

# Sonderdruck Nr. 7

München, August 2002

# FOGRA

Forschungsgesellschaft Druck

## Wie viel Auflösung braucht der Mensch?

Dr. Friedrich Dolezalek



**W**ie kann es sein, dass das Ausdrucken einiger briefmarkengroßer Bildchen u. U. viele Stunden in Anspruch nimmt? Warum muss ein Plattenbelichter für hohe Ansprüche mehr als 1600 dpi erbringen, wenn mancher Farbdrucker mit nur 600 dpi bereits schärfere Bilder liefert? Wieso erscheint ein hochaufgelöstes Bild bei Betrachtung auf dem Monitor so viel gröber als auf einem Druck? Wie viele Pixel muss eine Digitalkamera besitzen, damit sie hochqualitative Bilder für A 5 liefern kann?

**A**lle diese Fragen haben mit dem Auflösungsvermögen bzw. der Adressierbarkeit von Ein- oder Ausgabegeräten zu tun, zwei nahe verwandte Parameter bei der Erfassung und Wiedergabe von Bildern. In diesem Zusammenhang ist auch interessant, was für eine Auflösung das menschliche Auge überhaupt benötigt.

### Die Auflösung des Auges

Die Fotografie definiert das Auflösungsvermögen wie folgt (vgl. Abb. 1): Zwei parallele, schwarze Linien gleicher Stärke, die durch einen weißen Zwischenraum gleicher Stärke getrennt sind, heißen aufgelöst, wenn sie getrennt wahrgenommen werden. Das Auflösungsvermögen wird dann als Kehrwert des Abstandes der Strichmitten angegeben. Oft spricht man auch nur von der Auflösung und meint damit den bereits genannten Abstand selbst (= doppelte Strichbreite).

Das durchschnittliche Auge kann ein solches Strichpaar auflösen, wenn die Striche vom Auge aus in einem Sehwinkel von ca.  $0,025^\circ$  oder größer wahrgenommen werden [1]; es gibt jedoch auch noch niedrigere Angaben [2]. Der Mindestseh-

winkel vergrößert sich, sobald der Kontrast nicht mehr maximal ist. Den höchsten Kontrast ergeben selbstverständlich schwarze Linien auf weißem Grund, d. h. Tonwerte von 100 % auf 0 %. Bleibt man bei der Primärfarbe Schwarz und verringert den Tonwertunterschied, z. B. auf 80 % zu 20 %, so wird auch die Erkennbarkeit von Details gemindert.

Handelt es sich um einen Farbkontrast, z. B. Cyan-Linien auf Magenta-Vollton, so resultiert wieder eine andere Erkennbarkeitsschwelle. Treffen beide Effekte zusammen, so kann sich das Auflösungsvermögen des Auges um einen Faktor 10 und mehr verschlechtern. Eine weitere Variable ist die Orientierung der Striche, sie hat nicht selten

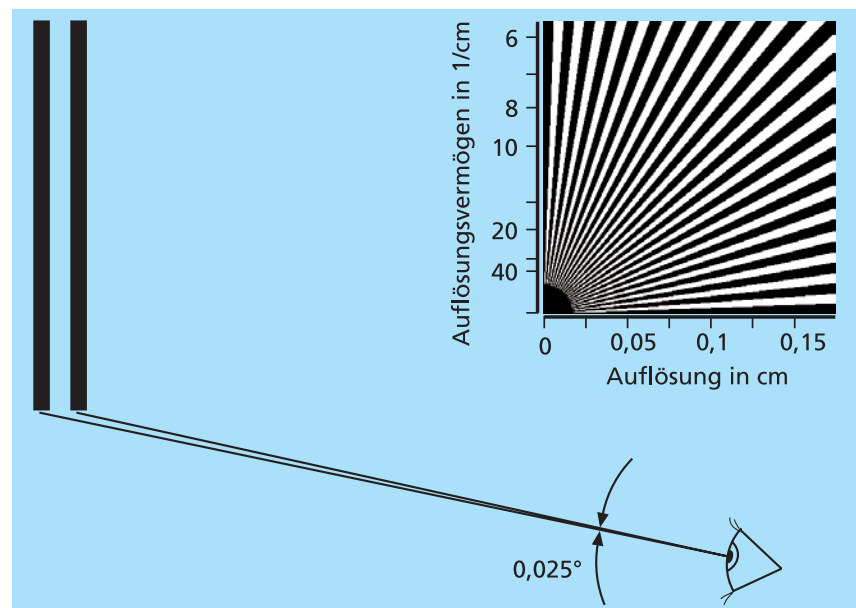


Abb. 1:  
Definition des Auflösungsvermögens in der Fotografie und Siemensstern zur experimentellen Bestimmung der Auflösung eines Ausgabesystems.

auch einen deutlichen Einfluss. Fehlsichtige mit einem Astigmatismus können z. B. aus der Entfernung die Uhrzeit 9:15 h besser ablesen als 6:00 h, bei anderen ist es umgekehrt.

Zur praktischen Bestimmung des Auflösungsvermögens, insbesondere in Abhängigkeit von der Orientierung, wird oft der sog. Siemensstern verwendet. Es handelt sich um einen kreisrunden Strahlenkranz aus schwarzen und weißen Linien, deren Stärke sich von außen nach innen verringert. Die Breite der Linien ist gleich, sie nimmt proportional zum Radius zu.

In Abb. 1 ist ein Viertel eines typischen Siemenssterns dargestellt; es handelt sich um eines der vielen nützlichen Testbilder der Norm ISO 12640-1 [3]. Das Muster besitzt schwarze und weiße, keilförmige Linien, die jeweils  $2^\circ$  ausfüllen. Zum Test wird bestimmt, bis zu welchem kleinsten Radius man die Linien noch sauber getrennt sehen kann. Wenn es um den Test eines Gerätes geht, muss ggf. eine Lupe herangezogen werden, um den Punkt zu bestimmen, wo die Linien zusammen laufen. Die zugehörige Auflösung kann am horizontalen Maßstab abgelesen werden, deren Kehrwert am vertikalen.

Eine Ausgabemethode darf als „detailscharf“ gelten, wenn sie Linienpaare sauber getrennt darstellen kann, die beim normalen Gebrauchsabstand unter einem Winkel erscheinen, der  $0,025^\circ$  nicht übersteigt. Dieser Winkel gilt für schwarz/weiß dargestellte Linienpaare. Bei geringerem Kontrast und insbesondere bei Farbkontrasten sind größere Winkel anzusetzen.

Da es bei Auflösungsfragen auf den Sehwinkel ankommt, muss man den Betrachtungsabstand kennen. Für normales Lesen beträgt dieser 25 cm, für Bildschirmarbeitsplätze werden 45 cm bis 60 cm empfohlen. Bei Plakaten geht man im Normalfall von einem Abstand entsprechend der Bilddiagonale aus. Eine Ausnahme bilden hochwertige Großdrucke für Ausstellungen, Messeauftritte u. ä., denn an diesen drücken sich die Betrachter vergleichsweise die Nase platt. Dementsprechend gelten hier wieder 25 cm als Mindestabstand. Eine weitere Ausnahme stellen Satellitenatlanten, Briefmarkenkataloge, Faksimileausgaben und einige medizinische Werke dar. Bei diesen schätzt der Benutzer die Möglichkeit, bei Vergrößerung noch weitere Details erkennen zu können. In Tab. 1 sind die

Anforderungen an die Detailschärfe von Bildausgaben, die sich aus dem Auflösungsvermögen des Auges ableiten, für eine Reihe typischer Anwendungsfälle aufgelistet.

