

Äquidensitometrische Bildtransformationen

Von Ewald Gerth und Horst Melcher in Potsdam (DDR)

1 Die Informationsübertragung bei der photographischen Abbildung

Von der photographischen Abbildung eines Gegenstandes erwartet man im allgemeinen eine möglichst originalgetreue Wiedergabe, die eine adäquate Vorstellung von dem abgebildeten Objekt vermittelt. Betrachtet man beispielsweise eine sogenannte „Photographie“ (exakte Terminologie: Photogramm) einer Person, etwa ein Porträt, so kommt man kaum auf den Gedanken, daß die Übereinstimmungen zwischen Original und Abbild nur begrenzt sind, daß sogar der relativ geringen Anzahl von Kongruenzen eine weit größere Anzahl von Inkongruenzen gegenübersteht.

Ein Abbild ist immer eine Abstraktion von der Wirklichkeit, deren vielfältige Erscheinungsformen – hier als „Informationen“ bezeichnet – in einem bei der Abbildung vonstattengehenden Informationsübertragungsprozess auf wenige, aber für die Betrachtung und Bewertung wesentliche Züge reduziert werden.

So greift beispielsweise der Zeichner aus der Fülle der Informationen die für die Erkennbarkeit des abzubildenden Gegenstandes wichtigsten Merkmale heraus: die räumliche Anordnung der Konturen und der Schattierungen.

Bei einer normalen photographischen Abbildung treten u. a. folgende Informationsreduktionen auf:

1. Die räumliche Anordnung wird in verändertem Maßstab auf einer Fläche wiedergegeben.
2. Die Struktur der Helligkeit und Farben wird in eine Halbtonstruktur umgesetzt.
3. Die Detailwiedergabe wird durch das Auflösungsvermögen von Photoapparat und Photomaterial begrenzt.

Die Informationsverluste nach 1. lassen sich bei Anwendung der Stereophotographie weitgehend aufheben. Doch allein schon die Abstraktion von der natürlichen Größe des abzubildenden Gegenstandes, von dem im allgemeinen ein vergrößertes oder verkleinertes Abbild erzeugt wird, kann viele Vorteile mit sich bringen, auf die man nicht verzichten möchte.

Die originalgetreue Wiedergabe der Farbe ist oft eine Bereicherung der Abbildung – besonders in ästhetischer Hinsicht. Bei der photographischen Wiedergabe technischer Gegenstände wird dagegen die Farbe mitunter als störendes Beiwerk empfunden. Selbst bei der künstlerischen Photographie verzichtet man in vielen Fällen bewusst auf die Farbe.

Die Wiedergabe der Helligkeiten des Originals wird bei einer photographischen Abbildung von der f -förmigen Gestalt der $\lg E$ -Schwärzungskurve (Darstellung der Schwärzung als Funktion des Logarithmus der Intensität E der Belichtung) beeinflusst. Nur im linearen Teil dieser Kurve kann die Verteilung der Leuchtstärke des Originals durch die Transparenz des Photogramms in der richtigen Abstufung wiedergegeben werden. Hierbei muß zusätzlich noch die GOLDBERG-Bedingung erfüllt sein, die besagt, daß das Produkt der Anstiegsfaktoren γ der Schwärzungskurven aller bei der Informationsübertragung (z. B. Negativ- und Positivprozess) verwendeten Photomaterialien gleich Eins sein muss.

¹⁾ Scanned from an original and reworked with the word processing programme LaTeX by E. Gerth in 2016

Die Wiedergabe von Strukturen des Originals durch photographische Schichten hängt von dem Auflösungsvermögen aller an der Informationsübertragung beteiligten Glieder der Übertragungskette ab. Hierzu gehören auch die Abbildungssysteme, z. B. die Optik der Aufnahmekamera. Die Wiedergabeeigenschaften jedes einzelnen Gliedes der Kette werden durch ihre Modulationsübertragungsfunktion [1, 2] beschrieben. Die Modulationsübertragungsfunktion der gesamten Übertragungskette ergibt sich als das Produkt der Modulationsübertragungsfunktionen aller Glieder.

Das Auflösungsvermögen der Photoschicht ist durch den Diffusionslichthof und die Körnigkeit begrenzt. Hierunter ist aber keine scharfe Grenze zu verstehen. Die Modulationsübertragungsfunktion der Photoschicht geht bei Raumfrequenzen, die in Ihrer Größenordnung dem Reziprokwert der Ausdehnung des Diffusionslichthofes und der Körnigkeit entsprechen, allmählich auf den Wert Null über (Abb. 1).

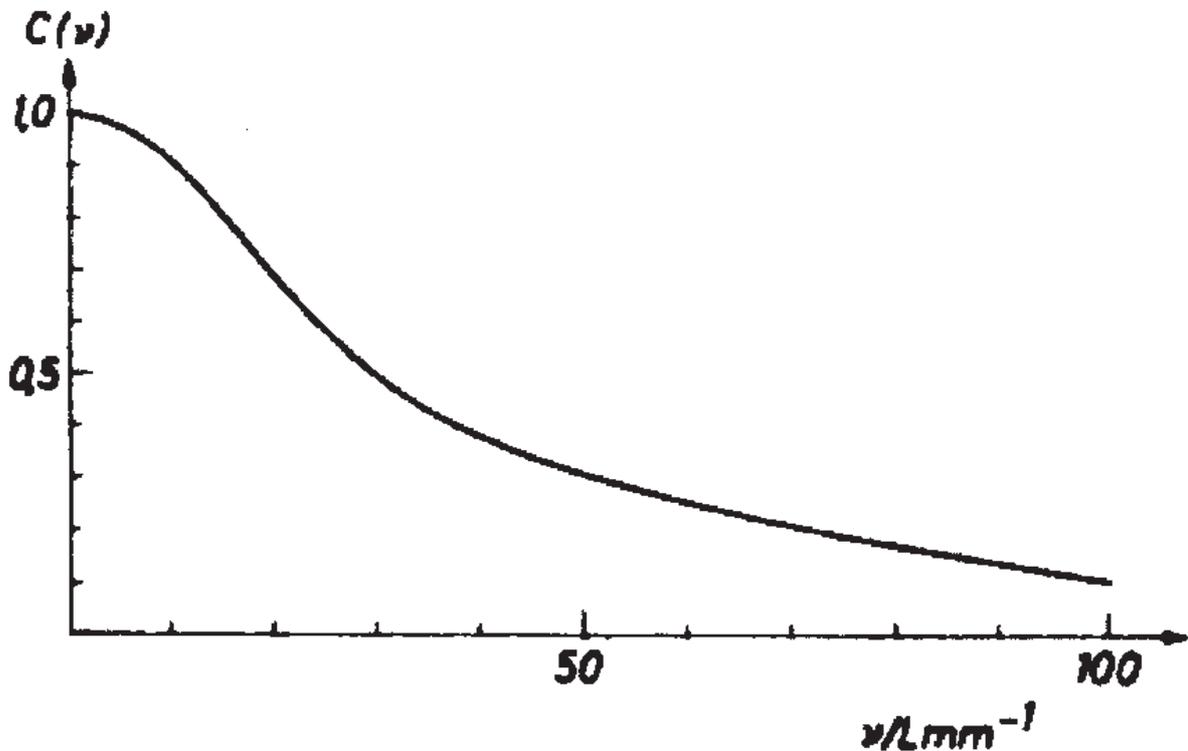


Abb. 1: Modulationsübertragungskurve des Photomaterials ORWO NP 10 (nach [2], S. 178). ν : Raumfrequenz, gemessen in Linien pro Millimeter. $C(r)$: Kontrastfunktion, als Wahrscheinlichkeitsgröße dimensionslos. Die experimentelle Bestimmung der Kurve erfolgte bei Licht der Wellenlänge $\lambda = 562 \text{ nm}$.²

