

# HVG-Mitteilung Nr. 2122

## Digitaldruck auf Flachglas

F. Trier, U. Ranke, Fachhochschule München

Vortrag im Fachausschuss IV der DGG am 10. Oktober 2006 in Würzburg

### 1. Einleitung

Digitale Druckverfahren erobern sich in vielen Branchen Marktanteile, wobei sie die herkömmlichen Druckverfahren zum Teil verdrängen, zum Teil ergänzen. Tatsächlich bieten digitale Druckverfahren attraktive Vorteile: Der Druck kann quasi direkt vom Computer auf das Substrat gebracht werden, ohne dass teure Vorarbeiten, wie die Erstellung von Klischees oder Schablonen notwendig sind. Die meisten digitalen Druckverfahren sind zum Druck auf Papier oder Spezialfolie gedacht. Will man auf unbehandeltes Glas drucken, sind verschiedene Modifikationen im Drucksystem notwendig. Das betrifft zum Ersten die Druckermechanik, die mit starren Drucksubstraten umgehen können muss. Zum Zweiten muss die Druckfarbe, beim Inkjet Druck Tinte genannt, auf das Substrat Glas angepasst werden, da Tinten, die für Papier oder Folien gedacht sind, nicht für Glas geeignet sind. Zum Dritten müssen auch die Druckparameter an den Werkstoff Glas angepasst werden, zu schneller Auftrag der Tinte führt zum Verschwimmen des Druckbildes.

### 2. Digitale Druckverfahren

Digitale Druckverfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass die in elektronischer Form vorhandenen Druckdaten direkt von der Druckmaschine in ein Druckbild umgesetzt werden. Für den eigentlichen Druckprozess werden verschiedene Techniken genutzt. Gemeinsam ist allen digitalen Druckverfahren, dass die Bildinformation als Raster aus Pixeln (Pixel = Picture element) definiert ist. Jedem Pixel ist eine Farbe zugeordnet. Je dichter die Pixel gesetzt sind, desto höher ist die Auflösung des Bildes.

Farben werden bei digitalen Druckverfahren aus einer geringen Anzahl von Grundfarben durch Mischung auf dem Substrat hergestellt. Theoretisch genügen drei Grundfarben, um das gesamte Farbspektrum durch Mischung zu erzeugen. In technischen Anwendungen werden mindestens vier Farben (CMYK-System für **C**yan = Blau, **M**agenta = Rot, **Y**ellow = Gelb, **K**arbon = Schwarz) verwendet. Für höherwertige oder spezialisierte Druckaufgaben werden auch weitere Farben für die Farbmischung verwendet.

#### 2.1 Elektrofotografischer Druck

Der elektrofotografische Prozess (auch unter dem Namen Xerox Verfahren bekannt) wurde 1937 in Amerika entwickelt. Zehn Jahre später kamen die ersten Kopiergeräte nach diesem Prozess auf den Markt. Der erste Drucker nach dem elektrofotografischen Prozess wurde 1971 verkauft. Herz des Druckers ist eine Walze, die mit einer lichtempfindlichen Schicht überzogen ist. Diese Schicht wird elektrisch aufgeladen und anschließend - entsprechend der Bildinformation - mit einem Lichtstrahl bestrahlt. An den Stellen, an denen der Lichtstrahl die Walze trifft, wird die Oberflächenschicht elektrisch leitfähig und die aufgebrauchte elektrische Ladung fließt ab.

Danach wird pulverförmiger Farbtoner auf die Walze gestäubt – abhängig von der jetzt noch vorhandenen Oberflächenladung der Walze bleibt der Toner auf der Walze haften. Jetzt muss das Tonerbild von der Walze noch auf das Substrat übertragen und dort fixiert werden. Dieser Druckertypus wird zum Bedrucken von Papier und Folien häufig eingesetzt und wird meist als Laserdrucker bezeichnet.

### **2.2 Airbrush Druck**

Beim Airbrushverfahren wird flüssige Tinte aus Düsen auf das Substrat gesprüht. Diese Düsen arbeiten mit Druckluftzerstäubung, ähnlich wie eine Airbrush Spritzpistole. Der Tintendurchsatz kann hier aber elektronisch gesteuert werden. Die Düsendurchmesser liegen bei ca. 0,5 mm, so dass auch Tinten mit Mattierungsmitteln oder Effektpigmenten, die relativ groß sind, verarbeitet werden können.

Der Druckkopf mit den Düsen wird dann rasterartig über das Substrat verfahren und das Druckbild zeilenweise aufgebracht. Die Erzeugung einer bestimmten Farbe erfolgt dadurch, dass jedem Bildpunkt eine dosierte Farbmenge der Grundfarben zugeteilt wird. Entsprechend wird  $x/256$  Cyan +  $y/256$  Magenta +  $z/256$  Yellow +  $n/256$  Black auf einen Punkt gespritzt.

