

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

WOCHENSCHRIFT FÜR DIE FORTSCHRITTE DER NATURWISSENSCHAFT, DER MEDIZIN UND DER TECHNIK

HERAUSGEGEBEN VON

DR. ARNOLD BERLINER UND PROF. DR. AUGUST PÜTTER

Siebenter Jahrgang.

20. Juni 1919.

Heft 25.

Die Grundlagen der Kinematographie¹⁾.

Von Dr. W. Merté, Jena.

Die vorliegende Darstellung soll in kurzer Zusammenfassung die Grundlagen der Kinematographie behandeln. Zu diesem Zwecke teilen wir unsere Ausführungen in zwei Abschnitte ein, indem wir im ersten von den *psychologischen* und *physiologischen* Bedingungen sprechen, die beim Menschen die kinematographischen Täuschungen hervorrufen, und im zweiten Abschnitte von den *technisch-physikalischen* Einrichtungen und Anordnungen, die geeignet sind, jene Bedingungen herbeizuführen.

1. Die psychologischen und die physiologischen Bedingungen der Kinematographie.

Schon längst bekannt ist, daß eine Reihe in sich unbewegter Bilder, die mehr oder weniger unmittelbar aufeinanderfolgende Bewegungszustände von Personen oder Gegenständen zeigen, den Augen genügend schnell nacheinander dargeboten, unter Umständen den Eindruck eines Bildes sich bewegender Personen oder Gegenstände erweckt. Die Ursache dieser Erscheinung glaubte man ursprünglich in der schon Ptolemäus bekannten Eigentümlichkeit des Auges gefunden zu haben, daß die Lichtempfindung eines auf das Auge einwirkenden Lichtreizes bei dessen plötzlicher Unterbrechung längere oder kürzere Zeit braucht, um abzuklingen. — Wir betrachten diese Anschauung, die die kinematographischen Gesichtstäuschungen durch „Nachbildwirkungen“ zu erklären sucht, hier als *überholt*, werden aber trotzdem nachher über die Nachbildwirkung noch Näheres zu sagen haben, da sie für die heute üblichen Kinematographen, wenn auch nicht eine grundlegende, so doch eine sehr wichtige Bedeutung hat.

Um das eigentliche Wesen der kinematographischen Gesichtstäuschungen zu ergründen, kann man sich nach P. F. Linke²⁾ am bequemsten des erstmalig im Zeißwerk zu Jena hergestellten Tautoskops bedienen, einer Projektionseinrichtung, „die das Prinzip der Kinematographie gewissermaßen auf seinen einfachsten Ausdruck bringt“. Sie besteht im wesentlichen in der

Neben- oder Übereinanderanordnung zweier gleicher Projektionsapparate, deren Objektive auf dem Schirm möglichst genau dasselbe Bildfeld auszeichnen. Setzt man nun in jeden der beiden Apparate je ein Diapositiv ein, das auf schwarzem Grunde je einen horizontalen bzw. einen um 60° gegen die Horizontale geneigten, hellen Strich trägt, und projiziert die beiden Striche nacheinander auf den Schirm, so sieht man bei richtiger Wahl des zeitlichen Abstandes der beiden Projektionen den horizontalen Strich eine Drehung um 60° in die Lage des zweiten Striches ausführen. Der Beobachter sieht also statt der zwei Striche nur einen, der sich eben aus der horizontalen Lage in die zweite um 60° zu dieser geneigten dreht, er identifiziert die beiden Striche. Er sieht den momentanen Ortswechsel des identisch bleibenden Striches, ohne aber die Bewegungsbahn, die Bewegungsphasen des Striches auch bei gespanntester Aufmerksamkeit feststellen zu können. Bringt man nämlich an einer Stelle des Bildfeldes zwischen den beiden Endlagen eine dauernd sichtbare, dünne Linie an, über die der Strich bei seiner Drehung hinweggleiten müßte, so sieht man bei der Projektion wohl den Strich seine Dre-



Fig. 1.



Fig. 2.

Diapositivbilderpaar zum Tautoskopversuch.

hung ausführen, aber jene Linie bleibt in ruhigem Verharren vollkommen unberührt von dem sich deutlich bewegenden Strich. Dieses *Bewegungssehen ohne Bewegungsphasen* und *ohne bewegtes Objekt* ist nach P. F. Linke ein typisches Beispiel für „Umgestaltung auf Grund assimilativer Wahrnehmung“. Wie man etwa einer aus Punkten zusammengesetzten Linie in der Wahrnehmung unmittelbar die Gestalt des Kreises zuerkennt, obwohl nicht einmal eine geschlossene Kurve vorliegt, so wird in dem Falle unseres Versuches am Tautoskop eine Gegebenheit, der in der eigentlichen Wahrnehmung die Kriterien der Bewegung fehlen, zwangsläufig als Bewegung vorgestellt, so daß das Vorgestellte der Wirklichkeitssuggestion eigentlicher Wahrnehmung teilhaftig wird und hierdurch mit sinnlicher Lebhaftigkeit wahrgenommen wird. Fig. 1 zeigt ein weiteres Diapositivbilderpaar. Bei der Projektion der beiden Figuren in angemessenen zeitlichen Abständen sieht man die deutliche Bewegung einer *einzigen*, nämlich einen Winkel, der zu einer Linie zusammen- und bei entsprechender Fort-

¹⁾ Auf Anregung der Schriftleitung gedenke ich von Zeit zu Zeit über Fragen der Kinematographie zu berichten. Der vorliegende Aufsatz gibt einen kurzen Überblick über die Grundlagen der Kinematographie und dient als Einleitung der beabsichtigten Aufsätze.

²⁾ P. F. Linke, Grundfragen der Wahrnehmungslehre, München 1918, E. Reinhardt, S. 269 ff.

setzung des Versuches wieder zum Winkel auseinanderklappt. Benutzt man die beiden Diapositivbilder, die Fig. 2 darstellen soll, so kann die tautoskopische Projektion auch dieser einander weniger ähnlichen Figuren den Schein der Bewegung einer Figur hervorrufen. Man sieht dabei die geradlinigen Seiten des Dreiecks sich allmählich umbiegen, bis sie einen Kreis bilden und umgekehrt. In analoger Weise kann man z. B. auch einen Apfel sich in eine Birne verwandeln lassen.

