63 L/cm (Druck- & Medienmagazin, S. 44, „Laserstrahl vs. Diamantstichel“ vom 1.2.2004). Daraus ergeben sich Schöpfvolumen im Vollton von etwa 10 – 15 cm^3/m^2 . Bei einer typisch etwa hälftigen Übertragung gehen also 5 – 7,5 cm^3/m^2 Farbe auf den Bedruckstoff über, die zu trocknen sind. Die für dieses Vorhaben geplanten Druckbildspeicher würden Schöpfvolumina um 3,4 – 4,5 cm^3/m^2 haben und folglich nur 1,7 – 2,25 cm^3/m^2 Farbe auf den Bedruckstoff übertragen. Das ist etwa 1/3 der typischen Farbmenge im Illustrationstiefdruck.

Daraus folgt zum einen ein geringeres Lösemittelvolumen, das durch Trocknung (=Energiebedarf) zu entfernen und in der Abluft entweder (Illustrationstiefdruck) mit Aktivkohlefilter aufzufangen wäre oder (im Verpackungsdruck) über eine (häufig) Nachverbrennung als CO_2 und H_2O in die Umgebung entsorgt würde. Zusätzlich würde die im Illustrationsdruck zur Rückgewinnung des Toluol nötige und sehr energieaufwändige Filterwäsche seltener nötig. Weiterhin wäre als Folge grundsätzlich eine Umstellung von Lösemittelfarben auf Wasserfarben möglich. Wegen des geringeren Schöpfvolumens wären bestehende Trockner trotz der erforderlichen höheren spez. Verdampfungswärme des Wasser gegenüber typischen organischen Lösemitteln in der Lage, die Produkte zu trocknen. Das Auswaschen der Aktivkohlefilter – welches ca. $\frac{1}{2}$ der gesamten im Druckbereich benötigten Energie kostet - bzw. die Abluftnachverbrennung wären nicht mehr nötig.

Ein ferneres – im Rahmen dieses Projektes nicht näher untersuchtes – Ziel könnte die Nutzung dieser Druckbildspeicher im sogenannten indirekten Tiefdruck sein. Die Druckwerke weisen starke Analogien zu Flexodruckwerken auf und es scheint zumindest denkbar, die Materialmengen, welche in einer Flexodruckplatte typisch stecken, zu reduzieren.

Ziel im Rahmen dieses Vorhabens war es, das Verfahren der Bebilderung wie oben beschrieben, zu ermöglichen und zu prüfen, inwieweit sich mit diesem Verfahren hergestellte Druckformen eignen, um brauchbare Resultate im Druck zu erzielen.

Dazu gehören drei zentrale Aufgaben, die nur in Summe erfüllt eine Aussicht bieten, die o.a. skizzierten Vorteile zu erreichen:

- Aufbau eines geeigneten Inkjetdruckers zur Bebilderung rotativer Druckbildspeicher durch die Firma FERCON.
- Finden einer Möglichkeit zum Abtragen des im Überschuss aufgetragenen Bebilderungsmaterials bzw. zur Erzielung einer hohen Glätte der Zylinderoberfläche.
- Finden einer Möglichkeit zur Entfernung des Bebilderungsmaterials nach dem Druck.

Weitere Aufgaben haben mit der möglichen Akzeptanz dieses Bebilderungsverfahrens in der Druckindustrie zu tun. Das betrifft besonders die erzielbare Druckqualität und die mögliche Auflagenhöhe sowie die Anzahl der möglichen Bebilderungen bis zur Erneuerung des Druckbildspeichers.

Die Bewilligung des Projektes war mit der Auflage verbunden, eine ökologische und ökonomische Bilanzierung des Verfahrens in Abgrenzung zum Stand der Technik vorzunehmen. Weiterhin soll über Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse berichtet werden.

Hauptteil

In diesem Teil der Arbeit werden die zur Projektdurchführung nötigen/genutzten Geräte und durchgeführten Untersuchungen beschrieben. Die Untersuchungen umfassen folgende Hauptpunkte:

- Entstandene und Genutzte Geräte
- Bebilderungssystem Gravurejet 01
- Primer und wasserverdünnbares Bebilderungsmaterial
- Aushärten
- Abtragen Überschuss/Polieren
- Reinigung
- Bewertung unter Umweltschutzgesichtspunkten

Zu diesen Hauptpunkten werden jeweils die durchgeführten Arbeiten/Untersuchungen beschrieben und auch die Entwicklung hin zu den letztendlich genutzten Arbeitsweisen erörtert.

Entstandene und genutzte Geräte

Es sind im Rahmen des Projektes folgende Geräte/Vorrichtungen entstanden bzw. genutzt worden, die im folgenden jeweils in wesentlichen Merkmalen beschrieben werden.

Bebilderungseinrichtung

Wesentlich ist die von FERCON aufgebaute Bebilderungseinrichtung. Sie besteht aus drei funktionellen Einheiten in einem Gerät. Die folgende Abbildung zeigt die Vorrichtung.



Abbildung 2: Bebilderungseinrichtung Gravurejet 01 (links) der Firma FERCON mit Detailansichten des (rechts) Bedienpanel Sprühprimerung und Trocknung und der Versorgung mit Bebilderungsmaterial

Der Gravurejet 01 besteht von links nach rechts aus drei funktionalen Gruppen, nämlich der Sprüheinrichtung (erkennbar an Brückenkonstruktion mit blauen Schläuchen), der Heizeinrichtung (erkennbar am Gehäuseteil mit zum Bedienpanel zeigendem runden Lüftungsgitter) und der eigentlichen Druckvorrichtung ganz rechts mit einem eigenen Statusdisplay im oberen Gehäuseteil. Die Walze wird automatisch durch die drei Stationen geführt, so dass die Teilvorgänge Sprühen, Trocknen, Bebildern, Trocknen nach Fixieren der Walze in der Aufnahme ohne weiteren Eingriff ablaufen. Einstellmöglichkeiten für Sprühen und Heizen befinden sich am Hauptpanel, das zugleich den Not-Aus-Schalter trägt. Es lassen sich Sprühdruck, Traversiergeschwindigkeit der Sprühdüse und die Düse selbst ein- bzw. verstellen.

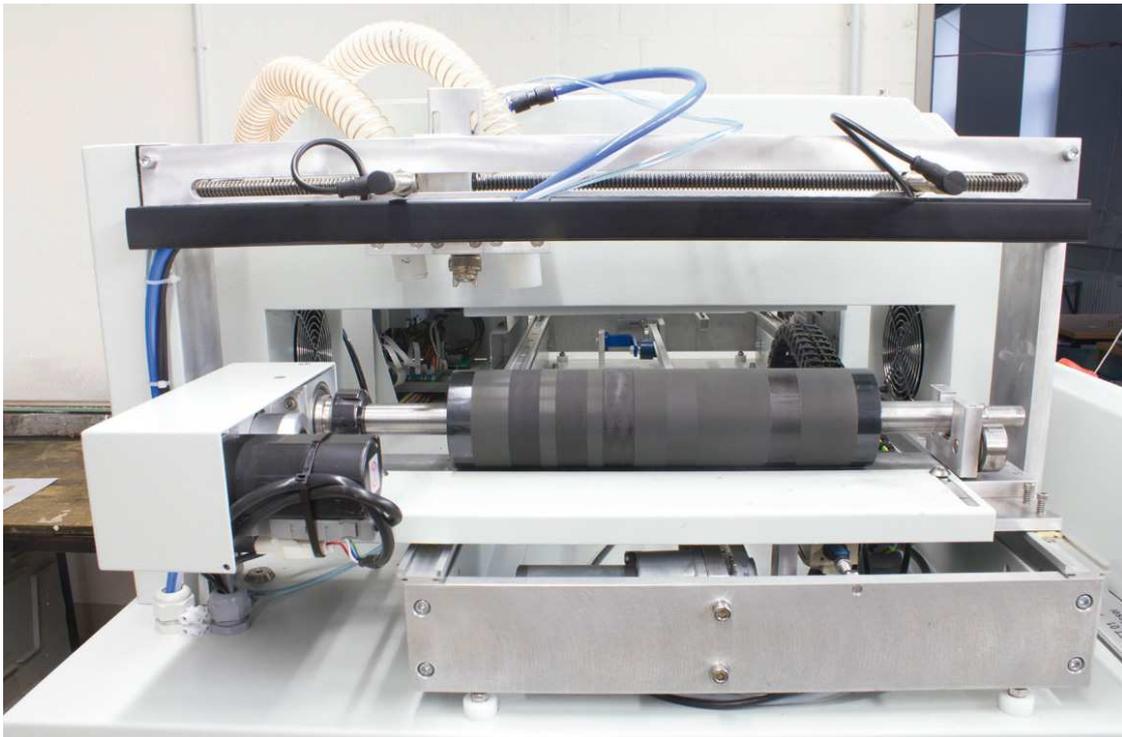


Abbildung 3: Sprüheinrichtung in Gravurejet 01 mit Zuleitungen für Primer (durchsichtig), Luft (blau) und Absaugschläuchen für Sprühnebel. Sprühdüse aus Messing über linkem Rand des Walzenballens

Bei der Heizeinrichtung können die Heizleistung und die Heizzeit variiert werden.



Abbildung 4: Blick von unten in die zwischen Sprühprimerung und Bebilderungsteil untergebrachte Heizbrücke - man erkennt die Keramikheizelemente

Der Bebilderungsteil wird vom PC aus analog zu einem typischen Inkjet-Desktopdrucker bedient. Die Bebilderungseinrichtung nutzt Baugruppen aus einem handelsüblichen, für den Druck auf Papier vorgesehenen, Desktopdrucker, die über eine Elektronik mit den übrigen Stationen der Einrichtung verknüpft sind, so dass das Gesamtsystem im Zusammenwirken funktioniert. Das Gesamtsystem wie abgebildet beherbergt im mittleren über die gesamte Länge reichenden Gehäuseteil die Elektronik zur Vernetzung der Einzelnen Stationen und Energieversorgung.



Abbildung 5: Leistungsversorgung und Steuerung im mittleren Teil des Gravurejet 01

Der untere Teil ist in einer Hälfte mit einer Drucklufterzeugung/Drucktank zur Versorgung der Sprüheinrichtung und im restlichen Bereich zur Aufnahme von Materialien und Werkzeug ausgeführt.

Walzenwaschmaschine

Zur Reinigung der Druckbildspeicher nach Bebilderung und Druck musste das Bebilderungsmaterial wieder aus den Nöpfchen entfernt werden. Aus dem Chemismus des Bebilderungsmaterials sowie nach Vorversuchen auf glatten Oberfläche erschien zur Reinigung eine Lösung aus NaOH erfolgversprechend. Nach Absprache zwischen den Firmen FERCON und Lorch Engineering wurde eine laugenfeste Waschmaschine aufgebaut, die eine Walzenaufnahme, Heizung des Waschmediums und permanentes Spülen der Walze über eine Pumpe und ein traversierendes Schlauchsystem gestattet.



Abbildung 6: Walzenwaschmaschine (links, geöffnet) und Innenansicht (rechts) bei eingebauter Walze mit traversierender Düse

Drehbank mit Zubauten

Eine kleine Drehbank vom Typ GÜDE BV20 wurde als zentrale Walzendrehvorrichtung verwendet und mit einer Reihe von Ergänzungsanbauten ausgestattet, so dass diese schlussendlich genutzt werden konnte, um

- überschüssiges Bebilderungsmaterial im Hobelverfahren mit einem pneumatisch angestellten Hobelhalter bis auf die Steghöhe des Bildspeichers abzutragen,
- über einen IR-Heizstrahler mit Leistungsversorgung (Hersteller: Heräus) und IR-Temperaturmessung eine temperaturgeregelte Walzenheizung aufzubauen,,
- den Anbau eines Bandpoliergerätes zu ermöglichen, um sowohl nass als auch trocken die Walzenoberfläche zu polieren,

Die folgenden Abbildungen illustrieren die Aufzählung.