### Die Auflösung der klassischen Druckverfahren

Bei der Diskussion der Detailschärfe im Offsetdruck muss man unterscheiden zwischen

- den mit Volltonfarben wiedergegebenen Linien und Schriften und
- aufzurasternden Bildern, Linien und Schriften.

Im ersten Fall möchte man erreichen, dass die Linien oder Schriften mit der maximal möglichen Farbintensität gedruckt werden. Dazu wird beim Offsetdruck und übrigens auch beim Flexodruck die Druckfarbe in zusammenhängender Schicht mit gleicher Dicke aufgebracht. Sollen die zu druckenden Objekte in einer geringeren Intensität erscheinen, so müssen die Linien und Schriften gerastert werden, d. h. sie werden in Rasterpunkte einer bestimmten Größe aufgelöst. Eine andere Art der Dosierung des Farbmittelauftrags, nämlich die Variation der Farbschichtdicke, ist mit diesem Verfahren prinzipiell nicht möglich. Dieser Umstand begrenzt die erzielbare Detailschärfe, wie wir gleich sehen werden.

Für ungerasterte Objekte kann man die Schreiblinien des Film- oder Plattenbelichters direkt zur Darstellung eines Linienpaares einsetzen, siehe den oberen Bereich von Abb. 2. Dort ist ein vertikales und ein schräg verlaufendes Linienpaar im Gitternetz der sog. Bitmap dargestellt, die vom RIP eines Film- oder Plattenbelichters erzeugt wird [8]. Den Spalten dieses Gitters

Tab. 1:  
Forderung an die Detailschärfe eines Ausgabesystems (Sehwinkel  $0,025^\circ$ , maximaler Kontrast).

	Sehabstand	Linienabstand	Auflösungsvermögen
Prospekt, Buch, Messe-großdruck	25 cm	0,11 mm	91/cm
Satellitenatlas	10 cm	0,04 mm	230/cm
Bildschirm	45 cm	0,20 mm	50/cm
Bildschirm	60 cm	0,26 mm	38,5/cm
Großplakat	4 m	1,7 mm	6/cm
Gebäude-plakat	15 m	6,5 mm	1,5/cm

entsprechen die Schreibspuren des Laserpunkts („Spot“), die Zeilen entstehen durch An- bzw. Abschalten der Strahlung. An Hand des schräg orientierten Linienpaares in Abb. 2 kann man sich klar machen, dass der gezeigte Fall bereits die untere Grenze der Auflösung darstellt. Noch feinere Linienpaare würden durch den unvermeidlichen Treppeneffekt bis zur Unkenntlichkeit entstellen. Immerhin lässt sich ein 60- $\mu\text{m}$ -Linienpaar sicher darstellen, das entspricht in unserem Beispiel 6 Schreiblinien von 10  $\mu\text{m}$  Breite.

Im unteren Teil der Abb. 2 ist ein gerastertes Linienpaar mit 56 % Tonwert dargestellt. Der Linienabstand ist hier mit 320  $\mu\text{m}$  mehr als fünfmal größer als im oberen Bildteil. Dies rührt daher, dass man beim normalen, periodischen Raster mindestens 10 Schreibspuren aufwenden muss, um die gewünschte Punktform, hier eine Raute, einigermaßen formrichtig zu erzeugen. Entsprechend dem hohen Linienvverbrauch für das Rastern fällt die mit gerasterten Objekten erzielbare Detailschärfe größer aus.

In Abb. 2 sind die Rasterzellen als rotes Gitter eingezeichnet, sie umfassen hier jeweils 16 x 16 quadratische Bildpunkte von ca. 10  $\mu\text{m}$  Breite. Dies passt gut zu einem 60er Raster, dessen Rasterweite 166  $\mu\text{m}$  beträgt. Die Schreibfeinheit des Belichters ergibt sich als Kehrwert des Spurbabstands von 10  $\mu\text{m}$  zu 1000/cm. Da sich die Vorstufentechnik, so wie das Gas- und Wasserfach, auf antiquierte Einheiten zu versteifen scheint, muss dieser Wert zur besseren Verständlichkeit auf Zoll umgerechnet werden: es sind 2540 dpi.

Beim Belichtungsvorgang läuft der Laserpunkt nachei-

einander entlang der vertikal verlaufenden Schreiblinien; er wird dabei entsprechend dem Bitmap-Schema ein- und ausgeschaltet. Da der Laserpunkt nicht genau quadratisch ist, ergeben sich die in der Abbildung 2 angedeuteten Rundungen der belichteten Quadrate. Die Abbildung 2 verdeutlicht an einem Beispiel, welcher Verlust sich beim Übergang von Strich-elementen oder Schrift zur Rasterung unvermeidlich ergibt. Im oberen Bereich der Abbildung 2 sehen wir ein vertikales und ein schräg verlaufendes Linienpaar. Der Abstand der Linienmitten beträgt jeweils 60  $\mu\text{m}$ ; dies ist die Auflösung. Wie man sieht, ist auch das rechte Linienpaar noch sauber getrennt. Aus der Entfernung betrachtet - es handelt sich hier um eine ca. 500fache Vergrößerung - verschleifen die

stufigen Kanten. Die Linienpaare liegen bei normaler Betrachtung um den Faktor 2 unter der Auflösung des Auges, die laut der dritten Spalte von Tab. 1 im Normalfall ca. 110  $\mu\text{m}$  beträgt.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei dem aufgerasterten Linienpaar, das im unteren Teil von Abb. 2 mit jeweils zwei Rasterpunkten angedeutet ist. Es handelt sich um „Linien“ im Abstand von zwei Rasterweiten zu je 160  $\mu\text{m}$ . Die Auflösung beträgt demnach 320  $\mu\text{m}$ , sie liegt also etwa dreimal höher als die Sehschwelle. Um den Effekt eines Zwischentons zu verdeutlichen, wurde hier als Beispiel ein Tonwert von 56 % gewählt. Dies entspricht z. B. einer grauen Linie oder einer Linie in einer der Primärfarben CMYK, deren Buntheit gegenüber dem Vollton auf fast die Hälfte