Die einzelnen Farbpunkte sind wegen des Sprühverfahrens nicht ganz randscharf. Die maximale Auflösung der Drucktechnik liegt derzeit bei ca. 42 dpi (dots per inch). Verglichen mit anderen digitalen Druckverfahren ist das relativ grob. Die Schärfe kontrastreicher Kanten ist bei geringem Betrachtungsabstand nicht ganz befriedigend. Deshalb ist das Airbrush Druckverfahren besonders für die Bedruckung großer Flächen, sowie für die Darstellung von verlaufenden Farbflächen geeignet.

### **2.3 Inkjet Druck**

Inkjet Verfahren werden meistens in 2 Gruppen unterschieden:

Bei den „Continous-Jet“ Verfahren wird eine kontinuierliche Folge von Tropfen erzeugt. Die Tropfen, die nicht auf das Substrat kommen sollen, werden elektostatisch abgelenkt, aufgefangen und die Tinte wiederverwendet. „Continous-jet“ Verfahren wurden in den 1990iger Jahren auch für hochwertige Druckausgabe verwendet (so genannte Iris Drucker). Heute ist die Anwendung von „Continuous-jet“ hauptsächlich auf Kennzeichnungssysteme beschränkt.

Bei der zweiten Systemgruppe, den „drop-on-demand“ Verfahren wird ein Tropfen nur dann erzeugt, wenn er auch auf das Substrat gebracht werden soll. Die Tropfen werden von dünnen Düsen auf das Substrat abgeschossen. Für jede der verwendeten Grundfarben ist eine Reihe von Düsen in einem Druckkopf zusammengefasst, die alle unabhängig voneinander angesteuert werden.

Für die Tropfenerzeugung sind beim „drop-on-demand“ Verfahren 2 verschiedene Techniken gebräuchlich. Bei der „bubble-jet“ Technik besitzt der Druckkopf für jede Düse ein kleines elektrisches Heizelement. Wird das Heizelement aktiviert, dann verdampft ein Teil der Tinte schlagartig, wobei der entstehende Druck ein kleines Quantum der Tinte aus der Düse schleudert. Weil die Elemente sehr klein sind, geht die Erhitzung und Abkühlung sehr schnell, dadurch kann auch in sehr schneller Folge gefeuert werden. Ein Nachteil der „bubble-jet“ Technik ist die schnelle Abnut-

zung der Druckköpfe, die Erhitzung bis zum Verdampfen kann feste Rückstände an den Heizelementen und Düsen verursachen. Bei der Piezotechnik werden Teile der Düsenkanäle aus einem Material gebaut, das sich beim Anlegen einer elektrischen Spannung mechanisch verformt. Dieser physikalische Effekt ist als Piezoeffekt bekannt. Durch ein elektrisches Signal verformt sich der Düsenkanal so, dass an der Düsenmündung ein Tropfen abgelöst wird. Für den dekorativen Druck auf Glas ist besonders die Piezotechnik geeignet.

### **3. Tinte für Inkjet Druck**

Die Tinte muss verschiedene Eigenschaften haben, um per Inkjet verarbeitbar zu sein. Wichtig ist eine niedrige Viskosität der Tinte, damit die kleinen Kanäle des Druckkopfs schnell genug durchströmt werden. Auch die Oberflächenenergie (ein Maß für das Benetzungsvermögen) muss stimmen. Wenn die Tinte zu gut benetzt, bilden sich Tropfen an der Unterseite der Düsenplatte, dadurch können einzelne Düsen ausfallen. Außerdem will man nicht, dass die Tinte auf dem Substrat noch unkontrolliert verläuft. Das ist bei glatten Oberflächen wie Glas besonders wichtig.

Schnelles Antrocknen des Drucks ist ebenfalls wichtig, um unkontrolliertes Verlaufen zu verhindern. Dies kann man durch schnell verdunstende Lösemittel erreichen. Man geht dabei aber das Risiko ein, dass die Tinte bei längeren Stillstandszeiten schon in der Düse eintrocknet, die dadurch verstopft. Eine gute Abdeckung des Druckkopfs und regelmäßige Reinigungszyklen auch während Stillstandszeiten ist deshalb unbedingt notwendig.

Ein anderer Weg, um ein schnelles Antrocknen zu erreichen, ist die Verwendung von strahlenhärtenden Tinten. Diese werden durch UV-Licht in Sekundenbruchteilen fest. Aber auch hier riskiert man Düsenverstopfung, da man technisch kaum vermeiden kann, dass ein Teil des UV-Lichts vom Glas auf den Druckkopf reflektiert wird, so dass die Härtung bereits in der Düse eintritt. Die Düsenverstopfung bei UV-Systemen erfolgt daher während des Betriebs, bei den konventionellen (lösemitteltrocknenden) Systemen während des Stillstandes.

