



Drucktechniken

1

Es gibt zahlreiche Verfahren, um eigene Bilder zu drucken.

Wirklich tiefer werden wir nur auf ein Verfahren eingehen: den Druck mit hochwertigen Tintenstrahldruckern. Der Einfachheit halber werden wir im weiteren Teil des Buchs auch synonym den vereinfachten Begriff ‚Tintendrucker‘ oder den englischen Terminus ‚Inkjet‘ verwenden.

In diesem Kapitel werfen wir jedoch auch einen Blick auf andere Druckverfahren und erläutern, wofür sie sich eignen. Die meisten sind für die Art von Drucken, die wir in diesem Buch besprechen, aus unterschiedlichen Gründen nicht optimal.

Der Schwerpunkt des Kapitels und des gesamten Buchs ist wie gesagt der Fine-Art-Druck auf aktuellen, guten Fototintendruckern. Angesprochen werden sollen sowohl der ambitionierte Amateur als auch der professionelle Fotograf. Zum Thema kommerzieller Offset- und Tiefdruck sowie zu den Themen Siebdruck und Posterdruck gibt es eine ganze Reihe recht guter Bücher. Wir werden diese Themen nicht weiter behandeln, da diese Verfahren entweder für die hier angesprochene Zielgruppe zu kompliziert oder zu teuer sind. Oft zeigen sich diese Techniken auch nicht in der Lage, jene Qualität zu liefern, die mit den heutigen Fototintendruckern erzielbar ist.

An der Technik der Fine-Art-Tintendrucker hat sich in den letzten Jahren wenig geändert – die Drucker sind etwas schneller geworden, die Anzahl der Tinten hat teilweise zugenommen und die Köpfe haben eine Antihaftschicht erhalten. Teilweise wurde auch die Rezeptur der Tinten verbessert, um ein tieferes Schwarz zu erzielen.

1.1 Verschiedene Drucktechniken

Vom Pixel zum gedruckten Bildpunkt

1 Inch bzw. Zoll entspricht etwa 2,54 cm.

Bei der Bildbearbeitung gibt es für die Bildauflösung eine ganze Reihe von Begriffen mit ähnlicher und leicht verwechselbarer Bedeutung: dpi (*dots per inch* bzw. ›Punkte pro Zoll›), ppi (*pixel per inch* bzw. ›Bildpunkte pro Zoll›), lpi (*lines per inch* bzw. ›Rasterlinien pro Zoll›). Zusätzlich wird die Auflösung eines Bilds auch noch in Pixeln bzw. Bildpunkten sowie in Zentimeter oder Inch angegeben (bei einer bestimmten ppi- oder dpi-Auflösung). Hier soll dieser Wirrwarr zunächst einmal aufgelöst werden.

Erfasst man ein Bild per Digitalkamera oder über einen Scanner, so erhält man als Ergebnis ein Rasterbild, das aus einer Anzahl von Rasterzeilen besteht, und jede Zeile wiederum aus einer Anzahl von Bildpunkten, die zumeist als Pixel bezeichnet werden. Das Rasterbild hat eine horizontale und eine vertikale Größe. Die horizontale Größe ergibt sich aus der Anzahl von Pixeln in einer Zeile (sagen wir: 1280), die vertikale Größe durch die Anzahl solcher Zeilen – als Beispiel seien 1024 angenommen.

Die Angabe ›1280 × 1024 Bildpunkte‹ sagt uns noch nicht, wie groß das Bild dargestellt wird. Man könnte das Bild beispielsweise auf einem 17"-Bildschirm ausgeben.* Die Darstellungsgröße wäre etwa $33,8 \times 26,9$ cm (ein 17"-Bildschirm hat etwa eine Diagonale von 17 Zoll bzw. 43 cm). Zeigt man das gleiche Bild auf einem 19"-Bildschirm, wäre die Darstellung etwa $37,6 \times 30,2$ cm groß. Die Darstellungsgröße hängt also davon ab, wie viele Bildpunkte das Gerät pro Zoll angeordnet hat. Die Pixel-pro-Zoll-Auflösung (ppi) von Bildschirmen kann recht unterschiedlich sein und reicht typischerweise von 72 ppi bis 120 ppi – letzteres bei größeren, hochauflösenden 24"-Bildschirmen. Bei Bildschirmen wird die Auflösung in aller Regel in Bildpunkten in horizontaler und vertikaler Richtung angegeben – etwa 1024×1280 oder 1280×1600 . Die Darstellungsgröße ist hier also stark davon abhängig, wie viele Pixel pro Zoll oder Zentimeter eingesetzt werden. So kommt man zur Auflösung in *pixel per inch* (bzw. Zoll) oder kurz *ppi*.

Bei etwa älteren und preiswerten LCD- und anderen Flachbildschirmen ist die Auflösung fest und nicht verstellbar – zumindest solange man keine Qualitätseinbußen in Kauf nehmen möchte. Die neuen Generationen hochauflösender Farbbildschirme sind da flexibler. So erlauben etwa moderne 4K- und 5K- und bald schon 8K-Bildschirme auch die ›Auflösung‹ zu reduzieren und trotzdem noch eine augenfreundliche Darstellung zu erzeugen.

Auch beim Drucken ist die Darstellungsgröße abhängig davon, wie viele Bildpunkte wir pro Zoll oder Zentimeter aufs Papier bringen. Die Bildqualität hängt aber auch davon ab, wie der einzelne Bildpunkt auf dem Papier erzeugt wird.

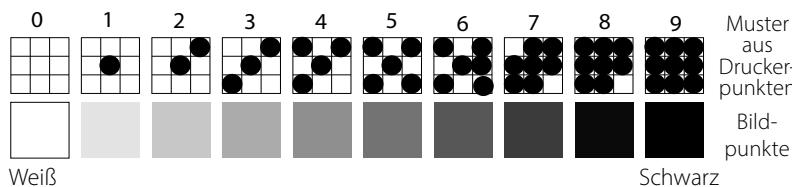
* Es würde dabei die meisten Bildschirme ausfüllen, wenn man für jeden Bildpunkt des Bilds jeweils einen Bildpunkt des Bildschirms einsetzen würde.

Statt ppi bzw. ›Pixel pro Zoll‹ gibt es auch das Maß ›Pixel pro Zentimeter‹ (ppc), was aber kaum benutzt wird.

Wie Bildpunkte über Druckerpunkte reproduziert werden

Möchten wir einen Bildpunkt auf dem Papier wiedergeben, so müssen wir nicht nur den physikalischen Druckerpunkt auf das Papier setzen, sondern diesem Punkt auch optisch den Farbton des Bildpunkts im ursprünglichen digitalen Bild geben. Bei bitonalen Bildern ist das einfach. Ist der Bildpunkt 0, so muss man einen Druckerpunkt setzen, und ist der Bildpunkt 1, so lässt man den Druckerpunkt weg. Hat das Bild jedoch Graustufen (*Halbtöne*), also Tonwerte zwischen Schwarz und Weiß (z. B. den Wert 128 bei 256 möglichen Stufen), und druckt man beispielsweise mit einem Schwarzweißlaserdrucker (um es hier zunächst einfacher zu machen), brauchen wir ein mächtigeres Verfahren, da nur die wenigsten gängigen Druckverfahren direkt Halbtönen mit einem Druckerpunkt darstellen können.* Bei den übrigen Verfahren wird der Tonwert eines Bildpunkts durch ein $n \times n$ -Raster von feinen Druckerpunkten simuliert. Dafür wird ein spezielles Muster (Raster) aus Druckerpunkten aus den Primärfarben des Druckers eingesetzt. Dies wird dann als *Rasterverfahren* oder *Dithering* bezeichnet.

Bleiben wir zunächst bei Schwarzweiß. Um einen bestimmten Halbtönenwert eines Bildpunkts zu erzeugen, wird eine Anzahl von Druckerpunkten in einem bestimmten Muster auf das Papier gesetzt. Bei niedriger Auflösung könnten wir eine 3×3 -Matrix von Druckerpunkten dafür einsetzen. Damit könnten wir zehn unterschiedliche Grauwerte simulieren, wie Abbildung 1-1 zeigt.



Bitonal besagt, dass nur zwei Tonwerte vorkommen.

* Halbtöne direkt erzeugen können z.B. Fotobelichter, der Thermosublimationsdruck und das Tiefdruckverfahren.

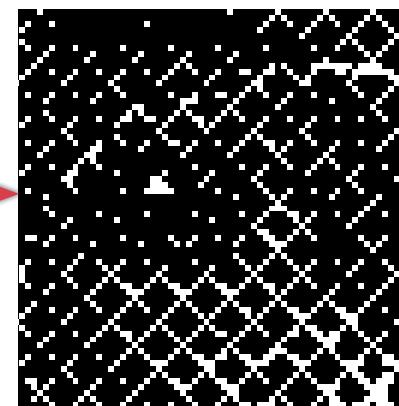
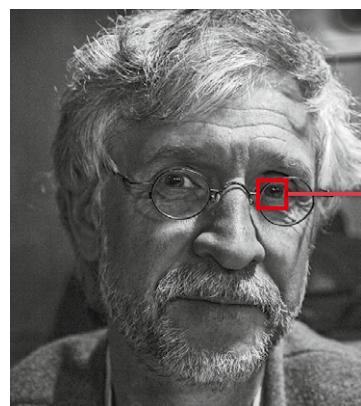
Primärfarben sind bei einem Drucker die Farben, aus denen er die eigentliche Farbe aufbaut – bei einem Tintendrucker also die Farben der einzelnen Tinten.

