

**Thema: Eine einfache Methode der Sensitometrie mit Hilfe der Äquidensiten  
und ihre Anwendung insbesondere für Probleme der Doppelbelichtung**

Gutachter: Prof. Dr. Ernst LAU  
Prof. Dr. Johannes PICHT

1. Die Äquidensitometrie ermöglicht eine Messung der Schwärzung unter definierten und daher für alle Messungen einheitlichen geometrischen Bedingungen. Hierbei wird die Schwärzung mit einer Schwärzungsskala (Graukeil) und nicht über den Umweg eines logarithmischen Intensitätsverhältnisses (Photometrieren) gemessen.  
Die „doppeldiffuse Schwärzung“ wird als *N o r m a l* - Schwärzung definiert.
2. In der Dissertation wird eine Neufassung und eine den Untersuchungen der Arbeit Berechnung tragende Systematisierung sensitometrischer Grundbegriffe vorgenommen. Die Begriffe „Schwärzung“, „Schwärzungskurve“ und „Schwärzungsfläche“ werden einer Kritik unterzogen. Zusätzlich werden die Begriffe „Schwärzungspunkt“, „Schwärzungslinie“ und „Schwärzungsraum“ eingeführt.
3. Die bereits bekannten Methoden der Äquidensitometrie (E. LAU und W. KRUG, Die Äquidensitometrie, Akademie-Verlag Berlin 1957) werden ergänzt und erweitert. Alle photographischen Extremwerteffekte werden auf ihre Eignung zur Erzeugung von Äquidensiten (Äquidensitentransformation) geprüft. Neben den bereits bekannten SABATTIER-Äquidensiten und den Solarisationsäquidensiten wird vom Verfasser der CLAYDEN-Effekt zur Erzeugung von Äquidensiten angewandt. Diese CLAYDEN-Äquidensiten zeichnen sich gegenüber den (in der Praxis bisher fast ausschließlich angewendeten) SABATTIER-Äquidensiten durch gute Reproduzierbarkeit, stetigen Schwärzungsverlauf und großen Belichtungsumfang aus.  
Theoretische Überlegungen führten zu dem Ergebnis, daß das Intensitätsmaximum des Streulichtes bei Streulicht-Äquidensiten für eine gegen Null strebende Korngröße bei der Schwärzung  $S_m = lge$  liegt.
4. Mit Hilfe der Graukeilmethode nach R. LUTHER, E. GOLDBERG und F. WEIGERT (Ztschr. Wiss. Phot. 9(1911)230) wurden Schwärzungskurven bei Variation der verschiedenen Belichtungs-, Entwicklungs- und Verarbeitungsparameter gewonnen. Die Schwärzungskurven der photographischen Effekte, die in ihrer Mehrzahl auf Doppelbelichtungen beruhen, werden besonders ausführlich behandelt.  
Es wird gezeigt, dass alle vorstehenden sensitometrischen Meßaufgaben in einfacher und zuverlässiger Weise mit Hilfe der Äquidensitometrie gelöst werden können.
5. Die Wirkung der Doppelbelichtung läßt sich sehr vorteilhaft mit zweiparametrischen Schwärzungsflächen erfassen, da alle Variationskombinationen beider Belichtungen in der Schwärzungsfläche enthalten sind.  
Es werden eine Reihe von Verfahren zur Analyse zweiparametrischer Schwärzungsflächen angegeben, von denen hier besonders das stereoskopische Verfahren genannt sei, und

zwar wegen der damit erreichbaren guten Übersicht über komplizierte Schwärzungsverteilungen und der einfachen Meßmöglichkeit für die Schwärzung jedes Punktes der Fläche (Höhe des Schwärzungsreliefs).

6. An Hand einer großen Zahl von Beispielen für Schwärzungskurven und zweiparametrischen Schwärzungsflächen wird die besondere Eignung der Äquidensitometrie nach E. LAU und W. KRUG für die rationelle Beschaffung von empirischem Material zur Prüfung und Weiterentwicklung der Theorie des photographischen Prozesses aufgezeigt.

7. Die theoretische Deutung der in der Dissertation enthaltenen empirischen Ergebnisse geht von einer einheitlichen Grundkonzeption aus:

Es wird die Hypothese aufgestellt, daß sich der Aufbau von Keimen über eine Kette von Gleichgewichtsreaktionen vollziehe, deren Hinreaktionen durch die lichtelektrische Elektronenkonzentration und deren Rückreaktionen durch den unmittelbar auf die schon gebildeten Keime wirkenden Photoeffekt bestimmt werden. Die Auffassung von W.F. BERG und P.C. BURTON (Phot. J. 86B(1946)62; 88B(1948)13,84) über die Sub- und Vollkeime ist somit ein Bestandteil der hier vertretenen Theorie.