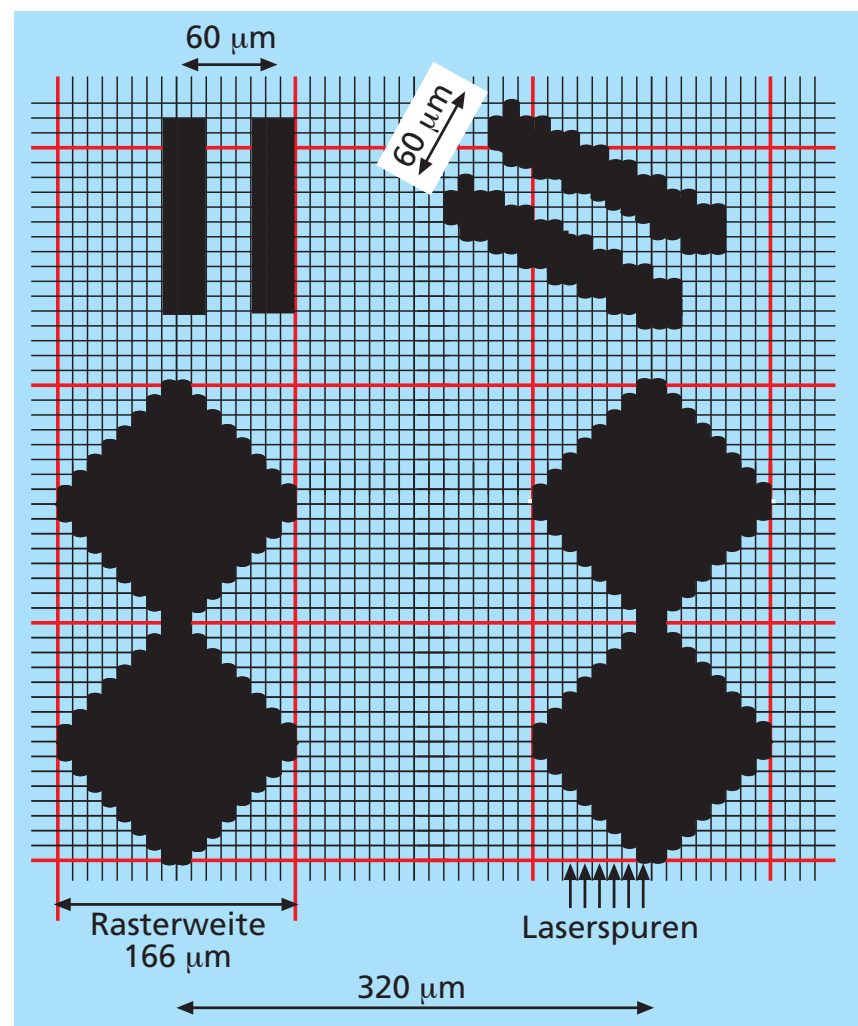


Abb. 2:  
Darstellung von Linienpaaren auf der Bitmap eines Film- oder Plattenbelichters; oben ungerasterte Linien, unten Rasterlinien mit 56 % Tonwert im 60er Raster.

herabgesetzt ist. Die aufgerasterten Linien sind nur schwer als solche zu erkennen, zur besseren Sichtbarkeit müssten sie eigentlich mindestens zwei oder drei Rasterweiten breit sein. Dies ist auch für farbige Linien erforderlich, die aus dem Raster-Zusammendruck mehrerer Primärfarben entstehen, z. B. hellgrün aus 50 % C und 50 % Y. Unter diesen Verhältnissen, nämlich farbige, aufgerasterte Linien, ist die Auflösung selbstverständlich noch gröber, sie dürfte etwa bei 0,6 mm liegen. Dieser Wert ist zehnfach größer als die zuvor genannte Auflösung für schwarz/weiße ungerasterte Linien. Die Diskrepanz ist allerdings nicht in voller Höhe sichtbar, da das Auge bei Farbkontrasten erheblich schlechter auflöst.

Die bisherigen Beobachtungen an Abb. 2 können wie folgt zusammengefasst werden: Wenn man ein hochauflösendes Ausgabesystem für den klassischen Druck mit autotypischem Raster zur Verfügung hat, kann man ungerasterte Objekte wie Strichzeichnungen und Schriften im Prinzip mühelos mit ausreichender Detailschärfe abbilden. Sobald jedoch der klassische Raster mit fester Rasterweite angewendet werden muss, vergrößert sich die erzielbare Auflösung um einen Faktor von ca. 10. Zwischen den beiden Extremen liegen die nichtperiodischen („FM“) Raster. Hier wird auf die sorgfältige Ausbildung einer übertragungsstabilen und zwachsarmen Punktform verzichtet. Vorteile sind die detailschärfere Wiedergabe und die geringere Anfälligkeit gegen Moiré. Ein Beispiel wird in Abb. 3e gezeigt; es wird im folgenden Abschnitt diskutiert.

In diesem Zusammenhang ist es interessant, nach der Sichtbarkeit der üblichen Rasterstrukturen zu fragen. Nachdem die Rasterweite eines 60er Rasters 166 µm beträgt, also deutlich über der Auflösung

des Auges bei 25 cm Abstand liegt, müssten eigentlich die Rasterlinien gut erkennbar sein. Dies gilt jedoch allenfalls für einfarbig schwarze Rasterflächen und für Beobachter mit voller Sehschärfe. Beim Übereinanderdruck mehrerer Raster ist die Erkennbarkeit einzelner Rasterlinien bereits nicht mehr gegeben. Allenfalls stört noch eine Rosettenstruktur. Nach vielen Tests der FOGRA mit verschiedensten Rastern ist eine Feinheit von 80/cm jedoch ausreichend, um auch die Rosetten so weit zu verkleinern, dass sie nicht mehr unangenehm auffallen [4]. Es werden auch spezielle Rasterprogramme angeboten, die keine ausgeprägten Rosetten aufweisen. Für den durchschnittlichen Hausgebrauch des Offset genügt immer noch ein gewöhnlicher 60er Raster. Der Tiefdruck glänzt allerdings mit einem 70er Raster als Standard; dies trifft in Japan auch auf den Offset zu.

### Die Auflösung von Farbdruckern

Wie wir zuvor gesehen haben, müssen die klassischen Druckverfahren zur Darstellung von Tönen, die zwischen dem Vollton und dem Papierweiß liegen, zum Hilfsmittel der Rasterung greifen. Daraus resultieren hohe Ansprüche an die Schreibfeinheit der Ausgabesysteme. Ursache dafür ist die Tatsache, dass die klassischen Druckverfahren (mit Ausnahme des tiefenvariablen Tiefdrucks) keine andere Möglichkeit vorsehen, um den Farbmittelauftrag ortsabhängig zu dosieren. Entweder wird die volle Farbschichtdicke aufgetragen oder gar keine. In diesem Sinn ist der Offsetdruck sogar digital. Im Gegensatz dazu können viele Büro-Farbdrucker durchaus die Farbintensität über viele Stufen variieren, ohne dazu zum Hilfsmittel der klassi-

#### Mikroskopische Aufnahmen:

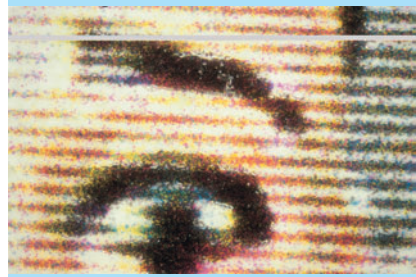


Abb. 3a:  
Laserdruck.

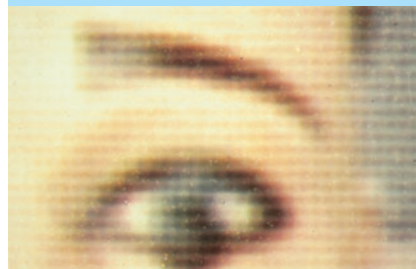


Abb. 3b:  
Thermosublimationsdruck.



Abb. 3c:  
Tintenstrahldruck.

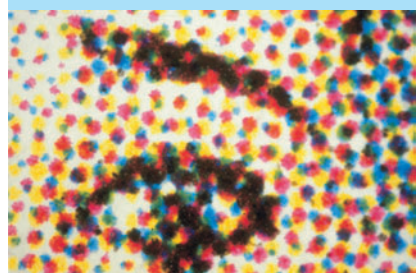


Abb. 3d:  
Offsetdruck mit 60er Raster.

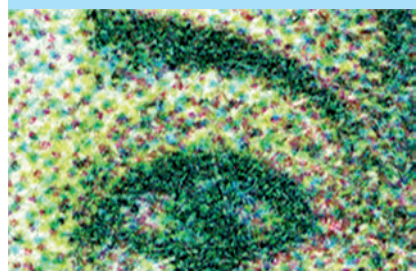


Abb. 3e:  
Offsetdruck mit nichtperiodischem Raster.