Abbildung 7: Hobelklinge und Halter (links, mit einer kleinen Portion abgehobelten Bebilderungsmaterials auf der Klinge) und Drehbank mit vorgebauter pneumatischer Halteranstellung



Abbildung 8: Seitlicher Einblick (links) in die Heizvorrichtung im Betrieb (IR-Strahler mit Abschirmung oben, Walze unten) und rechts der Blick von der Rückseite im Betrieb mit unter der Walze befindlicher Halterung für den IR-Temperatursensor zur Heizungsregelung



Abbildung 9: Adaption des Bandpoliergerätes von Thielenhaus an die Drehbank

Sonstige

Zur Untersuchung von technologischen Alternativen bei Reinigung und Sprühprimerung wurden eine Reihe von Kleingeräten benutzt oder speziell aufgebaut. Dazu gehörten:

- Eine einfache Wanne mit elektrischem Walzantrieb, die unter einem Abzug experimentelles Arbeiten mit verschiedensten Chemikalien zur Walzenreinigung erlaubte.
- Ein Tauchrohr mit umlaufendem Abstreifring zur gleichmäßigen Primerung der Walzenoberfläche in Verbindung mit dem Tintenauftrag als auch zur Oberflächenvorbehandlung mit anderen Stoffen.
- Eine Airbrushpistole, Marke Colani, für Vorversuche mit Primer und Tinte
- Ultraschallreinigungsbad mit Walzeneinhäng- und -drehvorrichtung

Bebilderungssystem Gravurejet 01

Die Bebilderung des Druckbildspeichers sollte mit wasserverdünnbarem Bebilderungsmaterial erfolgen. Der Druckbildspeicher selbst war als keramisch beschichtete Rasterwalze geplant. Solche Walzen werden u.a. für den Bereich des Flexodrucks mit dort z.T. erforderlichen hohen Gravurfeinheiten (ausgedrückt in Linien/cm bzw. L/cm) hergestellt.

Für das Projekt wurden Gravurfeinheiten von ca. 370 L/cm angestrebt. So kann eine gute Auflösung des Druckbildes und gleichzeitig Anzahl an wiedergebbaren Graustufen erreicht werden. Im Gegensatz zum konventionellen Tiefdruck wurde hier angestrebt, statt mit tiefen- und öffnungsvariablen Nöpfchen (=halbautotypischer Tiefdruck) mit öffnungs- und tiefenkonstanten Nöpfchen zu arbeiten und die Grauwertabstufungen etwa in der Art der Autotypie zu bewirken..

Die Begründung für diese Entscheidung ergibt sich aus Befürchtungen, bei volumenvariablen Nöpfchen Druckschwierigkeiten in der Art von im Tiefdruck bekannten sogenannten Missing Dots zu bekommen. Dies würde durch Nöpfchen mit einheitlichen Volumina und damit Entleerungseigenschaften vermieden. Im Bereich von 50 – 55 Druckpunkten/cm im Druck ergäben sich bei 370 L/cm in der Rasterwalze 55 – 45 Helligkeitsabstufungen pro Druckpunkt bzw. 55 – 45 Rasterwalzennöpfchen pro Druckpunkt.

Weiterhin war bei einer feinen Rasterwalze im Druckbild mit geraden Kanten im Druckbild bzw. der Abwesenheit sonst typischer gezackter Ränder am Rand druckender Flächen zu rechnen.

Ebenfalls ist das Schöpfvolumen einer Gravur und damit die übertragene Farbmenge als Anteil dieses Schöpfvolumens immer verbunden mit der Gravurfeinheit. Sollten im Sinne der erhofften Verbesserungen geringere Lösemittelmengen bei der Trocknung anfallen bzw. der Umstieg zum Druck mit Wasserfarben ermöglicht werden, mussten niedrige Schöpfvolumen und damit hohe Rasterfeinheiten erreicht/genutzt werden.

Der Bevorzugung von wasserverdünnbaren Bebilderungsmaterialien gegenüber UV- Tinten erfolgte aufgrund folgender Überlegungen.

UV-Tinten vernetzen/trocknen durch UV-Bestrahlung mittels einer radikalischen Polymerisation. Es kommt dabei zu einer Schwindung, die evtl. die Haftung der aufgetragenen Schicht gefährden könnte. Weiterhin war unklar, wie eine Reinigung erfolgen sollte. Die im Projekt benutzten wasserverdünnbaren Bebilderungsmaterialien polymerisieren durch eine Veresterung und bieten über eine später mögliche Verseifung (Hydrolisierung) die Möglichkeit der Reinigung des Druckbildspeichers.

UV-Tinten verbleiben mit ihrem gesamten Volumen in der Gravur. Betrachtet man Tröpfchengrößen, wie sie heute von handelsüblichen Inkjetdruckern erreicht werden, liegen diese im Bereich von 4 - 30 pl (Pikoliter). Die folgende Abbildung zeigt einen Tropfen mit 4 pl und maßstäblich dazu einen Querschnitt durch eine Gravurfeinheit von 350 L/cm und typischen 11,5 µm Nöpfchentiefe.

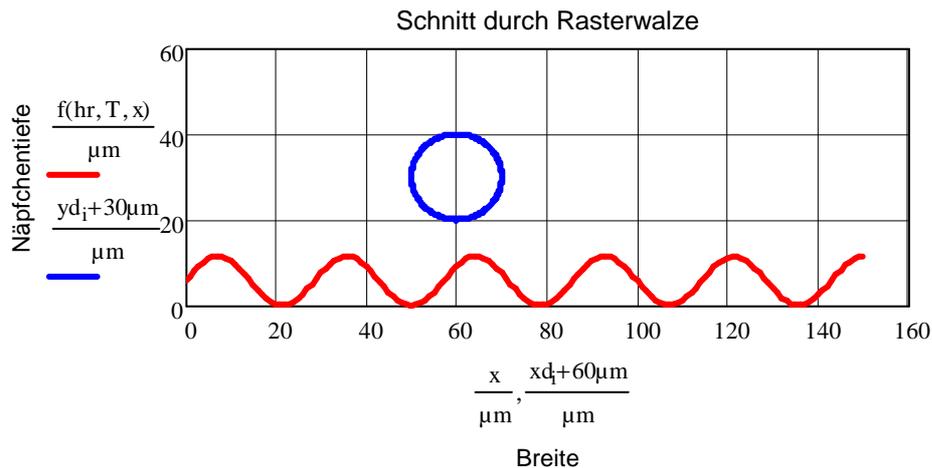


Abbildung 10 Rasterwalze/Druckbildspeicher ($1/T = 350 \text{ L/cm}$ und typisch $hr = 11,5 \text{ µm}$ Näpfchentiefe) und maßstabgetreu ein Tropfen mit 4pl Volumen (entsprechend etwa 20 µm Durchmesser, beschrieben über die Koordinaten x_d und y_d); alle Maße in $[\text{µm}]$

Ein einzelner Tropfen ist bereits größer als ein Näpfchen. Es ist unklar, inwieweit die UV-Tinte – bedingt durch ihre Viskosität und beeinflusst durch die unbekannte Oberflächenspannung der Tinte – überhaupt in die Näpfchen fließen würde oder im zufälligen Auftreffen auf Stege der Gravur auf der Oberseite der Gravur liegen bleibt. In Verbindung mit der zufälligen Verteilung der Druckpunkte wäre mit einer möglicherweise rauen Oberfläche und jedenfalls einer erheblichen Überfüllung der Struktur zu rechnen.

Im Gegensatz dazu besteht ca. 80% des wasserverdünnten Bebilderungsmaterials aus Wasser und die Cr_2O_3 -Keramik der Rasterwalze benetzt typischerweise sehr gut mit Wasser. Es war von einer guten Benetzung und Füllung der Näpfchen auszugehen. Ebenfalls war eine Überfüllung der Näpfchen insofern unkritisch, als der größte Teil der Tinte – Wasser – bei der Trocknung verdunsten würde. Über einen mehrmaligen Auftrag von Tinte konnten die Näpfchen sukzessive gefüllt bzw. leicht überfüllt werden. Es war zu erwarten, dass durch die Grenzflächenspannung der dünnflüssigen Tinte bereits eine gute (=niedrige) Rauheit der Oberfläche erzielt würde.

Eine gewisse Überfüllung der Näpfchen war aus zwei Gründen erforderlich. Zum Einen sind die Näpfchen der Rasterwalze fertigungsbedingt im Volumen schwankend – sollten aber alle mindestens vollständig gefüllt sein – und zum Anderen war nicht automatisch die „richtige“ Glätte der Oberfläche durch die Tintentrocknung gegeben sondern es war in jedem Fall davon auszugehen, dass ein anschließender Poliervorgang zur Erzielung einer tonfrei nichtdruckenden Fläche notwendig sein würde.

Die letztendlich gewählten und eingesetzten Bebilderungsmaterialien waren speziell für den Druck auf nichtsaugenden Oberflächen entwickelt worden. Sie setzten eine Primerung der Oberfläche voraus, um eine gute Bedruckbarkeit zu erreichen.

Das Bebilderungssystem Gravurejet 01 wurde deshalb so aufgebaut, dass diese Primerung im System erfolgen kann. Es besitzt eine Sprüheinrichtung zum Auftrag des Primers und eine Trocknungsvorrichtung mit Keramikheizstrahlern, sodass der Primer nach Auftrag getrocknet und der Zylinder anschließend weiter zur Inkjet Druckeinheit geführt werden kann.

Das Bebilderungssystem wurde auf den Walzentyp der an der Bergischen Universität vorhandenen Labordruckmaschine RK – Rotary Coater ausgerichtet. Walzen mit den Abmessungen, wie dort eingesetzt, können bebildert werden. Die Höhe der Düsenzeile des Inkjetdruckkopfes beträgt bei dem ausgewählten Druckteilsystem 1 Zoll entsprechend $24,5 \text{ mm}$. Der Durchmesser der als Druckbildspeicher genutzten Walze beträgt $68,94 \text{ mm}$. Es wird damit deutlich, dass der Abstand von der Düsenzeile zur Walzenoberfläche von der Walzenmitte nach außen stark zunimmt und sich außerdem eine geometrische Verzerrung des Druckbildes von der Walzenmitte nach außen im Sinne einer Druckbildlängung ergibt. Die folgende Abbildung veranschaulicht das maßstäblich.

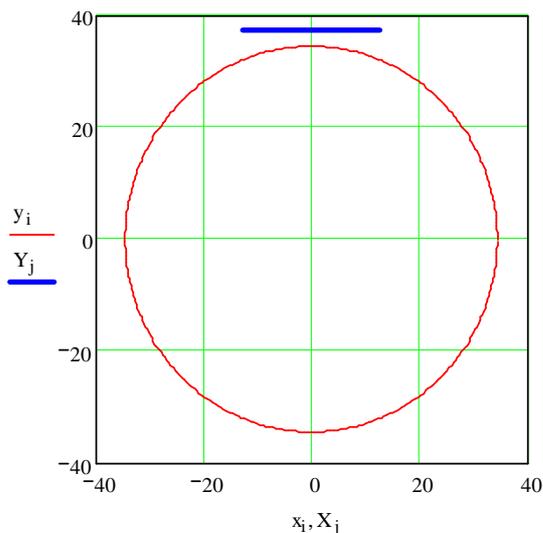


Abbildung 11: Düsenzeile (blau) und Druckbildspeicher (rot) maßstabsrichtig im Querschnitt

Eine sich evtl. ergebende abstands- wie verzerrungsbedingte Unschärfe des Bildes war nicht von Anfang an klar. Üblicherweise bauen Inkjetdrucksysteme ihre Bilder beim Druck je nach eingestelltem Qualitätsmodus entweder so auf, dass

- a) auf der gesamten Düsenhöhe der zugehörige Bildabschnitt in einem Druckkopfvorlauf (und evtl. Rücklauf) vollständig gedruckt wird oder aber (meist für höhere Qualitätsansprüche)
- b) das Druckbild mit jedem Druckkopfvorlauf nur zu einem Teil gedruckt wird und über die Düsenhöhe des Druckkopfes meist 3 – 4 Teilvorschübe erfolgen. Damit werden Ungenauigkeiten im Papiervorschub, Unregelmäßigkeiten der Tintenförderung in den Einzeldüsen und verstopfte Einzeldüsen kaschiert und normalerweise ein gleichmäßiges und streifenfreies Druckbild erzeugt.

Im vorliegenden Fall kam es auf eine Überfüllung des Druckbildspeichers an, sodass die Möglichkeit a) zwei Varianten der Anpassung an die Folgen des kleinen Walzendurchmessers bot.