Werden die beiden *ruhenden* Bilder, die die Endphasen einer sichtbaren *Bewegung* darstellen sollen, hinsichtlich der Gestalt oder auch noch des Ortes allzu verschiedenartig gewählt, so wird der Bewegungseindruck gestört. Es werden dann nicht nur qualitativ, sondern auch numerisch verschiedene, d. h. zwei getrennte Gebilde gesehen, nicht mehr eins, das sich verändert oder gegebenenfalls seinen Ort wechselt. Es muß also zwischen den einzelnen zur bewegten Einheit verschmelzenden Bildern eine Ähnlichkeit bestehen, besonders wohl hinsichtlich der räumlichen Eigenschaften (Gestalt, Lage). Die Ähnlichkeit der Farbe hat nach bisher vorliegenden Versuchsergebnissen nur eine sehr geringe Bedeutung. Abschließende Untersuchungen, auf Grund deren die zur Identifikationstäuschung notwendige Ähnlichkeit genau bestimmbar wäre, harren noch der Erledigung.

Zur Erzeugung der Identifikationstäuschung oder des sogenannten „stroboskopischen Effektes“ ist aber neben der Ähnlichkeit auch eine genügend schnelle Aufeinanderfolge der Bilder notwendig, so daß sie dem Bewußtsein ein „jetzt“ (in der „psychischen Präsenzzeit“) vorliegendes, zusammengehöriges Ganze etwa in demselben Sinne sind, in welchem man dies von den sukzessiven Teilen eines gesprochenen Wortes oder von den Tönen einer Melodie sagen kann. Die Bewegung wird dann *unmittelbar wahrgenommen* (ähnlich wie beispielsweise die des Sekundenzeigers einer Uhr) und nicht (wie die des Stundenzeigers) auf Grund eines reproduktiven Erinnerungsaktes *erschlossen*. Man kann also sagen, die Projektionen müssen pausenlos erfolgen, um die stroboskopische Täuschung zu erzielen; wird die Pause zu lang, so kann die Identifizierung nicht mehr eintreten; werden die Bilder gleichzeitig projiziert, so kann auch keine stroboskopische Bewegung gesehen werden; denn Bewegungs- oder Umwandlungsphasen eines Gegenstandes können selbstverständlich nicht gleichzeitig sein.

Nicht unerwähnt mag bleiben, daß es stroboskopische Erscheinungen gibt, die in *bloßen* Identifikationen bestehen, ohne daß eine Bewegung vorgetäuscht wird. Dieser Fall tritt offenbar bei der Projektion von (hinsichtlich der räumlichen Eigenschaften) völlig gleichartigen Bildern durch ein Tautoskop oder durch einen Kinoprojektor ein. Auch hier ist nur bei pausenloser

(aber nicht gleichzeitiger oder in langen Zwischenräumen erfolgender) Projektion der Bilder der Eintritt des reinen stroboskopischen Effektes möglich. Die *ruhenden* Titelüberschriften, die bei kinematographischen Vorführungen mitunter den einzelnen Szenen vorangehen, sind ein Beispiel solcher stroboskopischen Täuschungen; sie sind, durch hinreichend schnell aufeinanderfolgende Projektionen einer großen Reihe unter sich in jeder Beziehung gleicher Filmbilder dieser Überschriften zustande gekommen, eine echte Identifikationstäuschung, ohne daß sich mit dieser, eben infolge der *Gleichartigkeit* der zur Einheit identifizierten zahlreichen Bilder, der Eindruck von Bewegung verknüpft.

Bei unseren Versuchen am Tautoskop kann man leicht zeigen, daß die Vortäuschung der Identität und der Bewegung auch dann noch eintritt, wenn die Projektionen des ersten und zweiten Phasenbildes zeitlich nicht ganz unmittelbar nacheinander erfolgen, sondern vielmehr beide Gesichtswahrnehmungen durch eine kurze, aber immerhin bemerkbare Zwischenzeit getrennt sind, in der ein dunkler, über das Bildfeld hinweggleitender Schatten beobachtet werden kann. Damit ist nachgewiesen, daß die kinematographische Täuschung auch ohne die physiologische Verschmelzung der zugehörigen Netzhautreize (Nachbildwirkung) eintritt, daß also die *pausenlose* Projektion *psychologisch* (im Sinne der psychischen Präsenzzeit) zu verstehen ist.

Bei den heute üblichen Kinoprojektoren mit *ruckweise bewegtem* Filmband, über die später noch näher zu handeln sein wird, spielt gleichwohl jener physiologische Verschmelzungsvorgang eine wichtige Rolle. Soweit seine Gesetze für die Kinematographie in Betracht kommen, sollen diese jetzt hier Erwähnung finden. Bei den genannten Apparaten steht das Filmbild während der Projektion unbeweglich fest im „Bildfenster“. Die Weiterfortschaltung dieses Bildes und das Eintreten des nächsten Bildes in das Fenster wird, um den Gesamteindruck der Projektion nicht zu stören, durch eine rotierende dunkle Blende verdeckt. Der dadurch bedingte Wechsel von hell und dunkel machte sich bei den älteren Apparaten als ein „Flimmern“ sehr unangenehm bemerkbar. Durch empirische Untersuchungen ist man aber dahin gekommen, diese Flimmererscheinung fast vollkommen zu vermeiden. Läßt man nämlich Lichtreize in allmählich immer rascherer Folge auf die Netzhaut einwirken, so gelangt man über die Stadien der Wahrnehmung der Einzelreize und des Flimmerns hinweg zu dem Stadium der Verschmelzung, bei dem ein ganz stetiger Lichteindruck erzeugt wird. Die für die Verschmelzung notwendige Anzahl der Lichtwechsel in der Sekunde ist durch die „*Verschmelzungsfrequenz*“ gegeben. Die meisten Gesetze der Verschmelzungsfrequenz kann man bequem mit rotierenden Kreisscheiben, auf denen sich schwarze

bzw. weiße Sektoren befinden, ermitteln. Da es nach Untersuchungen von Baader¹⁾ für die Verschmelzung belanglos ist, ob der Lichtwechsel wie bei der kinematographischen Projektion in dem ganzen beobachteten Feld gleichzeitig erfolgt, oder wie bei der Beobachtung jener rotierenden Scheiben die Grenze zwischen hell und dunkel über die Netzhaut hinläuft, so können die mit diesen Scheiben gewonnenen Ergebnisse unmittelbar auch auf die Projektionen durch Kinoparapparate mit ruckweise bewegtem Filmband angewandt werden. Der einfachste Fall ist offenbar der, bei dem eine Scheibe mit je einem gleich großen weißen und schwarzen Sektor (vgl. Fig. 3) benutzt wird, d. h. der Fall, in dem die Einwirkungs- und Unterbrechungszeiten des Lichts gleich lange dauern. Es läßt sich leicht feststellen, daß für diesen Fall, in dem das sogenannte „Sektorenverhältnis“ den Wert 1 besitzt, die Verschmelzungsfrequenz mit steigender Intensität des intermittierend einwirkenden Lichtes zunimmt. Die bisher überhaupt beobachteten Werte für die Verschmelzungsfrequenz liegen etwa zwischen 10 und 70 pro Sekunde. T. C. Porter²⁾ ist es sogar gelungen, für das Sektorenverhältnis 1 die Abhängigkeit der Verschmelzungsfrequenz von der Lichtstärke mathematisch zu formulieren. Für die aus hygienischen Gründen³⁾ günstigste



Fig. 3. Scheibe zur Bestimmung der Verschmelzungsfrequenz. Sektorenverhältnis 1 : 1.

