

Der Metallglanz und die Parallaxe des indirecten Sehens.

Von

A. Kirschmann.

Mit 3 Figuren im Text.

In einer früheren Abhandlung¹⁾ habe ich mich bemüht nachzuweisen, dass auch für das monoculare Sehen, abgesehen von den mit der Accommodationsänderung verbundenen Muskelempfindungen, eine Tiefenwahrnehmung, ein Aequivalent für die parallaktische Verschiedenheit der Bilder beim Sehen mit dem Doppelauge, angenommen werden muss. Ich habe auf dem Wege einfacher geometrischer Betrachtungen gezeigt, dass eine Parallaxe des indirecten Sehens existirt, und durch eben so einfache Rechnung und Construction dargethan, dass sie von so beträchtlicher Größe ist, dass von einer Vernachlässigung keine Rede sein darf. Des ferneren wurde in jener Abhandlung gezeigt, dass zwei der Erklärung bedürftige Thatsachen sich unter der Annahme einer Parallaxe des indirecten Sehens in ungezwungener und hinreichender Weise erklären lassen: »Die spaltförmigen Pupillen gewisser Thiere« und »die Pupillarreaction beim Aendern der Accommodation«.

Herr Professor Wundt gab in einem Briefe der Vermuthung Raum, dass sich die Theorie auch experimentell bestätigen lasse. Eine solche Bestätigung glaube ich nun allerdings erbringen zu können, wenschon es sich nur um eine Art Experimentum crucis

1) Die Parallaxe des indirecten Sehens und die spaltförmigen Pupillen der Katze. Philos. Stud. IX, S. 447 ff.

in Bezug auf das Resultat einer Reihe von Schlussfolgerungen handelt. Ich glaube nämlich theoretisch darthun zu können, dass eine gewisse, bekannte Erscheinung sich in keiner andern Weise als unter Zuhülfenahme der Parallaxe des indirecten Sehens erklären lässt. Zweitens bin ich im Stande praktisch zu zeigen, dass man die bewusste Erscheinung auch unter ganz geänderten Umständen künstlich hervorrufen kann, sofern man nur diejenigen Bedingungen erfüllt, welche das Zustandekommen der entsprechenden parallaktischen Verhältnisse ermöglichen. Die bekannte Erscheinung, um die es sich hier handelt, ist der »Metallglanz«.

Die Frage des Metallglanzes hat ihre physikalische und ihre psychologische Seite. Der Physiker untersucht das an Metallflächen reflectirte Licht auf seine Intensitäts- und Polarisations-Eigenschaften, und besonders die Untersuchung der letzteren hat zu mannigfachen für die Wellentheorie des Lichtes äußerst werthvollen Resultaten geführt. Bei allen diesen Arbeiten des Physikers aber bilden die Lichtempfindungen zwar das wichtigste Hilfsmittel zur Erkennung der Natur der physischen Vorgänge, aber sie stehen selbst nicht im Mittelpunkte des Interesses. Ja, die Ergebnisse der Untersuchungen über die Metallreflexion würden nichts von ihrer Bedeutung verlieren, wenn es gar keinen Metallglanz gäbe, d. h. wenn zwischen dem von Metallen und dem von andern Körpern reflectirten Lichte für unsere Wahrnehmung gar keine charakteristische Verschiedenheit bestände (so wie es beispielsweise an der physikalischen Seite der Lichterscheinungen absolut nichts ändern würde, wenn wir die langwelligen Strahlen als Blau, die kurzwelligen als Roth empfänden anstatt umgekehrt).

Der Psychologe oder psychologische Optiker dagegen hat die Frage zu beantworten: Was muss sich in unserem Bewusstsein ereignen, d. h. welcher Art müssen die Gesichtsempfindungen oder deren Complexe sein, wenn wir den Eindruck des Metallglanzes haben sollen? Wie aber für den Physiker manche Eigenschaften der Lichtempfindungen nur insofern einen Werth haben, als er sie als Erkennungszeichen für Verschiedenheiten in den physischen (d. i. Bewegungs-)Vorgängen verwendet, so haben auch für den psychologischen Optiker gewisse physikalisch überaus wichtige Eigenschaften des Lichtes gar keine oder nur indirecte Bedeutung. Wenn

z. B. nachgewiesen wurde, dass das an Metallflächen reflectirte Licht die Merkmale elliptischer Polarisation aufweist, oder dass Metallflächen keine Polarisationswinkel haben, so ist damit für die psychologische Seite der Frage wenig oder gar nichts gethan. Denn für unser Bewusstsein gibt es kein polarisirtes Licht. Wir unterscheiden letzteres von unpolarisirtem nur auf Umwegen und auf Grund von Helligkeitsverhältnissen. Unsere Gesichtsvorstellungen bestehen aus Bewusstseins-Elementen, deren jedes außer den räumlichen und zeitlichen Merkmalen (Ausdehnung, Form, Lage, Dauer etc.) nur noch die Eigenschaften der Intensität und Qualität besitzt, wobei die Qualität wieder in Farbe und Sättigung zerfällt. Psychologisch muss daher der Metallglanz auf die genannten vier Charaktere der Lichtempfindungen zurückgeführt werden; d. h. es muss gezeigt werden, welche Qualitäts-, Intensitäts-, Raum- und Zeitverhältnisse zusammentreten müssen, um das herbeizuführen, was wir Metallglanz nennen.

Um dieser Aufgabe gerecht werden zu können, müssen wir uns zunächst darüber klar werden, was wir unter »Metall« und »Metallglanz« zu verstehen haben. Denn Jedermann weiß, dass auch unmetallische Körper (Graphit, manche animalische und vegetabilische Stoffe) oder solche, die nicht reine Metalle sind (Erze), Metallglanz aufweisen, und andererseits besitzen die Metalle nicht immer diese Eigenschaft (z. B. Metalle in feinsten Vertheilung). Ob Metalle im Zustande der Glühhitze ihre charakteristischen Oberflächeneigenschaften beibehalten, scheint mir fraglich. Auch lässt sich die Sache sehr schwer untersuchen, da das eigne Licht der glühenden Fläche die Beobachtung des reflectirten stört oder unmöglich macht.

Ueberhaupt ist der Begriff des Metalls nicht ein fest umschriebener und unzweideutiger wie der des Metallglanzes, und wenn schon die letztere Bezeichnung von ersterer abgeleitet ist, so ist das, was sie bezeichnet, doch das primäre; denn ursprünglich war der Metallglanz das Hauptmerkmal der Metalle. Später hat man sich zu einer bestimmteren Definition der Metalle genöthigt gesehen, wonach dieselben einfache Stoffe von gewissen chemischen und physikalischen Eigenschaften sind, welche unter gewissen Umständen auch das Merkmal des Metallglanzes besitzen. Während so der

Begriff des Metalls auf einer complicirten und strengwissenschaftlichen Definition beruht, ist der beibehaltene Ausdruck »Metallglanz« lediglich eine conventionelle Bezeichnung für ein ganz bestimmtes Phänomen, welches jeder kennt und welches man eben so gut »die Lichterscheinung X« nennen könnte. Ob ein Körper ein Metall ist oder nicht, das ist selbst für den geübtesten Fachmann oft schwer zu entscheiden. Jedes Kind aber, wenn es einmal »Metallglanz« gesehen hat, wird — einerlei welchen Namen es dafür gelernt hat — über die Identität der Erscheinungen dieser Art auch nicht im geringsten im Zweifel sein.

Auch der Unterschied zwischen »Metallreflexion« und Metallglanz darf nicht außer Acht gelassen werden. Metallreflexion ist die Zurückwerfung des Lichtes an Metalloberflächen; und es darf a priori nicht angenommen werden, dass der »Metallglanz« da, wo er an nichtmetallischen Körpern vorkommt, auch mit den charakteristischen Erscheinungen der Metallreflexion verbunden sei. Ueberdies beziehen sich die einschlägigen Arbeiten der Physiker fast ausschließlich auf Metallspiegel, welche, da sie fast vollständig regulär reflectiren, die Eigenschaft des Metallglanzes nur in geringem Maße besitzen. Den schönsten Metallglanz aber zeigen gerade die optisch wenig untersuchten matten Metallflächen, z. B. frische Bruchflächen, gefeilte, geschliffene oder nicht bis zur vollkommenen Spiegelung polirte Flächen.

In der einschlägigen Litteratur — soweit mir dieselbe bekannt geworden ist — finde ich, mit alleiniger Ausnahme der später zu citirenden Schrift Brücke's, den Metallglanz nicht genügend von den übrigen Arten des Glanzes geschieden. Der bekannte Dove'sche Versuch, bei welchem zwei farblose Flächen von verschiedener Helligkeit bei der stereoskopischen Vereinigung den Eindruck einer graphitartig glänzenden Fläche hervorrufen, beweist für den Metallglanz gar nichts, obgleich dieser letztere in Folge jenes Versuches von einigen Autoren¹⁾ geradezu mit dem stereoskopischen Glanze identificirt wird. Aber erstlich ist der Schluss, dass der bei dem erwähnten Experiment auftretende stereoskopische Glanz Metallglanz sei, weil er dem Glanze des Graphits und dieser demjenigen der

1) Aubert, Physiol. Optik. S. 553.

Metalle ähnlich sei, ein einfacher Trugschluss; und zweitens wird der Metallglanz monocular ebensogut wahrgenommen wie binocular. Der einzige Versuch Dove's, wo monocular Glanz, und zwar hier gerade metallartiger beobachtet werden konnte, ist derjenige¹⁾, wo eine Farbe, auf eine Glastafel aufgetragen, im durchfallenden Lichte roth, im reflectirenden grün aussah und an gewissen Stellen, wo sich beide Eindrücke mischten, wie Kupferbronze glänzte. Das letztere geschah aber offenbar, weil die betreffende Farbe, wie es ja auch bei Indigo und manchen anderen Lasurfarben der Fall ist, von Natur schon einen geringen Grad von Metallglanz besaß, welcher aber bei der Auftragung auf Glas, wegen der Abwesenheit jeglicher Störung durch deckenden Hintergrund, um so besser zur Geltung kam. Aehnliches dürfte bei den Versuchen Paalzow's, über welche an oben citirter Stelle von Dove kurz berichtet wird, der Fall gewesen sein. Uebrigens hat Dove bereits ganz richtig eingesehen, dass beim Glanz, welchen er consequenter als Brücke von der vollkommenen Spiegelung unterschied, »Spiegelung« und »Zerstreuung« zusammenwirken²⁾.

Brücke³⁾ stellt drei Bedingungen für das Zustandekommen des Metallglanzes auf:

Erstens: Das Vorhandensein zweier verschiedener gespiegelter Farben, deren Licht rechtwinklig zu einander polarisirt ist. Der Unterschied zwischen den »nicht metallisch« glänzenden Körpern und den Metallen besteht darin, dass bei ersteren die Localfarbe von dem Glanz unabhängig ist, während bei den Metallen die Localfarbe durch die Farbe des gespiegelten Lichtes bedingt ist (»Ein rothes Metall glänzt roth, ein gelbes glänzt gelb«⁴⁾). An anderer Stelle⁵⁾ sagt er: »Das Licht beider (rechtwinklig zu einander polarisirten) Bilder, die wir mit der dichroskopischen Lupe wahrnehmen, ist gespiegeltes, von diesem hängt also die Farbe ab, die wir den Metallen zuschreiben, und die Farbe des Metalles ist die Farbe des Glanzes. Dieser innige Zusammenhang zwischen Glanz und Farbe ist etwas, was sich dem Auge unmittelbar aufdrängt und

1) Monatsber. der kgl. preuß. Akad. 1857. S. 390.

2) Monatsber. der kgl. preuß. Akad. der Wiss. 1861. S. 522 ff.

3) Brücke, Ueber den Metallglanz. Wiener Sitz.-Ber. Bd. 43. p. 177 ff.

4) ebendas. p. 180.

5) ebendas. p. 181.

uns bestimmt, auch gewisse nichtmetallische Körper, an denen er sich findet, als metallglänzend zu bezeichnen«. An einer anderen Stelle¹⁾ scheint er das Wesentliche dieser Bedingung nur in der Abwesenheit der Localfarbe zu sehen.

Zweitens: Die völlige Undurchsichtigkeit der Metalle.

Drittens: Die hohe Intensität der Lichtreflexion, selbst bei mangelnder Politur.

Was den ersten Punkt anbelangt, so kann ich darin keinen rechten Sinn finden. Denn wenn Brücke unter »Farbe« einfach Qualität des Lichtes versteht, also auch die achromatischen Qualitäten, Grau, Weiß und Schwarz dazurechnet, so muss, sofern überhaupt diffus reflectirtes Licht vorhanden ist, auch stets »Localfarbe« da sein. Versteht er aber unter Farbe nur die chromatischen Qualitäten, dann sehe ich nicht ein, wie er mit völlig farblosen Metallen, wie Silber, welche gerade den schönsten Metallglanz besitzen, fertig werden will. Wenn aber die Abwesenheit der Localfarbe entscheidend ist, warum sind dann nicht alle farblosen glänzenden Körper metallglänzend? Zur Stütze seiner Ansicht von der Abwesenheit der Localfarbe führt Brücke die totale Reflexion ins Feld, bei welcher aus Mangel jeglicher diffusen Reflexion auch keine Localfarbe existirt. Aber bei der sogenannten totalen Reflexion liegt lediglich Spiegelung und kein Metallglanz vor, und an letzteren würde der unbefangene Beobachter dabei auch nicht einmal erinnert werden, wenn ihn nicht die Associationsreihe »Spiegelung, Spiegel, Spiegelmetall, Metall, Metallglanz« dazu verleiten würde. Endlich muss man fragen, warum die dichroitischen Mineralien im durchfallenden Lichte nicht metallglänzend erscheinen. Die ganze Theorie, dass der Glanz auf dem Widerspruch verschiedener Farben oder Helligkeiten beruhe, hat eben nur dann einen Sinn, wenn außer den reinen Qualitäts- und Intensitätsbedingungen noch andere angenommen werden (wie bei Dove z. B. die verschiedene Accommodation). Denn wenn mehrere Lichteindrücke, welche nur Qualitäts- und Intensitätsunterschiede aufweisen, durch dieselbe Netzhautstelle vermittelt werden, so mischen sie sich in allen Fällen zu einem einfachen Eindruck. Um gesondert wahr-

1) Brücke, Die oben citirte Abhandlung S. 183.

genommen zu werden, müssen sie entweder räumlich oder zeitlich verschieden sein.

