

THIEME GmbH & Co. KG  
Tullastraße 11  
79331 Teningen



**„CTG – Computer to Glass  
Reduktion von Abwässern und Lösemittlemissionen im  
großflächigen Druck durch ein siebfreies, tonerbasiertes  
digitales Druckverfahren“**

Abschlussbericht über ein FuE-Projekt,  
gefördert unter dem Aktenzeichen AZ: 22325 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von:

Dipl. Ing. Konrad Vosteen

Oktober 2005

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>22325</b>	Referat	<b>21/2</b>	Fördersumme	<b>95.000,00 €</b>
<b>Antragstitel</b>	CTG - Computer to Glass Reduktion von Abwässern und Lösemittlemissionen im großflächigen Druck durch ein siebfreies, tonerbasiertes elektrostatisches Druckverfahren				
<b>Stichworte</b>	Verfahren; Abwasser, Lösemittel, Emission				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>14 Monate</b>	<b>1.6.2004</b>	<b>31.7.2005</b>	<b>I</b>		
Zwischenberichte:	alle 6 Monate Kurzbericht				
<b>Bewilligungsempfänger</b>	<b>THIEME GmbH &amp; Co. KG</b> Tullastr. 11 79331 Teningen			Tel	<b>07641/583-412</b>
				Fax	<b>07641/583-330</b>
				Projektleitung	Herr Geiger
				Bearbeiter	Herr Vosteen
<b>Kooperationspartner</b>					

### **Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Der Siebdruck ist das heute übliche Verfahren zur Bedruckung großer Flächen oder zum Aufbringen strukturierter funktioneller Bereiche auf ebene Oberflächen. Die üblicherweise verwendeten Farben besitzen dabei einen Lösemittelanteil von bis zu 60%, die zum größten Teil verdunsten. Ziel des Projekts „CTG - Computer to Glass“ ist die Entwicklung einer Druckmaschine zum Bedrucken großer, ebener Flächen durch ein lösemittelfreies, tonerbasiertes Druckverfahren. Dieses Druckverfahren soll am Beispiel der einfarbigen Glasbedruckung in den Bereichen Bau- und Architekturglas bzw. KFZ-Verglasungen entwickelt und demonstriert werden.

### **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Zu Beginn des Projektes werden die Anfangsspezifikationen und Randbedingungen zur Entwicklung des CTG definiert. Von besonderer Wichtigkeit ist hierbei die Evaluation der zu bedruckenden Glasarten, deren Oberflächenbeschaffenheiten, ihrer Dicken und ihres Temperaturverhaltens. Basierend auf dem Pflichtenheft werden technische Voruntersuchungen der Systemkomponenten durchgeführt. Unterstützt werden diese Arbeiten durch die Simulation und messtechnische Erfassung des Komponentenverhaltens. Nach der Festlegung dieser Randbedingungen ist anschließend die konstruktive Auslegung zur Integration der Komponenten in das Gesamtmaschinenkonzept vorgesehen. Auf der Basis der vorangegangenen Arbeitspakete werden anschließend die Maschinenelemente realisiert. Parallel dazu muss ein geeignetes Steuerungskonzept ausgearbeitet werden, das alle Komponenten des Gesamtsystems umfasst. Nach der Montage der einzelnen Systemmodule zum Gesamtkonzept müssen diese in ihrem Zusammenspiel untersucht und ggf. angepasst werden. Nach der Integration der einzelnen Systemmodule zum Gesamtsystem müssen dessen Grundfunktionen überprüft werden. Sofern einzelne Punkte des Pflichtenheftes nicht erfüllt werden, ist die Anpassung und Überarbeitung des Maschinenkonzeptes notwendig. Abschließend ist der Leistungsnachweis gegenüber potentiellen Anwendern vorgesehen.

## **Ergebnisse und Diskussion**

### **Erreichte Ergebnisse:**

Das Ziel der Phase I, Erstellen eines Prototyps und Test des CTG-Verfahrens wurde erreicht, die technische Machbarkeit des lösemittelfreien, tonerbasierten Druckens konnte prinzipiell nachgewiesen werden. Im Einzelnen umfasst dieser Nachweis:

- Die Druckgeschwindigkeit von bis zu 5 m/min auf die entsprechende Arbeitsbreite von 36 Zoll hat sich bestätigt, es konnten ausreichend bzw. gute Druckergebnisse erzielt werden.
- Es wurde nachgewiesen, dass passgenau mit der gleichen Farbe über eine entsprechende Fläche mit dieser Maschine gedruckt werden kann.
- Mit der CTG-Maschine lassen sich Linien von 0,1 mm Breite in guter Qualität darstellen (dies ist mit keramischem Siebdruck so nicht möglich).
- Die Maschine kann innerhalb kürzester Zeit ohne Reinigungsaufwand von Schwarzdruck auf z.B. Weißdruck umgestellt werden.
- Über den geplanten Umfang hinaus wurden Versuche durchgeführt, die unerwartete neue Anwendungsmöglichkeiten eröffneten (Voraussetzungen für 4-Farb-Rasterdrucke).

### **Aufgetretene Probleme:**

Hinsichtlich folgender während der Testreihen aufgetretener Probleme besteht noch Entwicklungsbedarf:

- Systemmodul Heizung: Aufheizen der Druckoberfläche noch nicht optimal (Verhältnis Druckgeschwindigkeit – Transfertemperatur; Integration Heizung in die Maschine, Tonerverhalten).
- Problem der Kontamination: Dabei handelt es sich um vagabundierende, herumirrende Tonerteilchen, welche die Glasoberfläche im eigentlich unbedruckten Bereich kontaminieren. Dies kann am Toner liegen oder/und an der Anordnung der Funktionskomponenten.
- Problem der Opazität: In einigen Anwendungsfällen wird durch Einfachbedruckung nicht die erforderliche Dichte erreicht. Mehrfachbedruckung ist technisch möglich, aber nicht wirtschaftlich.

Lösungsansätze ergeben sich zum einen in der Optimierung der technologischen Parameter (Temperatur, Geschwindigkeit). Zum anderen hat sich gezeigt, dass der Einfluss der Zusammensetzung des Toners einen wesentlichen Einfluss auf das Endergebnis hat. Hier ist neben der Auswertung der eigenen Tests eine wesentlich engere Zusammenarbeit mit den Herstellern der Druckköpfe und der Toner erforderlich. Diesbezügliche Ansätze und Kontakte sind vorhanden und müssen ausgebaut werden.

Neue Anwendungsfälle, hauptsächlich im Bereich spezieller Dekordrucke und dem 4-Farb-Druck bieten bereits zum jetzigen Zeitpunkt Möglichkeiten der industriellen Nutzung.

### **Umweltrelevanz:**

Es wurde der Prototyp für ein Verfahren entwickelt und erfolgreich getestet, in welchem keine lösemittelhaltigen Farben und Reinigungsmittel mehr verwendet werden. Allein im Bereich KFZ-Glas wird im herkömmlichen Siebdruck eine VOC-Emissionsmenge von 600 t in Form von Dämpfen geschätzt. Darüber hinausgehend kann das Verfahren auch zur teilweisen Ablösung anderer Verfahren zur Oberflächenbehandlung von Glas (Sandstrahlen, Ätzen) eingesetzt werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, beim breiten industriellen Einsatz des CTG-Verfahrens die Umwelt zusätzlich zu entlasten.

Hinsichtlich der Energiebilanz muss der Aufheizprozess des neuen Verfahrens mit dem Trocknungsprozess der herkömmlichen Siebdruckanlagen verglichen werden: zwar besteht wie oben beschrieben noch Optimierungsbedarf hinsichtlich des Energieeintrags für die Aufheizung – aber es kann davon ausgegangen werden, dass der Vergleich zugunsten des neuen Verfahrens ausgehen wird. Im Gegensatz zum nichtgetakteten Trockner wird beim CTG-Verfahren nur bedarfsgesteuert geheizt, also nur aktiv während des Druckvorgangs. Exaktere Angaben hierzu werden nach erfolgreicher Optimierung in Phase II möglich sein.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Bereits im Vorentwicklungsstadium wurde das Verfahren auf mehreren Messen (Glastec 2004 und Fakuma 2005) einem breiten Fachpublikum vorgestellt. Die unerwartet große Resonanz, die dieses Verfahren dort gefunden hat lässt hohe Erwartungen an den späteren industriellen Einsatz zu.

## **Fazit**

Die erste Phase des Gesamtprojektes wurde abgeschlossen und bestätigt die Richtigkeit des Ansatzes zur Entwicklung eines lösemittelfreien Druckverfahrens für die Bedruckung von Glas. Von entscheidender Bedeutung für das Erreichen des Zieles des Gesamtprojektes (Phase I und II) sind jedoch weitere FuE-Arbeiten bezüglich der Tonermaterialien und der Feinabstimmung der Systemkomponenten. Deshalb ist es sinnvoll, diese Arbeiten ergänzend in die geplante Phase II des Gesamtprojektes (CTG für Druckbreiten von 2500 mm) zu integrieren.

## Inhaltsverzeichnis:

<b>Verzeichnis von Bildern und Tabellen.....</b>	<b>5</b>
<b>Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen.....</b>	<b>6</b>
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>7</b>
<b>Einleitung.....</b>	<b>8</b>
<b>Hauptteil .....</b>	<b>11</b>
<b><i>Arbeitsschritte, angewandte Methoden und erzielte Ergebnisse .....</i></b>	<b>11</b>
<i>AP 1 – Konzeptions- und Vorentwicklungsphase .....</i>	<i>11</i>
<i>AP 2 – Konstruktion des Versuchsaufbaus und Voruntersuchung zur         Heizungsrealisierung.....</i>	<i>11</i>
<i>AP 3 – Realisation des Gesamtaufbau.....</i>	<i>12</i>
<i>AP 4 – Applikationstests Kantenbedruckung.....</i>	<i>14</i>
<b><i>Diskussion der Ergebnisse .....</i></b>	<b>18</b>
<b><i>Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung .....</i></b>	<b>28</b>
<b><i>Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse.....</i></b>	<b>28</b>
<b><i>Ausblick / Anschlussarbeiten .....</i></b>	<b>28</b>
<b>Fazit.....</b>	<b>29</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>30</b>
<b>Anhänge .....</b>	<b>31</b>

## Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abbildung 1	Siebdruck im Überblick	8
Abbildung 2	Prinzipskizze zur Bilderzeugung und –übertragung beim CTG-Verfahren	12
Abbildung 3	Gesamtansicht des CTG Prototypen	13
Abbildung 4	Ansicht der Verfahreinheit mit integrierter Heizung und Druckkopf	13
Abbildung 5	Testmotiv mit keramischem Toner – Raster und Flächen auf Glas	15
Abbildung 6	Duroplastischer Toner auf Glas, Blech und VA-Material	15
Abbildung 7	Mit keramischem Toner bedruckte Fliese	16
Abbildung 8	Kontamination einer im CTG-Verfahren Bedruckten Fliese	17
Abbildung 9	Kontamination von mit Laserdrucker bedrucktem Papier	17
Abbildung 10	Gasheizung – Ansicht von oben, - dem Druckkopf Vorgelagert	19
Abbildung 11	Energiezuführung der integrierten Heizung am Druckkopf	20
Abbildung 12	Detail der Gasheizung von oben	20
Abbildung 13	separater Durchlaufofen zum vorheizen der Glasplatten	21
Abbildung 14	Druckkopf mit Entwicklerstation und Reinigungseinheit	24
Abbildung 15	Entwicklerbox mit Tonerpelz	24
Abbildung 16	Muster verschiedener Toner aus den Vorführungen	25

## Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

AP	Arbeitspaket
CKW	Chlorierte Kohlenwasserstoffe
CTG	Computer-to-Glass
KfZ	Kraftfahrzeug
LED	Lichtemittierende Dioden
OPC	Organic Photo Conductor (Bildtrommel)
VdD	Verband der Druckfarbenindustrie
VOC	Flüchtige organische Verbindungen

## Zusammenfassung

Der Siebdruck ist das heute übliche Verfahren zur Bedruckung großer Flächen oder zum Aufbringen strukturierter funktioneller Bereiche auf ebene Oberflächen. So werden beispielsweise im Bereich KFZ-Glas pro Jahr allein in Deutschland ca. 70 Mio m<sup>2</sup> Glas mit funktionellen Medien bedruckt. Dadurch werden Klebestellen vor UV-Einstrahlung geschützt oder die elektrischen Strukturen für die Scheibenheizungen hergestellt. Die üblicherweise verwendeten Farben besitzen dabei einen Lösemittelanteil von bis zu 60%. Ein großer Teil dieser Lösemittel verdunstet während des Druckvorganges. Weitere Lösemittelabfälle und große Mengen Abwasser fallen bei der Herstellung der Siebe und deren Reinigung während bzw. nach dem Bedrucken einzelner Fertigungslose an.

Ziel des Projekts „CTG - Computer to Glass“ ist die Entwicklung einer Druckmaschine zum Bedrucken großer, ebener Flächen durch ein lösemittelfreies, tonerbasiertes Druckverfahren. Dieses Druckverfahren soll am Beispiel der einfarbigen Glasbedruckung in den Bereichen Bau- und Architekturglas bzw. KFZ-Verglasungen entwickelt und demonstriert werden.

Dabei soll eine praxisrelevante Druckbreite von mindestens 1800mm erzielt werden. Um dieses Ziel zu erreichen haben wir zwei Projektphasen geplant. In der ersten Phase sollten die prinzipiellen Fragestellungen zur thermischen, mechanischen und steuerungstechnischen Auslegung an einer Druckmaschine mit maximal 300mm Druckbreite erarbeitet werden. In der zweiten Projektphase ist dann die Entwicklung einer Anlage mit 1800mm Druckbreite vorgesehen. Die mechanische Stabilität eines Druckkopfes, vor allem der Übertragungswalze, gegen Durchbiegung und Schwingung erscheint bei dieser Größe nicht mehr gegeben, so dass der parallele Betrieb mehrerer Kopfeinheiten geplant ist. Dazu müssen ein geeignetes mechanisches Trägersystem für die Druckköpfe, ein auf das thermische Verhalten des Gesamtsystems angepasstes Heizungskonzept und präzise Materialtransporteinheiten entwickelt werden.

Dieser Abschlussbericht betrifft die Phase I entlang folgender vier Arbeitspakete:

AP 1 – Konzeptions- und Vorentwicklungsphase

AP 2 – Konstruktion des Versuchsaufbaus und Voruntersuchung zur Heizungsrealisierung

AP 3 – Realisation des Gesamtaufbaus

AP 4 – Applikationstests Kantenbedruckung

Es wurde eine innovative Anlage zum lösungsmittelfreien Bedrucken von Glasflächen als Prototyp entwickelt und aufgebaut. Die technische Machbarkeit und damit die Möglichkeit zu einem wesentlichen Beitrag zur Umweltentlastung wurde nachgewiesen. Mit dieser Anlage besteht bereits die Möglichkeit, einige Kundenanforderungen zu erfüllen.

Während der Entwicklungsphase wurden neue Erkenntnisse zu diesem Verfahren und der Konstruktion der Anlage gewonnen.

Ein Teil dieser Erkenntnisse beinhaltet über die bisherigen Anwendungsmöglichkeiten hinausgehende Einsatzfälle (4-Farbdruck, besondere dekorative Oberflächen).

Es sind jedoch auch Probleme aufgetreten:

Um alle im Gesamtprojekt vorgesehenen Anwendungsfälle zu realisieren, sind noch eine Reihe von Aufgaben bezüglich Heizung, Kontamination, Opazität und Gleichmäßigkeit der Bedruckung zu lösen. Diese beziehen sich vorwiegend auf die Bereiche Druckkopf und Toner und erfordern noch zusätzliche FuE-Arbeit. Dafür ist die Kooperation mit Herstellern und Erfahrungsträgern dieser Technologien erforderlich. Die in Phase II geplante Entwicklung einer CTG-Anlage für Breiten bis 2500 mm sollte die Lösung der oben genannten Fragen beinhalten.

## Einleitung

Der Siebdruck ist das heute übliche Verfahren zur Bedruckung großer Flächen oder zum Aufbringen strukturierter funktioneller Bereiche auf ebene Oberflächen.

In Abbildung 1 ist der prinzipielle Ablauf des Siebdrucks von der Vorbereitung der Siebe über deren Einsatz und Reinigung bis hin zum Brennvorgang (der für bestimmte funktionelle Farben einzusetzen ist) dargestellt.

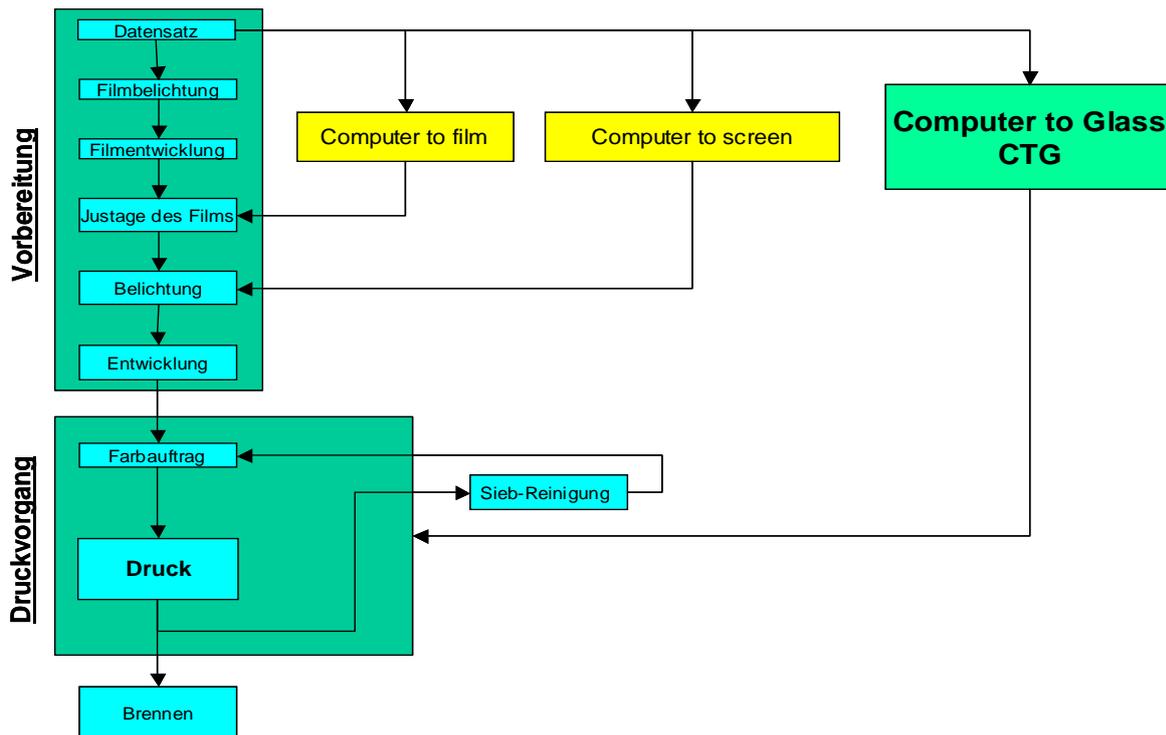


Abbildung 1: Siebdruck im Überblick

Dabei entstehen beim Druck selbst wie auch bei der Herstellung der Siebe und deren Reinigung große Mengen an Abwässern, Lösemittelabfällen und vor allem Lösemitteldämpfen. Vor allem letztere treten aus den in der Regel nicht gekapselten Maschinen direkt in die Umwelt aus und sind für den typischen „Geruch“ einer Druckerei verantwortlich. Diese sogenannte „diffuse Emission“ kann auch durch den Einsatz von Abluftanlagen nicht verhindert werden.

Die als relevant betrachteten flüchtigen organischen Verbindungen (Volatile Organic Compounds, VOC) gehören zur Stoffklasse der Kohlenwasserstoffe und besitzen einen Dampfdruck  $>0,1\text{mbar}$  bei  $20^\circ\text{C}$  oder einen Siedepunkt  $<240^\circ\text{C}$  [VOC]. In der Regel sind alle Lösemittel in Druckfarben des Siebdrucks nach dieser Definition als VOC anzusehen [VOC2]. Sie sind zum großen Teil als gesundheitsschädlich und / oder reizend einzustufen und können zu Schädigungen am zentralen Nervensystem, den Atmungsorganen, den Nieren, der Leber und der Haut führen. Weiterhin tragen VOC wie andere Kohlenwasserstoffe und Stickoxide zur Bildung von Ozon bei.

Im Jahr 2001 wurde eine Rohstoff-Ausschlussliste durch den Verband der Druckfarbenindustrie veröffentlicht, die die Verwendung folgender Substanzen verbietet [VdD]: Chlorbenzol, Dichlorbenzol, flüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) wie Trichlorethylen, Tetrachlorethylen (Perchlorethylen), Methylenechlorid (Dichlormethan), 2-

Ethoxyethanol, 2-Ethoxyethyl-Acetat, Methanol, 2-Methoxyethanol, 2-Methoxyethyl-Acetat und 2-Nitropropan.