Setzt man mehr Druckerpunkte pro Bildpunkt ein, so sind damit mehr Halbtönenwerte möglich. Bei einem 6×6 -Raster sind es 37 unterschiedliche Tonwerte, bei einem 8×8 -Raster 65 und bei einem 16×16 -Raster 257 mögliche Tonwerte, was selbst für sehr hohe Ansprüche ausreicht. Zur besseren Unterscheidung soll die Matrix aus Druckerpunkten hier als *Rasterzelle* bezeichnet werden.

Jetzt wird klar, warum die dpi-Auflösung eines Druckers sehr viel höher als die dpi- bzw. ppi-Auflösung eines Bildschirms sein muss. Beim Bild-

[1-1]

Umsetzung eines Halbtönenverfahrens unter Verwendung eines 3×3 -Rasters. Damit ergeben sich zehn mögliche Tonwerte.



[1-2] Rechts: vergrößerte Ausschnitt des Auges in der Technik des Offsetdrucks. Es sind deutlich die Druckerpunkte der Rasterzelle sichtbar (hier mit quadratischen Punkten).

schirm kann der einzelne Bildpunkt eben unterschiedliche Tonwerte bzw. Helligkeitsstufen annehmen.

Drückt man ein Graustufen- oder Farbbild auf einem Drucker mit relativ geringer Auflösung, so gilt es, einen Kompromiss zwischen einem höher aufgelöst gedruckten Bild zu machen, bei dem möglichst viele Rasterzellen pro Zoll eingesetzt werden, und einem größeren Rasterpunkt, wobei jeder Rasterpunkt wiederum ein größeres Spektrum an Farbwerten erlaubt.

Der Bildeindruck lässt sich verbessern, wenn der Drucker in der Lage ist, die Größe des einzelnen Druckerpunkts zu variieren. Dies ist beispielsweise bei einigen Laserdruckern möglich,* aber auch bei einigen modernen Inkjet-Druckern. Kann die Punktgröße variiert werden (dies wird auch als *moduliert* bezeichnet), so sind weniger Punkte notwendig, um ein bestimmtes Repertoire an Tonwerten zu erzeugen, was wiederum eine höhere Rasterdichte erlaubt.

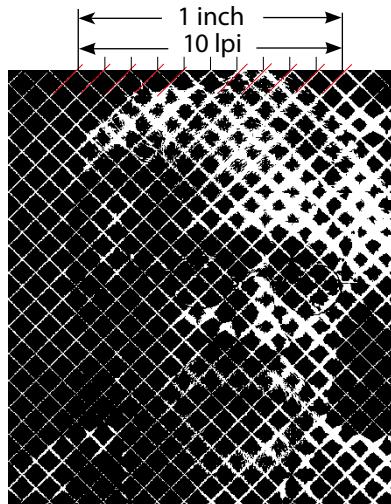
Es gibt zahlreiche unterschiedliche Muster, um Rasterzellen aufzubauen, und das in einem Druckertreiber verwendete Dithering-Verfahren ist teilweise das Geheimnis des Treiber-/Druckerherstellers. So erhält man beispielsweise ein Bild, das stärker einer Fotografie ähnelt, wenn nicht alle Rasterzellen mit einem bestimmten Tonwert vollkommen gleich aufgebaut werden, sondern eine gewisse Zufallskomponente eingesetzt wird. Man bezeichnet dies auch als *stochastisches Dithering*.

Linien pro Inch (Zoll) – lpi

Bei dem zuvor beschriebenen Rasterzellenverfahren zur Simulation unterschiedlicher Tonwerte werden die Rasterzellenzeilen nicht genau untereinander angeordnet, sondern leicht gegeneinander versetzt. Die Rasterzellen bilden so eine Art Linien über die Druckfläche hinweg und die einzelnen Rasterzellen werden zumeist auch nicht dicht an dicht gesetzt, sondern haben einen kleinen Abstand. So ergibt sich der Begriff *Rasterlinien* und *Rasterwinkel* sowie das Maß beim Drucken solcher Raster von *Linien pro Maßeinheit* – entweder *lines per inch* (lpi = Linien pro Zoll) oder *Linien pro Zentimeter* (L/cm oder lpc, wobei $1 \text{ lpi} \approx 2,54 \text{ L/cm}$ entspricht).

Bei Schwarz haben diese Rasterlinien in der Regel einen 45° -Winkel. Die Anzahl von Rasterzellen bzw. Rasterlinien pro Zoll (siehe Abb. 1-3) stellt eine weitere Art von Auflösung dar – Zellen oder *Linien pro Inch* oder kurz *lpi* (im metrischen Maßsystem sind es *Linien pro cm* – kurz *l/cm*). Beim Farbdruck besteht die Rasterzelle nicht aus dem Punktmuster einer Farbe, sondern das Ganze wiederholt sich pro Primärfarbe.

Die meisten Druckprozesse verwenden Cyan, Magenta, Gelb (englisch: *Yellow*) und Schwarz als Primärfarben. Einige Druckverfahren – und praktisch alle Tintendrucker mit dem Zusatz *Foto* – setzen zusätzliche Farben bzw. Tinten ein, um das Farbspektrum und die Feinheit von Verläufen zu verbessern. Im Prinzip arbeiten sie aber nach dem gleichen Schema wie die Vierfarbdrucker, verwenden jedoch ein anderes Dithering. Bei Farbdruckern erfolgt auch die Erzeugung der verschiedenen Farben, die nicht den



[1-3] Vergrößerung eines sehr groben Rasters von 10 Linien pro Zoll (Inch)

→ Entsprechend den englischen Namen der beim Offsetdruck verwendeten Farben Cyan, Magenta, Yellow und Black wird dieser Druck auch CMYK-Druck genannt. Schwarz wird dabei als Schlüsselfarbe (englisch: *Key Color*) bezeichnet und deshalb mit K abgekürzt.

reinen Primärfarben entsprechen, durch ein sich überlagerndes Rastermuster von Farbpunkten aus Primärfarben (siehe dazu Abbildung 1-4).

Die unterschiedlichen Primärfarben – beim CMYK-Druck sind es vier – werden mit unterschiedlichen Rasterwinkeln gedruckt. Bei dem bei Büchern und Zeitschriften üblichen Offsetdruck sind dies im Standardfall Cyan mit $71,6^\circ$, Magenta mit $18,4^\circ$, Gelb mit 0° und Schwarz mit 45° . Es werden auch andere Kombinationen eingesetzt. Um Moirés zu vermeiden, die sich aus der Überlagerung der Rasterzellenmuster ergeben können, wird auch die Rasterweite farbspezifisch leicht variiert (siehe Tabelle 1-1).

Tabelle 1-1: Beispiele für CYMK-Farbraster bei einer Rasterweite von 106 lpi

	Cyan	Magenta	Gelb	Schwarz
lpi	94,86	94,86	100,0	106,0
Rasterwinkel	$71,56^\circ$	$18,43^\circ$	$0,0^\circ$	$45,0^\circ$

Die Anzahl der ‚Linien pro Inch‘ – die auch als *Rasterweite* bezeichnet wird – ist von verschiedenen Faktoren abhängig:^{*}

1. Anzahl der unterschiedlichen Tonwerte, die man abbilden möchte. Mehr (mögliche) Tonwerte erfordern mehr Punkte pro Rasterzelle und damit größere Rasterzellen.
2. Größe des einzelnen Druckerpunkts. Je kleiner der einzelne Druckpunkt sein kann, umso kleiner kann die einzelne Rasterzelle sein und umso mehr Rasterzellen bringt man pro Einheit unter.
3. Verwendetes Papier. Bei Zeitungspapier, das sehr saugfähig ist, verwendet man eine kleinere Rasterweite (mehr Platz zwischen den einzelnen Rasterzeilen), um zu vermeiden, dass die Punkte ineinanderfließen. Setzt man hingegen gestrichenes, kaschiertes Papier ein, so lässt sich mit einem engeren, feineren Raster arbeiten und man erhält damit einen besseren Bildeindruck.

* Die Tabelle 1-2 gibt einige Richtwerte für verschiedene Druckverfahren.

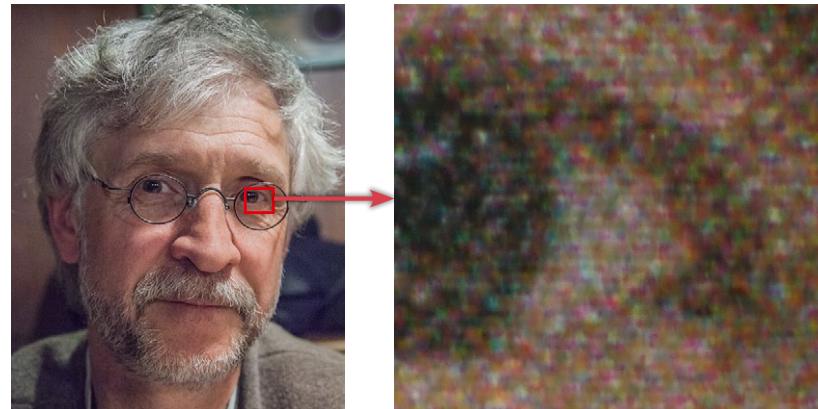
Erstellt man mit einem Tintendrucker Fine-Art-Drucke, so muss man sich um diese Rasterpunkte und Rasterweiten kaum kümmern und das Dithering des Druckertreibers ist komplexer als bisher beschrieben – Entspannung ist also angesagt. Stattdessen sollte man die eigentliche (*native*) Druckerauflösung des Inkjet-Druckers kennen. Sie liegt typischerweise zwischen 240 und 360 ppi.^{**} Auf diese Auflösung sollte man (im Idealfall) ein Bild, das man drucken möchte, hoch- oder runterrechnen. Die Auflösung muss dann nicht genau stimmen – ungefähr reicht aus. In der Regel kann danach der Druckertreiber oder Photoshop den letzten Teil übernehmen. Bei aktuellen Inkjet-Druckern braucht man sich um Rasterweiten und -winkel nicht mehr zu kümmern. Dies übernimmt der Druckertreiber oder der RIP. Die Treiber selbst bieten dafür gar keine Einstellungen mehr an. Beim Offsetdruck mag dies in wenigen Fällen von Relevanz sein und lässt sich dann in Photoshop bei der Farbseparation einstellen.

** Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn man mit der Basisauflösung des Druckers arbeitet. Sie liegt bei 300 oder 360 ppi oder bei 600 oder 720 ppi (abhängig vom Hersteller und Druckertyp).

→ Zum Thema ‚Drucken mit einem RIP‘ siehe Kapitel 8.3, Seite 337.

Tabelle 1-2: Korrekte Rasterweiten für verschiedene Druckverfahren und -gegebenheiten

Rasterweite	Anwendung	Bildauflösung	
53 lpi	21 l/cm	Laserdrucker (600 dpi, 65 Graustufen)	70–110 ppi
70 lpi	27 l/cm	Zeitungspapier, in der Regel grobes saugendes Papier	90–140 ppi
90 lpi	35 l/cm	Guter Zeitschriftendruck	140–180 ppi
120 lpi	47 l/cm	Durchschnittliche Buchqualität. Der einzelne Rasterpunkt ist noch gut erkennbar.	160–240 ppi
133 lpi	52 l/cm	Gute Buch- und Zeitschriftenqualität, geeignet für Offsetdruck. Der einzelne Rasterpunkt ist noch erkennbar.	170–265 ppi
150 lpi	59 l/cm	Hochauflösend. Rasterpunkte sind kaum mehr wahrnehmbar. Hochwertiger Offset- und Tiefdruck.	195–300 ppi
180 lpi	71 l/cm	Recht guter Offsetdruck, feines Raster. Der einzelne Rasterpunkt ist bei normalem Leseabstand von 20–30 cm nicht mehr erkennbar.	250–360 ppi
200 lpi	79 l/cm	Sehr hochwertiger Druck, sehr glattes und weißes Papier erforderlich.	300–400 ppi
keine feste Rasterweite	Hochwertige Drucke mit Tintenstrahldruckern	200–360 ppi	



[1-4]

Druckt man Farbbilder per Offsetdruck oder, wie hier, per Tintendrucker, so ergibt sich der Farbeindruck durch ein Punktmuster aus farbigen Druckpunkten aus Primärfarben.

Wie viele Pixel pro Zoll braucht man wirklich?

Hierauf gibt es keine einfache Antwort. Wie so häufig kommt es darauf an. Mehrere Faktoren bestimmen die richtige Antwort:

■ Eingesetzte Drucktechnik

Es ist ein wesentlicher Unterschied, ob man ein Druckverfahren einsetzt, das direkt Punkte mit unterschiedlichen Tonwerten erzeugen kann (beispielsweise Belichten auf Fotopapier oder Thermosublimationsdruck), oder ein Verfahren, das den Tonwert über ein Dithering-Verfahren umsetzen muss (wie beispielsweise beim Offset- und Tintenstrahldruck).

Der erforderliche ppi-Wert ist für beide Verfahrenstechniken etwa gleich, der dpi-Wert der Drucker aber verschieden. Bei Verfahren mit kontinuierlichen Farbtönen reichen 300 ppi, während man bei Druckern, die Dithering für die Farbtöne einsetzen, viele Druckerpunkte oder Tintentröpfchen braucht (etwa den Faktor 4–6), um ein Pixel wiederzugeben.

■ Art des eingesetzten Papiers

Setzt man ein Papier mir rauer, saugfähiger Oberfläche ein, blutet der Druckpunkt etwas aus.* Man muss dann die Rasterweite erhöhen bzw. bei einem Inkjet die Druckerauflösung reduzieren (wie in Tabelle 1-2 angegeben). Setzt man hingegen ein glattes, beschichtetes Papier ein, lässt sich mit höherer Druckerauflösung arbeiten und man erhält ein besseres, detaillierteres Bild.

Setzt man ein Hochglanz- (Glossy) oder Luster-Papier ein, so lassen sich noch feinere Details wiedergeben, da man mit höheren Auflösungen als bei matten Papieren oder Leinwand arbeiten kann.

■ Betrachtungsabstand

Der Betrachtungsabstand ist ein wesentlicher Faktor, da das menschliche Auge einzelne, getrennte Punkte nur bis zu einem bestimmten Betrachtungswinkel unterscheiden kann. Dieser liegt bei $0,01\text{--}0,02^\circ$. Ist der Winkel kleiner, können wir die Punkte nicht mehr als eigene Punkte unterscheiden und sie verschmelzen miteinander. Beim normalen Lese-/Betrachtungsabstand von etwa 30 cm beträgt dieser Punktabstand etwa 0,08 mm.** Entsprechend ist bei einem A4 großen Bild 0,08 mm ein guter Wert und entspricht einer Punktdichte von etwa 300 ppi. Ist der einzelne Punkt bzw. die einzelne Rasterzelle kleiner, erhöht sich für unsere Optik damit die Bildqualität nicht.

Ist das Foto A3 groß, so erhöht sich im Normalfall der Betrachtungsabstand, da wir das gesamte Bild auf einen Blick sehen möchten. Deshalb erhöht sich der zulässige Punkt- oder Rasterzellenabstand auf etwa 0,122 mm und die benötigte Auflösung auf etwa 210 ppi.

Erstellen Sie ein Poster, so erhöht sich der Betrachtungsabstand weiter und damit darf auch die für eine gute Bildqualität benötigte Druckauflösung kleiner werden. Für wirklich großformatige Drucke kann sie auf 10 bis 20 ppi sinken. Möchte man eine vereinfachte Formel verwenden, so dividiert man 100 durch den Betrachtungsabstand in Metern und erhält damit den in etwa benötigten ppi-Wert:

$$\text{Benötigte Auflösung (in ppi)} = \frac{100}{\text{Betrachtungsabstand (in Meter)}}$$

Aus diesem Grund lässt sich eine 12-Megapixel-Digitalaufnahme fast beliebig vergrößern – solange der Betrachter später den richtigen Betrachtungsabstand einhält.

■ Art des Druckers, der verwendeten Druckereinstellungen und der Interpolation

Für optimale Druckergebnisse sollten Sie bei Inkjet-Druckern die native Auflösung des Druckers verwenden. Diese unterscheidet sich von Hersteller zu Hersteller. So haben Epson-Inkjets zumeist eine native Auflösung von 720 ppi, während die meisten HP- und Canon-Drucker mit 600 ppi arbeiten. Mit 360 ppi für Epson-Drucker und 300 ppi für HP- und Canon-Drucker sind die Ergebnisse jedoch zumeist fast gleich gut.

* Die Zunahme des gedruckten Punkts durch das Ausbluten oder Flachdrücken beim Offsetdruck wird als »Punktzuwachs« bezeichnet.

Luster-Papiere sind Papiere mit einem leichten Glanz. Sie werden teilweise im Deutschen auch als »Lüster-Papiere« bezeichnet.

** Helles Licht kann den Abstand etwas reduzieren, bei schwachem Licht wächst der Abstand leicht.

→ Der »normale Betrachtungsabstand« ist etwa dann erreicht, wenn man das gesamte Bild mit einem Blick erfassen kann, und entspricht grob der Bilddiagonalen.

Bei großen Plakaten beträgt der Betrachtungsabstand oft 10 Meter oder mehr.

* Hierbei wird angenommen, dass kein weiteres Skalieren mehr vorgenommen wird.

** Bei Photoshop wird jenes Verfahren eingesetzt, das man unter **Voreinstellungen ▶ Allgemeine ▶ Bild-interpolation** eingestellt hat.

Brauchen Sie wirklich eine so hohe Auflösung – abweichend von den zuvor gemachten Angaben? Ja und nein. Bei einem HP-Drucker empfehlen sich 300 ppi oder 600 ppi, bei einem Epson-Inkjet entweder 360 ppi oder 720 ppi, bei einem Canon entweder 300 ppi oder 600 ppi.*

Man kann das automatische Hoch- oder Runterrechnen des Bilds für den Ausdruck Photoshop oder dem Druckertreiber überlassen. In beiden Fällen weiß man jedoch nicht genau, welches Interpolationsverfahren eingesetzt wird.**

Liegt Ihr Bild in der Nähe dieser Werte (bei der geplanten Druckgröße), hat der Skalierungsalgorithmus keinen großen Einfluss. Muss das Bild hingegen wesentlich hoch- oder runtergerechnet werden, hat der Algorithmus durchaus Auswirkungen und beeinflusst auch die Auswirkungen des Schärfens, das Sie für den Druck eventuell vorgenommen haben. Sie sollten das Bild dann entweder explizit in Photoshop skalieren, bevor Sie den Druckdialog aufrufen – und dies kann dann für den Druck mit einer anderen Größe erforderlich werden –, oder Sie setzen eine Druckanwendung oder einen RIP ein, der das Skalieren übernimmt.

