



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der Schattenkonstruktion und Beleuchtungskunde

Göller, Adolf

Stuttgart, 1895

XIII. Auftragen der Lichtstufen mit Strichlagen oder mit dem Pinsel.

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

XIII. Auftragen der Lichtstufen mit Strichlagen oder mit dem Pinsel.

114. Getrennte Streifen gleicher Lichtstärke.

Die Verwertung der mit den beschriebenen Konstruktionen abgeleiteten Lichtstufenlinien in den Darstellungen der technischen Gebilde besteht im Auftragen jeder Lichtstufe durch einen Malton bestimmter Stärke oder eine Strichlage mit bestimmter Breite und Entfernung der Striche. Man kann nun nicht wohl jedem Punkt der Fläche diejenige Lichtstärke geben, die er streng genommen haben müsste; es würde dazu ein fortwährendes Vertreiben und Verwaschen der Farbtöne und viel Nachbessern gehören, wodurch bei grossem Arbeitsaufwand und grosser Gefahr des Misslingens doch nur ein gekünsteltes, unkräftiges Bild entstehen würde. Auch wäre eine Schattierung mit überall gleich breit bleibenden parallelen Strichen unmöglich, wenn die stetige Veränderung der Flächenbeleuchtung genau wiedergegeben werden müsste; nur die künstlerische Darstellung mit gekrümmten an- und abschwelenden Strichen vermag dies zu erreichen. Man beschränkt sich daher auf eine Annäherung an den streng richtigen Zustand mit gleichmässig aufgetragenen, scharf getrennt bleibenden Streifen in deutlich verschiedenen Lichtstufen und benützt die ganzzahligen Linien gleicher Helle, wie sie die vorgeführten Konstruktionen ergeben, als Grenzlinien zwischen diesen Streifen. Jeden Streifen benennt man durch eine Zahl, die in der Mitte liegt zwischen den zwei Zahlen seiner Grenzlinien, so wird z. B. der Streifen zwischen den Linien + 2 und + 3 mit + 2,5 bezeichnet. Die Kappenfläche um den Punkt + 0 herum heisst + 0; sie bleibt im allgemeinen als weisses Papier, kann aber auch, um eine Körperfarbe zu bezeichnen, einen leichten Ton aufnehmen, der die Grundlage aller Schattierungstöne zu bilden hat.

Es erhebt sich nun die Frage, welcher der bei streng richtiger Schattierung auf ihm erscheinenden Lichtstufen jeder Streifen entsprechen soll. Es liegt nahe, immer den mittleren Parallelkreis eines Streifens als für diesen massgebend zu betrachten, wonach z. B. der ganze Streifen + 3,5 ebenso dunkel anzulegen wäre wie der Parallelkreis + 3,5 bei streng richtiger Schattierung. Diese Wahl hätte aber den Nachteil, dass unmittelbar auf den Lichtstreifen mit + 3,5 Lichtstärke der Reflexionstreifen - 3,5 mit - 3,5 Lichtstärke folgen, also die Lichtstärke $\pm 4 k$ ganz verschwinden und die Schattierung ihres kräftigsten Körperschattentons verlustig gehen würde. Daher ist es besser, jeden Streifen in derjenigen Lichtstufe zu halten, die sein erster, dem hellsten Punkt + 0 k zunächstliegender Parallelkreis bei streng richtiger Schattierung erhalten würde. Hiedurch werden die stetigen Abnahmen der Lichtstärke vom hellsten Punkt an durch stufenförmige, durchschnittlich fernerliegende ersetzt, also die helleren Lichtstufen im Durchschnitt auf etwas grössere Fläche gebracht, womit zugleich der in Art. 85 erwähnten Erfahrungsthat, dass die Lichtstärke bei den Schattierungen in der Wirklichkeit bis zu den Kreisen + 2 und + 3 weniger rasch abzunehmen scheint als nach dem zuvor abgeleiteten Gesetz der Lichtstufen zu schliessen wäre, in erwünschter

Weise Rechnung getragen wird. Die Reflexstöne werden dagegen etwas dunkler als sie im Mittel sein müssten; das heisst die Reflexwirkung wird in Beziehung auf ihren Flächenraum etwas eingeschränkt. Diese Thatsache kann in der später zu betrachtenden Wahl der Lichtstärke des hellsten Reflexpunktes, r berücksichtigt werden. Hienach erhält

Tafel A	die Kappenfläche	+ 0	die Lichtstärke des Punktes	+ 0 (h oder s)
	der Streifen	+ 0,7	die Lichtstärke des Parallelkreises	+ 0,3
	" "	+ 1,5	" "	+ 1
	" "	+ 2,5	" "	+ 2
	" "	+ 3,5	" "	+ 3
	" "	- 3,5	" "	+ 4 (k)
	" "	- 2,5	" "	- 3
	" "	- 1,5	" "	- 2
	" "	- 0,7	" "	- 1
	„ Kappenfläche	- 0	" "	- 0,3

Die Lichtstufe des hellsten Reflexpunktes - 0 (r) verschwindet; doch ist ja diese ohnehin in Vorder- und Oberansichten niemals sichtbar. Für die Schlagschattenstreifen gilt dasselbe wie für die gleichzahligen Lichtstreifen.

Bei grösseren Gebilden mit sehr breiten Lichtstufenstreifen empfiehlt es sich, zu Gunsten der Annäherung an die stetige Krümmung die Streifen noch in je zwei Teile zu teilen, so dass z. B. anstatt des Streifens + 1,5 zwei Streifen auftreten würden, nämlich + 1,25 und + 1,75. Die Streifen im Schatten, die einer solchen Teilung weniger bald bedürfen, da ihre Uebergänge an sich weicher und ihre Breiten durch Verkürzung kleiner sind als im Licht, können oft ungeteilt bleiben, wenn auch die Teilung im Licht durchgeführt wird. Auch die Kappenfläche innerhalb + 0,3 kann geteilt werden oder nicht. Wo man die weitestgehende Abstufung für nötig erachtet, erweitert sich die Reihe der Streifen und ihrer Lichtstufen wie folgt:

Die Kappenfläche + 0 erhält die Lichtstärke des Punktes + 0, der Streifen + 0,25 (zwischen + 0,2 u. + 0,3 gelegen) die Lichtstärke + 0,2									
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	18	18	18	18	18	18			

Wenn auch im allgemeinen die zwischen den angegebenen Grenzlinien liegenden Streifen in sich selber gleichmässig hell oder dunkel aufgetragen werden und mit deutlichen Gegensätzen stehen bleiben, so ist es doch nicht ausgeschlossen, bei gemalten Darstellungen in grossem Massstab nachträglich Uebergänge auf den äusseren Teilen der Streifen mit Vertreiben und Verwaschen leicht aufgetragener Zwischentöne herzustellen. Schwieriger sind solche Uebergänge bei schraffierten

Darstellungen zu gewinnen. Ein Anschwellen der Striche gegen eine dunklere Nachbarstrichlage, wie es zur Herstellung der stetigen Uebergänge notwendig wäre, lässt sich bis jetzt mit der Reissfeder nicht anders erhalten als durch einen zweiten, etwas schrägliegenden Strich auf jedem zuvor gezogenen.

115. Zahlenbewertung der Lichtstufen.

Im früheren sind anfangs die Verhältnisse der Lichtstufen in Zahlen ausgedrückt worden, indem sich für den hellsten Punkt und die Parallelkreise der Normalkugel die Lichtstufen oder Helligkeitswerte 4 3 2 1 0 aus dem Gesetz der Lichtstufen ergaben. Die Betrachtung der Reflexlichtwirkungen hob jedoch dieses einfache Verhältnis auf, indem sie an die Stelle der Lichtstärke Null, die nicht vorkommen kann, einen veränderlichen Wert k , Körperschattengrenzlicht oder Streiflicht, ebenso an die Stelle der Lichtstärke Vier einen anderen veränderlichen Wert h , hellster Punkt im Licht, setzte und in Ermangelung anderer Wahrscheinlichkeiten nur die arithmetische Reihe der fünf Werte beibehielt. Neben die beiden Hauptwerte k und h traten noch die Lichtstufen r , hellster Reflexpunkt, und s , dunkelster Schlagschattenpunkt, für welche als feststehend nur gelten kann, dass r einer bestimmten Lichtstärke zwischen k und h entspricht und s dunkler ist als k . Die Zwischenkreise von k nach r und von k nach s mit Einschluss dieser Hauptwerte selbst sind wieder als Glieder arithmetischer Reihen vorzustellen.

