VII. *Ueber eine besondere Klasse von optischen Täuschungen;*
von Hrn. M. Faraday.

(*Journ. of the Royal Institut. Vol. I. p. 205.*)

Die in diesem Aufsatz beschriebenen Erscheinungen bilden einen besonderen Fall von denen, welche Hr. Plateau in seiner lehrreichen Abhandlung, Bd. XX S. 320 dieser Annalen, unter einem allgemeineren Gesichtspunkt aufgefaßt und erklärt hat. Statt nämlich Jener seine Untersuchung auf die Gesamtheit aller Trugbilder ausdehnt, die aus den scheinbaren Durchschnittspunkten irgend zweier schnell herumgedrehter Curven entspringen, schränkt sich Hr. Faraday auf diejenigen ein, welche durch die Speichen oder Zähne zweier rotirenden Räder hervorgebracht werden. Für den aufmerksamen Leser der erwähnten Abhandlung enthält demnach die Arbeit des Hrn. Faraday nichts Neues. Indefs ist der Fall mit den rotirenden Rädern immer einer der einfachsten und auffallendsten, und so dürfte es nicht ganz überflüssig seyn, wenigstens den Apparat kennen zu lernen, welchen Hr. Faraday erdacht hat, um diese interessanten Erscheinungen, welche sich so häufig bei Betrachtung von Räderwerken darbieten, leicht und ohne Kosten hervorzurufen.

Ein etwas dickes Brettchen steht senkrecht auf einem Fuße, und ist, wie Fig. 8. Taf. VI. zeigt, so ausgeschnitten, daß es drei Ständer bildet, welche mittelst kleiner, aus Kupferblech geschnittener Pfannen, von der Form wie Fig. 9, die Stahllaxen der beiden verticalen Stirnräder tragen. Jede dieser, in einer Linie liegenden Axen trägt aufser dem Rade ein Röllchen, das sich mit einiger Reibung hin und her schieben läßt. Mittelst dieser Rollen wird den beiden Rädern durch die dazwischen

liegende horizontale Scheibe eine entgegengesetzte Rotation mitgetheilt. Diese etwa 4 Zoll im Durchmesser haltende Scheibe, obwohl sie sich um eine in den mittleren Pfeiler eingelassene Verticalaxe dreht, ruht nämlich mit ihrer unteren, mit Sandpapier überzogenen, Fläche auf den Rollen. So wie also die Scheibe, entweder an ihrer Axe mit den Fingern, oder mittelst der auf die Axe geschobenen Rollen durch eine Schnur, in Umdrehung gesetzt wird, drehen sich auch die Räder in entgegengesetzter Richtung mit Geschwindigkeiten, die man durch Hin- und Herschieben der Rollen auf den horizontalen Axen innerhalb einer gewissen Gränze in jedes beliebiges Verhältniß zu einander bringen, auch vergrößern und verringern kann.

Um den Rädern eine Bewegung in gleicher Richtung zu ertheilen, ist unten im Brett ein Ausschnitt gemacht, bestimmt zur Aufnahme einer Walze, über welche und die Rollen dann endlose Schnüre gezogen werden. Dreht man nun die Walze, nachdem die Scheibe fortgenommen ist, so rotiren auch die Räder in gleichem Sinne.

Die Räder werden aus weißer Kartenpappe geschnitten, etwa von 7 Zoll im Durchmesser und mit einer beliebigen Zahl von Zähnen versehen.

Die mit diesem Apparat hervorzubringenden Erscheinungen sind nun hauptsächlich folgende. Dreht man die Räder mit gleicher und entgegengesetzter Geschwindigkeit, und stellt das Auge so, daß man beide frei neben einander sieht, so nimmt man nur einen gleichförmigen Schleier gewahr. Ist das Auge aber in die Verlängerung der Axe dieser Räder gebracht, so erblickt man sogleich das feststehende Bild eines Rades mit doppelt so vielen Zähnen, als jedes der rotirenden Räder für sich besitzt. Ist die Geschwindigkeit beider Räder ungleich, so steht das Bild nicht mehr still, sondern dreht sich in Richtung des Rades mit der größeren Geschwindigkeit. Steht das Auge aufserhalb der Axe der Räder, aber noch

so, daß diese sich theilweise decken, so erblickt man ein krummliniges Trugbild von mannigfaltiger Gestalt.

