

Frequenzmodulierter Bildaufbau im Mehrfarbendruck

Fischer, Gerhard; Scheuter, Karl R.

(1984)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00014025>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Article

Division: 16 Department of Mechanical Engineering

16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/14025>

Sonderdruck aus: DIE FARBE 31 (1983/84), Nr. 1-3

Gerhard Fischer und Karl R. Scheuter*, DARMSTADT:

Frequenzmodulierter Bildaufbau im Mehrfarbendruck

Gerhard Fischer und Karl R. Scheuter*, DARMSTADT:

Frequenzmodulierter Bildaufbau im Mehrfarbendruck

DK 621.397.3
655.344

Der autotypische Rasterdruck, bei dem die Druckpunkte regelmäßig angeordnet sind und die Durchmesser der Druckpunkte entsprechend dem Tonwert variieren, entspricht einem Amplitudenmodulationsverfahren. Demgegenüber ist ein Bildaufbau mittels gleichgroßer Druckpunkte, die stochastisch verteilt und dem Tonwert entsprechend dicht angeordnet sind, ein Frequenzmodulationsverfahren.

Der frequenzmodulierte Bildaufbau ist im Offsetdruck probeweise realisiert worden. Gegenüber dem konventionellen autotypischen Rasterdruck weist er Vorteile hinsichtlich der Farbwirkung, des Auflösungsvermögens und des Kontrastes auf. Zudem führt er im Auf-lagendruck zu einem stabileren Ergebnis.

Halftone prints are characterized by dots of different sizes arranged in a screen of constant frequency, i.e. the pictures are amplitude-modulated. Pictures characterized on the other hand by dots of constant area arranged at random and with a mean local frequency according to the local optical density, are frequency-modulated pictures.

Pictures of this nature have now been calculated and printed. Compared with halftone prints the following advantages were ascertained: brighter colours, higher resolution of details and higher contrasts. Moreover the tone reproduction proved to be more constant over the production run.

Une autotypie est caractérisée par des points à trame de grandeur différente, arrangés dans une trame de fréquence constante. C.-à-d. l'image est modulée des amplitudes. Une image caractérisée par des points à trame de grandeur constante, arrangés aléatoirement à des distances variables selon la densité locale, est au contraire modulée des fréquences. Des images pareilles étaient calculées et imprimées en offset.

La comparaison avec l'autotypie montre les avantages suivants: des couleurs plus lumineuses, un pouvoir résolvant élevé et des contrastes élevés. En outre la reproduction des valeurs tonales était plus stable.

1. Einleitung

Beim Mehrfarbendruck besteht im allgemeinen die Aufgabe darin, ein farbphotographisches Bild zu reproduzieren. Anerkanntermaßen würde man das mit der besten Qualität erreichen, wenn als Reproduktionsverfahren wieder die Farbphotographie selbst gewählt würde. Der Grund hierfür liegt darin, daß dabei einerseits die farbmetrisch gleichen Farben verwendet würden und andererseits auch der gleiche Bildaufbau. Beim heutigen autotypischen Mehr-

* Technische Hochschule Darmstadt, Lehrstuhl und Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren

farbendruck trifft nun beides nicht zu. Wir haben uns deshalb mit der Frage auseinandergesetzt, wie mittels eines neuartigen Bildaufbaues der Bildcharakter eines photographischen Farbbildes drucktechnisch möglichst weitgehend simuliert werden könnte.

Zweckmäßigerweise betrachtet man zunächst die Entstehungsweise eines photographischen Bildes. Im Falle eines unbunten Bildes werden stochastisch verteilte, jedoch im Schnitt gleich große Halogensilberkörner belichtet, und zwar flächenbezogen um so mehr, je höher die Belichtung war. Nach der Entwicklung liegt dann ein Bild vor, das an den Stellen geringer Dichte wenige und an den Stellen hoher Dichte viele bilderzeugende Silberkristalle aufweist. Die Dichtemodulation geschieht also hier durch etwa gleichgroße Bildpunkte mit unterschiedlichem Abstand. Definiert man, wie beim autotypischen Druck üblich, die Rasterfrequenz als Kehrwert des Mittenabstandes der Bildpunkte, dann stellt man fest, daß hier ein frequenzmodulierter Bildaufbau vorliegt.

Beim photographischen Farbbild treten an die Stelle der Silberkörner kleine Farbwolken. Das photographische Farbbild weist also denselben frequenzmodulierten Bildaufbau auf wie das unbunte Bild.

