Dipl.-Ing. (FH) CHRISTIAN GREIM*

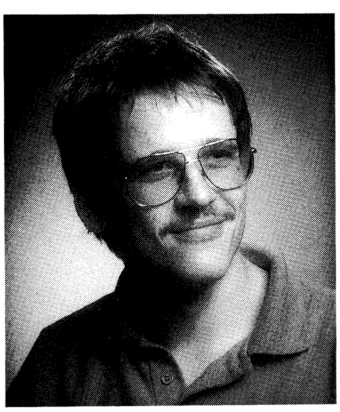
Vierfarbenrasterung – die Sache mit Rosetten, Farbdrift und Moiré

Werden die Störenfriede in der Farbreproduktion berechenbar – Lösung durch die Kombination unterschiedlicher Rasterweiten und Punktformen?

In seiner Diplomarbeit ging der Autor den Ursachen von Rosetten, Moiré und Farbdrift in der herkömmlichen Rastertechnik nach. Anhand der von Dieter Morgenstern in seinem Buch »Rasterungstechnik fotomechanisch und elektronisch« beschriebenen Formel von Tollenaar wird eine Möglichkeit aufgezeigt, Lage und Ausdehnung von Moirés bei zwei gegebenen Rastern vorherzusagen. Die Formel ist neu überarbeitet und in Diagramme gebracht – sie liefert ohne großen Rechenaufwand eine Aussage darüber, wie ein Raster beschaffen sein müßte, um Moiréeffekte zu minimieren.

Mal eine ganz einfache Frage: Was ist eigentlich Moiré? Es gibt auch ganz ähnliche Fragen nach Farbdrift oder Rosette. Vielleicht fällt einem noch das Stichwort Interferenz ein. Aber wenn man genauer nachdenkt, was es eigentlich ist und wieso es zustande kommt, wird es schon ziemlich schwierig, nicht davon zu reden, daß man vorhersagen soll, bei welcher Kombination von Rastern mit welchem Winkel welches Moiré herauskommt. Und das, obwohl es sich um ganz alltägliche Effekte in der grafischen Industrie handelt.

Die drei Effekte, Rosette, Moiré und Farbdrift, unterscheiden sich eigentlich kaum. Sie sind lediglich andere Größenordnungen desselben Problems. Das ist etwa wie zwischen Zug, Wind und Sturm. Im Prinzip sind alles Luftbewegungen. Das Wort Zug verwendet man, wenn es sich um ein einzelnes Zimmer oder ein Abteil oder Ähnliches handelt.



Dipl.-Ing. (FH) Christian Greim, FH Druck Stuttgart, Assistent von Prof. Ritz, Projektbearbeitung: Einsatz neuer Technologien in den Vorstufen des Flexodrucks.

Der Wind ist die ganz normale Erscheinung und Sturm ist Wind in einer bedrohlichen Größenordnung. Ganz ähnlich ist die Rosette ein unauffälliges Phänomen in einer kleinen Größenordnung. Das Moiré ist die normale Erscheinung, bedingt durch Papierverzug, Winkelungsfehler usw. Und schließlich die Farbdrift als ein Moiré mit einer Ausdehnung

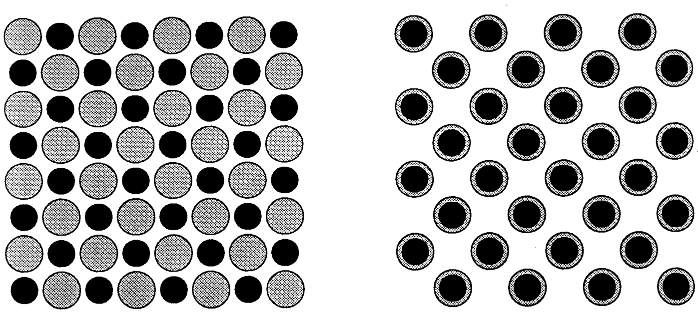


Abbildung 1: Wenn sich ein Bogen zwischen zwei gerasterten Farben bewegt, liegen die Farben in Extremfällen entweder übereinander oder nebeneinander.

ins Unendliche. Was das genau heißt, werden wir später noch sehen. Wenn im weiteren Verlauf hier die Rede von Moiré ist, sollen deshalb alle drei Effekte gemeinsam darunter verstanden werden.