Beleuchtungsstärke des Projektionsschirmes von 50 Meterkerzen ergibt die Rechnung dann eine Verschmelzungsfrequenz zu 46,8. Nimmt man als untere Grenze der noch zulässigen Beleuchtungsstärke etwa 10 Meterkerzen an, so berechnet sich hierfür die Verschmelzungsfrequenz zu 38. Die modernen Kinoprojektoren erreichen nicht einmal diese untere Grenze der Verschmelzungsfrequenz (die übliche Zahl der Bildwechsel pro Sekunde beträgt nämlich bei ihnen etwa 20), da wegen der beschränkten Festigkeit von Film und Mechanismus die Geschwindigkeit der Bildfolge eine gewisse Größe nicht überschreiten darf. Durch Variierung des Sektorenverhältnisses kann man nun aber die Verschmelzungsfrequenz nicht unerheblich herabsetzen und damit der praktischen Erfüllung der theoretischen Forderung

näher kommen. Marbe⁴⁾ hat, um zu numerischen Angaben zu gelangen, ein feststehendes Diapositiv projiziert, durch rotierende Scheiben, die der Reihe nach nebenstehend zur Darstellung gebracht sind (vgl. Fig. 4—8), den Strahlengang der Projektionsanordnung periodisch unterbrochen und die „kritische Periodendauer“, aus der sich die Verschmelzungsfrequenz unschwer berechnen läßt, bestimmt. Die folgende Zusammenstellung 1, die aus den Mittelwerten zweier von Marbe angegebenen Versuchsreihen gewonnen ist,

Zusammenstellung 1.

Relative Wirkungs- dauer des ausgeschnitt. Sektors	geschlos- senen Sektors	Verschmel- zungs- frequenz	Sektoren- verhältnis
1	7	25	1/7
1	3	28,2	1/3
1	1	31,3	1
3	1	27,4	3
7	1	20,8	7



Fig. 4.



Fig. 5.



Fig. 6.



Fig. 7.



Fig. 8.

	Ausgeschnittener Sektor	Geschlossener Sektor	Verhältnis
Fig. 4 . . .	22,5°	157,5°	1 : 7
Fig. 5 . . .	45°	135°	1 : 3
Fig. 6 . . .	90°	90°	1 : 1
Fig. 7 . . .	135°	45°	3 : 1
Fig. 8 . . .	157,5°	22,5°	7 : 1

zeigt, daß für das Sektorenverhältnis 1 die Verschmelzungsfrequenz ein Maximum ist. Die Marbeschen Resultate sind zwar bei verhältnismäßig geringer Beleuchtungsstärke (die Lichtquelle war eine Glühlampe) ermittelt worden, und vermutlich ist die Wirkung des Sektorenverhältnisses von dieser nicht ganz unabhängig; seine Messungen stimmen aber gut mit den Erfahrungen, die man bei der in der Regel bedeutend lichtstärkeren kinematographischen Projektion gemacht hat, überein.

Wählt man nun eine Blendenscheibe, deren Sektorenverhältnis größer als 1 ist, so erreicht man neben der erwünschten Verringerung der Verschmelzungsfrequenz noch eine bessere Lichtausbeute, da ja die mittlere Helligkeit nach der unter dem Namen des Talbotschen Gesetzes bekannten Regel mit wachsendem Sektorenverhältnis offenbar größer werden muß. Diese Erkenntnisse für unsere Kinoprojektoren angewandt, würden verlangen, daß man die Ruhestellung des Films, in der die Exposition des Bildes stattfindet, möglichst lang dauernd läßt im Verhältnis zu der Zeit, in der der Film weiter geschaltet wird. Aber auch hier sind Grenzen gesetzt, da mit ab-

¹⁾ W. Nagel, Handb. d. Physiologie d. Menschen, Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn, III. Bd., S. 256.

²⁾ T. C. Porter, Contributions to the study of Flicker in Proceedings of the Royal Society of London, September 1902, S. 313 ff.

³⁾ H. Lehmann, Die Kinematographie, Bd. 358 d. Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“, B. G. Teubner, Leipzig 1911, S. 29.

⁴⁾ K. Marbe, Theorie der kinematographischen Projektionen, J. A. Barth, Leipzig 1910, S. 50 ff.

nehmender Filmtransportzeit Film und Mechanismus immer stärker beansprucht werden. Aus diesem Grunde wird ein Sektorenverhältnis von 5 kaum überschritten.

Um das Flimmern in noch höherem Grade unschädlich zu machen, hat man daher schon lange noch andere Mittel in Anwendung gebracht. So hat man z. B. den Sektor, der die Bildfortschaltung verdeckt, mit Schlitzfenstern oder Löchern versehen, aus Mattglas angefertigt, oder auf ähnliche Weise die Verdunklung aufgehellt, natürlich immer so, daß die Bewegung des Filmbandes nicht bemerkt werden kann. Bei solchen Anordnungen hebt sich das Bild gewissermaßen nur von einer halbdunklen Wand ab, es erscheint daher lichtschwächer und auch flauer. Wichtiger als diese Verringerung des Flimmerns durch Herabsetzung der Reizschwankungen ist die durch Einschaltung überzähliger Verdunklungen herbeigeführte Abschwächung der Flimmererscheinung. Solche Verdunklungen kann man z. B. dadurch erreichen, daß man der Blendenscheibe neben dem eigentlichen Abdecksektor, der den Bildwechsel unsichtbar macht, noch weitere dunkle Sektoren einfügt, die während der Ruhestellung des Bildes im Fenster den Strahlengang unterbrechen. Zwar geht selbstverständlich hierdurch Licht verloren, aber durch die Anwendung derartiger mehrflügliger Blenden läßt sich das Flimmern vollkommen unterdrücken. Beispielsweise sind nach Ergebnissen aus Versuchen Marbes¹⁾ an Scheiben, die mit schwarzen und weißen Sektoren entsprechend den nebenstehenden Fig. 9–14 versehen waren, die Verschmelzungsfrequenzen n berechnet und in Zusammenstellung 2 angegeben.

Zusammenstellung 2.