2 Äquidensitometrische Informationsreduktion

In diesem Beitrag soll der Fall erörtert werden, daß aus der Fülle der Informationen des Originals durch einen photographischen Reduktionsprozeß nur die für die Auswertung wichtigen Informationen ausgesondert und damit von allem störenden Beiwerk befreit werden. Hierdurch wird für bestimmte Auswertungen eine größere Übersichtlichkeit in der Darstellung und eine Erhöhung der Meßgenauigkeit erreicht.

²Die Wiedergabe der Abbildungen in diesem Artikel weist Qualitätsmängel auf, da dem Mitverfasser E. Gerth für die Reproduktion (im Jahre 2017) nur eine Photokopie zur Verfügung stand.

Dies sei an dem Beispiel der Abb. 2 erläutert. Es soll der Kurvenverlauf der unscharfen Schwärzungsbegrenzung ermittelt werden. Durch mehrmaliges Umkopieren auf extrahartes Photomaterial greift man eine bestimmte Schwärzung aus dem Photogramm Abb. 2 heraus (Abb. 3), die als scharfe Begrenzung eines schwarzen Feldes wiedergegeben wird. Bei subjektiver Betrachtung scheint der Kurvenverlauf der Begrenzung in Abb. 3 anders zu sein als in Abb. 2. Die Ursache hierfür ist eine optische Täuschung des Auges, das gewohnt ist, Helligkeiten stets relativ zu der Umgebung zu bewerten. Bei „verwaschenen“ Photogrammen scheinen daher dunkle Ausläufer wesentlich weiter in helle Gebiete hineinzuragen (und umgekehrt), als dies in Wirklichkeit – wenn man von den durch das Umkopieren (Abb. 3) hervorgehobenen Kurven konstanter Schwärzung ausgeht – der Fall ist.

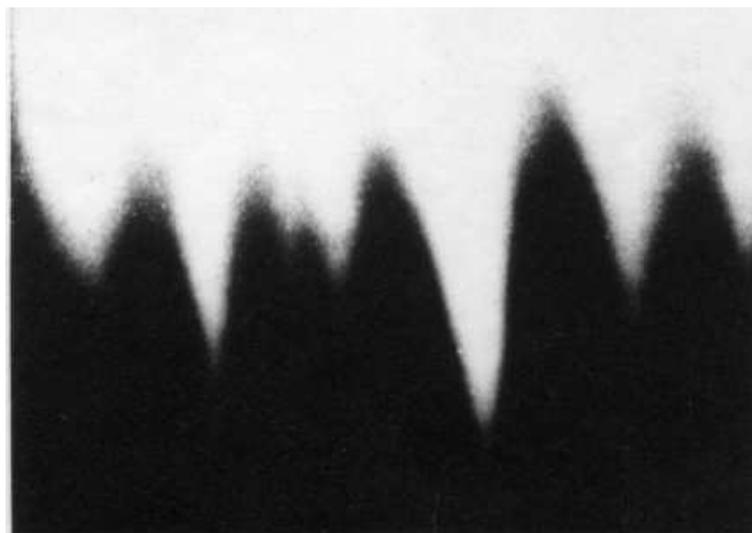


Abb. 2: Unschärfe Schwärzungsbegrenzung zur Demonstration der optischen Täuschung bei der visuellen Lokalisierung der Äquidensitenlage. Das spektrenähnliche Photogramm wurde durch Belichtung eines mit einem Graukeil überdeckten Photomaterials erzeugt, über das während der Belichtung eine Spaltblende mit ungleichmäßiger Geschwindigkeit bewegt wurde.



Abb. 3: Scharfe Schwärzungsbegrenzung nach mehrmaligem Umkopieren von Abb. 2 auf extrahartes Photomaterial

Der geometrische Ort einer konstanten Schwärzung in einem Photogramm wird nach LAU und KRUG [3] als „Äquidensite“ bezeichnet. Bildtransaktionsverfahren, die unter Umwertung des Informationsgehaltes eines Bildes dazu dienen, bestimmte Schwärzungen des Originalphotogramms (beispielsweise durch Kurvenzüge) hervorzuheben, heißen „Äquidensiten-transformationen“ [4]. Die Darstellung der Schwärzungsverteilung des Photogramms kann in entsprechender Weise durch Äquidensiten erfolgen wie die Darstellung der Höhenverteilung des Bodenreliefs durch die Isohypsen einer Landkarte. Solche „Äquidensitogramme“ können durch graphische, elektronische oder photographische Äquidensitentransformationen erhalten werden. Gegenstand der folgenden Darlegungen sind allein die photographischen Äquidensitentransformationen.

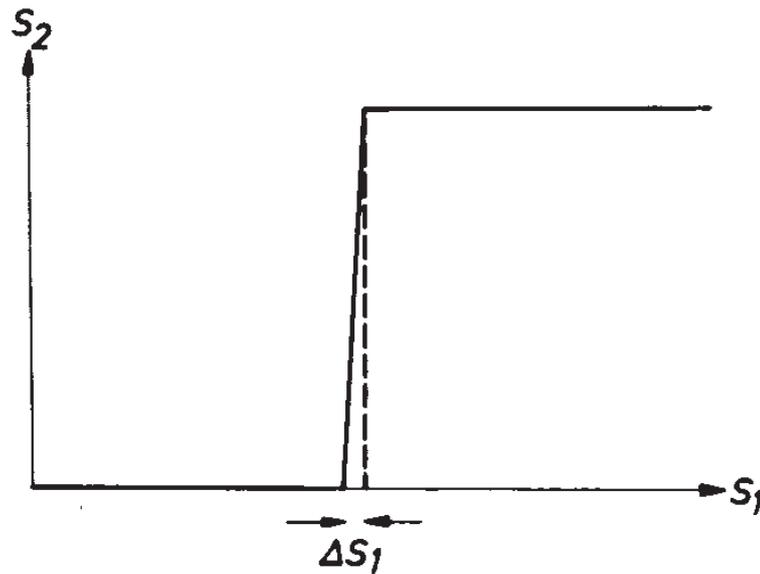


Abb. 4: Schematisiertes Profil eines Schwärzungssprunges.

