Folio-Kapsel: „Technische Hochschule, Stuttgart, Schriften"; am Schluss des Faches der Wirt. Gesch.

Einladungs-Schrift

der K. Polytechnischen Schule in Stuttgart

zu der

Feier des Geburtsfestes

Seiner Majestät des Königs

Wilhelm von Würtemberg

auf den 27. September 1855.

Mit einer Abhandlung

über das Schattiren der Oberflächen regelmässiger Körper

von

Professor **J. Egle**,

Lehrer für architectonische Fächer und für Architecturzeichnen.

Mit 1 Figurentafel.

Stuttgart.

Druck der J. B. Metzler'schen Buchdruckerei.

1855.

15

Abhandlung

über das Schattiren der Oberflächen regelmässiger Körper.

§. 1.

Vorbemerkungen.

Wenn man die zahlreichen Schriften betrachtet, welche fast täglich über einzelne Zweige der malerischen Darstellung räumlicher Gegenstände, namentlich über Linearperspective und über Construction von Schlagschatten-Conturen, veröffentlicht werden, so fällt es auf, dass im Vergleich damit bisher fast nichts für eine wissenschaftliche Behandlung des Schattirens selbst, d. h. der Abstufung des Lichts und der Farben auf Flächen geschehen ist.

Im Allgemeinen ging man in dieser Beziehung bis jetzt kaum weiter, als dass man die Berührungslinien der Lichtstrahlen mit den Flächen und ausserdem noch die hellsten Punkte, oder auch die Glanzpunkte bestimmte, die ganze Flächenschattirung selbst aber wesentlich nur dem Gefühle oder einer gewissen Routine überliess. Als weitere Anhaltspunkte benützte man dabei allenfalls nur noch folgende, ganz allgemein gehaltene, und in dieser Allgemeinheit völlig ungenügende Sätze:

1) In der Nähe des hellsten Punktes oder, nach anderen Autoritäten, des Glanzpunktes ist das Licht am stärksten.
2) Dasselbe nimmt von da an ab bis zur Berührungslinie, hinter derselben nimmt die Helle jedoch, freilich in einem weit geringeren Grade, wieder zu (bis wohin, wurde in der Regel nicht gesagt).
3) Der Schlagschatten ist im Allgemeinen dunkler, als die Schattenseiten des Körpers, seine Intensität nimmt in derselben Richtung zu, wie die Intensität des Lichts.
4) Mit Rücksicht auf die Luftperspective sind entferntere Gegenstände im Licht dunkler, im Schatten heller.

Es versteht sich von selbst, dass, auf solche Grundlagen basirt, namentlich die Unterrichtsertheilung im Schattiren ebenso mühsam als undankbar war. Man war dabei hauptsächlich auf das Copiren von Vorlegeblättern und auf das Beobachten der Lichtwirkung in der Natur angewiesen, da das direkte Zeichnen nach dem Runden, wenigstens für Sonnenbeleuchtung, wegen des sich fortwährend ändernden Sonnenstandes nicht möglich war. Die Schüler kamen dabei nur sehr langsam und unsicher vorwärts; die Herstellung einer Zeichnung kostete wegen der Unsicherheit, mit der gearbeitet wurde, sehr viele Zeit; die erzielten Resultate waren gering, und der Lehrer dennoch auf's Aeusserste in Anspruch genommen; denn wenn derselbe nicht zufällig eine hinlängliche Anzahl von Vorlagen hatte, um einen jeden Gegenstand in verschiedenen Stadien der Schattirung zeigen zu können, so musste er in jedem einzelnen Falle dem Schüler die Arbeit nahezu Ton für Ton speziell erläutern.

Wenn somit diese Methode selbst in der Hand geübter, künstlerisch gebildeter und eifriger Lehrer ungenügend war, so war sie dieses in noch viel höherem Maasse in der Hand eines minder befähigten Lehrers. Denn ein solcher musste am leichtesten in Versuchung kommen, seine Unerfahrenheit und Unkenntniss in Bezug auf die Nuancirung des Lichts durch mehr oder weniger subjective Regeln zu ersetzen, welche bald auf eine grasse Uebertreibung der Luftperspective, bald auf eine geschmacklose Benützung der Contraste führten, während die Natur der schattirten Flächen oft nur aus deren Conturen und sonstigen linearen Merkmalen gefolgert, keineswegs aber, wie das seyn sollte, aus der Schattirung augenblicklich erkannt werden konnte.

Diesem haltlosen Zustande gegenüber haben namentlich einige Franzosen eine wissenschaftliche Behandlung der Flächenschattirung zu begründen versucht. Unter den bekannten darauf abzielenden Abhandlungen ist diejenige die bedeutendste, welche in Leroy's Stereotomie enthalten ist. Dieselbe behandelt diesen Gegenstand mit der möglichsten wissenschaftlichen Strenge; allein durch die Aufnahme eines möglichen, aber noch nicht genügend nachgewiesenen, und bei matten Flächen jedenfalls nur geringen Unterschiedes zwischen der absoluten und scheinbaren Helle der Flächenelemente in dieselbe wurden die entwickelten Formeln so complicirt, dass Leroy selbst von der Anwendung derselben auf specielle Fälle abstrahiren musste.

Da somit auch durch die Leroy'sche Arbeit für die Praxis des Schattirens lediglich nichts gewonnen wurde, und da es bei der immerhin nicht geringen praktischen Bedeutung des Gegenstandes von Werth ist, wenigstens eine annähernd richtige Methode, die aber leicht und ohne grossen Zeitaufwand auszuführen seyn muss, zu gewinnen; so hat es der Verfasser dieser Abhandlung für angemessen gehalten, im Nachfolgenden die Grundzüge derjenigen Behandlung der Flächenschattirung mitzutheilen, welche er seit vier Jahren bei der Unterrichtsertheilung im architectonischen Zeichnen angewendet hat, und mittelst welcher er von fast allen Flächen, wie nicht minder von Flächenzusammenstellungen, Bilder erhalten hat, wie sie auf anderen Wegen mit Anfängern im Zeichnen schwerlich zu erreichen gewesen wären.

§. 2.

Prämissen für die Flächenschattirung.

Für den vorliegenden Zweck kann davon abgesehen werden, auf welche Weise man sich die Lichterscheinung zu erklären habe. Es genügt von den unbestrittenen Annahmen auszugehen:

1) dass sich die Lichtstrahlen im gleichen Medium nach geraden Linien verbreiten, und dass bei dem Zurückwerfen Ein- und Ausfallswinkel gleich sind.

2) Dass die absolute Helle eines Flächenelementes abhängt:
   a) von der Intensität der erhellenden Lichtstrahlen,
   b) von der Menge derselben, welche das Element trifft und
   c) von der Beschaffenheit der erhellten Fläche, bezüglich ihrer Contextur und Farbe, und von der Beschaffenheit des Körpers, der von der Fläche begrenzt ist.

Die Vergleichung der Hellen von Oberflächen verschiedener Farbe und Contextur entzieht sich aus naheliegenden Gründen einer streng wissenschaftlichen Durchführung, und muss desshalb im Nachfolgenden unberücksichtigt bleiben.

Dagegen ist die Vergleichung der **absoluten Helle** von den Elementen gleichartiger Oberflächen für die Region des direkten Lichts mehr oder minder leicht zu bewerkstelligen, je nachdem man sich das Licht von der Sonne oder von einer in geringer Entfernung von dem beleuchteten Gegenstande befindlichen Lichtquelle ausgehend denkt.

Weitaus in den meisten Fällen wird man es mit dem Sonnenlicht zu thun haben und dieses wird desshalb in der vorliegenden Abhandlung um so mehr ausschliesslich berücksichtigt werden, als, abgesehen von der geringeren praktischen Bedeutung der Centralbeleuchtung, die auf diese basirten Constructionen viel zu complizirt werden, um eine praktische Anwendung zuzulassen.

Wegen der grossen Entfernung der Sonne, welche im Vergleich mit der kleinen Dimension der in Betracht kommenden Flächen fast als unendlich angesehen werden darf, kann die Grösse der Sonnenscheibe füglich unberücksichtigt bleiben und ausserdem angenommen werden, dass alle Sonnenstrahlen nicht blos parallel, sondern auch gleich stark seyen.

Für gleichartige Körperflächen und für Sonnenbeleuchtung wird man also annehmen können, dass sich die absoluten Hellen direkt verhalten, wie die Strahlenmengen, oder wie die normalen Querschnitte der Strahlenbüschel, welche gleich grosse Flächenelemente erhellen.

In soferne es sich nun aber bei dem Schattiren nicht sowohl um die absolute Helle handelt, welche die Flächenelemente haben, sondern um deren scheinbare Helle, d. h. um diejenige Helle, welche sie für das Auge zu haben scheinen, so entsteht die Frage, wie sich die absolute Helle und die scheinbare Helle zu einander verhalten.

Bei der Beantwortung derselben hat man den Unterschied zwischen polirten und matten Körperflächen zu berücksichtigen. Vollkommen polirt sind solche Körperflächen, deren sämmtliche Theile mathematisch vollkommen mit der entsprechenden mathematischen Fläche zusammenfallen. Matt dagegen sind alle diejenigen Flächen, welche nur im grossen Ganzen der Form der mathematischen Fläche entsprechen, während fast alle einzelnen Elemente ihrer Contextur mehr oder weniger davon abweichen und selbstständige kleine Flächen und Flächenanhäufungen bilden, deren besondere Beschaffenheit theils von der Natur des betreffenden Stoffes, theils von anderen Ursachen abhängen kann.