Scheibe nach	n	Scheibe nach	n
Fig. 9	35,46	Fig. 12	20,24
Fig. 10	32,47	Fig. 13	21,83
Fig. 11	35,97	Fig. 14	23,70

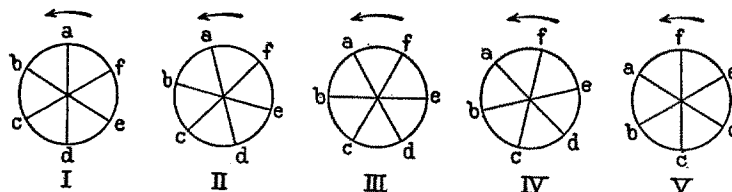


Fig. 15. Figuren zur Erklärung des „Radphänomens“.

In bemerkenswerter Weise sind die Flimmererscheinungen vom Adaptationszustand des Auges abhängig. Bei genügend hohen Lichtstärken (bei sehr kleinen liegen die Verhältnisse allerdings anders) nimmt die Verschmelzungsfrequenz mit zunehmender Dunkeladaptation ab. Man wird also im allgemeinen nach hinreichend langem Verweilen im Dunkeln durch das Flimmern weniger

gestört, als wenn man die gleichen periodisch unterbrochenen Lichterscheinungen in einem hellen Raume beobachten würde. Andere hier nicht erwähnte Eigenschaften, Regeln oder Gesetze der Verschmelzungsfrequenz sind für unser vorliegendes Problem weniger von Belang.

Die durch den stroboskopischen Effekt vorgetäuschten Bewegungen erfolgen nach ganz bestimmten Prinzipien. So spricht Linke von dem „Prinzip des kürzesten Wahrnehmungsweges“. Dieses besagt, daß in der Regel die stroboskopische Bewegung in der Richtung des kürzesten Weges zustande kommt. Zur näheren Erläuterung brauchen wir nur unseren ersten Versuch am Tautoskop etwas zu variieren. Nehmen wir an, daß die Diapositivbilder der beiden Endphasen nicht zwei um 60° gegeneinander geneigte Striche darstellen, sondern vielmehr zwei Striche, die einen Winkel, der größer als 90° ist, miteinander einschließen, so ergibt den kürzesten Weg von der Lage des ersten Striches in die des zweiten nicht mehr die Drehung um die Winkelgröße, sondern die erwähnte Regel bestimmt dann eine andere Art der Bewegung, beispielsweise ein Gleiten aus der einen in die andere Lage. Eine Folge dieses

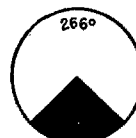


Fig. 9.



Fig. 10.



Fig. 11.

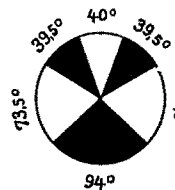


Fig. 12.

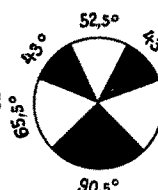


Fig. 13.

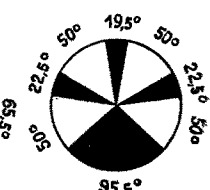


Fig. 14.

Sachverhaltes ist es auch, daß unter Umständen stroboskopische Bewegungen vorgetäuscht werden, die dem objektiven Bewegungsvorgang, dessen Phasenbilder beispielsweise mit einem Kinaufnahmeapparat gewonnen seien, gar nicht entsprechen. Häufig kommt eine solche Vortäuschung falscher Bewegungen bei der kinematographischen Darstellung fahrender Wagen zustande. An Hand der obenstehenden Fig. 15 ist die Erklärung dieser Erscheinung leicht. Es

¹⁾ Vergl. o. S. 43 ff.

seien durch Fig. I und V zwei aufeinanderfolgende Aufnahmen des Rades dargestellt, d. h. zwischen je zwei Aufnahmen hat das Rad sich um genau einen Speichenwinkel gedreht; das Rad scheint, da alle Speichen der Form und Größe nach völlig gleich sind und deswegen sämtlich ohne weiteres miteinander identifiziert werden können, stillzustehen. Hat sich dagegen das Rad zwischen je zwei Aufnahmen um einen Winkel, der kleiner bzw. größer als ein halber, aber immer noch kleiner als ein ganzer Speichenwinkel ist, weitergedreht, so wird auf Grund des Prinzips des kürzesten Wahrnehmungsweges eine Vorwärts- bzw. Rückwärtsdrehung durch Identifikation vorgetäuscht. Fig. I und II bzw. I und IV stellen diese beiden Fälle dar. Hat sich schließlich entsprechend der Fig. I und III das Rad zwischen je zwei Aufnahmen immer gerade um genau einen halben Speichenwinkel gedreht, so führt offenbar das Prinzip des kürzesten Wahrnehmungsweges zu einer Unbestimmtheit. Man kann da ein Vorwärts- oder Rückwärtsdrehen oder ein Pendeln des Rades um seine Achse sehen, je nach der Autosuggestion des Beobachters; bei hinreichend hoher Bildwechselfrequenz aber scheint das Rad stillzustehen und die Anzahl der Speichen ist scheinbar verdoppelt.

Wählt man für die Projektion eine andere Geschwindigkeit des Films, als man bei der Aufnahme anwandte, so erhält man eine bezüglich der Geschwindigkeit „falsche“ Bewegung vorgetäuscht. Man kann auf diese Weise z. B. Blüten sich innerhalb weniger Minuten entfalten oder Geschosse langsam ihre Bahn ziehen sehen. Solche Anordnungen, bei denen die Aufnahmegeschwindigkeit (die Aufnahme findet in diesen Fällen meist mit Spezialapparaten statt) wesentlich von der Projektionsgeschwindigkeit abweicht, können wichtige wissenschaftliche und technische Einblicke gewähren. In dieser Hinsicht bekannt geworden ist das *Zeitmikroskop* von *Lehmann*¹⁾, das Bewegungsvorgänge bemerkbar macht, die unserer natürlichen Wahrnehmungsfähigkeit wegen ihres schnellen Verlaufes entgehen würden.

2. Die technische Herbeiführung der psychologischen und physiologischen Bedingungen der Kinematographie.

Zur Herbeiführung der Bedingungen, durch deren Erfüllung die stroboskopischen Täuschungen erzeugt werden, sind Apparate mannigfachster Art erdacht worden; ja, diese Täuschungen kommen sogar frei in der Natur vor. In dem engen Rahmen unserer Betrachtungen genügt es, nur kurz bei den älteren Apparaten zu verweilen, um dann über die neuzeitlichen kinematographischen Anordnungen und Einrichtungen wenigstens das Wesentlichste sagen zu können.