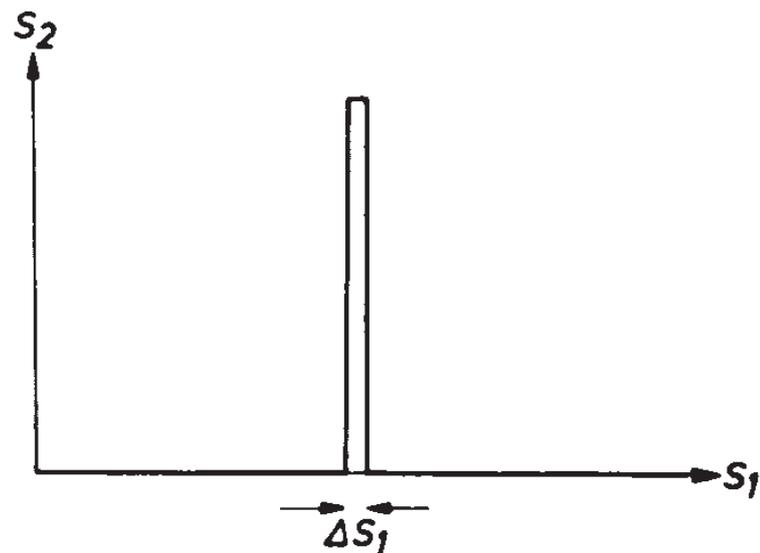


Abb. 5: Schematisiertes Profil einer Schwärzungsspitze (δ -Funktion).

3 Photographische Äquidensitentransformationen

Die Aufgabe einer Äquidensitentransformation besteht darin, von einem kontinuierlichen Schwärzungsverlauf alle Informationen bis auf die Ortszuordnung einer bestimmten Schwärzung zu eliminieren. Die Äquidensite des Photogramms hat dann das Profil einer Sprungfunktion nach Abb. 4 oder einer δ -Funktion nach Abb. 5.

S_1 bedeutet die Schwärzung des Originals und S_2 die Schwärzung des Äquidensitogramms. Bei einem negativen Sprung in Abb. 4 ergäbe sich anstelle der Schwärzungsspitze in Abb. 5 eine Einsenkung in einer ansonst konstanten Schwärzung.

Die δ -Funktion ist durch den Differentialquotienten der Sprungfunktion gegeben. Umgekehrt ist die Sprungfunktion das Integral der δ -Funktion. Es ist daher berechtigt, Äquidensiten, die durch einen Schwärzungssprung gekennzeichnet sind, als „integrale Äquidensiten“ zu bezeichnen. In entsprechender Weise sind dann die „differentiellen Äquidensiten“ durch ein Maximum oder Minimum der Schwärzung des Äquidensitogramms gekennzeichnet.

In der realen Photographie ist auf Grund des begrenzten Auflösungsvermögens der Photoschicht der Schwärzungssprung gemäß Abb. 4 nicht unendlich steil; daher besitzt das photographisch gewonnene δ -Profil stets eine endliche Breite, die in Abb. 5 durch eine Rechteckkurve angedeutet wird.

3.1 Kopier-Äquidensitentransformationen

Die Sprungfunktion im Schwärzungsverlauf wird auf photographischem Wege durch wiederholtes Umkopieren auf hartes Photomaterial (Anstieg der $\lg E$ -Schwärzungskurve $\gamma > 1$) erhalten.

Der Vorgang soll an Hand von Beispielen erläutert werden. Die Abb. 6 bis 10 wurden mit Hilfe der weiter unten beschriebenen äquidensitometrischen Bildtransformationsverfahren gewonnen und dienen damit gleichzeitig als Beleg für die Leistungsfähigkeit der Äquidensitometrie.

Zur sensitometrischen Erfassung von Schwärzungskurven benötigt man einen *Densitometergraukeil*.

Kopiert man einen kontinuierlichen Grauкеil mit linearem Schwärzungsverlauf (Abb. 6) auf ein Photomaterial, so ergibt sich die Schwärzungskurve (in spiegelbildlicher Darstellung) als eine „verwaschene“ Sprungfunktion (Abb. 7). Die Schwärzung des Grauкеils wird mit $S_{||}$ und die Schwärzung der ersten Kopie mit S_{\perp} bezeichnet.

Der Schwärzungsgradient der Kurve in Abb. 7 ist negativ. In Übereinstimmung hiermit wird die erste Umsetzung einer Helligkeits- oder Schwärzungsverteilung durch eine photographische Schicht „*Negativprozeß*“ genannt.

Wird die Negativschwärzung S_1 auf ein weiteres Photomaterial kopiert, so ergibt sich für S_2 ein positiver Schwärzungsgradient. Das Ergebnis eines derartigen Positivprozesses ist in Abb. 8 dargestellt. Der Flankenanstieg der Schwärzungskurve ist wegen des relativ großen γ -Wertes des Positivmaterials größer als in Abb. 7. Da in diesem Falle für die erste und die zweite Kopie die gleichen Materialien verwendet wurden, kann man den γ -Wert unmittelbar als Anstieg der Wendetangente aus Abb. 7 entnehmen. Der γ -Wert der zweiten Kopie ergibt sich nach der GOLDBERG-Regel als Quadrat der sensitometrischen γ -Werte.

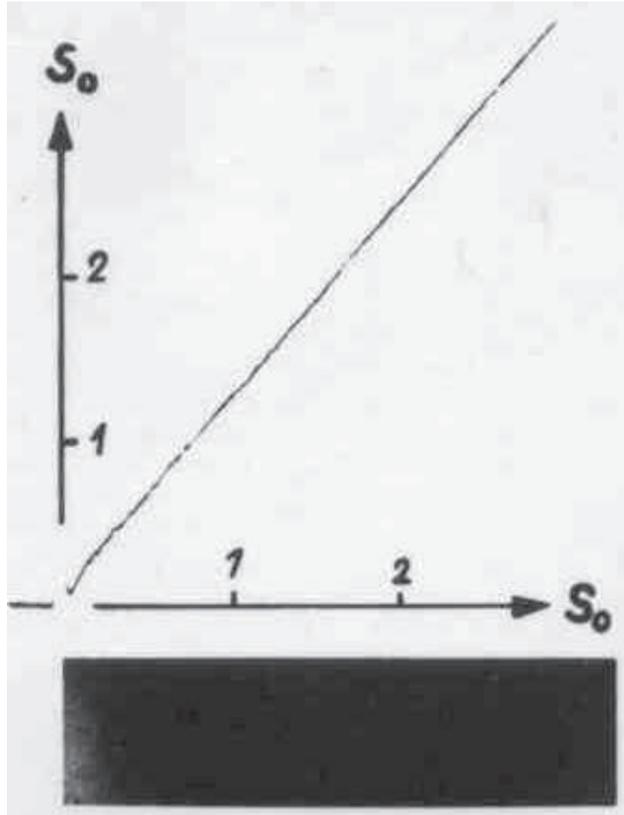


Abb. 6: Schwärzungsverlauf eines schwärzungslinearen Graukeils. Äquidensitometrische Darstellung mit Hilfe der Graukeilmethode nach [5] und [6]. Nennwert der Keilkonstanten der beiden überkreuzten Graukeile: $D = -0.602 \text{ cm}^{-1}$. Hieraus folgt: $S_0 = 1$ entspricht der Koordinatenlänge 1,663 cm. Die Abweichung des Anstiegs der Äquidensitenkurve von 45° weist auf einen Unterschied der Keilkonstanten der beiden Grauteile hin. Unten: Schwärzungsfläche des Graukeils.