Führen Sie das Skalieren in Photoshop durch, so empfehlen wir ›Bikubisch glatter‹ für ein Hochrechnen und ›Bikubisch schärfer‹ beim Runterrechnen (Verkleinern).

1.2 Offsetdruck

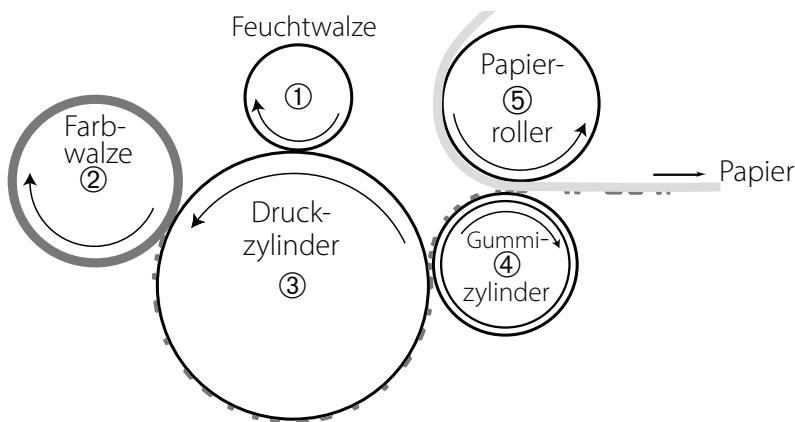
Technisch (und bei den Farbprofilen) unterscheidet man beim Offsetdruck nochmals zwischen Bogen-Offsetdruck und Rollen-Offsetdruck. Bei Letzterem kommt das Papier von einer großen Papierrolle, während beim Bogen-Offset einzelne Papierbögen eingezogen werden. Das Druckprinzip ist aber bei beiden Verfahren gleich.

Der Begriff ›Offset‹ kommt daher, dass die Farbe vom Druckzylinder auf eine Zwischenwalze (oder ein Tuch) übertragen wird (englisch: off set) und von dort erst auf das Papier.

Der (analoge) Offsetdruck ist das Verfahren, welches zumeist bei Büchern, Broschüren, Zeitschriften und Zeitungen eingesetzt wird. Das Verfahren arbeitet mit Druckplatten. Das Druckbild wird zunächst gerastert wie im vorhergehenden Abschnitt 1.1 beschrieben. Dieses Bildraster wird auf die lichtempfindlich beschichtete Druckplatte übertragen – heutzutage per Laser- oder LED-Belichter. Der Laser ›schreibt‹ dabei die Druckpunkte auf diese Schicht. Die Druckplatte wird nun in einem chemischen Bad entwickelt.

Die Teile der Platte, die keine Farbpunkte abgeben sollen, sind nun glatt und nehmen kein Wasser auf, wenn sie an der Feuchtwalze ① vorbeilaufen. Jene Teile, die Farbe (Druckpunkte) abgeben sollen, sind durch die Entwicklung rau geätzt und nehmen beim Vorbeilauf an der Farbwalze ② Farbe auf.

Das Muster aus Farbpunkten wird nun auf ein Gummituch bzw. einen Gummizylinder ④ übertragen und von dort auf das Papier. Das Papier läuft dabei zwischen einer Andruckwalze (Papierroller) ⑤ und der Gummwalze mit der Farbe durch. Beim Farbdruck erfolgt in jeweils getrennten Druckwerken der Auftrag der einzelnen Farben – im Standardfall C (Cyan), M (Magenta), Y (Yellow bzw. Gelb) und K (Schwarz bzw. Key Color).



[1-5]

Funktionsschema des Offsetdrucks
(traditioneller analoger Offsetdruck)

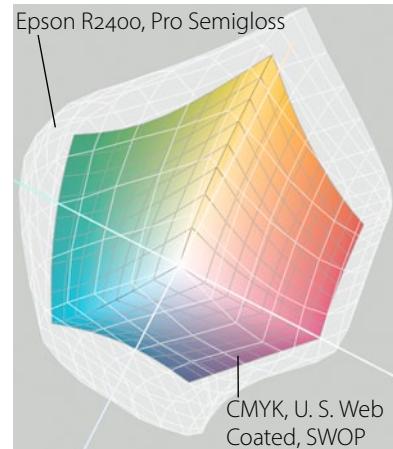
Die typische Druckerauflösung beim Offsetdruck liegt bei 2400 dpi und kann bei einigen Systemen auch 3200 dpi betragen. Die Qualität so gedruckter Bilder ist sehr gut – sowohl was die Bildauflösung und Bildschärfe betrifft als auch was die Lichtbeständigkeit angeht – solange gute, gestrichene und säurefreie Papiere benutzt werden. Der erreichbare Farbumfang liegt etwas unterhalb dem guter Foto-Inkjet-Drucker (siehe Abb. 1-6).

Beim Offsetdruck lässt sich der Farbraum dadurch erweitern, dass statt der üblichen vier Farben (CMYK) sechs Farben eingesetzt werden. Dies wird auch als *Hexachromverfahren* bezeichnet. Hier kommen zu CMYK noch Grün und Orange hinzu. Allerdings setzt der Hexachromdruck Drucker mit mindestens sechs Druckwerken voraus und benötigt zusätzlich eine spezielle Farbseparation mit speziellen Plug-ins, um Bilder in Photoshop für das DTP-Dokument aufzubereiten. Der Druck ist deutlich teurer als ein normaler Vierfarbdruck (auch mit 4C abgekürzt).

Auch mit neueren Raster-/Dithering-Verfahren (z. B. den so genannten *frequenzmodulierten Rastern*) lassen sich feinere Strukturen im Bild wiedergeben und eine verbesserte Farbwiedergabe erreichen.

Den traditionellen Offsetdruck wählt man, wenn man eine Auflage von 1000 oder mehr erstellen möchte, wobei kaum ein nichtkommerzieller Anwender die Kosten einer Offsetdruckmaschine rechtfertigen kann. Wir gehen deshalb auf diese Technik auch nicht weiter ein.

In den letzten Jahren kam eine Reihe von *digitalen Offsetdruckern* auf den Markt – die HP Indigo Press ist ein solches Beispiel. Das System arbeitet sehr ähnlich wie ein Laserdrucker und wird typischerweise für Auflagen zwischen 50 und 1000 Stück eingesetzt. Bei den meisten Druckmodellen ist die maximale Druckgröße jedoch auf A4 oder A3 beschränkt. Die Druckerauflösung liegt deutlich unterhalb der von analogen Offsetsystemen (z. B. hat das HP-Indigo-Press-System eine Auflösung von 812 × 812 dpi).* Beim Druck von Fotos führt das zu einer erkennbar schwächeren Bildqualität. Was den Farbumfang angeht, übertreffen einige digitale Offset-



[1-6] Der Farbraum eines Fototintendruckers (graue Form) ist größer als der des konventionellen analogen Offsetdrucks (farbige Form).

* gegenüber den 2400 dpi oder sogar 3200 dpi analoger Offsetsysteme

systeme den Farbumfang traditioneller CMYK-Offsetsysteme, reichen aber noch nicht ganz für anspruchsvolle Fine-Art-Drucke.

Sowohl traditionelle als auch digitale Offsetdrucker sind ziemlich schnell. So gibt HP beispielsweise eine Druckleistung von 4 000 A4-Seiten pro Stunde für das System Indigo Press 5000 an und die Druckleistung von konventionellen Offsetsystemen kann 100 000 Seiten pro Stunde überstreichen.

Die Preise digitaler Offsetsysteme beginnen bei etwa 50 000 Euro. Der Preis eines konventionellen Offsetsystems kann leicht 1 Million Euro übersteigen.

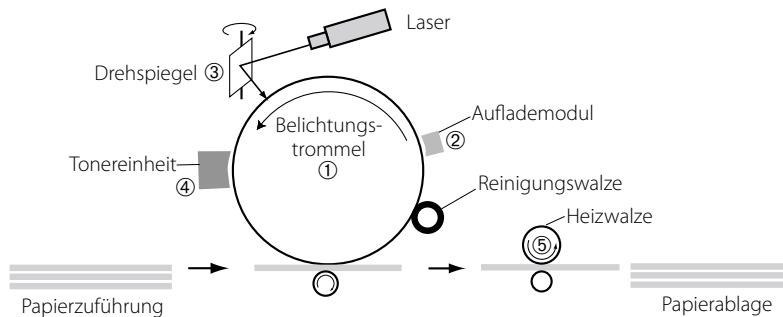
1.3 Laserdrucker

Laserdrucker sind etabliert, seit Längerem auf dem Markt und relativ schnell (von 4 Seiten bis etwa 100 Seiten pro Minute). Betrachtet man die Seitenkosten, so liegen diese auch relativ niedrig – typischerweise bei 4–6 Cent pro A4-Schwarzweißseite bei einer mittleren Farbdeckung von 5% pro Seite und etwa 16–20 Cent pro Seite bei einem Vollseitenfoto. Waren Farblaserdrucker früher ausgesprochen teuer, so fielen die Preise seit 2004 erheblich. So kann man heute einen A4-Farblaserdrucker bereits für weniger als 400 Euro erhalten. Dabei wird bei den preiswerten Farblaserdruckern das gleiche Prinzip eingesetzt wie bei niedrigpreisigen Tintenstrahldruckern: Die Hersteller verdienen ihr Geld über den relativ teuren Toner und nicht an der Druckerhardware. Ein Toner-Set, das für etwa 3 000–5 000 Seiten bei 5% mittlerer Farbdeckung pro Seite reicht, kostet knapp so viel wie der Drucker selbst, nämlich 300–400 Euro. Dies ergibt einen A4-Seitenpreis von etwa 10 Cent bei einer mittleren Farbdeckung von 5% und etwa 1,60 Euro bei ganzseitiger Farbdeckung. Trotzdem ist das Drucken von Text- und Grafikseiten mit Laserdruckern heute noch deutlich schneller und billiger als mit Inkjet-Druckern.