Beim autotypischen Bildaufbau ist die Rasterfrequenz konstant. Somit sind alle Bildflächenelemente gleichgroß, z.B. $1.6 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2$ bei einem Raster der Frequenz 80 L/cm. Bildelemente dieser Größe können beim Betrachten aus dem normalen Abstand von ca. 30 cm gerade als nicht mehr einzeln erkennbar, geschweige denn auflösbar gelten. Die Helligkeitsamplituden entstehen durch unterschiedlich große Rasterpunkte. Das autotypische Bild ist im Gegensatz zum photographischen ein amplitudenmoduliertes Bild. Der Farbreiz des Bildelementes wird bei der tradierten autotypischen Tonwertzerlegung, z.B. im Flachdruck, dadurch moduliert, daß jede der verwendeten Druckfarben nur auf eine entsprechende Teilfläche des Bildelementes übertragen wird. Der zur Modulation ausgeschöpfte Bereich umfaßt in der Praxis bestenfalls 2% bis 98% des Bildelementes. Diese Teilflächen werden ihrer Grundform entsprechend als Rasterpunkte bezeichnet, und man spricht von positiven Rasterpunkten, wenn die eingefärbte Teilfläche des Bildelementes kleiner ist als die nicht eingefärbte, und von negativen Rasterpunkten im umgekehrten Fall.

Bezüglich der Farbübertragung auf den Bedruckstoff liegen bis heute kaum wissenschaftlich fundierte Untersuchungen vor, und gerade der technisch interessante Bereich, nämlich der Druck von Rasterpunkten, ist weitgehend ungeklärt. Lediglich die Farbübertragung beim Volltondruck, d.h. die vollständige Einfärbbarkeit von Bedruckstoffen, ist bislang systematischer untersucht worden.

Das in der Praxis weit verbreitete Einhalten gewisser Modulationsgrenzen gibt jedoch einen Hinweis darauf, daß es »kleinste noch druckbare Punkte« gibt, deren Größe von den Druckbedingungen und den Materialien beeinflusst

wird. Da auch die Durchmesser der gedruckten Punkte in der Praxis immer etwas schwanken, wählt man diese kleinsten noch druckbaren Punkte ausreichend groß, z.B. etwa $20\ \mu\text{m}$ im Durchmesser, damit sie trotz ihrer schwankenden Größe nicht verschwinden können.

Als Kriterium zur Wahl der Rasterfrequenz dient primär das gewünschte Auflösungsvermögen. Die Rasterfrequenz beeinflusst jedoch nebenbei die erreichbare Tonwertabstufung. Die Anzahl der in einem Bildflächenelement visuell unterscheidbaren Farbzeile nimmt nämlich um so mehr ab, je kleiner das Bildelement selbst ist. Schließlich ist auch der Tonwertumfang von der Rasterfrequenz abhängig. Das Flächenverhältnis von dem kleinsten druckbaren Punkt und dem Bildelement stellt die Modulationsgrenze dar. So führen Rasterfrequenzen, die eine ausreichende Detailwiedergabe gestatten, oft zu einem unbefriedigenden Dichteumfang. Die Folge davon ist, daß als »vierte Farbe« Schwarz mitgedruckt werden muß. Dadurch entsteht ein Bildeindruck, welcher der photographischen Vorlage nicht besonders gerecht wird.

2. Simulation des photographischen Bildaufbaus durch Frequenzmodulation

Will man den dem photographischen Bild entsprechenden Bildaufbau drucktechnisch simulieren, dann stellen sich zunächst offenbar zwei Probleme, nämlich

- es müssen kleine Farbwolken gedruckt werden und
- es müssen — vorgängig — die Farbwolkenabstände, d.h. die örtlichen Rasterfrequenzen bestimmt werden.

Zum ersten Problem liefert die Abb. 1¹ eine Aussage. Sie zeigt die mikroskopische Vergrößerung von auf gestrichenes Papier gedruckten Punkten.

Man sieht ganz deutlich, daß selbst die größeren Druckpunkte nicht als Punkte von definierter Form und mit konstanter Farbschichtdicke aufgefaßt werden dürfen, sondern viel eher und treffender als Farbwolken. Es zeigt sich ferner, daß die kleineren Druckpunkte mit $20\ \mu\text{m}$ Durchmesser dem Idealbild einer Farbwolke noch viel näher kommen. In der Tat wird der Vergleich mit einer Farbwolke um so zutreffender, je kleiner die Druckpunkte sind. Die Erzeugung sehr kleiner Druckpunkte, beispielsweise von $10\ \mu\text{m}$ Durchmesser, ist erfahrungsgemäß viel eher ein Problem der Druckplattenbelichtung und -entwicklung als des Druckvorganges. Die gewünschte Nachbildung der Farbwolken des photographischen Bildes geschieht beim Drucken infolge der Rauigkeiten des Bedruckstoffes und der Farbschicht auf der Druckplatte automatisch.

Es bleibt damit die Bestimmung der örtlichen Rasterfrequenz. Sie ist mittels eines Scanners ohne grundsätzliche Probleme durchführbar. Ein Scanner er-

¹ Die Abbildungen 1, 4, 5, 7 finden sich auf den Buntdruck-Seiten dieses Aufsatzes

zeugt für jedes abgetastete Bildflächenelement ein Dichtesignal, welches nun in ein Signal umgeformt wird, das die der abgetasteten Dichte entsprechende Anzahl der Druckpunkte im Bildflächenelement wiedergibt.