Hingegen dürfen die in einer Untersuchung des Länderausschusses für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik genannten problematischen Chemikalien wie Cyclohexanon, Diacetonalkohol, 1-Methoxy-2-propanol, 1-Methoxypropylacetat-2 und Butylacetat ebenso weiterhin verwendet werden wie Ethanol, Ethylacetat, Toluol und Isopropanol [LASI], [VOC2].

Die VOC werden in verschiedenen Schritten des Druckvorgangs freigesetzt. Genaue Untersuchungen darüber, in welchen Schritten die Hauptemissionen zu verzeichnen sind, sind uns nicht bekannt. Wir gehen davon aus, dass die Hauptbelastung während des eigentlichen Druckvorgangs während der Farbverteilung und des Rakelns durch die große Verdunstungsfläche entsteht. Diese entspricht prinzipbedingt der Druckfläche, oftmals also mehreren Quadratmetern.

Das Institut Ökopol ermittelte in Kooperation mit dem Umweltbundesamt bereits im Jahr 1999 eine VOC-Gesamtemissionsmenge von ca. 2500t/a für den Bereich Siebdruck. Dabei weißt dieser Bereich die höchsten spezifischen VOC-Einsatzmengen und VOC-Emissionen aller Druckverfahren bezogen auf die verdruckte Farbmenge auf. Das Verhältnis zwischen Gesamt-Input und verdruckter Farbmenge ist mit annähernd 8:1 mehr als dreimal so hoch wie bei den anderen Druckverfahren. Auch können bislang keine verallgemeinerbaren mengenrelevanten Minderungsmöglichkeiten angegeben werden. Die Kosten für eine anwendungsspezifische Optimierung der Infrastruktur in den Druckereien und der Anlagentechnik liegen prinzipbedingt (einfacher Anlagenaufbau, geringe Losgrößen, oftmaliges Umrüsten, offene Farbflächen) sehr hoch. [Öko]

Allein im Bereich KFZ-Glas, einer der Hauptanwendungen unserer Siebdruckanlagen, werden pro Jahr in Deutschland ca. 70 Mio. m<sup>2</sup> Glasfläche mit funktionellen Schichten bedruckt. Diese dienen als Haftvermittler für die Klebetechnik, als Schutzschichten im Randbereich der Scheiben oder auch als elektrische Struktur für die Scheibenheizung. Während der Bedruckung einer Vorlage werden dabei in der Automobilindustrie 10g bis 30g Farbe verbraucht. Mit einem Lösemittelanteil von bis zu 60% und einem Druckvolumen von 50 Mio. Drucken / Jahr schätzen wir allein für diesen Bereich eine VOC-Emissionsmenge von 600 t in Form von Dämpfen ab.

In den letzten Jahren wurden durch uns und verschiedene andere Hersteller Verfahren erarbeitet, die den Verzicht auf einzelne Schritte bei der Herstellung der Siebe ermöglichen. So erlaubt das Computer-to-Screen-Verfahren den Verzicht auf die Filmbelichtung und -entwicklung durch die direkte Übertragung der Druckmuster auf das Sieb. Dadurch kann im Bereich der Siebvorbereitung bereits auf die bislang notwendigen Chemikalien verzichtet werden.

Ziel des unseres gesamten Projektes „CTG-Computer-to-Glass“ war die anlagen- und verfahrenstechnische Entwicklung eines tonerbasierten digitalen Druckverfahrens, durch das die Verwendung lösemittelhaltiger Farben und Reinigungsmittel im großflächigen Druck vermindert bzw. komplett vermieden werden kann.

Stattdessen soll beim CTG ein Toner verwendet werden, der aus einer Kunststoffmatrix mit farbgebenden Pigmenten und Glasflussteilchen besteht. Beim Übertrag auf die auf ca. 150°C zu erwärmende Druckgutoberfläche fixiert die Kunststoffmatrix durch Aufschmelzen das Druckbild. Der anschließend notwendige Brennvorgang bei Temperaturen oberhalb von 700°C führt zu einer thermischen Zersetzung des Kunststoffs. Dabei werden lediglich Wasser und Kohlendioxid in geringen Mengen frei. Es entstehen keine chlor- oder fluorhaltigen Komponenten. Gleichzeitig schmilzt der Glasanteil des Toners auf und verbindet sich mit der Oberfläche des Druckgutes.

In bestimmten Anwendungsbereichen ist der vollständige Ersatz des Siebdrucks durch CTG möglich. Allein in den bereits jetzt abzusehenden ersten Einsatzbereichen im Bereich der KFZ- und Architekturglasbedruckung rechnen wir mit einem Einsparpotenzial von einigen hundert Tonnen VOC pro Jahr.

Die Demonstration des Verfahrens war am Beispiel der Glasbedruckung vorgesehen. Darüber hinaus sollte untersucht werden, inwieweit die Anforderungen für andere Anwendungen erfüllt werden und welche neuen Einsatzbereiche erschlossen werden können.

Im Vorfeld des Projektes hatten wir Kontakt zur Firma SCHOTT aufgenommen, die die Grundlagen für eine neue Technologie zur Bedruckung großer Flächen mit keramischen Tonern entwickelt hat. Das Druckverfahren basiert, ähnlich dem Verfahren des Laserdrucks, auf der Erzeugung eines Zwischenbildes auf einer elektrisch geladenen Bildtrommel. Dieses Bild wird anschließend auf eine flexible Walze übertragen. Dadurch können harte und unebene Materialien, in unserem Fall Glas, bedruckt werden. Die Herstellung des Toners ist bereits im Labormaßstab kontinuierlich möglich. Auch die grundlegende Funktionsfähigkeit des Druckprinzips und die Funktion der dafür notwendigen Kopftechnologie konnte bereits nachgewiesen werden.

Ziel des gesamten Projektes „CTG-Computer-to-Glass“ war die Entwicklung einer Einfarbmaschine zur großflächigen Bedruckung von KFZ- bzw. Architekturglas durch das beschriebene tonerbasierte Druckverfahren. Dabei sollte eine praxisrelevante Druckbreite von mindestens 1800mm erzielt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, hatten wir zwei Projektphasen geplant.

In der ersten Phase (Entwicklung der funktionellen Prinzipien des CTG am Beispiel der Kantenbedruckung durch unstrukturierten Farbübertrag) sollten die prinzipiellen Fragestellungen zur thermischen, mechanischen und steuerungstechnischen Auslegung an einer Druckmaschine mit maximal 300mm Druckbreite erarbeitet werden. Darin waren folgende Arbeitspakete vorgesehen:

AP 1 – Konzeptions- und Vorentwicklungsphase

AP 2 – Konstruktion des Versuchsaufbaus und Voruntersuchung zur Heizungsrealisierung

AP 3 – Realisation des Gesamtaufbaus

AP 4 – Applikationstests Kantenbedruckung

Sofern alle Anforderungen erfüllt werden können, war der Abschluss der Phase 1 des Projektes nach Arbeitspaket 4 mit Erfüllung des Meilensteines „Nachweis der Kantenbedruckung durch unstrukturierten Farbübertrag mittels CTG“ vorgesehen.

In der zweiten Projektphase sollte dann die Entwicklung einer Anlage mit 1800mm Druckbreite folgen. Die mechanische Stabilität eines Druckkopfes, vor allem der Übertragungswalze, gegen Durchbiegung und Schwingung erscheint bei dieser Größe nicht mehr gegeben, so dass der parallele Betrieb mehrerer Kopfeinheiten geplant ist. Dazu müssen ein geeignetes mechanisches Trägersystem für die Druckköpfe, ein auf das thermische Verhalten des Gesamtsystems angepasstes Heizungskonzept und präzise Materialtransporteinheiten entwickelt werden.

Dieser Abschlussbericht bezieht sich auf die erste Phase des Projektes. Die Ergebnisse der ersten Phase haben neue Erkenntnisse gebracht, welche zusätzliche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig und eine Korrektur der Arbeitspakete der zweiten Phase erforderlich machen.

## Hauptteil

### ***Arbeitsschritte, angewandte Methoden und erzielte Ergebnisse***

#### AP 1 – Konzeptions- und Vorentwicklungsphase

In diesem ersten Arbeitspaket wurden die Anfangsspezifikationen und Randbedingungen zur Entwicklung des CTG definiert.

Als Maschinenkonzept wurde ein Vollautomat mit vollautomatischer Druckgutpositionierung vorgesehen. Dieser Aufbau bringt analog zu vollautomatischen Siebdruckmaschinen mehrere Vorteile bezüglich Arbeitssicherheit, besonders für Materialien mit hohen Temperaturen sowie bezüglich Sauberkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und Möglichkeiten der Einflussnahme auf die technologischen Parameter über die Steuersoftware. Der Aufbau wurde für eine der Breite des Druckkopfes (914 mm) entsprechenden maximalen Breite des zu bedruckenden Glases von 900 mm und für eine Länge von 2 m ausgelegt. Die Druckgeschwindigkeit sollte 3 - 5 m/s betragen. Damit konnten später auch reale Anforderungen der Kunden zu einem großen Teil abgedeckt werden.

Bezüglich der erzielbaren Schichtdicken wurde ein Maß von 8 - 12  $\mu\text{m}$  (nach Einbrennvorgang 6  $\mu\text{m}$ ) als Ziel gesetzt, um auch Anforderungen bezüglich der optischen Dichte der Bedruckung erfüllen zu können.

Für die Erwärmung des Glases auf ca. 140 °C wurde eine erforderliche Leistung von 14 kW ermittelt, welche über eine parallel zum Druckkopf fahrende Heizung in das Glas eingebracht werden muss. Als Heizungsvarianten wurden folgende betrachtet:

- elektrisch oder gasbetriebene IR-Strahler
- gasbetriebene Metallfaserstrahler
- Wärmematten

Unter diesen getesteten Varianten erfüllten nur die Metallfaserstrahler alle Anforderungen bezüglich Temperatur, Gleichmäßigkeit und Aufwärmgeschwindigkeit.

Für den Heiztisch wurde eine Lösung bestehend aus CNC-bearbeiteten Schamottsteinen gewählt, welche eine optimale Kombination aus Temperaturbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit zur Erzielung eines sehr gleichmäßigen Temperaturfeldes und eine hohe Verzugsfreiheit bieten. Zur Erzielung der notwendigen Sauberkeit wurden diese Schamottsteine zusätzlich glasiert. Für spätere Konstruktionen des Heiztisches könnten möglicherweise auch weniger aufwändige Konstruktionen geprüft werden.