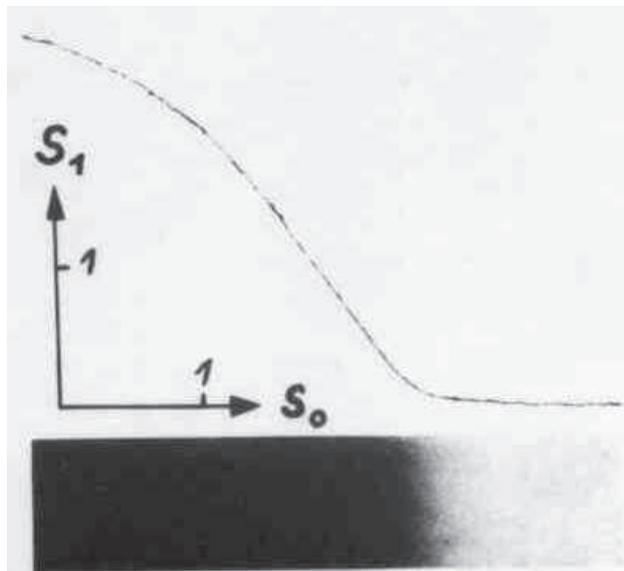


Abb. 7: $-\log E$ -Schwärzungskurve als „verwaschene“ Sprungfunktion. $S_{||}$: Schwärzung des Graukeils. S_{\perp} : Schwärzung der 1. Kopie. Koordinatenmaßstab wie in Abb. 6. Unten: Schwärzungsfläche des Photogramms der 1. Kopie. Material: ORWO FU 5. Blitzbelichtung (zur Erzeugung eines nicht zu steilen Anstiegs der Schwärzungskurve, der zur Demonstration des Verfahrens wegen der geringen Anzahl der Umkopierungen ungünstig wäre). RODINAL-Entwickler, Verdünnungsverhältnis 1:20

Bei jedem Kopiervorgang auf „hartes“ Photomaterial wird wegen der vergrößerten Flankensteilheit bei gleichbleibender Sättigungsschwärzung der Belichtungsbereich weiter eingengt. Dabei wechseln sich negative und positive Schwärzungsgradienten ab (Abb. 9 und 10). Die Serie der Umkopierungen wird beendet, wenn die Flankensteilheit genügend groß ist. Durch Anwendung photochemischer Verstärker kann die Anzahl der notwendigen Umkopierungen herabgesetzt werden.

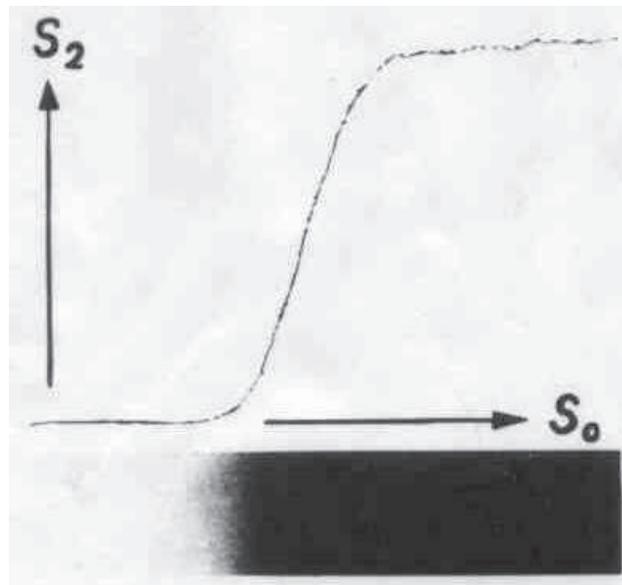


Abb. 8: Weitere Aufrichtung der verwaschenen Sprungkurve bei der 2. Kopie. Übrige Angaben entsprechend Abb. 7.

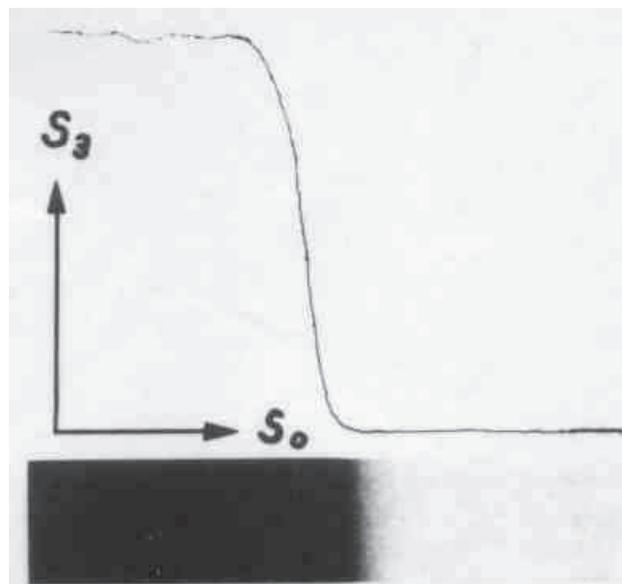


Abb. 9: 3. Kopie zu Abb. 6.

Die Lage des Sprunges in Abb. 10 hängt von der Größe der jeweiligen Kopierbelichtungen ab. Ein Schwärzungssprung in der Kopie kann sich nur an solchen Stellen ausbilden, die in der Kopievorlage einen von Null verschiedenen Schwärzungsgradienten besitzen.

3.2 Integrale und differentielle Äquidensiten

Der Übergang der Schwärzung an einer Schwärzungskante von einem Anfangs- zu einem Endwert entspricht dem Integral einer Streufunktion und kann näherungsweise durch das GAUßsche Fehlerintegral beschrieben werden. Wegen des f -förmigen Schwärzungskurvenprofils bezeichnet man eine durch eine Schwärzungskante dargestellte Äquidensite als „integrale Äquidensite“.

Die Begrenzung einer schwarzen Fläche durch eine integrale Äquidensite mit scharfem Schwärzungssprung reicht völlig aus, um eine Äquidensite des Photogramms zu lokalisieren. Die erforderliche Kantenschärfe der integralen Äquidensite wird durch Umkopierungen gemäß Abschnitt 3.1. erzielt. Die Gewinnung von Äquidensiten durch Kopiervorgänge wird daher als „Kopier-Äquidensitentransformation“ bezeichnet.

Will man aber ein Äquidensitogramm mit einer Äquidensitenschar herstellen, so wird eine weitere Äquidensitentransformation notwendig, durch die das Profil des Schwärzungssprunges „photographisch differenziert“ werden kann. Die Äquidensite erscheint dann dunkel abgesetzt auf beidseitig hellem Grunde (oder umgekehrt).