Vollkommen polirte Körper werden also denjenigen Theil der auf sie fallenden Lichtstrahlen, welcher nicht absorbirt wird, vollkommen regelmässig zurückwerfen. Wenn also ein leuchtender Punkt eine solche Fläche erhellt und dieselbe z. B. eine sphärische Form hat, so wird von allen zurückgeworfenen Strahlen nur einer durch das Auge gehen, und in dem Punkte, wo dieser Strahl von der Fläche ausgeht, wird das stark erhellte Spiegelbild des leuchtenden Punktes sein. Alle übrigen Punkte der Fläche werden vollkommen dunkel erscheinen, falls dieselbe nicht auch noch von andern Punkten Licht erhält. Kurz, eine vollkommen polirte Fläche wird vollkommen spiegeln, man wird desshalb auf einer solchen niemals die absolute Helle des betreffenden Elementes, sondern stets nur die Helle derjenigen Gegenstände, allerdings in einem etwas abgeschwächten Grade, wahrnehmen, welche sich an der betreffenden Stelle spiegeln. Von einer eigentlichen Schattirung polirter Flächen kann also nicht die Rede seyn, wesshalb dieser Gegenstand hier nicht weiter verfolgt werden soll.

Ueber die Zurückwerfung des Lichts von matten Flächen lässt sich dagegen mit mathematischer Sicherheit nichts erweisen, denn es ist dem oben Gesagten zufolge die spezielle Natur ihrer Contextur-Elemente noch zu unbekannt. Stellt man sich die letzteren indess als selbstständige, kleine, vollkommen glatte Flächen vor, was der Wahrscheinlichkeit entspricht, so werden die Lichtstrahlen von ihnen regelmässig zurückgeworfen und dadurch auf vielen dieser Contexturelemente Sonnenbildchen erzeugt, welche noch kleiner als diese Elemente und daher jedenfalls so ausserordentlich klein sind, dass sie vor dem Auge einzeln nicht mehr erkannt werden, wohl aber in ihrer Gesammtheit auf dasselbe den Eindruck einer grösseren oder geringeren Helle hervorbringen können, je nachdem mehr oder weniger solcher Sonnenbildchen auf der Flächeneinheit vorhanden sind. Hieraus geht also hervor, dass auf matten Flächen ein Glanzpunkt nach Art des Glanzpunktes auf polirten Flächen, d. h. ein von der Form und Grösse der entsprechenden mathematischen Fläche abhängiges Spiegelbild der Sonne nicht vorhanden seyn kann. Es wird sogar bei vollkommen matten Flächen nicht einmal die grösste scheinbare Helle an der Stelle des betreffenden Punktes anzunehmen seyn. Anderseits wird aber, im Gegensatze zu den polirten Flächen, ebenfalls gefolgert werden müssen, dass von allen beleuchteten und dem Auge zugewandten Theilen matter Flächen Strahlen nach dem Auge gelangen und dass desshalb alle diese Theile sichtbar sind und verschiedene Grade scheinbarer Helle zeigen. Einem Zweifel kann es ferner ebenfalls nicht unterliegen, dass unter sonst völlig gleichen Umständen die Anzahl der Sonnenbildchen, welche auf einem Flächenelemente vorkommen, also, mit andern Worten, dessen scheinbare Helle der Menge der Lichtstrahlen, welche das Element erhellen, proportional ist. Zweifelhafter dagegen ist der Einfluss anderer Umstände auf die Intensität der scheinbaren Helle, nämlich die Entfernung des Elementes vom Auge und der Winkel desselben mit den Sehstrahlen. Leroy behauptet, dass die scheinbare Helle mit der Entfernung vom Auge — abgesehen von den Wirkungen der Luftperspective — abnehme, allein sein Beweis ist keineswegs überzeugend; auch wird von Anderen ein Einfluss dieses Umstandes auf die scheinbare Helle geläugnet. Dieses mag übrigens so oder so seyn, für orthogonale und selbst für perspectivische Bilder, bei welchen die Dimensionen der fraglichen Fläche im Vergleich zu der Entfernung derselben vom Auge sehr klein sind, kommt dieser Einfluss gar nicht in Betracht und in der Regel handelt es sich beim Schattiren nur um solche Bilder. Was sodann den möglichen Einfluss betrifft, den der Winkel eines Flächenelements mit den Sehstrahlen auf die scheinbare Helle ausübt, so lässt sich derselbe bei dem jetzigen Stande der Physik weder beweisen noch abläugnen. Leroy behauptet einen solchen Einfluss und nimmt an, dass die scheinbare Helle mit dem Sinus jenes Winkels abnehme; allein auch bezüglich dieses Punktes ist sein Beweis nicht überzeugend. Auch dürfte aus der obigen Erklärung über die Entstehung der scheinbaren Helle zu folgern seyn, dass dieser Einfluss, wenn er nicht durch die gleichzeitige und im gleichen Verhältnisse statt findende Abnahme der Projectionsgrösse des Elements gänzlich aufgehoben werden sollte, doch wesentlich geringer sey, als Leroy annahm. So viel scheint dem Verfasser jedenfalls wahrscheinlich, dass, wenn das einfallende Licht und die Sehstrahlen ziemlich parallel wären, der Winkel der letzteren mit den Flächenelementen ohne allen Einfluss bliebe, und dass unter allen Umständen dieser Einfluss nur dann von praktischer Bedeutung für die Schattirung werden könnte, wenn der Winkel der Lichtstrahlen mit den Sehstrahlen sehr gross wäre.

Hienach wird also gefolgert werden können, dass die theoretische Betrachtung keine genügenden Gründe an die Hand gibt, für matte Körperoberflächen etwas anderes als eine direkte Proportionalität der absoluten und scheinbaren Helle anzunehmen. Es wird desshalb im Nachfolgenden um so weniger ein Unterschied zwischen diesen beiden Hellen gemacht werden, als bei fast allen Schattirungsaufgaben jene Beschränkungen, welche die näherungsweise Richtigkeit dieses Satzes steigern, in der That vorliegen und ausserdem die Erfahrung gezeigt hat, dass alle unter dieser Voraussetzung entstehenden Bilder eine vollkommen befriedigende, plastische Wirkung hervorbringen.

§. 3.

Vergleichung der Hellen auf Ebenen, Construction von Linien gleicher Helle auf Flächen.

Es sey **a b** Fig. 1 die Ebene einer Figur, der Einfachheit wegen eines Oblongums und senkrecht zur horizontalen Projections-Ebene; **m n** sey die Richtung der zu dieser Ebene senkrechten Parallelbeleuchtung. Das Oblongum wird also von einem Strahlen-Prisma erhellt, welches von den durch die Seiten des Oblongums gehenden Strahlenebenen begrenzt ist. Denkt man sich nun diese begrenzte Ebene um die senkrechte Seite **a**, bis in die Lage **a c** gedreht, so wird sich die Breite des Strahlenprisma's, welches die Ebene in dieser Lage erhellt, auf **a' g'** reduziren, und die normalen Querschnitte dieses und des ursprünglichen Strahlenprisma's werden sich verhalten, wie **a' g' : a' b'**. Da sich aber die Hellen des Oblongums in diesen beiden Lagen verhalten, wie die Mengen der Lichtstrahlen, welche je die Erhellung bewirken, und diese, wie die Querschnitte der Prismen, so verhält sich offenbar die Helle in der Stellung **a' b'** zur Helle in der Stellung **a' c'**, wie **a' b' : a' g'**. Ebenso würden sich die Hellen in der Stellung **a' d'** und **a' c'** wie **a' f' : a' g'** verhalten etc. Nun sind aber **a' d' f'** und **a' c' g'** die Winkel der Ebenen mit den Lichtstrahlen und **a' f'** und **a' g'** den Sinusen dieser Winkel proportional, wesshalb der Satz aufgestellt werden kann:

> Die (absoluten) Hellen gleichartiger Ebenen verhalten sich, wie die Sinuse ihrer Winkel mit den Lichtstrahlen,

oder was dasselbe aussagt:

> Die (absoluten) Hellen gleichartiger Ebenen verhalten sich, wie die Cosinuse der Winkel der Lichtstrahlen mit den Normalen.

Aus diesen Sätzen und aus deren Entwickelung folgt ferner, dass alle Elemente einer Ebene dieselbe Helle haben; dessgleichen, dass gleichartige, parallele Ebenen gleiche Hellen haben.

Denkt man sich irgend eine gekrümmte Fläche und auf derselben einen beliebigen

Punkt m mit der zugehörigen tangirenden Ebene, so wird die Fläche im Punkt m mit der tangirenden Ebene zusammenfallen, wesshalb für diesen Punkt, wenn man ihn als ein Element der Fläche auffasst, das Gleiche gilt, wie für die tangirende Ebene. Man kann daher obige beiden Sätze auf alle Arten von Flächen ausdehnen und allgemein behaupten:

Auf gleichartigen Flächen verhalten sich die (absoluten) Hellen verschiedener Elemente (Punkte) wie die Sinuse der Winkel der Lichtstrahlen mit diesen Elementen; oder: wie die Cosinuse der Winkel der Lichtstrahlen mit den Normalen.

Wenn in Fig. 1 $a' f' = 1$, $a' g' = 2$ und $a' b' = 3$ ist, so verhalten sich die Hellen der Ebenen $a' e'$, $a' d'$, $a' c'$, $a' b'$ wie $0 : 1 : 2 : 3$.