Tab. 2:  
Katalogangaben und reales Auflösungsvermögen einiger Farbdrucker für Vektordaten [5].

	Schreibfeinheit nominell	Reales Auflösungs- vermögen	Richtungs- abhängig?
Piezo-Tinten- strahl	280/cm (710 dpi)	134/cm (340 dpi)	mittel
Elektrofotografie (Laser)	240/cm (610 dpi)	154/cm (390 dpi)	mittel
Elektrofotografie (Laser) mit RIP	160/cm (405 dpi)	75/cm (190 dpi)	stark
Thermo- sublimation	118/cm (300 dpi)	47/cm (120 dpi)	stark

schen Rasterung mit sorgfältig ausgeformten Rasterpunkten greifen zu müssen. Sie können daher auch bei sehr begrenzter Schreibfeinheit von z. B. 120/cm (300 dpi) oder 240/cm (600 dpi) erstaunlich detailscharfe Bilder liefern. Als grober Richtwert zum Vergleich mit Ausgabegegeräten für den 60er Raster kann wieder der Faktor 10 genannt werden. Ein 300-dpi-Drucker erzeugt demnach im Bild eine ähnlich gute Detailschärfe wie ein Druck mit Filmen eines Filmbelichters mit 3000 dpi. Die hinter dieser erstaunlichen Tatsache stehende Technik ist je nach Druckerprinzip verschieden. Tintenstrahler können z. B. die aufgebrauchte Farbmenge durch mehrmaligen Tropfenbeschuss an nahezu derselben Stelle dosieren. Thermosublimationsdrucker steuern die Farbgebung über die Temperatur des Heizelementes. Dadurch wird an derselben Stelle mehr oder weniger Farbmittel übertragen.

In den Abbildungen 3a bis 3e sind mikroskopische Aufnahmen von Bildern gezeigt, die mit verschiedenen Farbdruckern im Auflösungsbereich um 160/cm (400 dpi) erzeugt wurden. Zum Vergleich sind zwei Offsetdrucker

dargestellt, einer mit dem 60er Raster (Abb. 3d), der andere mit einem nichtperiodischen Raster (Abb. 3e), hier „Ugra/FOGRA Velvet Screen“. Die letzteren gehen auf einen Belichter mit einer Schreibfeinheit von 1000/cm (2540 dpi) zurück. Wie man sieht, ist die Detailschärfe der Verfahren ungefähr gleich, nur der Thermosublimationsdrucker und der nichtperiodische Raster sind ein wenig schärfer. Die verunglückte Farbgebung des nichtperiodischen Rasters veranschaulicht einmal mehr, dass diese Rasterungsart auch deutliche Nachteile mit sich bringt: Die Übertragung der filigranen Rasterstrukturen auf Film und Druckplatte ist extrem störanfällig.

In einer kürzlich durchgeführten Untersuchung der FOGRA [5] wurde die Detailschärfe von Farbdruckern verglichen, die als preiswerte Prüfdrucksysteme in Frage kamen. Dabei wurden die in Tab. 2 angeführten Auflösungs- und Richtungsabhängigkeitswerte ermittelt. Wie der Vergleich mit der nominalen (Katalog-) Angabe für die Schreibfeinheit ergibt, ist das reale Auflösungsvermögen etwa um einen Faktor 2 gröber. In dieser Untersuchung wurde die Orientierungsabhängigkeit der Auflösung aufgenommen; sie ist je nach Druckertyp verschieden stark ausgeprägt. Ein Beispiel zeigt Abb. 4. Es ist hier deutlich zu sehen, dass Linien, die genau parallel oder senkrecht zu den (vertikalen) Schreibspuren des Druckers verlaufen, am besten aufgelöst sind.

Anspruchsvolle Farbdrucker arbeiten mit einem vorgeschalteten RIP (siehe Tab. 2); sie können eine klassische Rasterung erzeugen und deren Effekt auf die Bildwirkung simulieren. Ein Nachteil ist dabei, dass der Zwang, mehrere Schreibspuren zur Bildung formrichtiger Rasterpunkte bereitzustellen, die Auflösung verschlechtert und außerdem die Anzahl der darstellbaren Tonwertstufen verringert.

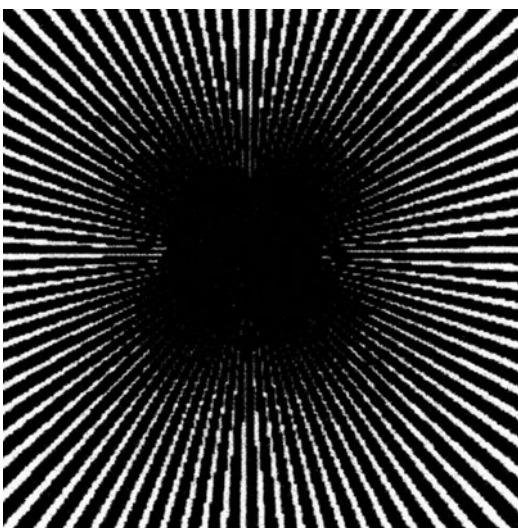


Abb. 4:  
Orientierungsabhängigkeit  
der Auflösung, hier bei einem  
elektrografischen System.

### Die Auflösung eines Bildschirms

Der inzwischen klassische Bildschirm mit Kathodenstrahlröhre (CRT= Cathode Ray Tube) benutzt zum Bildaufbau Leuchtpunkte mit den Farben Rot-Grün-Blau (RGB). Die Ansteuerung der Punkte durch den Elektronenstrahl erfolgt dabei durch eine Lochmaske, die entweder kreisförmige Öffnungen (Abb. 5) oder vertikale Schlitzlöcher (Abb. 6) aufweist. In den „Technischen Daten“ der Monitor-Handbücher finden sich generell folgende auflösungsrelevante Angaben (siehe Tab. 3):

- Bildschirmdiagonale in Zoll
- Abstand der Maskenöffnungen (diesmal nicht in Zoll!)
- maximal einzustellende Bildpunktzahl für Höhe und Breite (wobei nur gewisse Kombinationen unterstützt werden).

Ein grobes Qualitätsmerkmal, auch für die Auflösung, ist die Bildschirmdiagonale. Sie sollte für Arbeiten am Layout und Stricharbeiten nicht unter 21 Zoll bei CRTs liegen. Leider handelt es sich um eine Marketingangabe, denn der tatsächlich sichtbare Teil der Diagonale ist 6 % kleiner, beträgt also nur knapp 20 Zoll. Bei LCD-Bildschirmen

besteht dieser Nachteil nicht, daher genügt hier ein 20"-Bildschirm. Für einfachere Arbeiten mit Text und Bildern genügen bei CRTs 19 Zoll, bei Flachbildschirmen 18 Zoll. Noch tiefer sollte man höchstens für einfache Büroarbeiten mit Texten und ohne besondere Anforderungen an die Formatierung gehen, 15" stellen jedoch bei CRTs das ergonomisch zu fordernde, absolute Minimum dar.