Anschliessend an Art. 85 sind nun in erster Linie bestimmte Annahmen für die Verhältnisse der vier Hauptlichtstufen und damit auch für ihre Zwischenglieder zu treffen; eine zweite Aufgabe ist die Wiedergabe jeder nach ihrem Verhältnis zu den andern festgestellten Lichtstufe durch einen Malton oder eine Strichlage.

Alle Freiheit der Wahl für den einzelnen Fall auf Grund des in Art. 85 Ausgesprochenen wiederholt anerkannt, ist im folgenden angenommen

1) dass die vier Hauptwerte und die ganzzahligen Zwischenstufen nicht nur von h nach k , von k nach r und von k nach s , sondern auch von r nach s eine arithmetische Reihe bilden, also die Unterschiede zwischen je zwei Schlagschattentönen ebenso gross sein sollen wie zwischen zwei Reflexstufen,

2) dass die Lichtstärke des hellsten Reflexpunktes r dem Parallelkreis + 2,5 der Normalkugel entsprechen, also in der Mitte zwischen derjenigen der Parallelkreise + 2 und + 3 liegen soll.

Die erste Annahme, dass die acht Unterschiede zwischen r und s gleich gross sein sollen, ist zwar willkürlich, aber naheliegend; sie erreicht offenbar die grösste Stetigkeit in der Zu- und Abnahme der Schattentöne und dürfte in der Wirklichkeit oft erfüllt sein. Die Feststellung der Lichtstärke des Reflexpunktes r entspricht einer ziemlich kräftigen Reflexwirkung, wie sie der Formendeutlichkeit der dargestellten Gebilde meist am günstigsten sein dürfte; übrigens sollen auch schwächere im Auge behalten werden.

Die Stärke der Reflexwirkung auf der Körperschatten-

Göller, Schattenkonstruktionslehre und Beleuchtungskunde.

seite hängt, wie in Art. 85 ausgeführt worden ist, in erster Linie von der Durchstrahlbarkeit des Materials ab; bei geringer Durchstrahlbarkeit, etwa trockenem Gips, würde der hellste Reflexpunkt r vielleicht noch heller werden können als der Parallelkreis + 2,5; bei starker Durchstrahlbarkeit (weissem Marmor, Alabaster) ist wegen des von innen heraus erhellten Streiflichts und der geringeren Zurückwerfung des Reflexlichtes selber die Reflexwirkung weniger fühlbar; in diesem Fall würde der Reflexpunkt r nur etwa bis zur Lichtstärke des Kreises + 3 aufsteigen dürfen. Noch geringere Reflexwirkung kann in künstlerischen Darstellungen günstig sein; für den hier vorliegenden Zweck würde sie zu wenig Abstufung der Körperschattentöne liefern. Bei der Wahl der Reflexlichtstärke für eine Darstellung ist auch der Hintergrund einigermaßen in Betracht zu ziehen. Auf dunklem Hintergrund scheinen die Reflexstufen infolge des Gegensatzes zu diesem heller zu sein als sie wirklich sind. Sogar wenn gar keine Reflexerhellung eingeführt und der Körperschatten durchaus gleich stark gehalten wird, ist neben dunklem Grund eine scheinbare Reflexwirkung vorhanden, wogegen bei hellem Hintergrund eine schon ziemlich kräftige Reflexerhellung sich wenig fühlbar macht. Ein sehr dunkler Hintergrund verlangt aber auch dunklere Haltung aller andern Schattentöne, wenn nicht die Vorstellung stark durchscheinenden Materials erweckt werden soll. Abgesehen von allen solchen besonderen Rücksichten wird sich jedoch die oben für die Reflexwirkung getroffene Annahme am häufigsten empfehlen.

Sobald nun ein Zahlenverhältnis einer der drei Lichtstufen k , r und s zu der Lichtstufe h festgesetzt ist, lassen sich die beiden übrigen aus den getroffenen Annahmen bestimmen und ebenfalls durch Zahlen ausdrücken. Wenn die im Schlagschatten befindliche Kugel eine arithmetische Reihe der Lichtstufen zwischen r und s darbieten, also k in der Mitte zwischen r und s liegen soll, so ergibt sich die Gleichung $r - k = k - s$; die zweite getroffene Wahl, dass Punkt r die Lichtstärke des Parallelkreises + 2,5 haben soll, führt mit Berücksichtigung der Lage dieses Parallelkreises und der arithmetischen Progression zwischen h und k zu der Proportion $h - r : r - k = 5 : 3$.

Wenn nun etwa angenommen wird, dass der dunkelste Schlagschattenton s ein Achtel der Lichtstärke des hellsten Punktes h darbieten soll, so hat man in der Gleichung und der Proportion $h = 1$ und $s = 1/8$ zu setzen; man erhält dann $k = 4/11$ und $r = 53/88$. Mit diesen vier Hauptlichtstufen ergeben sich, wenn zu Gunsten abgerundeter Zahlen $12/88$ anstatt $11/88$ und $52/88$ anstatt $53/88$ geschrieben wird, folgende Verhältniszahlen für die ganzzahligen Lichtstufen.

	Lichtkugel:	Schlagschattenkugel:
Tafel C	+ 0 (h) = 88	+ 0 (s) = 12
	+ 1 = 74	+ 1 s = 17
	+ 2 = 60	+ 2 s = 22
	+ 3 = 46	+ 3 s = 27
	+ 4 (k) = 32	+ 4 (k) = 32
	- 3 = 37	- 3 = 37
	- 2 = 42	- 2 = 42
	- 1 = 47	- 1 = 47
	- 0 (r) = 52	- 0 (r) = 52

Mit der Lichtstärke des dunkelsten Schlagschattentons gleich einem Zwölftel der Lichtstärke des hellsten Punktes ist $h=1$ und $s=1/12$ zu setzen; es wird dann $k=1/3$, $r=7/12$, und es erscheinen die einfacheren und genau passenden Verhältniszahlen folgender zwei Reihen, welche später in erster Linie den Strichlagen und Maltönen der Schattierung zu Grunde gelegt werden sollen.

Tafel D	Lichtkugel:	Schlagschattenkugel:
	+ 0 (h) = 48	+ 0 (s) = 4
	+ 1 = 40	+ 1 s = 7
	+ 2 = 32	+ 2 s = 10
	+ 3 = 24	+ 3 s = 13
	+ 4 (k) = 16	+ 4 (k) = 16
	- 3 = 19	- 3 = 19
	- 2 = 22	- 2 = 22
	- 1 = 25	- 1 = 25
	- 0 (r) = 28	- 0 (r) = 28

Die Zahlenreihen zeigen entsprechend der für die Reflexstärke getroffenen Annahme für - 0 (r) ganz oder annähernd die Mitte zwischen + 2 und + 3. Will man die oben erwähnte schwächere Reflexwirkung einführen, bei welcher der hellste Reflexpunkt nur bis zu der Lichtstärke des Lichtkreises + 3 aufsteigt, so tritt an die Stelle der oben angesetzten Proportion die folgende: $h:r:r-k=3:1$; man erhält mit der weiteren Annahme $k=1/4$ die Werte $r=7/16$ und $s=1/16$ und damit folgende Verhältniszahlen:

Tafel E	Lichtkugel:	Schlagschattenkugel:
	+ 0 (h) = 64	+ 0 (s) = 4
	+ 1 = 52	+ 1 s = 7
	+ 2 = 40	+ 2 s = 10
	+ 3 = 28	+ 3 s = 13
	+ 4 (k) = 16	+ 4 (k) = 16
	- 3 = 19	- 3 = 19
	- 2 = 22	- 2 = 22
	- 1 = 25	- 1 = 25
	- 0 (r) = 28	- 0 (r) = 28

Nach folgenden Zahlenreihen ist die Reflexwirkung zwischen den beiden zuvor angenommenen gewählt, und zwar mit $- 0 (r) = + 2\frac{2}{3}$, dabei s nur ein Siebenzehntel von h :

Tafel F	Lichtkugel:	Schlagschattenkugel:
	+ 0 (h) = 68	+ 0 (s) = 4
	+ 1 = 56	+ 1 s = 8
	+ 2 = 44	+ 2 s = 12
	+ 3 = 32	+ 3 s = 16
	+ 4 (k) = 20	+ 4 (k) = 20
	- 3 = 24	- 3 = 24
	- 2 = 28	- 2 = 28
	- 1 = 32	- 1 = 32
	- 0 (r) = 36	- 0 (r) = 36

Alle vier Annahmen für die Verhältniszahlenreihen sind berechtigt und noch andere, für welche die zwei grundlegenden Gleichungen ebenso zu verwerten wären, dürften getroffen werden. Die erste Reihe würde eine lichtere Schattierung mit starker Reflexwirkung, die zweite eine etwas kräftigere Schattierung mit derselben verhältnismässigen Reflexwirkung, die dritte und vierte eine abermals dunklere Schattierung mit geringeren Reflexwirkungen bedeuten, wie in der Photographie hellere und dunklere Abzüge von derselben Platte, stärkere und schwächere

Reflexe bei verschiedenen Aufnahmen desselben Gegenstandes erscheinen können.