Zur Vermeidung von Moiré-Erscheinungen ist es sinnvoll, die Druckpunkte im Bildflächenelement wie die Farbwolken im photographischen Bild stochastisch zu verteilen. Die stochastische Verteilung läßt sich prinzipiell mit einem stochastischen Hilfssignal, im einfachsten Fall z.B. mit einer Zufallszahlenmatrix, erreichen [1]. Die Abb. 2 zeigt links beispielsweise eine solche Matrix, die neun Plätze aufweist, auf welchen die Zahlen Eins bis Neun zufällig verteilt sind. Die Matrix entspricht einem Bildflächenelement, die Matrixplätze entsprechen möglichen Druckpunktpositionen.

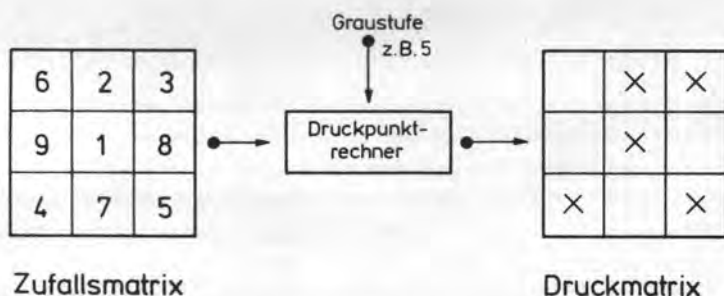


Abb. 2: Zufallszahlenmatrix und zugehörige Anordnung von beispielsweise fünf Druckpunkten (nach [1])

Aufgrund des vorliegenden Dichtesignals seien z.B. 5 Punkte in diesem Bildflächenelement zu drucken, 4 Punkte sollen farbfrei bleiben. Die gewünschte stochastische Verteilung ergibt sich, in Abb. 2 nun rechts, indem die Matrixplätze mit den Zahlen 1 bis 5 als Orte für die fünf Druckpunkte ausgewählt werden. Damit über der ganzen Bildfläche eine echt stochastische Verteilung der Druckpunkte entsteht, wird die Zufallszahlenmatrix von Bildflächenelement zu Bildflächenelement laufend verändert. Somit gelingt auch die gewünschte zufällige Verteilung der Druckpunkte (Abb. 3).

Zusammenfassend stellt man fest, daß der Bildaufbau des photographischen Bildes mit den bereits heute im Offsetprozeß verfügbaren Materialien und Geräten in den drei wesentlichen Punkten simuliert werden kann, nämlich in der Erzeugung von Farbwolken, in der lokalen Häufigkeit der Farbwolken entsprechend dem Dichtewert und in der stochastischen Verteilung der Farbwolken. Die beschriebene Bildaufbaumethode führt daher auch zu einem Bildeindruck, der dem Charakter der photographischen Bilder sehr viel näher kommt als der tradierte autotypische Bildaufbau.

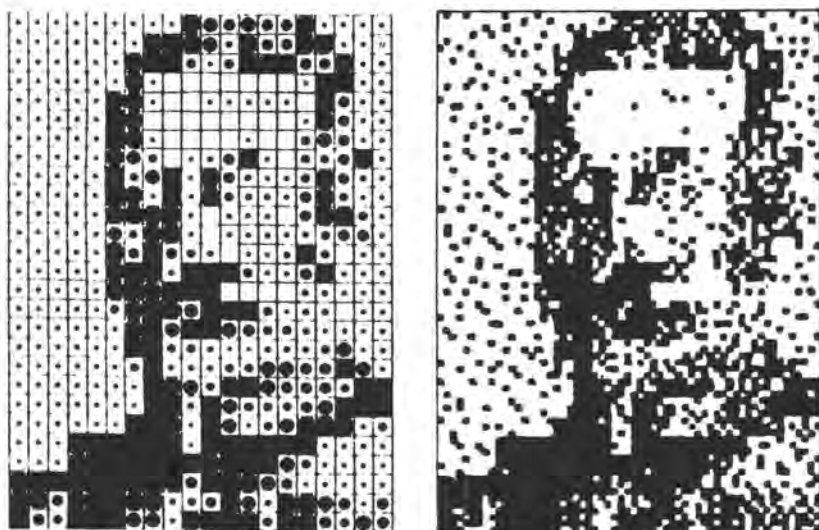


Abb. 3: Prinzipbild zum Unterschied zwischen amplitudenmoduliertem (links) und frequenzmoduliertem (rechts) Bildaufbau

3. Vergleich zwischen amplituden- und frequenzmoduliertem Bildaufbau

Abb. 4 zeigt den typischen Bildeindruck der beiden Bildaufbaumethoden. Infolge des feinen Rasters des autotypischen Bildes wird der unterschiedliche Bildaufbau erst bei starker Vergrößerung erkennbar (Abb. 5).