Was die Erklärung dieser Erscheinungen betrifft, so ist die von Hrn. Faraday gegebene durchaus einerlei mit der von Hrn. Plateau, welche man ausführlich in der genannten Abhandlung, S. 321, aus einander gesetzt findet *). Es mag hier nur noch erwähnt werden, daß man diese Erscheinungen auch mit einem Rade und sei-

*) Beiden Physikern zufolge entstehen die Trugbilder, welche beim schnellen Rotiren zweier Linien sichtbar werden, dadurch, daß das Auge von deren scheinbaren Durchschrittspunkten nur den Eindruck der vorderen Linie empfängt, von allen übrigen Punkten aber den Eindruck beider Linien. Sind demnach die Linien weiß und bewegen sie sich vor einem dunklen Hintergrund, so erscheinen jene Durchschnittpunkte dunkler als die ganze übrige Fläche, welche von beiden Linien beschrieben wird; und behalten die scheinbaren Durchschnittpunkte der hinter einander weggehenden Linie in Bezug auf das Auge immer eine unveränderliche Lage, so erblickt dieses ein feststehendes Bild. Um diesen Vorgang auf experimentellem Wege zu erweisen, scheint es mir am unterrichtesten zu seyn, statt der Räder bloß zwei weiße Stäbe, jeden mit einem seiner Enden in eine besondere Axe gesteckt, vor einander und einem schwarzen Hintergrund rotiren zu lassen, da man hiedurch diese Klasse von Erscheinungen in ihrer einfachsten Gestalt erblickt. Bei gleicher und entgegengesetzter Rotation dieser Stäbe wird das zweimalige Decken derselben bei jedem ihrer Umläufe einen augenscheinlichen Beweis von der Ursache der Verdoppelung der Speichen in dem von Rädern hervorgebrachten Bilde geben; auch würde man den Einfluß der ursprünglichen Stellung der Räder auf die Erscheinungen deutlich nachweisen können.

Eine ähnliche und eben so auffallende Gesichtstäuschung läßt sich übrigens auch mit Schrauben hervorbringen. Versetzt man nämlich eine Schraube in schnelle Rotation, so glaubt man die Schraubengänge längs der Axe fortwandern zu sehen, voroder rückwärts, je nachdem die Rotation gleiche oder entgegengesetzte Richtung mit dem Gewinde hat. Diese Erscheinung ist wohl alltäglich, und wird namentlich auf Theatern zur täuschenden Nachahmung von Springbrunnen benutzt; es ist mir indess nicht bekannt, daß sie in einem physikalischen Lehrbuche behandelt worden sey.

nem Schatten oder seinem Bilde in einem Spiegel darstellen kann, sobald man das Auge so stellt, daß es das Rad beim Rotiren seinen Schatten oder sein Spiegelbild schneiden sieht. Nach der Stellung des Auges und nach der Lage der schattenfangenden Ebene oder des Spiegels sind natürlich die Gestaltungen der Trugbilder verschieden.

Am Schlusse seiner Abhandlung wendet sich Hr. Faraday noch zu der sonderbaren Bewegungs-Erscheinung, welche das Räderthierchen darbietet. Diefes Thierchen, welches nur unter starker Vergrößerung sichtbar wird, ist von Baker und anderen Physiologen gut beschrieben worden. Es hat die Gestalt der Fig. 10 Taf. VI, und zeigt, dem Anscheine nach, zwei Räder, eins auf jeder Seite des Kopfs, aus etwa vierzehn oder funfzehn Zähnen oder kurzen Speichen bestehend. Diese Zähne sind rauh und durch Zwischenräume getrennt, die größer sind als ihre Breite; sie scheinen nicht deutlich auf eine Axe gesetzt zu seyn, sondern verdünnen sich gegen die Mitte, und oft erscheinen sie von dieser ganz getrennt.

Nur während der Bewegung werden diese Theile als Räder gesehen; wenn das Thier in Ruhe ist, was zuweilen geschieht, sind sie zurück und einwärts gezogen. Die Bewegung der Räder geschieht continuirlich, gleichsam als wenn sie sich beständig in *einer* Richtung um ihre Axe drehten. Die Geschwindigkeit ist so groß, daß die Zähne schnell vor dem Auge vorübergeführt werden; doch kann man noch deutlich die einzelnen Zähne unterscheiden. Beide Räder drehen sich gewöhnlich in *einerlei*, und wenn der Kopf des Thiers dem Beobachter zugewandt ist, meist in derselben Richtung wie der Zeiger einer Uhr. Baker giebt indess an, daß er die Räder in entgegengesetzter Bewegung gesehen habe, auch daß die Bewegung erst gestockt und dann sich umgekehrt habe. Die Geschwindigkeit ist übrigens nicht immer gleich, sondern verschieden, nach den Anstrengungen, die das Thier zur Einfangung seiner Nahrung macht.