Zum Einen könnte auf der kompletten Düsenhöhe gedruckt werden. Das Druckbild war aber hinsichtlich der zu erwartenden Verzerrung so vorzuverzerren, dass es auf der Walzenoberfläche in der Abwicklung passen würde. Beispielhaft zeigt das die folgende Abbildung, die auf den konkreten Daten des verwendeten Zylinders und der Druckmatrixhöhe beruht.

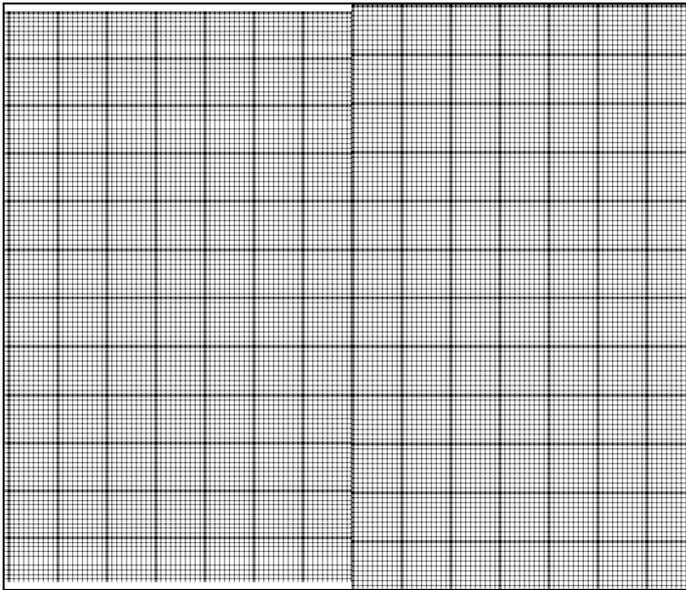


Abbildung 12: Vorverzerrtes Linienmuster inklusive nichtdruckender Teile oben und unten (links) im Vergleich zur beabsichtigten Abbildung im Druck (rechts) - die Bildhöhe entspricht der Düsenhöhe des Druckkopfes

Zum Anderen bestand die Möglichkeit, nur im mittleren Teil des Düsenzeile überhaupt auszudrucken und die nicht gedruckten Bildteile bei Folgeumdrehungen nach und nach aufzusammeln. Die folgende Abbildung veranschaulicht das.

Farbig markiert ist jeweils für jede Umdrehung des Druckbildspeichers der genutzte Düsenbereich. Durch den eingesetzten Algorithmus ist sicherzustellen, dass auch über mehrere Umdrehungen keine Überlappungen im Druck auftreten. Diese Lösung erfährt eine Beschränkung durch den evtl. möglichen Umstand, dass ein Walzenumfang genau einem ganzzahligen Vielfachen der Höhe der Düsenmatrix des Inkjet-Druckkopfes entspricht. In diesem Fall käme es zu keinem Versatz von einer Umdrehung zur nächsten und das Verfahren könnte nicht funktionieren.

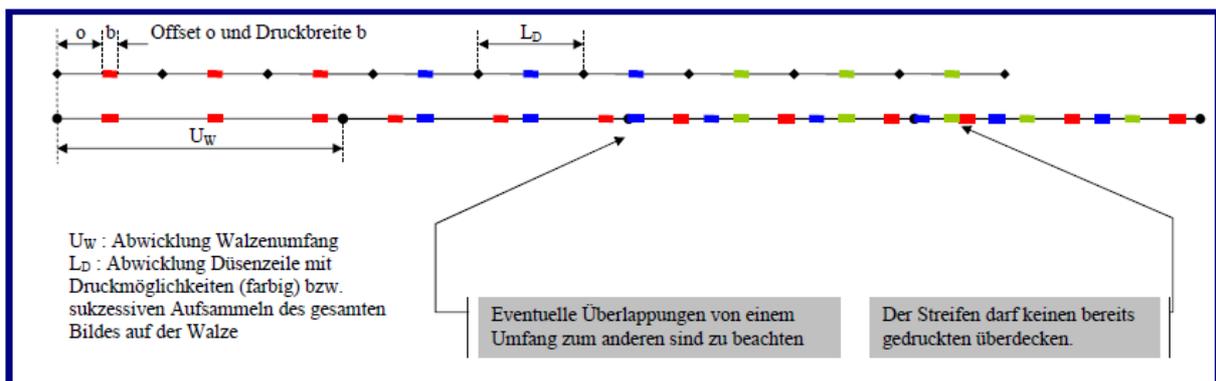


Abbildung 13: Aufbau des Bildes über mehrere Umdrehungen des Druckbildspeichers bei auf die Mitte eingeschränkter Nutzung der Düsenmatrix

Eine Abbildung eines solcherart vorbereiteten Bildes ist im folgenden zu sehen.

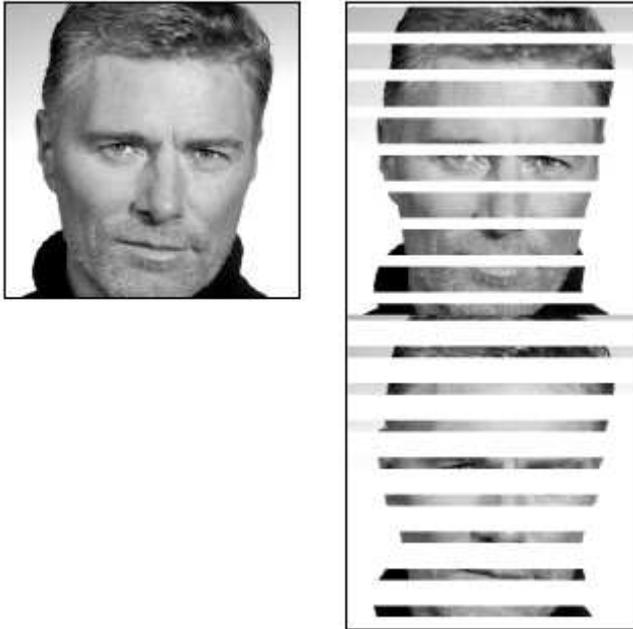


Abbildung 14: Zerlegung eines Bildes (links) in Streifen (rechts) entsprechend der gedanklichen Veranschaulichung in Abb. 6

Abhängig von den Ansteuerungsmöglichkeiten des Inkjetdrucksystems mögen diese beiden Varianten einen „workaround“ darstellen, die aber bei industrietytischen Walzendurchmessern nicht nötig sein wird.

Der Drucker hat nach der Inbetriebnahme und in der Anfangsphase seiner Nutzung im Projekt in der beabsichtigten Weise funktioniert. Von besonderer Bedeutung war die Möglichkeit der mehrfachen und passgenauen Wiederholung eines Druckes während mehrerer Umdrehungen der Walze. Allerdings setzt diese eine Prüfung des Zusammenspiels von Düsenmatrixlänge, Druckersteuerung und Umfang des Druckzylinders voraus. Dazu wurde eine spezielle Testbilddatei (Ein Bild, das länger war, als der Umfang des Druckzylinders) entwickelt, die am Bildanfang eine durchgehende Linie parallel zur Zylinderachse enthielt und am Bildende jeweils kurze Linienelemente parallel zur Zylinderachse aber mit verschiedenen Abständen zur Anfangsline.

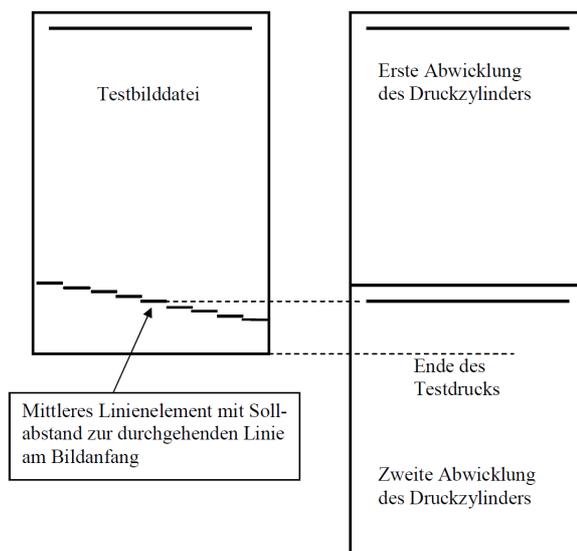


Abbildung 15: Zusammenwirken der Testdruckdatei mit den Zylinderabwicklungen

Das in Walzenmitte befindliche Element hatte zur durchgehenden Linie am Anfang den Abstand des theoretischen Zylinderumfangs, die Linienelemente links und rechts davon jeweils kürzere und längere Abstände.

Bei korrekten Abmessungen aller Teile und richtiger Funktion bestand die Erwartung, dass nach einer Zylinderumdrehung bei der Bebilderung das mittlere Linienelement exakt die durchgehende Linie überdrucken würde. War das nicht der Fall, so musste man das abweichende Linienelement rechts oder links vom mittleren Element suchen, dass die beste Übereinstimmung/das genaue Übereinanderdrucken zeigte. Aus den bekannten Daten der Testbildform ergab sich dann die Korrektur der Dokumentlänge für eine Umdrehung. Mit diesem Matching konnten dann mehrere aufeinander folgende Übereinanderdrucke überdeckungs genau platziert werden.

Im Rahmen des Aufbaus der Anlage waren Schwierigkeiten zu überwinden. Diese waren wesentlich dadurch begründet, dass erstmals durch die Firma FERCON GmbH ein System zum Druck auf runden Walzen entwickelt wurde. Hieraus ergaben sich neue Anforderungen an die Simulationselektronik (Anm.: diese erzeugt die erforderlichen Signale für das Kerndrucksystem, die normalerweise aus den demontierten Komponenten des Kerndrucksystems kommen) und das System, die mehrfach über die Schritte

- Problemeingrenzung/-identifikation
- Lösungsansatz
- Herstellen der materiellen Grundlagen zur Lösung
- Einbau

gelöst werden mussten. Rückblickend ist festzustellen, dass die Risiken, die in einer solchen Entwicklung stecken, sich hier in hohem Umfang realisiert haben. In Ergebnis ist es dadurch zu einer Aufsummierung von Einzelzeiträumen und so zu einer zeitlichen Verzögerung im Projektverlauf von ca. 12 Monaten gekommen. Das System funktioniert seit dem einwandfrei.

Es stellte sich in der Anfangsphase der Bebilderungsversuche bald heraus, dass sowohl die Sprühvorrichtung als auch die Heizung nicht zu den erwünschten Ergebnissen führten. Ausführlicher wird das in dem Abschnitt *Primer und Bebilderungsmaterial* sowie dem Abschnitt *Aushärten* beschrieben.

Primer und Bebilderungsmaterial

Als wasserverdünnbares Bebilderungsmaterial wurde ein per Inkjet verdruckbares Material verwendet, das sich in Verbindung mit einer Vorbehandlung besonders zur Anwendung auf nichtsaugenden Untergründen eignet. Das System dieses Bebilderungsmaterials besteht aus einer Oberflächenvorbehandlung, dem eigentlichen Aufdruck des Materials und einer Polymerisation. Dieses System wird erfolgreich in Drucksystemen der Firma FERCON zur Beschichtung flächiger Objekte aus Metall, Glass etc. eingesetzt.

Der Verlauf dünnflüssiger Materialien auf nicht saugenden Untergründen wird normalerweise im Wesentlichen durch die Grenzflächenenergie der zu bedruckenden Oberfläche in Kombination mit der Oberflächenspannung des flüssigen Materials bestimmt. Durch eine Vorbehandlung der Bedruckstoffoberfläche kann das Verlaufen der Bebilderungsmasse gesteuert bzw. von der Grenzflächenenergie des zu bedruckenden Untergrundes entkoppelt werden. Die Vorbehandlung bezweckt durch chemische Wechselwirkung mit der Bebilderungsmasse eine Reduzierung der Fließfähigkeit deverdünnten Bebilderungsmaterials unmittelbar nach dem Aufdrucken.