Was die zweite Bedingung, die totale Undurchsichtigkeit, anbelangt, so beruht die Annahme derselben auf einem nunmehr längst erkannten Irrthum. Man kann von undurchsichtigen Körpern (= Gegenständen), nicht aber von undurchsichtigen Stoffen sprechen. Alle Stoffe lassen, wenn in genügend dünnen Schichten angewandt, Licht durch. Die Durchsichtigkeit dünner Metallplatten (bezw. Prismen) ist mehrfach Gegenstand der physikalischen Untersuchung gewesen¹⁾. Dass der Metallglanz aber mit beträchtlichen Graden der Lichtdurchlässigkeit vereinbar ist, das beweist schon der Umstand, dass die an ihrer Oberfläche einen gewissen metallartigen Glanz zeigenden Pigmente, wie Indigo, Carthamin²⁾, manche Anilinfarben, niemals Deckfarben, sondern ausnahmslos Lasurfarben sind. Den einfachsten Beweis aber liefern die weiter unten zu beschreibenden, von mir angefertigten Präparate, die vollen Metallglanz zeigen und dennoch in ihrer ganzen Masse noch lichtdurchlässig sind.

Was endlich die dritte Bedingung, die große Reflexionsfähigkeit, anbelangt, so enthält hierin die Annahme Brücke's manches Wahre. Dass aber auch diese Eigenschaft für den Metallglanz nicht ausschlaggebend ist, lässt sich gerade an den schwarzen, glänzenden Körpern beweisen, von welchen Brücke meint, dass sie nur deshalb nicht metallglänzend seien, weil sie schwarz sind, d. h. zu wenig Licht reflectiren. Brücke sagt³⁾: »Würden sie so viel Licht reflectiren, dass wir sie metallglänzend nennen könnten, so würden sie bei glatter Oberfläche das auf sie fallende Licht so zurückgeben, wie es polirter Stahl thut, und eben deswegen nicht schwarz erscheinen; bei unebener Oberfläche würden sie auch nicht schwarz erscheinen, sondern je nach Umständen heller oder dunkler grau, weil die Netzhautbildchen der einzelnen spiegelnden Stellen Lichtstärke genug haben würden, um durch sogenannte Irradiation die dunklen Zwischenräume zu überdecken, wie dies beim Anschauen des Graphit geschieht.« Hiergegen ist einzuwenden, dass es, wenn

1) Kundt, Sitz.-Ber. d. Berl. Akad. 1888. S. 255 ff. u. S. 1387 ff.; ferner du Bois u. Rubens, ebend. 1890. 2. Th. p. 955 ff.

2) Dove, Ueb. d. opt. Eigensch. d. Carthamin, in Pogg. Ann. B. 122. S. 454 f.

3) a. a. O. S. 191—192.

wir lediglich den thatsächlichen Bestand unserer Lichtempfindungen in Betracht ziehen, gar keine schwarzen Körper gibt, sondern nur farblose, d. h. solche, die »heller oder dunkler grau« sind. Es sind andere complicirtere Verhältnisse in dem optischen Verhalten, nicht die thatsächlich gegebene Helligkeit des reflectirten Lichtes, welche uns veranlassen, einen farblosen Körper schwarz oder weiß zu nennen. Wir erklären einen sogenannten schwarzen Gegenstand auch dann noch für schwarz, wenn er im Sonnenschein liegt und thatsächlich mehr Licht reflectirt als ein weißer oder grauer Gegenstand im tiefen Schatten. Wenn es daher lediglich an der Reflexionsintensität gelegen wäre, so müsste man ja den schwarzen glänzenden Körpern durch starkes Belichten Metallglanz beibringen können.

Ferner ist nicht einzusehen, warum nach Brücke die opaken weißen glänzenden Körper nicht metallglänzend sind, da hier doch alle drei Bedingungen erfüllt sind:] Abwesenheit einer Localfarbe, Undurchsichtigkeit und intensive Reflexion.

Die zahlreichen den Glanz betreffenden Arbeiten von Oppel, Meyer, Brewster, Rood u. A. behandeln fast ausschließlich den stereoskopischen Glanz und gehen auf eine specielle Erörterung des Metallglanzes nicht näher ein. Eine vollständige Aufzählung der einschlägigen Arbeiten bis zum Jahre 1865 findet sich in der dem historischen Theil des § 32 der physiologischen Optik von Helmholtz beigegebenen Litteraturangabe¹⁾. Die von Brücke citirte, in dem Helmholtz'schen Litteraturbericht nicht aufgeführte Arbeit Burckhardt's²⁾, die über monocularen, durch Combination von Schwarz und Weiß hervorgebrachten Glanz handelt, ist mir leider nicht zugänglich gewesen.

v. Helmholtz scheint sich in seiner Physiologischen Optik³⁾ zu der Ansicht Brücke's zu bekennen. Er sagt dort, dass der Metallglanz dadurch charakterisirt sei, dass das regelmäßig reflectirte Licht selbst schon gefärbt und nicht weiß sei, wie bei den durchsichtigen Körpern. Auch er scheint nicht daran gedacht zu haben, dass es auch farblose Metalle gibt und dass die Brücke'sche Theorie dem Auge die wunderbare Fähigkeit zuerkennt, regelmäßig und

1) S. 795 u. 796 der deutschen, 998 u. 999 der französ. Ausgabe.

2) Verhandlungen der naturwiss. Gesellsch. in Basel. I. S. 154—157.

3) Helmholtz, Physiol. Optik. S. 784 der deutsch., 985 der französ. Ausg.

unregelmäßig reflectirtes Licht ohne weiteres auseinander zu halten und außerdem wahrzunehmen, welches von beiden in der Mischung mit Farbe behaftet ist.

Hering¹⁾ unterscheidet den Glanz, der »lediglich auf der großen Intensität beruht und ebenso den selbstleuchtenden Dingen zukommt, von demjenigen, welcher sich an unvollkommen spiegelnden Flächen zeigt«. Ueber den Metallglanz finde ich nur die folgenden Sätze: »Den leuchtenden Körpern stehen am nächsten die metallisch- und die seidenglänzenden. Auch hier handelt es sich um Empfindungen, die heller sind als reinweiße Körperfarbe. Auf einer ganz gleichmäßig metallisch- oder seidenglänzenden Fläche sehen wir nicht bloß Flächenfarbe, sondern zugleich Licht als solches. Gleichmäßig ausgebreiteter Glanz ist übrigens bei spiegelnden Metallflächen selten, dagegen bei sogenannten mattglänzenden ganz gewöhnlich.« Diese in Bezug auf die Auseinanderhaltung dessen, was wirklich »gesehen« werden kann und dessen, was Erfahrung hineincorrigirt, keineswegs correcte Darstellung des sonst so verdienstvollen Forschers macht wohl nicht den Anspruch, eine Erklärung des Metallglanzes zu geben, um so mehr als sie zwischen Metallglanz und Seidenglanz kaum unterscheidet. Auf die sehr wichtige, oben erwähnte Unterscheidung des Glanzes und die Bedeutung der absoluten Helligkeit für den Metallglanz werden wir noch zurückkommen.

Aubert²⁾ hat wie Brücke und Hering die irrige Ansicht, dass die Helligkeit als solche bei dem Glanze maßgebend sei. Contrast, d. i. große Helligkeitsdifferenz, ist nach seiner Meinung ein unbedingt nothwendiges Erforderniss und zwar »nicht bloß für die Empfindung des binocularen, metallischen Glanzes, sondern für alles, was wir Glanz nennen«. Hier sind binocularer und metallischer Glanz ganz und gar unter einen Hut gebracht.

Wundt hat in ausführlicher und entscheidender Weise dargethan³⁾, dass aller Glanz, binocularer und monocularer, auf unvoll-

1) Hermann's Handbuch der Physiologie. 3. Bd. S. 576 ff.

2) Aubert, Physiol. Optik. S. 553.

3) Wundt, Ueber die Entstehung des Glanzes. Pogg. Ann. Bd. 116. S. 627 ff. Ferner: Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 300 ff., und Physiologische Psychologie. 4. Aufl. II. Bd. S. 205—213.

kommener Spiegelung oder, was dasselbe ist, auf der Parallaxe des Doppelauges oder des bewegten Einzelauges beruht, und dass starke Contraste, sowohl Intensitäts- wie Qualitätscontraste, die Erscheinung des Glanzes wesentlich begünstigen. Den eben so einfachen als klaren Ausführungen Wundt's über den gewöhnlichen und stereoskopischen Glanz ist schwerlich etwas hinzuzufügen. Im Interesse der Behandlung unseres speciellen Gegenstandes, des Metallglanzes, halten wir es jedoch für nothwendig, mit ein paar Worten auf das allen Arten des Glanzes Gemeinsame zurückzukommen.

Wenn Licht auf eine Körperoberfläche fällt, so wird ein Theil desselben absorbirt, d. h. in Moleculararbeit umgesetzt, welche wir mit dem Gesichtssinn nicht wahrnehmen können, mithin als Licht vernichtet. Das nicht absorbirte Licht wird theils durchgelassen, theils reflectirt. Das zurückgeworfene Licht muss nicht nothwendig von der Oberfläche reflectirt sein; es kann auch aus mehr oder minder beträchtlicher Tiefe stammen. Wenn die Menge des durchgelassenen Lichtes für unsere Wahrnehmung $= 0$ wird, was für verschiedene Stoffe bei verschiedener Dicke eintritt, so nennt man den Körper (nicht den Stoff) undurchsichtig. Das reflectirte Licht, welches niemals $= 0$ wird (so lange nicht das ganze $= 0$ wird), kann von zweierlei Art sein. Es ist regelmäßig zurückgeworfen, wenn zwischen der Richtung des einfallenden und der des reflectirten Lichtes eine gesetzmäßige Beziehung besteht. Es ist dagegen unregelmäßig oder diffus reflectirt, wenn eine solche gesetzmäßige Beziehung nicht existirt, d. h. wenn das in einer Richtung einfallende Licht unterschiedslos nach allen Richtungen zurückgestrahlt wird. Man kann daher das von einem Körper reflectirte Licht als aus zwei Componenten, einer regelmäßig und einer diffus reflectirten, zusammengesetzt ansehen, von welchen jede annähernd $= 0$ werden kann. Ist die Reflexion an einer ebenen oder stetig gekrümmten Fläche eine annähernd vollständig regelmäßige, so haben wir die vollkommene Spiegelung. Gelangt dagegen nur diffus reflectirtes Licht ins Auge, so haben wir die matte Körperoberfläche, die aus jeder Richtung in gleicher Weise gesehen werden kann. In allen andern Fällen, in denen also beide Arten der Reflexion (einerlei ob wirklich oder scheinbar) in wahrnehm-

barer Stärke neben einander vorhanden sind, tritt für uns das Phänomen des Glanzes ein.

Diese Eintheilung ist aber, wie leicht ersichtlich, nicht erschöpfend; denn das Licht kann ja auch annähernd vollkommen regelmäßig reflectirt sein und von einer weder ebenen noch stetig gekrümmten, sondern einer gebrochenen oder ganz unregelmäßig geformten Fläche stammen. Dabei sind zwei Fälle möglich: entweder sind die Theile dieser gebrochenen oder unregelmäßig geformten Fläche groß genug, dass sie als besondere ausgedehnte Gebilde wahrgenommen werden, und dann gilt von ihnen einzeln, was oben von der ganzen Fläche gesagt wurde. Oder aber sie sind zu klein, um gesondert als Flächen aufgefasst zu werden. Und zwar können sie alsdann so außerordentlich klein sein, dass sie auch dem kleinsten für uns wahrnehmbaren Theil der Gesamtoberfläche gegenüber nicht in Betracht kommen, welcher Fall, wie leicht einzusehen, von demjenigen der reinen diffusen Reflexion praktisch nicht zu unterscheiden ist; oder aber sie sind groß genug, um auf Grund irgend welcher parallaktischer Verhältnisse wahrnehmbare Intensitätsverschiebungen hervorzurufen, wie beispielsweise beim Glitzern. Dann liegt eine Art des Glanzes vor, welche nur scheinbar auf dem Zusammenwirken von diffusem und regulär reflectirtem Licht beruht, da in Wirklichkeit nur Licht der letzten Art wirksam ist. Wir werden auf diesen Fall später noch zurückkommen müssen.

Vor zwei Irrthümern muss hier nachdrücklich gewarnt werden. Erstlich darf man nicht den Fehler begehen, das Intensitätsverhältniss zwischen dem regelmäßig und dem diffus reflectirten Licht eines glänzenden Körpers als von der Absorption irgendwie abhängig anzusehen. Ein Körper, der im ganzen sehr wenig Licht reflectirt, kann dennoch einen sehr hohen Grad von Glanz oder gar Spiegelung aufweisen (polirte schwarze Gegenstände, schwarze Glasspiegel), und anderseits kann ein völlig glanzloser Körper sehr viel Licht reflectiren (weiße Wolken, von der Sonne beschienener Schnee) oder gar den Eindruck des Leuchtens machen (Alpenglühén, der Mond).