An diese Zahlen knüpft sich notwendig die Frage: „Was bedeutet es eigentlich, wenn zwei Lichtstufen sich verhalten wie 88 zu 46 oder wie 64 zu 19 u. s. w.? Die Lichtempfindung kennt ja keine Verhältniszahlen; sie gestattet nur das Urteil ‚hell und etwas weniger hell‘ oder ‚hell und dunkel‘; sie kann eine Anzahl von Lichtstufen zwar in eine steigende oder fallende Reihe stellen, aber nicht scharf bewerten.“ Trotz dieser Thatsache ist eine Antwort auf die gestellte Frage möglich, und zwar mit dem Hinweis auf das physikalische Gesetz, dass die Lichtstärken zweier normal beleuchteten Ebenen umgekehrt proportional den Quadraten ihrer Entfernungen von der Lichtquelle sind. Mit Hilfe dieses Gesetzes liessen sich ganz wohl um eine künstliche Lichtquelle herum dreizehn gleichfarbige Ebenen in verschiedenen, durch Rechnung zu bestimmenden Entfernungen aufstellen, deren Beleuchtungsstufen der einen oder anderen oben gegebenen Reihe von Verhältniszahlen genau entsprechen würden. Die Zahlenbewertung der Lichtstufen auf einem durch Zeichnung gegebenen Raumgebilde ist hienach, sobald die erwähnten drei Annahmen über die Verhältnisse der vier Hauptlichtstufen getroffen sind, immer möglich; auch lässt sich bestimmen sagen, was die Zahlen bedeuten.

Wiedergabe der Lichtstufen.

116.

Weniger günstig steht es um den zweiten Teil der Aufgabe, um die Wiedergabe der durch Zahlen festgesetzten Lichtstufen durch Strichlagen oder Maltöne. Es ist fraglich, ob sie überhaupt streng richtig wiedergegeben werden können. Angenommen es sei für eine bestimmte Beleuchtungsstärke der Papierfläche die Reihe der Lichtstufen genau so aufgetragen, wie es jenen dreizehn um eine künstliche Lichtquelle aufgestellten Ebenen entspricht, das heisst die dreizehn verschieden dunkel bemalten oder schraffierten Ebenen in den hiefür berechneten Entfernungen von der künstlichen Lichtquelle aufgestellt, würden alle als gleich hell beurteilt werden, so dürften diese Abstufungen eben nur strenge Gültigkeit für die eine verwendete Lichtquelle, nicht auch für andere, nicht auch für Tagesbeleuchtung haben. Wahrscheinlich werden bei einer andern Beleuchtungsstärke die Verhältnisse der von den dreizehn gemalten oder schraffierten Papierebenen ausgesendeten Lichtmengen andere, also nicht mehr streng richtige werden. Im dunklen Zimmer dürfte eine bestimmte helle Fläche ein anderes Lichtmengenverhältnis gegenüber einer bestimmten dunkeln ergeben, als im Sonnenschein. Welche Beleuchtungsstärke der Papierfläche soll nun massgebend sein? Solange diese Frage sich nicht beantworten lässt, oder solange nicht sicher gestellt ist, dass die von einer nicht glänzenden Ebene unregelmässig reflektierte Lichtmenge bei jeder Beleuchtungsstärke denselben Bruchteil der empfangenen Lichtmenge darstellt, ist auch die Möglichkeit einer allgemeingültigen, streng richtigen Wiedergabe jener durch Zahlen ausgedrückten Lichtstufen mit Hilfe von Maltönen oder Strichlagen nicht sicher gestellt.

Dies ist aber noch die kleinere Schwierigkeit gegenüber der Unmöglichkeit, im Einzelfall des Schattierens die Probe mit den Entfernungen von einer Lichtquelle wirklich anzustellen und insbesondere mit Tagesbeleuchtung anzustellen. Dreizehn oder sechzehn als Proben aufgetragene Tuschtöne oder Strichlagen im dunklen Zimmer um ein Licht zu stellen, wäre eine viel zu weit greifende Einleitung der Arbeit, um so mehr als die Brauchbarkeit des Resultats für die Anschauung bei Tageslicht zweifelhaft wäre. Von einer strengen auf den absoluten Werten jener Zahlen fussenden Wiedergabe der Lichtstufen durch Maltöne oder Strichlagen kann auch aus diesem Grund nicht die Rede sein; nur Annäherungen sind möglich.

117. Schattierung mit Strichlagen.

Bei Schattierung mit Strichlagen kann man diese so wählen, dass das zwischen den Strichen übrig bleibende weisse Papier seinem Flächengehalt nach dieselben zwei arithmetischen Reihen bildet wie die Verhältniszahlen einer jener vier Tafeln (C bis F) für die Licht- und Schattenstufen. Die oben gegebene zweite Zahlenreihe z. B. (Taf. D) wird dann so wiedergegeben, dass die Lichtstufe $+0/h$ durch das weisse Papier dargestellt ist, $+0/s$ durch eine Strichlage oder Strichlagenkreuzung, welche nur $1/48$ vom weissen Papier übrig lässt, $+3$ im Licht durch eine Strichlage, welche $24/48$ vom weissen Papier übrig lässt u. s. w. Wenn von einer Strichlage zur benachbarten die Fläche des weissen Papiers um einen Bruchteil n der Gesamtfläche abnimmt, also die dunkle der Striche um denselben Bruchteil n zunimmt, wenn ferner das weisse Papier einen Bruchteil a und die dunkle Strichfläche einen weit kleineren Bruchteil b des von aussen auf sie fallenden Lichtes zurückwirft, so nimmt die vom weissen Papier ausgehende Lichtmenge bei diesem Uebergang a um na und die von der Strichfläche ausgehende Lichtmenge zu um nb ; die Gesamtveränderung ist also eine Abnahme um $n(a-b)$. Da nun nach den aufgestellten Zahlenreihen n für alle Uebergänge von $+0(h)$ bis $+4(k)$ gleich gross ist (z. B. bei der Tafel $D = 8/48$), und ebenso für diejenigen von $-0(r)$ bis $+0(s)$ immer gleich gross ist (bei der Tafel $D = 3/48$), so sind auch die Unterschiede der von den Strichlagen ausgehenden Lichtmengen gleich gross. Mit solchen Strichlagen wird also in der That erreicht, dass bei allen Beleuchtungsstärken des Papiers die dargestellten Lichtstufen in Beziehung auf die Unterschiede dieselben zwei arithmetischen Reihen bilden, wie die Glieder der zu Grunde liegenden zwei Zahlenreihen für die Lichtstufen im Licht und im Schatten. Nur von den hiebei erzielten geometrischen Verhältnissen der Glieder lässt sich nicht dasselbe behaupten, da diese Verhältnisse wie auch dasjenige der Werte a und b bei verschiedenen Beleuchtungsstärken des Papiers wechseln dürften. Nun sind aber die Endglieder jener Zahlenreihen (Tafeln C bis F) selbst willkürlich gewählt; sie könnten auch beliebig anders und mit gleichem Recht so gewählt worden sein, wie es bei einer bestimmten Tagesbeleuchtung den entstandenen Strichlagen entspricht; es würde also auf diesem Weg eine

durchaus wohlbegründete Reihe von Strichlagetönen für die ganzzahligen Lichtstufen erreicht werden, wenn es möglich wäre, die zwei arithmetischen Reihen der bei der Schraffierung für die Licht- und Schattentöne übrig zu lassenden weissen Papierflächen streng richtig zu erzielen. (Für gekreuzte Strichlagen ist in dieser ganzen Erwägung vorausgesetzt, dass die Flächen der Strichkreuzungen nicht dunkler werden als die einfache Strichfläche, was nur bei sehr dunkler Strichfläche nahehin erfüllt ist.)