Im oberen Teil von Abb. 5 liegt ein autotypischer Bildaufbau vor. Der Abstand zwischen den Druckpunkten ist konstant, hier z.B. $125 \mu\text{m}$ entsprechend dem verwendeten Raster von 80 L/cm . Da der Abstand konstant ist, enthält er selbst keine Information. Er ist jedoch für die Detailauflösung des Druckbildes maßgeblich, da jeder Druckpunkt zugleich auch ein Bildpunkt ist. Die Tonwerte der einzelnen Bildpunkte, die ja den Bildinhalt repräsentieren, sind anhand der unterschiedlichen Durchmesser der Druckpunkte erkennbar. Die Information des Bildes ist durch die unterschiedlichen Bildpunktdurchmesser gegeben.

Das untere Bild zeigt die Umkehrung dieses Bildaufbauprinzipes. Die Durchmesser der Druckpunkte sind alle etwa gleich groß und deshalb informationsfrei. Sie sind nun jedoch für die Detailauflösung maßgeblich. Die verschiedenen Tonwerte entstehen hier durch die lokalen Häufigkeiten der Druckpunkte. Die Information des Bildes ist also durch den unterschiedlichen Punktabstand, d.h. durch die ortsabhängige Rasterfrequenz gegeben. Dieses

neuartige Bildaufbauprinzip ist daher ein Frequenz-Modulationsverfahren und unterscheidet sich ganz grundsätzlich vom konventionellen autotypischen Bildaufbau, der wegen seiner verschiedenen Punktdurchmesser als Amplituden-Modulations-Verfahren zu verstehen ist.

Entsprechend der jeweiligen Bildaufbaumethode ergeben sich für die Bildverarbeitung verschiedene Aufgabenstellungen. In der amplitudenmodulierten Bildverarbeitung sind die Positionen der Druckpunkte durch das Raster vorgegeben, so daß lediglich die Größe der Druckpunkte aus dem Dichtesignal zu bestimmen ist. Demgegenüber sind in der frequenzmodulierten Bildverarbeitung sowohl die Anzahl als auch die Positionen der Druckpunkte für jedes Bildflächenelement festzulegen. Die frequenzmodulierte Bildverarbeitung ist deshalb etwas aufwendiger als die amplitudenmodulierte. Der Mehraufwand ist jedoch auf den im Scanner automatisch ablaufenden Teil der Bildverarbeitung beschränkt. Der derzeitige Stand der Verfahrensentwicklung ist dadurch gekennzeichnet, daß ein gegebener Scanner und Recorder samt gegebenem Bildbearbeitungsplatz benutzt wurde, dem lediglich die für die frequenzmodulierte Bildverarbeitung notwendige Soft-Ware eingegeben wurde. Der Mehraufwand äußert sich z.Zt. deshalb im nicht praxisgerechten Zeitaufwand für die Bildverarbeitung. Es stellt sich somit die Aufgabe, eine Hard-Ware unter Einsatz der modernsten elektronischen Bauteile zu entwickeln, welche die Verarbeitungszeit auf ein praxisgerechtes Maß verkürzt. Angesichts der überzeugenden Vorteile, die eine erhebliche Qualitätssteigerung des gesamten Reproduktionsprozesses ermöglichen, ist der technologische Mehraufwand für den frequenzmodulierten Bildaufbau mit Sicherheit auch gerechtfertigt.

Anhand von Druckversuchen, die mit verschiedenen Druckmaschinen und auf unterschiedlichen Bedruckstoffen durchgeführt wurden, ist mittlerweile ein Vergleich zwischen dem Druckverhalten bei konventionellem autotypischem Bildaufbau und bei frequenzmoduliertem Bildaufbau möglich. Folgende Vorteile des frequenzmodulierten Bildaufbaues sind festzustellen:

1. Verbesserte Stabilität im Fortdruck.

In Abb. 6 sind über die Dichte bei etwa normaler Färbung ($D_{90} = 1,5$) die Dichteabweichungen aufgetragen, die sich bei Überfärbung ($D_{90} = 1,7$) und Unterfärbung ($D_{90} = 1,3$) ergeben haben.

Ganz offensichtlich ist die Streubreite beim autotypischen Bildaufbau viel größer, was zeigt, daß der frequenzmodulierte Bildaufbau zu einem stabilen Fortdruck führt. Dabei bleibt hier, wie der fast lineare Verlauf der Dichteabweichungen zeigt, der Charakter der Druckkennlinie weitgehend erhalten.

2. Deutlich verringerte Gefahr des Zulaufens.

Wenn der autotypische 50%-Ton durch erhebliches Überfärben zugelaufen ist, dann ist der 70%-Ton beim frequenzmodulierten Bild noch offen. Dies liegt daran, daß hier die Farb-Wasser-Verteilung auf der Druckplatte eine Feinverteilung aufweist, die mechanisch sehr stabil ist.