Die zum Einsatz kommenden wasserbasierenden Bebilderungsmaterialien sind so modifiziert, dass sie – durch ein Piezoinkjetdrucksystem verdruckt – unmittelbar nach Auftreffen auf der Substratoberfläche durch Wechselwirkung mit der Vorbehandlung durch ein geeignetes Medium den o.a. Effekt einer starken Viskositätsänderung bzw. eines Angelierens erreichen.

Die anschließende Polymerisierung des Drucks wird beschleunigt durch eine thermische Behandlung des aufgedruckten und getrockneten Bebilderungsmaterials. Sie erfolgt als säurekatalysierte Polykondensation und erreicht damit eine gute Haftung auf nichtsaugenden Untergründen. Die Polykondensation entspricht chemisch einer Veresterung.

Der Auftrag der Primers mit dem in den Gravurejet 01 integrierten Sprühvorrichtung erlaubte über die Düseinstellung/Düsendruck, die axiale Düsengeschwindigkeit und die Umdrehungsgeschwindigkeit der Walze in einem weiten Bereich, die aufgetragene Primermenge zu variieren. Grundversuche zur Ermittlung der pro Zeit versprühten Menge bei verschiedenen Drücken, Überlegungen zur erforderlichen Auftragsmenge und daraus abgeleitet zu den Geschwindigkeiten in axialer Richtung der Walze und in Umfangsrichtung wurden angestellt, sind hier aber nicht aufgeführt. Es war praktisch nicht möglich, eine absolut gleichmäßige Beschichtung mit Primer zu erzielen. Die folgende Abbildung veranschaulicht für eine bestimmte Kombination aus Walzendrehzahl und Düsenvorschub den Auftrag, der über eine Einfärbung der Primerlösung (löslichen Farbstoff) sichtbar gemacht wurde.



Abbildung 16: Auftrag von eingefärbtem Primer auf eine mit Papier umwickelte Walze – das Papier ist hier abgewickelt

Anders als in den Flachdruckmaschinen der Fa. FERCON, wo die Farbwirkung im Wesentlichen durch den Inkjetdruck der Bebilderungsmaterialien erzielt wird und leichte Schwankungen des vorgeschalteten Primerauftrags ohne Bedeutung für die Bildwirkung sind, sofern nur die zur Polymerisation erforderliche Menge nicht unterschritten wird, war die Sachlage hier anders. Zum einen waren die aufzutragenden Mengen viel größer und damit auch der Primerbedarf. Zum anderen würde der Primer zwar zu einem Gelieren des später aufgetragenen Bebilderungsmaterials führen, war selbst aber dünnflüssig. Es war nicht möglich, den Primer im benötigten Volumen auf einmal aufzutragen, da er verlief.

Die Möglichkeit, in mehreren Schichten und Druckdurchläufen einen entsprechenden Aufbau zu erreichen, wurde versucht, ließ aber wegen der nicht erreichten Gleichmäßigkeit des Sprühauftrags der Primerschicht keine gleichmäßige Füllung der Näpfchenstruktur zu.

Zur Erzielung einer verbesserten Gleichmäßigkeit wurden Versuche unternommen, die Walze in einem mit Primerlösung befüllten Tauchrohr und einer oben angebrachten Abstreifvorrichtung gleichmäßiger mit dem Primer zu beschichten. Die folgende Skizze zeigt die solche Vorrichtung im Querschnitt:

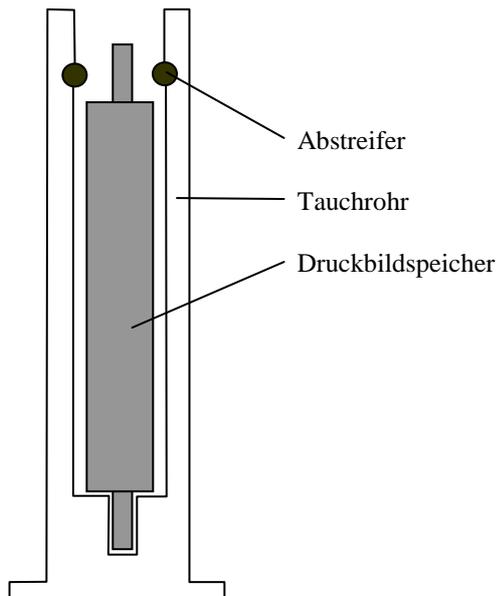


Abbildung 17: Tauchrohr zur gleichmäßigen Walzenbeschichtung mit Primer

Es wurde mit dieser Vorrichtung eine gleichmäßige Beschichtung mit Primer erreicht. Allerdings war bei einmaligem Primerauftrag die Polymerisierung nicht zufriedenstellend. Vermutlich waren die Schichten (Primer zuerst und dann das Bebilderungsmaterial) insgesamt zu dick. Es wurde ein mehrmaliger Ablauf aus Primerauftrag im Tauchrohr und anschließendem Inkjetauftrag versucht. Dabei ging zwar die Passgenauigkeit für den wiederholten Druck verloren, da zunächst aber mit vollen Flächen gedruckt/nicht gedruckt wurde, war das nachrangig. Es zeigte sich nach dieser Art des schichtweisen Auftrags, dass nach der wärmebeschleunigten Polymerisation die Stabilität des Bebilderungsmaterials dem anschließenden Druck auf der Tiefdruckmaschine nicht standhielt. Das Bebilderungsmaterial blättert nach und nach aus dem Druckbildspeicher heraus. Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft das Erscheinungsbild der so erreichten Bebilderungen.

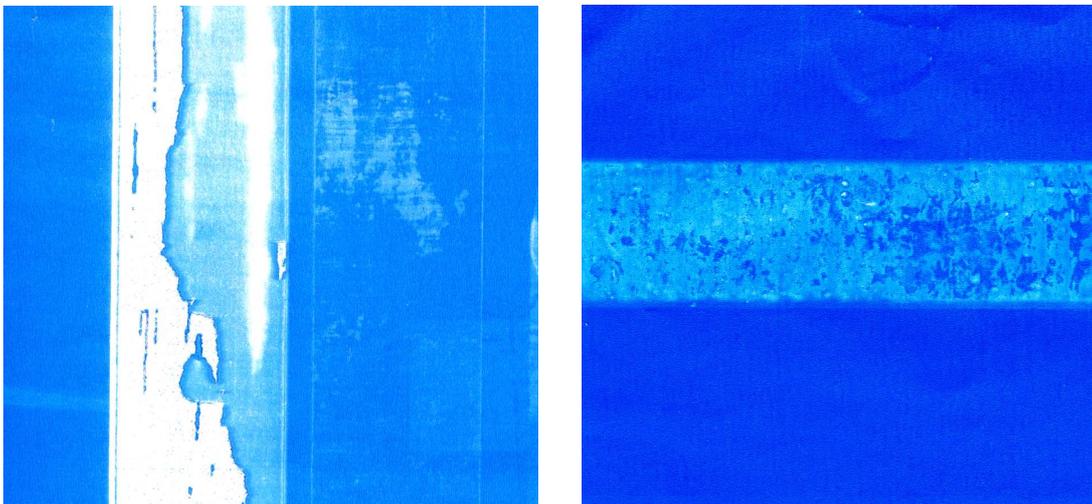


Abbildung 18: Beispiele für das schichtweise Ablösen des Bebilderungsmaterials nach Schichtaufbau über abwechselndes Primern/Bebildern.

Das Herausblättern entsprach in der Anzahl der Schichten dem vorigen Bebildern. Die Versuche wurden nicht fortgesetzt, da von Stufe zu Stufe (Primern, Drucken) auch die mit dem Tauchrohr aufgetragene Primermenge immer weiter abnehmend war bzw. mit verschiedenen Konzentrationen hätte gearbeitet werden müssen – das erschien im Rahmen des Projektes nur schwer und aufwendig erreichbar.

Zum Zeitpunkt der Versuche, diese Schwierigkeiten zu überwinden, ergab es sich, dass ein alternatives Bebilderungsmaterial zur Verfügung stand. Dieses war ohne einen gesondert aufzutragenden

Primer nach Trocknen des Wassers vernetzbar. Als Nachteil fiel der Effekt des Angelierens nach Auftreffen auf die Oberfläche fort.

Erste Versuche mit dieser Tinte wurden so unternommen, dass jeweils in vier Wiederholungen dasselbe Bild auf die Walze übertragen wurde (zwecks Erreichung des nötigen Volumens an Bebilderungsmaterial), jedoch zwischen den einzelnen Aufträgen eine längere Pausenzeit lag. In der Deckelöffnung zur Inkjet Einheit wurde mittels Lüftern für Konvektion gesorgt. Trotzdem kam es in einzelnen Fällen zu einem Verlaufen des frisch aufgetragenen Bebilderungsmaterials auf den Walzen.

Überlegungen zum Aufwärmen der Walze zwecks schnellerer Trocknung wurden hinsichtlich eines eingebauten und eines externen Systems angestellt. Da bei einem eingebauten System unklar war, wie die Komponenten des Druckers – und da besonders diejenigen aus Kunststoff – auf die Wärme der Streustrahlung reagieren würden, wurde einer externen Vorwärmung der Vorzug gegeben.

Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die Walze auf ca. 60 – 70 °C vorzuwärmen und in diesem Zustand in die Walzenaufnahme des Gravurejet 01 einzubauen. Das Bebilderungsmaterial trocknet so zügig, dass ohne besondere Wartezeiten gearbeitet werden kann und ohne dass es zu einem Verlaufen des Bebilderungsmaterials kommt.

Polymerisation/Aushärten

Die im Gravurejet 01 eingebaute Heizung war in der ursprünglichen Funktionalität darauf ausgelegt, nach dem Primerauftrag die Walze zu trocknen und nach der folgenden Bebilderung die erforderliche Temperatur zur Polymerisation des Bebilderungsmaterials zu gewährleisten. Es konnten jeweils getrennte Zeiten für die Primertrocknung und die Polymerisation eingestellt werden und die Temperatur – gemessen durch einen Sensor innerhalb der Trockenstrecke – konnte gewählt werden. Die folgende Abbildung zeigt das Bedienpanel zur Steuerung des Druckumfeldes am Gravurejet 01.

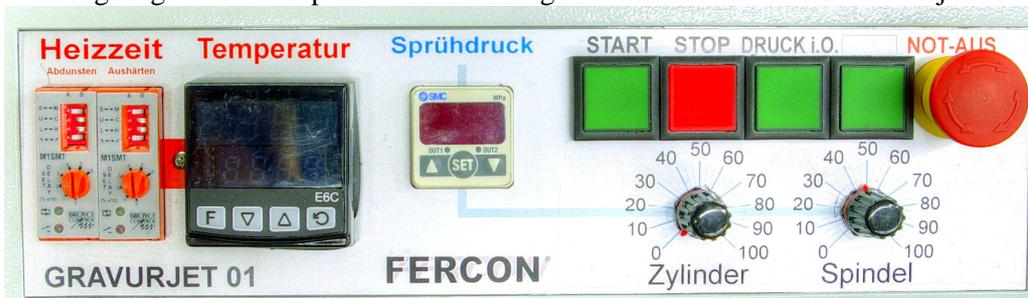


Abbildung 19: Bedienpanel des Gravurejet 01 zur Steuerung des Druckumfeldes - links im Bild die Einstellmöglichkeiten für zwei Heizzeiten und die Temperatur

Nachdem die Primerung wegen der vorab beschriebenen Schwierigkeiten und des Wechsels auf eine andere Tinte nicht mehr erforderlich war, war auch dieser Teil der Heizung obsolet. Die Erprobung der vorgesehenen Heizung war dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatursteuerung nicht die Walzentemperatur erfasste und die angestellten Versuche unter begleitenden Messungen mittels IR-Thermometer sich unpraktisch gestalteten. Als wegen eines Gerätedefektes eine zeitliche Lücke entstand, ergab sich durch die Initiative des Projektbeteiligten Lorch Engineering die Gelegenheit, einen IR-Strahler von Heräus samt Leistungsversorgung als Ausleihe für das Projekt zu erhalten.

Die Dokumentation der Leistungsversorgung ergab die Möglichkeit zur seriellen Steuerung des Strahlers. Zur Temperaturmessung (Walze) wurde ein IR-Strahlungssensor mit serieller Temperaturübertragung von Melexis (MLX90614) genutzt, so dass die Walze in der Temperatur sogar geregelt werden konnte. Die Heizungsregelung wurde über einen Atmel 328 Mikrocontroller auf einer Arduino Plattform realisiert.