Es giebt Schraffierlineale, mit welchen durch Einstellen einer Druckschraube nach einer Skala die Abstände der Parallelstriche, von Mitte zu Mitte gemessen, genau nach einem verlangten Mass erhalten werden, und Reissfedern mit Teilscheibe, welche eine bestimmte Strichdicke auf Zwanzigstelsmillimeter genau liefern oder liefern sollen. Mit zwei solchen Instrumenten würde die Strichlage für jede einzelne Lichtstufe ziemlich genau der berechneten übrig zu lassenden weissen Papierfläche angepasst werden können. Nur ist zu beachten, dass die Reissfedern im längeren Gebrauch sich allmählich etwas erweitern und dann breitere Striche geben als die Teilscheibe anzeigt.

In dieser Weise könnte die Schattierung durchgeführt werden, ohne zur Feststellung der Lichtstufen der Zeichnung das Gefühl zu Hilfe zu nehmen. Es ist aber im Einzelfall ganz überflüssig, dieser Schätzung der Strichstärken dem Gefühl nach aus dem Wege zu gehen; sie führt weit rascher zum Ziel und giebt vielleicht Resultate, die dem Gefühl mehr zusagen, als die auf rechnerischem und mechanischem Weg erzielten. Man wird hiezu nach Festsetzung einer für alle Lichtstufenstreifen gleichbleibenden Strichweite vor Beginn der Arbeit Probeschraffierungen auf einem Nebenblatt ausführen und den Versuch so oft wiederholen, bis eine befriedigende Stetigkeit der Lichtstufen innerhalb der zuvor gewählten Grenzen des hellsten und dunkelsten Tons erzielt ist. Diesen letzten wird man nach dem Verhältnis und dem Dunkelheitsgrad der Schattenflächen gegenüber den Lichtflächen richten und bei Vorhandensein grosser dunkler Schattenflächen weit heller festsetzen, als wenn etwa bei wenig Schattenflächen die dunkleren Stufen des Schlagschattens gar nicht vertreten sind. Figur 112d ist ein Beispiel für den ersten Fall, Figur 109b für den zweiten, ein Versuch bei jener, die gleichzahligen Licht- und Schattenstufen wie bei dieser zu halten, ergab ein viel zu schwarzes Bild. Bei wichtigen Darstellungen erleichtert es die Beurteilung der Lichtstufen, wenn man die empfohlenen Probestrichlagen zu Lichtstufenstreifen eines Cylinders mit Schlagschattenpartien gestaltet.

Ob oder wie weit eine solche gefühlsmässig festgesetzte Reihe von Lichtstufentönen übereinstimmt mit einer durch Berechnung und jene beide Instrumente erhaltenen, wäre noch durch Versuche zu erproben.

Die Schraffierung kann entweder mit nur einer Strichlage für jede Lichtstufe oder mit gekreuzten Strichlagen für die dunkleren Töne durchgeführt werden. In den Figuren 109b und 111c ist das erste gewählt; die Strichweite ist in dem anderthalbmal grösseren Original der ersten Figur 0,8 mm, bei der zweiten 0,7 mm. Bei dem

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 Aufdrocknen 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 Lichtrichtung 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 Lichtrichtung parallele Halbmesser durch die Ebenen der

119. Tonschichtenpläne für das Schattieren mit dem Pinsel.

a) Für normale Reflexwirkung, Tafeln I, K und L.

Obwohl als Folge der stufenweise abnehmenden Wirkung eines Maltons bei wiederholtem Auftragen zu erwarten wäre, dass eine arithmetische Reihe von Lichtstufentönen mit einem unveränderlichen Ton nicht oder nur dadurch erreicht werden könne, dass dieser einmal satt und flüssig, ein andermal mit schwachgefülltem Pinsel

aufgetragen werde, kann man doch die Lichtstufen der Tafel D (S. 138) samt denjenigen der Streifen + 0,7 durchaus befriedigend erhalten, ohne zu einer Verschiebung der Lichtstufenlinien zu greifen, indem man neben einem Lichtton 1 einen etwas stärkeren Schlagschattenton 1,5 einführt und die unganzzahligen, nachträglich eingeschalteten Lichtstufenstreifen 0,7 mit einem Halbton 0,5 behandelt, der dann auch zur Ergänzung einiger anderen Tonstufen benützt wird. Folgende Tafel (I) giebt die Reihenfolge der hierbei nötigen 12 Aufträge oder Tonschichten.

Tafel I	Tonschichte Nummer:													Tonschichte aufzutragen:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	Kappe + 0 h mit Lichtst. + 0				Streifen + 0,7				" + 1,5				" + 2,5														" + 3,5				" — 3,5				" — 2,5				" — 1,5				" — 0,7				Kappe — 0				Streifen + 3,5 s				" + 2,5 s				" + 1,5 s				" + 0,7 s				Kappe + 0 s																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
I	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

*) Bei hellem Hintergrund bleibt für den Streifen — 0,7 die zwölfte Tonschichte 0,5 weg; die Summe wird dann 4 anstatt 4,5.

Alle drei Töne 0,5, 1 und 1,5 wird man schon vor dem Auftragen der Tonschichten zurichten und ins richtige Verhältnis zu einander setzen, indem man einen

Lichtstufenkreise vom hellsten Punkt aus (anstatt der Gleichteilung mit 1 0,75 0,5 0,25 0) in folgendem Verhältnis geteilt: 1 0,5787 0,2680 0,0688 0. Für die Lichtstufe + 0,5 ist noch ein Teilpunkt mit 0,7703 eingeschaltet. Die Lichtstufenkreise der Körperschattenhälfte liegen nicht symmetrisch zu denen der Lichthälfte, sondern zeigen folgende Abstände vom Mittelpunkt: 1 0,7467 0,3907 0,1070 0.

Unter anderem wird festgestellt, dass die Gleichteilung des Halbmessers durch die Ebenen der Lichtstufenkreise, wie sie aus dem Sinusgesetz hervorgeht, bei keiner Lichtintensität streng richtig sein könne und als Annäherung aufgefasst einer sehr geringen Lichtintensität entspreche, nämlich derjenigen, welche zwei Stearinkerzen in einer Entfernung von 1,62 m von der Kugel für diese erzeugen.

Mit der neuen Lage der Lichtstufenlinien soll die Schattierung in der Darstellung der Körper derjenigen der Wirklichkeit mehr angepasst werden, welche besonders bei Sonnenbeleuchtung erhebliche Unterschiede gegenüber der aus dem Sinusgesetz abgeleiteten darbietet. Schon oben (Seite 89) ist ausgesprochen worden, dass sich die helleren Lichtflächen in der Wirklichkeit mehr ausdehnen, in sich nur geringe Unterschiede zeigen und fast sprunghaft in das Streiflicht übergehen; diese Merkmale, besonders deutlich bei Sonnenbeleuchtung, finden sich auch noch bei guter Tagesbeleuchtung ohne Sonnenschein, etwa durch ein grosses Fenster, in geringerem

probeweise für 0,5 angenommenen Ton auf einer zweiten Probefläche zweimal, auf einer dritten dreimal aufträgt, und die zweite Probe, ganz wenig verstärkt, für den Ton 1,

Mass. Mit dieser Thatsache sind die von Riess erhaltenen Resultate im Einklang, und es ist kaum zu bezweifeln, dass das Sinusgesetz ungenau oder zum mindesten auf eine bestimmte Beleuchtungsintensität beschränkt ist, so dass es eines allgemeineren Gesetzes bedarf, in welchem die Beziehung zwischen dem Lichtstrahlenwinkel und der Lichtstärke der beleuchteten Ebene mit der Beleuchtungsintensität veränderlich auftritt. Es wäre zu wünschen, dass die in dieser Richtung von Riess mit den einfachsten Hilfsmitteln angestellten Versuche mit Apparaten grösserer Vollkommenheit wiederholt und zur Aufstellung eines Gesetzes verwertet würden — wenn je ein solches aufgestellt werden kann, und die zu Tage tretenden, dem Sinusgesetz widersprechenden Erscheinungen nicht etwa die veränderlichen Folgen von Zufälligkeiten im Gefüge oder der Durchstrahlbarkeit der Oberflächen verschiedener Stoffe sind.