Für die Einstellung der Bildpunktzahl gilt es bei den CRT-Geräten zu beachten, dass hiervon die Bildwiederholfrequenz berührt ist. Je höher die Pixelzahl eingestellt ist, um so weniger Bilder werden pro Sekunde aufgebaut. Gerade für die relativ großen Bildschirme der grafischen Technik ist es wichtig, dass kein ermüdendes Flimmern auftritt. Dies lässt sich mit Sicherheit nur vermeiden, wenn die Bildfrequenz nicht niedriger als 100 Hz liegt. Dazu darf die sog. Horizontal- oder Zeilenfrequenz in kHz des Monitors (= Bildfrequenz x vertikale Pixelzahl) nicht tiefer liegen, als in der betreffenden Zeile von Tab. 3 angegeben. Bei den Flachbildschirmen ist die Pixelzahl des Bildschirms durch die Anordnung der Transistoren fest

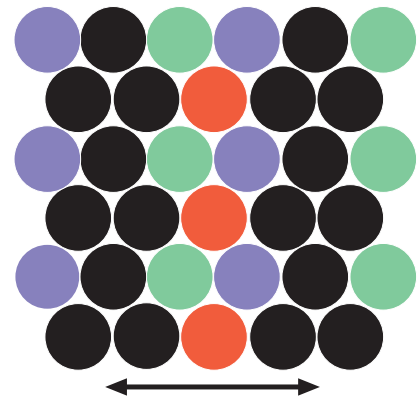


Abb. 5: Auflösung eines Bildschirms mit kreisförmigen Lochmasken, dargestellt sind zwei schwarze Linien auf Weiß.

vorgegeben; dieselbe Pixelzahl muss softwaremäßig auf dem Rechner eingestellt werden.

Aus der Zahl der Pixel pro Zeile und deren (sichtbarer) Länge wird gewöhnlich das „Auflösungsvermögen“ berechnet, es ist ebenfalls in Tab. 3 angegeben. Ein typischer Wert ist 28/cm oder 72 dpi, er wird allgemein für Bildschirme und das Internet angenommen. Wie man sieht, gibt es jedoch eine Reihe von Bildschirmen, die höhere Werte aufweisen, insbesondere jene mit LCD-Technik.

Die tatsächlich mit einem Bildschirm erzielbare Auflösung ist allerdings bei CRTs weniger von der Pixelzahl, als von der Maske

	Nutzbare Fläche in mm · mm	Pixel	Mindesthorizontalfrequenz in kHz	Auflösungsvermögen nominal in 1/cm (dpi)	Auflösungsvermögen real in 1/cm (dpi)	Maske in mm
CRT 19"	365 · 270	1024 · 768 1280 · 1024 1600 · 1200	85 106 132	28 (70) 35 (90) 44 (110)	20 (50)	0,25
CRT 21"	405 · 300	1152 · 870 1280 · 1024 1600 · 1200	96 106 132	28 (70) 32 (80) 40 (100)	21 (55)	0,24
LCD 18"	365 · 270	1280 · 1024	106	35 (90)	20 (30)	0,25
LCD 20"	405 · 300	1600 · 1200	132	40 (100)	24 (60)	0,21

Tab. 3: Wichtige Parameter zur Auflösung von Bildschirmen.

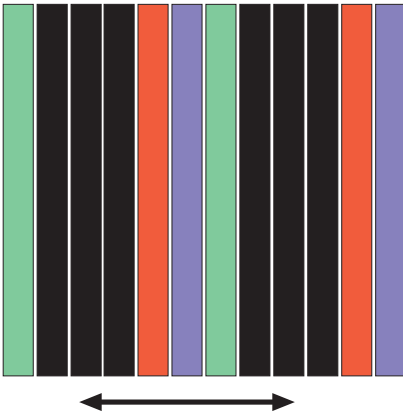


Abb. 6:  
Auflösung eines Bildschirms mit Schlitzmasken; dargestellt sind zwei schwarze Linien auf Weiß.

und der Konvergenz der durch sie hindurchtretenden Elektronenstrahlbündel bestimmt. In Abb. 5 und Abb. 6 sind die Bildschirmbilder der zwei Maskentypen schematisch dargestellt. Es handelt sich um Masken mit kreisförmigen bzw. schlitzförmigen Öffnungen. Die letztere Technik wird bei den Trinitron- und den Diamondtron-Röhren angewandt. Sie ist aufwändiger, ermöglicht jedoch eine um 1/3 größere Helligkeit. In Abb. 5 bilden jeweils drei Kreisflächen die kleinste, voll farbfähige Einheit, also das Pixel. Wenn alle drei Leuchtpunkte voll mit Elektronen bestrahlt werden, ergänzen sich die Farben Rot, Grün und Blau zu einem Weiß, unbestrahlt ergibt sich Schwarz. In Abb. 6 bilden jeweils drei benachbarte Schlitzlöcher ein Pixel in horizontaler Richtung. In vertikaler Richtung werden die Pixel durch die Größe des Brennflecks des Kathodenstrahls und die vertikale Pixelzahl vorgegeben.

In Abb. 5 und Abb. 6 wurde jeweils die Darstellung eines schwarzen Linienpaares auf weißem Grund simuliert. Man erkennt, dass auch hier zur Darstellung mindestens zwei Streifen von ein Pixel Breite erforderlich sind. In anderen Richtungen ist die Auflösung noch erheblich gröber; dies ist hier nicht dargestellt. Versuche mit einer Reihe von CRT-Monitoren der

FOGRA haben ergeben, dass nur schwarz/weiße Linienpaare getrennt dargestellt werden können, deren Abstände etwas oberhalb des doppelten Lochmaskenabstands liegen, und zwar unabhängig davon, welche Pixelzahl softwaremäßig eingestellt wurde. Hiervon kann man sich schnell selbst überzeugen, wenn man z. B. 5 kleine Buchstaben I der Schriftart Arial unmittelbar hintereinander schreibt und diese dann in immer kleineren Schriftgrößen formatiert. In vertikaler Richtung nimmt man das Gleichheits-Zeichen.

In Tab. 3 sind die durchschnittlichen Maskenabstände für CRTs bzw. die Pixelbreiten für LCD-Monitore eingetragen. Für die reale Auflösung wurde jeweils der doppelte Maskenabstand eingesetzt. Der Kehrwert der Auflösung ergibt dann das Auflösungsvermögen. Wie man aus Tab. 3 ersieht, bleibt das reale Auflösungsvermögen recht deutlich hinter der Katalogangabe zurück.

### Die Pixel-Auflösung einer Bilddatei

Es mag zunächst merkwürdig erscheinen, dass man den abstrakt in einer Datei abgelegten Daten eine Auflösung zuschreiben kann. Die üblichen Anwendungsprogramme Photoshop®, Illustrator®, QuarkXPress® usw. erlauben es jedoch, einem Bild eine bestimmte Breite und Höhe zuzuweisen. Diese Werte werden auch im Datensatz abgelegt und beim Datentausch mit übertragen. Wenn man die Zahl der kleinsten Bildelemente (der Pixel) entlang einer Bildseite kennt, kann man deren Anzahl pro Zentimeter berechnen. Dieser Wert wird oft salopp als „Auflösung“ der Daten bezeichnet, besser wäre „Pixelfrequenz“.

Sind etwa entlang einer 5 cm langen Bildkante 600 Pixel vorhanden, so entspricht dies einer

Pixelfrequenz von 120 Pixel/cm (300 dpi). Das eben Gesagte gilt nur für in Pixel zerlegte Objekte wie z. B. Bilder. Daneben gibt es grafische Objekte wie Grafiken und Schriften, die nicht in Pixel zerlegt sind, sondern als sog. Vektordaten weitergegeben werden. Diese Kodierungsart besitzt den Vorteil, dass die Objekte ohne Formveränderung beliebig verkleinert oder vergrößert werden können; eine Auflösung oder Pixelfrequenz kann man hier natürlich nicht definieren.