Etwa mit dem zweiten Drittel des vorigen Jahrhunderts begann die Tatsache der strobo-

skopischen Bewegungstäuschungen allgemeineres Interesse zu gewinnen. Neben der Anwendung stroboskopischer Apparate für die verschiedensten Gebiete experimenteller Forschung ging man bald dazu über, diese Apparate auch Zwecken der Unterhaltung dienstbar zu machen. Das sogenannte *Lebensrad* oder *Phänakistoskop* ist einer der einfachsten und ältesten „kinematoskopischen“ Apparate. Es wurde fast gleichzeitig von *Plateau* und *Stampfer* erfunden. Das Lebensrad besteht aus einer Kreisscheibe, die um eine durch ihren Mittelpunkt gehende, zu ihrer Ebene senkrechte Achse drehbar ist. Auf einem zu dieser konzentrischen Ring sind die Bilder der Bewegungsphasen eines Gegenstandes angebracht, und zwar so, daß zeitlich aufeinanderfolgende Phasen auch räumlich auf der Scheibe aufeinanderfolgen.

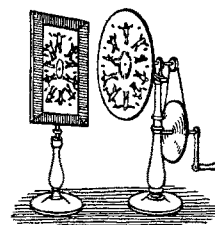


Fig. 16. Das Lebensrad.

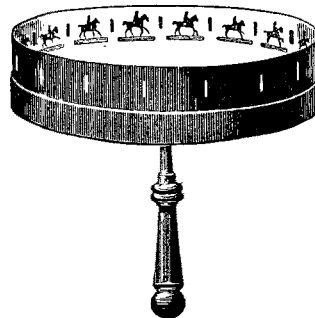


Fig. 17. Anschütz' Schnellseher.

Über oder neben diesen Bildern befindet sich ein Spalt in radialer Richtung. Kehrt man die die Bilder tragende Seite der Scheibe einem Planspiegel zu, dreht die Scheibe mit hinreichender Geschwindigkeit und sieht durch die Spalte nach dem Spiegel, so erscheint unter bzw. neben den ruhenden Spalten der Gegenstand in Bewegung. Fig. 16 bringt das geschilderte Lebensrad zur Darstellung.

Außer den scheibenförmigen Vorrichtungen führten sich auch zylindrische Apparate ein. Ein solcher ist *Anschütz' Schnellseher*, der in Fig. 17 abgebildet ist. Hier befinden sich die Phasenbilder eines bewegten Gegenstandes auf der Innenseite eines Hohlzylinders, der um seine Achse drehbar ist. Neben oder über den Bildern sind achsenparallele Schlitze angebracht. Durch diese kann man auf die gegenüberliegende innere Seite des Zylinders sehen, bei dessen genügend schneller Drehung

¹⁾ Angeführt von den Ernemann-Werken A.-G., Dresden.

die Phasenbilder zur stroboskopischen Bewegung „verschmelzen“. Diese einfachsten Formen von stroboskopischen Apparaten sind nach den verschiedensten Richtungen hin verbessert und sogar mit Projektionseinrichtungen versehen worden, um die lebenden Bilder auch einem größeren Kreis von Zuschauern gleichzeitig vorzuführen. Sie alle haben den Nachteil, daß nur solche Vorgänge mit ihnen gezeigt werden können, die sich durch eine geringe Zahl von Teilbildern darstellen lassen, und bei denen sich die Bewegungen periodisch wiederholen, so daß also die Endphase der Bilderreihe sich an die Anfangsphase unmittelbar anschließt. Für die Untersuchung vieler physikalischer Erscheinungen leisten sie aber ausreichende Dienste.

Von der größten Bedeutung für die weitere Vervollkommenung der Kinematographie sind die Versuche geworden, auf *photographischem* Wege die Phasenbilder zu gewinnen. Die ersten kinematographischen Aufnahmeapparate, die die Momentphotographie benutzten, besaßen meist für jedes Bildfeld ein besonderes Objektiv. Mit diesen älteren photographischen Anordnungen war man daher auf eine verhältnismäßig geringe Bilderzahl beschränkt, und viele hatten den Nachteil, daß die mit ihnen erhaltenen Teilbilder stereoskopische Abweichungen zeigten. Einen größeren Fortschritt bedeutete daher die „*Mareysche Flinte*“. Bei dieser ist in den Schaft einer Flinte, in deren Laufmündung sich ein Objektiv befindet, an Stelle des Schlosses ein Bewegungsmechanismus und eine photographische Platte eingesetzt. Durch den Abzug der Flinte läßt sich mittelst eines Uhrwerkes der Bewegungsmechanismus in Tätigkeit setzen, der die Platte ruckweise derart um eine zu ihrer Ebene senkrechte Achse dreht, daß sie innerhalb einer Sekunde eine volle Umdrehung zurücklegt und dabei zwölfmal stillsteht. Während des Stillstandes erfolgt jedesmal eine Aufnahme. *Marey* studierte seit etwa 1882 mit diesem Apparat die Flugbewegung der Vögel. War die Bilderzahl auch noch beschränkt, so war die *Mareysche Flinte* doch schon ein recht leistungsfähiger, verhältnismäßig einfacher Aufnahmeapparat. Durch Ersatz der photographischen Glasplatte durch lange Bänder aus Papier, die die lichtempfindliche Schicht trugen, und die durch einen Mechanismus ruckweise von einer Rolle ab- und auf eine zweite aufgewickelt wurden, konnte *Marey* die Bilderzahl fast beliebig erhöhen. Zwischen den beiden Rollen wurde der „Film“ während des Stillstandes durch ein Objektiv belichtet, das bei der Bewegung des Papierbandes jedesmal abgeblendet wurde. Im Jahre 1889 schlägt *Friese-Green* als Bildträger den *Zelluloidfilm* vor, und damit beginnt die Entwicklung des eigentlichen modernen Kinematographen.

Schon aus unseren bisherigen Erörterungen über die Vorläufer der neuzeitlichen Kinoapparate erkennen wir, daß die physikalisch-technischen

Vorrichtungen, die die Vorführung lebender Bilder ermöglichen, sich in zwei Gruppen teilen lassen, nämlich in die Einrichtungen, die bestimmt sind, geeignete Phasenbilder zu gewinnen, und dann in die Anordnungen, mit deren Hilfe diese als lebende Bilder gezeigt werden können. Die hier in Betracht kommenden Apparate sind heute in den weitaus überwiegenden Fällen neben dem nötigen Zubehör einmal die *Kino-Aufnahmekammer* und ferner der *Kino-Projektor*. Die zahlreichen Spezialkonstruktionen, besonders für wissenschaftliche und technische Zwecke, werden hier nicht berücksichtigt werden. Diese beiden Apparate, Aufnahmekammer und Projektor, haben Verschiedenes gemeinsam, z. B. den Film und einen Mechanismus, der den Film bewegt.