Aber auch bei Anerkennung aller Gründe, die zu jener Abänderung der ursprünglichen Gestalt der Normalkugel geführt haben, dürfte doch diese letzte vorzuziehen und selbst dann noch als zweckmässige Vereinfachung einer strengrichtigen festzuhalten sein, wenn einmal das Sinusgesetz umgestossen und durch ein anderes ersetzt werden sollte. Der Vorzug der grösseren Einfachheit, den sie darbietet, sollte nicht aufgegeben werden, solange kein dringender Grund dafür vorliegt, und nachdem Riess selber festgestellt hat, dass bei einer Beleuchtungsstärke die Gleichteilung

doppelte ersetzt werden, weil mit diesen letzten die abnehmende Wirkung späterer Töne sich stärker äussert, also nicht derselbe Grad der Dunkelheit erzielt wird (nur in kleinem Umfang, wie oben in der Tafel I und K durch Einführen der drei Schichten mit 1,5 Tonsstärke, ist ein solcher Ersatz zulässig). Ausserdem würde mancher Streifen zwanzig und mehr Mal zu übermalen sein.

Zur Beantwortung der Frage, wie weit die aus den zwölf Tonschichten der Tafel I erhaltenen Lichtstufentöne mit der in der Tafel D (Seite 138) verlangten arithmetischen Reihe im Einklang sind, führt folgende Betrachtung. Nach der zweiten von Riess aufgestellten Zahlenreihe (Tafel H, Seite 141) drücken 7 Tonschichten, von welchen eine einzige die Lichtstärke Eins des weissen Papiers um ein Zehntel vermindert, diese Lichtstärke auf 0,527 herab. Wenn nun die Tafel D auf eine zur Vergleichung mit dieser Zahlenreihe brauchbare Form gebracht werden soll, so muss das erste Glied der Tafel D dem ersten Glied der Zahlenreihe H gleichgesetzt werden und das mit 7 Tonschichten als Lichtstufe + 4 herzustellende Glied der Tafel D genau dem Glied der Zahlenreihe H für 7 Tonschichten entsprechen; es wird sich dann fragen, ob auch die übrigen Glieder übereinstimmen. Der Zahlenwert $+0h = 48$ der Tafel D ist also durch eins, der Zahlenwert $+4 = 16$ der Tafel D durch 0,527 zu ersetzen. Einer der 48 Teile der Tafel B ist gleich $\frac{1}{32}$ ($1 - 0,527$) oder 0,01478, die Anfangsdifferenzen mit 8 Teilen sind gleich 8 mal 0,01478 oder 0,11824, die übrigen mit 3 Teilen gleich 3 mal 0,01478 oder 0,04434 zu setzen. Hieraus ergibt sich folgende Gegenüberstellung, bei welcher die unganzzahligen Lichtstufen nicht in Betracht zu ziehen waren.

Streifen:	mit Lichtstufe:	erhält Tonschichten:	und damit nach Taf. H eine Lichtstärke:	sollte nach Taf. D als Lichtstärke erhalten:	wird also:
+ 0 h	+ 0 h	0	1	1	
+ 1,5	+ 1	1	0,900	0,882	um 0,018 zu hell
+ 2,5	+ 2	2,5	0,776	0,764	„ 0,012 „ „
+ 3,5	+ 3	4,5	0,647	0,645	„ 0,002 „ „
— 3,5	+ 4	7	0,527	0,527	
— 2,5	— 3	6	0,570	0,571	
— 1,5	— 2	5	0,621	0,616	
— 0,7	— 1	4,5 ^{*)}	0,647	0,660	„ 0,013 „ dunkel
+ 3,5 s	+ 3 s	8	0,488	0,483	
+ 2,5 s	+ 2 s	9,5	0,437	0,438	
+ 1,5 s	+ 1 s	11	0,394	0,394	
+ 0 s	+ 0 s	13	0,347	0,350	

*) Streifen — 0,7 erhält bei hellem Hintergrund nur 4 Tonschichten mit Lichtstärke 0,676 und wird dann um 0,016 zu hell.

Diese Gegenüberstellung zeigt nur sehr kleine Differenzen, die neben dem unvermeidlichen weit grösseren Einfluss der oben berührten Zufälligkeiten im Zustand des Papiers, im Grad der Pinselfüllung u. s. w. verschwinden, wonach die 12 Tonschichten eine so vollständige Wiedergabe der Zahlenwerte aus Tafel D erzielen, als sie überhaupt verlangt werden kann. Dabei ist hervorzuheben, dass Streifen + 1,5 um 18 Tausendstel zu hell, Streifen + 2,5 um 12 Tausendstel zu hell, Streifen + 3,5 nur noch um

7 Tausendstel zu hell ist, wonach gerade die lichter Töne ein wenig zu hell sind, der Ueberschuss aber ganz gesetzmässig abnimmt und verschwindet. Diese Thatsache kann nur erwünscht sein, indem sie einen weiteren Beitrag dazu liefert, die helleren Lichttöne im ganzen um eine Spur heller zu erhalten und dadurch die Schattierung der Wirklichkeit noch einen kleinen Schritt mehr anzunähern, ohne zu einer Verschiebung der Lichtstufenlinien greifen zu müssen (vgl. die Anmerkung auf Seite 142 und die Begründung der Tafel U, Seite 146).

Streifen — 0,7, der gewöhnlich als äusserster Reflex-tonstreifen den Umriss bildet, ist mit 4,5 Tonschichten um 0,013 zu dunkel, mit 4 Tonschichten um 0,016 zu hell. Man wird daher mit Rücksicht auf die Einwirkung des Hintergrundes (vgl. S. 137) bei dunklerem Hintergrund die 4,5 Tonschichten, bei hellerem die 4 Tonschichten gelten lassen; in beiden Fällen wird die kleine Abweichung von der berechneten Lichtstufe in Verbindung mit dem Gegensatz zum Hintergrund nur förderlich sein. Wo eine Lichtstufe — 0 vorkommt, welche die Tonschichtenzahl 4 zu erhalten hat, muss für den Streifen — 0,7 die Zahl 4,5 bleiben.

Für die Lichtstufe + 4 können offenbar weniger als 7 oder allenfalls 6 einfache Tonschichten niemals genügen. Die Lichtstärke + 1 kann nicht weniger als einen Ton erhalten, und wenn die Schritte zwischen den Reflex-tönen durch einen Ton erzielt werden, so können diejenigen zwischen den Lichttönen nicht weniger als zwei Töne erfordern. Die Lichtstufen ergeben sich also nach Tafel I (unter der Voraussetzung, dass im wesentlichen ein einfacher Farbton wiederholt aufgetragen werden soll) zugleich mit dem geringsten Arbeitsaufwand. Diesem Zweck dient auch die Verstärkung des Tons auf 1,5 in den drei letzten Tonschichten, ohne welche 13 oder 14 Aufträge nötig wären.

In ähnlicher Weise wie aus Tafel D mit Benützung der Tafel H die Tafel I abgeleitet ist, liessen sich auch aus den Tafeln C, E, F Lichtstufenpläne ableiten und dadurch andere Reflex- und Schlagschattenwirkungen erzielen. Doch ist hier ein näherer Weg hiezu gewählt; die Lichtstufenzahlen sind unter Beibehaltung einer gesetzmässigen Reihe nach Schätzung geändert. Zunächst ist in folgender Tafel L das Ergebnis der Tafel I in einer Form wiederholt, welche die Uebergänge bei beleuchteten und im Schlagschatten befindlichen Körpern leichter verfolgen und vergleichen lässt.

Tafel L	Licht und Körperschatten			Schlagschatten und Körperschatten		
	Kappe	+ 0 h	erhält 0 Töne	Kappe	+ 0 s	erhält 13 Töne
	Streifen	+ 0,7	„ 0,5 „	Streifen	+ 0,7 s	„ 12,5 „
	„	+ 1,5	„ 1 „	„	+ 1,5 s	„ 11 „
	„	+ 2,5	„ 2,5 Töne	„	+ 2,5 s	„ 9,5 „
	„	+ 3,5	„ 4,5 „	„	+ 3,5 s	„ 8 „
	„	— 3,5	„ 7 „	„	— 3,5	„ 7 „
	„	— 2,5	„ 6 „	„	— 2,5	„ 6 „
	„	— 1,5	„ 5 „	„	— 1,5	„ 5 „
	„	— 0,7	„ 4,5 „	„	— 0,7	„ 4,5 „
	Kappe	— 0 r	„ 4 „	Kappe	— 0 r	„ 4 „

b) Tonschichtenpläne für veränderte Reflex- und Schlagschattenwirkung, Tafeln M, N und O.

