

	Einfluss von Lichtstreuung und Lichtabsorption graphischer Papiere auf die Bildwiedergabe gedruckter Papiere	AiF-Nr. 12395 N
---	---	----------------------------

Zusammenfassung

Seit Jahrzehnten ist bekannt, dass das Drucken gerasterter Bildflächen von derselben Druckform auf verschiedenen Papieren zu unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich des reproduzierten Tonwertes bzw. der optischen Dichte der gedruckten Rasterfläche führt. Hierfür ist teilweise die Farbspreitung verantwortlich. Diesen Effekt bezeichnet man in der Literatur auch als mechanische Druckpunktvergrößerung, da er infolge mechanischer Einflüsse beim Drucken (z. B. durch den Anpressdruck der Druckwalzen) auftritt. Dazu addiert sich eine optische Punktvergrößerung, die auch unter den Begriffen Lichtfang- bzw. Yule-Nielsen-Effekt bekannt ist.

Ein unbedrucktes Papier wird einen Teil des auftreffenden Lichts an der Oberfläche reflektieren und einen Teil in das Papier eindringen lassen. Der eingedrungene Lichtanteil wird im Papier gestreut, zu einem Teil absorbiert, zu einem Teil an der Unterseite und zu einem Teil an der Oberseite wieder austreten. Der an der Oberseite wieder austretende Anteil wird in der Regel das Papier an einer anderen Stelle als am Eintrittsort verlassen. Bei partiell bedrucktem Papier (Rasterfläche) wird ein Teil der Austrittsorte mit Druckfarbe bedeckt sein, so dass an diesen Orten das Licht nicht aus dem Papier austreten kann, sondern „gefangen“ wird. In diesem Fall wird die von der Papieroberfläche zurückgestrahlte Lichtmenge kleiner sein, als aus den Flächenanteilen von Papier und Druckfarbe sowie deren einzelnen Reflexionsfaktoren im Idealfall zu erwarten wäre. Aufgrund der Streu- und Absorptionseigenschaften haben die Druckpunkte somit in ihrer unmittelbaren Umgebung einen niedrigeren Reflexionsfaktor als das unbedruckte Papier.

Aus der Sicht der Hersteller graphischer Papiere ist die Vorhersagbarkeit des Einflusses von Lichtstreuung und -absorption auf den Lichtfangeffekt und damit auf Qualitätskriterien im Rasterdruck wünschenswert, da durch den gezielten Einsatz von Stoffkomponenten, wie Zellstoff, Holzstoff, Deinkingstoff und Füllstoff, die optischen Eigenschaften des Papiers und damit die Qualität des Papiers als Träger optischer Informationen beeinflusst werden können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die eigentliche Ursache für den „Lichtfangeffekt“ gedruckter Rasterflächen die Ortsabhängigkeit der Lichtstreuung und Lichtabsorption im Papier ist. Diese lässt sich, ausgehend von der Kubelka-Munk-Theorie, durch Differenzierung von R_0 (Reflexionsfaktor eines Papiers über schwarzem Hintergrund) nach dr als Radius in der x-y-Papierebene berechnen und wird dann als Punktstreuungsfunktion $s(r)$ bezeichnet. Sie beschreibt die Verteilung des Lichts, das aus der Papierebene austritt, wenn es an einer Stelle punktförmig eintritt. Da sowohl die hierin enthaltenen Lichtstreu- (s) als auch Lichtabsorptionskoeffizienten (k) wellenlängenabhängig sind, trifft dies auch für die Punktstreuungsfunktion zu. Der hiermit beschriebene Lichtfang nimmt mit steigender Wellenlänge zu. Hohe s -, k -, R_0 - und Opazitäts-Werte wirken sich dagegen positiv in Form eines verringerten Lichtfangs aus. Untersuchungen an Laborblättern belegten, dass bezüglich der Halbstoffe DIP und Holzstoff Vorteile gegenüber Zellstoff aufweisen. Besonders durch Füllstoffeinsatz als Kreide und PCC sowie durch eine mäßige Satinage ist eine weitere Reduzierung des Yule-Nielsen-Effektes möglich.

Mit Hilfe einer auf das Papier projizierten Messerkante in einem Mikroskopphotometer war es durch Vermessung des Kantenverlaufs möglich, den Lichtfangeffekt experimentell zu bestimmen. Gemäß Abb. 117 ergibt sich durch Differenzierung des Kantenverlaufs die Linienstrefunktion, die nach einer Fouriertransformation Modulationsübertragungsfunktion heißt. Über eine Hankel-Transformation ist ebenfalls die auf Basis der Kubelka-Munk-Theorie ermittelte Punktstrefunktion im Frequenzbereich darstellbar.