Der *Film* besteht aus einem Zelluloidband von 35 mm Breite und oft mehr als 100 m Länge. Da das Zelluloid sehr feuergefährlich ist, wird der Film neuerdings auch aus Zellit hergestellt, einem Fabrikat der Elberfelder Firma Bayer & Co., das nur schwer brennbar ist. Die einzelnen Filmbilder sind 18×24 qmm groß; am Rand ist der Film mit einer Perforation versehen, und zwar kommen auf das Bild 4 Löcher auf jeder Seite, in die der Fortbewegungsmechanismus eingreift. Die Maße des Films sind durch internationales Übereinkommen so gewählt, daß jeder Film in jeden Apparat paßt. Das Filmband wird durch eine Antriebsvorrichtung von einer Vorratsrolle auf eine Aufnahmerolle gewickelt und dabei an dem Bildfenster, in dem der Film der Belichtung (Aufnahme) bzw. der Beleuchtung (Projektion) ausgesetzt wird, vorbeigeführt. Während der Belichtung (Beleuchtung) muß offenbar der im Bildfenster befindliche Teil des Films zum Stillstand gebracht sein. Man hat dafür zwei Lösungsarten gefunden, eine mechanische und eine optische, d. h. entweder bleibt der betreffende Teil des Filmbandes tatsächlich für kurze Zeit im Fenster in Ruhe stehen, oder aber die Bewegung des Filmbandes wird optisch aufgehoben, die kontinuierliche Bewegung wird „optisch stationär“ gemacht. Von diesem Gesichtspunkte aus würden die kinematographischen Apparate (Aufnahmekammer und Projektor) in zwei Gruppen einzuteilen sein:

1. diejenigen, bei denen der Film im Fenster absatzweise fortgeschaltet wird;
2. diejenigen, bei denen das Bildband kontinuierlich durch das Filmfenster hindurchbewegt wird.

Die in der Praxis üblichen Apparate gehören heute noch fast ausschließlich zu der ersten Gruppe. Die nebenstehende Fig. 18 zeigt schematisch die Filmführung in einem Kinoapparate; auf Besonderheiten, wie sie sich an den Modellen der verschiedenen Fabriken finden, wird hier selbstverständlich nicht Rücksicht genommen. Durch die mit gleichförmiger Geschwindigkeit gedrehte Zahntrommel *B* (Vorwickler) wird das Filmband von der Vorratsspule *A* abgewickelt

und dem Bildfenster *D* zugeführt. Dabei bauscht sich der Film, solange er im Fenster *D* stillsteht, zwischen *B* und *D* zu einer Schleife *C*. Hinter dem Fenster *D* befindet sich eine Zahntrommel *E*, die das im Fenster befindliche Filmbild ruckweise weiterreißt; dadurch wird die Schleife *C* aufgezehrt, und ein neues Bild tritt in das Fenster ein. Hinter der Trommel *E* bildet sich ein zweiter Bausch *G*. Dieser wird durch die stetig gedrehte Trommel *F* aufgebraucht und der Film auf die Spule *H* aufgewickelt. Durch Wiederholung des geschilderten Vorganges wird Bild für Bild, nachdem es kurze Zeit im Fenster stillgestanden hat, ruckweise aus diesem weitertransportiert. Die Bewegung der Zahntrommel *E* erfolgt durch eine Malteserkreuz-Einrichtung¹⁾ (andere Mechanis-

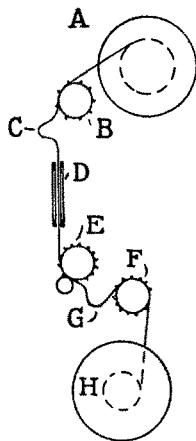


Fig. 18. Schema der Filmbandführung durch einen Kinoapparat mit ruckweise bewegtem Film.

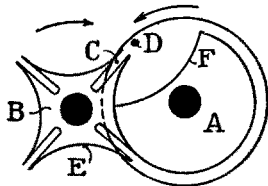


Fig. 19. Schema des Maltesergesperres.

men zur absatzweisen Fortschaltung des Filmbandes, wie „Greifer“, der sich häufig bei Aufnahmeapparaten findet, „Schläger“ und „Reibungsscheiben“ seien hier nur dem Namen nach erwähnt). Eine solche zeigt schematisch Fig. 19. Das eigentliche Malteserkreuz *B* sitzt auf der Achse der Zahntrommel *E* (s. Fig. 18), deren Zähne in die Perforationen an den Filmrändern eingreifen, und ist mit dieser fest verbunden. Eine Scheibe *A* ist mit einer größeren, mit einem Stift oder Einzahn *D* versehenen Scheibe auf einer gemeinschaftlichen Achse befestigt. Wird nun die Achse, auf der diese beiden Scheiben sitzen, gedreht, so kann das Malteserkreuzrad *B* und mit ihm die Trommel-*E*

(s. Fig. 18) sich nicht bewegen, solange die Scheibe *A* an dem Bogenstück *E* des Malteserkreuzes anliegt. Sobald aber der Stift *D* in einen der Schlitze *C* des Kreuzrades eingreift, wird dieses unter Einwirkung des Einzahnes *D* gedreht, wobei die Aussparung *F* in der Scheibe *A* den Vorbeigang der vorspringenden Spitzen des Schlitzes *C* gestattet; der Film wird dabei durch die Zahntrommel *E* (s. Fig. 18) um eine Bildhöhe weitergeschaltet. Bei der in Fig. 19 dargestellten Einrichtung sind 4 Umdrehungen des Einzahnrades notwendig, um das Kreuzrad einmal herumzubewegen. Ist der Umfang der Trommel *E* (s. Fig. 18) so gewählt, daß er gleich der Summe der Höhen von 4 Filmbildern ist, so wird bei einer Vierteldrehung dieser Trommel das Filmband um genau ein Bild ruckweise weiterbewegt. Die Malteserkreuzrad-Einrichtung kann gegenüber der in Fig. 19 dargestellten auch auf die verschiedenste Weise modifiziert werden. Es gibt z. B. Ausführungen, bei denen viel mehr als 4 Umdrehungen des stifttragenden Rades notwendig sind, um eine volle Umdrehung des Kreuzrades herbeizuführen.

Nach den Erörterungen des ersten Abschnittes werden bei der Projektion, wenn die Zeit der Ruhestellung des Films im Fenster im Verhältnis zur Zeit der Fortschaltung, des Ruckes, möglichst lang ist, zwei Vorteile erreicht; einmal wird das Licht besser ausgenutzt, und dann wird auch das Flimmern wesentlich herabgesetzt. Durch bestimmte Wahl der Abmessungen von Kreuzrad und Einzahnrad kann man die Transportzeit herabsetzen; eine Grenze ist ja aber durch die Festigkeit von Film und Mechanismus gesetzt.

