



CALLIER-Effekt und Sensitometrie

Wer zum ersten Mal ein Gigabitfilm-Negativ auf dem Leuchtpult sieht, fragt sich:

Warum sehen diese Negative weicher aus als die gewohnten Filmen?

Haben Sie dann das Negativ vergrößert, fragen sie sich:

Wieso habe ich mit normaler Gradation arbeiten können?

In der Anleitung wird erwähnt, daß *reale Meßwerte*, entsprechend der alltäglichen Praxis nur beim *realen Vergrößern*, nur mit einem Mikrodensitometer erhalten werden. Wer sich für fachlich Weiterführendes zum Thema Sensitometrie interessiert, sei auf den Beitrag zu den vier grundlegend verschiedenen Meßgeometrien hingewiesen.

In der photographischen Praxis wird mit Blendenwerten von $F=1:2.8$ bis $1:8$ vergrößert, dies entspricht einer Apertur (1) von 0.17 bis 0.06. Bei stärkerer Abblendung würde durch die Beugung die Bildschärfe leiden. In der Gigabitfilm-Anleitung können sie laut der Tabelle den jeweiligen Auflösungsverlust bei zunehmender Abblendung entnehmen. **Ebenfalls abhängig von der Apertur ist der CALLIER-Effekt.** Er gibt als **CALLIER-Quotient Q** den Faktor an, um den die Transmission durch ein Negativ mit entwickelten Silberkörnchen/-fädchen abnimmt (bei Farbfilmen und chromogenen S/W-Filmen für C-41 entfällt weitestgehend der CALLIER-Effekt), wenn bei diesem Prüfverfahren zur Erlangung eines verbindlichen Meßwertes die Lichtquelle von diffus leuchtend (Opalglasscheibe) zu einem Punktlicht wechselt.

Bei einem Punktlicht (dies hat eine Beleuchtungs-Apertur von ca. 0.02, was in etwa einer Blende von $F=1:32$ entspricht) tritt das Licht ideal senkrecht auf die Schicht mit den Silberkörnchen auf, dort wird es durch Beugung aus dem Strahlenverlauf abgelenkt. Da dieses Zerstreuen des Lichts über den gesamten Dichtebereich des Negativs mit einem in der Regel ziemlich konstanten Faktor erfolgt, so erhält ein Film ein um so steileres Gamma, je höher dieser Faktor wird. Einfacher ausgedrückt: Wird jeder Dichtewert, egal ob zwischen $D=0.01$ oder 2.5, mit demselben Faktor (dem CALLIER-Quotienten Q) multipliziert wird, so muß das daraus resultierende Gamma dementsprechend überproportional ansteigen. Dann sind zwar die Schatten stärker durchgezeichnet, „bezahlen“ man dann aber mit einem viel zu hohen Kontrast – das vergrößerte Bild fällt zu hart aus, die Gradation ist zu steil.

Von welchen Faktoren hängt der CALLIER- Effekt ab? Dies sind:

- Die Apertur der Beleuchtungsoptik: Q wird um so höher, je kleiner A ist.
- Die Apertur der Vergrößerungsoptik: Q wird um so höher, je kleiner A ist.
- Der Korndurchmesser und die Struktur der Silberkörnchen: Q wird um so höher, je größer das Korn wird.
- Die Wahl des Entwicklers
- Das entwickelte Gamma: Q wird um so höher, je höher das Gamma ist.
- Die jeweilige Dichte des Films: Q kann je nach Dichte variieren.

Übliche Halbtonfilme haben Q-Werte von etwa 1.5 bei feinkörnigen 14 DIN/ISO 20 Filmmaterialien bis hin zu Q-Werten von 2.2 bei grobkörnigen 30 DIN/ISO 800 Filmen. Ein Beispiel aus dem HENRY (2): Beim Panatomic-X war bei Entwicklung in D-76, Verdünnung 1+3, auf ein Gamma von 0.55 entwickelt, folgende angenäherten (einigermaßen lineare Werte über die gesamte Dichte) Q-Werte bei einer Vergrößerungsoptik bei Blende $F=1:8$ erreicht: bei diffusem Licht ein Q-Wert von 1.05 (Experten streiten sich darüber, ob dies nicht ein Projektionsfaktor sei), bei Kondensorlicht mit Opallampe ein Q-Wert von 1.26 und bei Punktlicht ein Q-Wert von 1.39.