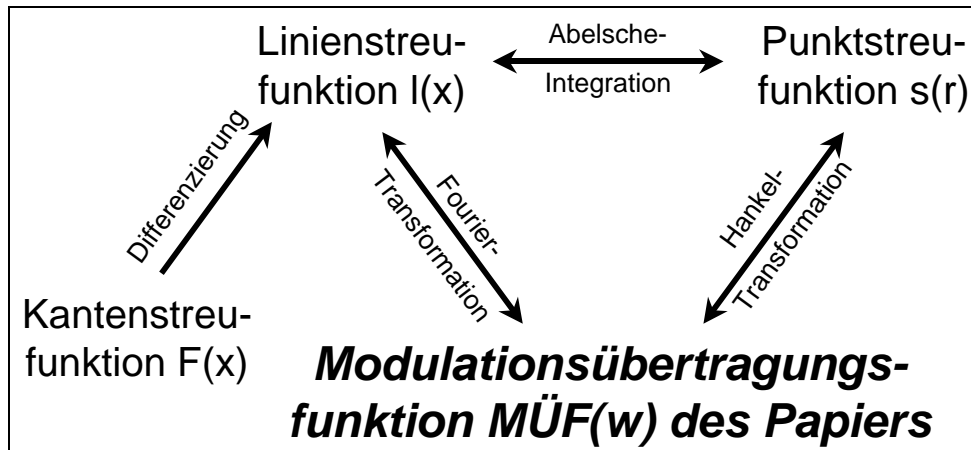


Abb. 117: Berechnung der Modulationsübertragungsfunktion

Ein Vergleich zwischen theoretisch aus der Punktstrefunktion ($MÜF_{PSF}$) und experimentell aus der Linienstrefunktion ($MÜF_{LSF}$) ermittelten Modulationsübertragungsfunktion zeigt, dass zwar beide Funktionen tendenziell zum gleichen Ergebnis führen, allerdings $MÜF_{PSF}$ den Lichtfangeffekt überbewertet, was auch durch die Auswertung von Linienrastern bestätigt werden konnte.

Auf einer Praxismaschine wurden hierzu auf 15 Offsetpapieren mittels einer speziellen Testform mit den Druckfarben Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz Volltonflächen, Halbtonflächen und Linienraster mit variierender Rasterfrequenz gedruckt. Die Linienraster waren für die Untersuchung in Längs- und Querrichtung mit Frequenzen von 3, 5, 7, 9, 11 und 17 Linien pro mm gedruckt worden. Die Flächendeckung der Reprovorlage betrug immer 50%. Für die Analyse wurden nur die in Laufrichtung des Papiers gedruckten Linienraster ausgewertet, indem man im Frequenzbereich die Wurzel aus dem Quotienten der Wechselleistung des Ausgangssignals (gedruckte Linienraster) durch die Wechselleistung des Eingangssignals (ideales Linienraster) bildete. Trägt man diese sogenannten Übertragungsfaktoren über der Rasterlinienfrequenz auf, so ergibt sich die Gesamt-Modulationsübertragungsfunktion ($MÜF_{Gesamt}$), die sowohl den mechanischen als auch den optischen Linienverbreiterungseffekt beschreibt. Aufgrund der Farbspreitung verschlechtert sich die $MÜF_{Gesamt}$ mit zunehmender Farbmenge. Sie zeigen allerdings bei den Drucken mit Cyan die höchsten Werte, während mit Magenta meist die schlechteste Druckqualität erzielt wird.

Mit Hilfe der Beziehung

$$MÜF_{Gesamt}(\square) = MÜF_{LSF}(\square) * MÜF_{Druck}(\square)$$

lässt sich die Linienverbreiterung durch Farbspreitung ($MÜF_{Druck}(\square)$) berechnen. Fast alle Modulationsübertragungsfunktionen des Drucks liegen bei Normalfärbung deutlich

unter den MUF_{LSF} . Diese Beobachtung lässt den Schluss zu, dass durch den Druckprozess und die damit verbundenen Linienverbreiterung eine stärkere Qualitätsminderung verbunden ist als durch den Lichtfang. Ferner nehmen Linienverbreiterung und Lichtfang aufgrund der größeren Umrandungsfläche der Linien mit steigender Rasterlinienfrequenz deutlich zu. Je weniger Farbe aufgebracht wird, desto geringer ist die Linienspreitung, weshalb die Modulationsübertragungsfunktionen der unterfärbten Drucke über denen der Normalfärbung liegen.