Für den Antrieb konnten übliche Varianten zum Einsatz kommen, welche im Verlaufe der Tests jedoch bezüglich der Synchronisation optimiert werden mussten.

Die Anforderungen des AP 1 wurden vollständig abgearbeitet.

#### AP 2 – Konstruktion des Versuchsaufbaus und Voruntersuchung zur Heizungsrealisierung

Die durchgeführten Versuche zur Heizung ergaben, dass die erforderliche Energiedichte zur Aufheizung der Glasplatten für die geforderte Druckgeschwindigkeit von 3-5 m/s bei 450 kW/m<sup>2</sup> liegen muss. Da Metallbandstrahler und IR-Röhrenstrahler nur maximal 160 kW/m<sup>2</sup> ermöglichen, wurden gasbeheizte Metallfaserstrahler ausgewählt, welche später auch im Betrieb die Anforderungen bezüglich der Aufheiz- und Abkühlvorgänge, der erzielbaren

Aufheizzeiten und der damit verbundenen erzielbaren Druckgeschwindigkeiten sowie des Wärmeeintrags in das Druckkopfmodul erfüllen.

Ein in Betracht gezogenes Kühlsystem wurde für den Versuchsaufbau nicht notwendig, da dieses lediglich eine Verkürzung der Taktzeiten der Anlage ermöglichen würde. Für einen späteren industriellen Einsatz ist ein entsprechendes Kühlsystem zum Erzielen wirtschaftlicher Taktzeiten jedoch erforderlich.

Im Versuchsaufbau wurde ebenfalls auf ein Abluftsystem verzichtet. In Abhängigkeit von der Heizungsart einer später aufzubauenden größeren Maschine mit höherer Leistung kann jedoch der Einsatz eines Abluftsystems notwendig werden.

Das Steuerungskonzept für den Antrieb des Druckkopfes und der Heizung wurde selbst entwickelt.

Die Inhalte des AP 2 wurden vollständig abgearbeitet. Abbildung 2 zeigt eine Prinzipskizze des Aufbaus.

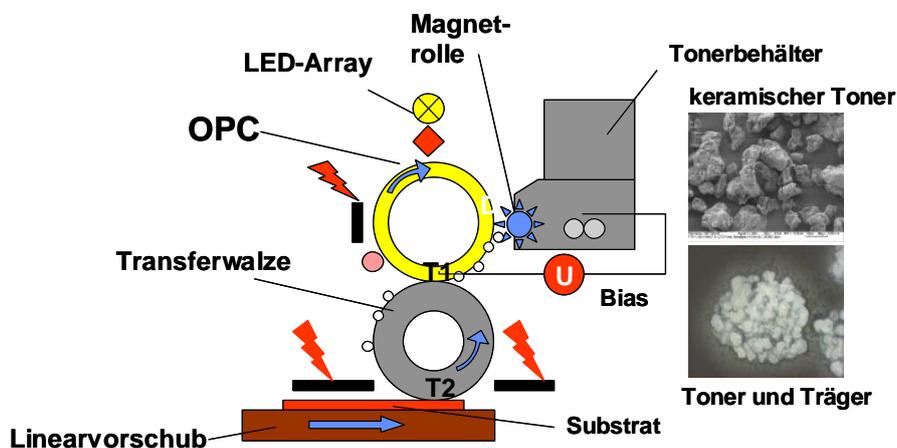


Abbildung 2: Prinzipskizze zur Bilderzeugung und -übertragung beim CTG-Verfahren

### AP 3 – Realisation des Gesamtaufbaus

Auf der Basis der vorangegangenen Arbeitspakete wurden die Maschinenelemente hergestellt und bei geeigneten Zulieferern angefordert. Parallel dazu wurde ein geeignetes Steuerungskonzept ausgearbeitet, das Heizung, Druckkopf und Antrieb für den Materialtransport umfasst. Nach der Montage der einzelnen Systemmodule zum Gesamtkonzept wurden diese in ihrem Zusammenspiel untersucht und angepasst. Die Optimierung des Systemverhaltens war maßgebend für eine aussagekräftige Durchführung der Applikationstests im anschließenden Arbeitspaket 4.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen den fertig aufgebauten Prototyp.



Abbildung 3: Gesamtansicht des CTG Prototypen



Abbildung 4: Ansicht der Verfahrenseinheit mit integrierter Heizung und Druckkopf

Im Ergebnis der ersten Tests ergaben sich folgende Hinweise, welche bei späteren Konstruktionen berücksichtigt werden sollten:

- Verminderung der elektrostatischen Sprühverluste durch konsequentes Einhalten von Minimalabständen zwischen Transportwalze und metallischen Teilen der Anlage.
- Vorsehen einer Messeinrichtung zur Kontrolle der Ladungsverteilung.
- Einsetzen von moderneren Belichterleisten
- Änderung des Heizkonzeptes, da die partielle Heizung zu bleibenden Deformationen der Glasplatten führt.

Für die weiteren Tests wurde die Aufheizung der Glasplatten in einem anderen Ofen durchgeführt. Nach dem Aufheizen wurden die Glasplatten in die Anlage zum Bedrucken eingelegt, wobei neue Anforderungen bezüglich des Einhaltens des geforderten Temperaturfensters (140 °C +/- 3 °C) zu beachten waren.

Die Inhalte des AP 3 wurden vollständig abgearbeitet. Die bei der Optimierung des Systemverhaltens sichtbar gewordenen Probleme und deren Lösung führten zu dem erwarteten erheblichen Aufwand in dieser Phase. Dabei bleibt aber auch noch weitere Optimierungsarbeit zu leisten. Dies soll im Kapitel „Diskussion der Ergebnisse“ ausführlich dargestellt werden.

#### AP 4 – Applikationstests Kantenbedruckung

Nach der Integration der einzelnen Systemmodule zum Gesamtsystem mussten dessen Grundfunktionen überprüft werden. Dies betraf insbesondere den Farbübertrag vom Druckkopf auf das zu bedruckende Material, der hauptsächlich durch das Zusammenspiel zwischen Heizung und Materialtransport bestimmt wird. Von besonderer Bedeutung dabei war das Aufheizverhalten und die Wärmeverteilung im System. Um eine breite Anwendung des Druckverfahrens sicherzustellen, wurden detaillierte Untersuchungen mittels Infrarot- bzw. Wärmebildkameras einbezogen.

Darüber hinaus erfolgte die Untersuchung und Optimierung der Parameter, die im Pflichtenheft festgelegt sind.

In den Abbildungen 5-7 sind einige mit dem CTG-Verfahren bedruckte Muster zu sehen.

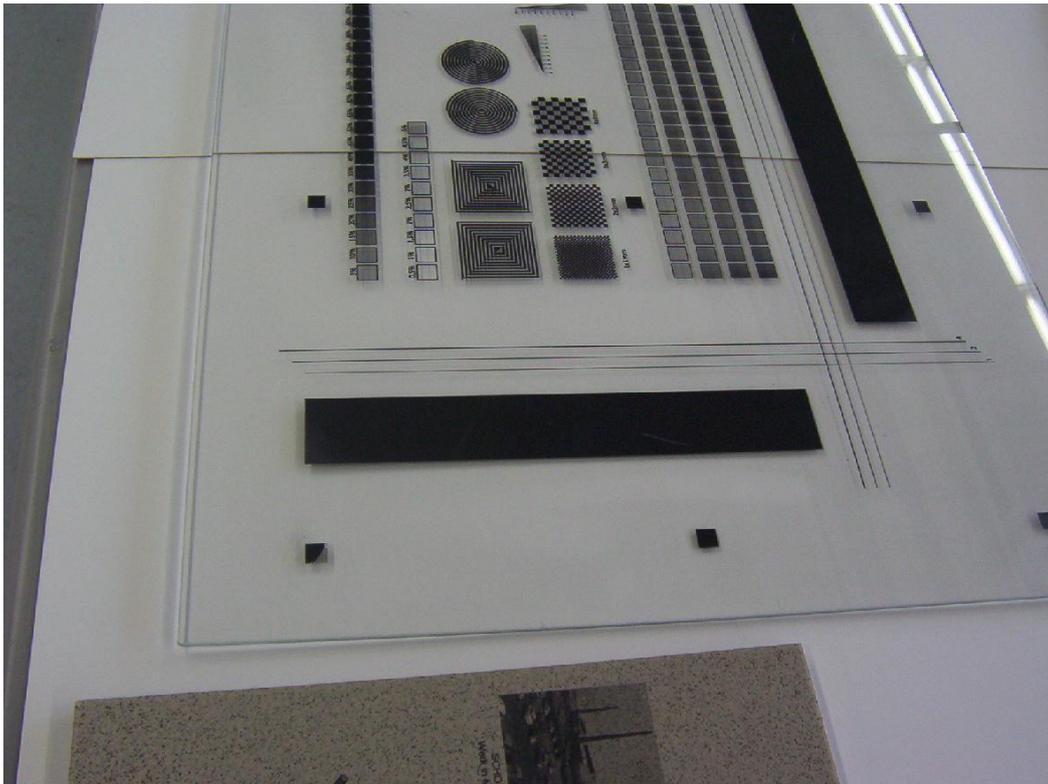


Abbildung 5: Testmotiv mit keramischem Toner – Raster und Flächen auf Glas



Abbildung 6: Duroplastischer Toner auf Glas , Blech und VA-Material



**Abbildung 7: Mit keramischem Toner bedruckte Fliese**

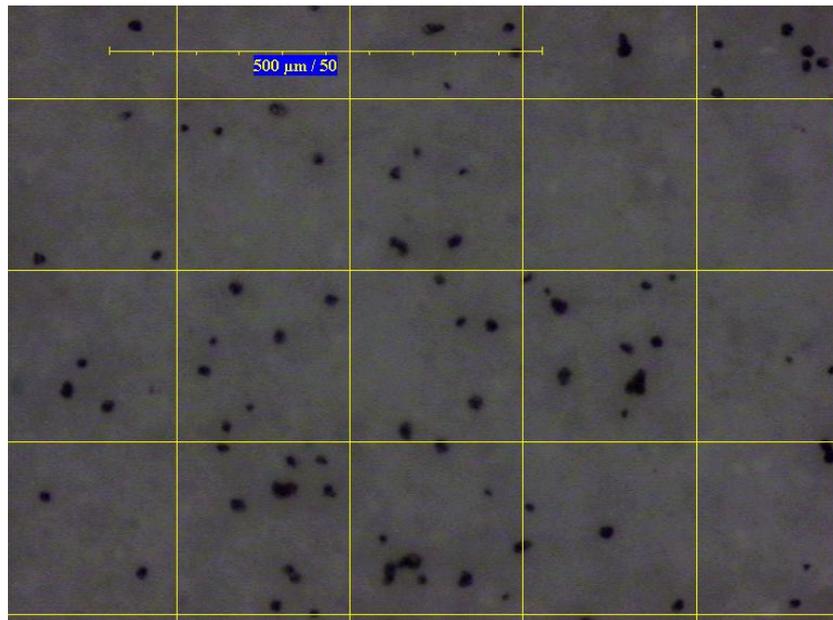
Der Prototyp wurde auf der Messe Glastec 2004 dem Fachpublikum vorgestellt und rief erhebliches Interesse hervor. Von etwa 50 potenziellen Kunden wurde ein sehr positives Feedback gegeben. Dabei wurden auch neue unerwartete Marktpotenziale aufgedeckt, wie z.B. dekorative Anwendungen „Sandstrahlimitat“ und „Ätzimitat“. Mit etwa 10 potenziellen Kunden wurden weiterführende Tests durchgeführt.