Typische Bestandteile einer lösemittelbasierten Tinte sind:

- Schichtbildender Feststoff: Er dient zur Einbettung des Farbmittels und ist im Wesentlichen für die mechanische und chemische Beständigkeit des Drucks zuständig.
- Farbmittel: Ist notwendig für die Farbigkeit. Erwünscht sind vor allem ein geeigneter Farbort für die Farbmischung, sowie gute Lichtbeständigkeit.
- Lösemittel: Bewirkt die niedrige Viskosität der Tinte beim Druck und durch Verdunstung das Antrocknen des Drucks. Neben passenden physikalischen Eigenschaften, sollte der Einfluss auf die menschliche Gesundheit möglichst gering sein.
- Hilfsstoffe: Können vielfältig z.B. das Verdunstungsverhalten, die Oberflächenenergie, die Glätte und die Ritzbeständigkeit des fertigen Drucks beeinflussen.

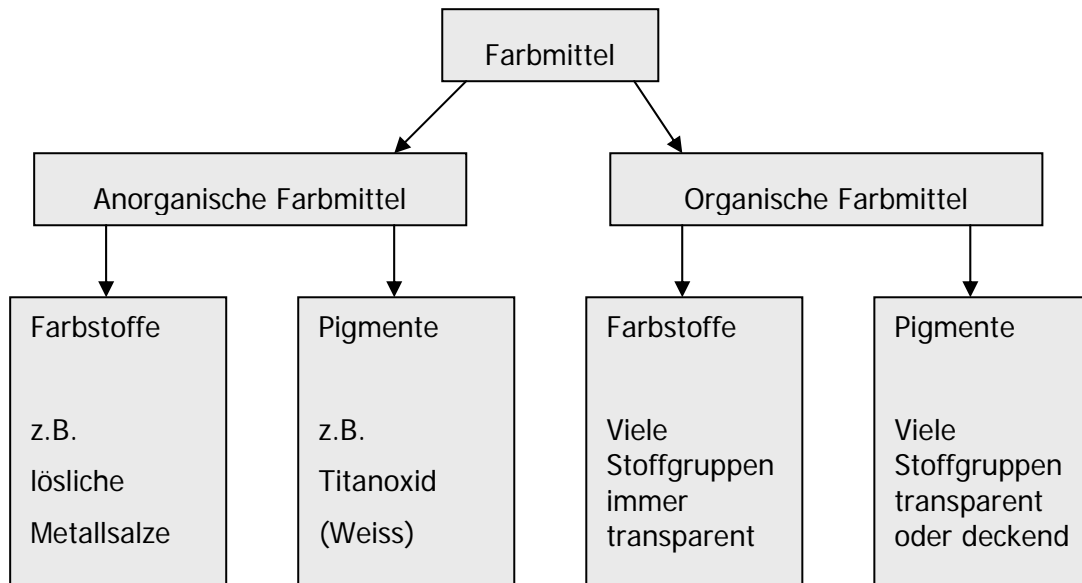


Bild 1: Systematik der Farbmittel.

### 3.1 Die Einfärbung der Tinte

Zur Einfärbung der Tinten stehen zwei grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten zur Wahl. Die Tinten können entweder durch Pigmente oder durch Farbstoffe eingefärbt werden (Bild 1). Bei Pigmenten handelt es sich um sehr feine, farbige Teilchen, die in der Tinte dispergiert sind. Bei Farbstoffen handelt es sich um farbige chemische Stoffe, die sich im verwendeten Lösemittel vollständig auflösen und nach Verdunstung des Lösemittels in der Schicht verteilt vorliegen.

#### 3.1.1 Farbstoffbasierte Tinten

Bei farbstoffbasierter Tinte liegt der Farbstoff beim fertigen Druck gleichmäßig verteilt im Schichtmaterial vor. Dadurch erscheint das Material optisch homogen, so dass eine Lichtstreuung in der Schicht praktisch nicht stattfindet. Es können damit glasklare, transparente, farbige Schichten erzeugt werden. Durch die Drucktechnik selbst wird allerdings eine gewisse Oberflächenrauigkeit vorgegeben, besonders an Stellen im Druck, die relativ dünn gedruckt werden. An solchen Stellen liegen die Farbtröpfchen relativ weit auseinander auf dem Glas und haben keine Möglichkeit, miteinander zu einer homogenen Schicht zu verlaufen. Speziell in der Reflektion kann dieser Effekt störend wirken, da die dünn bedruckten Stellen matt aussehen, während die dick bedruckten Stellen, genau so wie unbedruckte Stellen, spiegelglatt sind. Abhilfen gegen diesen Effekt sind möglich, durch Laminieren des Drucks zu VSG (Verbund-Sicherheitsglas) verschwindet der störende Effekt vollständig. Eine andere Abhilfe ist das Auffüllen der dünn bedruckten Zone mit Tröpfchen aus farbloser Tinte.