Selbstverständlich wird von zwei im ganzen die gleiche Lichtmenge reflectirenden Körpern, von welchen der eine glänzt, der andere matt ist, bei ebener Oberfläche der erstere von einer gewissen Richtung aus heller erscheinen, als der andere, von allen andern

Richtungen aus aber dunkler. Sind die Oberflächen gekrümmt, so wird es mehrere oder viele Richtungen geben, nach welchen der glänzende Gegenstand intensiveres Licht reflectirt, als der matte. Was aber an Intensität gewonnen wird, das geht an Ausdehnung verloren; denn der hellere Theil wird nun auch nur einen Bruchtheil der ganzen sichtbaren Oberfläche betragen. Darauf beruht die secundäre Eigenschaft glänzender Flächen, dass auf ihnen Helligkeits-

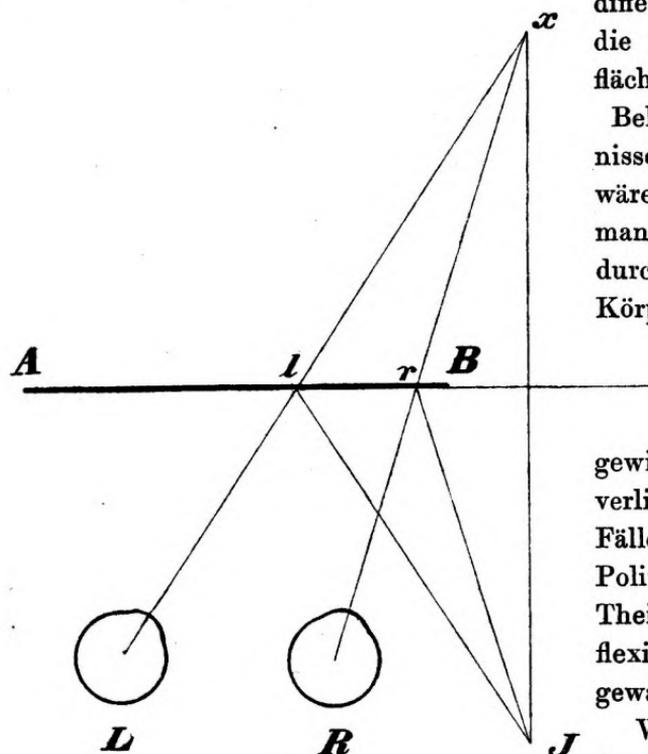


Fig. 1.

reflectirten und gespiegelten Lichtes beruht. Dies kann leicht zu der falschen Annahme verleiten — und das ist der zweite Irrthum, dem ich vorbeugen möchte — dass unser Auge eine unmittelbare Fähigkeit besäße, derartig gemischtes Licht als solches zu erkennen. Dem aber ist die Thatsache entgegenzuhalten, dass aus dem Zusammenwirken mehrerer gleichzeitigen Lichtreizungen von verschiedener Qualität und Intensität auf demselben Theile der Netzhaut stets nur eine einfache Empfindung resultirt. In manchen

differenzen vorkommen, die auf matten Oberflächen unter gleichen Beleuchtungsverhältnissen ganz unmöglich wären. Ebenso sieht man leicht ein, dass durch das Poliren eines Körpers die Oberfläche nicht nothwendig an Gesamt-Reflexionsvermögen gewinnt; sie kann sogar verlieren. In den meisten Fällen wird durch die Politur lediglich ein Theil der diffusen Reflexion in reguläre umgewandelt.

Wir haben gesehen, dass der Glanz auf dem Zusammenwirken diffus

Büchern wird zwar noch von »Spaltung der Empfindung« und von dem »Sehen einer Farbe durch eine andere hindurch« geredet. Aber es handelt sich in allen diesen Fällen nachgewiesenermaßen um Täuschungen, die darin ihren Grund haben, dass es uns so außerordentlich schwer wird, den thatsächlich gegebenen Empfindungsbestand von dem, was Erfahrung hineincorrigirt, zu trennen. Wenn es aber nicht Intensitäts- oder Qualitätsverhältnisse sind, auf Grund deren das gleichzeitige Vorhandensein von diffusem und gespiegelm Licht die Erscheinung des Glanzes hervorruft, so können es nur die räumlichen und zeitlichen Verhältnisse sein, von welchen wiederum die letzteren theilweise außer Frage kommen, da auch bei momentaner Beleuchtung Glanz wahrgenommen werden kann.

Hier ist es nun gerade das Verdienst Wundt's, gezeigt zu haben, dass zur Erklärung des Glanzes die räumlichen Verhältnisse im zweidimensionalen Gesichtsfelde nicht ausreichen, sondern dass dazu die dritte Dimension

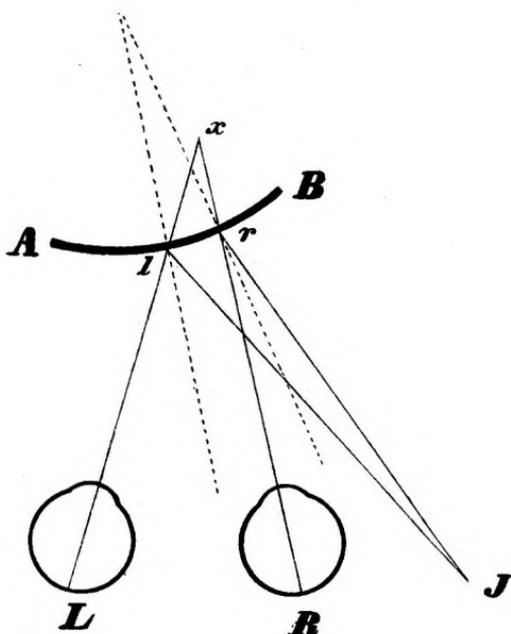


Fig. 2.

erforderlich ist. Für denjenigen, der noch an der parallaktischen Natur der Bedingungen des Glanzes zweifelt, mag die Betrachtung der drei Figuren 1—3 (S. 158—160) von einigem Nutzen sein. Es sei *AB* die Oberfläche eines glänzenden Körpers; dieselbe sei in Fig. 1 eben, in Fig. 2 von convexer, in Fig. 3 von concaver Krümmung. *J* bezeichnet in allen drei Figuren die Lichtquelle, *R* und *L* die respectiven Oerter des rechten und linken Auges. Die Stelle der Maximalreflexion (diffuse Refl. + regelmäßige Refl.) muss dem katoptrischen Gesetze gemäß in allen

drei Fällen für das linke Auge bei l , für das rechte aber bei r liegen. Will der Beobachter nun den Lichtreflex einfach sehen, so muss er Augenachsen und Accommodation auf den Punkt x einstellen, hat aber dann selbstverständlich Doppelbilder von den Punkten der Fläche AB , soweit sie sich durch diffus zurückgeworfenes Licht erkennbar macht. Accommodirt und convergirt er dagegen für Punkte dieser Oberfläche, so sieht er die beiden Gebiete der Maximalreflexion gesondert und zwar genau so, wie er die Doppelbilder einer beim Punkte x befindlichen hellen Fläche sehen würde.

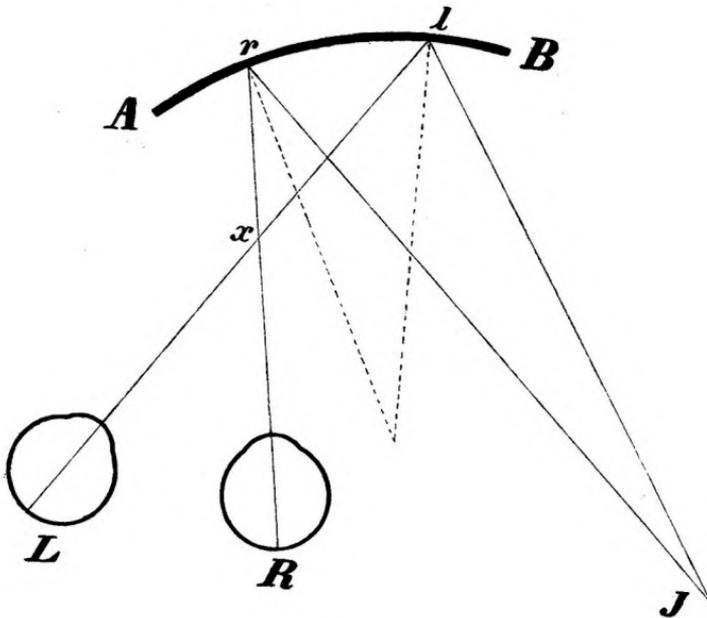


Fig. 3.

Was beim zweiäugigen Sehen die binoculare Parallaxe leistet, das wird beim einäugigen durch die Ortsveränderung des Auges erreicht. Wenn sich beispielsweise das Auge — unsere drei Figuren gelten auch für diesen Fall — den Punkt l der glänzenden Fläche fixirend von L nach R bewegt, so wird sich der von der Spiegelung stammende Lichtreflex mitbewegen bis r . Will man dagegen den Lichtreflex selber während dieser Bewegung scharf im Auge behalten, so muss das Auge auf den Punkt x gerichtet und für dessen Entfernung accommodirt werden. Ueberall aber, wo wir wirklichen

Glanz oder mehr oder minder vollkommene Spiegelung wahrnehmen, lässt sich diese Parallaxe zwischen dem diffus reflectirten und dem gespiegelten Licht nachweisen. Wir nehmen dieselbe aber eben so unmittelbar (d. h. ohne jegliches Wissen um die in Frage kommenden Gegenstände) wahr, wie alle die andern parallaktischen Erscheinungen, auf welchen die Vorstellung von der dritten Dimension beruht.

Den vorstehend beschriebenen Glanz wollen wir den eigentlichen oder parallaktischen Glanz nennen. Neben diesem, und oft mit ihm vereint, kommt aber noch eine andere Classe von Erscheinungen vor, welche lediglich auf einer besonderen Art der Vertheilung der Helligkeiten auf einer Körperoberfläche beruhen und von manchen Autoren (Aubert, Brücke u. A.) irrthümlicher Weise als charakteristisches Merkmal des Glanzes angesehen werden. Diese besonderen Intensitäts-Combinationen wären, wenn der parallaktische Glanz, welchen sie oft begleiten, nicht existirte, gar keine von andern zweidimensionalen Lichteindrücken wesentlich verschiedene Erscheinungen. Auch Hering¹⁾ unterscheidet den Glanz, »welcher lediglich auf großer Helligkeit beruht«, von dem, »welcher sich an unregelmäßig²⁾ oder unvollkommen spiegelnden Flächen zeigt.« Die erstere Art des Glanzes schreibt er auch den »selbstleuchtenden Dingen und denjenigen, welche sehr intensives zerstreutes Licht zurückwerfen«, zu. Diese auf einem unexacten Sprachgebrauch beruhende Confusion der Begriffe ist um so mehr unzulässig, als Wundt bereits in der 1862 erschienenen Arbeit³⁾ diesen Punkt klargestellt hat. Das Leuchten oder Selbstleuchten ist überhaupt keine Eigenschaft, die wir einem Körper einfach auf Grund der unserem Gesichtssinne gelieferten Daten zuschreiben können. Wir unterscheiden, selbst in Fällen von extremen Intensitäten, selbstleuchtende Körper nur dann von beleuchteten Körpern mit matter Oberfläche, wenn wir außer den direct gegebenen Daten des Gesichtssinns noch anderes über ihr Verhalten erfahren haben. Darum müssen wir darüber

1) Hermann's Handb. d. Physiol. Band III S. 576.

2) Was unter »unregelmäßiger Spiegelung« zu verstehen ist, ist mir nicht ganz klar. Wahrscheinlich ist die Reflexion an spiegelnden, aber unregelmäßig geformten Flächen gemeint.

3) Pogg. Ann. Band 116 S. 630.

belehrt werden, dass Mond und Planeten nur reflectirtes Licht aussenden, darum sieht ein rothglühendes Stück Eisen am hellen Tage nicht anders aus als beleuchtete rothe Körper von matter Oberfläche, und darum sind über gewisse Lichterscheinungen, wie Kometschweife, das Zodiakallicht, leuchtende Wolken und das Leuchten des Augenhintergrundes bei gewissen Thieren, die Akten noch nicht geschlossen.