Überraschend war auch die Eignung der Anlage für den 4-Farbendruck. Die Wiederholgenauigkeit der Anlage ist dafür vollkommen ausreichend.

Diese Erfolge lassen es als real erscheinen, auch bereits erste kleine Kundenaufträge mit der Anlage auszuführen.

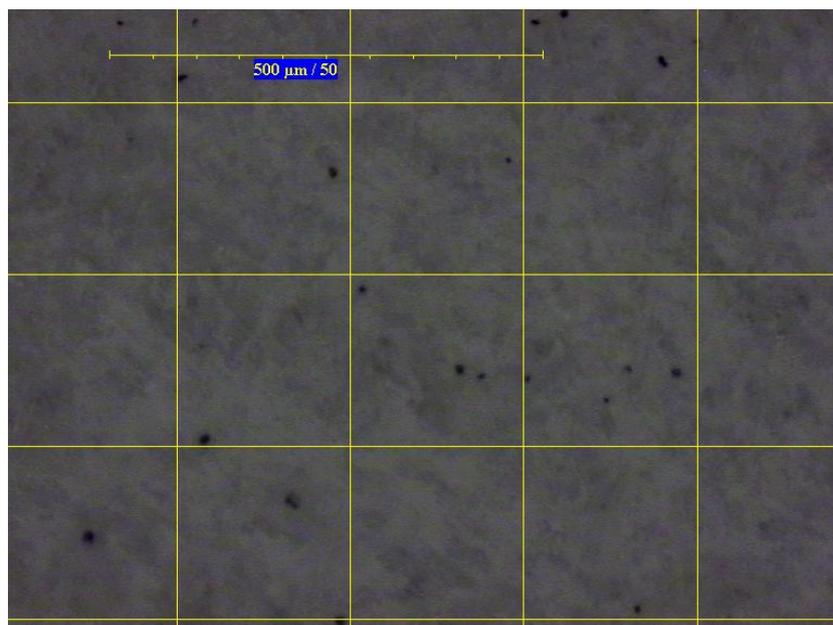
Die zahlreichen, weit über den geplanten Umfang hinausgegangenen Versuche haben aber auch Schwachstellen aufgezeigt.

Ein Problem ist die Kontamination von eigentlich unbedruckten Bereichen der Platten mit Tonerresten, siehe Abbildung 8.



**Abbildung 8: Kontamination einer im CTG-Verfahren bedruckten Fliese**

Dieser Effekt tritt auch bei Laserdruckern für Papier auf, allerdings in wesentlich geringerem Ausmaß, siehe Abbildung 9.



**Abbildung 9: Kontamination von mit Laserdrucker bedrucktem Papier**

Diese Verunreinigungen waren im Vergleich zum Papierdruck etwa 2 – 4mal höher. Wenn beim 4-Farbdruck diese Kontaminationen das Endprodukt nicht beeinträchtigen, ist jedoch die Qualität beim Schwarz-Weiß-Druck und bei funktionellen Bedruckungen (leitfähige Oberflächen, z.B. für die Automobilindustrie) unzureichend. Mögliche Lösungsansätze bieten sich im Bereich des Druckkopfes und des verwendeten Toners. Hier sind noch weitere Recherchen und Entwicklungen in Zusammenarbeit mit verschiedenen Herstellern von Druckköpfen und Tonern notwendig.

Ein weiteres Problem betrifft die mit dem Prototyp erreichbare optische Dichte der Bedruckung. Die für einige Anwendungsfälle in der Automobilindustrie geforderte UV-

Transmission von  $< 0,1 \%$  wird derzeit nur durch 3-faches Überdrucken erreicht. Der Grund dafür liegt in der geringeren Größentoleranz der Farbteilchen (im herkömmlichen Siebdruck ist die Größentoleranz der Farbteilchen und damit die optische Dichte höher). Damit wird die optische Dichte (Opazität) des Toners geringer. Die Dicke des Tonerauftrages ist durch das Verfahren begrenzt.

Weiterhin erwies sich der vermeintlich einfache Anwendungsfall einer gleichmäßigen Bedruckung mit geringen Schichtdickentoleranzen als problematisch. Gerade bei unstrukturierten, glatten einfarbigen Oberflächen sind Auswirkungen der Konstruktion des Druckkopfes und dessen Synchronisation mit dem Antrieb sichtbar. Die Gründe dafür liegen zum Beispiel in der Anordnung der LED's in der Belichterleiste (siehe auch AP 3), der Synchronisation des Antriebes, der physikalisch bedingten schnelleren Abkühlung der Glasplatten im Randbereich und dem Tonermaterial. So schwankt zum Beispiel die Dichte der unterschiedlichen Tonermaterialien zwischen  $1$  und  $9 \text{ g/cm}^3$ .

Bei Bedruckungen, welche anschließend einer Wärmebehandlung (bis ca.  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ ) unterzogen werden, trat ein Aufreißen der Oberfläche auf. Der Grund dafür liegt im Verdampfen von Komponenten des Toners.

Die Kombination der oben genannten Probleme (Kontamination, Opazität, Gleichmäßigkeit) führte dazu, dass der vorher als relativ einfach eingeschätzte und als Meilenstein vorgesehene Anwendungsfall „Nachweis der Kantenbedruckung durch unstrukturierten Farbübertrag“ zum jetzigen Zeitpunkt nicht befriedigend gelöst werden kann.

## ***Diskussion der Ergebnisse***

Das Ziel „Erstellen eines Prototyps und Test des CTG-Verfahrens“ wurde erreicht. Zusätzlich wurden weit über den geplanten Umfang hinausgehende Versuche durchgeführt und unerwartete Anwendungsmöglichkeiten eröffnet. Im Detail sind aber auch einige Probleme aufgetreten.

Während der Entwicklung, des Aufbaus und des Tests des Prototyps wurden Erkenntnisse gewonnen, die wesentlich für die Entwicklung einer größeren Druckmaschine sind. Diese Erkenntnisse beziehen sich vorwiegend auf die Themen Heizung, Synchronisation des Antriebes und die Einbindung von zusätzlichen Messsystemen und sind in den AP 2 und 3 beschrieben.

Die in den AP 3 und 4 beschriebenen Ergebnisse der Versuche zeigen zum einen Probleme bezüglich Kontamination, Opazität, Gleichmäßigkeit und weiteren technologischen Behandlungen. Zu diesen Problemen wurden zusätzliche umfangreiche Tests durchgeführt. Lösungsansätze ergeben sich zum einen in der Optimierung der technologischen Parameter (Temperatur und Geschwindigkeit). Zum anderen hat sich gezeigt, dass der Einfluss der Zusammensetzung des Toners einen wesentlichen Einfluss auf das Endergebnis hat.

Die aufgetretenen Probleme sollen wegen des daraus resultierenden Handlungsbedarfes nun ausführlich dargestellt werden:

### **1. Problem Teilziel Heizung:**

Ziel war eine Systemkomponente, die erlaubt integriert in der Maschine selbst die Voraussetzungen für den Transfer des Toners auf die Materialoberfläche zu schaffen. Hierzu ist es aufgrund des Toneraufbaus erforderlich, eine Temperatur auf der Materialoberfläche von ca.  $140 \text{ }^\circ\text{C}$  zu erreichen. Aufgrund der geplanten Druckgeschwindigkeit zwischen  $2$  und  $5 \text{ m/min}$ . wird eine entsprechend schnelle Aufheizung der Materialoberfläche gefordert. Hieraus sind im Wesentlichen drei Problempunkte zu betrachten:

- Zum einen muss der sog. Drucktisch von der Materialbeschaffenheit so ausgestaltet sein, dass entsprechend hohe Temperaturen ohne negative Einflüsse auf die Ebenheit der Drucktischauflage aufgebracht werden können.
- Zum anderen muss das Transportsystem, welches im Drucktisch integriert ist, ebenfalls mit dem hohen Temperatureintrag in das darauf liegende Material zurecht kommen.
- Die Heizung selbst muss entsprechend leistungsmäßig so ausgelegt sein, dass in dem sehr kurzen zur Verfügung stehenden Zeitfenster (Abfahrgeschwindigkeiten zwischen 2 – 5 m) das Material auf die entsprechende Transfertemperatur von 140 °C an der Oberfläche erwärmt werden kann.

Zur Auswahl der entsprechenden Heizungsquelle wurden unterschiedliche Systeme untersucht. Letztlich haben wir festgestellt, dass ein gasbetriebenes System mit Metallfaserstrahlern den Energieeintrag am effektivsten erreichen kann. Das gesamte Heizsystem wurde ausgehend von einer zentralen externen Gasversorgung derart in die Maschine integriert, dass eine entsprechende Trennung zwischen Heizbereich und Druckkopfbereich sicher gestellt ist. Die Strahler selbst haben eine Brenntemperatur von ca. 900 °C, wobei dies so abgeschottet und isoliert sein muss, dass der Druckkopf keine höheren Temperaturen als maximal 40 – 50 °C abbekommt. Als mögliche Regelparameter für das Aufheizen der Druckoberfläche kamen folgende Parameter in Betracht:

- Leistung der Heizstrahler selbst, regelbar über die entsprechende Gaszufuhr
- Abstand der Heizstrahler zum Druckgut
- Abfahrgeschwindigkeit entsprechend Druckgeschwindigkeit, mit welcher die Heizung über das auf dem Drucktisch liegende Druckgut geführt wird



Abbildung 10: Gasheizung- Ansicht von oben – dem Druckkopf vorgelagert



Abbildung 11: Energiezuführung der integrierten Heizung am Druckkopf



Abbildung 12: Detail der Gasheizung von oben gesehen

Durch diesen Aufbau konnte festgestellt werden, dass bei den entsprechend vorgegebenen Geschwindigkeiten zwischen 2 – 5 m/min. die Temperatur auf der Druckgutoberfläche erreicht werden kann. Dies hat jedoch zur Folge, dass bedingt durch das einseitige Erhitzen der Glasoberflächen, nämlich von oben, entsprechend Spannungen in der Glasplatte entstehen, welche dazu führen, dass sich die Glasplatte um mehrere Millimeter dreidimensional nach oben wölbt. Da der Grundgedanke des Konzeptes darauf basiert, das Aufheizen und das Drucken zeitgleich in einer möglichst engen zeitlichen Folge ablaufen zu lassen, ist eine entsprechend plane Oberfläche als Voraussetzung unabdingbar. Aufgrund der entsprechenden Wölbung ist demnach eine direkte Bedruckung im angedachten Konzept nicht erfolgreich durchführbar gewesen.