Man erreicht dies durch Aufeinanderlegen von Photogrammen benachbarter Stufen (Negativ und Positiv) einer Folge von Umkopierungen mit $\gamma > 1$. Dabei tritt nicht etwa, wie man zunächst annehmen könnte, eine Kompensation von Negativ- und Positivschwärzung ein, sondern es bildet sich ein Schwärzungsminimum aus (Abb. 11).

Die Breite des Äquidensitenprofils (z. B. Halbwertbreite) ist durch die Schwärzungsgradienten γ_i und γ_{i+1} der beiden übereinandergelagerten Photogramme gegeben, die sich zu dem resultierenden Schwärzungsgradienten γ_{pi} der positiven Äquidensitenflanke addieren. Aus Abb. 11 leitet man für die Breite Δn in Normalrichtung n der Äquidensite die Beziehung

$$\Delta n = \Delta S \left(\frac{1}{\gamma_{pi}} - \frac{1}{\gamma_i} \right) \quad (1)$$

ab. Darin ist ΔS die zu Δn gehörige Schwärzungstiefe der Äquidensite. Der Index i kennzeichnet die i -te Kopie der Folge von Umkopierungen.

Ersetzt man γ_i durch den Schwärzungsgradienten γ des Vorlagephotogramms und γ_{i+1} durch den sensitometrischen γ -Wert des zum Kopieren verwendeten Photomaterials γ_k , so folgt aus der GOLDBERG-Regel

$$\gamma_{i+1} = \gamma \gamma_k \quad (2)$$

und damit anstatt Gl. (1)

$$\Delta n = -\frac{\Delta S}{\gamma} \left(1 + \frac{1}{\gamma_k - 1} \right) \quad (3)$$

Bei Konstanthaltung des zum Kopieren verwendeten Photomaterials sowie der Belichtungs- und Verarbeitungsbedingungen ist die (Halbwerts-)Breite der Kopier-Äquidensite dem Schwärzungsgradienten der Photogrammvorlage umgekehrt proportional. Aus Gl. (3) läßt sich der Schwärzungsgradient der Photogrammvorlage als Differenzenquotient

$$\gamma = - \left(1 + \frac{1}{\gamma_k - 1} \right) \frac{\Delta S}{\Delta n} \quad (4)$$

bestimmen.

Diese Art der Äquidensiten, bei denen ein Extremwert der Schwärzung auftritt, kann man daher berechtigterweise als „differentielle Äquidensiten“ bezeichnen. Das Profil der differentiellen Äquidensite ergibt sich näherungsweise durch Differentiation des Profils der integralen Äquidensite. Der Grad der Übereinstimmung ist besonders gut, wenn der γ -Wert des zum Kopieren verwendeten Photomaterials etwa den Betrag 2 hat, da dann die differentiellen Äquidensiten ein symmetrisches Profil haben.

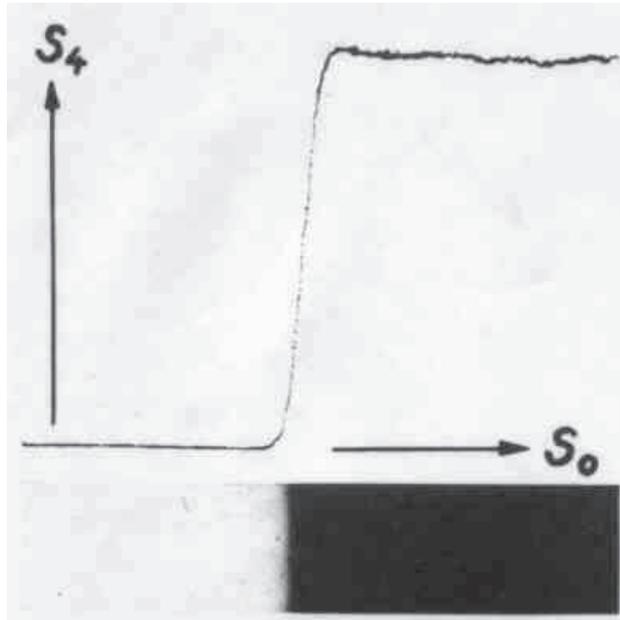


Abb. 10: 3. Kopie zu Abb. 6.

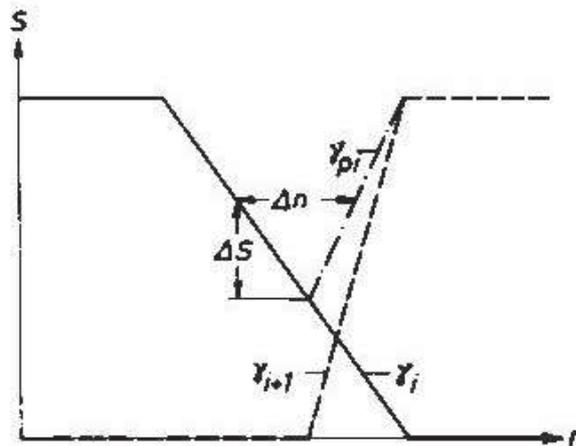


Abb. 11: Zum Zustandekommen des Profils einer differentiellen Äquidensite. Ausgezogene Kurve: Schwärzungsverlauf der i -ten Kopie einer Folge von Umkopierungen mit dem Schwärzungsgradienten γ_i ; ein Teil der Kurve ist gleichzeitig negative Flanke der differentiellen Äquidensite. Gestrichelte Kurve: Schwärzungsverlauf der $(i+1)$ -ten Kopie mit dem Schwärzungsgradienten γ_{i+1} . Strichpunktierte Kurve: Summe der Schwärzungsverläufe der i -ten und der $(i+1)$ -ten Kopie mit dem Schwärzungsgradienten γ_{pi} ; positive Flanke der differentiellen Äquidensite.

Diese Aussage folgt ebenfalls aus Abb. 11. Die negative Flanke des Äquidensitenprofils ist durch den Schwärzungsgradienten der Photogrammvorlage γ_i gegeben. Da der Anstieg der positiven Äquidensitenflanke sich additiv aus γ_i und γ_{i+1} zusammensetzt, gilt mit Gl. (2).

$$\gamma_{pi} = \gamma_i + \gamma_{i+1} = \gamma - \gamma_i \gamma_k = \gamma(1 - \gamma_k). \quad (5)$$

Für $\gamma_k = 2$ ist $\gamma_{pi} = -\gamma$, d. h., es ergibt sich allein in diesem Fall ein symmetrisches Äquidensitenprofil. Andererseits entnimmt man aus Gl. (9), daß sich nur ein Schwärzungsminimum ausbilden kann, wenn $\gamma_k > 1$ ist. Die positive Flanke mit dem Anstieg γ_{pi} wird um so steiler, je größer γ_k wird.

In der Praxis ist die Verwendung zweier Photoschichten, die nacheinander verarbeitet werden müssten, für differentielle Äquidensitentransformationen etwas umständlich.