Linienraster und Punktraster

Ein Problem kann man oft am leichtesten verstehen, indem man seine Extremfälle untersucht. Man stelle sich also zwei Raster gleicher Rasterweite und Winkelung vor. Wenn sich der Bogen zwischen beiden so gerasterten Farben bewegt, liegen die Farben im extremsten Fall genau übereinander oder im anderen extremen Fall nur nebeneinander. Die *Abbildung 1* soll dies andeuten. Es entsteht jeweils ein anderer Farbeindruck. Dadurch, daß die Farben lasierend sind, ist zwar der Farbeindruck von zwei übereinandergedruckten Flächen zusammen mit dem vermehrten Weiß des Hintergrundes ähnlich dem von zwei nebeneinandergedruckten Flächen, aber eben nicht gleich.

Wenn man nun gleich zwei Raster überlagert, ist das ganze schon sehr unübersichtlich. Übersichtlicher ist hier schon ein gedachtes Linienraster. Hier werden sofort wieder einige einwenden und sich fragen, was denn ein Linienraster mit einem normalen Punktraster zu tun hat und ob denn eine so starke Vereinfachung überhaupt noch Sinn macht. Ein Punktraster ist aber eigentlich nichts anderes als eine Überlagerung von zwei gleich weiten Linienrastern unter einem 90°-Winkel, allerdings mit der besonderen Bedingung, daß nur die Knotenpunkte markiert werden.

Nun aber zurück zum Linienraster. Bei Überlagerung von verschiedenen Linienrastern entstehen auch Moirés, allerdings linienförmige. Der große Vorteil an der Sache ist, daß man die Ausdehnung und Winkellage solcher Linienmoirés genau vorausberechnen kann.

Wie ein Linienmoiré aussieht, kann man in der *Abbildung 2* sehen.

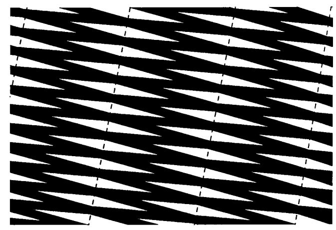


Abbildung 2: Linienmoiré.

Aus dem Buch »Rasterungstechnik fotomechanisch und elektronisch« von Dieter Morgenstern läßt sich eine geometrische Skizze zur Veranschaulichung der Berechnung solcher Linienmoirés entnehmen. Aus solchen Skizzen folgerte D. TOLLENAAR seine Formeln, die in eben erwähntem Buch aufgeführt sind. Diese Skizzen und Formeln sind hier bewußt nicht aufgeführt, um nicht noch mehr Verwirrung zu stiften. Ich habe mir erlaubt, diese Formeln etwas zu verallgemeinern, an einigen Stellen abzuwandeln und so etwas zu vereinfachen. Deshalb sollen hier nur die abgewandelten Versionen gezeigt werden. Man geht also von zwei Linienrastern aus. Ein Linienraster hat die Rasterweite *w*. Das andere Linienraster hat die Rasterweite *x mal w*. Es wird also nur berücksichtigt, wie groß das zweite Linienraster im Verhältnis zum ersten ist. Wie groß die Zahlen absolut sind, ist belanglos. Die beiden Raster sind um den Winkel α verwinkelt. Das Ergebnis erhält die Bezeichnung *f(x)*, siehe *Abbildung 3*. Unter diesen Voraussetzungen

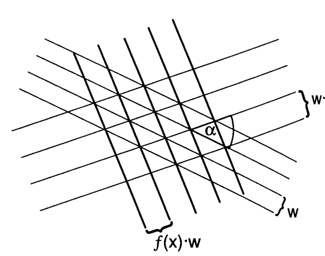


Abbildung 3: Verwinklung von zwei Linienrastern.

zungen erhält man folgende Formel für die Weite des Linienmoirés:

$$f(x) = \frac{x}{\sqrt{x^2+1-2\cdot x\cdot \cos\alpha}}$$

Allerdings ist das Ergebnis bezogen auf die erste Linienweite. Das heißt, die entstehende Moiréweite ist *f(x)*-mal so groß wie die erste Linienweite *w*. Noch einmal ganz einfach ausgedrückt: Bei zwei Linienrastern, wobei das zweite *x*-mal so groß ist wie das erste, die sich unter Winkel α schneiden, ist das entstehende Moiré *f(x)*-mal so weit wie die erste Rasterweite.