Diesem Problem sind wir in der Art begegnet, dass wir vor dem Einlauf der Glasscheiben auf die Druckstation für ein homogenes Aufheizen der gesamten Glasplatte gesorgt haben, um sicher zu stellen, dass die Platte durchgewärmt ist und somit zum Zeitpunkt des Bedruckens eine ebene Oberfläche aufweist. Hierzu war es erforderlich wiederum eine separate Heizquelle vor der Testmaschine aufzubauen. Es wurde ein Durchlauftrockner verwendet, welcher in der Lage ist, Glasplatten auf Temperaturen bis max. 200 °C zu erhitzen. Im Rahmen dieser Versuche mit dem Erwärmen der Scheiben wurden auch Untersuchungen durchgeführt bezüglich der optimierten Transfertemperatur, um ein bestmögliches Auslösen des Toners von der Transferwalze auf den Bedruckstoff Glas sicher zu stellen.



**Abbildung 13: separater Durchlaufofen zum vorheizen der Glasplatten**

Eine wesentliche weitere Besonderheit dieser Aufheizversuche, bedingt dadurch dass die Aufheizung nun außerhalb der Druckmaschine erfolgt, besteht darin, dass wir mit einem über die Transfertemperatur überproportional hoch geheizten Glas in die Druckmaschine einfahren, innerhalb der Druckmaschine die richtige Transfertemperatur abwarten müssen und dann den Druckvorgang starten. Bei entsprechend großen Glasscheiben, z.B. Drucklänge 2 m, führt dies dazu, dass die optimale Transfertemperatur zum Zeitpunkt des Druckstarts gegeben ist, allerdings dann nach Ablauf von einigen Sekunden z.B. bei Druckgeschwindigkeit von 3 m/min. die Scheibentemperatur am Druckende, also bei Erreichen des Scheibenendes von 2 m, die Transfertemperatur zwischenzeitlich abgesunken ist und dies zu negativen Einflüssen bei der Tonerübertragung führt.

Eine weitere Feststellung und ein Ergebnis aus den Aufheizversuchen ist, dass zu beobachten war, dass im Kantenbereich ein vorzeitiges Auskühlen des Glases erfolgt, nämlich immer von außen nach innen. Wenn nun dadurch die Scheibentemperatur im Außenbereich zu weit absinkt und bis zu den Kanten gedrückt werden soll, entsteht hieraus ebenfalls ein Problem mit der Übertragung des Toners, bedingt durch unterschiedliche Scheibentemperatur, also abweichende Transfertemperatur.

Dies führt im Wesentlichen zu folgender Bewertung:

Scheiben die eine gewisse Größe nicht überschreiten, können zeitlich so schnell bedruckt werden, dass ein vorzeitiges Abkühlen der Scheibenkante nicht zu wesentlichen Problemen führt, ebenso bezogen auf die Scheibenlänge entsprechend der Drucklänge. Eine Scheibe von max. 2 m kann auch im vorbeheizten Zustand noch mit vertretbaren Ergebnissen bedruckt werden. Ziel des Gesamtprojektes war es jedoch u.a. zu einer Großformatmaschine zu kommen mit Drucklängen bis 5-6 m, Arbeitsbreiten bis zu 2,5 m. Unter den vorgenannt beschriebenen Voraussetzungen ist ein Erreichen dieser Druckgeschwindigkeiten bei den entsprechenden Transfertemperaturen sowie bei einer vermutlich erforderlichen vorgeheizten Scheibe nicht mehr erreichbar. Es muss untersucht werden, ob durch entsprechende Modifizierung der Toner eine wesentlich geringere Transfertemperatur erreicht werden kann. Dies würde es u.U. ermöglichen, mit der integrierten Heizung (also entsprechend dem Ursprungsziel) bei geringerem Energieeintrag eventuell doch noch einen Transfer zu erreichen, aufgrund dessen, dass bei geringeren Transfertemperaturen eventuell die Verformung des Glases innerhalb des benötigten Zeitfensters noch nicht stattfindet.

Als positives Ergebnis hat sich herausgestellt, dass die vorab ausgewählte Drucktischunterlage, bestehend aus Schamottplatten, sowie das integrierte Transportsystem sich als geeignet herausgestellt haben, um ein Maschinenkonzept auch auf Basis von integrierter mitlaufender Heizung zu überstehen.

Zum Thema der Untersuchung einer möglichen Aufheizquelle wurden im Vorfeld noch weitere Versuche durchgeführt. Ausgehend von der Erstvariante, eine Lösung zu suchen über Metallbandstrahler, wurden weitere Versuche mit Heraeus im dortigen Labor durchgeführt. Unsere ursprüngliche Intention war, über entsprechende IR-Strahler, welche von ihrem Spektrum geeignet konzipiert sind, das Aufheizen der Glasoberfläche zu erreichen. Hierzu wurden im Technikum der Firma Heraeus entsprechende Versuchsaufbauten realisiert und umfangreiche Testreihen gefahren. Ziel dieser Testreihen war es, im Wesentlichen ein geeignetes IR-Lampensystem ausfindig zu machen und die Energiemenge festzustellen, welche notwendig ist, um die benötigte Prozesstemperatur in kürzester Zeit zu erreichen. Nach mehreren Versuchstagen war klar, dass lediglich die leistungsstärksten Lampensysteme zum Einsatz kommen können und diese in einer maximalen Packungsdichte entsprechend aufgebaut sein müssen. Aufgrund der ermittelten Ergebnisse kam jedoch selbst in dieser Konstellation ein Aufbau zu Stande, welcher in den entsprechenden Abmessungen als zu groß erschien, um integraler Bestandteil der gesamten Maschine zu sein. Um z.B. einen Energieeintrag zu erreichen, welcher vergleichbar ist mit den zwischenzeitlich realisierten Metallfaserstrahlern, wäre eine entsprechende Aufheizfläche von mehr als 1 m erforderlich gewesen (im Vergleich hierzu beträgt die Aufheizfläche für die realisierten Metallfaserstrahler lediglich 300 - 400 mm).

Weiteres Thema war selbstverständlich auch der Energieeintrag, also die Energiekosten. Bei den entsprechend hohen Leistungen, welche benötigt werden, schien das Überprüfen einer gasbeheizten Lösung sinnvoll. Nach Kontaktaufnahme mit mehreren möglichen Lieferanten sind wir auf die Firma GoGas gestoßen, welche spezialisiert ist auf das schnelle Aufheizen von Materialien im Industriebereich. Es wurden in der Folge unterschiedliche Strahler von GoGas an Thieme zur Verfügung gestellt, um ebenfalls erste Tests auf improvisierte Weise zu fahren. Beispiel hierzu war z.B. ein keramische Porenstrahler, welche in der Leistung noch höher anzusiedeln sind als die jetzt verwendeten Metallfaserstrahler, allerdings mit dem

Nachteil, dass sich Partikel aus der Heizfläche lösen können, welche dann eine Kontaminierung der Druckgutoberfläche nach sich ziehen und somit störend sind. Es wurde bei den Vorversuchen festgestellt, dass der Energieeintrag in der benötigten kurzen Zeit mit diesen gasbeheizten Strahlern am ehesten realisiert werden kann. Wir haben uns dann für einen Mittelweg entschieden, nämlich die Metallfaserstrahler. Dies auch deshalb, weil diese einen Regelbereich haben, der am ehesten geeignet ist, unsere Ansprüche bezogen auf die Voruntersuchungen zu erfüllen. Im ersten Schritt wurde dann über die gesamte Arbeitsbreite der Testmaschine die Gasheizung in die Maschine integriert, was uns erstmalig erlaubt hat, kontinuierliche Aufheizversuche und Transferversuche zu fahren. Nach umfangreichen Tests war klar, dass die Heizung nochmals umgebaut und erweitert werden muss, um einen noch schnelleren Energieeintrag zu realisieren. Das Umsetzen dieses zweiten Schrittes entspricht dem aktuellen Stand der Testmaschine heute.

Ein weiterer wichtiger Hinweis zur Testmaschine besteht darin, dass aufgrund der Problematik wie vorgenannt beschrieben, ein Aufheizen außerhalb der Druckstation erforderlich ist. Es war notwendig die Maschine so zu gestalten, dass eine automatische Scheibenpositionierung und Ausrichtung von der Maschine sicher gestellt wird, da eine bereits zuvor aufgeheizte Glasplatte manuell nicht mehr sinnvoll positioniert werden kann.

Als Resümée zum Thema Thermotransfer kann folgendes vermerkt werden:

Sollte es gelingen, die Transfertemperatur durch Änderung der Tonermatrix zu reduzieren, eröffnen sich neue Möglichkeiten, die integrierte Heizung zusammen mit dem Druckkopf auf Funktion zu testen. Insbesondere wäre zu erwarten, dass die Thematik des Auskühlens der Oberfläche reduziert wird und dadurch bessere Verhältnisse entstehen, bezogen auf die mögliche Druckbreite sowie auch die mögliche Drucklänge. Durch die geringere erforderliche Transfertemperatur besteht eventuell die Möglichkeit, die Verformung der Glasoberfläche so weit zu reduzieren, dass eine direkte anschließende Bedruckung möglich wird.