Laserdrucker verwenden weitgehend die gleiche Drucktechnik (siehe Abb. 1-7) wie moderne Fotokopiersysteme (einige Modelle kombinieren sogar die beiden Funktionen Scannen und Drucken):

* An Stelle der Belichtung durch Laser und Spiegel kann die Belichtung der Trommel auch durch eine LED-Zeile oder durch Licht erfolgen, dessen Durchgang mittels einer LCD-Zeile gesteuert wird.

Eine Selen-beschichtete Belichtungstrommel ① wird über das Auflademodul ② positiv aufgeladen. Das zu druckende Bild wird zunächst in ein Punktraster umgewandelt – zumeist durch den im Drucker integrierten RIP – und dieses Punktraster wird über einen Laserstrahl und einen rotierenden Spiegel ③ auf die Trommel übertragen. Wo das Licht auf die Selentrommel trifft, wird die positive Ladung aufgehoben oder die Oberfläche sogar negativ geladen. Läuft die Trommel nun an der Tonereinheit ④ vorbei, so nehmen die belichteten Bereiche positiv geladenes Tonerpulver auf. Der Toner wird dann auf das Papier übertragen und beim Durchgang durch die Heizwalze ⑤ in das Papier eingeschmolzen.



[1-7]
Funktionsmodell eines Laserdruckers

Farblaserdrucker setzen vier Toner ein – Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz (CMYK). Entweder werden dabei vier Belichtungstrommeln benutzt oder ein Tuch, das die Farben aus vier aufeinander folgenden Trommelrotationen mit jeweils einer neuen Farbe aufnimmt und anschließend auf das Papier überträgt.

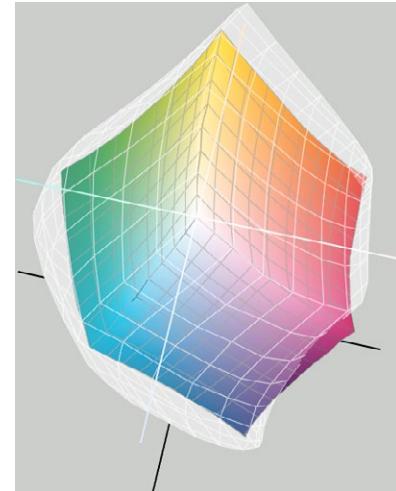
Was die Bildqualität betrifft, stellen die Druckerauflösungen der heutigen Laserdrucker (600–2400 dpi, zumeist nur 600 oder 1200 dpi) und die Anzahl der Primärfarben (CMYK) eine Limitation dar. Auch sind die Tonerpartikel bisher größer als die kleinen Tintentröpfchen aktueller Inkjet-Systeme.

Die meisten Laserdrucker haben zusätzlich Probleme bei der Erzeugung homogener Farbflächen: Man sieht häufig Farbflecken und eine ungleichmäßige Farbdeckung in größeren Flächen. Bei den meisten Farblaserdruckern glänzt die Farboberfläche, was auf mattem Papier und bei manchen Bildern stören mag. Dieser Effekt ist zumeist bei den Festtintendruckern von XEROX (deren Arbeitsweise mehr dem Tintendruckerprinzip ähnelt) recht ausgeprägt.

Aus diesem Grund ist die Fotoqualität von Laserdruckern bisher denen guter Inkjet-Drucker deutlich unterlegen und der Druck für Fine-Art-Drucke nicht geeignet. Die Qualität reicht aber für die meisten textlastigen Publikationen und für eine schnelle und preiswerte erste Bildinspektion auf Papier.

Die Farbstabilität des Drucks hängt primär vom verwendeten Papier ab und liegt etwa bei 10–20 Jahren. Die Stabilität von Schwarzweißdrucken ist deutlich höher und die Drucke lassen sich bei Einsatz geeigneter, säurefreier Papiere für zu archivierende Dokumente verwenden.

Während man für Schwarzweißlaserdrucker relativ problemlos preisgünstigere Tonerpatronen erhält – zumindest was die verbreiteten Druckermodelle betrifft – und diese in aller Regel wenig Probleme bereiten, sind Farbtonerpatronen von Drittanbietern kaum anzutreffen.



[1-8] Farbraumvergleich eines Farblaserdruckers (OKI C5400, innerer farbiger Raum) und eines Inkjet-Druckers (Epson SC-P600, mit einem Epson Pro Luster-Papier, äußerer grauer Bereich)

1.4 Thermosublimationsdrucker

PictBridge ist ein Kommunikationsprotokoll zwischen einem externen Speichermedium und dem Drucker.

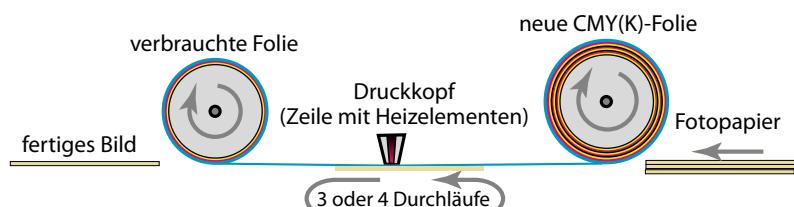
* Große Steuerungsmöglichkeiten darf man dabei natürlich nicht erwarten. Teilweise nimmt die Drucksoftware dabei noch automatische Bildoptimierungen vor.

Thermosublimationsdrucker werden häufig dann eingesetzt, wenn man sehr einfach und schnell einen fotografischen Papierabzug haben möchte. Sie können zumeist direkt über ein USB-Kabel an die Kamera angeschlossen und per DPOF (*Digital Print Order Format*) oder über das PictBridge-Protokoll angesteuert werden. Die meisten Consumer-Kameras beherrschen inzwischen PictBridge. Alternativ lässt sich bei den meisten dieser Drucker die Speicherkarte der Kamera direkt in einem Kartenleser am Drucker nutzen, um Bilder direkt von der Karte herunter auszudrucken.*

Beim Thermosublimationsdruck (oft auch als *Dye-Sub* abgekürzt) erfolgt der Farbtransfer von einer Farbfolie herunter auf das Papier. Die Farbe auf der Folie wird über winzige Heizelemente im Druckkopf erwärmt, verdampft (sublimiert) dabei und schlägt sich auf dem relativ kalten Papier nieder. Der Druckkopf besteht aus einer Zeile von kleinen, punktförmigen Heizelementen. Die Farbe dringt hier in die Papieroberfläche ein. Zum Einsatz kommen sowohl Farbbänder (Folien) mit CMY als auch CMYK. Oft wird zusätzlich als Letztes eine klare Schutzschicht mit dem gleichen Verfahren aufgetragen. Da die Folie an einer Stelle jeweils nur eine Farbschicht und eine Farbe trägt und die verschiedenen Farben auf der Folie hintereinander angeordnet liegen, sind drei oder vier Durchläufe erforderlich und eventuell ein weiterer Durchlauf für die Schutzschicht. Der einmal durchgelaufene Teil der Folie ist nicht weiter nutzbar und wird aufgerollt und später weggeworfen. Die Menge der jeweils aufgetragenen Farbe wird durch den Hitzegrad des einzelnen Heizelements gesteuert. Die jeweils neu aufgetragene Farbe vermischt sich mit der zuvor aufgedampften Farbe, so dass hier jeder Druckpunkt ein fast kontinuierliches Farbspektrum annehmen kann und ein Dithering nicht notwendig ist.

Bei diesem Verfahren sind die Druckkosten pro Seite unabhängig vom Farbauftrag und der Anzahl der konkret verwendeten Farben, da der Folienbereich nur einmal verwendet und die gesamte Folie, wenn sie einmal durchgelaufen ist, entsorgt wird.

[1-9]
Funktionsschema eines Thermosublimationsdruckers



Die typische Auflösung liegt beim Thermosublimationsdruck bei etwa 240 bis 300 dpi, was sich zunächst niedrig anhört. Da hier Bildpunkte jedoch nicht durch ein Dithering-Muster erzeugt werden müssen, sondern die Farben in einem Druckpunkt verschmelzen, ergibt sich bei dieser Auflösung ein sehr guter fotografischer Bildeindruck. Da mit sehr reinen Farben gear-

beitet werden kann, reichen auch drei oder vier Primärfarben für einen guten Farbumfang.

Die typischen Dye-Sub-Drucker haben eine maximale Druckgröße von entweder 10×15 cm (bei den teilweise tragbaren billigeren Modellen) oder A4. Die Druckgeschwindigkeit liegt bei etwa 30–100 Sekunden pro 10×15 cm-Bild. Einige Modelle sind jedoch wesentlich schneller (z.B. der Kodak Photo Printer 6850, 300 dpi, 8 Sekunden für ein 10×15 cm großes Bild). Moderne, großformatige Thermosublimationsdrucker bietet Epson inzwischen mit seiner SureColor SC-F-Serie an, mit Druckbreiten bis zu 162 cm.

Die Papierauswahl ist bei diesen Druckern zumeist recht klein und beschränkt sich auf jeweils ein Hochglanz- und ein Mattpapier, die der Druckerhersteller liefert. Auch die passende Farbfolie muss man in der Regel vom Hersteller kaufen.