Die Aufgaben, die die Kinoapparate mit ruckweise bewegtem Filmband zu lösen haben, sind, kurz zusammengefaßt, folgende:

Der Mechanismus muß den Film genau um eine Bildbreite weiterschalten und ein ruhiges „Stehen“ des Bildes bewirken; die Transportzeit ist auf ein Mindestmaß zu bringen bei möglichstster Schonung von Film und Apparat. Diese Forderungen sind bei den modernen Kinoapparaten im allgemeinen genügend erfüllt. Ein Nachteil aller Systeme mit absatzweiser Filmfortschaltung ist die verhältnismäßig geringe Bildwechselfrequenz, die durch die Beanspruchung des Materials bedingt ist; insbesondere bei den Projektionen ist ferner der Lichtverlust durch die rotierenden Blenden, die den Bildtransport zu verdecken und auch meist das Flimmern zu verringern haben, prinzipiell nicht zu vermeiden.

Diese Nachteile können bei den Apparaten mit *stetig bewegtem Filmband* beseitigt werden. Bei ihnen bewegt sich *auch durch das Bildfenster* der Film mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Sowohl für die Aufnahme wie für die Projektion ist es notwendig, diese Wanderung des Films im Fenster zu kompensieren. Das wird bei den nun zu be-

¹⁾ Eine eingehendere Theorie des Malteserkreuzes gibt C. Forch auf S. 15 ff. seines Buches: Der Kinematograph und das sich bewegende Bild, Wien und Leipzig: A. Hartlebens Verlag, 1913.

sprechenden Anordnungen durch optische Hilfsmittel erreicht, und zwar unterscheiden wir hier drei Möglichkeiten. Die Filmbewegung im Fenster kann optisch aufgehoben werden:

1. durch ein oder mehrere bewegte Objektive,
2. durch Einschaltung von katoptrischen Ausgleichssystemen in den abbildenden Strahlengang,
3. durch Einschaltung von dioptrischen Ausgleichssystemen in den abbildenden Strahlengang.

Von den unter 1. genannten Systemen seien hier die Ausführungsformen erwähnt, bei denen sich ein Objektiv geradlinig und parallel, immer in der gleichen räumlichen Anordnung zum zugehörigen Film bewegt. Bei der Aufnahme sehr weit entfernter Gegenstände oder der Projektion auf einen in größerer Entfernung liegenden Schirm ist, da dann der Reduktionsmaßstab bzw. die Vergrößerung (der entsprechende Wert sei mit n bezeichnet) sehr groß ist, die Wanderung von Film und Objektiv praktisch ohne Bedeutung. Will man mit nur einem Objektiv auskommen, so kann man das Objektiv in einer Schlittenführung parallel zum Filmbild mit diesem wandern lassen,

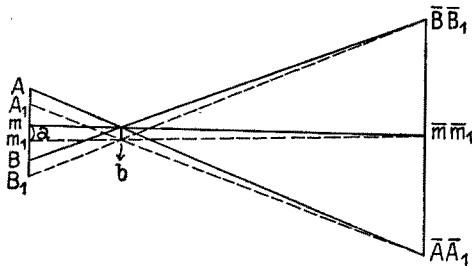


Fig. 20. Schematische Darstellung des Abbildungsvorganges durch ein um die Strecke b geradlinig und parallel zum Film gewandertes Objektiv. Dieser ist aus der Stellung AB um die Strecke a in die Stellung A_1B_1 weitergeführt. Die überstrichenen Buchstaben stellen die Bilder der entsprechenden, nicht überstrichenen Buchstaben vor.

um dann, wenn das nächste Bild zur Abbildung gelangen soll, das Objektiv in die Ausgangsstellung zurückzuführen und das gleiche Spiel zu wiederholen. Besser als solche Apparate mit einem oszillierenden Objektiv sind die Ausführungsformen, bei denen sich eine Reihe von Objektiven in kreisförmiger Anordnung etwa auf einer rotierenden Scheibe befinden. Da dann aber die Objektive nicht genau geradlinig wandern, ist bei höheren Ansprüchen Vorsorge zu treffen, den sich daraus ergebenden Fehler unschädlich zu machen. Die nebenstehende Fig. 20 zeigt schematisch den Abbildungsvorgang beim optischen Ausgleich durch ein geradlinig wanderndes Objektiv. Bezeichnet man mit a die Verschiebung des Filmbildes und mit b die des Objektivs, so muß nach den Abbildungsgesetzen

$$b = a \cdot \frac{1+n}{2+n+\frac{1}{n}}$$

sein, um den Ausgleich herbeizuführen. Für $n = \infty$ wird in der Tat $b = a$.

Das Prinzip des optischen Ausgleichs der Bildwanderung durch einen bewegten Spiegel ist schon lange, bevor man an Kinematographen mit stetig bewegtem Filmband dachte, beim Helio- staten angewandt worden. Auch von den *katoptrischen Systemen*, die das wandernde Filmbild optisch stationär machen sollen, sind die verschiedensten Ausführungsformen angegeben worden. Sie benutzen je nach den Verhältnissen eine geringe oder große Anzahl von Spiegeln, die oszillierende oder rotierende Bewegungen ausführen. Fig. 21 zeigt schematisch eine Anordnung, bei der durch eine stetig gedrehte prisma-

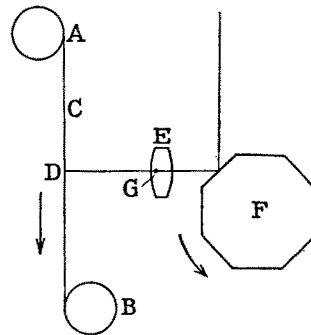


Fig. 21. Schematische Darstellung eines optischen Ausgleichssystems, das aus einer vor dem Objektiv befindlichen, rotierenden Spiegeltrommel besteht.

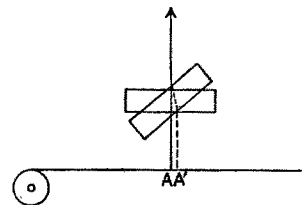


Fig. 22. Schematische Darstellung des optischen Ausgleiches durch Drehung einer Planparallelplatte.

tische Linsentrommel F , deren Seitenwände von Planspiegeln gebildet werden, der Ausgleich erfolgt. Der Film C wickelt sich von der Rolle A mit gleichförmiger Geschwindigkeit ab und auf die Rolle B auf. E ist das Objektiv, und D sei die Mitte eines Filmbildes, das sich in der Zeichnung gerade in der Stellung befindet, wo der Hauptstrahl des abbildenden Strahlenbüschels für D mit der optischen Achse von E zusammenfällt. Je ein Filmbild und ein Spiegel der Trommel, deren Querschnitt ein regelmäßiges Vieleck ist, treten bei der Bewegung stets miteinander in Wechselbeziehung, um immer von dem nächsten Elementenpaar abgelöst zu werden. Ist G der dem Film zugekehrte Hauptpunkt des Objektivs E , bezeichnet man GD mit f und die halbe Bildhöhe mit h , so ist der halbe Bildwinkel w gegeben durch: $\tan w = \frac{h}{f}$. Bewegt sich ein Filmpunkt um den Winkel $2w$ durch das Bildfenster hin-

durch, so darf sich nach dem Reflexionsgesetze der Spiegel nur um den Winkel w drehen; dieser Winkel w ist gleich dem Zentriwinkel des Vielecks. Die Anzahl z der Spiegel ergibt sich demnach als $z = \frac{360^\circ}{w}$.