Bei großen Lichtstärken der Abbildungsoptik, wie etwa in der Diaprojektion oder im Kino, ist die Abhängigkeit der Q-Werte vom Korndurchmesser und der jeweiligen Schwärzung nur gering, sie liegt, laut FRIESER (3), bei einem Q-Wert von 1.2-1.3.



Bei sehr kleinen Aperturen der Beleuchtungs- und der Meß- bzw. Vergrößerungsoptik bei Werten von $A=0.015$ (dies entspricht etwa Blende $F=1:32$) wird das Maximum einer möglichen Schwärzung erreicht. Bei höheren Aperturen ist der Q-Wert immer dann am höchsten, wenn die Apertur von Beleuchtungs- und Abbildungsoptik gleich sind.

Was ist in der realen photographischen Praxis vorhanden? Als Beleuchtungsoptik gibt es nur zwei Varianten: die diffuse Beleuchtung, in der Regel als Farbkopf für Kontrastwandelpapiere, und die Kondensorbeleuchtung mit Opallampe oder einer anderen diffusen Lichtquelle über dem Kondensor. Die Verbreitung von Punktlicht ist in der Praxis bedeutungslos.

Bei der Vergrößerungsoptik wird in der Regel mit Blende $F=1:4$ bis $1:8$ gearbeitet. Da also die Apertur der Abbildungsoptik im Bereich von $A=0.1$ bis 0.05 liegt, kann man eigentlich nur mit dieser Apertur auch die Dichtemessung (das bisher übliche Densitometer ist präzise, wenn sie mit dem gemessenen Negativ Kontaktkopien erstellen) vornehmen, denn beim Gigabitfilm liegt eine andere Art der Verteilung der Q-Werte über den Dichteverlauf als bisher vor. Der Q-Wert ist bei sehr geringen Dichten sehr hoch, bei geringen Dichten ab $D=0.4$ wieder normal für diese Korngröße, und wird dann wie üblich leicht abfallend zu den hohen Dichten. Selbst bei diffuser Beleuchtung mit Apertur 1.0 entsteht durch die Apertur der Abbildungsoptik bei $A=0.1$ und kleiner ein sehr hoher Q-Wert bei den sehr geringen Dichten, die Schatten werden optimal genutzt. Ferner erfolgt durch diese **Asymmetrie des Q-Wertes** über den Dichtebereich des Gigabitfilms, beim Wechsel von diffuser Beleuchtung zu Kondensorbeleuchtung, nur ein proportionaler Dichteanstieg, und nicht wie bisher ein überproportionaler Dichtezuwachs, der ein höheres Gamma bewirkt. Im Datenblatt wird erwähnt, daß reine Diffusor-Beleuchtung höheres Korn erzeugt, als durch einen Kondensor mit Opallicht (dies war bisher immer genau umgekehrt der Fall). Auch bleibt bei einem Wechsel der Vergrößerungsblende das Gamma mit einer höheren Konstanz bestehen, wohl müßte mit zunehmender Ablendung die Schattenzeichnung besser werden. Leider ging dies dann, zu stark ausgenutzt, nur auf Kosten der Auflösung, vielleicht ermöglicht eine Art Splitbelichtung eine besondere Bildwirkung.

Eine Anregung für Experten (4), folgendes zu prüfen:

Eigentlich macht für die photographische Praxis nur folgendes Sinn. Für die gesamte Farbsensitometrie ist der CALLIER-Quotient ohne große Bedeutung. Nur für den S/W-Bereich Halbton-Labor sollte als Densitometer die Variante des Mikrodensitometers eingesetzt werden, nicht mit einer Apertur von 0.02 , sondern mit 0.1 (auch variabel). Dies würde der Realität auch aller anderen herkömmlichen Filme entsprechen. Wenn Sie nämlich so vergrößern würden, wie Sie normalerweise ihre Dichte mit üblichen Densitometern messen, so müßten Vergrößerungsobjektive mit einer Arbeitsblende von mindestens $F=1:2$ benutzt werden.