## **2. Problem Kontamination**

Ein weiteres Problem, welches im Zusammenhang mit dem Entwicklungsprototyp festgestellt wurde, ist die Kontamination. Für den Betrachter stellt sich das Problem so dar, dass außerhalb des eigentlichen Druckmotivs eine Art Sprühnebel auf der Materialoberfläche abgebildet ist. Verantwortlich für diese Kontamination sind im Wesentlichen zwei Problemkreise:

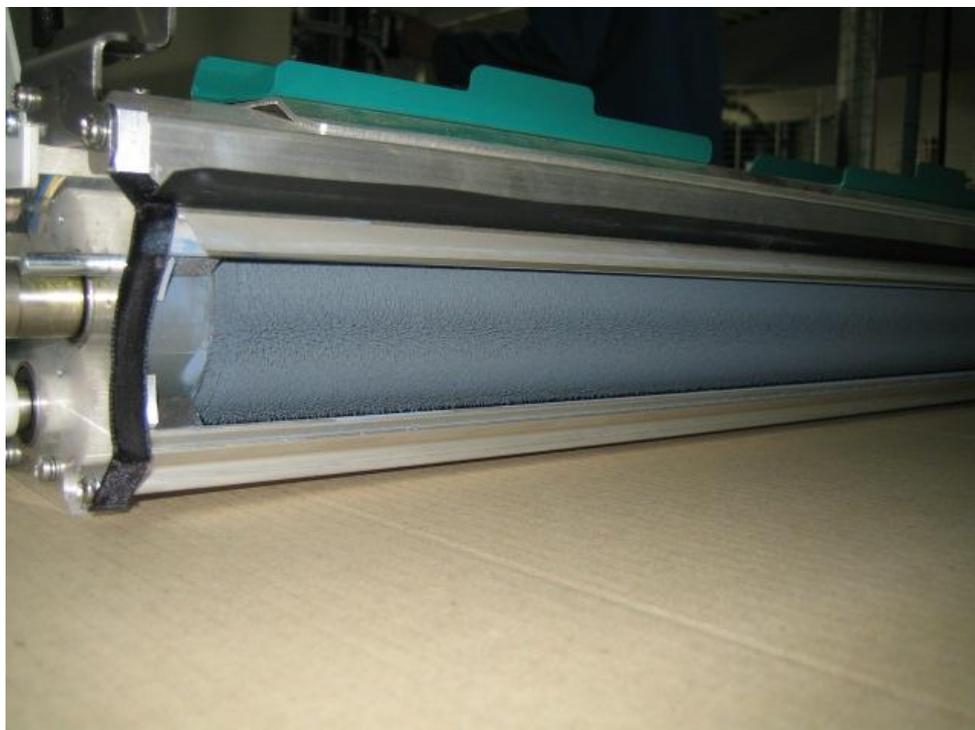
Zum einen betrifft dies wiederum die Toner selbst. Bei der Herstellung der Toner müssen diese so hergestellt werden, dass eine entsprechende Ladung der Tonerteilchen gegeben ist. Bedingt durch die unterschiedliche Größe der Tonerteilchen sowie durch die entsprechenden Zusatzstoffe bei der Tonerherstellung kann mitbestimmt werden, inwieweit der Toner, welcher dann in der Maschine mechanisch in Bewegung ist, zum „Stäuben“ führt. Vorzustellen wäre dies in der Art, dass wenn der Toner auf der entsprechenden Magnetwalze, welche Bestandteil der gesamten Entwicklerbox ist, bereitgestellt wird, eine Art Tonerpelz generiert wird, welcher rotativ bewegt wird. Durch die entsprechenden Fliehkräfte, abhängig von der entsprechenden Rotationsgeschwindigkeit, kann es zu einem Stäuben der Toner kommen. Dieser Staub kann sich potentiell auf der Druckoberfläche niederschlagen und somit zu dieser Kontamination führen. Dies ist jedoch lediglich einer der möglichen Parameter.

Darüber hinaus gehen wir davon aus, dass auch der mechanische Gesamtaufbau des Druckkopfes in der räumlichen Anordnung zusammen mit der entsprechenden Entwicklerstation bei der Problemstellung Kontamination eine Rolle spielt. Durch die entsprechende Anordnung der Komponenten kann vermutet werden, dass zum einen durch das Stäuben des Toners sowie auch durch eventuell abfallende Teilchen die Kontamination der Druckoberfläche entsteht. Im unteren Bereich, also unterhalb der Entwicklerbox mechanisch angeordnet befindet sich eine Reinigungseinheit. Diese Reinigungseinheit ist dafür zuständig eventuelle Tonerrückstände von der Transferwalze zu entfernen. Auch

bedingt durch diese Einheit besteht eine potentielle Gefahrenquelle, Tonerteilchen unbeabsichtigt auf die Druckoberfläche zu bekommen.



**Abbildung 14: Druckkopf mit Entwicklerstation und Reinigungseinheit**



**Abbildung 15: Entwicklerbox mit Tonerpelz**

Die Ansatzpunkte welche sich bieten, um dem Problem auf Basis der vorhandenen Maschine zu begegnen, bestehen darin, zum einen den Toner so zu gestalten, dass dieser weniger stäubt auch bei entsprechender Einwirkung von Fliehkraft. Des Weiteren besteht die

Möglichkeit, die Komponenten (Entwicklungsbox sowie Reinigungseinheit) geometrisch in der Art anzuordnen, dass eventuelle herunterfallende Tonerteilchen nicht mehr mit der Glasoberfläche in Berührung kommen können. Stichworte Schutzbleche, Abdeckungen oder eben grundsätzlich neue Anordnung der Funktionskomponenten (Ausnutzung der Schwerkraft).

Darüber hinaus gehen wir davon aus, dass sich Möglichkeiten bieten, durch Unterdruck ein Absaugen zu ermöglichen oder Tonerstaub in eine gewünschte Richtung lenken zu können, also weg von der Materialoberfläche. Wenn wir über diese Art von Kontamination sprechen, so ist dies ein weitläufiger Begriff. Auch bei herkömmlichen Technologien von elektrophotografischen Druckmaschinen (Kopierern), ist es der Fall, dass die Druckoberfläche zumindest teilweise mit Toner kontaminiert ist. Es muss demnach eine entsprechend erträgliche Schwelle identifiziert werden, welche für die angedachten Applikationen noch akzeptabel ist. Dies ist ein Arbeitspaket, welches gemeinsam mit potentiellen Anwendern abgearbeitet werden muss. Die Kontamination selbst kann sich so stark äußern, dass optisch visuell eine Art Sprühnebel erkennbar ist. Es kann aber auch so sein, dass die Kontamination so weit reduziert ist, dass sie nur noch durch entsprechende Vergrößerungen mikroskopisch dargestellt werden kann. Aber auch dieses Problem ist für die angedachten technischen Anwendungen als Voraussetzung zur Integration solcher Maschinen in den Markt zu lösen.

Die oben aufgeführten Ansatzpunkte bilden ein ausreichendes Potential ab, um darzustellen, dass es eventuell Lösungen zu diesem Problem geben könnte. Ein weiterer Aspekt bei der Kontamination wird durch die Transferwalze abgedeckt. In der aktuellen Maschine wird eine Transferwalze mit einer speziell aufbereiteten Gummioberfläche eingesetzt. Diese Oberfläche muss derart geeignet sein, dass zum einen die Bildübertragung von der OPC-Walze an die Transferwalze in guter Qualität stattfindet und andererseits bedingt durch den Thermotransfer die Walzenoberfläche der Transferwalze nicht beschädigt wird. So besteht z.B. die Gefahr, dass bei Betreiben der Maschine mit falscher (zu hoher) Transfertemperatur eine Art Hot-Offset entsteht, was dazu führt, dass Tonerteilchen in die Transferwalzenoberfläche eingepresst werden und somit zu einem unsauberem Druckbild führen, in der Folge entsteht wiederum eine Art Kontamination bzw. Schattenbildung in den nachfolgenden Drucken (Geisterbild).

Bedingt durch die vorgenannt angesprochenen geometrischen Änderungen in der Anordnung der Komponenten muss natürlich auch über andere Durchmesser für die Transferwalze nachgedacht werden. Dies bringt es mit sich, dass zur gesamtumfänglichen Überprüfung der vorgenannten Vorschläge der gesamte Druckkopf neu konzipiert und aufgebaut werden muss.

Beim Thema der Kontamination sind aus Kundensicht zwei wesentliche Aspekte zu berücksichtigen. Zum einen geht es um den rein optischen Aspekt z.B. für Anwendungen im Bauinnenbereich (Duschtrennwände, Glastüren). Und im Gegensatz dazu gibt es einen funktionalen Aspekt z.B. bei Anwendungen im technischen Bereich. Hier sei genannt Anwendung von Antennen und Heizleiterdruck auf Fahrzeugscheiben, wo selbstverständlich jede Art von Kontamination zu vermeiden ist, da der Markt solche Einschränkungen nicht akzeptieren würde.

Mit den vorgenannt beschriebenen Ansätzen scheint es aber Möglichkeiten zu geben, mit entsprechenden Parametern den Grad der Kontamination deutlich zu beeinflussen und u.U. das Problem auch gänzlich zu lösen.

### **3. Problem Opazität**

Ein weiteres Problemfeld im Zusammenhang mit der CTG-Entwicklung ist das Thema Opazität. In den potentiellen Zielmärkten für die neue Technologie (Architekturglas, Bauinnenbereich, Fahrzeugglas) ist es in vielen Fällen erforderlich, nicht nur optisch

ansprechende Druckergebnisse zu erzielen, sondern in vielen Fällen wird der Anspruch an die optische Qualität mit einer Funktionalität in Verbindung gebracht. Diese Funktionalität besteht darin, dass eine entsprechende optische Dichte für das Druckergebnis gefordert wird. Dies kann z.B. der Fall sein bei Architekturgläsern, die hohe optische Dichten benötigen, um z.B. Klebestellen vor UV-Einstrahlung zu schützen. Im Allgemeinen geht man davon aus, dass eine optische Dichte von 4 in jedem Fall ausreichend ist, eventuell optische Dichte 3 für verschiedene Einsatzzwecke ebenfalls ausreichend wäre.

Weitere Beispiele aus der Praxis sind z.B. die schwarze Umrandung bei Fahrzeugscheiben. Auch hier liegt sowohl eine dekorative wie auch funktionale Anforderung des Druckes vor. Die Forderung der Automobilindustrie ist in jedem Fall, dass eine optische Dichte von 4 erreicht werden muss. In diesem Zusammenhang wäre auch noch zu erwähnen, dass insbesondere bezogen auf die Applikation Automobilscheiben das Bedrucken bis zu den Materialkanten, also sprich Nulltoleranz zur Kante ein weiterer wesentlicher Vorteil dieser Technologie ist.