Diese Hellenverhältnisse lassen sich mittelst Farbentönen genau ausdrücken, so bald man die von der Flächenbeschaffenheit abhängige Maximalhelle 3 bestimmt hat. Wäre z. B. die Intensität der Helle 3 von der Art, dass sie hervorgebracht werden könnte, indem man auf der ursprünglich schwarzen Papierfläche mit weissen Linien eine Schraffirung so anbrächte, dass die Breiten der weissen Linien denen der schwarzen Zwischenräume genau gleich wären und also die Hälfte der ganzen Fläche mit weiss bedeckt wäre, so müsste offenbar zur Hervorbringung der Helle 1 das schwarze Papier mit einer Schraffirung überzogen werden, bei welcher die weissen Linien nur $1/5$ so breit wären als die schwarzen Zwischenräume, wobei also nur $1/6$ der Fläche mit weiss bedeckt würde. Zur Hervorbringung der Helle 2 aber müssten die weissen Striche $2/6 = 1/3$ der schwarzen Fläche bedecken, während die Helle 0 offenbar durch den gänzlichen Mangel an weisser Schraffirung auszudrücken wäre.

Es versteht sich von selbst, dass man die gleichen Hellenverhältnisse auch durch respective einmaligen, zweimaligen und dreimaligen Auftrag eines entsprechend intensiven weissen Farbentons mit dem Pinsel erhalten hätte.

Auch durch das Auftragen von schwarzer Farbe (Tusche) auf weissen Grund könnte man das gleiche Resultat auf folgendem Wege erhalten: Zunächst müsste man die Stärke des hellsten Tones 3 bestimmen und damit sowohl die Ebene mit der Helle 3, als auch die 3 anderen mit den Hellen 2, 1 und 0 anlegen. Hierauf wäre ein Ton zu bestimmen, welcher über dem vorigen aufgetragen mit diesem schwarz gäbe, dieser müsste durch Verdünnung mit Wasser auf $1/3$ seiner ursprünglichen Stärke gebracht und endlich damit die Fläche von der Helle 2 einmal, die Fläche von der Helle 1 zweimal und die Fläche von der Helle 0 dreimal angelegt werden.

Auf stätig gekrümmten Flächen finden sich immer gerade Linien oder Curven, längs deren die Winkel der Lichtstrahlen mit den Normalen constant bleiben. Längs solcher Linien muss also die Helle ebenfalls constant bleiben und man nennt sie desshalb Linien gleicher (absoluter) Helle.

Construirt man auf solchen Flächen eine Anzahl von Linien gleicher Helle dergestalt, dass von einer dieser Linien zur andern immer die gleiche Hellenabstufung stattfindet, oder mit andern Worten, dass sich die Hellen verhalten wie $n : n + 1 : n + 2 : n + 3 \ldots$, so können solche Flächen in ähnlicher Art schattirt werden, wie vorhin bezüglich der Ebenen erläutert worden ist. Je mehr man Linien gleicher Helle, d. h. Lichtabstufungen dazu benützt, desto vollkommener wird die Schattirung.

Alles bisher Gesagte bezieht sich blos auf den Einfluss der direkten Sonnenstrahlen. Die Oberflächen irdischer Körper werden aber ausserdem auch noch durch solche Lichtstrahlen erhellt, welche von benachbarten festen Körpern und von der Luft oder von den in der Luft befindlichen Wassertheilchen zurückgeworfen werden. Dieses reflectirte Licht bewirkt namentlich die Erhellung und das Sichtbarwerden der Schattenseiten und der im Schlagschatten befindlichen Flächentheile, ohne dasselbe wären sowohl die ersteren als auch die letzteren absolut dunkel und unsichtbar.

Der Einfluss des Reflexlichtes von umgebenden festen Körpern lässt sich nicht wohl mathematisch behandeln und muss vorkommenden Falls der künstlerischen Schätzung überlassen bleiben.

Dagegen lässt sich der Einfluss des von der Luft und namentlich von den in der Luft befindlichen Wassertheilchen zurückgeworfenen Lichts, wenigstens annähernd, berücksichtigen. Die nicht völlig durchsichtigen Theilchen der Luft und des in derselben befindlichen Wassers werfen denjenigen Theil des Lichts, welchen sie nicht durch sich hindurchlassen, nach Art der undurchsichtigen Körper zurück. Diese Zurückwerfung findet zwar nach allen Richtungen statt, allein die Erfahrung lehrt, dass es für jeden Stand der Sonne eine Richtung gibt, in welcher diese Reflexe eine grössere Intensität haben als in jeder anderen, und diese Richtung wird der atmosphärische Hauptstrahl genannt. Der atmosphärische Hauptstrahl ist der Richtung des direkten Lichtes stets genau entgegengesetzt, und die Gesammtheit aller zurückgeworfenen Strahlen steht zu ihm in einem ähnlichen Verhältniss, wie verschiedene auf einen Punkt wirkende Kräfte zu ihrer Resultirenden. Erklären kann man sich diesen Erfahrungssatz einigermassen, wenn man sich die reflectirenden Theilchen als vollkommene Kügelchen denkt.

Sonach wird das Reflexlicht der Atmosphäre auf die Schattenseite fast ebenso einwirken, wie paralleles Licht, das eine dem direkten Licht entgegengesetzte Richtung und eine viel geringere Intensität hat, als letzteres.

Derjenige Punkt der Schattenseite, welcher von dem atmosphärischen Strahl senkrecht getroffen wird, muss also der hellste seyn und diejenigen Linien, längs welcher der atmosphärische Strahl mit der Fläche gleiche Winkel bildet, werden Linien gleicher Helle seyn. Da sich übrigens das von den Lufttheilchen reflectirte Licht thatsächlich nach allen Seiten hin verbreitet, so hört dessen Einwirkung an der Grenzlinie zwischen der Schatten- und Lichtseite keineswegs auf, vielmehr wird sich dieselbe auch noch über die ganze Lichtseite ausdehnen, wobei auf dieser die Linien gleicher direkter Helle zugleich auch Linien gleicher Reflexhelle seyn werden. Am allerschwächsten wird die Einwirkung des atmosphärischen Reflexes auf den absolut hellsten Punkt der Lichtseite seyn. Ueber die Abstufung der Reflexhelle kann jedoch mit einiger Sicherheit nur Folgendes gesagt werden: Die Intensität nimmt innerhalb der Schattenseite vom hellsten Reflexpunkte an von einer Linie gleicher Helle zur andern beständig ab, oder ab und wieder zu, je nachdem der Winkel des atmosphärischen Strahles mit der Fläche beständig ab, oder ab und wieder zunimmt. Von allen Linien gleicher Helle auf der Schattenseite hat also die Berührungslinie der Lichtstrahlen mit der Fläche die geringste Reflexhelle, welche jedoch keineswegs gleich Null, sondern immer noch ziemlich beträchtlich ist. Von dieser Linie an nimmt sodann die Wirkung des Reflexlichtes innerhalb der Lichtseite von einer Linie gleicher Helle zur andern wieder beständig ab, oder ab und wieder zu, je nachdem der Winkel des direkten Lichtes mit der Fläche beständig grösser, oder grösser und wieder kleiner wird. Auf der Lichtseite wird also die Reflexhelle in der umgekehrten Ordnung des direkten Lichtes ab- und zunehmen, und kein Punkt der Lichtseite kann so viele Reflexhelle haben, als irgend ein Punkt der Schattenseite. Die Einwirkung des Reflexlichtes auf die Lichtseite würde, genau genommen, die vorne aufgestellten Sätze bezüglich der Lichtintensitäten etwas ändern. Allein ausgenommen, dass die Helle auf der Berührungslinie nicht gleich Null und also die Reihenfolge der Lichtintensitäten durch **n**, **n** + 1, **n** + 2 u. s. w. ausgedrückt werden muss, ist dieser Einfluss von keiner praktischen Bedeutung für die vom direkten Licht wirklich erhellten Theile. Dagegen ist dieser Einfluss sichtbar und praktisch zu berücksichtigen auf denjenigen Theilen, welche im Schlagschatten sind. Die Intensitäten des Schlagschattens nehmen also in derselben Ordnung zu, wie die Intensitäten des direkten Lichts, und der dunkelste Punkt des Schlagschattens wird da seyn, wo der hellste Lichtpunkt gewesen wäre; auch werden die Linien gleicher Intensität des directen Lichts zugleich Linien gleicher Intensität des Schlagschattens seyn. Die Differenz zwischen der Helle längs der Berührungslinie und zwischen der Helle des hellsten Punktes auf der Schattenseite einerseits und des dunkelsten Punktes im Schlagschatten andrerseits hängt theils von dem Zustande der Luft, theils von der Natur der Fläche ab; sie ist also sehr veränderlich und muss desshalb in der Praxis dem künstlerischen Gefühle überlassen bleiben.

Es lassen sich somit nicht blos auf den Lichtseiten, sondern auch auf den Schattenseiten der Flächen Linien gleicher Helle construiren; während aber jene auf den Lichtseiten so angeordnet werden können, dass sie in ihrer Aufeinanderfolge ziemlich genau gleiche Hellendifferenzen repräsentiren, ist dieses auf den Schattenseiten nur näherungsweise, jedoch immerhin insoweit möglich, als es für den praktischen Zweck nöthig ist.