3.3 Sabattier-Äquidensitentransformation

Von LAU und KRUG [3] wurde ein Verfahren angegeben, mit dem beide Schwärzungsgradienten auf einer Schicht vereinigt werden können. Prinzipiell sind hierzu alle photographischen Extremwert-Effekte geeignet [4]. Besondere Vorzüge weist aber in dieser Hinsicht der SABATTIER-Effekt auf. Der Sabattier-Effekt besteht darin, daß nach der Erstbelichtung und der darauffolgenden Entwicklung auf der Photoschicht eine Schwärzung entsteht, die bei der Zweitbelichtung auf die unteren Bereiche der gleichen Schicht kopiert wird. Außer diesem Kopier-Effekt tritt noch eine Desensibilisierung der Schicht in den Bereichen ein, in denen nach der Erstentwicklung Silber reduziert wurde.

Die Prozedur des Verfahrens zur Erzeugung von Sabattier-Äquidensiten ist folgende:

1. Aufbelichtung des Photogramms auf die als Äquidensitenträger dienende Photoschicht (möglichst hart arbeitendes Photomaterial)
2. Entwicklung der belichteten Photoschicht mit einem kontrastreich arbeitenden Kornoberflächenentwickler (Repro-, Röntgen-, Blautol-, Rodinal-Entwickler)
3. Zwischenwässerung (etwa 0,5 bis 1 min)
4. Zweitbelichtung: Das gesamte Photogramm wird von der Schichtseite her gleichmäßig belichtet. (Zur Vermeidung von Flüssigkeitsschlieren im Wasserbad belichten!)
5. Zweitentwicklung: Das Photogramm wird zum zweitenmal in den Entwickler nach 2. gelegt und dort ausentwickelt. 6. Die weitere Verarbeitung wird in üblicher Weise vorgenommen: Zwischenwässerung, Fixierung, Wässerung, Trocknung.

Abb. 12 zeigt eine (spiegelbildliche) $-\log E$ -Schwärzungsfläche, die durch Kopieren eines schwärzungslinearen Graukeils auf das verwendete Photomaterial erhalten wurde, und die dazugehörige $-\log E$ -Schwärzungsfläche und die $-\log E$ -Schwärzungskurve. In Abb. 13 sind in entsprechender Weise die $-\log E$ -Schwärzungsfläche und die $-\log E$ -Schwärzungskurve des SABATTIER-Effektes dargestellt. Die Schwärzungskurve gibt das Verteilungsprofil eines Schnittes durch die Schwärzungsfläche wieder.

Man kann die Schwärzungsfläche in Abb. 13 noch einer weiteren SABATTIER-Äquidensitentransformation unterwerfen und erhält dann Äquidensiten 2. Ordnung (Abb. 14). Dementsprechend ist die Äquidensite in Abb. 13 von 1. Ordnung. Durch Fortsetzung dieses Verfahrens kann man auch noch höhere Äquidensitenordnungen erzielen.

Bei jeder Sabattier-Äquidensitentransformation wird die Anzahl der Äquidensiten verdoppelt. Entsprechend der Gradation des verwendeten „harten“ Photomaterials ist mit jeder Umkopierung auch eine Vergrößerung des Schwärzungsgradienten der Äquidensitenflanken gegeben, d. h., die Äquidensiten werden schärfer. Kopiert man einen Eichgraukeil nach Abb. 12, 13 und 14 zugleich mit dem zu untersuchenden Photogramm, so kann man den einzelnen Äquidensiten der Schar bestimmte Schwärzungen zuordnen.

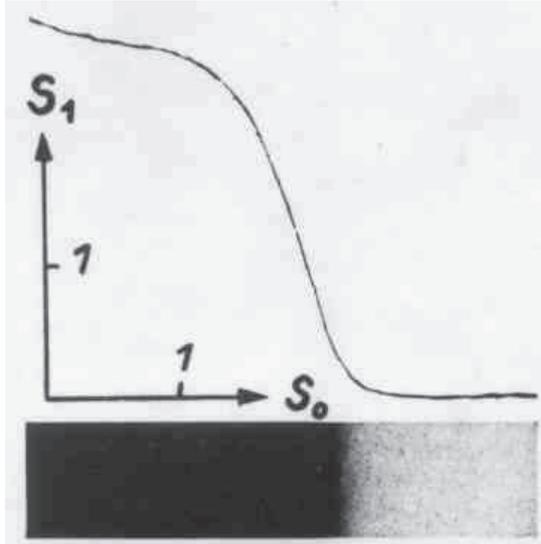


Abb. 12: $-\log E$ -Schwärzungsfläche mit zugehöriger Schwärzungskurve. Bezeichnungen und Koordinatenmaßstab wie bei Abb. 7. Im Unterschied zu Abb. 7 hier Exposition mit Licht einer Glühlampe. Belichtungszeit: 1 min; dadurch steilerer Anstieg der Schwärzungskurve.

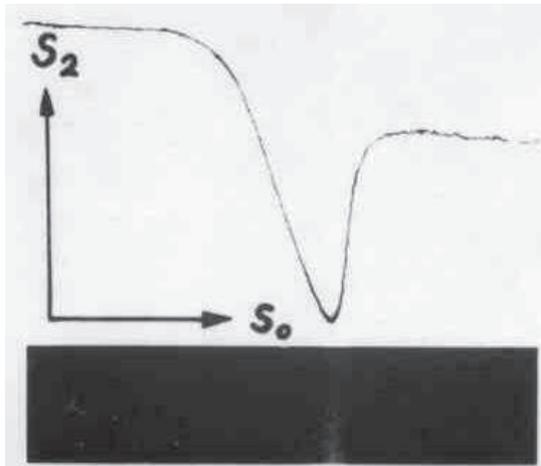


Abb. 13: Schwärzungsfläche und Schwärzungskurve einer Sabattler-Äquidensite 1. Ordnung.

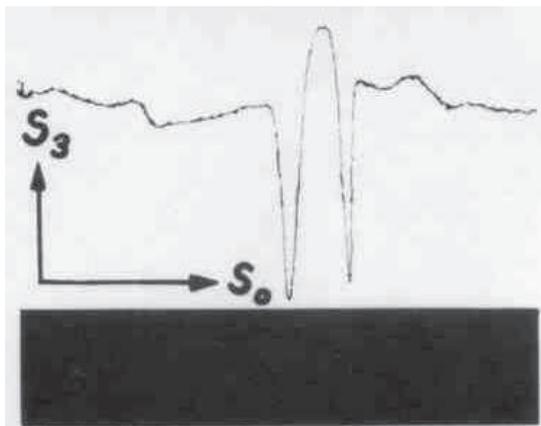


Abb. 14: Schwärzungsfläche und Schwärzungskurve von Sabattler-Äquidensiten 2. Ordnung.