Mit einigen Vereinfachungen erhält man auf der Grundlage der oben angeführten Hypothese anstelle der SCHWARZSCHILD-Formel [Phot. Korr. 36(1899)109; Astrophys. J. 11(1900)117]

$$Et^p = \text{const}$$

( $E$  Intensität,  $t$  Zeit,  $p$  SCHWARZSCHILD-Exponent) eine allgemeinere Beziehung

$$(\sqrt{1 + \varepsilon E} - 1)t^{1 - \frac{1}{n}} = \text{const.}$$

[ $n$  - Keimordnung (Stufenzahl der Gleichgewichtskette),  $\varepsilon$  - von den Kristalleigenschaften des AgBr abhängige Empfindlichkeitskonstante], womit gleichzeitig der normale (Langzeitbelichtung) und der inverse (Kurzzeitbelichtung) SCHWARZSCHILD-Effekt erfaßt werden. Hiernach ist mit  $n > 1$  der SCHWARZSCHILD-Exponent  $p = 1 - \frac{1}{n} < 1$  für  $t \rightarrow \infty$  bzw.  $p = 2(1 - \frac{1}{n}) < 2$  für  $t \rightarrow 0$ . Die Keimordnung  $n$  muß aus Raumgründen mindestens  $n = 4$  für entwicklungsfähige Keime betragen, kann aber durch Auffüllung der ersten Stufen der Gleichgewichtskette (Sensibilisierung) für eine nachfolgende Belichtung effektiv verringert werden. Auf Grund der statistischen Verteilung verschieden sensibilisierter Silberbromidkristalle in der Emulsion können auch gebrochene effektive Keimordnungszahlen auftreten.

8. Auf der Grundlage des vorstehenden Gedankenganges wird eine analytische Darstellung der Schwärzungskurve angegeben. Das Argument der Funktion ist das SCHWARZSCHILD-Produkt  $Et^p$  [bzw. nach Punkt 7. allgemeiner:  $(\sqrt{1 + \varepsilon E} - 1)t^{1 - \frac{1}{n}}$ ] und nicht – wie in der bisher erschienenen Literatur – die Zahl der e i n z e l n e n auf das AgBr-Korn auftreffenden Lichtquanten, die als Zellenbesetzungszahl einer POISSON-Verteilung betrachtet wurde. Das Produkt  $Et^p$  beschreibt bereits das **Ergebnis** des photographischen Elementarprozesses in Gestalt der mittleren Zellenbesetzungszahl der gebildeten Entwicklungskeime in einer POISSON-Verteilung.

Mit Hilfe dieser analytischen Darstellung der  $\log E$ -Schwärzungskurve wird die Berechnung des  $\gamma$ -Wertes ( $\gamma = \frac{dS}{d \lg E}$  : Anstieg der  $\lg E$ -Schwärzungskurve) für verschiedene Schichtdicken durchgeführt.

Nach dem gleichen Schema werden auch die Schwärzungskurven des SABATTIER-Effektes, der Solarisation, der Doppelbelichtung sowie weiterer photographischer Effekte analytisch erfaßt.

9. Nach Punkt 7. läßt sich die Doppelbelichtung so berechnen, daß die Endbedingungen der Erstbelichtung (Verteilung der Keime auf die einzelnen Stufen der Gleichgewichtskette) als Anfangsbedingungen der Zweitbelichtung eingesetzt werden. Sind beide Belichtungen sehr unterschiedlich, so strebt das System bei der Zweitbelichtung einem solchen Gleichgewichtszustand zu, der sich sogar in einem Abbau von Keimen (CLAYDEN-Effekt, HERSCHEL-Effekt, VILLARD-Effekt u.a.) äußern kann.
10. In Anlehnung an Untersuchungen von J. EGGERS und H. FRIESER (Ztschr. wiss. Phot. 50II(1955)405) werden in umfassenderer Weise die (mit den Ergebnissen der vom Verfasser durchgeführten äquidensitometrischen Experimente in Einklang stehenden) Gesetzmäßigkeiten der Doppelbelichtung herausgearbeitet. Es wird eine für die Praxis (z.B. Filmtechnik, Überblendungsverfahren) einfache Methode zur Bestimmung der resultierenden Gesamtbelichtung bei Mehrfachbelichtungen angegeben, wonach sich die Intensität der Gesamtbelichtung durch eine geometrische Addition der Intensitäten der Einzelbelichtungen ermitteln läßt.

Anmerkung im Februar 2007:

Die Thesen zu der Dissertation des Doktoranden Ewald Gerth wurden nach den originalen Vorlagen wiedergegeben.