Zu der Construction solcher Hellenlinien kann man sich entsprechender Drehungskegel bedienen, deren Drehungsaxen Lichtstrahlen sind, und deren Oberflächen somit durchaus gleiche Helle haben. Die tangirenden Ebenen eines solchen Kegels repräsentiren sodann sämmtliche möglichen Richtungen der tangirenden Ebenen längs derjenigen Linien, welche durchaus dieselbe Helle haben, wie der betreffende Kegel, gleichviel, auf welcher Art von Flächen man sich diese Linien denken mag. Anstatt dieser Kegel könnte man sich auch derjenigen Drehungskegel bedienen, deren Axen ebenfalls Lichtstrahlen wären und deren Mantelflächen auf den Mantelflächen der ersteren Kegel senkrecht ständen. Die Mantellinien derselben würden alsdann sämmtliche möglichen Richtungen der Normalen längs der entsprechenden Linien gleicher Hellen repräsentiren. Indessen bedient man sich dieser Hilfsmittel nur in seltenen Fällen, etwa nur bei der Construction der Hellenlinien auf einem schiefen Kegel mit ganz beliebiger Leitcurve, weil die Lösung in den meisten Fällen zu umständlich und zeitraubend wird.

Weitaus das bequemste und für alle in der Praxis vorkommenden Fälle genügende Hilfsmittel für solche Constructionen ist eine Kugel, auf welcher die nöthige Anzahl von Curven gleicher Helle für gleiche Lichtdifferenzen direkt construirt worden ist. Eine solche Kugel wird für den praktischen Gebrauch in einer Grösse von etwa 6 bis 7 Zoll Durchmesser ein für allemal gezeichnet und leistet dann für den fraglichen Zweck ähnliche Dienste, wie ein Maasstab für das Auftragen von linearen Dimensionen.

Eine solche Kugel kann folgendermasen construirt werden.

Es sey **c**, Fig. 2, der Mittelpunkt der Kugel und **a c** der durch denselben gehende Lichtstrahl. **E** sey eine Seitenprojections-Ebene parallel dem Lichtstrahl und senkrecht zur horizontalen Projections-Ebene, so sind $+0$ und -0 die Durchschnittspunkte jenes Lichtstrahls mit der Kugelfläche, und also ersterer der hellste Punkt auf der Lichtseite, letzterer der hellste Punkt auf der Schattenseite. Es bedarf keines Beweises, um einzusehen, dass alle Parallelkreise, deren Ebenen auf dem Lichtstrahl senkrecht stehen, die Eigenschaft haben, dass auf allen ihren Punkten die Kugelfläche mit den Lichtstrahlen den gleichen Winkel bildet, dass sie somit Curven gleicher Helle sind und in der Seitenprojection als gerade Linien erscheinen, welche auf $a''' c'''$ senkrecht stehen. Theilt man nun den Halbmesser $(+0)\ c'''$ in eine beliebige Anzahl, z. B. 6 gleiche Theile, so bilden die durch diese Theilpunkte gezogenen Normalen $+1$, $+2$, $+3$ . . . Curven gleicher Helle für gleiche Lichtdifferenzen. Denn es seyen **f' f** und **g' g** Lichtstrahlen an die

Punkte f und g der Curven + 2 und + 5, so sind $\alpha' = a''' c''' f$ und $\alpha = a''' c''' g$, die Winkel der Lichtstrahlen mit den Normalen. Nun verhält sich aber $c''' h : c''' i = \text{Cos}\ \alpha : \text{Cos}\ \alpha'$, folglich verhalten sich auch die Lichtintensitäten längs der Curven + 5 und + 2 $= c''' h : c''' i$, und man wird also allgemein annehmen können, dass sich die Lichtintensitäten der Curven + 5, + 4, + 3, + 2, + 1, + 0 verhalten wie 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6, d. h. dass die Curven + 5 + 4 . . . . gleiche Hellendifferenzen repräsentiren. Theilt man auch den Radius c''' (— 0) in 6 gleiche Theile, so erhält man die 5 Curven — 5, — 4, — 3, — 2, — 1 als Curven gleicher Reflexhelle, welche jedoch, wie schon gesagt, nur näherungsweise gleichen Hellendifferenzen entsprechen.

Am einfachsten werden diese Curven mittelst horizontaler Parallelkreise in die horizontale und verticale Projection gebracht. Am zweckmässigsten sind dazu die durch die Punkte d, d', d'', e, e', e'' $\mathfrak{b}$, $\mathfrak{b}'$ u. s. f. gelegten Parallelkreise, weil sich längs dieser die horizontalen Projectionen der Lichtcurven auf der unteren und oberen Hälfte der Kugel schneiden.

Die horizontalen und verticalen Projectionen der Lichtcurven erscheinen als Ellipsen und könnten sehr leicht auch direkt mittelst ihrer Axen construirt werden.

Ausser den in Fig. 2 gezeichneten Curven sind für mancherlei Fälle die durch die Punkte k und l gehenden Curven, welche ziemlich genau den Hellen + 2½ und — 2½ entsprechen, von Interesse.

Zum Zweck des Schattirens architectonischer und gewerblicher Gegenstände nimmt man fast allgemein eine Richtung des Lichts an, welche sowohl in horizontaler als in verticaler Projection mit der Projectionsaxe einen Winkel von 45 Graden bildet. Es geschieht dieses desshalb, weil man erfahrungsmässig bei einer solchen Richtung die deutlichsten und schönsten Bilder erhält. Diese Lichtrichtung ist daher auch in Fig. 2 beibehalten worden.

Um nun mittelst dieser Hilfskugel die Helle irgend einer Ebene zu bestimmen, construirt man eine Normale zu letzterer, zieht durch den Kugelmittelpunkt eine Parallele mit dieser Normalen und untersucht, wo diese die Kugeloberfläche schneidet. Offenbar erhält man hiebei zwei Durchschnittspunkte, von denen der eine auf der Lichtseite, der andere auf der Schattenseite der Kugel liegt, falls jene Parallele nicht zufällig mit der Ebene desjenigen grössten Kreises zusammenfällt, welcher die Grenze zwischen der Licht- und Schattenseite ist. Da nun der Construction zufolge die Kugeloberfläche an jenen beiden Punkten mit der fraglichen Ebene parallel ist, so entspricht die Helle jener beiden Punkte der Helle dieser Ebene. Dass man für eine Ebene zwei Hellen findet, kann nicht auffallen, da in der That die zwei Seiten einer Ebene auch zwei verschiedene Hellen repräsentiren. Es versteht sich von selbst, dass die Hellen der gleichliegenden Seiten zusammengehören, und dass also für die Helle der oberen oder vorderen Seite einer Ebene auch die Helle des auf der vorderen oder oberen Hälfte der Kugel liegenden Durchschnittspunktes masgebend ist. Aus der Bezeichnung und völlig symmetrischen Lage der Curven gleicher Helle, sowohl gegen die Ebene 6 als gegen den durch den Kugelmittelpunkt gehenden Lichtstrahl folgt ferner, dass wenn man durch einen beliebigen Punkt einer beliebigen solchen Curve, welche mit + n bezeichnet ist, einen Durchmesser zieht, derselbe mit seinem anderen Ende durch einen Punkt der Curve — n gehen muss und dass also die zwei Seiten einer Ebene zwar dieselbe Hellenziffer, aber mit entgegengesetztem Zeichen erhalten müssen.

Diese Construction vereinfacht sich wesentlich, wenn die fragliche Ebene gewisse specielle Richtungen hat, z. B. senkrecht auf der horizontalen oder verticalen Projections-Ebene steht. Im ersteren von diesen beiden Fällen würde der geometrische Ort für die Hellen die Peripherie der horizontalen, im letzteren die Peripherie der verticalen Kugel-Projection seyn.

Bei der Benützung der Hilfskugel zur Bestimmung von Linien gleicher Helle auf gekrümmten Oberflächen geht man ebenfalls wieder von dem Satze aus, dass zwei sich tangirende Flächen im Tangirungspunkte parallel seyen. Denkt man sich durch den Tangirungspunkt auch noch die tangirende Ebene gelegt, so kann man folgende 4 Fälle unterscheiden:

1) Beide Flächen seyen im Tangirungspunkte entweder zugleich convex oder zugleich concav, und liegen auf derselben Seite der tangirenden Ebene, in diesem Falle ist die Helle beider Flächen auf dem Tangirungspunkte gleich.
2) Beide Flächen seyen im Tangirungspunkte entweder zugleich convex oder zugleich concav und liegen auf verschiedenen Seiten der tangirenden Ebene, in diesem Falle haben die Hellen beider Flächen zwar die gleiche Ziffer, aber mit entgegengesetzten Vorzeichen; während also die eine die Helle + n hat, ist die Helle auf der anderen — n.
3) Die eine der beiden Flächen sey im Tangirungspunkte convex, die andere concav, und beide liegen auf derselben Seite der tangirenden Ebene, in diesem Falle haben beide Flächen im Tangirungspunkte zwar wieder dieselbe Hellenziffer, aber ebenfalls mit entgegengesetztem Vorzeichen.
4) Die eine der beiden Flächen sey im Tangirungspunkt convex, die andere concav, und beide liegen auf verschiedenen Seiten der tangirenden Ebene, in diesem Falle sind die Hellen beider Flächen auf dem Tangirungspunkte gleich.

Am leichtesten ist die Bestimmung der Linien gleicher Helle auf Drehungsflächen. Man bedient sich dazu in der Regel tangirender Kugeln, deren Mittelpunkt auf der

Drehungsaxe der Fläche liegt, weil solche Kugeln die Fläche nicht blos in einem Punkte, sondern längs eines Parallelkreises berühren. Ein kleiner Unterschied in der speciellen Durchführung tritt hiebei nur ein, je nachdem man die Hellenlinien auf derjenigen Projection der Fläche erhalten will, für welche die Drehungsaxe der Projectionsebene parallel ist, oder auf derjenigen Projection, für welche die Drehungsaxe als Punkt erscheint. Andere Lagen von Drehungsflächen kommen in der Praxis selten vor.

a) Bestimmung der Hellenlinien auf derjenigen Projection einer Drehungsfläche, für welche die Axe der Projectionsebene parallel ist.