Literaturhinweise und Anmerkungen

(1) In der Optik gibt man normalerweise statt einer relativen Öffnung die **numerische Apertur** an. Dies ist der halbe Öffnungswinkel als Sinuswert, multipliziert mit dem Brechungsindex des Raumes (der Wert für Luft liegt immer bei ca. 1.0) zwischen Gegenstand und Optik. Zwischen der numerischen Apertur, der wirksamen Objektivöffnung und der Brennweite besteht ungefähr folgende Beziehung: Vereinfacht ist die Apertur der Durchmesser der Objektivöffnung, geteilt durch die doppelte Brennweite.

(2) RICHARD J. HENRY, *Controls in Black - and - White Photography*, second Edition., Boston 1986, S. 72,

(3) HELLMUT FRIESER, *Photographic Information Recording*, London 1975, S. 27-30,

(4) MICHAEL NITSCHKE, *Staub aufgewirbelt – das Densitometer-Symposium der Iarigai in München*, in Der Polygraph 3-80, S.163 ff.

(5) Empfehlenswert: HOLLIS N. TODD, RICHARD D. ZAKIA, *Photographic Sensitometry*, Sec. Edit., New York 1981.

Die Meßgeometrie bei der Schwärzungsmessung von Durchsichtsvorlagen

Bei der Entwicklung von belichteten Schwarzweißfilmen entstehen Silberteilchen, sie stellen die Schwärzung dar. Nicht die Silbermenge, die in einer belichteten Schicht entwickelt wird, ist für die nachfolgende Verarbeitung wichtig, sondern ihre Eigenschaft das Licht zu absorbieren und zu streuen. Die streuenden Eigenschaften der Silberpartikel führen dazu, daß

1. die exakte Schwärzungsmessung außerordentlich erschwert wird
2. bei jeder Schwärzungsmessung angegeben werden muß, in welcher Meßgeometrie gemessen wurde und
3. die gefundenen Meßwerte der Schwärzung nur für jene Anwendungsfälle gelten, die die gleiche Beleuchtungsgeometrie aufweisen wie das Meßgerät.

Die Meßgeometrien lassen sich aufgrund folgender Überlegungen schematisieren: der zu messende Film kann beleuchtungsseitig *diffus* oder *gerichtet* angestrahlt werden. Auf der Registerseite kann eine lichtempfindliche Zelle das *gesamte diffus* aus der Schicht austretende Licht messen oder nur den in Richtung der optischen Achse *gerichteten* Anteil.

Daraus folgernd gibt es folglich vier grundsätzlich verschiedene Meßgeometrien (1) für die Schwärzungsmessung an Schwarzweißfilmen:

1. Parallel-parallel gemessene Schwärzung

Symbole: IISII

Auf die zu messende Schicht (streuend und transparent) wird ein schmales Lichtbündel gerichtet. Ein Anteil davon wird reflektiert und absorbiert. Der aus der Schicht austretende Lichtstrom ist wegen der streuenden Silberteilchen nicht mehr gerichtet wie der einfallende, sondern mehr oder minder diffus gestreut.

Auf der optischen Achse wird ein Empfänger in Form einer Ulbrichtschen Kugel mit kleiner Eintrittsöffnung weit von der Schicht aufgestellt, nur der parallel gerichtete Anteil des austretenden Lichtstroms kann in die Kugel eintreten und registriert werden. Diese Schwärzung nennt man parallel-parallel gemessen, da vom parallel/gerichtet einfallenden Lichtbündel nur der parallel/gerichtet austretende Anteil bestimmt wird. Wegen der Symmetrie von Registrier- und Beleuchtungseite ist sie in der englischen Literatur als *speculadensity* bekannt.

In der *praktischen Anwendung* entspricht die Mikrodensitometer-Messung von parallel-parallel gemessenen Schwärzungen IISII üblicher, klassischer Schwarzweißnegative, die einen über den gesamten Dichtebereich konstanten CALLIER-Quotient Q haben, dem Vergrößern mit dem gerichteten Licht einer Punktlichtquelle.