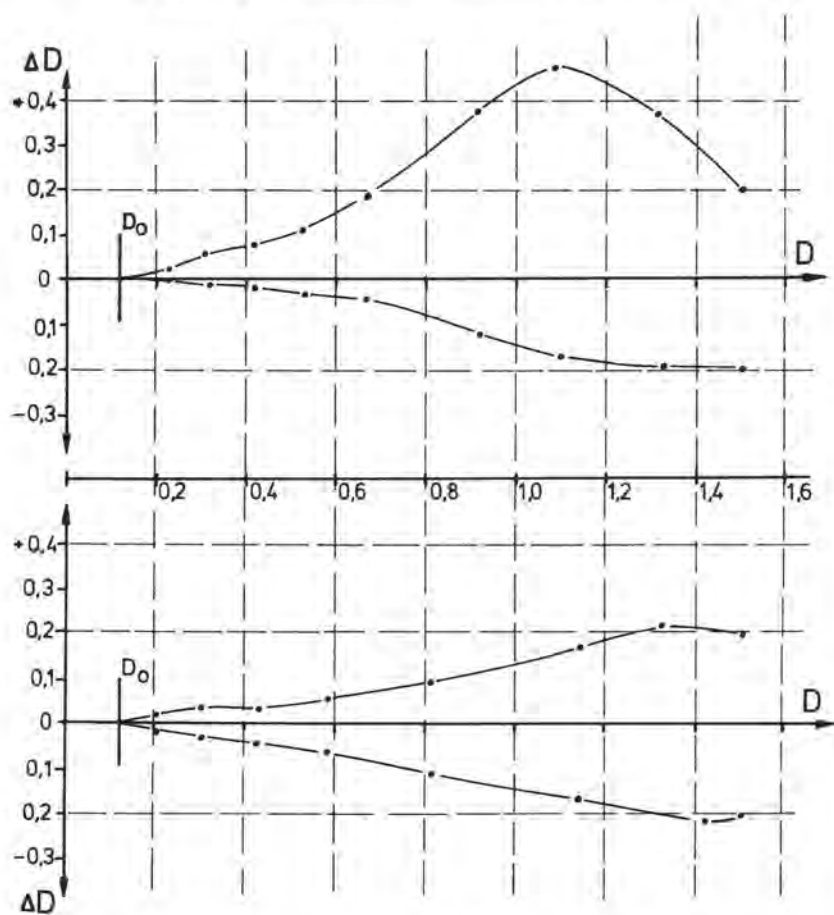


Abb. 6: Dichteabweichungen bei Über- und Unterfärbung
 Oben: autotypischer Bildaufbau
 Unten: frequenzmodulierter Bildaufbau

3. Größere Spannweite des Farb-Wasser-Gleichgewichtes.
 Auch hier wirkt sich die charakteristische feine und stabile Verteilung von Wasser und Druckfarbe günstig aus.
4. Erreichen der Bildtiefe eines autotypischen Vierfarbendruckes ohne Mitdruck von Schwarz.
 Die Abb. 4 zeigt dies deutlich, denn das Bild mit dem frequenzmodulierten Bildaufbau ist in der Tat ein reiner Dreifarbendruck.

In keinem der zahlreichen bisher durchgeführten Druckversuche sind Nachteile im Druckverhalten des frequenzmodulierten Bildaufbaus gegenüber dem des autotypischen aufgetreten.

Das Hauptargument zur Anwendung der Frequenzmodulation für den Bildaufbau im Offsetdruck scheint in der Möglichkeit des kontrastreichen reinen Dreifarbindruckes zu liegen. Abgesehen vom wirtschaftlichen Vorteil, der sich dabei abzeichnet, ergibt bereits die Abwesenheit der unbunten Farbe Schwarz reinere Farben. Hinzu kommt, daß auch im dreifarbigem Vergleich die Mischöne des frequenzmodulierten Druckbildes trotz Verwendung derselben Druckfarben bunter und reiner wirken als die des vergleichbaren Rasterdruckbildes (Abb. 7).