Die Pixelfrequenz eines Bildes bestimmt entscheidend die Geschwindigkeit, mit der ein Bild bearbeitet bzw. ausgegeben werden kann. Die Verdopplung der Frequenz vervierfacht den Speicherbedarf, die Übertragungsdauer und die Rechenzeit. Um diese Zeiten zu verkürzen, wurde das sog. OPI-Verfahren entwickelt. Dabei verbleibt das fein aufgelöste Originalbild auf einem Server und die Bildmanipulationen wie Skalieren und Positionieren werden an einem grob aufgelösten Stellvertreterbild vorgenommen. Dieses wird auch für die Darstellung am Bildschirm verwendet. Da Bildschirme meist eine Pixelfrequenz von ca. 28/cm (72 dpi) aufweisen, nimmt man diesen Wert als Standard für das grob aufgelöste Bild. Gegenüber der für Feindaten üblichen Pixelfrequenz von 120/cm ergibt sich durch OPI eine Beschleunigung um den Faktor 18, wie die folgende Rechnung zeigt:

$$(120 / 28)^2 = 18$$

Bei der endgültigen Ausgabe oder der Weitergabe an einen anderen Betrieb tauscht das OPI-System die Grobdaten durch die Feindaten aus und führt an diesen die vorgenommenen Bildmanipulationen aus.

In der schönen neuen Welt der medienneutralen Daten wird leider immer öfter nicht beachtet,

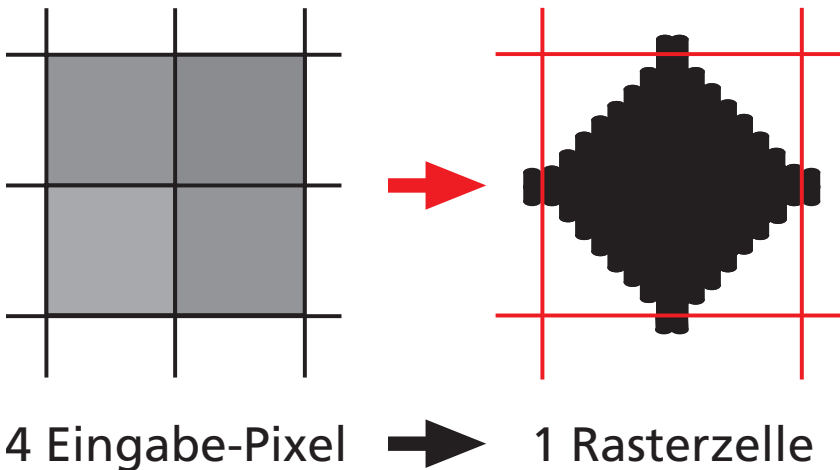


Abb. 7:  
Umwandlung von Pixeldaten bei der Erzeugung eines klassischen Rasters. Der RIP realisiert einen Rasterpunkt mit einem Tonwert, der dem Mittelwert der zugehörigen 4 Eingabepixel entspricht.

Weise. Werden nämlich Bildmotive mit der üblichen Lesefeinheit von 120/cm am „Scanner“ eingelesen und in der Folge um den Faktor X verkleinert, so müssten die vorhandenen Pixel um denselben Faktor X vermindert, d. h. heruntergerechnet, werden. Unterbleibt dies jedoch, mangels Verständnis oder wegen einer Fehlbedienung, so erhalten die verkleinerten Bilder eine viel zu hohe Pixelfrequenz, alle Rechenzeiten verlängern sich. Als warnendes Beispiel sei eine A3-Seite genannt, die aus einem einheitlichen Vollton mit einigen wenigen Schriftzeichen und 2 Strichzeichnungen, jeweils im Briefmarkenformat, bestand. Der RIP-Vorgang nahm viele Stunden in Anspruch. Wie sich später herausstellte, waren die Objekte großformatig eingescannt und dann verkleinert worden, ohne die Pixelzahl entsprechend zu reduzieren.

Um einen solchen Fehler von vornherein auszuschließen, ist im „ProzessStandard Offsetdruck“ [6] und gleichlautend im „MedienStandard Druck 2001“ [7] für Daten eine Obergrenze von 120 Pixel pro Zentimeter für den 60er Raster festgelegt, für den nichtperiodischen Raster mit der offsetüblichen Mindestpunktgröße von 20 µm sind es 100 Pixel pro Zentimeter.

### Schlussfolgerungen

Abschließend kommen wir auf die ursprüngliche Fragestellung zurück: Welche Anforderungen an die Detailschärfe stellt das Auge und welche Ausgabemedien können diese erfüllen? In Tab. 4 sind die vom Auge und dem Betrachtungsabstand her gegebenen Auflösungswerte

für welche Ausgabe eine Bilddatei geeignet ist. Das gilt nicht nur für die vorgesehene Druckbedingung sondern auch für die Pixelfrequenz. Es werden häufig Daten angeliefert, die für den vorgesehenen Zweck entweder viel zu fein oder zu grob aufgelöst sind.

Die für die Ausgabe als Druck anzustrebende Pixelfrequenz der Daten sollte doppelt so hoch liegen wie die Rasterfrequenz. Bei der weiteren Verarbeitung der Daten, z. B. im RIP des Ausgabesystems, wird entsprechend dem in Abb. 7 gezeigten Schema der Tonwert für jede Rasterzelle aus den Werten der vier zugehörigen Pixel der Daten errechnet und in einen entsprechend großen Rasterpunkt umgesetzt (hier mit 56 % Tonwert). Dieses Verfahren ermöglicht eine gewisse Mittelung über unerwünschte Schwankungen des Scanners und eine Schärfreserve für maßvolle Vergrößerungen. Als Konsequenz ergibt sich, dass Daten für den 60er Raster des Offsetdrucks eine Pixelfrequenz von 120/cm besitzen sollten.

Ein Beispiel zur Verdeutlichung: Mit einer 3-Mio-Pixel-Kamera wird ein Bild erzeugt, das im Offset mit dem 60er Raster gedruckt werden soll. Bei einem Seitenverhältnis von 1,4 ergibt dies ein rechteckiges Pixelgitter mit 2040 Pixeln auf der längeren Seite. Beim Öffnen der TIFF-Bilddatei im Programm

Photoshop öffnet man das Fenster „Bildgröße“ und bekommt die Pixelmaße des Bildes mitgeteilt, hier 2040 mal 1460. Im unteren Teil des Fensters stehen die Bildabmessungen in cm, die sich ergeben, wenn die ebenfalls dort stehende Pixelfrequenz zu Grunde gelegt wird. Soll das Bild unter Erhaltung der Bildproportionen verkleinert oder vergrößert werden, so überschreibt man eine der Abmessungen mit dem neuen Wert. Man bekommt hierzu die neuen Pixelzahlen angezeigt, wieder wird von der angezeigten Pixelfrequenz ausgegangen. Fehlende oder überzählige Pixel werden durch Interpolation errechnet bzw. unterdrückt. Selbstverständlich kann man durch Rechnung keine weiteren Details erzeugen; die Detailschärfe des Bildes leidet bei Vergrößerung über ca. 50 %. Hier hilft auch eine nachfolgend ausgeführte Kontrastaufhellung nicht mehr weiter.