Manchen Leser höre ich schon ungeduldig fragen, was denn nun endlich mit normalen Punktrastern ist. Ich muß Sie bitten, sich noch etwas zu gedulden. Ich möchte erst noch den Graphen der Funktion *(Abbildung 4)* erläutern. Ich bitte auch Mathematiker dann eine Kurvenschar. Man kann die dazwischenliegenden Werte ganz gut abschätzen. Winkel außerhalb des Bereiches zwischen 0° und 90° sind von der Logik her überflüssig.

Also noch einmal kurz die Anwendung der Kurvenschar. Man hat zwei gegebene Linienraster, die sich im Winkel α schneiden. Zuerst errechnet man das Verhältnis der zweiten Rasterweite zur ersten. Das heißt, man dividiert die zweite Rasterweite durch die erste Rasterweite. Diese Zahl geht man auf der *x-Achse* nach

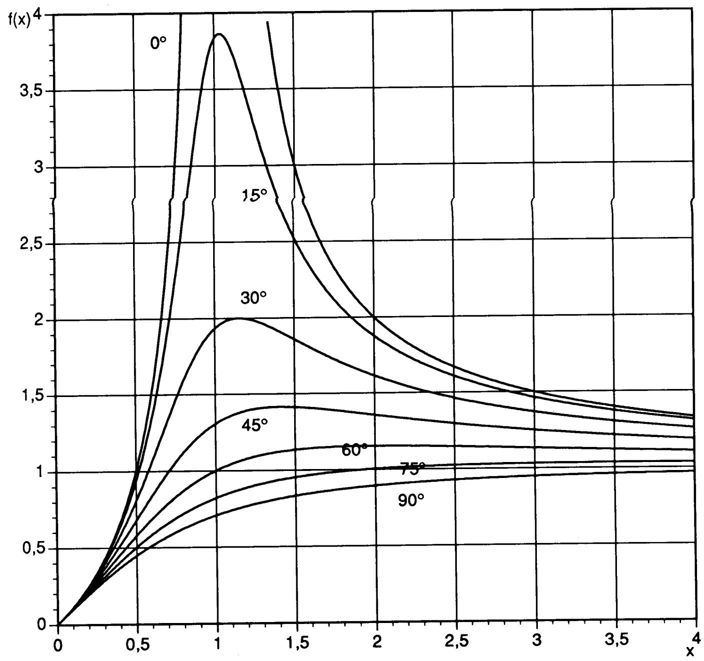


Abbildung 4: Kurvenschar von sieben Rasterwinkeln in 15°-Schritten zur Ermittlung der Rasterweite.

alle eventuellen unangenehmen Erinnerungen an Mathematikstunden in der Schule einmal zu vergessen. Auf der *x-Achse,* auch Rechtswertachse oder Abszisse genannt, wird das Verhältnis der ersten Linienrasterweite zur zweiten, also *x,* abgetragen. Der Bereich von 0 bis 3 ist dabei völlig ausreichend. Auf der *y-Achse* oder Ordinate wird jeweils der Wert abgetragen, der nach Berechnung durch die Formel an der jeweiligen Stelle *x* entsteht, also *f(x).*

Nun kommt noch etwas erschwerend hinzu. Viele werden sich nämlich schon gefragt haben, warum es denn sieben Kurvenzüge sind. Das kommt durch das α. Die beiden Linienraster können sich nämlich., wie vorhin schon erwähnt, unter einem beliebigen Winkel α schneiden. Davon habe ich repräsentativ nur sieben Winkel ausgewählt und zwar von 0° bis 90° in 15°-Schritten. Das ganze nennt der rechts. Dann sucht man sich den Kurvenzug, der dem gegebenen Winkel α am nächsten kommt, oder schätzt entsprechend einen Kurvenverlauf ab. Dann geht man von dem gefundenen *x-Wert* senkrecht nach oben und sucht den Schnittpunkt zum gefundenen Kurvenzug. Wenn man von diesem Punkt waagerecht nach links geht, erhält man *f(x),* also das Größenverhältnis der Moiréweite zur ersten Rasterweite. Um die Moiréweite zu erhalten muß man also nur noch *f(x)* mit der ersten Rasterweite multiplizieren. Zugegeben, das klingt alles sehr kompliziert, einfacher ist das Ganze aber nicht zu haben. Und wenn man das Prinzip erst einmal verstanden hat, ist der Graph dieser Funktionen relativ einfach anzuwenden.

