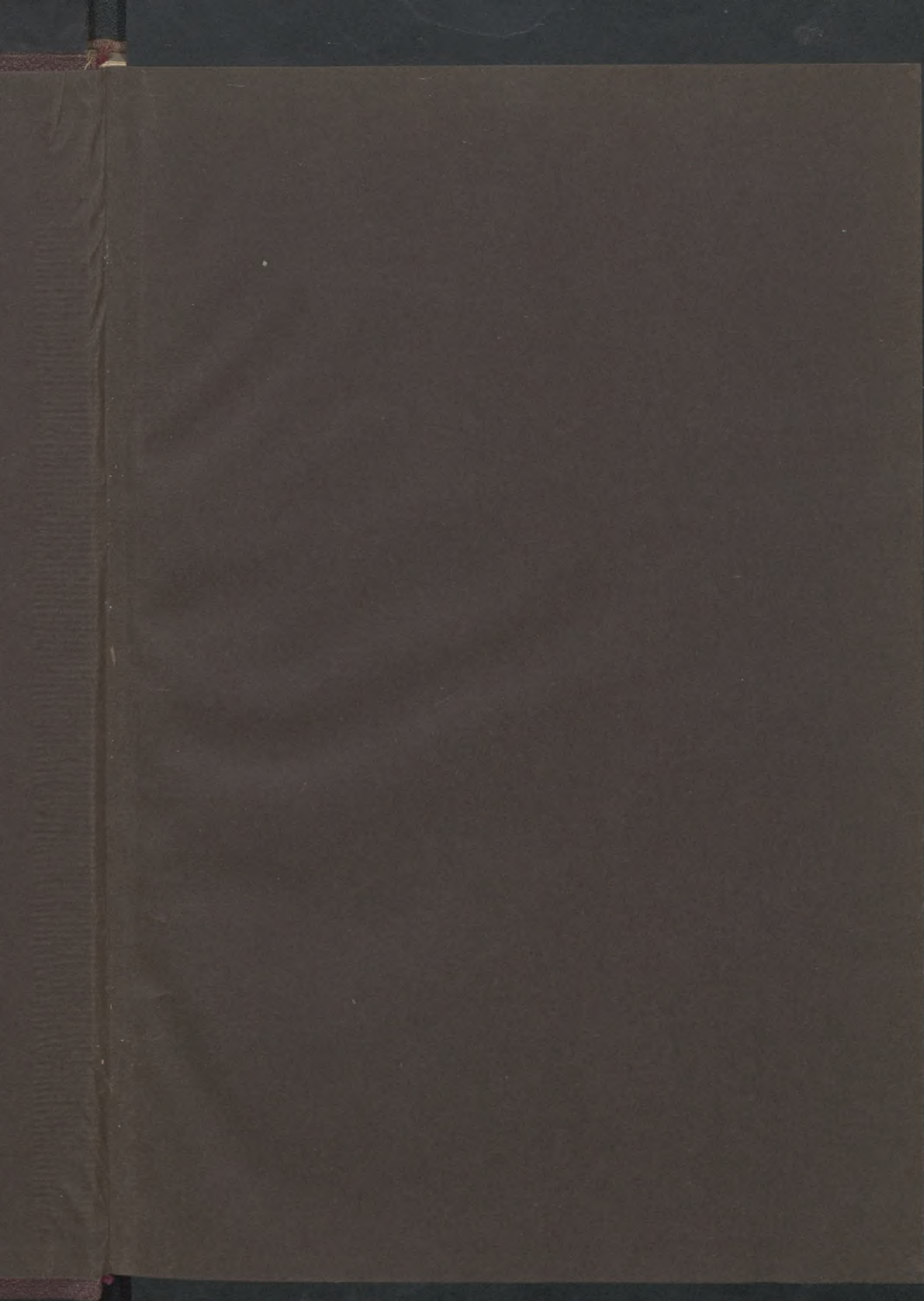


M
198.840
.....

Mihály

Der
sprechende Film







M 121 - f

Der sprechende Film

Von

Dénes von Mihály

Mit 99 Textfiguren



1 9 2 8



Copyright 1927 by M. Krayn, Berlin W 10.
Alle Rechte, namentlich das der Übersetzung, vorbehalten.

