



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der Schattenkonstruktion und Beleuchtungskunde

Göller, Adolf

Stuttgart, 1895

Art. 118. Schattierung mit Maltönen

[urn:nbn:de:hbz:466:1-96402](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-96402)

gewundenen Säulenschaft war die Reihenfolge der Strichstärken etwa diese (die Zahlen sind Zehntelsmillimeter):

Kappenfläche + 0 . . . weisses Papier

Streifen + 0,7 . . . 0 (Einstellen der Teilscheibe auf 0 giebt einen feinen Strich)

„ + 1,5 . . . 1
 „ + 2,5 . . . $2\frac{1}{2}$
 „ + 3,5 . . . $3\frac{1}{2}$
 „ — 3,5 . . . $4\frac{1}{2}$
 „ — 2,5 . . . 4
 „ — 1,5 . . . $3\frac{1}{2}$
 „ — 0,7 . . . 3
 „ + 3,5 . . . $5\frac{1}{2}$.

In Figur 112d erscheint in den Schlagschattentönen und im Streifen — 3,5 neben der stärkeren Horizontalstrichlage eine unter 45° geneigte feinere. Hier wäre, da die Schlagschattentöne fast vollzählig auftreten und sich bis 1,5 s erstrecken, die Abstufung mit einer Strichlage gar nicht oder nur mit weit grösserer Strichweite durchzuführen gewesen, da es fast unmöglich ist, mit einer einzigen Lage sehr breiter Striche, die nur sehr schmale Streifen weissen Papiers zwischen sich übrig lassen, einen gleichmässigen Ton zu erhalten, indem die unvermeidlichen Verschiebungen einzelner Striche um Zehntels- oder Zwanzigstelsmillimeter schon empfindlich stören. Richtiger wäre es, bei Kreuzstrichlagen auch die Reflexöne — 2,5 — 1,5 — 0,7 mit solchen zu behandeln und dafür die ersten Strichlagen dieser Töne entsprechend heller zu halten, wonach alle Lichtöne mit einer, alle Schattentöne mit zwei Strichlagen auftreten würden.

118. Schattierung mit Maltönen.

Eine mit den oben genannten Instrumenten streng richtig hergestellte Reihe von Strichlagen könnte mit Maltönen derselben Farbe treu nachgebildet werden, indem jeder solche, in grösserer Entfernung vom Auge neben der nachzubildenden Strichlage aufgestellt, genau denselben Eindruck machen müsste wie diese. So wäre es also auch für Maltöne nicht unmöglich, jene Zahlenreihen in Beziehung auf das Wesentliche, auf ihre Eigenschaft als arithmetischer Reihen, wiederzugeben und damit eine auf Ueberlegung gegründete, durch Rechnung abgeleitete, nicht nur gefühlsmässig gefundene Reihe von Maltönen aufzustellen, welche in beliebig vielen Einzelfällen als Vorbild für die Lichtstufen dienen könnte.

Näher scheint es zu liegen, die arithmetische Reihe der Maltöne durch wiederholtes Auftragen eines und desselben Tons zu erzielen. Aber dieser nächste Weg führt höchstens bei wenigen leichten Tönen und auch dann nur annähernd richtig. Es wird keine arithmetische Reihe der Lichtstärken erhalten, wenn man einen ersten Streifen mit einem bestimmten Malton einmal, einen zweiten zweimal, einen dritten dreimal u. s. w. überlegt; vielmehr wird die Abnahme der Lichtstärke mit jedem weiteren Ton arithmetisch kleiner, also die Töne um so weniger wirksam, je mehr derselben schon vorher aufgetragen wurden. Dabei ist die Verschiedenheit der Wirkungen früher und später aufgetragener Töne so gross, dass sie unmöglich übergangen werden kann; ein Ton bestimmter Stärke als zehnte Schichte aufgetragen vermindert z. B. die ursprüng-

liche Lichtstärke etwa dreimal weniger, als wenn er die erste Schichte bildet. Diese Thatsache beruht nicht etwa nur auf einem Gefühlsurteil, das eine wirklich vorhandene arithmetische Reihe nicht als solche erkennen würde, sondern sie wird durch die Probe mit den Entfernungen von einer künstlichen Lichtquelle bestätigt; es handelt sich also um ein physikalisches Gesetz, nicht um ein solches der menschlichen Lichtempfindung. Ohne dieses Gesetz müssten z. B. acht Maltöne, von denen der erste (bei einer bestimmten Beleuchtungsintensität) die Lichtstärke des weissen Papiers nur um ein Achtel vermindert, schon die Lichtstärke Null, und zehn solcher Töne sogar eine Lichtstärke unter Null erzielen können, während doch undenkbar ist, dass eine gut beleuchtete, selbst mit hundert schweren Tönen bemalte Fläche gar kein Licht mehr unregelmässig zurückwerfe.