Ein häufiger Fehler ist, dass der Bediener nicht die Feindaten sondern nur die Grobdaten ausliefert. Diese sind auf dem Bildschirm nicht als solche zu erkennen. Das Problem zeigt sich erst bei einem Ausdruck auf einem Drucker mit mindestens 120/cm (330 dpi) Schreibfeinheit oder beim Auflagendruck selbst. Der umgekehrte Fall vermindert zwar nicht die Bildqualität, erschwert jedoch sehr die Bearbeitung, manchmal in krasser



Tab. 4:  
Sehschärfe gegen tatsächlich erzielbare  
Auflösung bei Schwarz/Weiß-Kontrast.  
(V) = Vektor, (R) = Raster.

jenen gegenübergestellt, die unter realistischen Verhältnissen mit den genannten Ausgabesystemen erzielbar sind. Auf den üblichen Druckprodukten, z. B. im Offsetdruck mit 60er Raster, können lediglich die als Vektordaten kodierten Schriften und Strichzeichnungen in mehr als ausreichender Detailschärfe dargestellt werden. Aufgerasterte Linien und andere Details lassen allerdings außer bei Plakaten noch Raum für Verbesserungen. Diese Schlussfolgerung gilt auch für die ersten beiden Farbdrucker, deren Auflösungsvermögen in Tab. 2 angegeben ist; die übrigen zwei Drucker liegen sogar bei Vektordaten knapp unter der Grenze. Bildschirme sind um einen Faktor 2 gröber als das Auge eigentlich fordert, Vektordaten besitzen hier keinen Bonus. Die neuen LCD-Flachbildschirme sind etwas schärfer als Kathodenstrahlröhren (CRT) vergleichbarer Größe.

Diese Gegenüberstellung sollte nicht in dem Sinne missverstanden werden, dass Druckprodukte als in punkto Detailschärfe insgesamt als mangelhaft anzusehen sind; es gibt ja auch keine Alternative dazu. Die Auflösung der Bildschirme ist sowohl im Bild als auch bei Schriften deutlich gröber, bei letzteren sogar sehr deutlich.

#### Literatur

- [1] SCHLÄPFER, K.:  
*Wieviel Auflösung braucht man zur Bildwiedergabe?*  
In: Ugra-Mitteilungen (1999) Nr. 3, S. 3 - 7
- [2] HELBIG, T.:  
*Gibt es eine optimale Rasterweite?*  
In: Papier und Druck 39 (1990) Nr. 6, S. 255 - 256

	Sehabstand	Das Auge löst auf	Darstellbar sind
Prospekt, Buch, Messe-großdruck	25 cm	0,11 mm	0,06 mm (V) 0,3 mm (R)
Satellitenatlas	10 cm	0,04 mm	0,2 mm (R)
Bildschirm CRT	45 cm 60 cm	0,20 mm 0,26 mm	0,48 mm bis 0,50 mm
Bildschirm LCD	45 cm	0,20 mm	0,41 mm
Plakat	4 m	1,7 mm	< 1,7 mm
Großplakat	15 m	6,5 mm	< 6,5 mm

- [3] Norm ISO 12640-1: 1997  
*Graphic technology - Pre-press digital exchange - Part 1: CMYK standard colour image data (CMYK/SCID)*
- [4] SCHNITZLER, T. M.; OTSCHIK, G.:  
*Studie über die Verminderung störender Musterbildung durch Einsatz feiner Raster*  
München: FOGRA, 1991 (1.209) - Forschungsbericht
- [5] SCHNITZLER, T. M.:  
*Low-Cost-Farbdrucker und Softproof für den Einsatz als Andruckersatz im Publishing*  
München: FOGRA, 1999 (10.037) - Forschungsbericht
- [6] DOLEZALEK, F.:  
*ProzessStandard Offsetdruck*  
Wiesbaden/München: bvdM/FOGRA, 2001 (32.126) - Forschungsbericht
- [7] N.N.:  
*MedienStandard Druck 2001 – Technische Richtlinien für Daten und Prüfdrucke*  
Wiesbaden: Bundesverband Druck und Medien, 2001.

- [8] DOLEZALEK, F.:  
*Was bedeutet eigentlich dpi?*  
München: FOGRA, 1997 (Nr. 1) - Sonderdruck

## IMPRESSUM

FOGRA-Sonderdrucke werden von der FOGRA Forschungsgesellschaft Druck e.V., zugleich Inhaber und Verleger, im Eigendruck herausgegeben.

Vorstandsvorsitzender:  
Dipl.-Ing. Jan te Neues  
Verantwortlich für den Inhalt:  
Dr. habil. Hans-Joachim Falge  
Redaktion:  
Dipl.-Ing. (FH) Rainer Pietzsch  
Anschrift für den Verleger,  
Druck und alle Verantwortlichen:  
FOGRA-Institut,  
Streitfeldstraße 19,  
81673 München  
Telefon: 089 431820  
Telefax: 089 43182100  
E-Mail: info@fogra.org  
Internet: www.fogra.org  
© 2002 by FOGRA

## FOGRA-Seminare

... sind anerkannt auf Grund ihrer Praxishöhe und Aktualität.

Das Angebot reicht dabei von der verständlichen Vermittlung der Grundlagen der Drucktechnik, wie sie etwa „Quereinsteiger“ oder Berufstätige aus angrenzenden Branchen benötigen, bis zur Heranführung an neue Techniken und dem damit verbundenen Umgang mit modernsten Messgeräten.

Die Teilnehmerzahl ist je nach Seminar auf 15 bis 30 Seminaristinnen und Seminaristen begrenzt, um ein effektives Arbeiten zu garantieren.

### Seminar-Angebot:

- *Farbmessung in der Drucktechnik*
- *Farbmanagement in Druckvorstufe und Druck*
- *Prozesskontrolle im Offsetverfahren*
- *Grundlagen der Drucktechnik*
- *Rationelle und sichere Produktion in digitalen Arbeitsabläufen*
- *Qualitätssichernde Maßnahmen in der Druckvorstufe*
- *Einführung von Computer-to-Plate-Systemen in Druckbetrieben*
- *Fehler an Druckerzeugnissen*
- *Grundlagen und aktuelle Probleme der Druckweiterverarbeitung*

### Programme und Termine:

Das genaue Seminarprogramm sowie die zugehörigen Termine und Anmelde-möglichkeiten finden Sie auf unserer Web-Site unter [www.fogra.org](http://www.fogra.org) (Rubrik „Seminare und Symposien“) sowie in einer Informations-Broschüre, die wir Ihnen gerne zusenden.

Wenden Sie sich bitte an Inge Burian:

Telefon: +49 89 43182114  
 Fax: +49 89 43182100  
 E-Mail: [burian@fogra.org](mailto:burian@fogra.org)

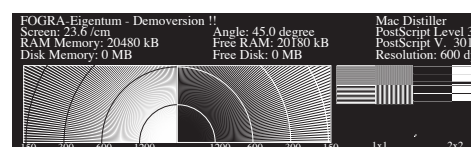
Abbildungen rechte Seite:

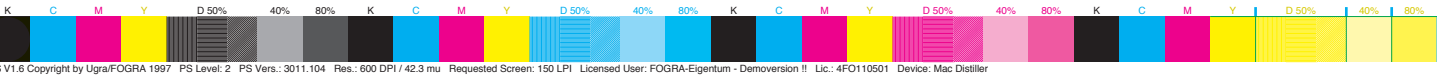
Von oben nach unten:

1. der Ugra/FOGRA-Digital-Druckkontrollstreifen zur Überwachung des Druckergebnisses im Offset bezüglich Färbung, Tonwertzunahme, Dublieren und Farbanahme.
  2. die vier Module der Ugra/FOGRA-Digital-Druckkontrollleiste DKL-Z zur Überwachung des standardisierten ein-/mehrfarbigem Zeitungsdrucks.
  3. der Ugra/FOGRA-Medienkeil, die Basis des MedienStandards Druck und für den hauptsächlichlichen Einsatz bei digitalen Prüfdrucksystemen; mit einer CIELAB-Version für den Proof am Bildschirm.
  4. die Ugra/FOGRA-Digitaldruck-Skala zur Überwachung des Digitaldrucks.
  5. der Ugra/FOGRA-PostScript-Kontrollstreifen zur Überwachung des Ausgabeergebnisses an Imagesettern und Belichtern.
  6. der Ugra/FOGRA-Digital-Plattenkeil zur Überwachung des Ausgabeergebnisses an Computer-to-Plate-Systemen.
- Alle Kontrollmittel sind in Originalgröße abgebildet; sie sind für den PostScript- und PDF-Workflow erhältlich.