Die Summenwirkung von Lichtfangeffekt und mechanischer Linienverbreiterung lässt sich aus der Messung des Normfarbwertes Y an den gedruckten Linienrastern abschätzen. Da die Rasterlinien mit 50% Flächendeckung gedruckt wurden, hätte man hier idealer Weise einen Normfarbwert Y erwartet, der sich aus dem arithmetischen Mittelwert von Papier und Volltondruck ergibt. Tatsächlich findet man aber erhebliche Abweichungen, die mit zunehmender Linienfrequenz noch zunehmen. Bei drei Linien/mm ist der Y -Wert um 6 bis 17 Punkte bzw. 13 bis 26 Punkte bei fünf Linien/mm niedriger, als es ohne Lichtfang und Linienspreitung der Fall sein dürfte. Die geringsten Abweichungen haben die altpapierhaltigen Papiere, gefolgt von holzfrei weißen, während die holzhaltigen Offsetpapiere das Schlusslicht bilden. Da die Punktstreuung bzw. Linienstreuung nach etwa $10\mu\text{m}$ bei den untersuchten Offsetpapieren auf 50% abfällt, lässt sich unter der vereinfachten Annahme eines linearen Abfalls die „Verdunklung“ durch den Lichtfang abschätzen. Für die idealisierte Rechnung nehmen wir für den Normfarbwert Y des Papiers 100 und für die Druckfarbe 0 an. Damit hätte man bei einem idealen Druck 50% der Fläche durch die Rasterlinien bedeckt (Y -Wert = 0), 12% der Fläche hätten einen Y -Wert von 50 infolge Lichtfang (linearer Abfall auf $20\mu\text{m}$) und 38% der Papieroberfläche sollte den Y -Wert 100 haben. Daraus würde sich unter Addition der flächengewichteten Y ein Hellbezugswert von 44 errechnen und damit ein Helligkeitsverlust von absolut 6 Punkten. Da man real aber bis 15 Punkte niedrigere Y gemessen hat, ist ein Großteil der Verluste der Farbspreitung zuzuordnen.

Bei schwarz bedruckten Papieren verschiebt sich ferner mit zunehmender Rasterlinienanzahl / mm der Farbort Richtung schwarzer Volltonfläche. Berechnet man den Referenzpunkt, also den Farbort, der sich ergeben würde, falls 50% der Fläche als Volltonfläche bedruckt wäre, so ergibt sich ein Farbort in der Nähe des unbedruckten Papiers. Damit wird deutlich, dass mit zunehmender Rasterlinienfrequenz der Farbabstand zur Referenz zunimmt. Teilt man den Farbabstand in die Anteile auf, welche von a^* und b^* ($\Delta E(a^*b^*)$) und ΔL^* herrühren, so erhöhen sich beide Differenzen mit steigender Rasterlinienfrequenz. Während der Beitrag von a^* und b^* Werte bis 8 annehmen kann, reicht die Spanne bezüglich ΔL^* bis etwa 30.

Bei den farbigen Drucken zeigen sich ähnliche Zusammenhänge wie für die schwarze Druckfarbe. Die Farbortverschiebungen durch a^* und b^* erreichen nun Werte über 35, während Änderungen im L^* (gegenüber dem Referenzpunkt) niedriger ausfallen, besonders bei der Farbe Yellow.

Aus den Berechnungen werden die erheblichen Farbortverschiebungen gegenüber der Referenzfläche deutlich, die mit steigender Rasterlinienanzahl mehr oder weniger linear zunehmen.

Es ist leider nicht möglich zu unterscheiden, welcher Teil der Farbverschiebung vom Lichtfangeffekt und welcher von der Farbspreitung herrührt.

➤ Wünschen Sie weitere Informationen ?

Der vollständige Abschlussbericht kann per Fax (0228–2670568) oder E-Mail (E.Kloss@vdp-online.de) im Referat Forschungsförderung angefordert werden.

Ansprechpartner in der Forschungsstelle:

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel
[Fachgebiet Papierfabrikation und
Mechanische Verfahrenstechnik](#)
Technische Universität Darmstadt
Alexanderstraße 8
64283 Darmstadt

Tel.: 0 61 51/16-59 12
Fax: 0 61 51/16-24 54
E-Mail: schabel@papier.tu-darmstadt.de

Stand: November 2004