Mit den Versuchen der Testanlage haben wir festgestellt, dass wir mit einer Einfachbedruckung die Forderungen des Marktes so noch nicht abdecken können. Um eine optische Dichte von 3 zu erreichen, müssen wir (basierend auf Schwarztoner) eine 3- oder 4-fach-Bedrucken vornehmen. Dies ist technologisch möglich, allerdings nicht sonderlich wirtschaftlich. Insbesondere im Hinblick auf das Aufheizverhalten der Scheiben ist eine Mehrfachbedruckung wenn möglich zu vermeiden. Man kann sich vorstellen wie unterschiedlich sich eine zuvor schon partiell mit schwarz bedruckte Scheibe beim Wiederaufheizen verhält, bedingt durch die entsprechend unterschiedliche Absorption im bedruckten Schwarzbereich zum unbedruckten Bereich. Bei entsprechend hohem und schnellem Energieeintrag kann dies zu Spannungen führen, die bis zur Zerstörung der Scheibe führen. Auch dieses Thema ist somit in direktem Zusammenhang mit der Tonerentwicklung und damit der Transfertemperatur zu sehen. Selbstverständlich bieten sich für diese Technologie auch Möglichkeiten Bedruckungen vorzunehmen, bei denen die optische Dichte nicht als wesentliche Forderung genannt werden muss. So gibt es Anwendungen auch im Bauinnenbereich um z.B. Ätzimitationen darzustellen. Dies wird heute größtenteils entweder durch direktes Sandstrahlen hergestellt, was ein sehr teures Verfahren ist, oder alternativ (und dies wird den größten Teil ausmachen), siebdrucktechnisch auf Basis von keramischen oder lösemittelbasierten Farben.



**Abbildung 16: Muster verschiedener Toner aus den Vorführungen**

Sollte es gelingen, durch die entsprechende Modifizierung von Toner im Zusammenhang mit der Reduzierung der Transfertemperatur bessere Verhältnisse zu schaffen, so wäre es denkbar, dass mit einer Integration von zwei Druckwerken in einer Maschine durch Zweifachbedruckung die entsprechenden Anforderung an die Opazität erfüllt werden können.

Um das Gesamtprojekt dem Markt näher zu bringen, scheint es uns sinnvoll die einzelnen Problempunkte zu trennen und nach Priorität bezogen auf den möglichen Markteintritt zu ordnen.

In erster Linie muss aus unserer Sicht das Thema der Kontamination angegangen werden. Sollte dieses Problem gelöst werden, so wird sich ein Teil der betrachteten Märkte dieser Technologie öffnen können.

Das Thema der optischen Dichte wäre somit zweitrangig zu betrachten, um das Potential für die CTG-Technologie noch zu erhöhen. Die Bewertung der vorgenannten Problemkreise wurde jeweils mit Kunden gemeinsam vorgenommen. So waren wir im Wesentlichen zur Bewertung der Automobilanwendung mit entsprechenden Kunden im Gespräch und haben eine Vielzahl von gemeinsamen Tests durchgeführt. Das gleiche gilt für Anwendungen im Architekturbereich oder im Bauinnenbereich. Weitere Kundenkontakte intensiv aufrecht zu erhalten, macht erst dann wieder Sinn, wenn ein entsprechender Fortschritt erzielt ist und entsprechende Verbesserung vorgestellt werden können. Nicht zu unterschätzen ist hierbei, dass ein permanenter Kontakt mit den weiteren funktionalen Prozessen der entsprechenden Zielmärkte berücksichtigt wird.

Neben der Auswertung der eigenen Tests ist eine wesentlich engere Zusammenarbeit mit den Herstellern der Druckköpfe und der Toner erforderlich. Entsprechende Ansätze und Kontakte sind vorhanden und müssen ausgebaut werden.

Von nicht unwesentlicher Bedeutung für den Erfolg des Gesamtprojektes ist, dass sich neue Anwendungsfälle, hauptsächlich im Bereich spezieller Dekordrucke und dem 4-Farb-Druck

ergeben haben. Diese bieten bereits zum jetzigen Zeitpunkt Möglichkeiten der industriellen Nutzung.

Die Projektphase II muss jedoch erweitert werden um umfangreiche Auswertungen und weitere Tests vor allem bezüglich der Tonermaterialien.

### ***Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung***

Die Ergebnisse der ersten Phase des Gesamtprojektes bestätigen die Richtigkeit des Ansatzes zur Entwicklung eines lösungsmittelfreien Druckverfahrens für die Bedruckung von Glas.

Die in der Einleitung genannten ökologischen Ziele wurden vollständig erreicht. Es wurde der Prototyp für ein Verfahren entwickelt und erfolgreich getestet, in welchem keine Lösungsmittel mehr verwendet werden. Darüber hinausgehend kann das Verfahren auch zur teilweisen Ablösung anderer Verfahren zur Oberflächenbehandlung von Glas (Sandstrahlen, Ätzen) eingesetzt werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, beim breiten industriellen Einsatz des CTG-Verfahrens die Umwelt zusätzlich zu entlasten.

Unterstellt, dass die Heizproblematik gelöst wird, steht zu erwarten, dass der Energieeintrag reduziert werden kann. Im Vergleich zum herkömmlichen Siebdruck wird die Energiebilanz allemal positiv ausfallen, weil im CTG-Verfahren eine bedarfsgesteuerte Heizung dem Trockner-Dauerbetrieb gegenübersteht.

Da in diesem Stadium der Entwicklung eines Prototyps des CTG-Verfahrens noch kein industrieller Großeinsatz möglich ist, kommen die in der Einleitung genannten möglichen Entlastungen der Umwelt noch nicht in dem Umfang zum Tragen, wie es bei einer Massenfertigung der Fall wäre.

Die technologischen Ziele des Vorhabens wurden entsprechend der Vorgaben für die Phase I erreicht. Um das CTG-Verfahren zur technologischen Reife zu führen, sind noch umfangreiche Arbeiten zur Abstimmung des Prozesses und dessen Parameter erforderlich. Von entscheidender Bedeutung ist die Kooperation mit den Herstellern und Erfahrungsträgern für Druckköpfe und Toner.

Eine aussagefähige ökonomische Bewertung kann erst nach dem Abschluss des Gesamtprojektes, einschließlich Phase II erfolgen. Die unerwartet große Resonanz der potenziellen Kunden bestätigt jedoch die Richtigkeit des Konzeptes auch in ökonomischer Hinsicht.

### ***Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse***

Bereits im Vorentwicklungsstadium wurde das Verfahren auf mehreren Messen (Glastec 2004 und Fespa 2005) einem breiten Fachpublikum vorgestellt.

Die unerwartet große Resonanz auf die dieses Verfahren gestoßen ist, eröffnet hohe Erwartungen an den späteren industriellen Einsatz.

Besonders hervorzuheben ist auch die Möglichkeit, schon mit dem Prototypen einzelne Kundenaufträge in beschränktem Umfang ausführen zu können.

### ***Ausblick / Anschlussarbeiten***

Die begonnenen Arbeiten im Zusammenhang mit konkreten Kundenanforderungen werden fortgesetzt und im Rahmen der Möglichkeiten der THIEME GmbH auch kommerziell genutzt.

## Fazit

Die erste Phase des Gesamtprojektes wurde abgeschlossen und bestätigt die Richtigkeit des Ansatzes zur Entwicklung eines lösungsmittelfreien Druckverfahrens für die Bedruckung von Glas.

Die aufgetretenen Probleme sind bis zu einem gewissen Grad schon untersucht und es ist bekannt, wo noch deutlicher Entwicklungsbedarf besteht.

Um das Gesamtprojekt dem Markt näher zu bringen, scheint es uns sinnvoll die einzelnen Problempunkte zu trennen und nach Priorität bezogen auf den möglichen Markteintritt zu ordnen.

Neben der Optimierung der Systemkomponenten (Heizung) muss in erster Linie das Thema der Kontamination angegangen werden. Sollte dieses Problem gelöst werden, so wird sich ein Teil der betrachteten Märkte dieser Technologie öffnen können.

Das Thema der optischen Dichte wäre somit zweitrangig zu betrachten, um das Potential für die CTG-Technologie noch zu erhöhen. Die Bewertung der vorgenannten Problemkreise wurde jeweils mit Kunden gemeinsam vorgenommen. So waren wir im Wesentlichen zur Bewertung der Automobilanwendung mit entsprechenden Kunden im Gespräch und haben eine Vielzahl von gemeinsamen Tests durchgeführt. Das gleiche gilt für Anwendungen im Architekturbereich oder im Bauinnenbereich. Weitere Kundenkontakte intensiv aufrecht zu erhalten, macht erst dann wieder Sinn, wenn ein entsprechender Fortschritt erzielt ist und entsprechende Verbesserung vorgestellt werden können. Nicht zu unterschätzen ist hierbei, dass ein permanenter Kontakt mit den weiteren funktionalen Prozessen der entsprechenden Zielmärkte berücksichtigt wird.

Neben der Auswertung der eigenen Tests ist eine wesentlich engere Zusammenarbeit mit den Herstellern der Druckköpfe und der Toner erforderlich. Entsprechende Ansätze und Kontakte sind vorhanden und müssen ausgebaut werden.

Von nicht unwesentlicher Bedeutung für den Erfolg des Gesamtprojektes ist, dass sich neue Anwendungsfälle, hauptsächlich im Bereich spezieller Dekordrucke und dem 4-Farb-Druck ergeben haben. Diese bieten bereits zum jetzigen Zeitpunkt Möglichkeiten der industriellen Nutzung.

Die Projektphase II muss jedoch erweitert werden um umfangreiche Auswertungen und weitere Tests vor allem bezüglich der Tonermaterialien.

Von entscheidender Bedeutung für das Erreichen des Zieles des Gesamtprojektes (Phase II) sind somit weitere FuE Arbeiten. Deshalb ist es sinnvoll, diese Arbeiten ergänzend in die geplante Phase II des Gesamtprojektes (CTG für Druckbreiten von 2500 mm) zu integrieren.

## Literaturverzeichnis

- [LASI]        Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik, Umgang mit Lösungsmitteln im Siebdruck, <http://lasi.osha.de/publications>, 2003
- [VOC]        VOC-Reduktion in der Druckindustrie, Projektdefinition, Koordinationsstelle VOC, Zürich
- [VOC2]       VOC-Verordnung, Bundesverband Druck und Medien e.V., September 2001
- [Öko]        D. Jepsen, A. Grauer, C. Tebert, „Ermittlung des Standes der Technik und Emissionsminderungspotenziale zur Senkung der VOC-Emissionen aus Druckereien“, UFOPLAN-Vorhaben Nr. 297 44 906/01 des Umweltbundesamtes, Hamburg, Oktober 1999

## **Anhänge**

keine