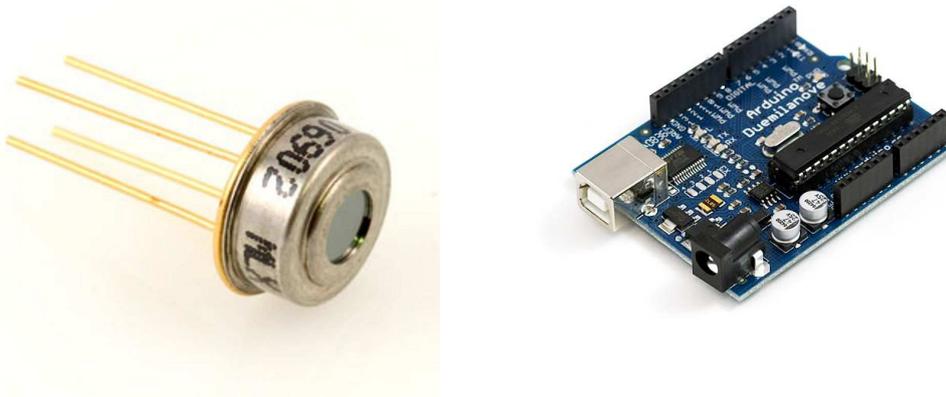


Abbildung 20: links der IR-Strahlungssensor MLX90614 mit vier Anschlüssen für Versorgungsspannung und serielle Kommunikation und rechts das Controllerboard (Arduino Duemilanove)

Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau zur Vorwärmung/Polymerisation an der Drehbank. Der Strahler von Heräus wurde in eine U-förmige Aluabschirmung/-halterung eingebaut, die rechts und links der Walze in dort angebaute Alu-Profile eingehängt werden kann. Zur Walze bleibt nur ein relativ kleiner Spalt, so dass Streustrahlung weitgehend vermieden wird. Unter der Walze ist der IR-Sensor in einem soliden Aluminiumklotz positioniert, der über sein Eigengewicht am Ort bleibt. Mikrocontroller, Leistungsversorgung des Strahlers und Netzteile sind in einer Box seitlich an der Drehbank platziert. Die folgende Abbildung zeigt nur den Teil um die Walze.



Abbildung 21: Ansicht von der Rückseite auf die Walze beim Heizen - unter der Walze ist die Halterung für den IR-Sensor zu sehen. Der Sensor befindet sich zwischen den beiden gelochten Klötzen in dem Verbindungsblech



Abbildung 22: Blick in Achsenrichtung in die U-förmige Strahlerhalterung - man erkennt den Beginn des Strahlers, der über den Walzenballen hinausragt

Wichtig beim Einsatz der IR-Sensoren zur Temperaturmessung ist der Emissionsgrad des Objektes. Das Potential für Fehlmessungen bei der berührungslosen Methode wird am besten aus folgendem Diagramm ersichtlich. In der Phase der Inbetriebnahme der Maschine und auch der Heizvorrichtung wurde immer wieder ein Walzendummy aus Edelstahl benutzt, um Beschädigungsrisiken für die keramisch beschichteten Druckbildspeicher zu vermeiden. In der Erprobungsphase der IR-Heizvorrichtung wurde deshalb diese Edelstahlwalze mit einem umlaufenden, durch eine Rasterung nur teilweise deckenden Streifen mit schwarz pigmentiertem Bebilderungsmaterial sowie einem weiteren, voll deckenden Streifen versehen. Das folgende Diagramm zeigt Messungen über die gesamte Aufheizphase von 10 min. Es sind einander gegenüber gestellt sowohl die IR-Messung an der Edelstahloberfläche (niedriger Emissionsgrad), als auch der voll und der teilweise bedruckte Bereich der Walze sowie der farbig gestrichene Fußboden vor der Drehbank.

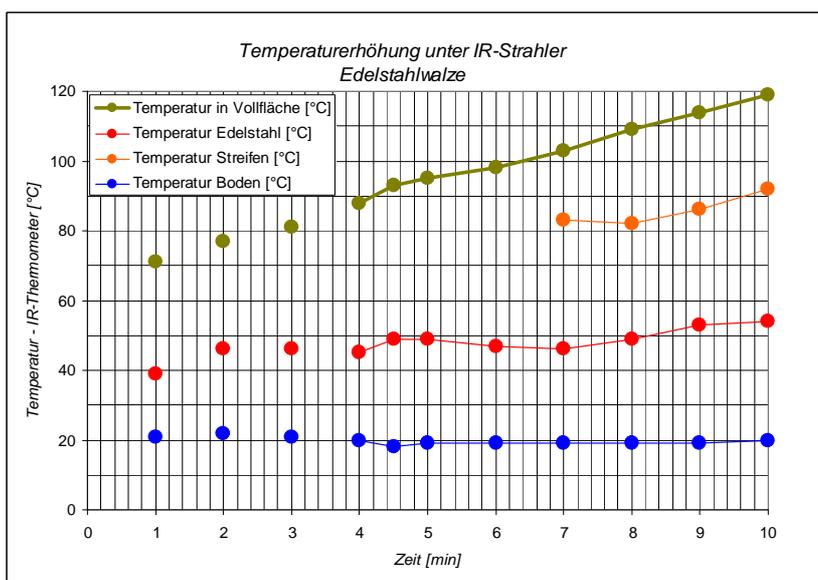


Abbildung 23: Temperaturmessung mit IR-Strahlungssensor während des Aufheizens der Walze – es verdeutlicht die potentielle Fehlerhaftigkeit solcher Messungen – hier bei der Stahloberfläche (rot)

Bei Nutzung des mit Cr_2O_3 keramisch beschichteten und mit einem IR-Laser gravierten Druckbildspeichers zeigte sich, dass kein Unterschied zwischen bebilderten und nicht bebilderten Oberflächenteilen des Druckbildspeichers existiert. Der Emissionsgrad des Materials erlaubt die direkte Verwendung des Sensors.

Es hat sich in der Folge gezeigt, dass mit einer Aufheizung auf 140°C und einer Haltedauer von 10 min die Polymerisation des Bebilderungsmaterials im erwünschten Maß stattfand. Voraussetzung für eine gute Polymerisation war, dass die Schicht vor Polymerisationsbeginn vollständig getrocknet sein muss. Das wurde durch die Vorheizung der Walze (ebenfalls in der Vorrichtung mit dem IR-Strahler) auf ca. 70°C vor dem Einbau in den Gravurejet 01 erreicht. Da die eingesetzte Walze massiv ist, hält sie diese Temperatur ausreichend lange, um nach der Bebilderung mit insgesamt viermaliger Überdruckung getrocknet aus dem Gravurejet 01 zu kommen.

In der Folge wurde die externe Heizung nicht nur wegen der Vorteile einer auf die Walzentemperatur bezogenen Heizungsregelung weitergenutzt sondern auch, weil die Abkühlung der Walze auf eine brauchbare Temperatur für das weitere Handling / die Weiterbearbeitung wegen des massiven Aufbaus der kleinen Walze sonst zu lange gedauert hätte.

Die Walze wurde im Rahmen der Versuche mit Druckluft unter Zuhilfenahme einer Luftrakel zur Zerstörung der Grenzschicht abgekühlt. Die Luftrakel bestand aus einem Vierkantprofil ($40 \times 40 \text{ mm}^2$) mit auf einer Seite längs ausgeführten Bohrungen (Durchmesser: 1,5 mm, Abstand: 10 mm), die bei der vorhandenen Druckluft (8 bar) eine Abkühlung der Walze auf ca. 40°C in etwa 10 min erbrachte. Erwähnt werden soll hier, dass der Luftdruck wegen der vorhandenen relativ kleinen Anlage zur Versorgung nach etwa 1 min etwa auf die Hälfte abfällt und ebenfalls, dass eine Abkühlung auch durch natürliche Konvektion und damit aufwandsneutral erfolgen kann.

Eine Übernahme der externen Vorgehensweise in eine industrietaugliche Bebilderungseinrichtung wäre ohne größere Schwierigkeiten möglich. Im Rahmen des Projektes wurde auf einen Einbau in die Anlage verzichtet, weil sich keine wesentlichen Handhabungsvorteile ergeben hätten. Bei der Entscheidung über die Lagerung dieses Arbeitsschrittes in die oder außerhalb der Bebilderungseinrichtung muss der typische Aufbau von zu bebildern Walzen (hier besonders die Wandstärke und damit die zu erwärmende Masse) und damit die Aufheiz- und Abkühlzeit ins Kalkül gezogen werden.

Abtragen des im Überschuss aufgetragenen Bebilderungsmaterials

Keramische Rasterwalzen eignen sich deshalb gut für das untersuchte Verfahren, weil sie gegenüber Rasterwalzen mit Stahloberfläche eine deutlich bessere Verschleißfestigkeit haben. Aus diesem Grund werden heute fast ausnahmslos solche Rasterwalzen zur Farbdosierung im Flexodruckverfahren eingesetzt.

Hergestellt werden diese Walzen dadurch, dass eine metallische Walze (meist Stahl, gelegentlich Aluminium aber auch sogenannte Sleeves mit metallischer Außenfläche) zunächst aufgeraut und ggf. mit einer Korrosionsschutzschicht versehen mittels des atmosphärischen Plasmaspritzverfahrens mit Cr_2O_3 -Keramik beschichtet wird. Die Keramik wird dabei als Pulver (typische Kornverteilung um $22 - 45 \mu\text{m}$) in die ca. 10000°C heiße und schallschnelle Plasmaflamme eingedüst, von dieser auf die Walzenoberfläche geschleudert und zugleich aufgeschmolzen. Die geschmolzenen Keramiktröpfchen spreiten beim Auftreffen auf die relativ kalte Walzenoberfläche und erstarren. Die erforderliche Schichtdicke wird Lage für Lage über mehrere Beschichtungspassagen aufgebaut und hat daher eine lamellare Grundstruktur. Bedingt durch die Korngrößenverteilung des Pulvers kommt es dazu, dass ein gewisser Anteil der Keramik verdampft (kleine Körner), einige nicht komplett aufgeschmolzen werden (große Körner) und manche aufgrund Ihrer Größe durch die Plasmaflamme hindurch fliegen. Aus diesem Grunde ist es im Bearbeitungsraum sehr staubig. Teile des Staubes können sich auf der Walze trotz Absaugung/Abblasen anlagern und zusammen mit den nicht durchgeschmolzenen Körnern die lamellare Struktur der Schicht zusätzlich verungleichmäßigen bzw. zur Bildung von Poren führen.

Als Folge liegt eine Schicht begrenzter Homogenität vor. Vor der Gravur der Nöpfchen, die mit einem IR-Laser erfolgt, wird die Walzenoberfläche auf den erforderlichen Durchmesser geschliffen und mit Polierverfahren (Bandpolieren oder Honen mit Honsteinen) auf eine einheitliche Glätte gebracht. Diese einheitliche Glätte ist erforderlich, damit der Laser überall auf der Walze in der gleichen Güte seine Energie an die Keramik abgeben kann und nicht rauheitsabhängig mal besser, mal schlechter einkoppelt.

Bei der anschließenden Lasergravur werden dann die Nöpfchen erzeugt. Meist erzeugt ein Laserpuls durch Aufschmelzen und teilweises Verdampfen der Keramik ein Nöpfchen, gelegentlich auch 2 oder 3 Pulse. Anschließend wird die gravierte Walze nochmals mehr oder weniger poliert, um Schmelzgrate von den Stegen zwischen den Nöpfchen zu entfernen oder überhaupt eine bestimmte gleichmäßige Stegoberfläche zu erzeugen, gelegentlich auch zur Einstellung/Korrektur des erwünschten Schöpfvolumens.

Bedingt durch die unterschiedlichen Korngrößen des Keramikpulvers und daraus folgend den lamellaren Einzelobjekten sowie den eingeschlossenen Poren in der Keramikschicht wie auch verursacht durch Schwankungen der Energie von einem Laserpuls zum nächsten zeigt sich in der Regel unter dem Mikroskop eine Gravur, die zum einen durch die geometrische Gleichmäßigkeit der Anordnung positiv auffällt, bei näherer Betrachtung der Einzelnöpfchen aber sowohl im optischen Bild der Stege wie auch der Nöpfchentiefe deutliche Abweichungen zeigt.