Die Lichtbeständigkeit von Dye-Sub-Drucken liegt bei etwa 5–15 Jahren und bei wesentlich mehr, wenn die Bilder im Dunklen aufbewahrt werden.

Der Preis solcher Drucker beginnt bei etwa 120 Euro für die kleinen Formate und steigt deutlich für A4-Drucker (500–1200 Euro). Die Kosten liegen bei etwa 20–30 Cent für ein 10×15 cm großes Bild und bei etwa 1,50 bis 2,50 Euro pro A4-Bild.



[1-10] Beispiel eines kompakten Thermosublimationsdruckers

(hier: Canon SELPHY CP1300; Bild: Canon)

1.5 Digitaler Fotodirektdruck

Für den *Fotodirektdruck* gibt es mehrere Bezeichnungen wie etwa *Digitaler Fotodruck*, *Ausbelichtungen* oder *LightJet-Druck*.^{*} Das Grundprinzip besteht darin, dass das Bild per Laserstrahl oder LED-Zeile auf konventionelles Fotopapier belichtet wird. Das belichtete Papier wird dann in einem konventionellen chemischen Prozess entwickelt, gewässert und getrocknet. Für einen RGB-Druck werden entweder drei farbige Laser oder ein weißer Laser nacheinander mit drei Farbfiltern eingesetzt. Die Belichterauflösung liegt entweder bei 300 dpi (oder ppi) oder bei 400 dpi. Bilder mit niedrigerer Auflösung werden zuvor auf diese Auflösung hochgerechnet.

Auch hier mag die Auflösung gering erscheinen. Da aber im gleichen Bildpunkt übereinander liegende farbempfindliche Schichten belichtet werden, entfällt das Dithering und ein fertig belichteter Punkt kann ein (fast) kontinuierliches Farbspektrum annehmen. 300 oder 400 dpi liefern hier also eine sehr gute Bildqualität.

Es gibt mehrere Hersteller und eine ganze Reihe von Systemen dieser Technik (z.B. Fuji Frontier Minilab, Durst Lambda, Océ LightJet®, Chromira). Die Bildgröße reicht von 9×15 cm bis zu 127×127 cm. Einige Fotobelichter erlauben noch größere Formate. Der Durst Lambda® Photo Laser Imager kann Bilder von 127 cm Breite und bis zu einer Länge von 79,5 Meter belichten! Einige dieser Drucker werden zwar nicht mehr hergestellt, sind aber noch einige Zeit in Betrieb.

* LightJet, das recht anschaulich das Drucken mit Licht beschreibt, ist ein Markenzeichen der Firma Symbolic Science, heute eine Tochter von Océ.

[1-11]

Durst Lambda® Großformat-
Fotolaserbelichter
(Bild mit freundlicher Genehmigung der
Durst Phototechnik AG, Brixen)



Da Fotobelichter recht teuer sind – sie beginnen bei etwa 100 000 Euro und können deutlich darüber hinausgehen –, wird diese Technik ausschließlich von Fotodienstleistern eingesetzt, die großen Systeme auch nur von den größeren dieser Dienstleister.

Betrachtet man die Fotodienstleister, so findet man hier zwei Arten:

1. Solche, die den Consumer-Bedarf abdecken

Sie produzieren sehr große Mengen pro Tag zu sehr geringen Preisen (typisch: 15 Cent für einen 10 × 19 cm-Abzug bis zu etwa 2 Euro für einen 20 × 30 cm-Abzug).* Die Verarbeitung erfolgt vollautomatisch. Spezielle Wünsche können hier nicht berücksichtigt werden. Häufig erfolgt eine automatische Bildoptimierung, die im Belichtungsauftrag aber oft deaktiviert werden kann – was man tun sollte, da man die Bilder zumeist selbst nach den eigenen Vorstellungen optimiert hat.

Die Bildqualität ist in den meisten Fällen gleichbleibend und gut.

Bisher werden bei fast allen dieser Dienstleister ICC-Farbprofile ignoriert – das System geht davon aus, dass die Bilder dem sRGB-Farbraum entstammen. Lässt man Bilder deshalb hier ausbelichten, sollte man sie explizit nach sRGB konvertieren (soweit sie nicht bereits dieses ICC-Profil besitzen).

Die meisten dieser Angebote umfassen nur Standardformate. Weicht Ihr Bild davon ab, wird entweder ein Teil beschnitten oder das Bild hat einen weißen Rand. Letzteres kann bei Fine-Art-Drucken durchaus gewollt sein. In den meisten Fällen sollte man das Bild – inklusive des weißen oder andersfarbigen Rands im Bild – auf das Standardformat skalieren und beschneiden.

2. Professionelle Fotolabore

Ihr Fokus liegt bei sehr hochqualitativen Drucken – zumeist in kleiner Stückzahl – und sie sind darauf eingerichtet, auch speziellere Kunden-

* Hinzu kommt hier in der Regel eine Versandpauschale von etwa 2–3 Euro pro Auftrag.

Standardfotoformate (ca. 2 : 3):

9 × 13 cm
10 × 15 cm
13 × 18 cm
20 × 30 cm
30 × 45 cm
50 × 75 cm

Digitalformate (ca. 3 : 4):

10 × 13 cm
11 × 15 cm
13 × 17 cm
20 × 27 cm
30 × 40 cm

wünsche zu erfüllen. Auf Wunsch optimieren sie auch Ihre Bilder – was man nutzen oder bleiben lassen kann. Die Preise dieser Bilder liegen deutlich höher als die der Consumer-Lösungen – oft beim Vier- bis Achtfachen.

Das Labor sollte Ihnen ein ICC-Farbprofil zur Verfügung stellen (sonst haben Sie den falschen Dienstleister gewählt). Meist kann man es von der jeweiligen Internetseite herunterladen. Diese Profile haben zwei Funktionen:

- für einen Softproof, der eine Vorschau darauf gibt, wie das ausbelichtete Bild aussehen wird.
- um das Bild in dieses Farbprofil zu konvertieren. Geben Sie dem Labor Ihr Digitalbild, sollte es bereits in diesem Farbraum sein, denn auch hier werden andere Farbprofile immer noch ignoriert. Schön wäre es, wenn sich dies einmal ändern würde!

Zum Thema 'Softproofing':
siehe Kapitel 3.12, Seite 128.

Die Lichtbeständigkeit dieser Bilder entspricht der üblicher Fotos auf Silberhalid-Basis. Sie liegt, abhängig vom verwendeten Fotopapier, zwischen 17 Jahren (z. B. mit dem Papier Konica Minolta QA Impressa) und etwa 40 Jahren (z. B. mit dem Papier Fuji Crystal Archive).*

Die meisten Geschäfte bieten drei bis vier unterschiedliche Papiere (Hochglanz, Halbmatt, Pearl und Matt). Da hier reguläre Fotopapiere eingesetzt werden, stehen zuweilen die Papiere mehrerer Anbieter zur Wahl. Für hochqualitative Drucke wird häufig das Papier Fuji Crystal Archive eingesetzt, da es eine hohe Lichtbeständigkeit bietet.

Einige Anbieter ermöglichen neben der Ausgabe auf Papier auch das Ausbelichten auf transparenten oder durchscheinenden Film bzw. Folie.

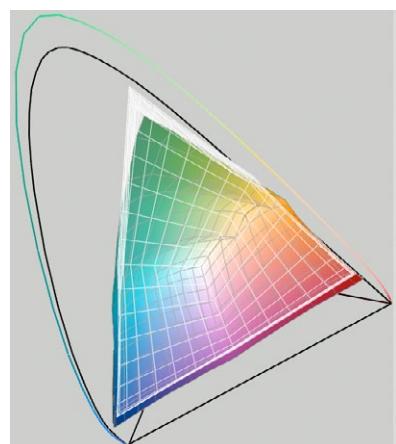
Die Druckleistung ist recht hoch – zumindest verglichen mit Inkjet-Systemen. Océ gibt beispielsweise für seinen LightJet 5000 eine Belichtungszeit von etwa 12 Minuten für einen 127×127 cm-Druck bei 405 dpi an.

Der Farbumfang moderner Belichter umfasst etwa Adobe RGB (1998) oder sogar etwas mehr.

Möchte man mehrere Ausdrucke des gleichen Bilds haben und sagen einem das angebotene Papier und die Lichtbeständigkeit der Ausbelichtung zu, so kann das Ausbelichten bei einem Fotodienstleister im Internet eine preisgünstige und arbeitssparende Lösung sein.

Hier beginnt man vorzugsweise mit einem Testlauf und macht größere Bestellungen erst dann, wenn einem die Bildqualität gefällt und die Form der Abwicklung den eigenen Erwartungen entspricht. Während man bei Consumer-Dienstleistern – zumindest in Europa – die Bilder oft bereits am nächsten Tag im Briefkasten hat, dauert es bei den professionellen Laboren in der Regel 3 bis 5 Tage plus die Zeit für den Versand.

* Hier wird vorausgesetzt, dass die bei der Entwicklung verwendeten Chemikalien sorgfältig und vollständig ausgewaschen werden. Falls nicht, reduziert dies die Lichtbeständigkeit erheblich!



[1-12] Farbumfang von Adobe RGB (1998) (weiße Fläche), verglichen mit dem eines Fotobelichters (Océ LightJet 5000, farbige Figur)

1.6 Tintenstrahldrucker – Inkjets

Die ersten Tintendrucker wurden übrigens von der Firma Siemens entwickelt.