Die Wirkung dieses Gesetzes scheint dadurch verstärkt zu werden, dass das Papier dem ersten Farbton mehr Farbteilchen entnehmen und festhalten kann als dem zweiten, diesem mehr als dem dritten u. s. w., indem seine Ansaugungsfähigkeit durch die aufgetragenen Farbschichten vermindert wird.

Diese Eigenschaft ist schon vorher bei verschiedenen Papieren stark verschieden; glatte, gutgeleimte Papiere saugen die Farbflüssigkeit weniger kräftig an und lassen einen aus derselben Schale gezogenen Farbton heller erscheinen als raue, feuchte Papierflächen oft weit heller als stark ausgetrocknete. Es scheint sogar, dass später aufgetragene Farbtöne früheren dunklen wieder Farbteilchen wegnehmen können; ein sehr dunkler Ton, noch wenig eingetrocknet, kann durch einen nachfolgenden sehr flüssigen hellen Ton wieder heller werden. Da ferner auch ein erster Farbton, flüssig und voll aufgetragen, nach dem Auftrocknen eine erheblich dunklere Lichtstufe darstellt als bei zurückhaltendem trockenem Malen, so ist nicht zu erwarten, dass die Wirkung eines früher oder später aufgetragenen Farbtons jemals streng durch Zahlen ausgedrückt werden kann.

C. F. A. Leroy („Die Stereotomie“, übersetzt von E. F. Kauffmann, 1847, § 230) giebt an, „dass die verschiedenen Lichtgrade, welche den Werten von $c = \frac{9}{10}$, $\frac{8}{10}$, $\frac{7}{10}$. . . entsprechen, nicht genau erhalten werden durch ein wiederholtes Auftragen von 1 2 3 . . . unter sich identischer Tuschlagen auf eine und dieselbe Zone; das Gesetz, durch welches das Verhältnis zwischen den Werten von c und der Zahl n der Tuschlagen bestimmt wird, ist vielmehr dasjenige, welches zwischen den Zahlen und ihren Logarithmen für eine nur wenig unter der Einheit genomme Grundzahl besteht“. In Beziehung auf die Begründung dieses Gesetzes verweist Leroy auf eine nicht mehr zugängliche andere Schrift.*)

Nach den mit einer künstlichen Lichtquelle angestellten Versuchen von C. Riess (Schattierungskunde 1871, § 18) „ist das Verhältnis zwischen den Werten der Helligkeiten c und der Zahl der Tuschlagen n , durch welche jene

*) Dies erinnert an das Weber'sche oder Fechner'sche Gesetz der Psychophysik, dass in allen Sinnesgebieten Empfindungen sich verhalten wie die Logarithmen ihrer Reize. Aber schon das oben über die Wirkung von acht Maltönen Gesagte lässt eine Erklärung der Thatsachen ausschliesslich aus Gesetzen der menschlichen Empfindung nicht zu.

Helligkeiten erzeugt werden, sehr nahe ausgedrückt durch die Gleichung $c = \left(\frac{1}{1+a \cdot n}\right)^2$, worin der Koeffizient a von der Stärke des einfachen Tones (Grundtones) abhängt, mit derselben in einfachem Verhältnis wächst und für einen Grundton, wie er beim Schattieren durch wiederholtes Auftragen gewöhnlich zur Anwendung kommt, zwischen 0,1 und 0,05 liegen mag⁴.

Dieser veränderliche, zwischen weiten Grenzen zu schätzende Koeffizient würde offenbar eine genaue Festsetzung der Wirkung des einzelnen Maltons auch dann nicht gestatten, wenn die oben berührten Zufälligkeiten, glattes und rauhes Papier, trockenes und feuchtes Papier, trockenes und flüssiges Malen nicht von Einfluss wären. Doch ist schon die Annäherung, welche die Formel gestattet, für den vorliegenden Zweck schätzbar. Durch Annahme zweier verschiedener Werte für den Koeffizienten a hat Riess folgende zwei Reihen für die Abnahme der Lichtstärke durch wiederholtes Auftragen eines und desselben Tuschtönen abgeleitet. Dabei ist für die erste Reihe ein Tushton vorausgesetzt, der einmal aufgetragen die Lichtstärke des weissen Papiers um ein Siebentel vermindert, für die zweite ein solcher, der sie um ein Zehntel vermindert. (Bei einem Ton, der nur ein Fünftel der Lichtstärke wegnimmt, ergab sich eine nahezu arithmetische Reihe der zehn ersten erzielten Lichtstufen; aber ein so heller Ton, der zehnmal aufgetragen erst etwa ein Fünftel der Lichtstärke wegnehmen würde, ist nicht verwertbar.) Wenn in den Riess'schen Aufstellungen und ihrer Verwertung immer von geometrischen Verhältnissen auf dem Papier aufgetragener Lichtstufentöne die Rede ist, so ist die Berechtigung hiezu nach dem früher Ausgeführten noch nicht sicher gestellt, da diese Verhältnisse mit der Beleuchtungsstärke des Papiers veränderlich sein dürften; doch handelt es sich hier ja überhaupt nur um Annäherungen. Die zwei Reihen sind die folgenden:

Tafel G	I) Für $n = 0$ ist $c = 1$	für $n = 13$ ist $c = 0,236$
	„ $n = 1$ „ $c = 0,866$	„ $n = 14$ „ $c = 0,237$
	„ $n = 2$ „ $c = 0,755$	„ $n = 15$ „ $c = 0,221$
	„ $n = 3$ „ $c = 0,666$	„ $n = 16$ „ $c = 0,206$
	„ $n = 4$ „ $c = 0,591$	„ $n = 17$ „ $c = 0,193$
	„ $n = 5$ „ $c = 0,528$	„ $n = 18$ „ $c = 0,181$
	„ $n = 6$ „ $c = 0,475$	„ $n = 19$ „ $c = 0,169$
	„ $n = 7$ „ $c = 0,429$	„ $n = 20$ „ $c = 0,160$
	„ $n = 8$ „ $c = 0,389$	„ $n = 30$ „ $c = 0,094$
	„ $n = 9$ „ $c = 0,355$	„ $n = 40$ „ $c = 0,062$
	„ $n = 10$ „ $c = 0,326$	„ $n = 50$ „ $c = 0,044$
	„ $n = 11$ „ $c = 0,299$	„ $n = 100$ „ $c = 0,014$
	„ $n = 12$ „ $c = 0,276$	„ $n = \infty$ „ $c = 0$
Tafel H	II) Für $n = 0$ ist $c = 1$	für $n = 8$ ist $c = 0,488$
	„ $n = 1$ „ $c = 0,9$	„ $n = 9$ „ $c = 0,453$
	„ $n = 2$ „ $c = 0,814$	„ $n = 10$ „ $c = 0,422$
	„ $n = 3$ „ $c = 0,741$	„ $n = 11$ „ $c = 0,394$
	„ $n = 4$ „ $c = 0,676$	„ $n = 12$ „ $c = 0,369$
	„ $n = 5$ „ $c = 0,621$	„ $n = 13$ „ $c = 0,347$
	„ $n = 6$ „ $c = 0,570$	„ $n = 14$ „ $c = 0,327$
	„ $n = 7$ „ $c = 0,527$	„ $n = 15$ „ $c = 0,309$
	Für spätere Zwecke mögen mit Beachtung des Gesetzes der Abnahme, nach welchem die Differenzen für die Einschaltung von Zwischengliedern berechnet werden können, noch folgende Glieder angefügt sein:	
	Für $n = 2,5$ ist $c = 0,776$	für $n = 9,5$ ist $c = 0,437$
	„ $n = 4,5$ „ $c = 0,647$	

Innerhalb der zehn ersten Glieder stimmt die Taf. H ganz befriedigend mit dem oben erwähnten von Leroy ausgesprochenen Gesetz überein; für die späteren Werte schliesst sich die Tafel G besser an dieses an; im ganzen unterstützen sich die Aufstellungen beider Verfasser so weit, als es bei der Unsicherheit aller Messungen unregelmässig zurückgeworfenen Lichtes erwartet werden kann.*)