Worin aber bestehen nun die oben erwähnten, den eigentlichen Glanz in vielen Fällen begleitenden und daher häufig für seine Ursache gehaltenen Helligkeitsverhältnisse? Wir haben weiter oben schon gesehen, dass bei der regelmäßigen Reflexion an polirten Flächen Helligkeitsdifferenzen benachbarter Stellen auftreten, welche unter denselben Beleuchtungsverhältnissen an einer matten Oberfläche nicht möglich wären. Wir haben uns nun durch lange Erfahrung und durch die Gewöhnung, Licht und Schatten als Daten für die Erschließung der Körpergestalt zu benutzen, eine gewisse Kenntniss der Reflexionsfähigkeiten matter und polirter Flächen angeeignet. Wir wissen, wie matte Körper sich bei unzweideutiger Beleuchtung an ihren Ecken und Krümmungen hinsichtlich der Lichtreflexion verhalten. Wir wissen beispielsweise, dass schroffe Intensitätsgegensätze (wenn nicht durch Schlagschatten verursacht) an einer stetig gekrümmten matten Fläche gar nicht vorkommen können. Sehen wir nun auf einer Fläche, über deren räumliche Beschaffenheit wir auf Grund anderweitiger Wahrnehmungen nicht im Zweifel sind, Helligkeiten neben einander, wie sie nach unserer Erfahrung an einer matten Oberfläche nicht möglich sind, so schließen wir, dass nicht lediglich diffuses Licht vorliegen könne, sondern dass die Fläche glänze. Bei solchen Urtheilen sind wir aber nicht selten Täuschungen unterworfen, welche darauf beruhen, dass wir über Einheitlichkeit, Stärke und Richtung der Beleuchtung, sowie über die Zugehörigkeit der Flächentheile zu den von uns vermutheten Objecten stillschweigend Voraussetzungen machten, welche falsch waren. Darum könnte man für ein absolut ruhendes Auge den Effect dieses scheinbaren Glanzes auch dadurch hervorufen, dass man mit Hülfe complicirter Beleuchtungseinrichtungen, aus Lichtquellen von passender Intensität und geeigneten Diaphragmen bestehend, die einzelnen Theile der betreffenden Fläche

unabhängig von einander belichtete. Und da, wo sich die Helligkeitsdifferenzen der Oberfläche wirklich glänzender Körper innerhalb gewisser Grenzen halten, lässt sich für das unbewegte Einzelauge die gleiche Wirkung durch Auftragen heller und dunkler Pigmente erreichen. Dies ist der Grund, weshalb es dem Maler bei geschickter Benutzung der Contrastaufhellung bis zu einem gewissen Grade gelingt »Glanz« zu malen. Er kann auf der Leinwand nur die auf Helligkeitsverhältnissen beruhenden zufälligen Merkmale des Glanzes wiedergeben, und wir ersetzen das Fehlende dann aus unserer Phantasie. Dass dieser uneigentliche Glanz — wir wollen ihn den scheinbaren oder falschen nennen — der fast stetige Begleiter des wahren ist, liegt zwar mit in der Natur der regelmäßigen Reflexion begründet, berechtigt aber nicht im mindesten dazu, die Helligkeitsverhältnisse als solche zu den wesentlichen Merkmalen des wahren Glanzes zu rechnen.

Fassen wir das über den Glanz im allgemeinen Gesagte nunmehr zusammen: Unter wahren oder parallaktischem Glanz verstehen wir die auf dem Zusammenwirken von regelmäßiger und diffuser Reflexion beruhenden, die dritte Dimension voraussetzenden parallaktischen Lichterscheinungen. Dieselben werden, ungeachtet mancher durch unexacten Sprachgebrauch entstandener Verwirrung in den Benennungen, mit keinen anderen Erscheinungen verwechselt und treten ganz unabhängig von dem, was wir über die in Frage kommenden Gegenstände wissen, ein. Als scheinbaren oder falschen Glanz dagegen bezeichnen wir gewisse, bei rein diffuser Reflexion ungewöhnliche Helligkeitsverhältnisse, welche uns zu dem meist richtigen, zuweilen aber auch trügenden Analogieschluss veranlassen, dass es sich in den betreffenden Fällen um Flächen handle, welche auch parallaktischen Glanz verursachen können.

Kehren wir nun zu dem eigentlichen Gegenstand unserer Abhandlung, dem Metallglanz zurück, so erhebt sich zunächst die Frage, ob derselbe den Erscheinungen, die wir als parallaktischen Glanz bezeichneten, zuzurechnen ist, oder nicht. Obgleich nun hier schon der unmittelbare Eindruck in derselben Weise entscheidend ist wie bei der Frage, ob Roth eine Farbe sei, so lässt sich doch durch Ausschluss aller anderen Möglichkeiten zeigen,

dass der Metallglanz »wirklicher Glanz« ist. Die drei Möglichkeiten, die uns hierbei interessiren, sind die folgenden:

- Entweder: der Metallglanz ist weder scheinbarer noch paralaktischer Glanz;
- Oder: der Metallglanz beruht lediglich auf dem scheinbaren Glanz, d. h. auf Intensitätscombinationen in der Fläche;
- Oder aber: das Wesentliche des Metallglanzes besteht in paralaktischen Verhältnissen.

Die erste Eventualität ist ziemlich identisch mit der Annahme, dass der Metallglanz auf irgendwelchem Verhalten der ganzen metallglänzenden, als homogen gedachten Fläche beruhe. Eigenthümlichkeiten homogener Flächen bestehen aber entweder in der Intensität und Qualität des Eindrucks, in der Gestalt, Größe und Dauer, oder in den Beziehungen zu andern Theilen des Gesichtsfeldes. Nun macht eine metallglänzende Fläche niemals den Eindruck einer Fläche von homogener Intensität; und sobald sie es thun würde, wäre sie ja nicht mehr von gleich hellen, nichtmetallglänzenden Flächen zu unterscheiden. Die Existenz völlig farbloser Metalle beweist, dass Farbe und Sättigung, sowohl der ganzen Fläche als auch der Theile derselben, nicht zu den Ursachen des Metallglanzes gehören. Dass nicht ein eigenthümliches (oder sagen wir besser räthselhaftes) Zusammenwirken von Farben, die sich eventuell zu Weiß ergänzen können, das Phänomen verursacht, wird durch die Thatsache dargethan, dass metallglänzende Flächen ihre charakteristische Eigenschaft auch in einfarbiger Beleuchtung beibehalten. Gestalt und Umgebung der Flächen und deren Beziehung zu andern im Gesichtsfelde vorhandenen Lichteindrücken haben auf den Metallglanz keinen wesentlichen Einfluss, denn metallglänzende Flächen erkennen wir mit größter Sicherheit in jeder beliebigen Umgebung. Auch die Größe der Fläche ist für das Vorhandensein des Metallglanzes irrelevant, so lange dieselbe nicht so gering wird, dass der Eindruck des Punktförmigen entsteht. Rückt eine metallglänzende Fläche in so große Entfernung, oder ist sie so klein, dass ihr Gesichtswinkel die für die Wahrnehmung distincter Punkte erforderliche Minimalgröße nicht

erreicht, so hört die Erscheinung des Metallglanzes auf; wir sehen dann nur einen hellen, resp. leuchtenden, vielleicht auch scintillirenden Punkt. Hinsichtlich der Dauer des Eindrucks muss constatirt werden, dass Metallglanz sowohl bei dauernder, wie bei intermittirender, bei constanter und inconstanter, sowie bei sehr kurzer (sog. momentaner) Beleuchtung wahrgenommen wird. Es sind somit alle Eventualitäten der erstgenannten Möglichkeit ausgeschlossen.

Wenn der Metallglanz nur scheinbarer Glanz wäre oder auf irgendwelchen Helligkeitscombinationen zweidimensionaler Art beruhte, so müsste er sich auch durch Auftragen von Pigmenten oder durch locales Beleuchten einzelner Flächentheile herstellen lassen. Ebenso müsste die Photographie eines metallglänzenden Gegenstandes (mindestens die Diapositive im durchfallenden Lichte) Metallglanz besitzen. Aber beides ist nicht der Fall. Da damit die zweite Möglichkeit auch hinfällig geworden ist, so bleibt nur noch die dritte übrig. Damit ist aber bewiesen, dass auch der Metallglanz seine Ursache in parallaktischen Verhältnissen hat.

Nachdem im Vorstehenden die parallaktische Natur des Metallglanzes festgestellt wurde, erhebt sich nunmehr die weitere Frage: Sind die den Glanz im allgemeinen charakterisirenden Verhältnisse der binocularen und Bewegungs-Parallaxe auch ausreichend, das Specielle des Metallglanzes zu erklären?

Als Bedingung für den gewöhnlichen Oberflächenglanz haben wir, soweit derselbe binocular wahrgenommen wird, die Parallaxe des Doppelauges, bei monocularer Wahrnehmung aber die durch die Ortsveränderung des Auges bewirkte Parallaxe erkannt. Dies gilt natürlich auch für metallglänzende Flächen, soweit sie den gewöhnlichen (durch die Politur zu erreichenden) Oberflächenglanz besitzen. Das Eigentliche des Metallglanzes aber, durch welches sich derselbe von jedem andern Glanz unterscheidet, kann nicht auf der binocularen Parallaxe beruhen; denn der Metallglanz wird auch monocular wahrgenommen. Ja er scheint sogar von den Functionen des Doppelauges ganz unabhängig zu sein. Denn bei der binocularen Vereinigung stereoskopischer Photographien von metallglänzenden Gegenständen kommt zwar der Oberflächenglanz sehr schön und deutlich zum Vorschein, nicht aber der Metallglanz.

Es könnte hier eingewandt werden, dass daran die mangelnde Intensität schuld sei; dies ist aber irrig, denn auch bei transparenten Stereoskopien, die im durchfallenden Lichte bei beliebig intensiver Beleuchtung betrachtet werden können, sieht man zwar den Glanz des Glases oder Porzellans, denjenigen polirter Holz- und Steinflächen sowie den Glanz spiegelnder Wasseroberflächen in vollkommener Naturtreue, die Bilder metallischer Gegenstände dagegen zeigen immer nur Oberflächenglanz und keinen Metallglanz.

Aber auch die an die Ortsveränderungen des Einzelauges gebundenen parallaktischen Verschiebungen können für den Metallglanz nicht von Bedeutung sein, denn derselbe wird auch bei monocularer Fixation wahrgenommen. Für ein absolut ruhendes Auge kann man eine mit gewöhnlichem Glanz begabte Fläche durch eine matte mit entsprechender Localbelichtung ersetzen; wenigstens so lange man den Gegenstand nicht in so große Nähe bringt, dass die Parallaxe des indirecten Sehens in Frage kommt. Denn es handelt sich beim gewöhnlichen Oberflächenglanze ja stets um unvollkommene Spiegelung, d. h. für das ruhende Einzelauge um nicht scharf umschriebene Stellen verschiedener Intensität. Eine metallglänzende Fläche dagegen lässt sich niemals in befriedigender Weise durch ein zweidimensional, auf matter Fläche angeordnetes System von Helligkeiten ersetzen.

Wir haben aber dargethan, dass der Metallglanz auf parallaktischen Verhältnissen der Lichtempfindungen beruhen müsse. Sodann haben wir den Nachweis geführt, dass derselbe, soweit er nicht mit dem Oberflächenglanz zusammenfällt, von der binocularen Parallaxe und derjenigen des fortbewegten Auges unabhängig ist. Die einzigen parallaktischen Verhältnisse, welche außer den genannten und als ausgeschlossen bewiesenen bei unsern Gesichtseindrücken möglich sind, sind nun diejenigen des indirecten Sehens. Es folgt daraus, dass das Wesentliche des Metallglanzes auf der Parallaxe des indirecten Sehens beruhen muss.

Wie aber sind diese Verhältnisse zu denken, da der Metallglanz doch an physikalisch homogen erscheinenden Flächen auftritt und bei unbewegtem Auge wahrgenommen wird? Was den letztern Punkt anbelangt, so muss darauf hingewiesen werden, dass das Auge auch bei empfundener Ruhe und beabsichtigter schärfster Fixation

thatsächlich fortwährend kleine Bewegungen macht ¹⁾. Uebrigens ist es, wie ich an anderer Stelle auseinander gesetzt habe ²⁾, nicht nothwendig, dass die Bewegungen wirklich ausgeführt werden. Es bleibt uns somit nur die Frage zu erörtern übrig: Wie können bei einer einheitlichen, glatten und homogen erscheinenden Fläche parallaktische Verschiebungen eintreten?

Dies kann in zwei Fällen geschehen. Erstlich, wenn die Fläche nicht wirklich homogen und glatt ist, sondern zahlreiche Unebenheiten besitzt, oder, was auf dasselbe hinauskommt, aus einer großen Menge kleiner zu einander geneigter, sei es nun ebener oder gekrümmter Flächen zusammengesetzt ist, welche das Licht mehr oder weniger regelmäßig zurückwerfen, oder auch vollkommen spiegelnd sind. In diesem Falle, welcher weiter oben schon berührt wurde, müssen die unscheinbarsten Bewegungen des Objects oder des Auges oder die kleinsten Accommodations-Aenderungen wahrnehmbare und beträchtliche Aenderungen in den Intensitätsverhältnissen benachbarter Flächentheile hervorrufen; es muss eine Art continuirlichen Glitzerns entstehen, gleichsam eine Fläche von lauter scintillirenden Punkten. Werden die kleinen zu einander geneigten Flächen durch Poliren in eine einzige Ebene übergeführt, so verschwindet der charakteristische Metallglanz und macht der vollständigen Spiegelung Platz. Mit dieser Annahme lässt sich jedoch die außerordentliche Intensität der Metallreflexion kaum in Einklang bringen. Auch könnte man mit einigem Rechte schließen, dass eine schnell bewegte Fläche, beispielsweise eine schnell rotirende Metallscheibe, keinen Metallglanz zeigen dürfe, was mit der Erfahrung in Widerspruch steht. Endlich wäre nicht recht einzusehen, warum andere undurchsichtige aber glänzende Körper auf gebrochenen Flächen nicht eben Metallglanz zeigen sollten.

Darum sehen wir uns zu der mehr gerechtfertigten Annahme veranlasst, dass das Licht nur zu einem Theile an der wirklichen Oberfläche der metallglänzenden Körper reflectirt wird, zu einem andern Theile bis zu einer gewissen Tiefe eindringt, auf diesem Wege aber eine Menge zur Einfallsrichtung des Lichts in keiner

1) C. du Bois-Reymond, Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinnesorg. Bd. II.