Nun aber endlich zur Beantwortung, was das ganze nun mit einem normalen Punktraster zu tun hat. Da die grafische Industrie vom Anschauen lebt, will ich versuchen, die Zusammenhänge auch anschaulich zu machen. Wie schon einmal erwähnt, kann man ein Punktraster auch als Kombination von zwei gleichweiten Linienrastern im Winkel von 90° auffassen, wobei nur die Kreuzungspunkte markiert sind.

Um sich nun die Kombination von mehreren Punktrastern zu veranschaulichen, nimmt man am besten zwei Linien, die sich im 90°-Winkel kreuzen. Die *Abbildung 5* zeigt drei überlagerte Kreuze. Sie stellen die herkömmliche Winkelung dar. Moment mal! Wo ist denn die vierte Farbe? In meiner Diplomar-

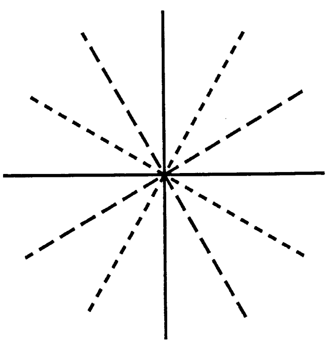


Abbildung 5: Drei überlagerte Kreuze repräsentieren die herkömmliche Rasterwinkelung.

beit habe ich mit Hilfe eines Testelementes und einiger Versuchspersonen nachgewiesen, daß man Strukturen aus gelber Farbe schlechter erkennen kann. Das mag banal klingen. Dabei wurde aber auch festgestellt, daß Schwarz, Cyan und Magenta etwa gleich gut wahrgenommen werden. Die gleiche Struktur im Gelb kann aber mindestens 1,4 mal gröber sein als eine Struktur in den anderen Farben, um etwa gleich gut erkannt zu werden. Praktisch heißt das, daß die Rasterweite im Gelb gröber sein kann, ohne mehr aufzufallen. Das Gelb kann also bei weiteren Betrachtungen vernachlässigt werden, was man in der Praxis bisher schon immer so gemacht hat. Wenn man nun noch einmal *Abbildung 5* betrachtet, sieht man, daß das ganze rund um den Mittelpunkt gleichmäßig ausgefüllt ist. Es scheint zunächst keine bessere Möglichkeit zu geben.

Wenn wir nun wieder an die Graphen unserer Kurvenschar *(Abbildung 4)* denken, dann haben wir also an allen Stellen ein Verhältnis der Linienweiten von 1:1 also *x* an der Stelle *1*. Wenn man nun die Gerade, die bei *1* senkrecht nach oben geht, betrachtet, ergibt sich, daß alle Verwinkelungen bei Rasterweiten von 1:1 unter einem Winkel von mehr als 60° kein Problem darstellen. Bei diesen Winkeln wäre das entsprechende Moiré kleiner oder gleich 1, also maximal genausogroß wie das Raster selbst, also auch nicht auffälliger. Die kleinsten Winkel aber, die sich aus *Abbildung 5* ergeben, sind 30°-Winkel. Diese erzeugen in unserem Fall aber bereits ein Moiré mit einer Weite von fast 2, also dem Doppelten der Rasterweite. Mit einem herkömmlichen Raster ist also in Sachen Moiré über die Winkelung nichts besser zu machen. Allerdings kann man ja auch die Rasterweiten variieren, oder die Geometrie der quadratischen Punktanordnung.

Ich fürchte, hier werden sich einige Leute mit Grausen abwenden. Aber zum Beispiel schreiben die Scanner von *Hell* schon seit jeher den Schwarzauszug feiner, also in einer anderen Rasterweite, und es wird sich kaum einer unterstehen zu behaupten, Hell – inzwischen *Linotype-Hell* – verstünde nichts von Rasterung. Hier möchte ich nachher weitermachen.