Die Radebewegung dieser Thierchen ist so auffallend, daß Männer von vieler Uebung in mikroskopischen Beobachtungen noch bis auf den heutigen Tag glauben, es seyen wirklich Räder, die sich beständig in einer Richtung drehen. Indefs ist die Erscheinung einigen der vorhin beschriebenen so ähnlich, daß ich, sagt Hr. Faraday, den Rädern ohne allen Zweifel die Wirklichkeit absprechen und sie nur für Trugbilder (*Spectra*) halten muß, hervorgebracht von Theilen, die entweder zu klein sind oder sich zu schnell bewegen, um erkannt werden zu können. Es läßt sich nämlich eine Anordnung denken, welche mit der thierischen Organisation vollkommen verträglich und doch zur Hervorbringung aller beobachteten Erscheinungen geeignet ist. Es sey z. B. der Kopf des Thieres mit Fäserchen besetzt, die, mit Muskelkraft begabt, sich nach allen Seiten ausstrecken, und so eine Art von Rad bilden können. Wenn sich nun diese Fäserchen in tangentialer Richtung schnell vorwärts und langsam wieder zurück bewegen, so ist klar, daß in der Flüssigkeit Strömungen entstehen werden, die geeignet sind, Nahrung in den Mund des Thieres zu bringen; und eben so einleuchtend ist, daß diese Fäserchen bei ihrer raschen Bewegung weniger sichtbar seyn werden, als bei der langsamen rückwärts. Es wird daher an dieser Stelle ein Zwischenraum zwischen den Fäserchen entstehen, welcher, vermöge deren successiven Bewegung rund um das Rad zu laufen scheinen würde. Die Fäserchen könnten auch, statt sich einzeln zu bewegen, in Gruppen vereint diese Wirkung hervorbringen. Das Resultat wäre gleich.

Um sich diess zu verdeutlichen, denke man sich eine kreisrunde Bürste mit langen Haaren, wie in Fig. 11., und unter dieser einen Ring mit Drähten besetzt, wie man sie in der Figur im Durchschnitt sieht. Wenn man diesen Ring dreht, so werden die Drähte die Haare ein wenig vorwärts biegen, und, wenn sie von ihnen abgleiten, rasch in ihre frühere Lage zurückschnellen lassen.

Dreht man also den Ring beständig herum, so wird die Bürste, obgleich sie keine Kreisbewegung besitzt, in einiger Entfernung betrachtet, als ein rotirendes gezähntes Rad erscheinen. Was hier durch die an den Enden der Haare wirkenden Drähte und die Elasticität der Haare hervorgebracht wird, kann bei den Räderthierchen durch Muskelkraft an den Wurzeln der Fäserchen hervorgebracht werden *).

VIII. *Versuche zur Bestimmung der Lichtmenge, welche von ebenen Metallspiegeln unter verschiedenen Einfallswinkeln reflectirt wird;*
von R. Potter.

(Freier Auszug aus dem *Edinb. Journ. of Science N. S. Vol. III*
p. 278.)

Die vom Verfasser angestellten Versuche beruhen auf dem bekannten Satz, daß die Stärke der Erleuchtung einer Fläche von gegebener Gröfse im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung von dem leuchtenden Körper steht. Der nach diesem Princip construirte Photometer bestand aus einem schmalen Tisch, der sei-

- *) Die hier von Hrn. Faraday in Betreff der Bewegungen des Räderthierchens gegebene Erklärung wird im Ganzen durch die Beobachtungen bestätigt, welche Hr. Prof. Ehrenberg vor Kurzem in der hiesigen K. Academie vorgetragen hat, und nächstens im Druck erscheinen werden. Nach diesen Beobachtungen wird nämlich die scheinbare Radbewegung durch die feststehenden Wimpern (man sehe Fig. 10) auf die Weise hervorgebracht, daß successiv eine jede derselben eine Kegelfläche beschreibt; bei andern Arten dieser Thierchen findet nur successiv von Wimper zu Wimper ein rasches Niederlegen und ein langsames Aufrichten statt, gleichsam ein Ausgreifen, um die im Wasser schwimmenden Nahrungsmittel an sich zu reißen, was auch der Hauptzweck der scheinbaren Radbewegung ist. Ein Analogon zu dieser Bewegung, freilich nicht im Kreise sondern in gerader Linie, liefert jedes Kornfeld, über das der Wind schnell hinwegfährt.

P.