Nachdem wir nun einen Blick auf einige andere Drucktechniken geworfen haben, soll hier das Drucken mit Tintenstrahldruckern etwas genauer betrachtet werden. Während einige der zuvor beschriebenen Techniken schon recht alt sind, zählt der Tintenstrahldruck eher zu den jüngeren – die ersten Tintenstrahldrucker kamen etwa 1985 auf den Markt. Im Vergleich mit den heutigen Inkjets waren diese sehr langsam und boten eine äußerst bescheidene Druckqualität.

Die erste Generation konnte nur schwarzweiß drucken und wurde als leiser Ersatz für Nadeldrucker verwendet. Dagegen wurden etwas später die ersten Farbtintendrucker hauptsächlich zur Erstellung von Farbplots für farbige Diagramme und für Präsentationsfolien eingesetzt. Die Druckgeschwindigkeit war noch recht gering.

Bald kamen jedoch bereits die ersten speziellen Hochgeschwindigkeitsdrucker auf den Markt. Ein Beispiel dafür ist das IRIS-System der Firma IRIS Graphics aus Bedford, Massachusetts (sie wurde später von Scitex übernommen). Das IRIS-System bot bereits ziemlich früh in der Geschichte der Tintenstrahltechnik Drucke mit akzeptabler Geschwindigkeit und sehr hoher Bildqualität. Die mangelhafte Langzeitstabilität der Farben war jedoch einige Zeit ein hässliches Problem. Auch die Wartung der Systeme erwies sich als sehr aufwändig. Drucke von IRIS-Systemen werden oft als *Giclée-Drucke* bezeichnet.

Mit der Verbreitung von Macintosh- und PC-Systemen stieg auch die Nachfrage nach preiswerten Inkjet-Druckern, und diese wurde bald von Firmen wie Hewlett-Packard (lange Zeit der Marktführer), Epson, Canon und einigen anderen beantwortet. Heute findet man nur in wenigen Haushalten einen Heim-PC ohne einen Inkjet-Drucker. Die Preise fielen von einigen tausend (damals) Mark auf heute 80–800 Euro (abhängig vom maximalen Papierformat). Großformatige Drucker – jene oberhalb von A3+, oft als *Large Format Printer* oder kurz als *LFPs* bezeichnet – kosten weiterhin mehrere tausend Euro.

Technologie bei Tintenstrahldruckern

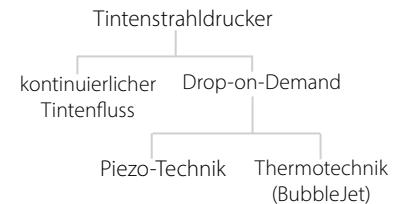
Beim Tintenstrahldrucker findet man eine Reihe unterschiedlicher Techniken zum Versprühen der Tinten. Allen gemeinsam ist, dass kleine Tintentröpfchen vom Druckkopf ausgestoßen werden und auf das zu bedruckende Material gelangen. Um eine höhere Druckgeschwindigkeit zu erzielen, haben heute die Druckköpfe fast immer eine größere Anzahl von Düsen – typischerweise von 180–500 pro Druckkopf, teilweise aber sogar mehr als 2500 Düsen pro Druckkopf. Ein Druckkopf deckt dabei – abhängig von Fabrikat und Modell – einen bis zu zehn Tintenkanäle (Farben) ab.

Unterschiedlich hingegen ist die Technik, mit der die Tinte ausgestoßen wird, wobei die meisten Hersteller nur eine Technik einsetzen.

Eine englischsprachige, recht informative Seite zu Giclée und anderen Inkjet-Drucktechniken findet man bei Harald Johnson unter: www.dpandi.com

Hier die wichtigsten Techniken:

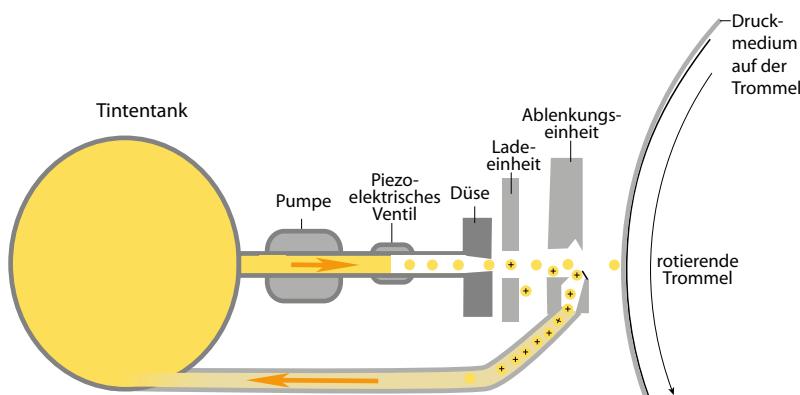
- Kontinuierliches Tintenstrahlverfahren. Hierbei wird mit einem ständig laufenden Tintenstrom gearbeitet.
- Drop-on-Demand-Techniken. Hier wird ein Tintentropfen nur dann erzeugt bzw. ausgestoßen, wenn ein Druckpunkt auf dem Druckmedium benötigt wird. Das Verfahren lässt sich in zwei weitere Klassen aufteilen:
 - Thermo-Tintenstrahldrucker (z.B. bei den meisten Canon- und HP-Druckern verwendet). Bei Canon wird dieses Verfahren auch als *BubbleJet* bezeichnet.
 - Piezo-elektrische Tintenstrahldrucker. Diese Technik wird in fast allen Epson-Tintenstrahldruckern eingesetzt.



[1-13] Klassifizierung der Tintenstrahldruckverfahren

Kontinuierliches Tintenstrahlverfahren

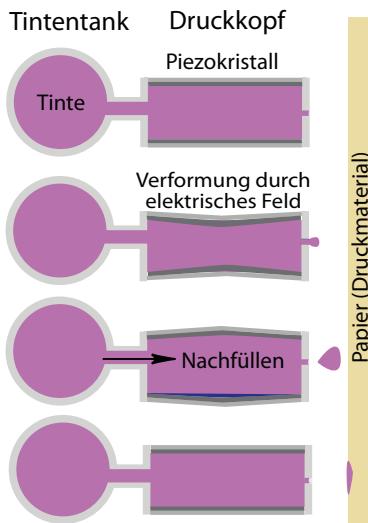
Die Technik stammt ursprünglich von IBM. Hier wird ein kontinuierlicher Strahl von Tintentropfen erzeugt. Die Tröpfchen, die auf das Papier gelangen sollen, fliegen dabei geradeaus auf das Druckmaterial. Die anderen Tropfen werden (im Flug) positiv aufgeladen, von einer Ablenkeinheit in einen Auffangbehälter abgelenkt und gelangen von dort zurück in den Tintentank. Dies ist eine der ältesten Tintenstrahltechniken und wird für sehr schnelle Drucker eingesetzt. Die komplexere Tintenführungstechnik und die ständige Tintenzirkulation machen diese Drucker jedoch teuer und relativ aufwändig in Wartung und Betrieb. Ihre Druckgeschwindigkeit ist dafür im Vergleich zu den Drop-on-Demand-Techniken sehr hoch.



[1-14]

Verfahrensschema für einen Drucker nach dem kontinuierlichen Tintenstrahlverfahren

Dieses Verfahren wird bei den berühmten, bereits erwähnten IRIS-Druckern eingesetzt. Dort wird das Papier auf die im Schema von Abbildung 1-14 dargestellte, schnell rotierende Trommel aufgespannt. Das System ist teuer und nicht für Desktop-Drucker geeignet. Es werden zumeist lösungsbasierte Tinten verwendet.



[1-15] Die verschiedenen Phasen des Tintenausstoßes bei einem Piezo-elektrischen Druckkopf

Piezo-elektrische Drucktechnik

Einige Kristallarten verformen sich unter dem Einfluss elektrischer Felder (sie expandieren oder kontraktieren). Dies wird bei Piezo-elektrischen Druckern genutzt. Um einen Tintentropfen auszustoßen, wird der Kristall in der Druckerdüse einem kurzen elektrischen Impuls ausgesetzt. Der Kristall verbiegt sich, drückt auf die Tintenkammer und es wird damit ein Tintentropfen durch die vordere Düse gepresst. Danach nimmt der Kristall wieder seine Ausgangsform an und zieht beim Zurückweichen neue Tinte in die vordere Kammer. Durch die Oberflächenspannung der Tinte bleibt die Tinte in der Kammer, ohne aus der vorderen Düse auszutreten.

Ein Druckkopf besteht hier aus zahlreichen solcher Düsen. Durch unterschiedliche Impulsstärken lassen sich auch unterschiedlich große Tropfen erzeugen. Dies erlaubt feinere (kleinere) Rasterzellen und damit weichere Farbübergänge sowie ein größeres Farbspektrum.

Diese Drucktechnik kann sowohl mit pigmentierten als auch mit Dye-basierten Tinten eingesetzt werden.