2. Parallel-diffus gemessene Schwärzung

Symbole: IISII

Bei gleicher Anordnung wie in 1. wird die Registrierzelle mit ihrer Eintrittsöffnung so nahe an die zu messende Schicht gebracht, daß der gesamte diffus austretende Lichtstrom mitregistriert wird. Die gleiche Filmprobe zeigt in dieser *parallel-diffusen* Meßanordnung kleinere Schwärzungen, weil mehr Licht in der Zelle registriert wird. Diese Meßgeometrie ist im Englischen unter *diffuse density* bekannt. Eine *praktische Anwendung* dieser Meßanordnungen findet man beim Kopieren in einem Kontaktkopiergerät mit Punktlichtquelle. Diese Meßgeometrie ist in vielen üblichen Schwärzungsmeßgeräten (Densitometern) verwirklicht.

3. Diffus-parallel gemessene Schwärzung

Symbole: IISII

In dieser Situation ist das auf die Probe einfallende Licht nicht gerichtet, das heißt, es fällt von allen Seiten her diffus ein. Man denke an ein gleichförmig strahlendes Opalglas, auf dem das Meßobjekt im Kontakt liegt. Sind wir mit der Registrierzelle wieder weit entfernt (wie unter 1.), so erhalten wir als diffus-parallele Schwärzung IISII den gleichen Zahlenwert wie für die parallel-diffuse Schwärzung. *Praktische Anwendung* findet diese Meßgeometrie in Vergrößerungsgeräten mit diffuser Beleuchtung der Negativebene.

4. Diffus-diffus gemessene Schwärzung

Symbole: $\#S\#$





Bei gleicher Anordnung wie unter 3. wird die lichtempfindliche Registrierzelle so nah an die Schicht gebracht, daß das gesamte diffus gestreute Licht gemessen werden kann. Diese *doppelt-diffuse* Anordnung (englisch double diffuse density) findet ihre praktisch Anwendung beim Kontaktkopieren eines Negativs über einer diffus strahlenden Opalglasscheibe.

Zusammenfassung: Ein und dieselbe gleichförmige Schwärzung eines Films kann je nach Meßgeometrie unterschiedliche Meßwerte ergeben. Dabei gilt immer:

$$\#S\# > \#S\#$$

Das heißt: Ein und dieselbe Filmprobe besitzt je nach Messung verschiedene Schwärzungen: Die parallel-parallel gemessene Schwärzung ist größer als die doppelt diffus oder die diffus-parallel bzw. diffus-parallel gemessene, die etwa gleich sind. Das Verhältnis zwischen doppelt-parallel gemessener und diffuser Schwärzung wird durch den *CALLIER-Quotienten* Q beschrieben:

$$Q = S_{II} : S_{\#}$$

Optische Anordnung	Meßgeometrie	Gerätebeispiel	Densitometertyp
 <p>Schwärzungsmessung im gerichteten Licht</p>	parallel - parallel $\#S\#$	Vergrößerungsgerät mit Punktlichtquelle und Kondensor	Mikrodensitometer Beleuchtungsapertur <0.04 Meßapertur <0.04
 <p>Schwärzungsmessung im zerstreuten Licht</p>	parallel - diffus $\#S\#$	Kontaktkopiergerät mit Punktlichtquelle	elektrische Densitometer Beleuchtungsapertur 1.0 Meßapertur <0.2
 <p>Schwärzungsmessung im zerstreuten Licht</p>	diffus - parallel $\#S\#$	Vergrößerungsgerät mit Diffusor (Opalglasscheibe)	optische Densitometer Beleuchtungsapertur >0.2 Meßapertur 1.0
 <p>Schwärzungsmessung im doppelt gestreuten Licht</p>	diffus - diffus oder doppelt diffus $\#S\#$	Kontaktkopiergerät mit Opalglasscheibe	Beleuchtungsapertur 1.0 Meßapertur 1.0

Literaturhinweis

(1) Die Darstellung folgt in Anlehnung an K. SEIDEL, F. TOMAMICHEL, *Die Grundlagen der Sensitometrie*, eine Serie in Der Polygraph 1973, S. 1065 ff., sowie von HELLMUT FRIESER, *Photographic Information Recording*, London 1975, S. 28-30 ff und lt. Index.