### **3.1.2 Pigmentbasierte Tinte**

Wie bereits erwähnt, sind Pigmente kleine Farbkörperchen, die gleichmäßig in der Tinte verteilt (dispergiert) werden. Beim fertigen Druck sind diese farbigen Pigmentkörper in der Schicht eingebettet. Weil die optische Brechzahl der Pigmentteilchen nicht genau mit der Brechzahl der Schicht übereinstimmt, kommt es zu Streueffekten. Bei organischen Pigmenten sind diese Streueffekte sehr klein und können meist nur in besonderen Beleuchtungssituationen beobachtet werden. Ein Vorteil der Pigmente ist deren gute chemische Verträglichkeit auch mit empfindlichen Schichtsystemen. Ein Nachteil stellt die Gefahr des Absetzens der Pigmente in der Tinte dar.

### **3.2 Lichtbeständigkeit der Drucke**

Die Lichtbeständigkeit oder Lichtechtheit ist besonders bei Druck auf Glas eine wünschenswerte Eigenschaft. Darunter versteht man die Beständigkeit der farbigen Schicht gegenüber der Einwirkung von Licht, teilweise auch UV-Strahlung. Geringe Lichtbeständigkeit führt zur Verfärbung oder zum Ausbleichen des Farbmittels. Falls das schichtbildende Material nicht ausreichend lichtbeständig ist, kommt es zum Vergilben oder zum Abblättern des Drucks.

Die Lichtechtheit wird mit der „blauen Wollskala“ geprüft. Dabei handelt es sich um Wollfäden, die mit verschiedenen blauen Wollfarben eingefärbt wurden. Diese Fäden werden zusammen mit dem zu prüfenden Druck der Strahlung ausgesetzt. Dies kann entweder in Form einer Freilandbewitterung, oder aber in einem speziellen Prüfgerät geschehen. Die Lichtechtheit der verschiedenen Wollfäden ist so gewählt, dass der Übergang zwischen zwei benachbarten Stufen etwa einer Verdoppelung der Belichtungszeit entspricht (Tabelle 1).

## **4. Farbmischung beim Inkjet Druck**

Im Digitaldruck sollen wirklichkeitsnahe Bilder mit beliebigen Farben realisierbar sein. Da es technisch nicht sinnvoll ist, für jede denkbare Farbe eine eigene Tinte zu bevorraten, müssen die Farben im Druck aus Mischung von möglichst wenigen Grundfarben erzeugt werden. Die Farbmischung entsteht dadurch, dass man Pixel in den Grundfarben neben- oder übereinander druckt. Wenn die Pixel eng nebeneinander gesetzt sind, kann das Auge sie nicht mehr als separate Punkte erkennen, sondern sie verschwimmen zu einer Mischfarbe. Die eigentliche Mischung erfolgt also nicht beim Druck, sondern erst im Auge des Betrachters.

### **4.1 Die Farbwahrnehmung des Menschen**

Das menschliche Auge besitzt auf der Netzhaut vier verschiedene Rezeptoren für die Wahrnehmung von Licht. Diese Rezeptoren decken den Wellenlängenbereich zwischen ca. 380 nm bis ca. 780 nm lückenlos ab. Für die Wahrnehmung bei guten Beleuchtungsverhältnissen spielen nur drei dieser Rezeptoren eine Rolle. Sie unterscheiden sich dadurch, dass Ihre maximale Empfindlichkeit bei verschiedenen Wellenlängen liegt. Es gibt also je einen Sensortyp für rotes, grünes und blaues Licht (Bild 2). Wellenlängen, die nahe bei der maximalen Empfindlichkeit eines Sensors liegen, werden vom betreffenden Sensor ebenfalls wahrgenommen, dann aber mit geringerer Empfindlichkeit. Dadurch kann das gesamte sichtbare Spektrum von den drei Sensortypen in teilweise überlappenden Bereichen wahrgenommen werden.

## 4.2 Die subtraktive Farbmischung

Bei der subtraktiven Farbmischung geht man davon aus, dass ausreichend weißes Licht (z.B. Sonnenlicht) zur Verfügung steht. Weißes Licht besteht aus einer gleichmäßigen Mischung aller Wellenlängen. Der Farbeindruck bei der subtraktiven Farbmischung entsteht dadurch, dass aus diesem weißen Licht durch selektive Filterung bestimmte Wellenlängen entfernt (subtrahiert) werden. Diese Filterung kann z.B. durch einen oder mehrere farbige Filter erfolgen. Auch farbige Anstriche oder Lacke funktionieren nach der subtraktiven Farbmischung, dort werden bestimmte Wellenlängen des weißen Lichts reflektiert, während andere Wellenlängen absorbiert (verschluckt) werden.