Die auf Körper- und Schlagschatten gerichteten Zahlen der Tafel L gestatten unmittelbar die Veränderungen, welche einer andern Reflex- und Schlagschattenwirkung entsprechen. Sie können nicht viel von dem auf dem zuerst angedeuteten Weg erhältlichen verschieden sein.

Schwächere Schlagschatten in Verbindung mit einer minder starken Reflexerhellung können gewählt werden im Wunsch nach einer ruhigeren Haltung der ganzen Schattierung, welche die Schattenflächen als in sich nur wenig gegliederte Masse den Lichtflächen entgegensetzen will. Auch grosse Ausdehnung der Schlagschattenfläche gegenüber der Lichtfläche kann ein Grund sein, die Schlagschatten heller zu halten, um kein zu dunkles Bild zu bekommen. Dabei kann die Reflexwirkung sowohl der Tafel L als der Tafel M entnommen sein.

Sehr starke Schlagschatten in Verbindung mit schwacher Reflexerhellung wären etwa zu wählen bei Darstellungen auf sehr dunklem Hintergrund, in welchen die Schlagschattenflächen nur auf kleine vereinzelt stehende Flächenstücke beschränkt sind. Der Gegensatz zum Hintergrund lässt die schwache Reflexerhellung weit stärker erscheinen.

Hellere Reflexe als diejenigen der Tafel L kann ein sehr lichter Hintergrund erfordern, der sie infolge des Gegensatzes minder hell aussehen lässt als sie sind, oder auch die Beschränkung der Reflexöne auf sehr schmale Streifen.

In allen Fällen kann der Grundton selbst noch sehr verschieden stark gewählt werden, z. B. bei dunklem Hintergrund stärker als bei hellem; bei Körpern, welche durchscheinenden Stoff oder sehr lichte Körperfarbe zeigen sollen, weit heller und in Verbindung mit milderen Schlagschatten. Allen angedeuteten besonderen Fällen ist im folgenden durch weitere Tafeln für die Tonschichten Rechnung getragen.

Schwächere Schlagschatten in Verbindung mit minder starker Reflexerhellung liefert Tafel M.

Tafel M	Licht und Körperschatten		Schlagschatten	
	Kappe	+ oh erhält 0 Töne	Kappe	+ os erhält 11 Töne
	Streifen	+ 0,7 „ 0,5 „	Streifen	+ 0,7 s „ 10,5 „
	„	+ 1,5 „ 1 Ton	„	+ 1,5 s „ 10 „
	„	+ 2,5 „ 2,5 Töne	„	+ 2,5 s „ 9 „
	„	+ 3,5 „ 4,5 „	„	+ 3,5 s „ 8 „
	„	— 3,5 „ 7 „	„	— 3,5 „ 7 „
	„	— 2,5 „ 6,5 „	„	— 2,5 „ 6,5 „
	„	— 1,5 „ 6 „	„	— 1,5 „ 6 „
	„	— 0,7 „ 5,5 „	„	— 0,7 „ 5,5 „
	Kappe	— 0 „ 5 „	Kappe	— 0 „ 5 „

Tafel N. Abänderung der Tafel L für sehr starke Schlagschatten bei gleichbleibenden Licht- und Reflexönen:

— 3,5 erhält 7 Töne, + 3,5 s erhält 9 Töne, + 2,5 s erhält 11 Töne, + 1,5 s erhält 13 Töne, + 0,7 s erhält 14 Töne, + 0 s erhält 15 Töne.

Tafel O. Abänderung der Tafel L für sehr starke Reflexerhellung bei gleichbleibenden Licht- und Schlagschattentönen:

— 3,5 erhält 7 Töne, — 2,5 erhält 6 Töne, — 1,5 erhält 4,5 Töne, — 0,7 erhält 3 Töne.

c) Tonschichtenpläne mit Beschränkung auf einen unveränderlichen Grundton, Tafeln P und R.

Nach den oben aufgestellten Tafeln sind 3 oder 4 Maltöne notwendig, wenn auch im Wesentlichen ein Ton die

Güller, Schattenkonstruktionslehre und Beleuchtungskunde.

Schattierung erzeugt. Es kann gewünscht werden, die Schattierung durchaus mit einem Ton durchzuführen, um der Beurteilung durch das Gefühl, solange es noch nicht ausgebildet ist, möglichst wenig überlassen zu müssen, und in der That wird am häufigsten in dieser Weise schattiert. Eine Untersuchung mit Hilfe der Tafeln G und H lehrt jedoch, dass es unmöglich ist, mit einem einzigen unveränderlichen Ton die Lichtstufen nach den Zahlenwerten der Tafel D samt derjenigen des Streifens + 0,7 im Licht befriedigend zu erzielen, ohne zu einer zu grossen Zahl von Tonschichten greifen zu müssen. Der genannte Streifen müsste unvermeidlich einen Ton, daher der Streifen + 1,5 zwei und der Streifen — 3,5 mit dem Streiflicht schon etwa 18 Töne erhalten, was für die dunkelsten Schlagschatten über 30 bedeuten würde. Also bedarf wenigstens die nachträglich eingeschaltete unganzzahlige Lichtstufe einer besonderen Behandlung.

Unter dieser Voraussetzung geben die folgenden Tonschichtenpläne P und R befriedigende Zahlenwertreihen.

Auf die ganze Fläche mit Ausnahme der Kappe + 0 im Licht wird ein leichter, etwa mit 0,4 zu bewertender Ton gelegt, der später den Streifen + 0,7 für sich allein bildet und zugleich die ohnehin erforderliche Eineuchtung des Papiers erzielt; hierauf werden mit dem unveränderlichen Grundton 1 folgende Tonschichten gebildet.			
Tafel P	Licht und Körperschatten		Schlagschatten und Körperschatten
	Kappe	+ oh erhält 0 Töne	Kappe + os erhält 12 Töne
	Streifen	+ 0,7 „ 0 „	Streifen + 0,7 s „ 11 „
	„	+ 1,5 „ 1 Ton	„ + 1,5 s „ 10 „
	„	+ 2,5 „ 2 Töne	„ + 2,5 s „ 9 „
	„	+ 3,5 „ 4 „	„ + 3,5 s „ 8 „
	„	— 3,5 „ 7 „	„ — 3,5 „ 7 „
	„	— 2,5 „ 6 „	„ — 2,5 „ 6 „
	„	— 1,5 „ 5 „	„ — 1,5 „ 5 „
	„	— 0,7 „ 4 „	„ — 0,7 „ 4 „

Um diese Tonschichtenzahlen zu erhalten, benützt man zunächst die 8 ersten Horizontalreihen der Tafel I unverändert; hierauf erscheinen als Tonschichte IX die 4 letzten Vertikalreihen je mit 1, als Tonschichte X die 3 letzten, als XI die 2 letzten, als XII die letzte.

Auf die Streifen + 0,7 und + 1,5 im Licht wird zuerst ein leichter, etwa mit 0,5 zu bewertender Ton gelegt; dann sind mit dem Grundton 1 folgende Tonschichten zu bilden.

Tafel R	Licht und Körperschatten		Schlagschatten und Körperschatten
	Kappe	+ oh erhält 0 Töne	Kappe + os erhält 13 Töne
	Streifen	+ 0,7 „ 0 „	Streifen + 0,7 s „ 12 „
	„	+ 1,5 „ 1 Ton	„ + 1,5 s „ 11 „
	„	+ 2,5 „ 3 Töne	„ + 2,5 s „ 10 „
	„	+ 3,5 „ 5 „	„ + 3,5 s „ 9 „
	„	— 3,5 „ 8 „	„ — 3,5 „ 8 „
	„	— 2,5 „ 7 „	„ — 2,5 „ 7 „
	„	— 1,5 „ 6 „	„ — 1,5 „ 6 „
	„	— 0,7 „ 5 „	„ — 0,7 „ 5 „
	Kappe	— 0 r „ 4 „	Kappe — 0 r „ 4 „

d) Tonschichtenpläne mit möglichst wenigen Tonschichten, Tafeln S und T.