Fig. 3 sey die verticale Projection eines Systems von Drehungsflächen mit einer und derselben verticalen Axe. Der Einfachheit wegen sollen alle diese Drehungsflächen zusammen kurzweg Drehungsfläche genannt werden. Man denke sich auf der verticalen Projection der Kugel Fig. 2 einen beliebigen horizontalen Parallelkreis, etwa denjenigen, **m n**, der durch den hellsten Punkt + 0 geht, ziehe an den Hauptmeridian der Kugel für den Punkt **m** eine Tangente **r s**, hierauf an die entsprechende Seite des Hauptmeridians der Drehungsfläche Fig. 3 so viele der **r s** parallele Tangenten, als möglich sind und endlich durch die so gefundenen Tangirungspunkte die Parallelkreise I, II, III u. s. w., so können alle diese Parallelkreise als Berührungslinien der Fläche mit Kugeln angesehen werden, deren Mittelpunkte auf der Drehungsaxe liegen und auf welchen diese Parallelkreise ganz analog liegen, wie der Kreis **m n** auf der Hilfskugel Fig. 2. Wären nun auf allen jenen Kugeln entsprechende Linien gleicher Helle gezeichnet, wie auf der Kugel Fig. 2, so würden dieselben die geradlinigen Projectionen jener Parallelkreise so durchschneiden, dass auf jedem derselben die Abschnitte denen auf **m n** Fig. 2 proportional wären. Durch das proportionale Auftragen dieser Abschnitte, was mittelst der Proportionaltheilung in Fig. 4 auf einmal geschehen kann, erhält man sonach für jede von jenen Kugeln und somit auch für die Drehungsfläche selbst auf jedem von jenen Parallelkreisen Punkte der Curven + 1, + 2, + 3, + 4, + 5, ± 6, — 5, etc., und ausserdem mittelst des hier speciell benützten Kreises a l l e h e l l s t e n P u n k t e auf der Drehungsfläche.

Wendet man nun das gleiche Verfahren für andere Parallelkreise der Hilfskugel Fig. 2 an, wozu sich namentlich diejenigen eignen, welche die Hellencurven in **w**, **w'** u. s. w. berühren, indem man durch dieselben die Wendungspunkte der Curven auf der Drehungsfläche erhält, so findet man auf letzterer so viele Punkte der verlangten Curven, dass man dieselben leicht zeichnen kann.

Diejenigen speciellen Punkte, auf denen diese Curven von der vorderen Hälfte der Projection der Fläche auf die hintere Hälfte überlaufen, sind die Berührungspunkte von Tangenten an dem Hauptmeridian der Drehungsfläche, welche den Tangenten an dem

Hauptmeridian der Kugel für die entsprechenden Ueberlaufspunkte parallel sind. Die Auffindung dieser Punkte ist also ebenfalls sehr leicht.

Es versteht sich von selbst, dass sich das ganze Verfahren vereinfachen lässt, wenn der Hauptmeridian der Fläche aus sich berührenden Kreisen besteht. In diesem Falle besteht eigentlich die Drehungsfläche aus Flächenstücken sich berührender Wulste, und die Hellencurven werden dabei keine stätige Krümmung erhalten, vielmehr müssen sie auf denjenigen Parallelkreisen, längs welcher sich zwei solche Wulstflächen tangiren, Brüche erleiden.

Noch einfacher wird dieses Verfahren, wenn die Hauptmeridiane gerade Linien sind, wie beim Cylinder und Kegel. In beiden Fällen braucht man blos eine berührende Kugel und eine Proportion, weil die Hellen längs einer Mantellinie immer constant sind. Dasselbe ist in den Figuren 5 und 6 angedeutet.

b) Bestimmung der Hellenlinien auf derjenigen Projection einer Drehungsfläche, für welche die Drehungsaxe als Punkt erscheint. Fig. 7.

Man denke sich auf der Hilfskugel Fig. 2 einen beliebigen Parallelkreis senkrecht zur Axe der Drehungsfläche, z. B. den Parallelkreis **p q r**, welcher die Curve 6 berührt. Zieht man nun an die Peripherie der horizontalen Projection der Kugel im Punkte **p′** eine Tangente, und an die entsprechende Seite des Hauptmeridians der Drehungsfläche Fig. 7 so viele mit jener parallele Tangenten, als möglich sind, so sind die gefundenen Tangirungspunkte wieder Punkte von Parallelkreisen, längs welcher die Drehungsfläche von Kugeln berührt wird, für welche diese Parallelkreise ganz analog liegen, wie der angenommene Parallelkreis **p q r** auf der Hilfskugel. Bringt man nun diese Kreise in die verticale Projection der Drehungsfläche und zeichnet man auf derselben auch einen damit conzentrischen Hilfskreis von der Grösse des auf der Hilfskugel angenommenen Parallelkreises **p q r**, auf welchem auch die Durchschnittspunkte mit den Lichtcurven ebenso angegeben sind, wie sie sich auf letzterem vorfinden, so können diese Durchschnittspunkte durch Radien auf jene Kreise so übertragen werden, dass sie eine ganz analoge Lage haben, wie auf der Hilfskugel, und die so erhaltenen Punkte sind nun die entsprechenden Hellenpunkte auf der Drehungsfläche, was keines weiteren Beweises bedarf. Durch die Annahme einer genügenden Anzahl anderer Parallelkreise auf der Hilfskugel und Wiederholung des obigen Verfahrens erhält man die nöthige Anzahl von Punkten der gesuchten Lichtcurven. Am meisten empfehlen sich zu diesem Behufe diejenigen Parallelkreise der Hilfskugel, welche die Lichtcurven tangiren, und derjenige, welcher durch den hellsten Punkt geht, weil man durch jene zugleich die Wendungspunkte der Curven und durch diesen die hellsten Punkte erhält.

Viel einfacher wird dieses Verfahren, wenn der Hauptmeridian ein Kreis ist, oder aus

Kreisstücken besteht. Es sey z. B. Fig. 8 die verticale Projektion eines Wulstes mit kreisförmigem Querschnitte und innerhalb desselben das Kügelchen **a b**. Letzteres wird den Wulst offenbar längs des grössten Kreises **a b** tangiren. Um aber das entsprechenden Hellen längs desselben zu finden, braucht man nur die Durchschnittspunkte der Lichtcurven mit dem senkrechten Durchmesser der verticalen Kugel-Projection in Fig. 2, durch Proportionaltheilung auf **a b** in Fig. 8 zu übertragen. Wenn dann ferner beachtet wird, dass die Hellencurven auf der Kugel Fig. 2 gegen **a″ c″** symmetrisch sind, so sieht man ein, dass die für **a b** gefundene Theilung auch auf **c d**, und endlich, wegen der vollkommen gleichen Lage der Kügelchen, auch auf **a′ b′** und **c′ d′** übertragen werden kann. Man kann daher mit nur 3 bis 4 Proportionaltheilungen alle nöthigen Hellencurven auf einer derartigen Fläche finden.

Minder einfach, als für Drehungsflächen, sind derartige Constructionen für Schraubenflächen; doch sind sie immer noch leicht und rasch zu bewältigen; auch sind alle besonders bedeutsamen Punkte der fraglichen Curven noch leicht direkt zu bestimmen. Fig. 9 und 10 zeigen die beiden Projectionen einer solchen Fläche mit einigen von ihren Curven. Eine vollständige Besprechung der betreffenden Constructionen würde indess zu weit führen, wesshalb bezüglich derselben nur angedeutet werden soll, dass sie sich auf den Satz stützen, dass die Normalen aller längs einer Schraubenlinie liegenden Punkte einer Schraubenfläche mit derjenigen Ebene, welche zur Axe der Fläche senkrecht steht, stets gleiche Winkel bilden. Hieraus wird dann gefolgert, dass der geometrische Ort aller Hellen einer Schraubenfläche längs einer solchen Linie ein Parallelkreis auf der Hilfskugel sei, wonach denn die spezielle Ausführung der Construction sich leicht ergibt.

Die bisher behandelten Fälle dürften hinlänglich gezeigt haben, dass sich die Construction von solchen Curven gleicher Helle in den meisten Fällen ohne grossen Zeitaufwand bewerkstelligen lässt. Und da es sich hier natürlich nicht um eine vollständige Durchführung des gegebenen Thema's handeln kann, so wird füglich das Herbeiziehen noch anderer Arten von Flächen unterlassen werden können.

§. 4.

Von der practischen Ausführung der Schattirung selbst.

Bereits vornen wurde angedeutet, wie man gleiche Hellendifferenzen auf dem Papier mit Tuschtönen oder mit Schraffirung ausdrücken könnte. Dort hatte man aber keine vollständige Schattirung im Auge. Wenn es sich um eine solche handelt, so ist ausser der Nüancirung des Tons auf dem direkt erhellten Theil der Lichtseite namentlich auch noch die Hellenabstufung auf der Schattenseite und im Schlagschatten zu berücksichtigen. Dabei aber entsteht denn vor allem die Frage: 1) Welches ist die Helle des dunkelsten

Punktes im Schlagschatten, also des Punktes $+0$? 2) Welches ist die Helle auf dem hellsten Punkte der Schattenseite, also auf -0? 3) Welches ist die Helle auf dem hellsten Punkte der Lichseite, auf $+0$? Die Beantwortung dieser Fragen kann nicht allgemein geschehen, da die in Betracht kommenden Umstände, wie z. B. die Beschaffenheit und Farbe des fraglichen Körpers, der Feuchtigkeitszustand der Luft etc. sehr veränderlich sind. Sie muss desshalb in jedem speciellen Falle besonders geschehen, wobei aber immerhin dem Gefühle und einem gewissen künstlerischen Takte das Meiste überlassen bleiben muss. Ist jedoch diese Frage einmal erledigt, so hat die weitere Durchführung der Schattirung keine theoretischen Schwierigkeiten mehr. Nimmt man beispielsweise an, man hätte für irgend einen speciellen Fall ermittelt, dass die Lichtstärke auf dem dunkelsten Punkte des Schlagschattens $= 1$, auf dem hellsten Punkte der Schattenseite $= 3$, und auf dem hellsten Punkte der Lichtseite $= 8$ sey, und dass die grösste Helle, also 8, durch die Farbe des Papiers selbst repräsentirt werden müsse, so könnte man unter der Annahme von je 6 Hellencurven für gleiche Lichtdifferenzen, sowohl auf der Schattenseite und im Schlagschatten, als auch im Licht die entsprechenden Hellengrade mittelst Schraffirung mit schwarzen Linien auf weisses Papier folgendermassen ausdrücken.