Von primären bis zu quartären Moirés

Es soll nicht verschwiegen werden, daß auch mit dieser verhältnismäßig einfachen Formel die Sache gar nicht so einfach ist. Das rührt wieder von einer ganz einfachen Tatsache her. Viele einfache Dinge verknüpft, ergeben leicht etwas sehr Kompliziertes. Es entstehen nämlich bei so einem Raster viele Moirés. Diese kann man für sich wieder als Strukturen auffassen, die sich wiederum in einem Winkel überlagern. Dadurch entstehen weitere Moirés, die sogenannten sekundären Moirés. Da sich die Katze hier irgendwie in den Schwanz beißt, gibt es auch tertiäre, quartäre usw. Moirés. Entsprechend unübersichtlich wird das ganze Problem natürlich.

Glücklicherweise nimmt aber die Auffälligkeit der Moirés mit ihrem Grad ab. Man kann sagen, quartäre Moirés zu betrachten, ist Zeitverschwendung. Der schon erwähnte DIETER MORGENSTERN spricht in seinem Buch davon, daß man die tertiären Moirés mitbeachten sollte, ich möchte mich dem aber nicht anschließen. Ich glaube es reicht, wenn man sich auf die eigentlichen oder primären Moirés konzentriert und sich dabei bemüht, in den sekundären Moirés keine all zu großen Strukturen entstehen zu lassen, also nicht größer als das Fünffache der Rasterweite. Auf gar keinen Fall sollte es zu sogenannten Verwinkelungen ins Unendliche kommen. Eine solche Verwinkelung ergibt sich dann, wenn man zwei gleiche Rasterweiten benutzt, also *x* gleich 1, und die beiden Raster in einem sehr kleinen Winkel verwinkelt.

Genauer gesagt, im mathematischen Sinne unendlich wird es erst bei einem Winkel von 0°. Das sieht man auch deutlich an der Kurvenschar. Der Kurvenzug, der die Funktion bei einem Winkel von 0° zeigt, strebt nämlich an der Stelle $x=1$ gegen Unendlich. Im mathematischen Sinn ist die Formel dann bei 1 nicht definiert. Bei der herkömmlichen Rasterung kommt es nämlich in den tertiären Moirés zu solchen Verwinkelungen. In bezug auf dieses spezielle Problem muß ich meine Aussage von vorher etwas revidieren. In den tertiären Moirés dürfen keine Verwinkelungen gegen Unendlich vorkommen.

Allein mit der bisherigen Formel kann man aber keine sekundären Moirés ermitteln, weil man die Richtung der primären Moirés nicht kennt. Dazu ist noch einmal eine Formel, wie vorhin, nötig. Das Problem bei einem Winkel ist, festzulegen, ab wo man eigentlich mißt. Man könnte natürlich die Richtung eines der gedachten Linienraster nehmen. Aber dabei ergibt sich schon das Problem, welches gedachte Linienraster ist das erste und welches das zweite, weil sich danach nämlich das Vorzeichen richtet. Und schon taucht das Problem mit Vorzeichen und Dreheinrichtungen auf. Das mag einfach aussehen, aber man verheddert sich leicht.

Besser ist es da, eine Festlegung zu benutzen, die im ersten Moment vielleicht etwas umständlich aussieht. Dazu sollen die *Abbildungen 6* das Verständnis erleichtern. Wenn sich zwei Linienraster mit gleicher Rasterweite schneiden, dann ergibt sich ein Rautenmuster. Jede Raute hat dann zwei stumpfe und zwei spitze Winkel. Das Moiré verläuft dann in derselben Richtung wie eine Gerade durch die beiden stumpfen Winkel. Wenn die Rasterweite der beiden Linienraster gleich ist, steht diese Richtungsgerade rechtwinklig auf einer Geraden durch die beiden spitzen Winkel α *(Abbildung 6a)*. Haben aber die beiden Linienraster eine unterschiedliche Rasterweite, dann stehen die beiden Geraden

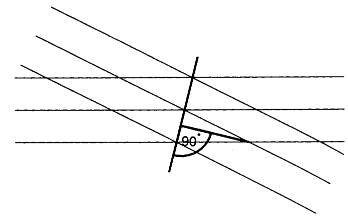


Abbildung 6a: Wenn sich zwei Linienraster mit gleicher Rasterweite schneiden, entsteht ein Moiré, das senkrecht zur Winkelhalbierenden von α verläuft.

nicht mehr senkrecht aufeinander, sondern die Richtung des Moirés ist mehr in Richtung des dichteren Linienrasters verdreht. Als Maß für die Funktion wird nun diese Richtungsabweichung vom 90°-Winkel angegeben *(Abbildung 6b)*.