Man könnte die Zahl der 12 oder 13 Tonschichten durch Einführungen von Doppeltönen oder sogar dreifachen Tönen herabzudrücken suchen. Bei Darstellungen in klei-

nem Massstab, bei denen ohnehin die gefühlsmässige Schätzung der Tonstärken mehr einzutreten hat, wird man hiedurch in der That Arbeit sparen können, ohne dem Verhältnis der Lichtstufen zu schaden; das weniger häufige Ueberlegen der Fläche mit Maltönen wird in diesem Fall sogar günstiger sein. Für grösseren Massstab ist jedoch diese Abkürzung kaum je ein Gewinn, da das Einschalten richtiger einfacher Töne zur Herstellung der Uebergänge der von den Doppeltönen erzeugten Stufen schwierig ist. Ein Wasserfarbton kann immer erst beurteilt werden, nachdem er aufgetrocknet ist, und er findet sich im vorliegenden Fall gewöhnlich zu dunkel oder zu hell, so dass der erhaltene Uebergangston sich der stetigen Reihe nicht einpasst und Nachbesserungen entweder für sich selbst oder für die Nachbarstreifen fordert.

Ein für kleineren Massstab der Darstellungen geeigneter Tonschichtenplan mit Doppeltönen, der sich der grösseren Ausdehnung der Lichtfläche vom hellsten Punkt aus noch etwas mehr anschliesst als die früheren, ist in folgender Tafel S gegeben. Es erscheinen hier im Maximum acht Tonschichten; die Licht- und Reflexstöne sind nur bis zu drei- und viermal zu überlegen.

Nr.	Tafel S												
	+0	+0,7	+1,5	+2,5	+3,5	+3,5	+2,5	+1,5	+0,7	+3,5s	+2,5s	+1,5s	+0,7s
I	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
II	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
III	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
IV	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
V	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
VI	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
VII	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
VIII	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	0	0,5	1	2	4	6	5	4	3	7	8,5	10	11

In folgender Tafel T ist die Zahl der Tonschichten auf 5 herabgedrückt, indem ein sechsfacher Ton für Streiflicht und Schlagschatten den doppelten und einfachen vorangestellt ist.

Nr.	Tafel T												
	+0	+0,7	+1,5	+2,5	+3,5	+3,5	+2,5	+1,5	+0,7	+3,5s	+2,5s	+1,5s	+0,7s
I	.	.	.	.	.	6	.	.	.	6	6	6	6
II	.	.	.	.	.	2	.	.	.	2	2	2	2
III	.	.	.	.	.	2	.	.	.	2	2	2	2
IV	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	1	1	1
V	.	.	.	.	.	0,5	.	.	.	0,5	0,5	0,5	0,5
	0	0,5	1	2	4	6	5	4	3	7	8,5	10	11

e) Tonschichtenplan mit Annäherung an die Sonnenbeleuchtung, Tafel U.

Nach Seite 89 ist die Schattierung der Raumgebilde bei Sonnenbeleuchtung von der im früheren abgeleiteten dadurch unterschieden, dass die hellere Lichtfläche sich im ganzen weiter ausdehnt, in sich weniger veränderlich ist und mit einer schmalen Uebergangszone fast sprunghaft in das Streiflicht führt; die Reflexe sind bei Fehlen zufälliger Reflexlichtquellen nur wenig erhellt. *) Auch

*) Aus dieser Tatsache ist es wohl zu erklären, dass die Schattierung ohne Lichtstufen, ausschliesslich mit einem unveränderlichen Körperschatten-

noch bei minder starker Parallelbeleuchtung sind diese unterscheidenden Merkmale der Schattierung der Wirklichkeit zu beobachten, wenn auch in weit geringerem Grad. Es ist zu wiederholen, dass sie in der Darstellung nachgebildet der Formdeutlichkeit und guten Modellierung der Gebilde minder zuträglich sind, als die aus dem Sinusgesetz abgeleitete Schattierung, wofür der zu vermutende Grund in der Anmerkung auf Seite 143 ausgesprochen ist. Wenn jedoch im Streben nach der Nachbildung der Wirklichkeit, etwa für mehr künstlerische Zwecke, eine solche mehr mit dem Gegensatz als mit Uebergängen wirkende Schattierung gewählt werden will, so dürfte etwa folgender Tonschichtenplan (Tafel U) hierzu geeignet sein. Schon bei kleinerem Massstab ist eine Zwischenstufenlinie + 3,5 einzuführen.

Nr.	Tafel U												
	+0	+0,7	+1,5	+2,5	+3,5	+3,5s	+2,5	+1,5	+0,7	+3,5s	+2,5s	+1,5s	+0,7s
I	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
II	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
III	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
IV	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
V	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
VI	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
VII	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
VIII	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
IX	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
XI	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	0	0,5	1	2	3,5	5	7	6	5,5	5	8	9	10

Mit der Wahl des Doppeltones 2 hat man ein Mittel, die Schlagschatten etwas minder dunkel zu erhalten, was noch mehr der Wirklichkeit sich anschliesst.

Von allen Tonschichtenplänen dürfte derjenige der Tafel I mit dem in Tafel L zusammengefassten Resultat in den meisten Fällen der beste sein, und für das Schattieren mit einem unveränderlichen Ton derjenige der Tafel P. Die früher genannten Zufälligkeiten im Zustand des Papiers, in der Pinselfüllung u. s. w. dürften jedoch nur selten gestatten, das ausschliesslich mit den Tonschichten dieser oder der andern Tafeln erzielte Bild ganz unverändert zu lassen; kleine Nachbesserungen werden sich meist als notwendig erweisen. In Beziehung auf die in den vier Lichtdrucktafeln erscheinenden Lichtstufen ist daran zu erinnern, dass die Wiedergabe einer getuschten Zeichnung durch Photographie und Lichtdruck das Verhältnis der Maltöne zuweilen etwas verändert.

ton, Schlagschattenton, auch wohl Lichtton, meist für sich allein schon eine ganz gute Anschauung der Formen eines in nicht zu grossem Massstab dargestellten Körpers zu geben vermag. Ein so einfach schattiertes Bild erweckt die Vorstellung der bei starker Sonnenbeleuchtung auftretenden Schattierung und damit der Körperformen. Schon in mässiger Entfernung gesehen, macht bei solcher Beleuchtung der Raumgebilde die Uebergangszone von Licht zu Schatten fast den Eindruck einer scharfen Linie, wie sie bei jener Darstellungsweise gezeichnet wird. Als bezeichnende Beispiele für eine mit diesen einfachsten Mitteln erzielte gute Anschauung der Formen können etwa die Figuren 30b, 71c, 70a und 73 gelten.

120. Grosse ebene Flächen.

Wo grosse ebene Flächen auftreten, wird man sich auf diesen das stufenweise Erzeugen der Lichtstufen meist besser durch einen einmal aufgetragenen stärkeren Ton ersparen. Bei der Säulenordnung auf der vierten Lichtdrucktafel und der Balustrade auf der zweiten lag es nahe, zuerst die Drehungsflächen durch wiederholt aufgetragene Töne in der oben beschriebenen Weise zu schattieren und zuzusehen, welche Stärke des Tons sich hiebei für die Lichtstufen von Licht und Schlagschatten auf den vertikalen Ebenen ergab; der hiebei erscheinende Lichtton + 1,7 konnte ganz wohl mit einer Tonschicht, die Schlagschattentöne wenigstens mit zweien oder dreien erzeugt werden. Auf für anders gerichtete grosse Ebenen ist dasselbe Verfahren als arbeitssparend zu empfehlen.

121. Luftperspektive.

Bei Darstellungen eben begrenzter Körper ist eine Andeutung von Luftperspektive der Wirkung und Anschaulichkeit der Bilder meist förderlich. Sie besteht darin, dass in den ferner liegenden Teilen des räumlich vor dem Auge stehend gedachten Körpers die hellsten Lichtstufen etwas weniger hell, die dunkleren etwas weniger dunkel gehalten, also die Gegensätze gemildert und die stärksten Kontraste den meist gegen das Auge vortretenden Partien vorbehalten werden. Auf dem Sternikosaeder der ersten Lichtdrucktafel waren z. B. die zwei Spitzen links oben und ganz oben am Umriss in Licht und Schatten etwas zu dämpfen, auf der vordersten Spitze dagegen das weisse Papier als Lichtfläche festzuhalten und der Schatten kräftiger daneben zu setzen, als er sonst auf derselben Ebene erscheint.