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen das anhand der Abbildungen von zwei in dem Projekt eingesetzten bzw. dafür hergestellten Gravuren. Die eine ist stärker, die andere schwächer poliert.

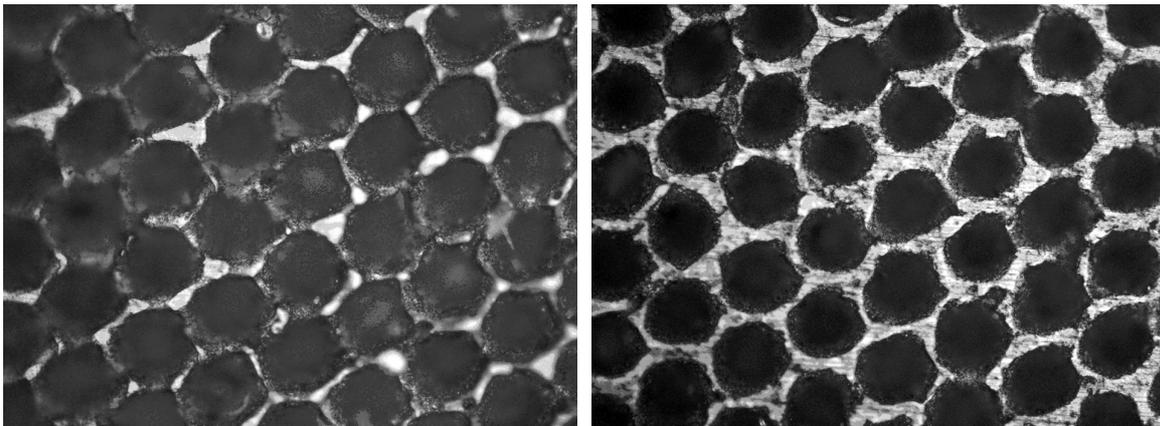


Abbildung 24: Mikroskopische Aufnahmen von zwei lasergravierten Keramikrasterwalzen. Die Gravurfeinheit liegt bei 300 Nöpfchen/cm, die Anordnung ist hexagonal. Das Maß über die Diagonale beträgt etwa 270 µm. Links: schwächere Politur, Rechts: starke Politur

Man erkennt deutlich die Ungleichmäßigkeiten von Nöpfchen zu Nöpfchen hinsichtlich der Öffnungsform, der Stegprägung und die Schwankungen in der Tiefe kann man zumindest erahnen – typisch sind Schwankungen von 25%.

Aus diesem Grund müssen die Nöpfchen überfüllt werden. Nur so ist sichergestellt, dass auch das größte Nöpfchen vollständig verschlossen wird.

Ein weiterer Grund für die Überfüllung der Struktur mit Bebilderungsmaterial ist dadurch gegeben, dass das Bebilderungsmaterial nach Trocknung und Polymerisation nicht erwarten lässt, die „richtige“ Glätte zu haben. Richtige Glätte bedeutet im Zusammenhang mit dem späteren Einsatz als Druckwalze mit handelsüblicher Druckfarbe, dass die Oberfläche an den verschlossenen Teilen nicht tonen darf. Dazu dürfen keine Rauheiten mehr auf der Schicht sein, die mit Ihren Vertiefungen farbtransportierend und dann auf dem Druckbild sichtbar werden.

Es wurden zwei Möglichkeiten als potentiell erfolgreich untersucht.

Die erste Möglichkeit besteht in einer Art Hobelvorgang, bei dem das im Vergleich zu Keramik und Metallwerkstoffen als eher kunststoffartig und damit einem Abhobeln zugängliche Bebilderungsmaterial praktisch in ihrem Überschuss auf der Ebene der Näpfchenstege abgeschält wird. Eine Analogie zu diesem Vorgang kann man etwa in der Erzeugung von dünnen Schnitten mit einem Mikrotom sehen, bei denen nicht nur das Objekt der Untersuchung, sondern meist auch die Einbettungsmasse aus Kunststoff in dünnen Schichten mit einer Klinge abgehobelt wird, um anschließend auf einem Objektträgerglas der mikroskopischen Untersuchung zugeführt zu werden.

Es wurde dazu eine Klingenhalterungen aufgebaut, die eine im Raum winkelvariable Verstellung und Festlegung der Klinge ermöglichte und über eine pneumatische Zustellung via Druckregelung eine einstellbare, aber konstante Kraft der Klingenzustellung an die Walze erlaubte.

Über den Vorschub der Drehbank konnten per mechanischer Übersetzung verschiedene Vorschübe je Umdrehung eingestellt werden. Ebenfalls bestand die Möglichkeit der Schmierung mit diversen Medien, die durch eine unter der Walze befindliche Wanne zugeführt/aufgefangen werden konnten. Abbildung 7 im Teil „Drehbank und Zubauten“ verdeutlicht das über Abbildungen der Klinge mit Klingenhalterung und der Drehbank mit der vorgebauten pneumatischen Klingenzustellung.

Im Ergebnis war festzustellen, dass die Rasterwalzenkeramik eine erhebliche abrasive Wirkung auf die Hobelklingen hatte, die die jeweiligen Klingen in kürzester Zeit in eine neue Form schliffen. Weiterhin waren immer Spuren des Hobelmessers in Umfangrichtung sichtbar und schlussendlich wurde durch die mechanischen Kräfte beim Abschälen zum Teil das Bebilderungsmaterial aus einzelnen Näpfchen entfernt. Dieses Konglomerat aus ungünstigen Wirkungen führte dazu, die Versuche nicht fortzuführen.

Die zweite Möglichkeit besteht im sogenannten Bandpolieren (Superfinish, Microfinish). Mit diesem Verfahren werden i.A. auch die keramischen Rasterwalzen poliert. Abbildung 9 zeigt in zwei Ansichten das an die Drehbank angepasste Bandpoliergerät mit 50 mm Polierbreite der Fa. Thielenhaus, das uns freundlicherweise für einen Zeitraum von 6 Monaten von Thielenhaus für dieses Projekt überlassen wurde.

Prinzipiell verfügt ein Bandpoliergerät dieser Bauweise über eine Bandabwicklung, eine Bandaufwicklung und eine Anpressrolle, die das Band am zu polierenden Objekt vorbeiführt. Das Polierband selbst besteht aus einem Backing in Polyester mit dem in einer Harzbindung auf dem Band vorhandenen Schleif-/Poliermittel. Typisch für das Polieren von Keramikrastrerwalzen ist Diamant als abrasiver Bestandteil. Hier wurden Bänder mit Al_2O_3 verwendet.

Variabel einstellbare Größen sind der Anpressdruck (hier: 1 bar), die Bandgeschwindigkeit sowie Oszillationshub und -frequenz, mit der sich die Rolle parallel zur Oberfläche des Werkstücks bewegen lässt. Über eine Reihe von Versuchen hat sich eine Verfahrensweise als zweckmäßig erwiesen, bei dem die Druckbildwalze in einem unter ihr befindlichen Wasserbad (mit Glysantin im Verhältnis 9:1) jeweils einen Wasserfilm aufnimmt und so immer mit Wasser poliert wurde. Das Wasser diente sowohl der Kühlung als auch dem Abtransport des abpolierten Bebilderungsmaterials.

Als Ergebnis wurden auf dem Druckzylinder hochglänzende Oberflächen erreicht, mit denen praktisch tonfrei gedruckt werden kann. Das Band, mit dem schlussendlich die vorliegenden Ergebnisse erzielt wurden, stammte aus folgender Angebotsgruppe von 3M:

3M Lapping Film Aluminum Oxide 261x

In die Versuche einbezogen waren Bänder mit 3 μm , 5 μm , 9 μm und 12 μm . Mit diesen Bändern konnte ein für die Versuche guter Kompromiss zwischen Abtraggeschwindigkeit und erzielter Glätte erreicht werden.

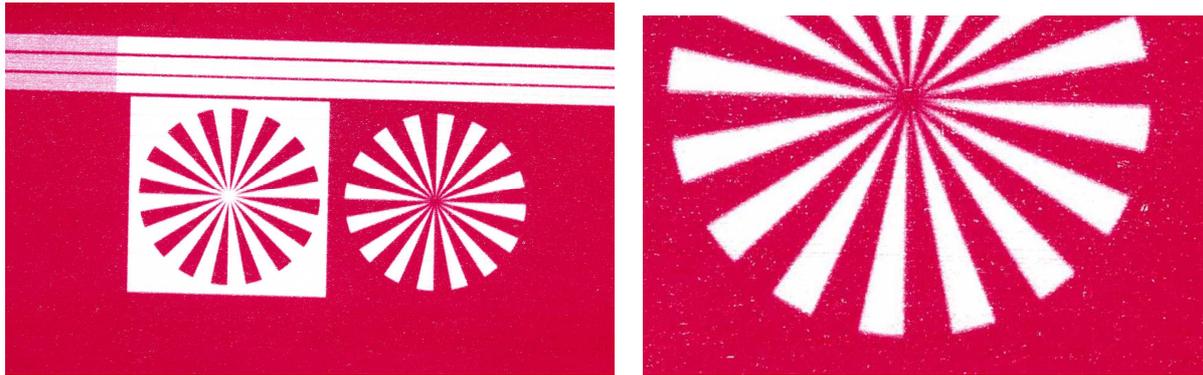


Abbildung 25: Ausdruck mit Lösemittelfarbe (NC-Farbe, Magenta, Hauptlösemittel Ethanol), links Siemensstern und nichtdruckende Streifen mit unterschiedlicher Überdruckungsanzahl, rechts Siemensstern im Detail

Verglichen wurde auch der Unterschied zwischen einem Finish, das oberhalb der Stege endet und einem Finish bis auf die Stege. Deutliche Unterschiede zeigten sich hier im Druck. Wurde nicht bis auf die Stege poliert, so traten beim Fortdruck über ein Volumen von 5 Rollen ständige Verschlechterungen (ein stetig zunehmendes Tonen) in den nichtdruckenden Bereichen auf. Wurde dagegen bis auf die Stege poliert, so erwies sich das Verhalten beim Tönen über drei Rollen als konstant. Das entspricht mit Bezug auf den Zylinderumfang und die Papierlänge auf einer Rolle etwa 3000 m Papier und knapp 14000 Drucken.

Im Ergebnis entsprach das Verhalten im Druck damit etwa den Erwartungen. Die keramischen Stege der Rasterwalzen trugen die Hauptlast der Rakel und das polymerisierte Bebilderungsmaterial zeigte im Rahmen der Versuche keine Abnahme in der Wirkung.

Hinsichtlich der erforderlichen Glätte der Politur kann über den Typ Tiefdruckzylinder, wie er hier erzeugt wurde, kaum eine Aussage gemacht werden. Eine Orientierung kann an kommunizierten Werten bei der konventionellen Zylinderherstellung (Kupfer, graviert und verchromt) erfolgen. Hier wird bei der Chrombeschichtung über die Prozessführung eine bestimmte Art von Mikrorissigkeit der Oberfläche angestrebt, die schlussendlich in einen Mittenrauwert $Ra = 0,04$ mündet. Die folgenden Rauheitstastschriebe zeigen beispielhaft Ausschnitte aus der bebilderten Walze mit verschiedenen Qualitäten.