*) Riess hat die Werte der ersten Reihe für n als Abscissen und die zugehörigen Werte von c als Ordinaten aufgetragen, wodurch die stetige Abnahme der Wirkung eines wiederholt aufgetragenen Tuschtönen an einer Kurve zur Anschauung gebracht wurde. Mit Hilfe dieser Kurve hat er diejenigen Lichtstufenkreise der Kugel abzuleiten gesucht, für welche die Tuschtöne in arithmetischer Progression aufgetragen werden können. Er erhält hiedurch auf der Lichtseite der Kugel anstatt der vier gleichen Teile, in welche der zur Lichtstrichtung parallele Halbmesser durch die Ebenen der Lichtstufenkreise geteilt ist, eine Einteilung mit den Entfernungen 1 0,438 0,2 und 0,066 vom Mittelpunkt. Die Ableitung enthält aber einen Fehlschluss, indem nach richtiger Feststellung der Linien für das Auftragen von 5 10 15 und 20 Tönen die 20 einfachen Töne als durch 4 fünffache, die 15 einfachen als durch 3 fünffache ersetzbar gedacht sind und dann angenommen wird, die auf beiden Wegen erzielten Lichtstufentöne seien gleich dunkel, während doch bei 4 Tönen die Abnahme der Wirkung des wiederholten Auftragens eine weit geringere sein muss als bei 20. Wenn einmal festgestellt ist, dass die 20 Tonwerte allmählich kleiner werden und zwar sehr stark, so hört jedes einfache geometrische Verhältnis auf. (Nur in ganz geringem Umfang, mit zwei oder drei anderthalbfachen oder doppelten Tönen wie in einigen der unten aufgestellten Tafeln, kann ein Ersatz der einfachen Töne stattfinden, ohne dass ein fühlbarer Fehler entsteht.)

Es ist auch einleuchtend, dass die Lage der neuen Linien veränderlich mit der Zahl der gewählten Aufträge sein müsste, und dass sie z. B. eine andere sein müsste, wenn die Streiflichtstufe mit 7 Tönen, als wenn sie mit 10 oder 15 Tönen aufgetragen werden sollte. Man hätte also verschiedene Normalkugeln je nach der Zahl der gewünschten Tonschichten aufzustellen, und die Linien wären zwar für die Tonschichten ganzzahlig, aber als Lichtstufen nicht mehr, sondern auf jeder andern Normalkugel mit andern Bruchzahlen für ihre Lichtstufen zu bezeichnen. (So stark ungleich, wie oben angegeben, können die Teile des Halbmessers eben nur bei den 20 Tonschichten für die Streiflichtstärke werden, die für die dunkelsten Schlagschatten 60 bis 80 Töne bedeuten würden.) Schon aus diesen Gründen empfiehlt es sich nicht, mit der Lage der Lichtstufenlinien Rücksicht auf die Zahl der aufzutragenden Tonschichten zu nehmen, und eine Notwendigkeit hiezu liegt nicht vor, denn auch bei Gleichtheilung des Halbmessers ist eine genügend richtige Abstufung durch unveränderliche Tuschtöne mit Berücksichtigung ihrer abnehmenden Wirkung bei wiederholtem Auftragen zu erhalten, wie unten auf Seite 144 nachgewiesen ist.

Riess selber hat das in dieser Richtung erhaltene Resultat nicht weiter verfolgt und verwertet, sondern sich in einem anschliessenden Kapitel zur Ableitung einer zweiten, anders begründeten Abänderung der Lage der Lichtstufenlinien gewendet, die er endgültig beibehält, und in welcher die abnehmende Wirkung eines wiederholt aufgetragenen Maltons nicht berücksichtigt ist. Durch neue Versuche mit einer künstlichen Lichtquelle gelangt er zu dem Ergebnis, dass das in Art. 81 ausgesprochene Gesetz, das als „Sinusgesetz“ in der Physik allgemein anerkannt ist, in der Wirklichkeit nicht erfüllt sei, sondern dass bei kräftiger Beleuchtung die Lichtstufenlinien $+1 + 2 + 3$ der Kugel mit ungleichen Abständen näher zur Schattengrenze rücken als nach dem Sinusgesetz, wogegen sie sich bei sehr schwacher Lichtintensität im entgegengesetzten Sinn, also gegen den hellsten Punkt verschieben. Bei starker Lichtintensität nimmt die Lichtstufe einer ursprünglich zum Lichtstrahl normalen und langsam sich drehenden Ebene anfangs minder stark ab als der Sinus ihres Winkels mit dem Lichtstrahl, dafür aber später um so stärker; bei sehr schwacher Lichtintensität ist es umgekehrt. Hienach wäre also die Lage der ganzzahligen Lichtstufenlinien stark veränderlich mit der Intensität der Beleuchtung und es müsste, um eine der vielen möglichen Normalkugeln zu erhalten, eine bestimmte Annahme in dieser Beziehung gemacht werden. Riess wählt diejenige Lichtintensität aus, bei welcher die Linie $+1$ in Grundriss und Aufriss durch den Mittelpunkt des Kugelbildes geht, wonach die Lichtstärken der drei Grundebenen genau mit $+1$ zu bezeichnen wären. Hiebei wird der zur Lichtstrichtung parallele Halbmesser durch die Ebenen der