Körper mit gekrümmten Flächen bedürfen dieses Hilfsmittels seltener, indem hier meist Auswölbungen den Umriss bilden und die Abnahme der Lichtstufe unmittelbar den Eindruck des Zurücktretens und der Verkürzung der Fläche erzeugt.

122. Winke für das Zeichnen, Malen und Schraffieren.

Die Umrisslinien und Kanten des darzustellenden Gegenstandes werden für das Schattieren mit den feineren Lichtstufen am besten nur in Bleistift oder bei kleinerem Massstabe mit blassem Tusch gezeichnet, die Lichtstufenlinien entweder nur leicht in Bleistift oder mit der Feder sehr blass in dem für das Malen gewählten Farbton ausgezogen.

Zum Auftragen der Lichtstufen mit dem Pinsel eignen sich alle nicht zu lebhaften Wasserfarben, insbesondere Tusch für sich allein oder gemischt mit Karmin, preussisch Blau oder Neutraltinte, ferner Sepia als natürliche oder schon in der Farbtafel mit Karmin gemengte (sogenannte warme) oder mit Rotgelb gemengte (kolorierte) oder erst in der Farbenschale mit Karmin oder gebrannter Terra

di Siena zu mengende Sepia, endlich Neutraltinte entweder ins Blaue oder ins Rötliche spielend, auch wohl erst in der Farbenschale gemischt mit preussisch Blau oder Karmin. Die erst in der Farbenschale vorzunehmenden Mischungen bringen die Gefahr mit sich, bei neuem Bereiten das alte Verhältnis beider Farben nicht genau wiederzufinden. Bei Mischungen gerinnt auch die Farbflüssigkeit leichter als bei Verwendung einer einzigen Farbtafel.

Zum Malen mit Wasserfarben eignet sich etwas rauhes, wenig geleimtes Papier, insbesondere das englische Whatmanpapier; auf glattem, stark geleimtem Papier ist es weit schwieriger, ja zuweilen auch dem Geübten fast unmöglich, klare, fleckenlose Töne zu erhalten. (Bei Vervielfältigung einer gemalten Darstellung durch Photographie oder Lichtdruck ist übrigens rauhes Gefüge des Papiers dem Lichtbild nicht zuträglich.) Bei dunkleren Tönen ist ein vorhergehendes Einfeuchten der Fläche durch Auftragen reinen Wassers mit dem Pinsel, nach dessen Aufdrehen der Ton sofort aufzulegen ist, als ein Hilfsmittel zur Vermeidung von Wolken und Flecken sehr zu empfehlen.

Flüssiges Malen, das heisst Malen mit starkgefülltem Pinsel, bringt die Farbtöne ansprechender, voller, durchsichtiger zur Erscheinung; bei zu trockenem Auftragen ist nicht nur die Gefahr der Streifen- und Fleckenbildung grösser, sondern die Fläche sieht auch leicht unscheinbar und wie bestäubt aus. Doch drängt beim flüssigen Malen die aufdrehende Farbe stark gegen ihren Rand, so dass dieser besonders nach Auftragen mehrerer Töne leicht eine schwarze und unreine Linie bildet. Man vermindert diesen Uebelstand einigermaßen, indem man mit den später aufzutragenden Tönen sich ein wenig vom Rand entfernt hält; übrigens lassen sich auch die schon schwarz gewordenen Randlinien wieder reinigen, indem man sie mit dem spitzigen Pinsel leicht mit Wasser einfeuchtet und dieses beim beginnenden Aufdrehen mit Fliesspapier, das durch Streichen mit dem Fingernagel oder Falzbein aufgedrückt wird, wieder aufsaugt.

Es ist zu empfehlen, nach je drei oder vier Tonschichten, wenn sie gut ins Papier eingetrocknet sind, und ebenso bei jedem Wiederbeginn der unterbrochenen Arbeit, die gemalte Fläche mit dem Schwamm oder einem grossen Pinsel satt einzufeuchten, sowohl um die vorgenannten Ränder zu beseitigen, als die gewöhnlich vorhandenen Unregelmässigkeiten der Tonschichten auszugleichen. Dieses Einfeuchten, das auch das Auflegen der nachfolgenden Töne erleichtert, soll jedoch kein vollständiges Waschen sein, sondern möglichst ohne Aufdrücken von Schwamm oder Pinsel vorgenommen werden. Wenn es die Töne erheblich abschwächt, so erhält man leicht eine stumpfe, kraftlose Schattierung.

Hier ist zu wiederholen, dass bei flüssigem Malen die Töne etwas dunkler zum Vorschein kommen als bei minder stark gefülltem Pinsel, so dass man mit dem mehr oder minder flüssigen Malen innerhalb enger Grenzen ein weiteres Hilfsmittel hat, die Abstufung der Farbtöne zu beeinflussen und noch häufiger sie unfreiwillig beeinflusst. Von noch grösserer Wirkung in dieser Rich-

tung ist aber der mehr oder minder trockene Zustand des Papiers. Auf feuchter Papierfläche kommt ein Ton viel heller als auf stark ausgetrockneter, da diese die Farbflüssigkeit begieriger und reichlicher ansaugt. Ist also ein Ton kaum aufgetrocknet, wenn man den folgenden auflegt, so wirkt dieser weit schwächer; er scheint oft vom vorhergehenden fast ebensoviel wieder wegzunehmen als er selber hinzubringt; wenn aber ein Ton erst andern Tags aufgelegt wird, so wirkt er schon mit geringerer Stärke sehr lebhaft. Daher ist der mehr oder minder trockene Zustand des Papiers bei jeder Wahl der Tonstärke wohl zu beachten; daher hat ein oftmaliges oder längeres Unterbrechen der Arbeit des Farbtonauftragens meistens zur Folge, dass man nicht ohne einiges Nachbessern zum Ziel kommt.

Für das Schattieren mit Strichlagen ist glattes, gutgeleimtes, kräftiges, sorgfältig aufgespanntes Papier, tiefschwarzer Tusch und eine gutgeschliffene Reissfeder notwendig. Bei Verwendung eines Schraffierlineals soll um die Zeichnung herum reichlich Papierfläche vorhanden sein, da die Bewegung des Apparats durch die geringste Unebenheit gehemmt und dadurch die Strichweite beeinflusst oder sogar eine Drehung der Strichrichtung hervorgerufen wird. Die Lichtstufenlinien sind gewöhnlich nur mit Bleistift vorzuzeichnen; bei Darstellungen in kleinerem Massstab kann das Ausziehen mit der Feder der grösseren Klarheit wegen günstiger sein.

Auftragen der Lichtstufen mit je einem Ton. 123.

Die beschriebene Schattierung mit Lichtstufen ist ein vorzügliches Hilfsmittel, die ästhetische Wirkung auszuführender Gebilde mit mathematisch bestimmten Flächen zu erproben und schwieriger vorstellbare Raumformen ohne Modelle der Anschauung näher zu bringen. Ihre Vorzüge könnten sowohl nach ihrem Wert für das praktische Schaffen, als auch für den auf mathematische Raumgebilde zielenden Unterricht in grösserem Umfang ausgenützt werden, wenn für den Fall der gleichzeitigen Herstellung vieler Lichtstufenbilder das Auftragen der Maltöne auf kleineren Arbeitsverbrauch herabgedrückt und von all den Zufälligkeiten und Gefahren befreit würde, die beim Malen mit Wasserfarbtönen das Resultat so leicht verändern oder in Frage stellen. Es dürfte nun in der That nicht schwer sein, in einem Malverfahren mit deckenden Farbtönen die 15, genauer betrachtet 13 Lichtstufen ein- für allemal in grösseren Mengen derart herzustellen, dass jede Lichtstufe durch einmaliges Auftragen ihres Farbtöns fleckenlos, deckend und immer unverändert richtig erhalten würde. Für Formen in grösserem Massstab, welche neben den 13 Grundtönen noch diejenigen für die in Art. 114 erwähnten Zwischenstreifen $+ 1,75 + 2,75$ u. s. w. erfordern, würden die Zwischentöne je durch Mischen gleicher Mengen der zwei nächstliegenden Farbtöne erhalten, so man auch für solche Formen mit den 13 Tönen ausreichen könnte.