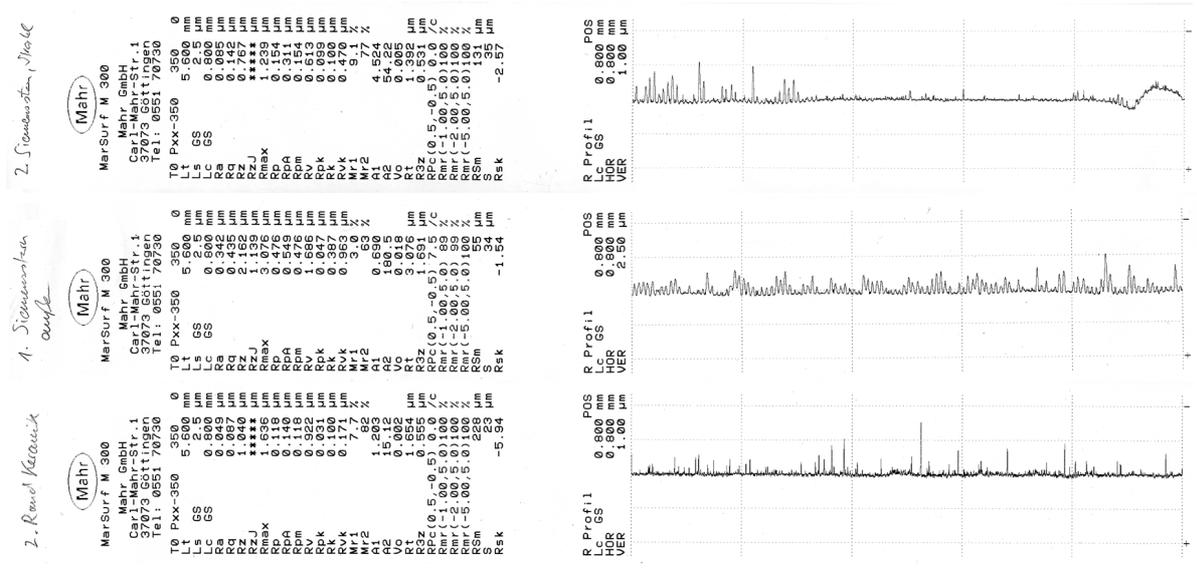


Abbildung 26: Drei verschiedene Rauheitszustände auf dem Druckbildspeicher
 oben: Nichtdruckender Strahl eines Siemenssterns im Übergang von gut zu sehr gut poliert
 mitte: nichtdruckendes Umfeld eines Siemensstern (wie Abb. 24, linkes Bild - weißer Bereich um linken Siemensstern)
 unten: ungravierter Rand des Druckbildspeichers – polierte Cr₂O₃ Oberfläche

Die vertikale Teilung in Abb. 25 ist im mittleren Bild 2,5µm, im oberen und unteren Bild 1 µm. Die Mittenrauwerte Ra sind – von oben nach unten: 0,085 µm / 0,435 µm / 0,049 µm.

Die über die Messungen erfassten Werte zeigen, dass der keramische Druckbildspeicher, bebildert und poliert, mit seinen erzielbaren Rauheiten den Werten von metallischen Tiefdruckzylindern nahe kommt. Zwar weist der obere Tastschrieb aus Abb. 25 einen Ra-Wert von 0,085 µm auf, jedoch ist das ein mittlerer Wert über die gesamte Tastlänge, die Bereiche verschiedener Qualität überstreicht. In jedem Fall korrespondieren diese Werte mit der erzielten Tonfreiheit an den nichtdruckenden Stellen, so dass ein Ra-Wert im Bereich um 0,5 µm hier erreichbar und für ein gutes Druckergebnis ausreichend scheint.

Reinigung des Druckbildspeichers

Waschen der Walzen mit NaOH-Lösung

Zur Entfernung des polymerisierten Bebilderungsmaterials erschien der Einsatz einer NaOH-Lösung in einer Walzenwaschmaschine eine praktikable und zum Chemismus des Bebilderungsmaterials passende Lösung. Versuche an einer Glattwalze aus Edelstahl, bebildert mit einem umlaufenden Streifen, zeigten eine so weitgehende Schädigung der Schicht, dass ein anschließendes Abspülen unter laufendem Wasser möglich war.

Diese Vorversuche führten zum Aufbau der in Abb. 6 gezeigten Walzenwaschmaschine, die nach Befüllen mit einer Waschlösung (bevorzugt NaOH) über eine Pumpe und eine parallel zur Walzenachse laufende Düse die Walze wusch. Die Maschine beinhaltete auch die Möglichkeit zur Temperierung der Waschlösung auf Temperaturen von bis 70°C. Der Grundgedanke der Konstruktion bestand darin, über die Abfolge Zersetzen – Spülen alle Nöpfchen des Druckbildspeichers vollständig vom Bebilderungsmaterial zu reinigen.

Es hat sich in der Anwendung gezeigt, dass sich die einfache Entfernung von der Glattwalze hier in keiner Weise wiederholte. Die Farbe war wohl geschädigt, ließ sich aber mit Wasserdruck nicht aus

den Nöpfchen entfernen. Es erschien so, als ob das Bebilderungsmaterial in der Nöpfchenstruktur verzahnt war.

Es wurden Versuche mit Waschlösungen bis 30% Massenanteil NaOH und mit zu 24 h Waschzeit unternommen. Weiterhin wurde aus der Annahme, dass mit erhöhtem Spüldruck das degradierte Bebilderungsmaterial besser aus der Verzahnung mit der Nöpfchenstruktur gelöst werden könne, nach den verschiedenen Einwirkungen der Lauge Versuch mit einem Hochdruckreiniger (Kärcher, ca. 100 bar) und Wasser unternommen, die nicht die erwünschte Sauberkeit erbrachten. Generell ist von der Reinigung keramischer Rasterwalzen mit solchen Wasserdrücken abzuraten, weil die Keramik porös, gelegentlich mikrorissig sein kann und immer die Gefahr besteht, in einem solchen Riss einen Druck aufzubauen, der dann ein Keramikstückchen absprengt.

Es zeigte sich durch einen Zufall, dass Paketklebeband, mit der klebenden Seite auf die Walzenoberfläche gedrückt, beim Abziehen einen Teil der vorgeschädigten Farbe aus den Nöpfchen zog. Es wurden Versuche mit verschiedenen – vor allem weicheren – Klebebändern unternommen. Diese zeigten in der Regel schlechtere Ergebnisse als das gewöhnliche Paketklebeband. Die Entfernung gelang aber nicht an allen Stellen gleichermaßen und vor allem in der Regel nicht vollständig. Reste im Nöpfchenrund wurden vom Tesaband nicht erreicht, so dass sich aus dieser Zufallsentdeckung kein Verfahren entwickeln ließ.

Strahlen der Walze mit Natriumbicarbonat / Baking Soda

Natriumbicarbonat / Backpulver / Baking Soda wird in entsprechenden, zur Walzenreinigung konzipierten Verfahren ähnlich wie das Sandstrahlen als abrasives Verfahren für die Reinigung von Keramikrasterwalzen eingesetzt. Das Strahlgut liegt auf der Härteskala nach MOHS zwischen 2 – 3 und es werden im allgemeinen damit gute Reinigungserfolge auch in Fällen, wo andere Reinigungsverfahren versagen, erzielt. Mit diesem Strahlmittel kann im Regelfall das Bindemittel-Farbpigment-Gemisch aus den Nöpfchen entfernt werden, ohne dass die Keramik nennenswert angegriffen wird. Es liegen keine publizierten Untersuchungen vor, die eine Schädigung prognostizieren. Aus einer ca. 10 Jahre zurückliegenden eigenen Untersuchung aus Anlass einer Walzenreinigung wurde eine Rasterwalze aus dem Bestand der BUW gezielt mit diesem Verfahren beschädigt. Der Versuch einer Hochrechnung ergab, dass eine Walze sich schätzungsweise 20 – 40 mal auf diese Weise reinigen lässt, bis trotz des weichen Strahlgutes dann die Keramik strukturelle Schäden der Gravur derart aufweist, dass sie nicht mehr verwendet werden kann. Seinerzeit konnte eine Walze, mit der alkaliresistente wasserverdünnbare Farbe verdruckt worden war, mit anderen Verfahren nicht mehr gereinigt werden. Mit dem Strahlverfahren gelang die Reinigung.

Im vorliegenden Fall wurden zwei Walzen an eine Unternehmen, dass in diesem Bereich Reinigungsdienstleistungen anbietet, zur Reinigung verschickt. Mit dem Strahlverfahren wurde keine vollständige Reinigung erreicht. Aus Sicht des Unternehmens ist die Nöpfchenstruktur von 370 L/cm für die typischen Korngrößen des Natriumbicarbonats zu klein.

Die Reinigung mit diesem Verfahren wurde nicht weiter verfolgt. Grundsätzlich wäre es kein Verfahren der Wahl gewesen, weil nur eine begrenzte Anzahl von Reinigungen möglich wäre. Im vorliegenden Fall wurde es aber zwangsweise wegen des Versagens anderer Reinigungsbemühungen versucht, um wieder saubere und neu bebilderbare Zylinder im Projekt zu haben.

Ultraschallreinigung

Seitens Lorch Engineering wurde ein Ultraschallbad zur Verfügung gestellt, das mit einer einfachen Walzendrehvorrichtung versehen wurde (zunächst manuell, dann motorisch), und damit Versuche zur Ultraschallreinigung erlaubte. Die Ultraschallreinigung ist ebenfalls bei der Reinigung von Rasterwalzen im Einsatz. Allerdings ist auch hier bekannt, dass zu extensiver Einsatz i.d.R. zu Beschädigungen

der Keramik führt. Da solche gründlichen Reinigung seltener erfolgen, wird das i.A. von den Unternehmen toleriert, weil das Ende der Lebensdauer der Walze i.d.R. durch normalen Verschleiß im Betrieb erfolgt. Die folgende Abbildung zeigt das Gerät.



Abbildung 27: Ultraschallreiniger mit aufgesetzter Walzendrehvorrichtung

Im vorliegenden Fall kann gesagt werden, dass die Ultraschallleistung im Bad ausreichend und das Bad somit für die Untersuchungen geeignet war. Allerdings gab es zwei Ergebnisse. Entweder die Farbe blieb in den Näpfchen oder die Farbe war entfernt, die Näpfchenstruktur aber beschädigt.

Das bedeutete, dass der Abstand zwischen der erforderlichen Ultraschallleistung zur Zerstörung des Bebilderungsmaterials und der Leistung zur Zerstörung der Gravur des Druckbildspeichers nicht ausreichend ist, um das Verfahren sinnvoll nutzen zu können. Aus diesem Grund wurde die Reinigung mit diesem Verfahren ebenfalls nicht weiter verfolgt.

CO₂-Schneestahlverfahren

Bei diesem Verfahren wird CO₂-Schnee bzw. granuliertes Trockeneis als Reinigungsmittel benutzt. Dieses Verfahren wird in der Industrie für Reinigungstätigkeiten eingesetzt und gerne damit beworben, dass das Reinigungsmittel nach Übergang in den gasförmigen Zustand sich quasi selbst entsorgt.

Bei der Reinigung mit diesem Verfahren wird zum einen die abrasive Wirkung – genau wie beim Strahlen mit Backpulver – genutzt. Zugleich kommt es durch die Kälte des Strahlmittels zu einer Verprödung von vielen Verschmutzungen und durch den Übergang in den gasförmigen Zustand und die damit verbundene Volumenvergrößerung und ggf. Druckaufbau bei in Spalte/Poren eingedrungenes Trockeneis zur Unterstützung des Abplatzens von Verschmutzungen.

Versuche zur Reinigung, die bei einem Anbieter dieses Verfahrens durchgeführt wurden, zeigten eine teilweise, aber keine vollständige Wirkung im vorliegenden Fall.

Versuche mit verschiedenen Chemikalien / Lösemitteln

Es wurden Versuche mit verschiedenen Lösemitteln unternommen. Beispiele sind DCM (Methylenchlorid) und NMP (N-Methyl-2-pyrrolidon), also Mittel, die auch als Abbeizer (DCM) Verwendung finden oder die eine größere Gruppe von Polymeren lösen können (NMP). Die erzielten Resultate entsprachen bestenfalls dem Einsatz von NaOH, waren also keine Lösung.

Schlussendlich wurden trotz Kenntnis der Korrosionsproblematik (gemeint ist hier Unterkorrosion zwischen metallischem Walzenkörper und Keramikschiicht, die im allgemeinen über die voluminöseren Korrosionsprodukte nach einer Weile zum Abplatzen der Keramik führt) Versuche mit Säuren unternommen. Es zeigte sich an kleinen Partikeln des polymerisierten Bebilderungsmaterials, dass Ameisensäure und Salzsäure die Masse auflösten.

Die unternommenen Reinigungsversuche zeigten die mit Abstand besten Ergebnisse. In den Nöpfchen verblieben nur winzige Reste des Bebilderungsmaterials im Nöpfchengrund. Die Reinigung mit den Säuren erfolgte händisch durch Aufgießen und Reiben mit einem Tuch oder durch Tauchen in einer säurefesten Wanne bzw. rotieren in dieser Wanne unter Nutzung der für die Ultraschallreinigung gebauten Drehvorrichtung.