Beim Betrachten dieser Farbmuster aus etwas näherer Distanz stellt man leicht fest, daß im amplitudenmodulierten Druck zuerst im Mitteltonbereich die Rosetten zunächst nur wahrnehmbar, dann aber auch ohne Hilfsmittel erkennbar sind. Sie entstehen aufgrund der für die einzelnen Teilfarben gewählten Rasterfrequenzen und -winkel. Die Anordnung der Rosetten ist nicht ganz regelmäßig. Die Abstände zwischen ihnen betragen bei Abb. 7 im Mittel etwa $270\ \mu\text{m}$. Verkürzt man den Betrachtungsabstand noch weiter, so werden bei niedrigen Flächendeckungsgraden (links unten im oberen Teil von Abb. 7) sogar die einzelnen Rasterpunkte als »Unruhe« wahrnehmbar, bei gutem Sehvermögen sogar sichtbar. Sie sind, durch das Raster bedingt, streng regelmäßig angeordnet. Die Rasterfrequenz beträgt hierbei $60\ \text{L/cm}$, die Punktabstände somit $167\ \mu\text{m}$. Erst bei etwa demselben Beobachtungsabstand beginnt man nun auch im frequenzmodulierten Druck gewisse Ungleichmäßigkeiten zu empfinden. Mittels dieses einfachen Sehtests kann man bereits feststellen, daß die Leuchtdichtegleichmäßigkeit des frequenzmodulierten Druckbildes höher ist als im amplitudenmodulierten Rasterdruck. Der Unterschied läßt sich mittels einer Dichteprofilmessung auch quantitativ erfassen. Hierbei wird das Druckmuster in einem Mikroskop mittels einer kleinen Meßblende ($10\ \mu\text{m}\ \varnothing$) abgetastet, wobei die Dichtemessung entlang einer Meßstrecke ($2500\ \mu\text{m}$) in gleichabständigen Punkten erfolgt. Das Dichteprofil des frequenzmodulierten Druckes zeigt geringere Amplituden und höhere Frequenzen als das des autotypischen Rasterdruckes (Abb. 8).

Die hohe Leuchtdichtegleichmäßigkeit des frequenzmodulierten Druckbildes kommt durch drei Einflüsse zustande. Die geringe Größe der Druckpunkte führt zunächst zu einem farbwolkenähnlichen Ausdruck. Die Lichtstreuungen im Papier [2] bewirken sodann eine relativ gleichmäßige Unterstrahlung der Druckpunkte, so daß die Leuchtdichteunterschiede zwischen bedruckten und unbedruckten Stellen nicht so groß werden können. Schließlich sind die Punktabstände trotz ihrer stochastischen Verteilung meist deutlich kleiner als im amplitudenmodulierten Bild, so daß die einzelnen Punkte dichter benachbart und deshalb weniger gut auflösbar sind.

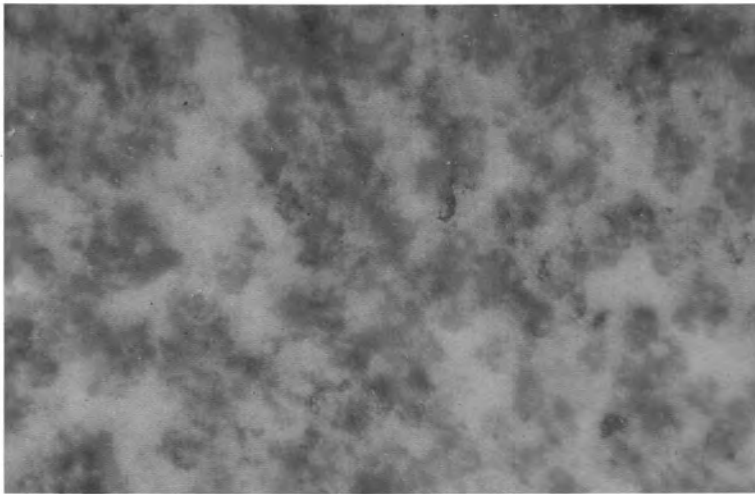
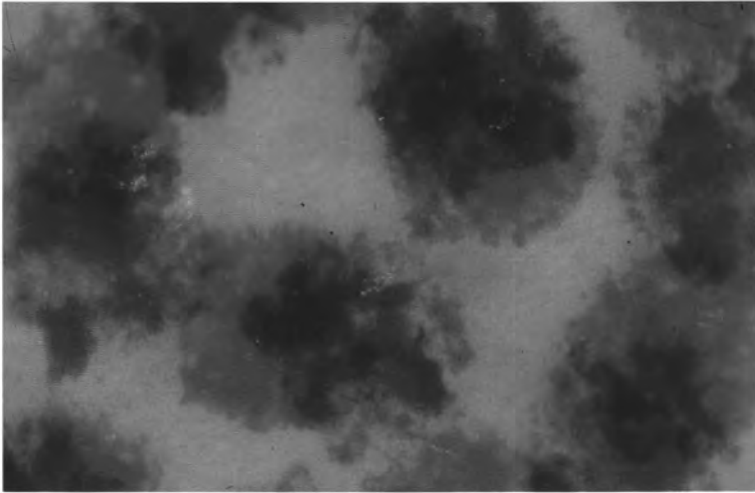


Abb. 1: Zum Ausdrucken der Druckpunkte von ca. $80\ \mu\text{m}$ (oben) bzw. $20\ \mu\text{m}$ Durchmesser (unten) auf gestrichenem Papier