Auch bei der subtraktiven Farbmischung ist es manchmal zweckmäßig, wenn man mit nur drei Grundfarben alle möglichen Farbeindrücke erzeugen kann. Deshalb wählt man die Grundfarben zweckmäßigerweise so, dass jede Grundfarbe nur genau den Wellenlängenbereich eines Farbrezeptortyps absorbiert, während die Wellenlängen der anderen beiden Rezeptortypen nicht beeinflusst werden sollten. Wird z. B. der Wellenlängenbereich des Rot-Rezeptors nicht stimuliert, während die Rezeptoren für Grün und Blau stimuliert werden, so empfinden wir einen blaugrünen (Cyan) Farbeindruck. Wird nur Rot und Blau stimuliert, ist der Farbeindruck Rotviolett (Magenta), wird dagegen nur Rot und Grün stimuliert, dann ist der Farbeindruck Gelb (Yellow). Cyan, Magenta und Yellow sind also die Grundfarben der subtraktiven Farbmischung. Will man eine Farbmischung aus den 3 Grundfarben durchführen, so kann man z.B. weißes Licht nacheinander durch Farbfilter der drei Grundfarben schicken. Bei Anstrichfarben oder Tinten genügt einfaches Vermischen der flüssigen Einzelfarben. Mischt man alle drei Einzelfarben, so sollten alle wahrnehmbaren Wellenlängen absorbiert werden, die resultierende Farbe wäre dann Schwarz. Allerdings ist es weder aus technischer noch auch aus kaufmännischer Sicht zweckmäßig, die Farbe Schwarz aus den Einzelfarben zu mischen. Deshalb findet man bei praktisch allen angewandten technischen subtraktiven Farbmischsystemen die Farbe Schwarz (Black) als zusätzliche Mischfarbe. Aus den Farben Yellow, Magenta, Cyan und Karbonblack (YMCK) bestehen übliche Farbsysteme für den 4-Farbdruck.

Die Grundfarben der subtraktiven Farbmischung lassen sich durch einen Farbwürfel darstellen. Bild 3 zeigt einen solchen Farbmischwürfel für 16 Abstufungen der Einzelfarben YMC, damit sind schon  $16 \times 16 \times 16 = 4.096$  Farben darstellbar. Die Farben, die auf den Flächen des Würfels liegen, die die drei Farbachsen aufspannen, z.B. auf der von Cyan und Magenta aufgespannten Fläche, sind reine Mischfarben aus diesen beiden Komponenten. Damit ergeben sich  $16 \times 16 = 256$  Farbtöne, die eine Mischfarbe aus z.B. Cyan und Magenta sind. Bei 3 Grundfarben ergeben sich  $3 \times 256$  Farbtöne, die jeweils aus nur zwei Grundfarben gemischt werden. Alle anderen Mischfarben des Farbwürfels ( $4.096 - 768 = 3.328$ ) enthalten einen Anteil aus 3 Grundfarben. Wenn man bedenkt, dass die Mischung der 3 Grundfarben schwarz ergibt, so enthalten also alle diese Farbtöne eine Schwarzkomponente. Dies ist speziell beim digitalen Drucken der Farben von Bedeutung, da anstatt der drei Farbpunkte Cyan, Magenta und Yellow ein einziger Farbpunkt Schwarz gedruckt werden kann.

Stufe der Wollskala	Beurteilung der Lichteinheit	Entspricht einer Belichtungszeit in Mitteleuropa von	Produktanforderungen
1	sehr gering	5 Tagen	Unzureichend, sichtbare Veränderung schon nach wenigen Tagen
2	gering	10 Tagen	
3	mäßig	20 Tagen	Ausreichend für Entwürfe und den privaten Bereich
4	ziemlich gut	40 Tagen	
5	gut	80 Tagen	Ausreichend für Aushänge in Innenräumen
6	sehr gut	160 Tagen	
7	vorzüglich	350 Tagen	Ausreichend für Außenplakate
8	hervorragend	700 Tagen	

Tabelle 1: Lichteinheitstufen [1].

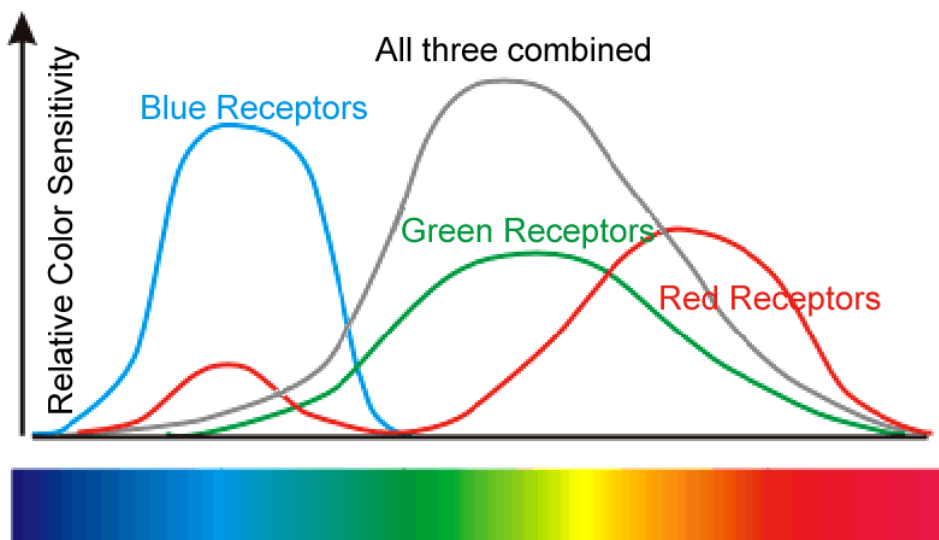


Bild 2: Lichtempfindlichkeit der Rezeptoren der menschlichen Netzhaut [2].