2) Die Parallaxe des indir. Sehens etc. Phil. Stud. Bd. IX S. 473.

nothwendigen Beziehung stehender spiegelnder Flächen (bei Metallen vielleicht die Oberflächen kleiner Krystalle) trifft, an welchen es nach ein- oder mehrmaliger Refraction und Zurückwerfung zuletzt zur totalen Reflexion gelangt. Sind diese kleinen Flächen ganz unregelmäßig angeordnet, so wird die Zurückstrahlung der ganzen Fläche, wie bei der diffusen Reflexion, nach allen Richtungen annähernd dieselbe Stärke haben. Sie unterscheidet sich aber dadurch von der diffusen Reflexion, dass die Configuration der hellen und dunklen Punkte von jeder Richtung aus eine andere ist. Denn jede dieser kleinen Spiegelflächen strahlt entweder nur nach einer Richtung, oder — sofern sie von mehreren Seiten Licht erhält — nach mehreren Richtungen in verschiedener Stärke Licht zurück. Das in der Richtung irgend einer Geraden nach dem Mittelpunkte des Hornhautbildes der Pupille zurückgestrahlte Licht muss daher nothwendig aus mehreren Componenten von mehr oder minder erheblicher Wegdifferenz bestehen. Diese Wegdifferenz, welche, wie man leicht einsieht, auf Grund der mehrmaligen Refraction und Reflexion auch bei sehr geringer Dicke der Metallschicht eine ganz erhebliche sein kann, verursacht dann, auch bei völlig constantem Lageverhältniss zwischen Auge und Object, die bei jeder Drehung des Auges um seinen Mittelpunkt und bei jeder Aenderung des Accommodationszustandes unvermeidlich eintretenden parallaktischen Verschiebungen der durch das indirecte Sehen vermittelten Intensitäten und Lageverhältnisse.

An jeder der erwähnten kleinen Spiegelflächen wird ein Theil des dort ankommenden Lichtes reflectirt. Der nicht reflectirte Theil wird gebrochen und geht dann weiter, bis er an der nächsten Grenzfläche wieder einen Theil durch Reflexion verliert und so fort, bis alles Licht unter irgend einem Winkel, größer als 90° zur Einfallrichtung, wieder diesseits der metallglänzenden Fläche angelangt ist. Trotzdem alle einzelnen Theilchen vollkommen durchsichtig sind, kann das Licht doch nur bis in eine gewisse Tiefe eindringen, welche um so geringer ist, je höher der Brechungsindex der betreffenden Substanz ist. So erklärt sich dann auch die scheinbare Undurchsichtigkeit der Metalle bei ganz geringfügiger Absorption, oder, was dasselbe ist, die außerordentliche Reflexionsfähigkeit. Es gehen eben weder durch die Absorption noch durch den Durchtritt

in das folgende Medium nennenswerthe Lichtmengen verloren; durch Absorption deshalb nicht, weil die Theile des Körpers den höchsten Grad von Lichtdurchlässigkeit besitzen, und durch den Austritt ins nächste Medium nicht, weil das Licht auf Grund der vielfachen partiellen und totalen Reflexion nicht bis zur hinteren Trennungsfäche gelangen kann.

Hier könnte der Einwand erhoben werden, dass nach dem Vorstehenden der Schnee metallglänzend sein müsste; denn er besteht aus durchsichtigen kleinen Krystallen, deren Flächen das Licht reflectiren. Dem gegenüber ist aber zu beachten, dass die kleinen Eiskryställchen des Schnees nur sehr unvollkommen spiegeln, und dass in Folge der großen Zwischenräume zwischen ihnen das Licht bis zu beträchtlicher Tiefe in die ganze Schneemasse eindringen muss, um gänzlich zur Reflexion zu gelangen. In Folge dieser beiden Umstände ist keine Richtung der Reflexion vor der andern bevorzugt, und die Schneefläche sieht daher von allen Richtungen aus betrachtet gleich aus, nämlich blendend weiß.

Ferner, wenn wir oben verlangten, dass die Richtungen der kleinen Spiegelflächen nicht nothwendig in irgend einer Beziehung zur Einfallrichtung des Lichts stehen, so schließt das nicht aus, dass die Raumbeziehungen der kleinen Flächen zu einander gesetzmäßige sind, wie dies zum Beispiel bei den wirklichen Metallen, wo die kleinen Krystalle ganz entschieden einer gewissen Lageordnung unterworfen sind, geradezu gefordert ist. Ob diese gesetzmäßigen Lageverhältnisse nur einen fördernden Einfluss haben, oder ob sie in manchen Fällen — z. B. bei geringem Brechungsvermögen — für das Vorhandensein des Metallglanzes entscheidend sind, kann hier nicht ausgemacht werden. So viel ist sicher: es müssen, damit mehrfache Refraction und Reflexion möglich ist, zwischen den kleinen Theilen der durchsichtigen Materie leere oder anderswie gefüllte Zwischenräume bestehen. Diese Zwischenräume aber müssen sehr klein sein, da sonst dieselben störenden Verhältnisse eintreten, wie beim Schnee. Die Zwischenräume können aber auf ein sehr kleines Gesamtvolumen reducirt werden, wenn die durch sie getrennten Flächen parallel sind, was bei gewissen Krystallformen ganz, bei andern nur theilweise durch Lagerung der Krystalle im selben Sinne erfüllt werden kann.

Als Ergebniss unserer im Vorstehenden ausgeführten Deduction stellen wir nunmehr zwei Sätze auf, von denen der erste die psychologische, der andere die physikalische Seite der Frage betrifft:

I. Das Charakteristische des Metallglanzes beruht auf der Parallaxe des indirecten Sehens.

II. Das von einer metallglänzenden Fläche reflectirte Licht besteht aus Componenten von erheblicher Wegdifferenz.

Im Anschluss an den zweiten dieser Sätze lassen sich aus unseren Erörterungen noch die nachfolgenden, die psychische Natur des Metallglanzes betreffenden Folgerungen ziehen.

1) Da eine Wegdifferenz nur in seltenen Ausnahmefällen gleich einer geraden Anzahl von Viertel-Wellenlängen ist, so liegt bei dem von metallglänzenden Flächen reflectirten Lichte stets auch eine Phasendifferenz vor, in Folge deren das reflectirte Licht die Merkmale der elliptischen Polarisirung besitzen muss. Dies gilt nicht nur von Metallspiegeln, für welche es erwiesen ist, sondern auch für matte Metallflächen und alle Flächen überhaupt, welche Metallglanz besitzen.

2) Wenn das von Metallflächen reflectirte Licht nicht einfach an der Oberfläche zurückgeworfen ist, sondern im Innern mehrmalige Brechung und Reflexion erfährt, so wird auch das von dünnen Metallschichten durchgelassene Licht nicht nur bei seinem Ein- und Austritt gebrochen werden, sondern es muss angenommen werden, dass es ebenfalls auf seinem Wege Reflexion erleidet. Hat aber ein Theil des durchgelassenen Lichts im Innern des Metalls eine Reflexion oder eine ungerade Anzahl von Reflexionen erlitten, so muss das durchgelassene Licht die Erscheinungen der anomalen Dispersion erkennen lassen. Ist alles durchgelassene Licht als reflectirtes zu betrachten, so muss sich die Ordnung der Farbenzerstreuung vollständig umkehren: das Roth muss scheinbar die größte, das Violett die kleinste Brechbarkeit besitzen.

3) Alle die moleculare Structur der Metalle verändernden Vorgänge, wie die Veränderung der Temperatur und Dichte, oder des elektrischen oder magnetischen Zustandes, müssen auf die metallische Reflexion einen gewissen Einfluss ausüben.

4) Wenn die Metalle aus kleinen durch anderswie gefüllte Zwischenräume getrennten durchsichtigen Körperchen bestehen, so wird ein Theil des von sehr dünnen Metallplatten durchgelassenen Lichts wieder austreten, ohne überhaupt in das zweite Mittel (die Metallmasse) eingedrungen zu sein; es ist dies derjenige Theil, welcher, obgleich ein- oder mehrmalige Reflexion erleidend, die Zwischenräume nicht verlässt bis zu seinem Austritt aus dem ganzen Systeme. Ein anderer Theil des durchgelassenen Lichts wird nur verhältnissmäßig geringe Strecken innerhalb der Metalltheile zurücklegen. Wenn nun aber gleichzeitig auf Grund der Dispersion eine Selection der Strahlengattungen stattfindet, so dass eine Verschiedenheit zwischen der Farbe des durchgelassenen Lichts und des von der Oberfläche der kleinen Metalltheile reflectirten entsteht, so wird das Metall gefärbt erscheinen; und auch das durch dünne Platten desselben Materials hindurchgegangene Licht wird farbig sein. Aber das reflectirte Licht, welches in Wirklichkeit bis zu einer gewissen Tiefe die Metallmasse durchdrungen hat, wird die eigentliche Farbe der kleinen Metalltheile repräsentiren, während das von dünnen Platten durchgelassene Licht seine abweichende Färbung gerade denjenigen Strahlen verdankt, welche nur scheinbar durchgelassen, in Wirklichkeit aber auf dem Wege der Reflexion hinausgelangt sind. Man könnte daher die Farbe des von dünnen Metallschichten durchgelassenen Lichts die Oberflächenfarbe der kleinen Metallkrystalle nennen. Da aber nach beiden Richtungen Licht beider Arten gelangt, also unter dem reflectirten sich auch solches befindet, welches wirklich von der Oberfläche zurückgeworfen wurde, und unter dem durchgelassenen auch wirklich gebrochenes, so folgt daraus, dass die Verschiedenheit der beiden Farben niemals diejenige zweier Complementärfarben erreichen kann.

Fragen wir nun, in wie weit die Ergebnisse unserer Untersuchung durch die Resultate der physikalischen Forschung Bestätigung finden.

Satz II, welcher ziemlich identisch ist mit der Annahme, dass die Metalle von nahezu vollkommener Durchsichtigkeit sind, steht ganz im Einklang mit den Vermuthungen der Physiker, welche schon lange auf die Analogie zwischen dem Verhalten der Metalle und demjenigen transparenter Körper von hohem Brechungs-Vermögen

aufmerksam gemacht haben¹⁾. McCallegh hat auf Grund dieser Analogie von der Veröffentlichung seiner Theorie Abstand genommen, da er einerseits die Analogie zwischen der Metallreflexion und der Reflexion des Diamants anerkennen musste, andererseits aber, um derselben Rechnung zu tragen, dem Diamant eine beträchtliche, absorbirende Kraft hätte zuschreiben müssen, was mit der übrigen Erfahrung in Widerspruch steht²⁾. An dieser Stelle glauben wir uns der Bemerkung nicht enthalten zu können, dass sich in die Ergebnisse physikalischer Untersuchung gar manche schwerwiegende Irrthümer einschleichen auf Grund unkritischer Einführung mathematischer Hilfsbegriffe (wie unendlich kleiner »Theilchen«, »unendlich benachbarter« Molecüle, unendlich dünner Schichten u. s. w.), denen weder in dem physischen noch im psychischen Bestand der Thatsachen etwas entsprechen kann. Diese Begriffe sind außerordentlich schätzenswerthe Hilfsmittel für Deduction und Rechnung; aber sie dürfen nicht in die Voraussetzungen aufgenommen werden, von welchen dieselbe ausgeht; und ebenso müssen sie in den Resultaten wieder verschwinden, wenn anders dieselben einen realen Werth besitzen sollen. Wir haben daher auch in der vorliegenden Darlegung, um nirgends den Boden des physikalisch und psychologisch Nachweisbaren zu verlassen, überall von wirklichen d. h. ausgedehnten Metalltheilchen und Zwischenräumen gesprochen. Ebenso haben wir uns aller hypothetischen Voraussetzungen über die specielle Natur der Bewegungsvorgänge, denen unsere Lichtempfindung entspricht, enthalten. Wo wir von »Strahlen« redeten, kann dieser der Kürze halber angewandte Ausdruck überall durch correctere wie »Fortpflanzungsrichtung«, Normale auf die Wellenfläche u. a. ersetzt werden.

Die Analogie zwischen metallischer und totaler Reflexion, welche fast alle die Metallreflexion behandelnden Physiker in so hohem Maße beschäftigten, ist auch nach unserer Darlegung keine zufällige. Das in den metallglänzenden Körper eindringende Licht trifft auf die oben erörterten kleinen reflectirenden Flächen. Hier wird natürlich ein Theil des Lichts total, ein anderer Theil theilweise

1) Airy, Cambr. Trans. Tome IV p. 219; Verdet, Oeuvres, Tome 6 p. 537 ff.

2) E. Verdet, Oeuvres, Tome 6 p. 563 ff.

reflectirt; der nicht reflectirte Theil geht weiter, bis er auf eine andere Fläche trifft, wo sich die Theilung wiederholt und so weiter, bis alles Licht zur Annahme einer Richtung gezwungen ist, die um mehr als 90° von der ursprünglichen Richtung des einfallenden Lichts abweicht.

Dass die kleinen Metallkrystalle völlig durchsichtig sind, wird durch die von Voigt gefundene Thatsache bestätigt, dass bei schiefem Durchgang des Lichtes durch eine Metallschicht die Absorption nur um sehr wenig stärker ist als bei geradem¹⁾. Die Verstärkung der Absorption geschieht nicht in dem Verhältniss, welches aus dem beim schiefen Einfall vergrößerten Wege nach der gewöhnlichen Auffassung folgen würde. Das ist nach unserer Erklärung der Metallreflexion geradezu selbstverständlich. Auch der Umstand, dass die Absorption abnimmt, wenn die Brechbarkeit wächst²⁾, spricht für unsere Ansicht. Hierbei darf aber nicht vergessen werden, dass man unter Absorption zweierlei versteht. Absorbirt im eigentlichen Sinne des Wortes nennen wir denjenigen Theil des Lichtes, welcher als Licht vernichtet, d. h. in irgend eine Bewegungsart umgesetzt ist, für die unser Gesichtssinn unempfindlich ist. Bei lichtdurchlässigen Körpern nennt man aber vielfach, obgleich völlig uncorrect, das ganze nicht durchgelassene Licht absorbirt, obgleich ein großer Theil desselben keineswegs als Licht vernichtet, sondern nur, sei es regelmäßig oder diffus, reflectirt wird. So fast in allen Fällen, wo wir von Absorptions-Spektren reden. Eine mattgeschliffene Glasplatte lässt ungefähr die Hälfte des sie treffenden Lichtes durch; die nichtdurchgelassene Hälfte ist aber darum doch nicht absorbirt; sie wird zurückgeworfen und die wirkliche Absorption ist verschwindend gering. Ganz ähnlich ist es bei den Metallen. Selbst sehr dünne Platten lassen nur sehr wenig Licht durch, weil auf Grund der oben dargelegten Verhältnisse fast alles Licht reflectirt wird. Die Absorption kann daher, trotz der scheinbaren Undurchsichtigkeit dieser Stoffe, nur ganz verschwindend gering sein.