Bei der SABATTIER-Äquidensitentransformation erfolgt eine Selbstkopierung innerhalb der Photoschicht. Hierfür gilt näherungsweise ebenfalls Gl. (5) mit $\gamma = \gamma_k$

$$\gamma_p = \gamma(1 - \gamma). \quad (6)$$

Die positive Flanke der SABATTIER-Äquidensite besitzt eine Steilheit, die mit zunehmender „Härte“ des Photomaterials sich dem Quadrat des γ -Wertes nähert. Man kann somit die positive Flanke der SABATTIER-Äquidensite dazu benutzen, die Anzahl der zur Erzeugung einer scharfen Äquidensite nach Abschnitt 1.2 erforderlichen Umkopierungen fast auf die Hälfte herabzusetzen, da eine SABATTIER-Äquidensitentransformation zwei Umkopierungen entspricht. Diese Aussage läßt sich an Hand von Abb. 13 gut überprüfen.

4 Anwendungen von Äquidensitentransformationen

4.1 Sensitometrie

Anwendungen der Äquidensitometrie in der Sensitometrie gehen bereits aus den Abbildungen 7 bis 10 und 12 bis 14 hervor.

Das Verfahren zur äquidensitometrischen Aufnahme von Schwärzungskurven wurde 1911 von LUTHER, GOLDBERG und WEIGERT [5] angegeben. Das Prinzip ist auch bei LAU und KRUG [3] sowie KRÖBER und GERTH [6] beschrieben.

Eine Variante der Sensitometrie ist die *photographische Dosimetrie*. Abb. 15 zeigt eine t -Schwärzungskurve, die durch Exposition von Röntgenfilm an Gamma-Strahlung gewonnen wurde. Die lineare Zeitvariation wurde durch den gleichmäßigen Transport des mit schwarzem Papier eingeschlagenen Films mit Hilfe des Uhrwerkes eines Thermographen erreicht, bei dem der Film allmählich hinter einem Bleiziegel hervorgezogen und damit der Strahlenwirkung ausgesetzt wurde.

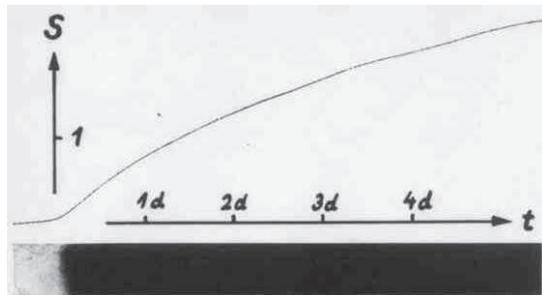


Abb. 15: t -Schwärzungsfläche mit zugehöriger Schwärzungskurve. Röntgenfilm, fünf Tage exponiert durch Gamma-Strahlung einer MCo-Quelle (500 mCi, M cm Abstand).

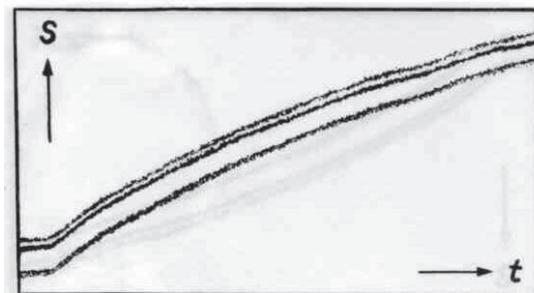


Abb. 16 Äquidensitentransformation 3. Ordnung der in Abb. 15 gezeigten t -Schwärzungsfläche ohne Verwendung einer Opalglasscheibe zur Diffusion des Lichtes, wobei die Körnigkeit der Emulsion in Erscheinung tritt.

Die Körnigkeit des Röntgenfilms kann man bei der ersten Umkopierung durch eine unscharfe Abbildung (Dazwischenlegen einer Opalscheibe) ausgleichen. Wendet man nach weiteren Umkopierungen auf extrahartes Photomaterial den SABATTIER-Effekt an und stellt davon ein Positiv her, so erhält man eine glatte Kurve gemäß Abb. 15.

Abb. 16 zeigt die gleiche Kurve als Schar von Äquidensiten 3. Ordnung. Bei der ersten SABATTIER-Äquidensitentransformation wurde scharf umkopiert. Wegen der hervortretenden Körnigkeit des Röntgenfilms ist keine größere Auflösung durch die folgenden Äquidensitentransformationen zu erwarten.

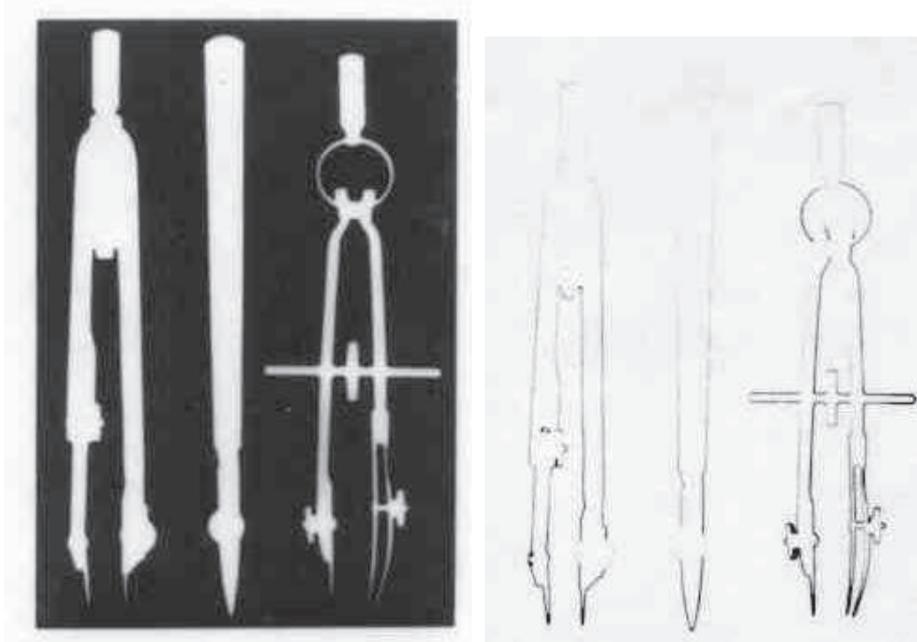


Abb. 17: Photographische Aufnahme einer Schattenprojektion von Gegenständen.

Abb. 18 SABATTIER-Äquidensitentransformation³ (Positiv) zu Abb. 17.

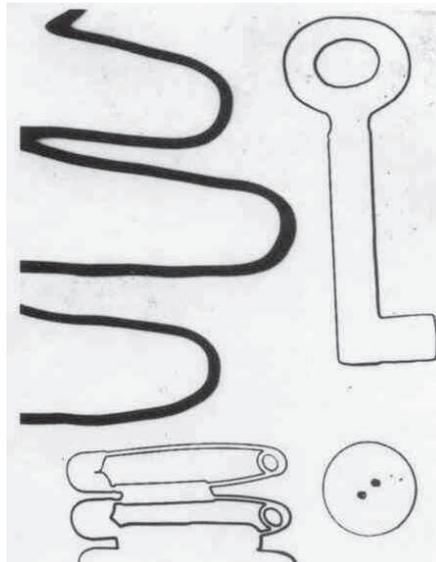


Abb. 19: Die Breite der Äquidensiten wird durch die Konturenschärfe der Schattenprojektion bestimmt.