In technischen Anwendungen ist die Abstufung unseres Farbwürfels oft noch zu grob, das „true colour“ System arbeitet mit einer Abstufung von 256 Intensitätsabstufungen der Einzelfarben, was schon zu ca. 16,7 Millionen möglichen Mischfarben führt.

### **4.3 Erzeugung der Mischfarben beim Inkjet Druck**

Beim Inkjet Druck ist es nicht möglich, beliebig viele Pixel übereinander zu drucken. Auch kann man die Menge der aufgetragenen Farbe, also die Größe des Tropfens nur in einem schmalen Bereich variieren. Um eine beliebige Mischfarbe zu erstellen, muss man aber ein bestimmtes Mengenverhältnis der Grundfarben einhalten. Das wird erreicht, indem mehrere Pixel in den Grundfarben neben- und übereinander gedruckt werden. Die benötigte Fläche dafür ist entsprechend größer als ein Pixel und wird „Superpixel“ genannt.

Man erkennt also, dass die theoretische räumliche Auflösung (üblicherweise in dpi angegeben) eines Druckers bei Farbdarstellung kleiner ist, als bei monochromer Darstellung. In der Praxis spielt diese Verminderung der Auflösung aber eine geringe Rolle. An den Stellen des Drucks, wo es auf eine hohe räumliche Auflösung ankommt (das sind scharfe, kontrastreiche Kanten) kann man problemlos die Farbgenauigkeit verringern und die Superpixel entsprechend verkleinern, ohne dass die Farbe als falsch wahrgenommen wird. Als Anwender hat man auf solche Details kaum einen Einfluss, die notwendigen Rechenalgorithmen werden vom Druckertreiber oder der RIP-Software erledigt.

#### **4.3.1 Der Zweck der schwarzen Tinte**

Wir haben gesehen, dass man im Prinzip durch Mischung der drei Grundfarben (CMY) bereits alle Farben darstellen kann. Druckt man alle drei übereinander, sollte sich Schwarz ergeben. Trotzdem ist schwarze Tinte bei allen Druckern als vierte Tinte vorhanden. Das hat verschiedene Gründe, zum einen ist es schwierig, ein wirklich sattes, neutrales Schwarz durch Farbmischung zu erreichen. Auf der anderen Seite spart der Einsatz von einem Tropfen schwarzer Tinte drei Tropfen farbiger Tinte. Damit hat das System eine Redundanz, d.h. es gibt mehrere Möglichkeiten eine bestimmte Farbe zu erzeugen. Führt man als weitere Farbe noch weiße Tinte ein, so wird der Rechenaufwand der RIP-Software noch aufwendiger und verlangt vom Benutzer spezielle Vorgaben.

#### **4.3.2 Der Zweck der Light-Tinten**

Bei vielen Druckern gibt es zusätzlich zu den Farben Cyan, Magenta, Yellow und Black noch die Tinten Cyan Light und Magenta Light. Diese Light Tinten haben den selben Farbton wie die entsprechenden Vollton Tinten, aber einen verringerten Farbmittelgehalt, so dass sie blasser erscheinen. Die Light Tinten kommen dann zum Einsatz, wenn es notwendig ist, sehr schwache, pastellartige Farbtöne zu drucken. In einem solchen Fall werden die Superpixel bei Vollfarben nämlich sehr groß, weil man zwischen sehr vielen unbedruckten Pixeln nur ganz gelegentlich ein Farbpixel setzen muss. Das wird dann aber vom Auge wahrgenommen, die Farbfläche wirkt körnig und inhomogen. Als Abhilfe druckt man Pixel in den Light-Farben, diese werden dann entsprechend dichter gesetzt, so dass der körnige Eindruck verschwindet.