Wie die *katoptrischen* Ausgleichssysteme, so suchen auch die *dioptrischen* durch Einwirkung auf den abbildenden Strahlengang die mechanische Filmbewegung optisch zu kompensieren. Gelingt das dort durch zweckmäßige Behützung des Reflexionsgesetzes, so gelten hier die bei der Brechung auftretenden Gesetzmäßigkeiten. Das Prinzip solcher auf Strahlenbrechung beruhender Anordnungen wird in einfachster Form verwirklicht durch die rotierende Planparallelplatte. Fig. 22 zeigt schematisch, wie die Wanderung des Filmpunktes A nach A' durch Drehung der Platte aufgehoben wird. Bezeichnet man mit φ den Winkel, um den diese aus der zum Film parallelen Lage gedreht werden muß, um den Ausgleich für $AA' = a$ herbeizuführen, ist ferner n der Brechungsexponent und d die Dicke der Platte, so ergibt sich mit Hilfe des Gesetzes von *Snellius* die Beziehung:

$$a = d \frac{\sin(\varphi - \vartheta)}{\cos \vartheta},$$

wobei

$$\sin \vartheta = \frac{\sin \varphi}{n}$$

ist. Statt der einfachen Platte sind eine große Reihe dioptrischer Ausgleichssysteme angegeben worden, z. B. ein gleichseitiges, um die Achse drehbares Glasprisma gerader Seitenzahl, rotierende Linsenkränze u. a.

Die Vorteile, die durch Kinoapparate mit stetiger Bildbandführung gegenüber denen mit ruckweisem Weiterschalten der Bilder erreicht werden sollen, seien hier kurz zusammengefaßt. Durch die in allen seinen Teilen mit gleichförmiger Geschwindigkeit erfolgende Bewegung des Films wird seine Festigkeit nur so wenig beansprucht, daß man, wenn wünschenswert, für die Aufnahme wie für die Vorführung eine viel höhere Bildwechselfrequenz wie etwa 20—30 in Anwendung bringen kann. Andererseits gestattet der Projektor, da ja der Wechsel von hell und dunkel fortfällt, einmal das Licht besser auszunutzen und ferner auch schon bei Anwendung einer Bildwechselfrequenz von 10 und weniger, eine flimmerfreie Projektion zu erzielen, so daß in passenden Fällen sehr an Film gespart werden kann. Trotz dieser theoretisch möglichen Vorteile haben sich die Apparate mit optischem Ausgleich der Bildwanderung noch nicht einzuführen vermocht, da die bisher vorliegenden Ausführungsformen in ihrer Leistungsfähigkeit meist noch recht viel zu wünschen übrig lassen.

Ihrer verschiedenen Verwendung nach unterscheiden sich die Apparate für die Aufnahme von denen für die Wiedergabe in vielen Punkten. Haben jene im wesentlichen die Aufgabe einer photographischen Kammer zu erfüllen, so sind

diese den besonderen Verhältnissen angepaßte Projektionsapparate. Da man beispielsweise für den Aufnahmeilm keine physiologische Verschmelzung zu erzielen braucht, ist bei den Aufnahmeapparaten eine mehrflügelige Blende zu überzähligen Ablendungen des Objektivs ebenso unnötig, wie etwa die Herbeiführung einer im Verhältnis zur Ruhezeit möglichst kurzen Transportzeit des Films.

Die weiteren Einrichtungen und Methoden, die zur Gewinnung und zur Wiedergabe der Filmbilder dienen, sind der allgemeinen Technik der Photographie bzw. Projektion entlehnt, gegebenenfalls mit zweckentsprechenden Modifikationen. Ihre nähere Erörterung kann daher unterbleiben, da es uns hier nur darauf ankommt, die *spezifischen* Eigenschaften der kinematographischen Apparate kurz zu besprechen, ohne uns auf Einzelheiten einzulassen. Ebenfalls verzichten wir auf eine Darstellung 'der Kinematographie in natürlichen Farben' und mit stereoskopischem Effekt: Auch die zahlreichen Anwendungen der Kinematographie in Wissenschaft und Technik und die dabei auftretenden Probleme können in diesem Aufsatz, der nur einen allgemeinen Überblick über die Grundlagen der Kinematographie geben soll, keinen Platz finden.

Quantitatives über Kathodenstrahlen aller Geschwindigkeiten.

Von Prof. Dr. R. Seeliger, Greifswald.

P. Lenard hat kürzlich in Buchform eine ausgezeichnete, von tiefster Sachkenntnis getragene Monographie „Quantitatives über Kathodenstrahlen aller Geschwindigkeiten“ veröffentlicht¹⁾. Er faßt darin die Ergebnisse seiner und seiner Schüler über nunmehr fast 3 Jahrzehnte sich erstreckenden systematischen Untersuchungen mit einer Bearbeitung der gesamten Literatur zu einem Werk von fundamentaler Bedeutung zusammen, das jeder auf diesem und auf verwandten Gebieten selbständige Forschende mit Freude begrüßen wird, denn es gibt zum erstenmal in wirklich kritischer und zuverlässiger Weise in den verschiedensten Teilen der Physik vielgebrauchtes Material an die Hand. Auf den Inhalt — der durchaus nicht etwa populär, sondern streng wissenschaftlich und mit Nutzen auch für den mit dem Thema bereits Vertrauten nur in hingebendem Studium zu lesen ist — werde ich später noch im einzelnen eingehen; zunächst mag es gestattet sein, einige Bemerkungen allgemeiner Art vor auszuschicken. Denn hinter der rein fachlichen Bedeutung dieses Buches scheint mir noch etwas anderes zu stehen, das zu manchen ernststen Gedanken anregt, weil es für die moderne Entwicklung der Wissenschaft symptomatisch ist.

¹⁾ Abhandlg. der Heidelberg. Akad. Nr. 5, 1918. 266 S. mit 7 Kurventafeln und 4 Textfiguren. (C. Winters Universitätsbuchhandlung 1918.)