³Anmerkung des Mitverfassers E. GERTH im Jahre 2017: In der Wiedergabe der Abbildung der zum Scannen verwendeten, einzig noch vorhandenen Photokopie sind in mehr als 50 Jahren Verwaschungen und Ausbleichungen aufgetreten. Das ohne Retusche wiedergegebene Äquidensitogramm dürfte dennoch instruktiv sein.



Abb. 20: Photographische Aufnahme des Chinesischen Teehauses im Park von Sanssouci in Potsdam (vor der Renovierung im Jahre 1961). Aufnahme: Bildstelle der Pädagogischen Hochschule Potsdam.



Abb. 11: Sabattier-Äquidensitentransformation, 1.Ordnung zu Abb. 20.



Abb. 22: Vier Sabattier-Äquidensitogramme zu Abb. 20, übereinanderkopiert. Die Linien gleicher Schwärzung haben äquidistante Schwärzungsabstände. Dies wurde durch geometrische Progression der Belichtungszeiten bei dem 1. Kopiergang erreicht.

Die beiden unteren Äquidensiten der Abb. 16 gehen sogar schon ineinander über. Die Äquidensiten der Schar sind parallel in Ordinatenrichtung versetzt.

4.2 Graphik

Äquidensiten sind gut geeignet, um von Gegenständen scharfe und saubere Kontur-Darstellungen zu gewinnen.

Abb. 17 zeigt die Schattenprojektion von Gegenständen und Abb. 18 die Kopie dieses Photogramms nach einer SABATTIER-Äquidensitentransformation.

Die Abbildungsschärfe bestimmt die Breite der Kontur (Abb. 19). Durch mehrmaliges Umkopieren des durch die Schattenprojektion gewonnenen Photogramms auf hartes Photomaterial läßt sich die Konturschärfe bis zu der durch das Auflösungsvermögen der Schicht gegebenen Grenze steigern.

4.3 Analyse von Schwärzungsverteilungen

Äquidensitentransformationen lassen sich auf jedes beliebige Photogramm anwenden. Als Beispiel sei eine gegenständliche photographische Aufnahme (Abb. 20) angeführt, die einer Sabattier-Äquidensitentransformation unterworfen wurde (Abb. 21). Abb. 22 ist eine Kombination einer ganzen Serie von Sabattier-Äquidensiten zu einem Photogramm (Abb. 20).

Ein Vorteil der Äquidensitometrie wird hier besonders augenfällig: Linien und Flächen gleicher Schwärzung sind durch die Anwendung des photographischen Verfahrens der Äquidensitengewinnung wesentlich besser zu erfassen als durch Ausphotometrieren. Schwärzungen $S > 3$, die mit photometrischen Hilfsmitteln schwer meßbar sind, können äquidensitometrisch mit der gleichen Genauigkeit wie niedrige Schwärzungen erfaßt werden.

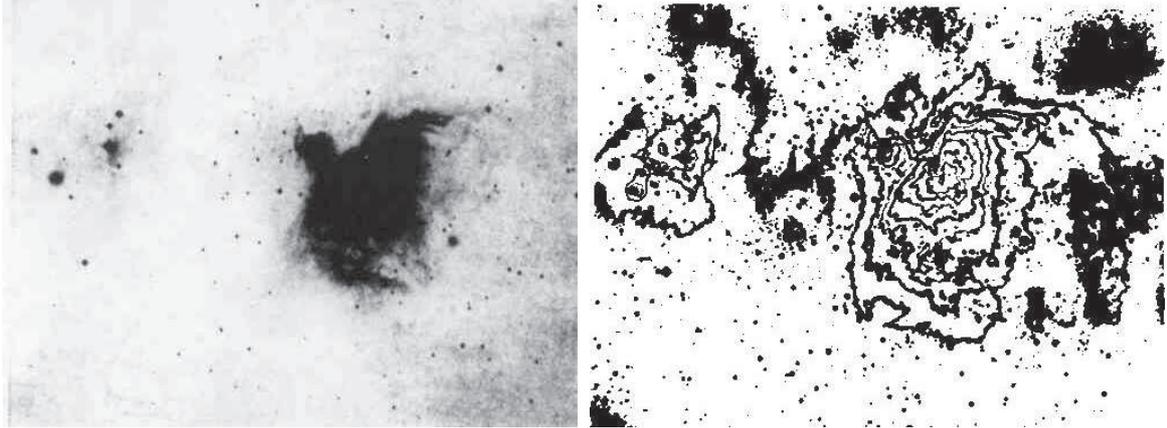


Abb. 23: Photographische Aufnahme des Orionnebels (Negativ).

Aufnahme: Astrophysikalisches Observatorium Potsdam.

Abb. 24: Zehn Sabattier-Äquidensitogramme zu Abb. 23, übereinanderkopiert.

Gleiche Schwärzungsabstände der einzelnen Äquidensiten entsprechend Angaben zu Abb. 22.

Analogie: Zehn Höhenlinien (Isohypsen) eines Bodenreliefs.

Von großem Nutzen kann die Äquidensitometrie bei der Untersuchung von flächenhaften Häufigkeitsverteilungen sein, die sich photographisch darstellen lassen. So wird z. B. die photometrische Auswertung bestimmter astrophysikalischer Objekte durch die Anwendung der Äquidensitometrie (Abb. 23 und 24) wesentlich erleichtert.

5 Schlußwort

Diese Beispiele mögen genügen, um einen Einblick in die Anwendung der Äquidensitometrie zu vermitteln. Eine vollständige Erfassung dieses sich ständig ausweitenden Gebietes ist selbst in umfassenden Spezialwerken nicht erreicht worden.

Die Verfasser sehen ihre Aufgabe für erfüllt an, wenn es gelungen ist, Anregung zur Beschäftigung mit der noch wenig bekannten – und doch bezüglich der Aufwendungen so anspruchsvollen – Äquidensitometrie zu geben, um damit die noch immer spürbaren Kenntnislücken auf dem für die wissenschaftliche Forschung so unentbehrlichen Gebiet der Photographie schließen zu helfen. Am Beispiel der Informationsreduktion durch photographische Bildtransformationen läßt sich ein bewährtes Analyse-Prinzip der Wissenschaft demonstrieren, das über den Rahmen der Physik hinaus Gültigkeit besitzt: „Weniger“ ist oft „mehr“, wenn das Wenige auf eine neue Qualitätsstufe der Aussage gehoben ist.

Literatur:

- [1] Perrin, F. H.: JSMPTE **69** (1960) 339.
- [2] Reuther, R., und J. Rudolph: Z. wiss. Phot. **59** (1965) 174.
- [3] Lau, E. und W. Krug: Die Äquidensitometrie, Akademie-Verlag, Berlin 1957.
Ferner: Equidensitometry, The Focal Press, London and New York 1968.
- [4] Gerth, E.: Z. wiss. Phot. **62** (1968) 65-94
- [5] Luther, R., E. Goldberg und F. Weigert: Z. wiss. Phot. **9** (1911) 323.
- [6] Kröber, K., und E. Gerth: Bild und Ton **17** (1964) 98