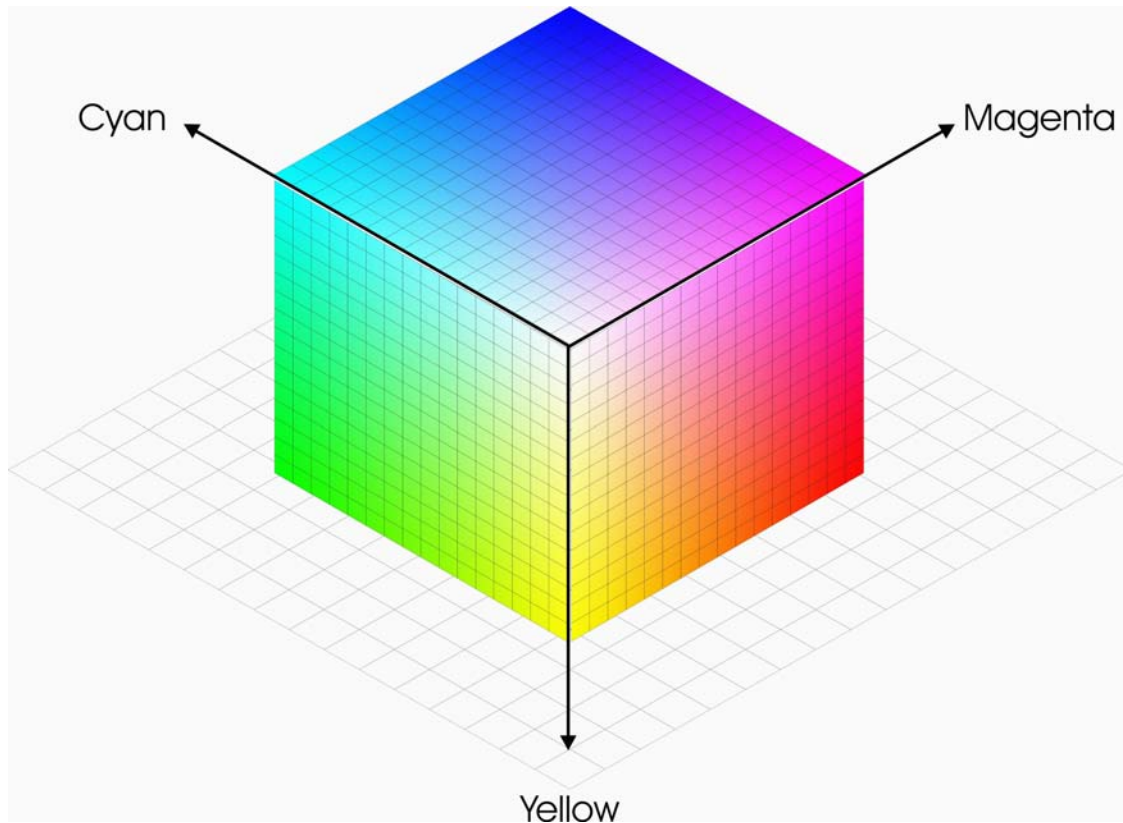


Bild 3: Farbwürfel [2].

Die Farbe Yellow wird als sehr hell empfunden, so dass einzelne Yellow Pixel auch praktisch unsichtbar sind. Dort tritt der körnige Effekt auch nicht auf. Deshalb verzichtet man auch auf ein Yellow Light.

#### 4.4 Der drucktechnische Aufbau des Druckbildes

Ein typischer Wert für die maximale räumliche Auflösung von Inkjetdruckern liegt bei 1.440 dpi. Das entspricht 56,7 Pixel auf einem Millimeter. Der Abstand der Düsen auf dem Druckkopf kann aber aus mechanischen Gründen nicht so klein sein. Deshalb muss der Druckkopf dieselbe Stelle des Bildes mehrfach überfahren. Typische Druckköpfe (Epson) besitzen 2 parallele Düsenreihen pro Farbe, davon ist jede Reihe 1" (25,4 mm) lang und besitzt 192 Düsen.

Das mehrfache Überfahren ist auch aus anderen Gründen notwendig. Würde man das gesamte Bild in einem Zug drucken, würde der Druck verschwimmen, weil die Tinte nicht schnell genug antrocknen kann. Bei saugfähigen Druckmedien ist diese Beschränkung weniger wichtig, bei Druck auf Glas ist die zügige Entfernung des Lösemittels ausschlaggebend für die Druckgeschwindigkeit. Man steigert deshalb die Anzahl der Überfahrten (passes) des Druckkopfes, wobei man pro pass entsprechend weniger Tinte druckt. Ein Vorteil des langsamen Druckaufbaus ist, dass bestimmte Bildfehler, die z.B. durch den Ausfall von einzelnen Düsen oder durch Ungenauigkeiten in der y-Positionierung auftreten, weniger auffallen. Ein Nachteil ist die verminderte Druckleistung. Bei hoher Auflösung (1.440 dpi) ist erfahrungsgemäß nicht mehr als 1,5 bis 2 m<sup>2</sup> Glas pro Stunde möglich.

#### **4.5 Erzeugung der Mischfarben beim Airbrush Drucker**

Im Gegensatz zum Inkjet Drucker kann beim Airbrush Drucker die Tintenmenge, die auf ein Pixel aufgetragen wird, genau dosiert werden. Deshalb ist es nicht notwendig mit Superpixeln zu arbeiten, jedes Pixel erhält den entsprechenden Anteil der Grundfarben, der für die Erzeugung der gewünschten Mischfarbe notwendig ist. Eine Verminderung der räumlichen Auflösung ergibt sich durch die Darstellung von Mischfarben nicht.