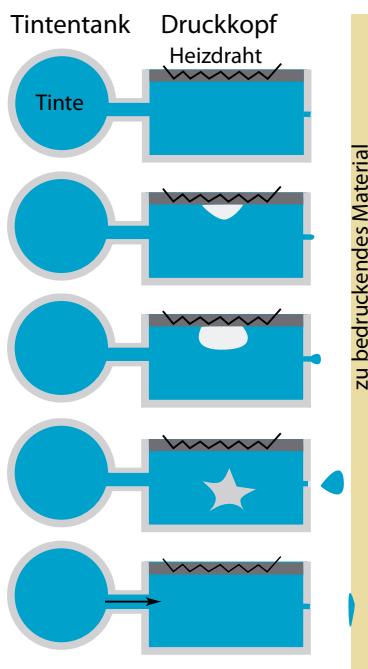
Thermo-Tintenstrahlverfahren

Das Thermo-Tintenstrahlverfahren wird auch als *thermisches Tintenstrahlverfahren* oder als *BubbleJet-Technik* bezeichnet (beispielsweise bei Canon). Hier besitzt die Druckkammer einen Heizdraht. Dieser wird durch einen kurzen Stromimpuls erhitzt. Dadurch bildet sich dort eine kleine Gasblase, die beim Ausdehnen einen Tintentropfen durch die vordere Düse presst. Die Gasblase kollabiert nun und saugt dabei neue Tinte vom Tank in die Kammer. Beim nächsten Tintentropfenausstoß wiederholt sich der ganze Prozess.

Diese Technik wird sowohl von vielen HP-Druckern eingesetzt (etwa dem HP Designjet 30) als auch von den meisten Druckern von Canon (z. B. den Canon i9900, W6200). Auch eine Reihe von Large-Format-Druckern setzt Thermo-Druckköpfe ein. Beispiele hierfür sind der HP Designjet 130 und der Encad NovaJet 1000i. Die Technik kann sowohl mit Dye- als auch mit Pigment-basierten Tinten genutzt werden, setzt aber eine Tinte voraus, die die höheren Temperaturen zulässt, einen niedrigen Siedepunkt hat und dabei nicht klumpt. Die Lebensdauer dieser Druckköpfe ist etwas geringer als die von Köpfen nach dem Piezo-Prinzip. Dafür lassen sich diese Köpfe etwas billiger herstellen.

Tintentropfengröße

Mit zunehmender Druckerauflösung nahm die Tröpfchengröße beim Druck ab. Kleinere Tröpfchen erlauben feinere und damit kleinere Rasterzellen beim Dithering. Die heutigen Inkjet-Drucker verwenden Tröpfchengrößen von 1,5–6 Picoliter (1 Picoliter entspricht 0,000 000 000 001 oder 1×10^{-12} Liter). Durch die kleineren Rasterzellen lässt sich auch in hellen



[1-16] Die verschiedenen Phasen des Tintenausstoßes bei einem Thermo-Tintenstrahldruckkopf

Bildbereichen ein etwas dichteres Punktraster legen, ohne dass die Fläche zu dunkel wird.

Einige Drucker sind in der Lage, die Tröpfchengröße zu variieren (z. B. Drucker mit der Piezo-elektrischen Technik). Für dunkle und gesättigte Farben – insbesondere bei solchen in der Nähe der Primärfarben – werden dann möglichst große Tropfen eingesetzt. Dies erlaubt eine höhere Druckgeschwindigkeit. Für hellere Farbtöne setzt der Druckertreiber kleinere Tröpfchen ein.

Druckerauflösung

Bei den ersten Inkjet-Druckern wurde 150 dpi noch als gut angesehen. Heute liegen die Auflösungen bei 2400 dpi, 4800 dpi, 5800 dpi oder sogar bei 9600 dpi. Dabei sind die ganz hohen Angaben für die Druckerauflösung etwas irreführend. Zunächst einmal wird die hohe Auflösung nur in einer Richtung erreicht. Der Canon-Fotodrucker iPF Pro-1000 hat beispielsweise eine maximale Druckerauflösung von 4800×2400 dpi. Die höhere Auflösung wird horizontal vom hin- und herlaufenden Druckkopf erreicht, die niedrigere Auflösung durch kleine inkrementelle Schritte des Papiervorschubs. Dieses Schema treffen wir bei den meisten Inkjet-Druckern an.

Ob man diese maximale Druckerauflösung wirklich braucht, ist eine ganz andere Frage. Das Drucken mit dieser hohen Auflösung setzt ein sehr feines, glattes Papier mit wenig Punktzuwachs* voraus. Das Papier bzw. die darauf befindliche Beschichtung muss die Tinte schnell aufnehmen, um das Ausbluten in die Umgebung zu unterdrücken. Möchten Sie die höchste Auflösung wirklich nutzen, sollten Sie deshalb darauf achten, dass Ihr Papier auch für diese Auflösung ausgelegt ist.

Aus unserer Erfahrung reichen (horizontal) 1200 (typisch für HP- und Canon-Drucker) bis 1440 dpi oder gar 2880 dpi (typisch für Epson-Drucker) vollkommen aus – selbst für anspruchsvolle Fine-Art-Drucke. Benutzt man eine höhere Auflösung, so sinkt zumeist die Druckgeschwindigkeit und der Tintenverbrauch wächst, ohne dass die Qualität erkennbar zunimmt. Das Ganze ist natürlich etwas vom einzelnen Druckmodell und vom verwendeten Papier abhängig.

Anzahl der Tinten

Benutzten die ersten Tintenstrahldrucker nur Schwarz und die ersten Farbmodelle nur drei Farben (CMY), so folgten danach die Modelle mit vier Farben (CMYK). Sie sind heute bei den Billigdruckern noch der Standard. Alle als *Fotodrucker* bezeichneten Inkjets setzen heute dagegen mindestens sechs Farben ein, zumeist in der Kombination CcMmYK (c = helles Cyan, m = helles Magenta).

Um den möglichen Farbumfang weiter zu verbessern, kommen immer mehr Farben hinzu. Der Epson Stylus Photo R1800 nutzt beispielsweise

Zum Thema „Softproofing“ siehe Kapitel 3.12, Seite 128.

→ Man sollte die Druckauflösung und die Druckerauflösung deutlich unterscheiden. Die Druckauflösung ist die (Bild-)Auflösung, mit der das Bild zum Drucken geschickt wird, während die Druckerauflösung die Auflösung ist, mit welcher der Drucker Punkte oder Tintentröpfchen auf das Papier setzt. Letztere muss bei Druckern mit Dithering-Technik sehr viel höher sein!

* Unter Punktzuwachs versteht man den Faktor, um den sich die Punktgröße durch das Verlaufen (oder Breitquetschen beim Offsetdruck) erhöht. Er liegt typischerweise zwischen 10–25% – abhängig von Drucktechnik und Papier.

„Helles Cyan“ und „helles Magenta“ werden auch als „Photo-Cyan“ und „Photo-Magenta“ bezeichnet.

* Der Gloss-Optimizer ist eine Art Klarlack, der dort aufgetragen wird, wo sonst keine Tinte auf das Papier kommt. Er gleicht damit Glanzunterschiede aus.



[1-17] Acht Tinten im Epson R2400

zusätzlich Rot und Blau sowie einen optionalen so genannten *Gloss-Optimizer** (verzichtet dafür auf helles Cyan und helles Magenta). Die Druckermodelle SureColor P600 und P800 von Epson setzen neben CcMmY drei unterschiedliche Schwarztöne ein: Photo Black (oder alternativ ein Matte Black) sowie ein helleres Schwarz bzw. Grau (*Light Black* genannt) und ein ganz helles Schwarz, welches die Bezeichnung *Light Light Black* trägt. Somit kommen acht Farben zusammen, die gleichzeitig im Drucker stecken können. Diese Kombination erlaubt sehr gute, neutrale Schwarzweißdrucke mit sehr weichen Tonverläufen.

Die heutigen professionellen und halbprofessionellen Inkjet-Drucker übertreffen an Qualität und Farbumfang die meisten traditionellen Foto-drucke (bzw. Belichtungen). Sie übertreffen – bei Verwendung geeigneter Papier-Tinten-Kombination – auch deutlich deren Lichtbeständigkeit.

Die Schwäche mancher Fotodrucker hinsichtlich des Farbumfangs sind gesättigte Blau- und Rottöne. Einige Fine-Art-Drucker setzen deshalb bereits zehn bis zwölf Tinten ein. So nutzt beispielsweise der 2016 eingeführte Canon iPF Pro-1000 elf Farben (plus Gloss-Optimizer), darunter Chromat-Rot (statt Rot), und der 2017 vorgestellte Epson SC-P5000 elf Farben inklusive Orange und Grün sowie ›Vivid Magenta‹ statt des normalen Magenta-Tinte sowie ›Vivid Light Magenta‹ statt des ›Light Magenta‹.

Eine Begrenzung der praktikabel einsetzbaren Tinten ergibt sich durch das Gesamtgewicht und die Größe der Druckköpfe und Tintenkartuschen – mehr Gewicht schlägt sich bei gleicher Technik in langsamerer Kopfbewegung nieder. Aber auch die Kosten der Summe der Tintenkartuschen ermutigen nicht unbedingt zu viel mehr Tinten.

Tintenarten

Bei den heute üblichen Inkjet-Druckern im A4- bis A2-Format werden hauptsächlich zwei unterschiedliche Arten von Tinten eingesetzt:

- Dye-basierte Tinten (Farbstoff-basierte Tinten)
- Pigment-basierte Tinten

Daneben gibt es noch weitere Arten – beispielsweise Öl- oder Lösungsmittel-basierte Tinten – so genannte *Solvent-Tinten* (beispielsweise für Drucke, die im Freien aufgehängt werden). Diese werden hauptsächlich bei Large-Format-Druckern eingesetzt. Spezielle Tinten werden zum Druck auf Stoffen verwendet. Einige Drucker benutzen auch hybride Tinten – Dye-basierte für die Farben und Pigment-basierte für Schwarz, um ein dunkles tiefes Schwarz zu erzielen (dies ist beispielsweise bei einigen Canon-Druckern der Fall).