Die elliptische Polarisation des von Metallen reflectirten Lichtes ist seit den Arbeiten von Brewster, Senarmont, Jamin,

1) Voigt, Wiedem. Annal. Bd. 23 S. 133 und 160.

2) Beer, Pogg. Annal. Bd. 92 S. 418.

Neumann, McCullagh u. A. eine von den Physikern allgemein anerkannte Sache. Brewster, welcher zuerst die falsche Ansicht, dass Metalle das Licht gar nicht polarisirten, corrigirte, zeigte später auch, dass selbst ein geradlinig polarisirter Strahl bei der Reflexion an einer Metallfläche wieder »theilweise entpolarisirt« werden kann¹⁾. Die elliptische Polarisation an sich hat übrigens für den Metallglanz keine entscheidende Bedeutung, da sie auch bei der Reflexion an Flächen beobachtet wird, welche die Eigenschaft des Metallglanzes nicht besitzen, und da ferner die diesbezüglichen physikalischen Versuche sich auf Metall-»Spiegel«, d. h. auf Objecte beziehen, welche außer dem Metallglanz noch einen hohen Grad von gewöhnlichem Oberflächenglanz besitzen. Auch Voigt²⁾ und Drude³⁾ erkennen an, dass durch das Poliren einer Metallfläche wesentliche Aenderungen in dem optischen Verhalten herbeigeführt werden. Durch das Poliren einer Metallfläche werden die Lageverhältnisse der Metalltheilchen der äußersten Schichten entschieden geändert und die Zwischenräume mit den Trümmern der zerstörten Metallkrystalle und des Polirmittels angefüllt. Ob dadurch die Durchsichtigkeit der obersten Schichten erhöht oder verringert wird, bleibt sich gleich; in allen Fällen werden die Bedingungen des Metallglanzes dadurch ganz oder theilweise aufgehoben. Je mehr daher die Reflexion an einer polirten Metallfläche sich der vollkommenen Spiegelung nähert, desto geringer wird ihr »Metallglanz«. Drude spricht sich über diesen Punkt in der oben citirten Arbeit (Satz 2 des Resumé) wie folgt aus: »Durch Poliren oder Berühren mit Flüssigkeiten entstehen Oberflächenschichten, welche bei durchsichtigen Medien die elliptische Polarisation, bei undurchsichtigen wesentliche Aenderungen der aus der Reflexionsbeobachtung berechneten Constanten hervorrufen.«

Die elliptische Polarisation des von Metallspiegeln reflectirten Lichtes ist somit nicht beweisend. Dem Nachweis der elliptischen Polarisation bei matten (d. i. unpolirten) Metallflächen treten aber mannigfache Schwierigkeiten entgegen, von welchen die wichtigste

1) Brewster, Phil. Trans. 1830 S. 287.

2) Voigt, Wiedem. Annal. 31 S. 326.

3) Drude, Wiedem. Annal. 36 S. 533.

darin besteht, dass das Wesen des Metallglanzes, wie wir gezeigt haben, gerade in der verschiedenen Zusammensetzung des von benachbarten Punkten der Metallfläche reflectirten Lichtes liegt. Von größerer Bedeutung scheint mir dagegen die Thatsache zu sein, dass auch das von Metallschichten durchgelassene Licht elliptisch polarisirt ist. Schon Faraday ¹⁾ wies an dem von dünnen Gold- und Platinblättchen durchgelassenen Lichte partielle Polarisation nach, und Quincke ²⁾ hat dargethan, dass nicht bloß der reflectirte Strahl, sondern auch das von Metallen durchgelassene Licht elliptisch polarisirt ist, wenn geradlinig polarisirtes Licht einfällt. Auch Quincke ist der Ansicht, dass das Licht bis zu einer merklichen Tiefe in die Metalle eindringt und aus dem Innern reflectirt wird, sowie dass diese Tiefe eben so groß oder wenig kleiner als die Wellenlänge sei ³⁾. Es muss aber hier nochmals darauf aufmerksam gemacht werden, dass nach unserer Theorie keineswegs gefordert ist, dass die Wegdifferenz der Componenten eines die Metalloberfläche in einer bestimmten Richtung verlassenden Lichtstrahls kleiner sei als die Dicke der Metallschicht. Die Wegdifferenz ist von dieser Dicke nur insofern abhängig, als bei einer gewissen unteren Grenze derselben keine Wegdifferenz mehr stattfinden kann. Es ist aber ganz selbstverständlich, dass, je dünner und durchsichtiger die Metallschicht ist, desto mehr Licht für die Reflexion verloren geht. Es muss daher bei außerordentlich großer Verdünnung der Schicht der charakteristische Metallglanz verloren gehen.

Die zweite der abgeleiteten Folgerungen findet sich sowohl in den von Beer ⁴⁾ aus den Jamin'schen Beobachtungen berechneten Brechungsindices als auch in den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen Kundt's ⁵⁾ und derjenigen von Du Bois und Rubens ⁶⁾ bestätigt. Sämmtliche Metalle zeigten anomale und

1) Siehe Verdet, Oeuvres, T. 6 S. 596.

2) Quincke's Arbeiten finden sich in Poggendorff's Ann. Bd. 28 S. 541 ff.; Bd. 119 S. 368 ff.; Bd. 120 S. 599 ff.; Bd. 129 S. 177 ff. u. Bd. 142 S. 177 ff.

3) Quincke, Poggendorff's Ann. Bd. 119 S. 378.

4) Beer, Pogg. Annal. Bd. 99 S. 402 ff.

5) Kundt, Sitz.-Ber. der Akademie der Wissensch. zu Berlin, Jahrg. 1888 S. 255 ff. und S. 1387 ff.

6) Du Bois und Rubens, ebendas. Jahrg. 1890, II, S. 955 ff.

zwar völlig umgekehrte Dispersion; die langwelligen Farben besitzen anscheinend die größte, die kurzwelligen die kleinste Brechbarkeit. Dass in den Resultaten Kundt's und seiner Schüler Gold, Silber und Kupfer eine Ausnahme machen und normal dispergiren, ist nur scheinbar. Da für diese Metalle die Brechungsindices kleiner als 1 gefunden wurden, so zeigt gerade die normale Folge der Farben die Umkehrung der Dispersion an; denn ein Prisma von geringerer optischer Dichte als seine Umgebung dispergirt normal, wenn die Farben in umgekehrter Ordnung austreten. Es ist daher ganz unzulässig, Gold, Silber und Kupfer als »Metalle mit normaler Dispersion« zu bezeichnen¹⁾.

Für die dritte Folgerung müssen die Untersuchungen von Kerr, Right, Kundt und Drude²⁾, wonach die Polarisationssebene des von Stahlspiegeln reflectirten Lichtes in ihrer Richtung beeinflusst wird, als Bestätigung gelten. Hier verdienen auch einige interessante Angaben Quincke's Erwähnung³⁾. Silber, welches im durchfallenden Lichte gelb erschien, wurde durch bloßen Druck in blaues verwandelt. Ebenso änderte röthliches Gold unter den gleichen Einflüssen seine Farbe in Grün. Dass hierbei nicht lediglich eine Veränderung der Dicke der absorbirenden Schicht stattfand, geht daraus hervor, dass die Metalle auch im reflectirten Lichte ein verändertes Verhalten zeigten. Ferner: Silber, in welchem die Lichtgeschwindigkeit eine größere war als in der Luft, verwandelte sich durch bloßes Liegen an der Luft in solches von geringerer Lichtgeschwindigkeit; dasselbe konnte bei Gold constatirt werden. Durch bloßen Contact mit Säuren, die keine chemische Verbindung mit Silber eingehen, wurde blau durchscheinendes Silber in gelbes verwandelt.

Die vierte Forderung ist bei einigen Metallen in so fern erfüllt, als das von dünnen Schichten durchgelassene Licht von anderer Farbe ist, als das reflectirte. So erscheint Gold im durchfallenden Lichte meist Blaugrün oder Grün, Silber bläulich. Die Thatsache aber, dass diese Farben variiren, wie wir oben sahen, so dass Gold

1) Rubens, Die selective Reflexion der Metalle. Wiedem. Ann. Bd. 37 S. 265.

2) Siehe die oben citirten Arbeiten von Kundt und Drude.

3) Quincke, Pogg. Annal. Bd. 119 S. 382.

unter Umständen auch braun und violett, Silber auch gelb und grau erscheinen kann¹⁾, beweist gerade, dass diese Farben nicht die wirkliche innere Farbe der durchsichtigen Metalltheilchen sind, sondern höchstens als deren Oberflächenfarbe aufgefasst werden können. Dafür, dass das scheinbar durchgelassene Licht zum großen Theile nur leere Zwischenräume und nicht die eigentliche Metallmasse durchsetzt hat, spricht auch der Umstand, dass beim senkrechten Durchgang durch eine Metallplatte (wie beim Passiren eines optisch dünneren Mediums) eine Beschleunigung stattfindet. Dass nach unserer Theorie das Licht den Raum der Metallplatte nicht auf dem kürzesten Wege passirt, steht in bestem Einklang mit einer Angabe Quincke's, nach welcher bei einer Metalldicke von $\frac{1}{10}$ Wellenlänge doch ein größerer Gangunterschied constatirt wurde. Hier darf auch eine andere zuerst von Quincke¹⁾ gemachte Beobachtung nicht unerwähnt bleiben. Schaltet man nämlich eine durchsichtige Silber- oder Goldschicht von gleichförmiger Dicke in den Gang des einen von zwei interferirenden Strahlenbündeln ein, so entsteht eine Verschiebung der Interferenzstreifen, welche nicht den Verschiebungen, die durch die Einschaltung stark absorbirender Substanzen hervorgebracht werden, entspricht, sondern ganz so beschaffen ist, als ob das Metall eine gewöhnliche durchsichtige Substanz mit einem Brechungsindex < 1 wäre. Dies Resultat kann auf drei Arten zu Stande kommen:

Erstens: Die ganze Metallschicht besteht aus einer homogenen durchsichtigen Substanz von einem Brechungsvermögen kleiner als das der Luft. Dieser Fall ist auf Grund der Widersprüche mit den übrigen optischen Eigenschaften ganz ausgeschlossen.

Zweitens: Das Metall besteht aus kleinen durchsichtigen mit sehr geringem Brechungsvermögen begabten Theilchen (Krystallen), welche das von der Metallschicht durchgelassene Licht durchsetzen haben muss. Aber in diesem Fall ist nicht einzusehen, warum bei so geringem Brechungsvermögen nicht mehr Licht durchgelassen wird. Auch bleibt dabei der weiter oben erwähnte Gangunterschied, welcher größer ist als die Dicke der Metallschicht, unaufgeklärt. So bleibt als dritte Möglichkeit nur die folgende übrig:

1) Quincke, Pogg. Annal. Bd. 129 S. 186.

Das Metall besteht aus durchsichtigen durch (leere?) Zwischenräume getrennten und von regelmäßig reflectirenden Oberflächen begrenzten Theilchen. Das durchgelassene Licht hat nur zu einem Theile das Innere dieser Theilchen passirt; der größere Theil ist auf einem optisch längeren Wege, nämlich durch Reflexion und ohne die erwähnten Zwischenräume zu verlassen, nach außen gelangt.

Wenden wir uns nun wieder zu dem ersten, die psychologische Seite betreffenden Satze unserer Ergebnisse, nach welchem das Charakteristische des Metallglanzes auf der Parallaxe des indirecten Sehens beruht. Wir haben diesen Satz nach Art des indirecten Beweises in der Mathematik, d. h. durch Ausschluss aller anderen Möglichkeiten theoretisch abgeleitet und wollen nun versuchen, seine Richtigkeit an einem praktischen Falle zu erproben.

Wenn unsere Deduction richtig ist, dann muss es mit Hülfe durchsichtiger Körper, sofern es gelingt, denselben eine solche räumliche Anordnung zu geben, dass die parallaktischen Erscheinungen des indirecten Sehens eintreten, möglich sein, die Erscheinung des Metallglanzes künstlich hervorzurufen. Die Verwendung der durchsichtigen Medien muss hierbei eine solche sein, dass auf Grund mehrmaliger Reflexion an einer Reihe von spiegelnden Flächen, deren Entfernung von einander zu gering ist, um direct eine Rolle in der Tiefenwahrnehmung zu spielen, diejenigen Verhältnisse für das monoculare Sehen eintreten, welche wir an anderem Orte als für die Parallaxe des indirecten Sehens charakteristisch nachgewiesen haben. Am einfachsten wird dies durch Combination einer Anzahl sehr dünner Platten aus durchsichtigem Stoff erreicht. Ich habe nun zunächst Versuche mit dünnen Glasplatten gemacht, welche jedoch negativ ausfielen. Glasplatten von der Dicke der Deckgläschen zu mikroskopischen Präparaten sind offenbar schon zu dick zu unserem Zwecke; dünnere Glasplatten aber konnte ich nicht aufreiben. Ausgezeichnet dagegen waren die Resultate der Versuche mit Gelatine- und Glimmerplatten. Farblose Gelatineplättchen, welche ich verwandt, hatten eine Dicke von $\frac{1}{30}$ — $\frac{1}{50}$ mm; ferner konnte ich durch Spalten von schönen glashellen Glimmertafeln, welche Herr Professor Colemann mir in liebenswürdiger Weise zur Verfügung stellte, Blättchen von beliebiger Dicke zwischen $\frac{1}{30}$

und etwa $\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{120}$ mm herstellen. (Diese Zahlen erheben keinen Anspruch auf Genauigkeit, da ich die Messung nicht anders vornehmen konnte, als durch Aufeinanderlegen von mehreren Hundert Blättchen und Feststellung der Gesamtdicke.) Als brauchbarste Dicke erwies sich diejenige von $\frac{1}{50}$ — $\frac{1}{60}$ mm; die noch dünnern Blättchen bleiben nicht mehr eben, sondern verkrümmen sich und zeigen überdies oft Interferenzfarben.