### **5. Mechanischer Aufbau von Flachbettdruckern**

#### **5.1 Maschinenkonzepte**

Beim Digitaldruck auf ebene Substrate muss die zu bedruckende Fläche mit dem Druckkopf abgefahren werden. Damit ist eine Bewegung in 2 Freiheitsgraden (x und y-Richtung) notwendig. Für die Bedruckung verschieden dicker Medien ist es zusätzlich notwendig den Druckkopf in z-Richtung zuzustellen. Für die Umsetzung dieser Bewegungen sind typischerweise 2 verschiedene Konzepte üblich:

Feststehendes Substrat:

Das zu bedruckende Medium wird fixiert und der Druckkopf führt die Bewegungen in beiden Achsen aus. Häufig findet man die Konstruktion, dass ein waagerechter Tisch das Substrat aufnimmt, während der Druckkopf auf einem als x-Achse ausgeführten Portal sitzt. Die y-Führungen sitzen links und rechts vom Tisch, während die Portalsäulen die Zustellung in z-Richtung enthält. Bei dieser Konstruktion ist die maximale Größe des Drucks durch die Verfahwege der x- und y-Führung definiert.

Bewegtes Substrat:

Das Medium bewegt sich in Vorschubrichtung (y), während der Druckkopf die Zeilenbewegung in x-Richtung macht. Die Zustellung kann am Druckkopf oder am Substrat erfolgen. Dieses Konzept ist das gleiche wie bei Rollenplottern, findet aber bei sehr schweren Substraten seine Grenzen. Die maximale Druckbreite ist bei dieser Konstruktion durch die Länge der x-Achse bestimmt. Erfolgt der Transport des Mediums in x-Richtung durch Reibräder, dann kann der Druck theoretisch beliebig lang werden.

#### **5.2 Konstruktionsdetails**

Inkjet Drucker müssen aufgrund der hohen erzielbaren Auflösung des Verfahrens recht steif gebaut sein. Ungenauigkeiten in der Mechanik würden sonst schnell als Fehler im Druck sichtbar. Der Druckkopf wird meist auf geschliffenen Stahlwellen geführt und mit einem vorgespannten Stahlseil angetrieben. Die Positionsmessung erfolgt optisch direkt am Schlitten, der den Druckkopf trägt.

Viele Flachbettdrucker sind umgebaute Rollenplotter, wobei Führung und Antrieb der x-Achse vom Rollenplotter übernommen wurde. Für die Führung und Antrieb der y-Achse sind verschiedene Konzepte im Markt. Für den Antrieb werden unter anderem Kugelumlaufspindeln, Zahnriemen oder Zahnstangen verwendet. Bei Druckern mit bewegtem Substrat kommt auch Reibradantrieb direkt auf das Druckmedium vor. Die

Zustellung der z-Achse erfolgt meist über Trapezgewindespindeln entweder am Portal oder am Tisch. Die Anforderung an die Genauigkeit ist weitaus geringer als bei den x- und y-Achsen. Spielfreiheit des Antriebs ist ebenfalls kein Kriterium, weil die Gewichtskraft als Last die Führung in einer Richtung vorspannt.

Bei Druckern mit feststehendem Substrat wird der Tisch gerne als Vakuumspanntisch ausgeführt, was das Auslegen von flexiblen Substraten erleichtert und die Gefahr der Kollision von Druckkopf und Substrat verringert. Vereinzelt sind auch Inkjet Drucker zur Bedruckung von zylindrischen Objekten auf dem Markt, die zur Bedruckung von Hohlglas geeignet wären.

Im Gegensatz zum Ink-Jet Verfahren erlaubt das geringer auflösende Airbrush Verfahren einen deutlich leichteren Aufbau der Mechanik. Dadurch bedingt ist es auch möglich, die Maschine mobil vor dem zu bedruckenden Substrat aufzustellen.

## **6. Zusammenfassung**

Digitale Druckverfahren, die sich längst im Markt etabliert haben, befinden sich bei der Bedruckung von Flachglas erst in der Markteinführung. Bisher am weitesten verbreitet für die Glasbedruckung sind Verfahren nach dem Inkjet (Piezo) Verfahren. Allerdings erfordert der Werkstoff Glas besondere Anforderungen an die verwendete Tinte und die Druckmaschine. Inzwischen sind Tinten für den Inkjet Druck erhältlich, die auf Glas gute und haltbare Drucke ergeben. Auch Druckmaschinen sind inzwischen als Flachbettdrucker erhältlich.

## **7. Literatur**

- [1] Brümmer. H.: Der Tinten(strahl)druck. <http://home.vrweb.de/hans.brueemmer>.
- [2] Trier, Ranke: Digital printing on large area glass sheets, Vortrag im, Mai 2006 bei den „Glass Processing Days“ in Tampere, Finnland.