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Reste des Bebilderungsmaterials im Walzenrund nicht aufbauen und dass bei einer maschinellen Reinigung mit einem Spüldruck in die Nöpfchen eine vollständige Reinigung möglich ist.

Die Korrosionsgefahr kann mit derzeitigem Stand zuverlässig nur umgangen werden, wenn ein entsprechender Aufbau vom Walzenrund zur Keramikschiicht vorhanden ist. Die Cr_2O_3 -Keramik ist beständig gegen HCl. Die Seiten und Zapfen der Walzen lassen sich sicher über geeignete und zur Walze passende Stulpen und Dichtmittel für die Dauer des Reinigungsvorgangs frei von HCl halten. Ein kritischer Punkt liegt in der fertigungsbedingten Porosität der Keramikschiicht, die erwarten lässt, dass die Säure die Grenze von Keramik zu metallischem Untergrund immer erreichen wird.

Möglichkeiten bestehen hier entweder in einer Versiegelung der Keramik mit einem säurefesten Infiltrat oder vor Aufspritzen der Keramik in der Aufbringung eines säurefesten Korrosionsschutzes auf dem Walzenrundzylinder. Geeignet wäre etwa eine Tantalbeschichtung.

Seitens der Hersteller von Rasterwalzen wird zum Thema Reinigung durchaus auch die Reinigung mit Säuren angesprochen. Angegeben wird z.B. der Einsatz von Salpeter- oder Schwefelsäure zur Behandlung hartnäckiger Verschmutzungen. Die Empfehlung geht hier in Richtung Reinigung kleiner Teilflächen und anschließendes reichliches Spülen mit Wasser.

Ökologische Bewertung

Die Bewertung des Verfahrens orientiert sich an den Informationen, die über die Fertigung von Tiefdruckzylindern vorliegen. Das ist einmal die Abschlussarbeit von Breuer (Breuer, Ganzheitliche Betrachtung von Potentialen zur Energieeffizienzsteigerung in einer Illustrationstiefdruckerei), die im Umfeld des EU-Projektes eeei (European Energy Efficiency Improvement; Website: <http://www.eeei.info/>) entstand und zum Anderen die Umwelterklärung der Illustrationstiefdruckerei Broschek von 2005, welche die Daten von Breuer stützt.

Die Daten in der folgenden Tabelle beziehen sich auf die Verbräuche in beiden Druckereien insgesamt. Diese beinhalten nicht nur die Zylinderherstellung, sondern vor allem den Betrieb der Druckmaschinen und des gesamten Druckumfeldes, wie etwa Trockner, Abluftbehandlung, etc.. Die Zylinderherstellung in der von Breuer untersuchten Druckerei schlägt mit ca. 2,33 GWh am gesamten Energiebedarf zu Buche. Es handelt sich hier in der Hauptsache um Strom. Bezogen auf den gesamten Stromverbrauch von 50,25 GWh entspricht das 4,6%.

	Untersuchte Illustrationstiefdruckerei in der Master-Thesis von Breuer	Daten aus der Umwelterklärung der Illustrationstiefdruckerei Broschek für 2005
Verbrauch Strom	50,25 GWh	33,67 GWh
Verbrauch Dampf/Erdgas	72,02 GWh	52,24 GWh
Kupferbedarf zum Aufkupfern	54,45 t	32 t
Druckformchemie	nicht erfasst	73,4 t
Luftemissionen Toluol	nicht erfasst	35,57 t

Abbildung 28: Energie- und Materialverbräuche in zwei ähnlichen Illustrationstiefdruckereien

Die Arbeit von Breuer fand in einer großen Illustrationstiefdruckerei statt, die aus ihren eigenen Ansprüchen heraus eine gute, sehr detaillierte Datenerfassung zu Energieverbräuchen aufgebaut hat. Dort wurden Kennzahlen auf der Grundlage von 16.742 gravierten Zylindern mit einer gravierten Fläche von 40.035 m² erhoben. Es wurden im Erhebungszeitraum 54.450 kg Kupfer und 7.500 ltr. Flüssigchrom verarbeitet. Pro Quadratmeter graviertes Zylinderoberfläche werden 58 kWh Strom benötigt.

Durchschnittliche Oberfläche/Zylinder [m ²]	2,39
Stromverbrauch je Quadratmeter [kWh]	58
Kupferdurchsatz je Quadratmeter [kg]	1,36
Flüssigchrom je Quadratmeter [ltr.]	0,187
Druckformchemie je Quadratmeter [kg]	2,57

Abbildung 29: Bedarfe pro Quadratmeter Walzenoberfläche im Illustrationstiefdruck in der von Breuer untersuchten Druckerei (Druckformchemie aus Abb. 28, rechte Spalte, über Kupferbedarf auf linke Spalte umgerechnet)

Im vorliegenden Projekt sind vergleichbar zur Zylinderherstellung die Schritte eines kompletten Walzenumlaufs zu erfassen und geeignet auf eine Walzenoberfläche von einem Quadratmeter zu beziehen. Die im Projekt benutzten Walzen sind aufgrund ihrer geringen Größe massiv, haben einen Umfang von rd. 68 mm und eine Druckbreite von 259 mm. Daraus ergibt sich eine Walzenoberfläche von 0,05533 m². Daraus leitet sich im Sinne der Daten ein Stromverbrauch von 3,2 kWh ab, den rein rechnerisch ein Tiefdruckzylinder dieser Dimension in Kupfer benötigt.

Die im Projekt untersuchte Druckformherstellung umfasst die Schritte

- Reinigung des Druckbildspeichers
- Vorwärmen des Druckbildspeichers auf 70°C
- Bebilderung des Druckbildspeichers mit Bebilderungsmaterial
- Polymerisieren des Bebilderungsmaterials (Aufheizen auf und halten bei 130°C für 10')
- Abkühlen des Druckbildspeichers
- Polieren des Druckbildspeichers (0,2 kW Leistung)

Folgende Daten liegen vor bzw. werden zur Anrechnung gebracht:

Heräus IR-Strahler (+Versorgung +Drehbank):	750W (+150W) = 900W
Heräus Temperatur halten (+Vers. + Drehb.):	250W (+150W) = 400W
InkJetDrucksystem (+Maschinenumfeld):	100W (+250W) = 350W
Poliersystem (+Drehbank):	200W(+200W) = 400W

Zeiten für die einzelnen Arbeitsschritte waren:

Aufwärmen zur Bebilderung:	8 min
Bedrucken im Inkjet:	10 min
Aufheizen zum Polymerisieren:	10 min
Temperaturhalten zum Polymerisieren:	10 min
Polieren auf Glätte/Steghöhe:	15 min
Entfernung des Bebilderungsmaterials:	15 min

Für die Arbeitsplatzbeleuchtung wird von einer Leistung von 200 W ausgegangen. Diese Zahl ist grob geschätzt aus der Anzahl und Leistung der Leuchtstoffröhren, die im Bereich von Gravurejet 01 und Polier-/Heiz-Kombination diesen überdeckten. Je nach Tageslicht können diese Werte anders sein. Unterstellt man eine Walze mit z.B. zehnfacher Oberfläche, würde der Raum- und Beleuchtungsbedarf praktisch nicht bzw. kaum steigen.

Damit ergibt sich zusammen mit den Leistungen in den einzelnen Arbeitsschritten der Energiebedarf für die Bebilderung des verwendeten Zylinders entsprechend der nachfolgenden Tabelle.

Art der Bearbeitung	Zeit [min]	Leistung [W]	Energie [kWh]	Anteil [%]
Aufwärmen zur Bebilderung	8	900	0,120	16,6
Bedrucken im Inkjet	10	350	0,058	8,1
Aufheizen zum Polymerisieren	10	900	0,150	20,8
Temperatur halten zum Polymerisieren	10	400	0,067	9,2
Polieren auf Glätte/Steghöhe	15	400	0,100	13,9
Entfernen der Bebilderungsmasse	15	0	0,000	0
Beleuchtung	68	200	0,227	31,4
Gesamt			0,722	100

Abbildung 30: Bedarf an elektrischer Energie zur Bebilderung des verwendeten Druckzylinders. Für die Beleuchtung wird von 200 W während der gesamten Bebilderung ausgegangen

Dem Stromverbrauch bei der konventionellen Zylinderherstellung 3,2 kWh stehen hier 0,722 kWh (0,495 kWh ohne Beleuchtung) gegenüber. Das entspricht ca. 15 – 25% des Strombedarfs bei der konventionellen Bebilderung. Man erkennt, dass die Beleuchtung und die Heizung der Walze zur Vorwärmung und zum Polymerisieren einen großen Anteil am Gesamtenergieverbrauch (46,6 % mit Beleuchtung, 68,7 % ohne Beleuchtung) haben.

Ein wesentlicher Grund hierfür ist in der Tatsache zu suchen, dass die eingesetzte Walze massiv war. Das hatte eine, verglichen mit einer dünnwandigen, gebauten, Walze lange Vorwärmzeit und eine lange Aufheizzeit zur Folge.

Generell wird die Aufheizzeit vom Volumen wesentlich bestimmt. Vergleicht man einen massiven Walzenkörper (Radius = r, Länge = l) mit einem gebauten, hohlen Körper, dessen Wandstärke mit einem Anteil des Radius beschrieben wird, findet man (hier nur für das Rohr mit Wandstärke = d ohne Seitenwände gerechnet) für die Volumenverhältnisse:

$$\frac{V_{\text{ZYLINDER}}}{V_{\text{ROHR}}} = \frac{r^2 \cdot \pi \cdot l}{r^2 \cdot \pi \cdot l - (r-d)^2 \cdot \pi \cdot l} = \frac{r^2}{r^2 - r^2 + 2 \cdot r \cdot d - d^2} = \frac{r^2}{2 \cdot r \cdot d - d^2}$$

Als Kehrwert erhält man

$$\frac{V_{\text{ROHR}}}{V_{\text{ZYLINDER}}} = \frac{2 \cdot r \cdot d - d^2}{r^2} = 2 \cdot \frac{d}{r} - \left(\frac{d}{r}\right)^2$$

Für ein Verhältnis Wandstärke zu Radius von $d/r = 1/10$ kommt man auf ein Volumenverhältnis von 19/100 und für ein Verhältnis Wandstärke zu Radius von $d/r = 2/10$ kommt man auf 36/100. Die Aufheizzeiten werden sich also gegenüber einer massiven Walze, wie sie hier vorlag, auf ungefähr 1/3 reduzieren lassen.

Zusammenfassung/Fazit

Im Rahmen dieses Projektes konnte gezeigt werden, dass man eine keramische Rasterwalze als Druckbildspeicher mit einem geeigneten wasserverdünnbaren Bebilderungsmaterial zu einem funktionierenden Tiefdruckzylinder machen kann.

Die Verfahrensschritte

- der mehrfachen, passgenauen Überdruckung zur Deponierung der erforderlichen Menge an Bebilderungsmaterial,
- der Polymerisation des nach Trocknung auf dem Zylinder verbleibenden Bebilderungsmaterials und
- des Polierens auf die zum tonfreien Druck nötigen Glätte wurden erfolgreich entwickelt.

Der Verfahrensschritt des HerauslöSENS des Bebilderungsmaterials zur Vorbereitung einer erneuten Bebilderung hat sich erwartungsgemäß als schwierig erwiesen und letztendlich zum Einsatz von Salz- und Ameisensäure geführt, mit der das polymerisierte Bebilderungsmaterial aus dem Druckbildspeicher herausgelöst wurde.

Damit ist aber zunächst die komplette Prozesskette geschlossen, so dass das Projekt hinsichtlich der technischen Machbarkeit überhaupt gelungen ist und eine Fortführung in Richtung der Entwicklung eines industrietauglichen Produktes betrieben werden kann.

Literatur

M. Breuer, Ganzheitliche Betrachtung von Potentialen zur Energieeffizienzsteigerung in einer Illustrationstiefdruckerei, Masterthesis, 2009

<http://www.eeei.info/>

Website des EU-Projektes European Energy Efficiency Improvement in the graphic media industry