Die schwarzen Linien müssten von der Fläche des Papiers bedecken:

a) Innerhalb des Lichts auf der Lichtseite:

Auf dem Punkte $+0$ Nichts, auf der Curve $+1$ $\frac{6}{48}$, auf der Curve $+2$ $\frac{12}{48}$, auf der Curve $+3$ $\frac{18}{48}$ u. s. w. auf der Curve ± 6 $\frac{36}{48}$.

b) Innerhalb der Schattenseite:

Auf der Curve ± 6 $\frac{36}{48}$, auf der Curve -5 $\frac{35}{48}$, auf der Curve -4 $\frac{34}{48}$ u. s. w. auf dem Punkte -0 $\frac{30}{48}$.

c) Innerhalb des Schlagschattens:

Auf der Curve ± 6 $\frac{36}{48}$, auf der Curve $+5$ $\frac{37}{48}$, auf der Curve $+4$ $\frac{38}{48}$ u. s. w. auf dem Punkte $+0$ $\frac{42}{48}$.

Offenbar hätte man ganz dasselbe auch durch einen 42maligen Auftrag eines und desselben Farbentons erreichen können, wenn man die Stärke dieses Tons vorher so bestimmt hätte, dass ein 48maliger Auftrag desselben schwarz ergeben hätte oder wenigstens eine solche Dunkelheit, die man als schwarz hätte gelten lassen mögen. Klar ist ferner auch, dass die Zähler obiger Brüche immer die Anzahl der Aufträge dieses Tons für die fragliche Stelle ausdrücken würden. Für die Nüancirung des Lichts auf der Lichtseite ständen also 36 Töne zur Verfügung, und es ist klar, dass man sich bei der Ausführung der Schattirung zwischen je 2 construirten Curven auf der Lichtseite noch 5 weitere Curven eingeschoben denken müsste.

Selten wird man jedoch in der Praxis eine so grosse Genauigkeit in Bezug auf die Nuancirung des Lichts verlangen. Der Verfasser hat z. B. bei der Unterrichtsertheilung in der polytechnischen Schule nachfolgende Tabelle unter der Voraussetzung gleich intensiver Tuschtöne für die erste Ueberarbeitung und ebenfalls gleicher, aber schwächerer Töne für die zweite und dritte Ueberarbeitung als vollkommen genügend erprobt.

Tabelle für die Schattirung.

Reihenfolge der Ueberarbeitungen.	Reihenfolge der Töne.	Lichtseite.		Schattenseite.		Schlagschatten.	
		Auslassen.	Anlegen.	Anlegen.	Auslassen.	Anlegen.	Auslassen.
Erste Ueberarbeitung.	1	0 bis 6	Nichts	6 bis — 0	Nichts	0 bis 6	Nichts
	2	0 bis 5	5 bis 6	6 bis — 0	Nichts	0 bis 6	Nichts
	3	0 bis 4	4 bis 6	6 bis — 0	Nichts	0 bis 6	Nichts
	4	0 bis 3	3 bis 6	6 bis — 0	Nichts	0 bis 6	Nichts
	5	0 bis 2	2 bis 6	6 bis — 0	Nichts	0 bis 6	Nichts
	6	0 bis 1	1 bis 6	6 bis — 0	Nichts	0 bis 6	Nichts
Zweite Ueberarbeitung.	1	0 bis $\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n}$ bis 6	6 bis — 0	Nichts	0 bis 6	Nichts
	2	0 bis $1\frac{1}{n}$	$1\frac{1}{n}$ bis 6	6 bis — 1	1 bis — 0	0 bis 6	Nichts
	3	0 bis $2\frac{1}{n}$	$2\frac{1}{n}$ bis 6	6 bis — 2	— 2 bis — 0	0 bis 6	Nichts
	4	0 bis $3\frac{1}{n}$	$3\frac{1}{n}$ bis 6	6 bis — 3	— 3 bis — 0	0 bis 6	Nichts
	5	0 bis $4\frac{1}{n}$	$4\frac{1}{n}$ bis 6	6 bis — 4	— 4 bis — 0	0 bis 6	Nichts
	6	0 bis $5\frac{1}{n}$	$5\frac{1}{n}$ bis 6	6 bis — 5	— 5 bis — 0	0 bis 6	Nichts
Dritte Ueberarbeitung.	1	0 bis 6	Nichts	Nichts	6 bis — 0	0 bis 6	Nichts
	2	0 bis 6	Nichts	Nichts	6 bis — 0	0 bis 5	5 bis 6
	3	0 bis 6	Nichts	Nichts	6 bis — 0	0 bis 4	4 bis 6
	4	0 bis 6	Nichts	Nichts	6 bis — 0	0 bis 3	3 bis 6
	5	0 bis 6	Nichts	Nichts	6 bis — 0	0 bis 2	2 bis 6
	6	0 bis 6	Nichts	Nichts	6 bis — 0	0 bis 1	1 bis 6

Der Ausdruck $\frac{1}{n}$, welcher in der Rubrik „Lichtseite" vorkommt, hängt von der verhältnissmässigen Stärke der Töne bei der ersten und zweiten Ueberarbeitung ab. Wären diese Töne vollkommen gleich, so wäre der Werth für $n = 2$, wäre aber der Ton bei der zweiten Ueberarbeitung nur $\frac{1}{m}$, so stark als der Ton bei der ersten Ueberarbeitung, so wäre der Werth für $n = m + 1$.

Hienach bliebe noch Mancherlei nachzutragen, z. B. über die nöthige Vorsicht beim Farbenauftrag; über passende Modificationen der ganzen Methode, je nach der grösseren oder geringeren Befähigung und Geschicklichkeit der Schüler; über die Berücksichtigung der Verschiedenheit der Flächen nach Farbe und Textur; über die Berücksichtigung der Luftperspective; über die nöthigen Modificationen des Luftreflexes, im Fall der betreffende Gegenstand nicht genügend isolirt wäre; über das Reflexlicht von festen Körpern etc. etc.

Alle diese Fragen sind aber viel zu weitreichend, als dass sie hier gründlich erörtert werden könnten, und mögen daher um so mehr umgangen werden, als mit einer flüchtigen Behandlung derselben doch nicht viel erreicht würde.

Schulnachrichten.

Dem Lehrer der Chemie, Professor Dr. **Fehling**, wurde von Sr. Majestät dem Könige durch höchstes Dekret vom 24. September 1854 der Orden der württembergischen Krone gnädigst verliehen.

Für den ausgetretenen Repetenten der Chemie, **Marx**, wurde **Theodor Hach** aus Marburg berufen.

Lehrerpersonal.

a) Hauptlehrer.

Professor Dr. med. **Johann Gottlob v. Kurr** (für Mineralogie und Geognosie, Zoologie, Botanik und Baumaterialien-Lehre), bis jetzt noch die Stelle des Vorstandes provisorisch bekleidend.

Professor **Johann Matthäus v. Mauch** (für Geschichte der Baukunst, höheres Architecturzeichnen, Ornamentenzeichnen und Modelliren).

Professor Dr. **Hermann v. Fehling** (für allgemeine und praktische Chemie und chemische Technologie).

Professor Dr. **Johann Bernhard Gugler** (für reine Mathematik und beschreibende Geometrie).

Professor **Gustav Ad. Breymann** (für Civilbaukunst und Bauconstructionslehre).

Professor **Christian Müller** (für Maschinenbau, Maschinenzeichnen und Projectiren).

Professor **Gustav Ad. Hänel** (für Strassen-, Eisenbahn-, Brücken- und Wasserbau).

Professor Dr. **Carl Holtzmann** (für Physik und Mechanik).

Professor **Joseph Egle** (für architektonische Fächer und Architekturzeichnen).

Professor **Carl Wilhelm Baur** (für Mathematik und praktische Geometrie).

Professor **Carl Kurtz** (für Freihandzeichnen).

b) Weitere Lehrer.

Professor **Heinrich Wilhelm Brutzer** (für die Handelsfächer).

Professor **Otto Hölder** (für französische Sprache).

Professor **Friedrich Ehrhardt** (für deutsche Sprache, Geschichte und Geographie).

Professor **Ludwig Gantter** (für englische Sprache).

Professor Dr. **Mährlen** (für Nationalökonomie).

Bauinspector **Bock** (für Bau- und Feuerpolizeigesetze).

Philipp Runzler (für italienische Sprache).

Strebel, Vorstand des Privatgymnasiums (für evangelischen Religionsunterricht).

Vikar **Platz** (für katholischen Religionsunterricht).