Abb. 4 Linkes Bild: autotypischer Bildaufbau (80 L/cm)
Rechtes Bild: Frequenzmodulierter Bildaufbau (Druckpunktdurchmesser ca. 20 μm)

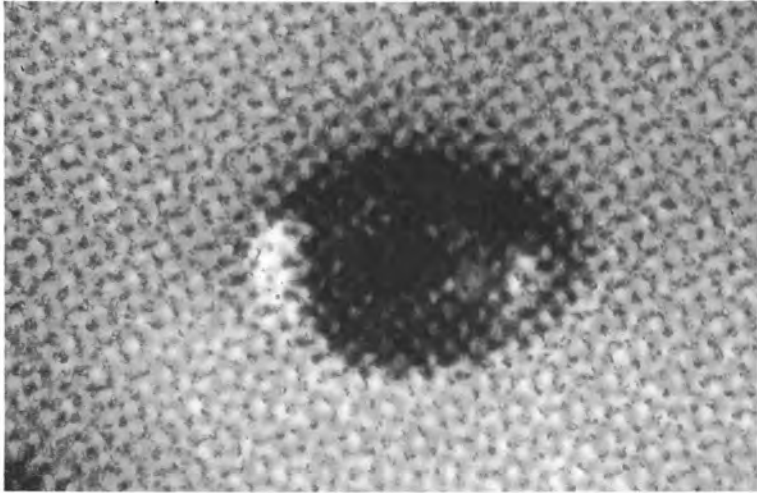


Abb. 5: Vergrößerte Ausschnitte aus den Bildern der Abb. 4
Oben: autotypischer Bildaufbau
Unten: frequenzmodulierter Bildaufbau

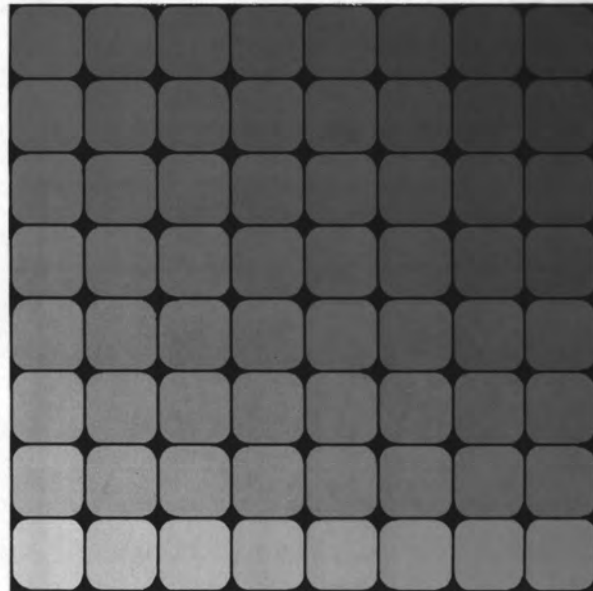
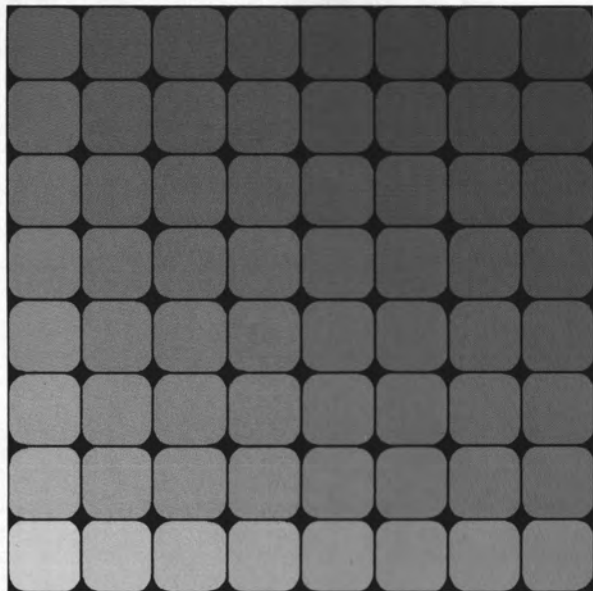


Abb. 7: Vergleich eines Farbtafelausschnittes im amplitudenmodulierten (links) und im frequenzmodulierten (rechts) Bildaufbau

Im Vergleich zum amplitudenmodulierten Druck wirkt das frequenzmodulierte Druckbild glatter und ruhiger. Da die Unterschiedsempfindlichkeit mit wachsender Leuchtdichtegleichmäßigkeit zunimmt [3], wird hiermit das Unterscheiden der Bilddetails erleichtert. Dadurch wird ein frequenzmoduliertes Bild, wie Abb. 4 zeigt, im Vergleich zu einem amplitudenmodulierten Bild als plastischer empfunden.