Legt man 25—30 solcher Blättchen von $\frac{1}{40}$ — $\frac{1}{60}$ mm Dicke aufeinander, so ist das Ganze noch schwach lichtdurchlässig: im auffallenden Lichte aber hat es genau dasselbe Aussehen wie blankes Weissblech. Hat der Glimmer eine Spur von gelblicher Färbung, so bekommt die Combination das Aussehen von Nickelmetall oder Neusilber, mit bräunlichem Glimmer dagegen erhält man ungefähr die Oberfläche des Glockenmetalls oder der Bronze.

Die auf diese Art hergestellten Präparate zeigen, ähnlich wie unvollkommen polirte Metalle, neben dem eigentlichen Metallglanz einen ziemlich hohen Grad von Oberflächenglanz. Es lassen sich jedoch auch matte Flächen in überraschender Metallähnlichkeit herstellen und zwar durch geeignetes Präpariren des obersten Glimmerblättchens. Dieses oberste Blättchen wird mit einem feinen Messer vorsichtig geschabt und die so hergestellte rauhe Fläche mit Glimmerpulver und Oel geschliffen. Es lassen sich auf diese Weise alle möglichen Grade der Glanzlosigkeit der Oberfläche erreichen, ja sogar Feilstriche und Aetzfiguren sehr täuschend nachahmen. Unterlegt man das oberste Blättchen mit einem sehr dünnen, nicht zu stark gefärbten Gelatineblättchen, so kann man auch, sofern man über die nöthigen Varietäten farbiger Gelatine verfügt, beliebige Nüancirungen von farbigen matten Metalloberflächen herstellen. Mit Hülfe von schwach mit Eosinroth gefärbter Gelatine erhält man beispielsweise matte Kupferflächen in ganz überraschender Naturtreue. Die Farbe des Goldes, diejenige der Bronze, des Messings erzielt man in ähnlicher Weise durch Anwendung entsprechend gefärbter Lamellen.

Die Imitation von blank polirten farbigen Metallen dagegen stößt auf größere Schwierigkeiten und gelingt nicht in demselben Maße wie die der matten farbigen. Es findet sich nämlich, dass hier das farbgebende Blättchen unbedingt an der Oberfläche liegen

muss, wenn der metallische Effect nicht aufgehoben werden soll. Da nun die mir zur Verfügung stehenden Gelatineblättchen eine zu beträchtliche Dicke besitzen ($\frac{1}{30}$ — $\frac{1}{40}$ mm), um nicht als eine von der eigentlichen Metallreflexion räumlich getrennte Schicht wahrgenommen zu werden, so konnte ich beispielsweise bei Anwendung eines gelben Blättchens niemals vollständig den Effect einer blankpolirten Messingfläche erreichen. Die Präparate hatten alle das Aussehen von zwar polirten, aber außerdem mit einer dünnen Lack-schicht überzogenen Messingflächen (genau so wie die lackirte Messingscheibe an manchen Apparaten). Dieses Ergebniss steht mit der oben dargelegten Theorie, wonach die Farben der Metalle keine Oberflächenfarben, sondern Färbungen eines Mediums von sehr vollkommener Durchsichtigkeit sind, in bestem Einklang. Hiernach kann die Wirkung nur dann vollständig erzielt werden, wenn sämtliche an einem Präparate beteiligten Glimmer- (oder Gelatine-) Blättchen in entsprechender Weise schwach gefärbt sind¹⁾.

Dass bei dem Metallglanz der beschriebenen Präparate die krystallinische Structur des Glimmers keine Rolle spielt, geht daraus hervor, dass der Effect auch mit amorphen und isotropen Medien, wie Gelatineblättchen, erreicht wird. Dass die mit Gelatine angestellten Versuche nicht ganz so befriedigend ausfielen wie die andern, ist darauf zurückzuführen, dass die Gelatineblättchen etwas zu dick und nicht ganz so durchsichtig und glatt waren, wie die Glimmeramellen. Dass man Interferenz- und Farben dünner Blättchen in keiner Weise für den Metallglanz verantwortlich machen darf, wie dies von Brücke²⁾ versucht wurde, wird durch den Umstand dargethan, dass gerade diejenigen Glimmerblättchen sich als die am wenigsten geeigneten erwiesen, welche dünn genug waren, um Interferenzfarben zu zeigen. Die von Brücke erörterten metall-

1) Anmerkung des Herausgebers. Herr Dr. Kirschmann hatte die Güte, mir eine Collection solcher aus Gelatine- und Glimmerplättchen zusammengesetzter Combinationen zuzusenden, die, wie ich bestätigen kann, bei auffallendem Lichte betrachtet die verschiedenen Metalloberflächen, wie Gold, Bronze, Messing, Aluminium u. s. w., in der überraschendsten Weise nachahmen, so dass Jeder, der diese Objecte ohne Kenntniss ihrer Entstehungsweise betrachtet, sie ohne weiteres für wirkliche polirte Metalloberflächen hält. W. Wundt.

2) Brücke, die oben citirte Abhandlung S. 185.

glänzenden Harnsteine¹⁾ verdankten daher auch ihre Eigenschaft nicht den durch die geringe Dicke der Lamellen hervorgerufenen Interferenzfarben, sondern dem Umstande, dass sie aus einem System zahlreicher concentrischer Schichten von geringer Dicke und großer Durchsichtigkeit bestanden. Die goldglänzenden Zähne mancher Gemen²⁾ sind aller Wahrscheinlichkeit nach von einer Anzahl sehr dünner Schichten eines durchsichtigen und schwer löslichen Calcium- oder Magnesiumsalzes bedeckt, wie sie von den jungen Alpenwässern, aus denen die Gemen zu trinken pflegen, oft geführt werden.

Glimmerstücke, welche durch angehende Verwitterung oder durch mechanischen Druck aufgeblättert sind, zeigen zuweilen auch einen gewissen Grad von Metallglanz. Es muss aber stets eine Trennung der einzelnen Lamellen, also die Herstellung von Zwischenräumen erfolgt sein. Einen sehr schönen Metallglanz, ganz ähnlich demjenigen matten Silbers, erhält man, wenn man sehr dünne Blättchen farblosen Glimmers (Muskovit) bis zur Weißgluth erhitzt.

Zusammenfassung.

Am Schlusse unserer Untersuchung angelangt, will ich versuchen, die Ergebnisse derselben in Kürze zusammenzufassen, und zwar in einer solchen Form, dass der Hauptgedankengang unserer Betrachtungen in einer Reihe von Schlussfolgerungen dargelegt wird, welchen wie den Gliedern einer mathematischen Deduction Nothwendigkeit innewohnt.

1. Der Metallglanz ist eine ganz charakteristische Erscheinung, welche jedermann unabhängig von jeglichem Vorwissen um Gegenstände, Beleuchtung u. s. w. von andern Lichterscheinungen unterscheidet. Eine Definition des Metallglanzes kann daher keinen andern Werth beanspruchen, als etwa die Definition der Empfindung Roth. Die Bezeichnung der Erscheinung ist ganz irrelevant: »Metall« und »Metallglanz« haben psychologisch nichts mit einander zu thun.

1) Ebendasselbst S. 177 f.

2) Ebendasselbst S. 178 f.

2. Für unser Bewusstsein unterscheiden sich die Lichteindrücke nur hinsichtlich der Intensität, der Qualität (Farbe und Sättigung) und der Raum- und Zeitverhältnisse. Das Charakteristische des Metallglanzes muss sich demnach auf diese vier Factoren oder auf einen Theil derselben zurückführen lassen.

3. Hinsichtlich der Intensität eines Lichteindrucks kann es sich handeln um:

- a) die Intensität der ganzen Fläche,
- b) die Intensitätsverhältnisse der Theile der Fläche zu einander oder der ganzen Fläche zu andern Eindrücken,
- c) Intensitätswechsel.

Die unter b und c aufgeführten Eventualitäten fallen zugleich unter die räumlichen resp. zeitlichen Verhältnisse und werden daher bei Erörterung dieser zur Sprache kommen. Da der Metallglanz von der Stärke der Beleuchtung ganz unabhängig ist, so kann er nicht auf der absoluten Intensität der ganzen Fläche beruhen.

4. Da es völlig farblose Metalle gibt, und da ferner metallglänzende Flächen auch in farbigem und selbst in annähernd monochromatischem Lichte ihre charakteristische Eigenschaft beibehalten, so ist auch die Betheiligung des Farbtones und der Sättigung an den wesentlichen Bedingungen des Metallglanzes ausgeschlossen.

5. Was die Zeitverhältnisse anbelangt, so ist der Metallglanz von der Dauer des Gesamteindrucks der betreffenden Fläche unabhängig; auch bei sehr kurzer, sogenannter momentaner Beleuchtung wird Metallglanz wahrgenommen. Ebenso kann ein Wechsel in den Eigenschaften des Gesamteindrucks nicht die Ursache des Metallglanzes sein, da der letztere auch bei nachweisbarer Constanz der optischen Verhältnisse der betreffenden Fläche und des Auges wahrgenommen wird.

Die zeitlichen Verhältnisse einzelner Theile der Fläche fallen zugleich unter »Raumverhältnisse« und finden daher im Folgenden ihre Erörterung.

6. Die Raumverhältnisse sind entweder diejenigen der ganzen Fläche oder diejenigen der Flächentheile zu einander. Die Raumverhältnisse der ganzen Fläche sind: Gestalt, Größe und Lageverhältniss zu andern Flächen im Gesichtsfelde. Form und Größe sind ganz irrelevant für den Metallglanz. Da ferner auch die Umgebung

der metallglänzenden Fläche ohne Einfluss auf das Charakteristische der Erscheinung ist, so kann der Metallglanz auf den Raumverhältnissen der ganzen Fläche nicht beruhen. Die einzige die Raumverhältnisse des Gesamteindrucks angehende Bedingung für den Metallglanz ist die, dass der Eindruck ein flächenhafter ist. Ein Punkt im Gesichtsfelde, d. h. ein Lichteindruck, der nicht als Fläche wahrgenommen wird, hat, einerlei welcher Art seine Intensität oder sein Intensitätswechsel sei, niemals die Eigenschaft des Glanzes.

7. Es bleibt somit als einzige Möglichkeit die Folgerung übrig, dass der Metallglanz auf räumlichen oder räumlich-zeitlichen Beziehungen der Theile des Eindrucks zu einander beruht. Diese Beziehungen können nur dann eine Bedeutung haben, wenn die in Frage kommenden Theile des Eindrucks zugleich Intensitäts- oder Qualitätsverschiedenheiten aufweisen. Da aber, wie schon oben erwähnt, Metallglanz an Objecten auftritt, welche vollkommen farbloses Licht reflectiren, und da ferner auch einfarbige Beleuchtung den Metallglanz nicht aufhebt, so kann die Qualität der Theile des Eindrucks nicht maßgebend sein. Es muss demnach der Metallglanz auf räumlichen oder räumlich-zeitlichen Verhältnissen von Partial-Eindrücken verschiedener Intensität beruhen.

8. Die genannten Beziehungen der Theile des Eindrucks oder des Netzhautbildes zu einander sind entweder constant, also lediglich räumlich, oder wechselnd, also räumlich-zeitlich. Wenn constante Raumbeziehungen der Erscheinung des Metallglanzes zu Grunde lägen, so müsste sich diese Erscheinung durch irgend eine Anordnung verschiedener Intensitäten in der Ebene vollkommen herstellen lassen. Dies ist aber nicht der Fall. Es können demnach nur inconstante Verhältnisse vorliegen. Diese können aber sein:

- a) Intensitätswechsel bei festen Raumverhältnissen; oder
- b) Intensitätswechsel bei wechselnden Raumverhältnissen.

Der erste Fall kann nur dann eintreten, wenn die Theile der metallglänzenden Fläche entweder selbstleuchtend oder unabhängig von einander von verschiedenen in ihrer Intensität veränderlichen Lichtquellen beleuchtet sind. Dieser Fall ist aber ganz ausgeschlossen. Es muss sich also um Intensitätswechsel bei wechselnden Raumverhältnissen handeln.

9. Diese Vorgänge, welche sich, so weit es das Netzhautbild anbelangt, im zweidimensionalen Raum abspielen, müssen nun, so weit es die Objecte betrifft, entweder ebenfalls zweidimensionaler Natur sein, oder aber sie bedürfen zu ihrem Zustandekommen der Tiefendimension. Im ersteren Falle müsste eine Lageveränderung der Punkte von verschiedener Intensität in der Fläche angenommen werden. Diese Lageveränderung kann nicht durch eine Veränderung der räumlichen Beziehungen der Objectfläche zum Auge ersetzt werden; denn durch eine solche würde man nichts erhalten, was nicht auch durch Bewegung von Objecten mit matter und nicht homogener Oberfläche zu erreichen wäre. Da nun aber bei den uns bekannten metallglänzenden Gegenständen von einer objectiven Lageveränderung der einzelnen reflectirenden Theile keine Rede sein kann, so bleibt nur die eine Möglichkeit übrig, dass die die Erscheinung des Metallglanzes veranlassende objectiv-Anordnung der Lichtvorgänge eine dreidimensionale ist.