Mechaniker **Schweitzer** besorgt die mechanische Werkstätte und gibt Unterricht im Maschinenmodelliren.

Modellschreiner **Halmhuber** (für Holzmodelliren).

c) **Repetenten.**

Candidat **Ernst Plank** (für Mechanik und Physik).

Dr. **Carl Mack** (für reine Mathematik und beschreibende Geometrie).

Wilhelm Fischer (für Mathematik und praktische Geometrie).

Theodor Hach (für Chemie).

Ferdinand Löckle (für Naturwissenschaften und zugleich als Assistent bei dem Vorsteheramte).

Die Repetenten für Physik, Chemie und praktische Geometrie sind zugleich Assistenten der betreffenden Hauptlehrer.

Ausserdem sind noch an der Schule angestellt:
ein Cassier,
zwei Schuldiener,
ein Diener für das chemische Laboratorium.

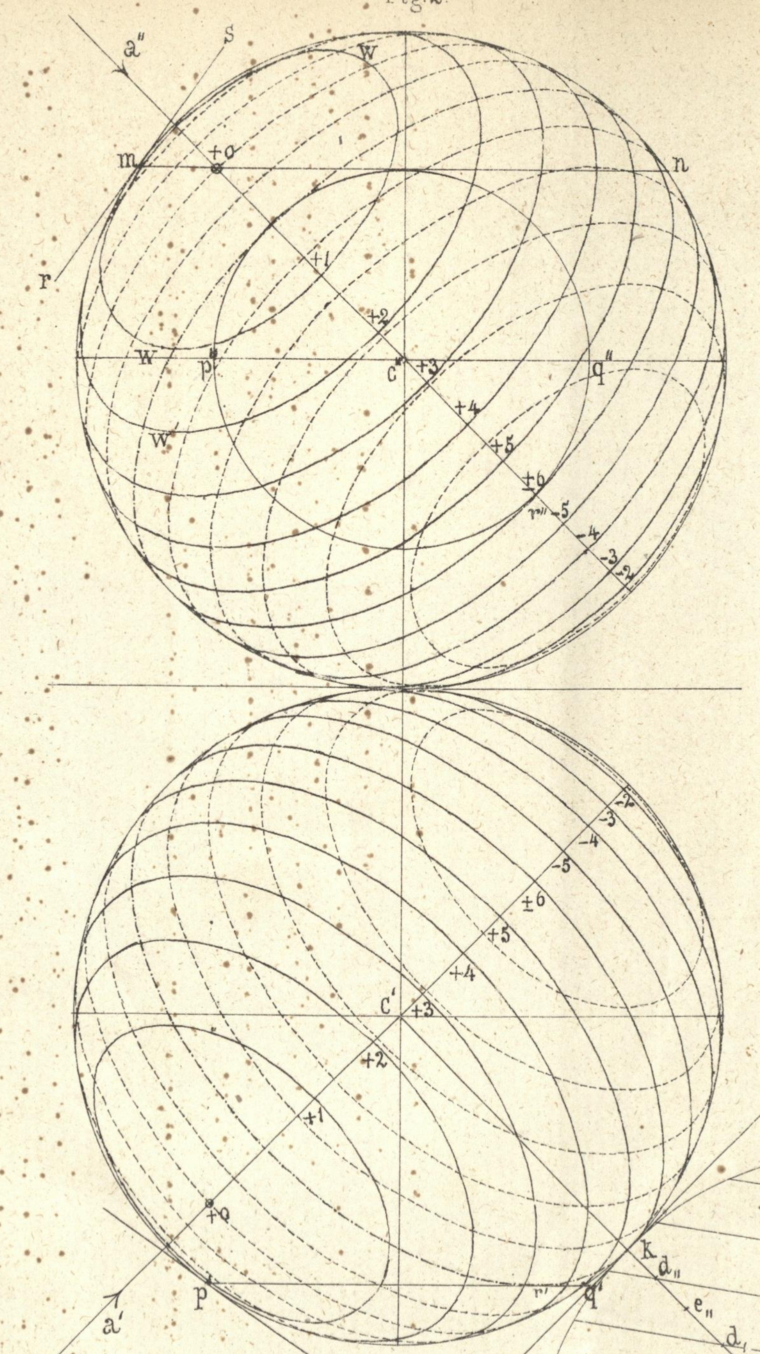
Schüler.

In dem abgelaufenen Schuljahre betrug die Schülerzahl im Wintersemester 161, im Sommersemester 145, worunter 25 Ausländer.

Nach Grundlage der ersteren Zahl vertheilten sich die Schüler unter die verschiedenen Hauptberufsarten wie folgt:

a) Mechanische Technik (Architekten, Ingenieure, Mechaniker etc.)	56
b) Chemische Technik (Berg- und Hüttenleute, Fabrikanten, Pharmazeuten) . . .	35
c) Handelsfach (Kaufleute, Buchhändler, Materialisten)	22
d) Lehrfach (Lehrer für den technischen Unterricht, Real-, Oberreal- und Gewerbeschullehrer)	16
d) Anderweitigen Berufs (solche Zuhörer, die in der Regel auf Universitätsstudien angewiesen sind, wie Aerzte, Cameralisten u. dergl., oder für welche eigene Lehranstalten bestehen, wie Land- und Forstwirthe, Militärs, dann auch Künstler, wie Lithographen, Zimmermaler etc.)	28
f) Noch unbestimmten Berufs	4
	161

Fig. 2.



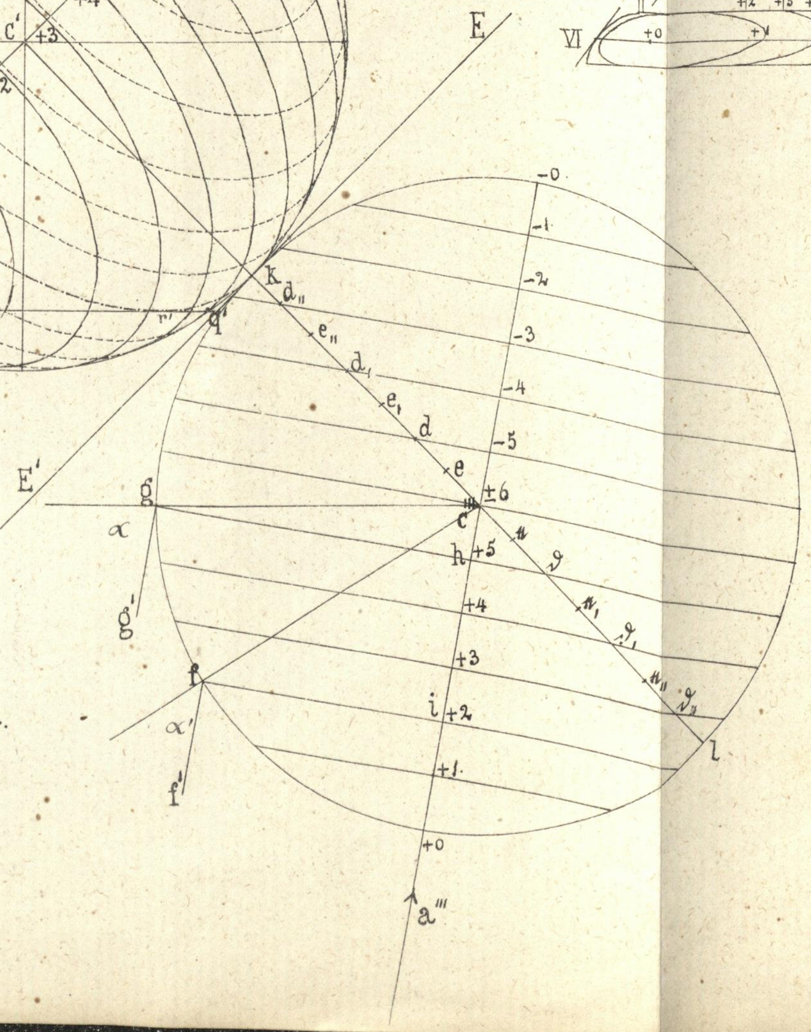


Fig. 3.

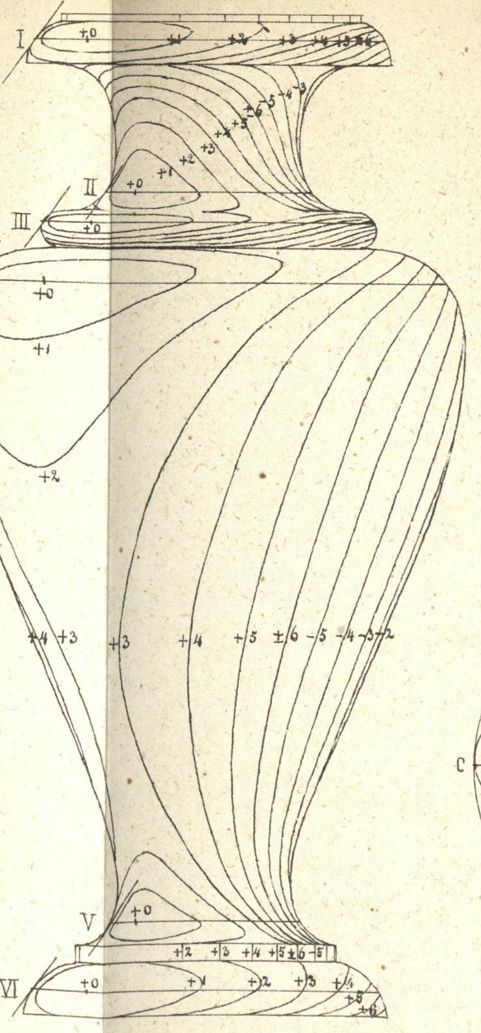


Fig. 1.