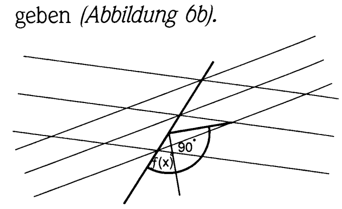


Abbildung 6b: Wenn die beiden Linienraster unterschiedliche Rasterweiten haben, kommt es zu einer Abweichung zur Senkrechten der Winkelhalbierenden von α, bezeichnet mit f(x).

Die Formel von D. TOLLENAAR wurde also in der Bezugsgeraden abgewandelt. Sie lautet dann:

$$f(x) = \arctan\left(\frac{1}{\tan\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{x-1}{x+1}\right)$$

Auch einen Funktionsgraph habe ich hier beigefügt, der abstrakte Rechnungen ersparen kann und vor allem einen Überblick über das Verhalten verschafft, wenn man die Eingangsgrößen ändert. Da diese Funktion die meisten wohl nicht so sehr interessiert und zudem noch komplizierter ist, sei sie hier etwas kürzer beschrieben als die erste.

Im Prinzip ist die Anwendung des Graphen ähnlich wie bei der ersten Funktion. Dazu ein Blick auf den Graphen *(Abbildung 7, S. 75)*. Auf der *x-Achse* trägt man das Verhältnis *x* der beiden Rasterweiten zueinander ab. Nun sucht man sich, indem man von *x* aus senkrecht nach oben geht, denjenigen Kurvenzug, der mit der Gradangabe versehen ist, die dem Winkel der beiden Linienraster am nächsten kommt, oder interpoliert entsprechend. Wenn man nun waagerecht nach links geht,

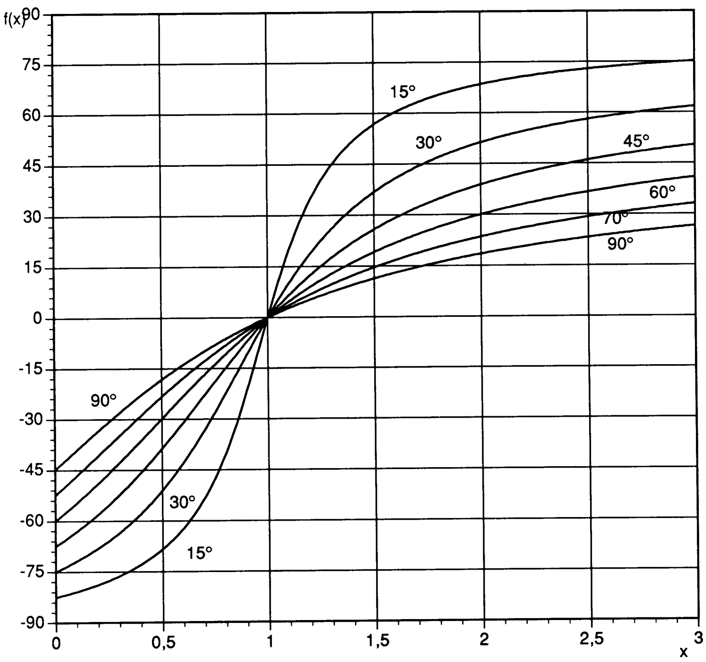


Abbildung 7: Kurvenschar zur Ermittlung der Rasterwinkelung.

sieht man an der *y-Achse* die gesuchte Winkelabweichung, wie sie oben beschrieben ist. Nun kennt man also die Lage des Moirés, mit Hilfe der ersten Formel die Moiréweiten und kann somit sekundäre und gegebenenfalls tertiäre Moirés berechnen.

Quadratische Punktanordnung ist kein Gesetz ...