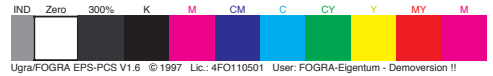


UGRA  
 Mac T  
 PostS  
 PostS  
 600 dp  
 Lizenz  
 FOGRA





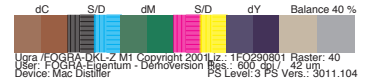
V1.6 Copyright by Ugra/FOGRA 1997 PS Level: 2 PS Vers.: 3011.104 Res.: 600 DPI / 42.3 mu Requested Screen: 150 LPI Licensed User: FOGRA-Eigentum - Demoverision !! Lic.: 4FO110501 Device: Mac Distiller



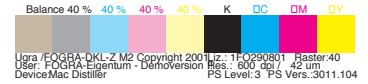
Ugra/FOGRA EPS-PCS V1.6 © 1997 Lic.: 4FO110501 User: FOGRA-Eigentum - Demoverision !!

# Digitale Kontrollmittel ...

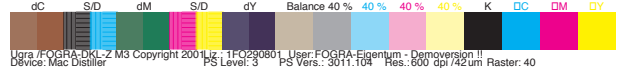
bestellen Sie direkt über den Online-Shop der FOGRA auf [www.fogra.org](http://www.fogra.org).



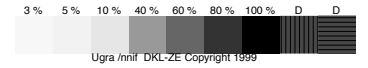
Ugra /FOGRA-DKL-Z M1 Copyright 2001 Lic.: 1FO290801 User: FOGRA-Eigentum - Demoverision Res.: 600 dpi / 42 um PS Level: 3 PS Vers.: 3011.104 Device: Mac Distiller



Ugra /FOGRA-DKL-Z M2 Copyright 2001 Lic.: 1FO290801 User: FOGRA-Eigentum - Demoverision Res.: 600 dpi / 42 um PS Level: 3 PS Vers.: 3011.104 Device: Mac Distiller



Ugra /FOGRA-DKL-Z M3 Copyright 2001 Lic.: 1FO290801 User: FOGRA-Eigentum - Demoverision Res.: 600 dpi / 42 um PS Level: 3 PS Vers.: 3011.104 Device: Mac Distiller



Ugra /nini/ DKL-ZE Copyright 1999



Ugra/FOGRA-Medienkeil CMYK-EPS V1.2 COPYRIGHT 2000 Lic.: 5FO110501 User:FOGRA-Eigentum - Demoverision !!

PS Level: 3 Resolution: 600 DPI/42 um Device: Mac Distiller

Ugra/FOGRA Digital Print Scale - Copyright 2000 - Version 1.0 EPS

Mac Distiller PostScript V.3011.104 PostScript Level 3 600 DPI / 42 um Lizenz IFO110501 FOGRA-Eigentum - Demoverision !!

Ugra/FOGRA Digital Print Scale - Copyright 2000 - Version 1.0 EPS

Mac Distiller PostScript V.3011.104 PostScript Level 3 600 DPI / 42 um Lizenz IFO110501 FOGRA-Eigentum - Demoverision !!

Ugra/FOGRA Digital Print Scale - Copyright 2000 - Version 1.0 EPS

Mac Distiller PostScript V.3011.104 PostScript Level 3 600 DPI / 42 um Lizenz IFO110501 FOGRA-Eigentum - Demoverision !!

Ugra/FOGRA Digital Print Scale - Copyright 2000 - Version 1.0 EPS

Mac Distiller PostScript V.3011.104 PostScript Level 3 600 DPI / 42 um Lizenz IFO110501 FOGRA-Eigentum - Demoverision !!

pixels -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 pixels -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 pixels -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

0 3 5 10 20 30 40 50 1x1 2x2 4x4

100 97 95 90 80 70 60 50

Pixel Registration relative to black: Linewidth = 2 Pixels

pixels -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

mm -0.169 -0.127 -0.085 -0.042 0.0 0.042 0.085 0.127 0.169

Ugra/FOGRA POSTSCRIPT CONTROL STRIP - COPYRIGHT 1999 - Version 2.0 EPS

Mac Distiller PostScript V.3011.104 PostScript Level 3 600 DPI / 42 um Lizenz IFO110501 FOGRA-Eigentum - Demoverision !!

0 3 5 10 20 30 40 50 1x1 2x2 4x4

100 97 95 90 80 70 60 50

Ugra/FOGRA DIGITAL PLATE WEDGE V2.4 EPS Black

9FO110501 Copyright Ugra/FOGRA 2001

VRS 1 VRS 2 VRS 3 VRS 4 VRS 5 VRS 6 VRS 7 VRS 8 VRS 9 VRS 10 VRS 11

0 1 2 3 5 10 20 30 40 50

100 99 98 97 95 90 80 70 60 50

## Gezielte Hilfe in der Informationsflut

Richtig informiert zu sein wird in der heutigen Zeit immer wichtiger. Doch wer schafft es, alle Zeitschriften und Bücher zu lesen, die für sein Geschäftsfeld von Bedeutung sind?

Die Flut an Informationen wird immer größer, die Zeit zum Lesen wird meist knapper.

### **Hier hilft die FOGRA-Datenbank.**

Die FOGRA speichert seit Jahren alle wichtigen Informationen aus der Publishing- und Druckbranche.

Wenn Sie wissen wollen, was zu einem ganz bestimmten Thema veröffentlicht wurde, ist die FOGRA-Literaturrecherche genau das Richtige. Wir beraten am Telefon und helfen bei der Präzisierung der Fragestellung, denn: je genauer Ihre Frage, desto gezielter und informativer wird unsere Auskunft sein.

*Auf Basis dieser Datenbank bieten wir folgende Dienste an:*

### **FOGRA-Literaturdienst**

Eine Auswahl von ca. 55 Literaturhinweisen informiert monatlich über die wichtigsten internationalen Entwicklungen in der Druckindustrie, über Marktstudien ebenso wie über die neuesten Messeberichte und Produktübersichten. Nationale und internationale Veranstaltungstermine ergänzen dieses Angebot.

### **FOGRA-Literaturprofil**

Während der FOGRA-Literaturdienst eine komprimierte Querschnittsinformation aus allen Fachgebieten gibt, bietet Ihnen ein FOGRA-Literaturprofil gezielte Hinweise auf Fachliteratur aus einem speziellen Fachgebiet.

### **FOGRA-Patentschau**

Sie ist für Entscheider, die frühzeitig technische Trends in der Druckindustrie abschätzen müssen, die ideale Informationsgrundlage. Jeden Monat informieren wir durch eine Zusammenstellung von Hinweisen über Patente im Bereich der Druckindustrie, die in der Bundesrepublik Deutschland angemeldet wurden.

*Nutzen auch Sie unsere vielfältigen Informationsdienste!*

Wenn Sie mehr wissen wollen, wenden Sie sich bitte an Wolfgang Hergl (Telefon: +49 89 43182412) oder informieren Sie sich vorab auf unserer Homepage ([www.fogra.org](http://www.fogra.org)).