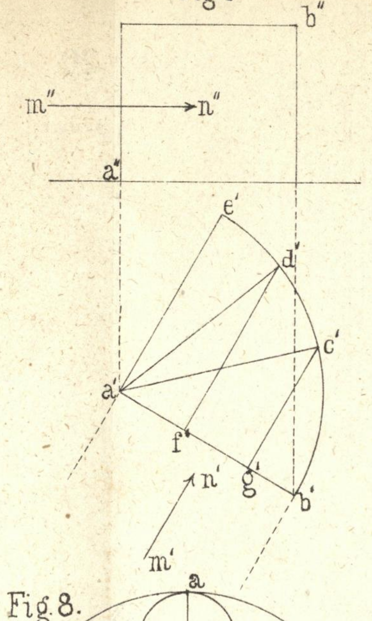


Fig. 5.

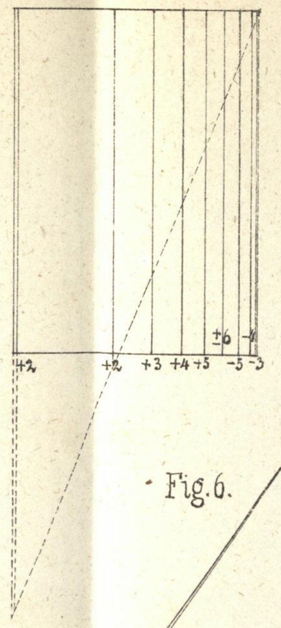


Fig. 6.

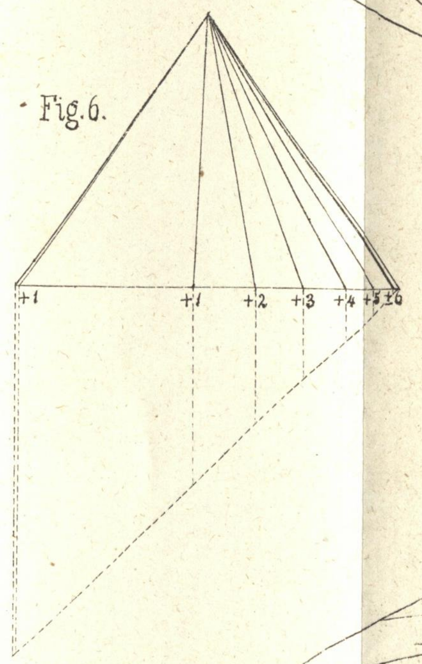


Fig. 8.

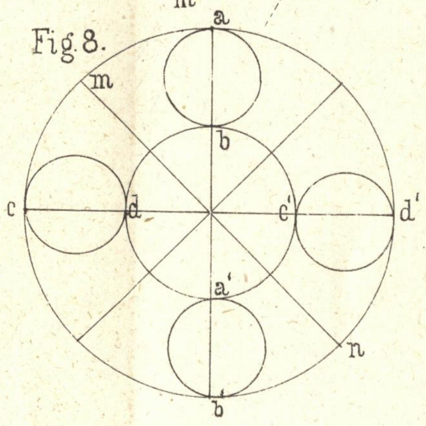


Fig. 9.

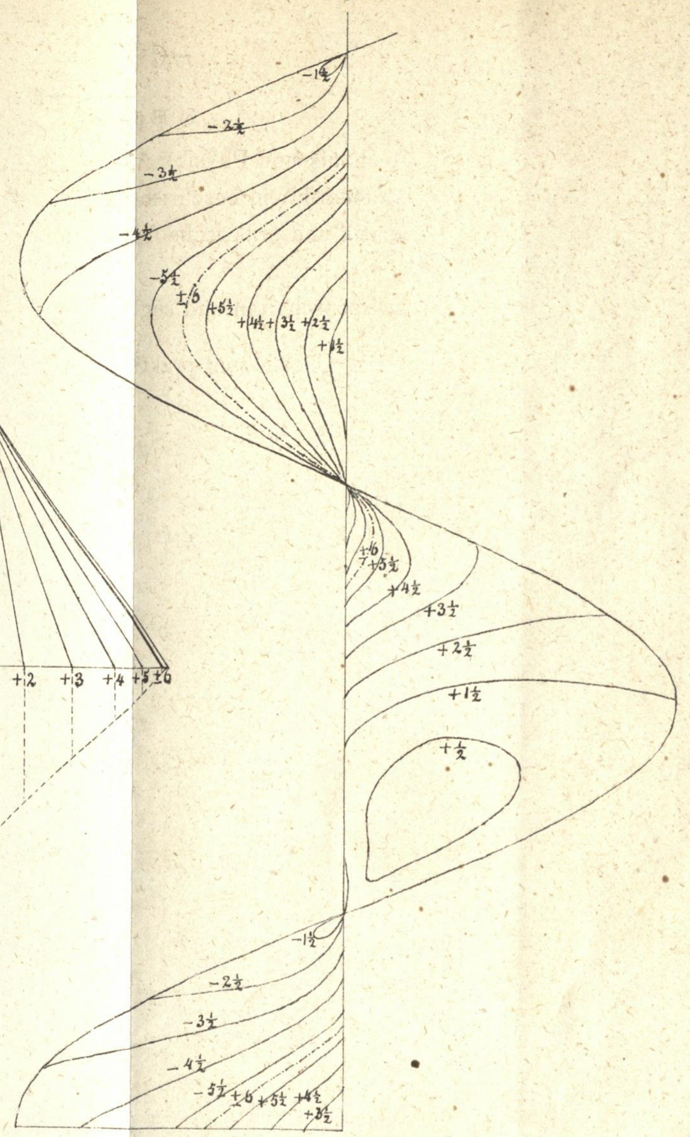


Fig. 7.

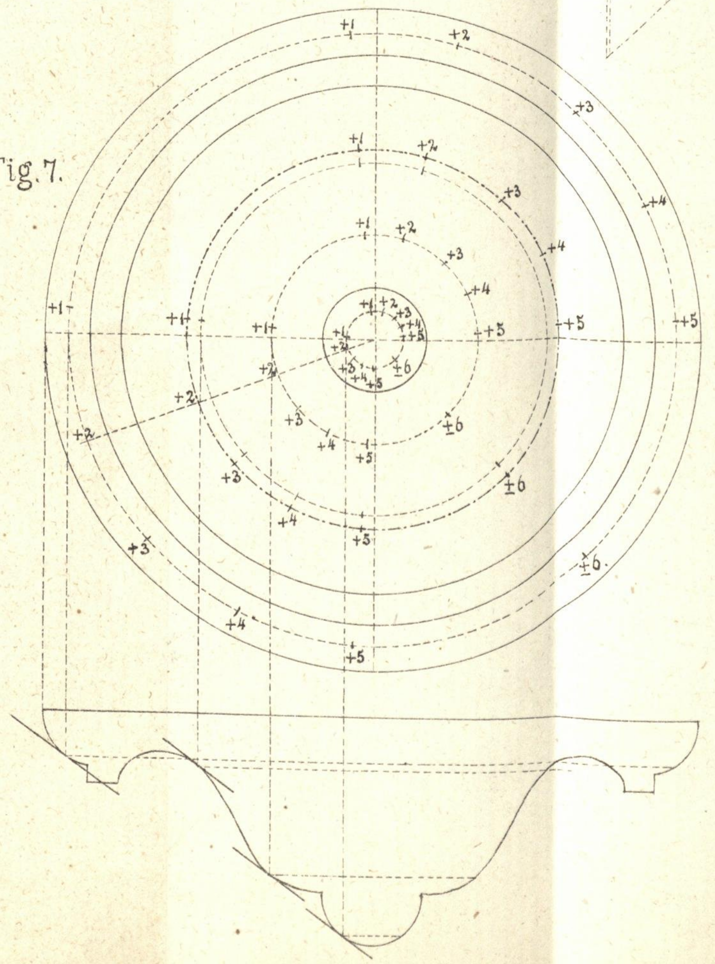


Fig. 10.

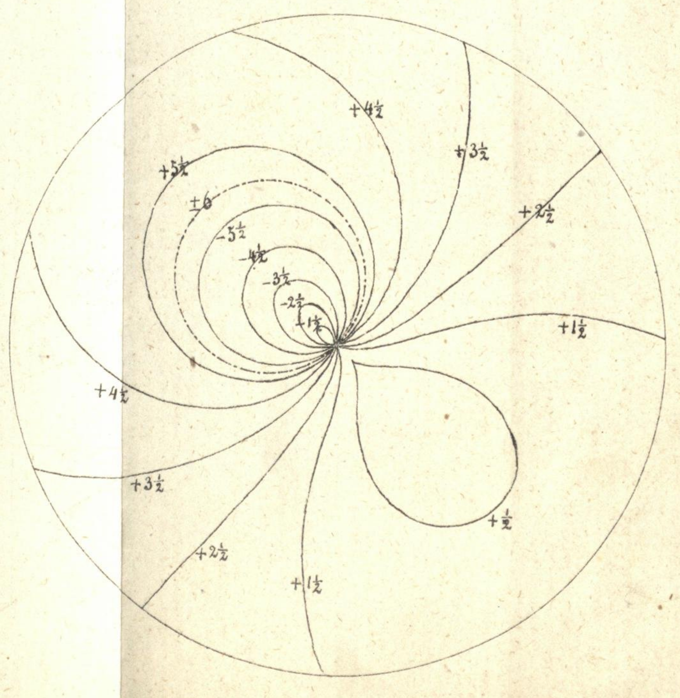


Fig. 4.