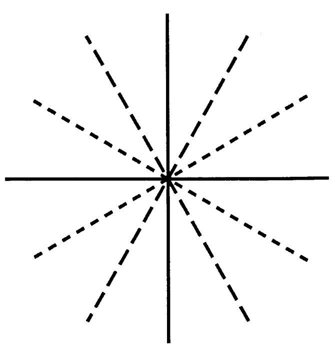


Abbildung 8: Rasterwinkelung in der Tiefdruckgravur.

Das ganze war jetzt so trocken und abstrakt, daß ich hier erst einmal einen herzlichen Glückwunsch an diejenigen richten möchte, die bis hierher durchgehalten haben. Interessant wird es eigentlich erst jetzt, wenn man überlegt, was man mit der ganzen Rechnerei anfangen kann. Wenn man darauf besteht, daß ein Raster quadratisch angeordnet zu sein hat und daß alle Farben auch noch die gleiche Rasterweite aufweisen müssen, dann gibt es eben nichts Besseres als die heute normalerweise benutzte Rasterung.

Diejenigen Leser, die dieser Meinung sind, haben sich leider die gesamte Mühe umsonst gemacht. Wer allerdings bereit ist, auch einmal querzudenken, der kommt auf einige gute Gedanken. Vorhin sind schon ein paar Vorschläge angeklungen. Zum Beispiel könnte man doch Anleihen bei der Tiefdruckgravur machen. Diese rastert nämlich nicht quadratisch, sondern rautenförmig. *Abbildung 8* stellt ein Schema für die Rasterung bei der Tiefdruckgravur dar, analog zu *Abbildung 5.* Das ganze könnte man noch weiterführen, indem man verschiedene Rasterweiten kombiniert. Ferner ist es kein Gesetz, daß Raster quadratisch sein müssen. Das heißt, man könnte auch in jeder der beiden Richtungen andere Rasterweiten bei einem einzigen Raster verwenden. Auch das könnte bei Kombination von mehreren Farben einiges verbessern.

Vielleicht lohnt es sich auch einmal darüber nachzudenken, wie man das Grundübel, nämlich die Linienstruktur, etwas auflösen könnte. Eine völlige Beseitigung der Linienstruktur bringt der frequenzmodulierte Raster, aber dieser ist je nach Druckverfahren mit unterschiedlichen Schwierigkeiten zu realisieren. In meiner Diplomarbeit gibt es zu den einzelnen Anregungen noch weitere Ausführungen.

Ich möchte, verehrte Leserinnen und Leser, Sie aber nicht in eine bestimmte Richtung lenken. Mit Hilfe der Formeln haben aber die Entwickler das Werkzeug an der Hand, Vorhersagen über die Moiréanfälligkeit von neuen Rastern zu machen. Mit Hilfe von PostScript lassen sich im Eigenbau völlig neue Raster entwickeln. Wie man dabei einige Beschränkungen des Sprachumfangs von PostScript umgehen kann, soll in einem weiteren Artikel besprochen werden.

Insgesamt soll einfach das Nachdenken über die Rasterung durch diesen Artikel neu entfacht werden. Oder besser gesagt, soll die Diskussion von den vergleichsweise nebensächlichen Gebieten der Punktform und der exakten Rasterwinkelung weg, wieder auf die eigentlichen Probleme gerichtet werden. Zumal man jetzt nicht mehr einfach im Nebel herumstochern muß, sondern mit Hilfe der Formeln klare Kriterien für Raster hat. Mit Hilfe der modernen PCs ist es auch kein größeres Problem, Raster bis zu den tertiären Moirés zu überprüfen. Mit ein bißchen Programmiergeschick kann man sich leicht eigene Auswertungsprogramme schreiben. Das richtet sich nicht nur an die Entwickler von Ausgabegeräten. Ich hoffe, daß viele anfangen, die Sache mit dem Raster noch einmal neu zu überdenken, und sich nicht einfach zurücklehnen und die Sache einigen wenigen Entwicklern überlassen.

SCHLÜSSELWÖRTER:
Bildverarbeitung
Farbdrift
Linienraster
Moiré
Punktraster
Rasterweite
Rasterwinkel
Rosetten
Tollenaar-Formel