10. Inconstante dreidimensionale Beziehungen im Gesichtsraume bei constanten Raumverhältnissen der Theile des Objects zu einander können nur parallaktische Verhältnisse sein. Der Metallglanz muss demnach seine Ursache in irgendwelchen parallaktischen Beziehungen zwischen Sehorgan und Object haben.

11. Es sind dreierlei parallaktische Verhältnisse im dreidimensionalen Gesichtsraume möglich:

- 1) die binoculare Parallaxe,
- 2) die Bewegungsparallaxe,
- 3) die Parallaxe des indirecten Sehens.

Die binoculare Parallaxe kann für den Metallglanz in keiner Weise maßgebend sein, denn derselbe wird ebenso gut monocular wahrgenommen. Die Parallaxe des Doppelauges scheint sich nicht einmal fördernd zu betheiligen; denn bei der binocularen Vereinigung stereoskopischer Photographien erscheint zwar der Oberflächenglanz vorzüglich, von Metallglanz dagegen keine Spur. Auch die auf der Ortsveränderung des Auges oder der Objecte beruhenden parallaktischen Erscheinungen haben für den Metallglanz keine Bedeutung, denn dieser wird auch bei unbewegtem Auge und vollkommener Ruhe des Objects wahrgenommen.

12. Es folgt somit als einzige Möglichkeit, dass der Metallglanz auf der Parallaxe des indirecten Sehens beruht.

13. Die Erscheinungen der Parallaxe des indirecten Sehens sind bei anscheinend homogenen Flächen, wie sie die metallglänzenden Körper zu besitzen scheinen, in den folgenden Fällen möglich:

a) die Oberfläche ist nicht wirklich eben oder von stetiger Krümmung, sondern sie ist zusammengesetzt aus vielen kleinen, zu einander geneigten Flächen, welche regelmäßig reflectiren und so klein sind, dass sie nicht einzeln wahrgenommen werden können. Da jede dieser kleinen Spiegelflächen das Licht der jeweilig stärksten Lichtquelle nur in einer Richtung zurückwirft, so muss jede, auch die kleinste Ortsveränderung des Objects oder des Auges, sowie jede kleinste Schwankung der Accommodation oder der Fixation eine Aenderung in den Lage- und Helligkeitsverhältnissen der einzelnen Lichtpunkte hervorrufen. Diese Veränderungen oder parallaktischen Verschiebungen sind zwar zu klein, um direct räumlich wahrgenommen zu werden; sie sind aber groß genug, um, auf Grund der eigenthümlichen Verwerthung der Parallaxe des indirecten Sehens für die Tiefenwahrnehmung, eine eigenthümliche, mit nichts anderem zu verwechselnde Erscheinung hervorzurufen.

b) Der metallglänzende Körper besteht aus vielen, durch leere (oder mit einem optisch sehr dünnen Stoffe gefüllte) Zwischenräume getrennten Theilkörperchen (Krystallen), welche einen hohen Grad von regelmäßiger Lichtdurchlässigkeit (Durchsichtigkeit) und spiegelnde (d. i. regelmäßig reflectirende) Oberflächen besitzen. Das in einer bestimmten Richtung zurückgeworfene Licht besteht alsdann aus mehreren Componenten, welchen auf Grund des verschiedenen Reflexions-Ursprungs eine mehr oder minder große Weg-Differenz anhaftet. Die Componenten desselben Strahles verhalten sich daher wie Strahlen aus verschiedener Entfernung. Jede Veränderung in den dioptrischen Zuständen des Auges (Accommodationsänderung, Verschiebung des Diaphragmas bei der Drehung des Auges um seinen Mittelpunkt), auch wenn sie außerordentlich klein ist und völlig unbewusst verläuft, muss daher die erwähnten, für die Parallaxe des indirecten Sehens charakteristischen Aenderungen in der Configuration der hellern und dunklern Stellen des Netzhautbildes veranlassen.

Von den beiden erwähnten Möglichkeiten besitzt die unter b aufgeführte einen höhern Grad von Wahrscheinlichkeit, da die Ergebnisse der physikalischen Untersuchung der Metallreflexion mit derselben in Einklang stehen.

14. Die Erscheinung des Metallglanzes muss sich künstlich mit Hilfe ganz unmetallischer Mittel hervorrufen lassen, sofern es gelingt, die Bedingungen für das Eintreten der Parallaxe des indirecten Sehens in einer solchen Weise herzustellen, dass die parallaktischen Verschiebungen nicht direct als Ortsveränderungen und Distanzen aufgefasst werden können.

Die vorstehende Folgerung findet sich in den von uns angefertigten und weiter oben (S. 179 f.) beschriebenen Präparaten, von welchen Proben Herrn Professor Wundt zur Beurtheilung unterbreitet wurden, vollkommen bestätigt.

15. Im Folgenden wollen wir die uns bekannten Wege zur künstlichen Hervorbringung von Metallglanz zusammenstellen:

A. Flächen mit mattem Metallglanz erhält man:

1) Durch Aufstreuen krystallinischer Pulver von genügender Feinheit auf Glasflächen. So viel ich weiß, benutzen die Vergolder zuweilen Glimmerpulver als Surrogat für Silberbronze, jedoch mit verhältnissmäßig geringem Erfolge, welcher letzterer darauf zurückgeführt werden muss, dass die Glimmerpartikelchen noch zu groß und zu sehr mit rauhen Bruchflächen behaftet sind. Vielleicht sind auch die Zwischenräume zu groß.

2) Durch Aufblättern dünner Glimmerplatten mittelst der Glühhitze.

3) Durch Auflegen dünner Platten von großer, aber diffuser Lichtdurchlässigkeit (geöltes Seidenpapier, mattgeschliffene Gelatine-, Glimmer- oder Glasblättchen u. s. w.) auf Metallspiegel, auf gewöhnliche (Silberamalgam-) Spiegel und auf Systeme dünner planparalleler Platten. (Durch Auflegen solcher Blättchen von diffuser Lichtdurchlässigkeit auf einfache spiegelnde Glasflächen, z. B. auf schwarze Glasspiegel, erhält man keinen Metallglanz, sondern einen Glanz, welcher demjenigen matter Seide sehr ähnlich ist.)

B. Das Aussehen mehr oder minder gut polirter Metallflächen kann in täuschender Weise nachgeahmt werden:

4) Durch Systeme auf einander gelegter aber dennoch durch Zwischenräume getrennter, hinreichend durchsichtiger, planparalleler Platten, deren Dicke genügend ist, um das Auftreten von Interferenzfarben zu verhüten, aber nicht hinreicht, um den Eindruck einer einheitlichen Fläche zu zerstören. Es ist dabei nicht nothwendig, dass die Platten ein krystallinisches Gefüge haben oder anisotrop sind.

Zur Ergänzung des Vorstehenden sowie der früheren Abhandlung über die Parallaxe des indirecten Sehens lassen wir in den beigegebenen Tafeln eine Zusammenstellung der in Betreff der Parallaxe bestehenden Möglichkeiten für das binoculare wie für das monoculare Sehen folgen.

Tafel

der Möglichkeiten des binocularen Sehens.

I.	II.	III.	IV.
Begrenzungslinien.	Intensität.	Farbenton.	Sättigung.
<p>1. Die dem rechten und linken Auge entsprechende Bilder sind (psychisch) congruent (d. h. gleich in Gestalt, Größe und Lageverhältnissen) und werden zu einem einfachen Eindruck vereinigt: (Binoculares Einfachsehen der Conturen von Gegenständen in großer Entfernung und der Theile äquidistanter Flächen.)</p> <p>2. Die von beiden Augen vermittelten Bilder sind nicht congruent, werden aber dennoch zu einem einfachen Eindruck vereinigt: (Stereoskopisches Einfachsehen der Conturen dreidimensionaler Gebilde oder binoculare Tiefenwahrnehmung.)</p> <p>3. Die Bilder des rechten u. linken Auges werden nicht vereinigt: (Doppelbilder.)</p>	<p>1. Die Intensitäten der Bilder des rechten und linken Auges sind gleich: (Binoculares Sehen matter Oberflächen.)</p> <p>2. Die Intensitäten der Bilder sind nicht gleich, verschmelzen aber dennoch zu einem einheitlichen Eindruck: (Binoculare Mischung der Helligkeiten.)</p> <p>3. Die Intensitäten sind nicht gleich und verschmelzen nicht: (Wettstreit der Sehfelder hinsichtlich der Helligkeiten.)</p>	<p>1. Die vom rechten und vom linken Auge vermittelten Bilder sind von gleicher Farbe: (Binoculares Sehen farbiger Oberflächen.)</p> <p>2. Die Bilder des rechten u. linken Auges sind von verschiedener Farbe, werden aber zu einem die Mischfarbe besitzenden Eindruck vereinigt: (Binoculare Farbmischung.)</p> <p>3. Die Bilder der beiden Augen haben verschiedene Farben und es tritt keine Verschmelzung zur Mischfarbe ein: (Wettstreit der Sehfelder hinsichtlich des Farbentons.)</p>	<p>1. Die farbigen Bilder des rechten und linken Auges besitzen gleiche Sättigung: (Binoculares Sehen matter farbiger Oberflächen.)</p> <p>2. Die Sättigung der Bilder ist eine verschiedene, aber es kommt eine Verschmelzung zu einer mittleren Sättigung zu Stande: (Binoculare Mischung der Sättigungen.)</p> <p>3. Die Sättigungen der farbigen Bilder sind verschieden und verschmelzen nicht: (Wettstreit der Sehfelder hinsichtlich der Sättigung.)</p>

Wir lassen hier die wichtigsten Combinationen der aufgeführten Möglichkeiten folgen, wobei wir der Einfachheit halber die unter III. und IV. rubricirten, welche Farbenton und Sättigung, die einer Gesichtswahrnehmung nicht nothwendig zukommen, betreffen, nicht berücksichtigen werden.

$I_1 + II_1 =$ Binoculares Sehen von Theilen äquidistanter Flächen und Gegenstände in großer Entfernung.

$I_1 + II_2 =$ Binoculare Mischung der Intensitäten in der Fläche.

$I_1 + II_3 =$ Wahrnehmung stereoskopischen Glanzes auf nicht stereoskopisch gesehener Fläche.

$I_2 + II_1 \} =$ Stereoskopisches Sehen von Körpern mit matter Oberfläche.

$I_2 + II_2 \} =$ Wahrnehmung der Spiegelung, des Oberflächenglanzes und der Durchsichtigkeit auf Grund der binocularen Parallaxe.

$I_3 + II_1$ (od. II_2 od. II_3) = Doppelbilder.

Der Hinzutritt der unter III. und IV. aufgeführten Möglichkeiten bedingt die Farbigkeit des Eindrucks resp. den Wettstreit der Sehfelder hinsichtlich Farbe und Sättigung.

Tafel
der Möglichkeiten des **monocularen** Sehens.

I.	II.	III.	IV.
<p>Begrenzungslinien.</p> <p>1. Bei Aenderungen der Accommodation und bei solchen Verschiebungen der Bilder im Gesichtsfeld, bei welchen die Distanzen der Objectpunkte von einander und vom Augemittelpunkt constant bleiben, bleibt die Configuration der Begrenzungslinien sich selbst congruent: (Monoculares Sehen der Conturen von Gegenständen in grosser Entfernung, sowie der Theile äquidistanter Flächen.)¹⁾</p> <p>2. Bei den unter 1 erwähnten Aenderungen der Accommodation und der Lage der Bilder auf der Netzhaut ändert sich die Configuration der Begrenzungslinien: (Parallaxe des indirecten Sehens.)</p>	<p style="text-align: center;">Intensität.</p> <p>1. Bei den unter I₁ genannten Aenderungen bleiben die Intensitäten ungeändert.</p> <p>2. Bei den erwähnten Aenderungen der Accommodation und der Lage der Bilder auf der Netzhaut treten Aenderungen der Intensitäten ein.</p>	<p style="text-align: center;">Farbenton.</p> <p>1. Bei den unter I₁ genannten Aenderungen bleibt der Farbenton der Eindrücke ungeändert.</p> <p>2. Die erwähnten Aenderungen verursachen Veränderungen im Farbenton.</p>	<p style="text-align: center;">Sättigung.</p> <p>1. Bei den unter I₁ genannten Aenderungen bleibt die Sättigung der farbigen Eindrücke ungeändert.</p> <p>2. Bei den erwähnten Aenderungen treten Veränderungen in der Sättigung der farbigen Eindrücke ein.</p>

Combinations aus vorstehenden Möglichkeiten.

- I₁ + II₁ = Monoculares Sehen von Objecten in größerer Entfernung, sowie von Theilen äquidistanter Flächen.
- I₁ + II₂ = Wahrnehmung des Metallglanzes (bei punktförmigen Lichteindrücken des Glitzerns).
- I₂ + II₁ = Monoculare Tiefenwahrnehmung von Körpern mit matter Oberfläche.
- I₂ + II₂ = Monoculare Tiefenwahrnehmung von Körpern mit glänzender Oberfläche.

Der Hinzutritt der unter III₁ und IV₁ aufgeführten Möglichkeiten bedingt die Farbigkeit der Eindrücke. Die unter III₂ und IV₂ aufgeführten Verhältnisse bedingen das (monocular wahrzunehmende) Irisiren und Changiren der Farben.

1) Unter äquidistanten Flächen sind hier wie in der anderen Tafel Kugelflächen zu verstehen, deren Mittelpunkt im Drehungscentrum des Auges liegt.