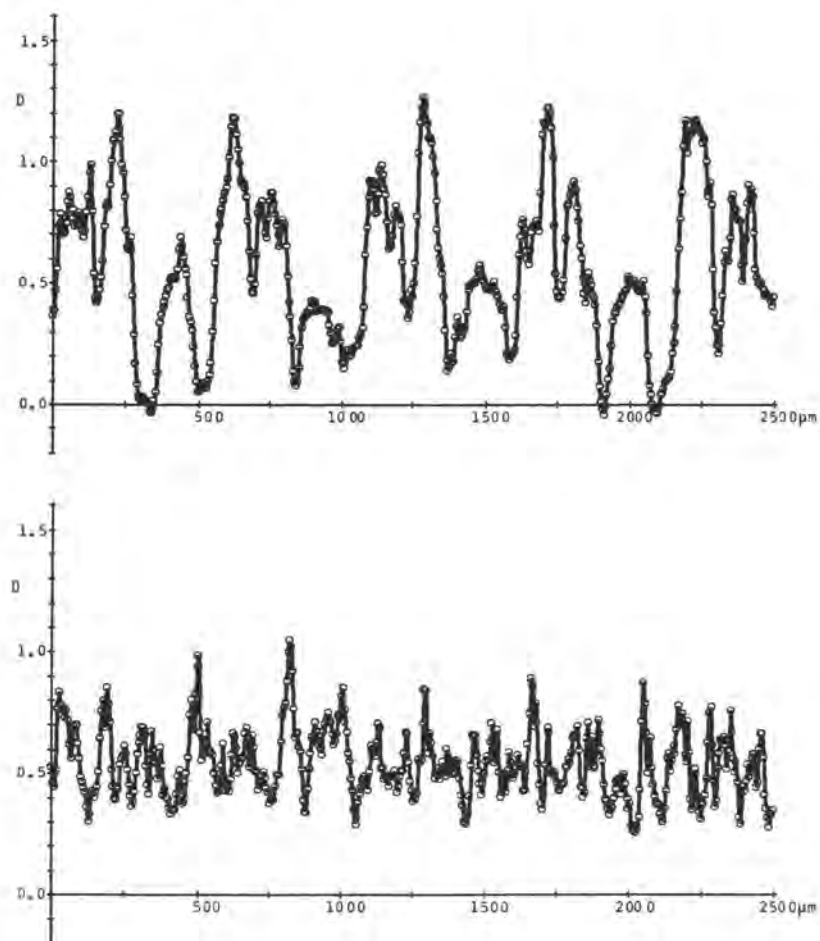


Abb. 8: Dichteprofil eines amplitudenmodulierten (oben) und eines frequenzmodulierten (unten) Tonwertfeldes mit den Flächendeckungsgraden
Cyan 40%, Magenta 50%, Gelb 50%

4. Zusammenfassung

Der Bildeindruck eines farbphotographischen Aufsichtsbildes kann im Offsetdruck mit guter Näherung erzielt werden. Zu diesem Zweck muß jedoch der Bildaufbau des Druckbildes auf denjenigen des photographischen Bildes abgestimmt sein. Durch den vorgestellten frequenzmodulierten Bildaufbau ist dies in den wesentlichen Grundzügen möglich, so daß stochastisch verteilte Farbwolken ausgedruckt werden, und zwar flächenbezogen um so mehr, je höher die optische Dichte ist.

Die bisherigen Druckversuche haben gezeigt, daß das Druckergebnis bei frequenzmoduliertem Bildaufbau gut reproduzierbar ist. Im Vergleich zum konventionellen autotypischen Rasterdruck ist es stabiler, weil es auf der Druckplatte zu einer Feinverteilung von Druckfarbe und Wasser führt, die mechanisch sehr stabil ist.

Die Farben eines frequenzmodulierten Druckbildes wirken trotz Verwendung derselben Druckfarben bunter und reiner als die eines vergleichbaren Rasterdruckbildes. Die Bildwiedergabe ist wesentlich kontrastreicher, so daß der Mitdruck von Schwarz überflüssig wird. Wegen der stochastischen Verteilung der Farbwolken kann kein Moiré entstehen, wodurch der Übereinanderdruck beliebig vieler Teilfarben problemlos möglich ist.

Die vorliegende Arbeit wurde durch die Firma *Dr.-Ing. Rudolf Hell GmbH, Kiel*, großzügig gefördert.

Literatur

- [1] FISCHER, G., und K.R. SCHEUTER, Verfahren zur Herstellung von Druckformen mittels unregelmäßig verteilter Druckpunkte. DP 29 31 098, Dr.-Ing. Rudolf Hell GmbH
- [2] FISCHER, G., J. RODRIGUEZ-GILES, und K. SCHEUTER, Ein physikalisches Modell für die Beschreibung von Lichtstreuprozessen. *Farbe* 30 (1982), S. 199—220
- [3] SCHÖBER, H., *Das Sehen*, Bd. 2. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1964, S. 225—270