M 188.840

ORZÁGOS SZÉCHENYI KÖNYVTÁR

1968/R Ieltár



Großdruckerei Paul Dünnhaupt, Cöthen i. Anh.

ma
ges
mi
zei

sag
nic
son
geh
ein
nar
erf
vor
her
ph
nun
es
kan
wo
wic
ein
daf
deu
die
unä
end
der
die
Fil
spi
kei
nal

Vorwort.

Unter der populären Bezeichnung „sprechender Film“ versteht man kinematographische Bilder, bei denen die während der Aufnahme gesprochenen Worte, die Begleitmusik und die natürlichen Geräusche mitaufgenommen wurden, um bei der Projektion der Bilder gleichzeitig mit ihnen wiedergegeben zu werden.

Die Bezeichnung „sprechender Film“ oder, wie man es auch oft sagt, „Sprechfilm“ ist eigentlich nicht ganz zutreffend, da der Film nicht nur die Gespräche der handelnden Personen reproduzieren soll, sondern auch die Begleitmusik, die natürlichen Geräusche usw. wiedergeben muß. Deshalb war auch immer das Bestreben vorhanden, einen passenderen Namen zu finden — als solche seien hier nur genannt: das von Edison angegebene „Kinetophon“, das von Ernst Ruhmer erfundene „Photographophon“ und „Photophon“, das vom Verfasser vorgeschlagene „Projektophon“ und die von verschiedenen Stellen herrührenden Namen wie: Tonfilm, Phonofilm, akustischer Film, phonetischer Film, phonischer Film usw. Da alle diese Bezeichnungen nicht zutreffend sind, auch keine deutschen Worte sind, scheint es aus praktischen Gründen am zweckmäßigsten, die allgemein bekannte populäre Bezeichnung „sprechender Film“ beizubehalten, obwohl diese nicht sehr glücklich gewählte Bezeichnung die Weiterentwicklung dieser Erfindung jahrelang auch verhindert hat. Die nicht eingeweihten Kreise haben auf Grund dieses Namens angenommen, daß die neue Erfindung eine Konkurrenz für Theater und Kino bedeuten würde. Man hat auch dementsprechend entgegengehalten, daß die auf der Leinwand sich bewegenden und sprechenden Figuren unästhetisch und komisch wirken würden, wenn die Sprache mit vollendeter Technik absolut naturgetreu wiedergegeben wird, ferner, daß der internationale Charakter des Filmes verlorengehen würde, da z. B. die in Deutschland angefertigten Aufnahmen für den ausländischen Filmmarkt unbrauchbar wären; oder, daß die heutigen Filmschauspieler größtenteils brotlos würden, hauptsächlich diejenigen, die über keine schöne Stimme (Organ) verfügten; weiter, daß die ganze Aufnahmetechnik umgeändert werden müßte, weil die fremden Geräusche,

z. B. die Anordnungen des Regisseurs, das Klappern des Aufnahmeapparates usw., mit in die Tonaufnahme kommen würden, während bei manchen Trickaufnahmen die entsprechenden und erwarteten Töne ausbleiben müßten, da beispielsweise der Zusammenbruch eines aus Papiermaché aufgebauten Hauses nicht dasselbe Donnern hervorrufen würde wie der Einsturz eines wirklichen Hauses usw.

Wenn wir alle diese Entgegnungen ernstlich und objektiv betrachten, so stellt sich heraus, daß sie in Wirklichkeit gar nicht zu Recht bestehen und daß es lediglich durch die falsche Bezeichnung hervorgerufene „Konkurrenz-Befürchtungen“ sind.

Aus praktischen Gründen wird nämlich nicht bezweckt, daß der sprechende Film ein maschinell reproduziertes Theater mit vielen Gesprächen, langen Dialogen bzw. Monologen und sogenannten Salonszenen darstellen soll, sondern es wird Wert auf eine gute Musikbegleitung gelegt, besonders für solche Zwecke, wo die Einstellung einer ebenbürtigen bzw. besseren Kapelle sich nicht lohnen würde. Es liegt sowieso im Charakter des Filmschauspiels, daß besonders Salonszenen, Gespräche vermieden bzw. auf die kürzeste Zeit herabgedrückt werden müssen; denn es werden vom Film viele Geschehnisse, flotte und rasche Szenenänderungen verlangt. In noch größerem Maße gilt selbstverständlich diese Forderung für den sprechenden Film. Es besteht zwar die Möglichkeit, den Wortlaut der Sprache derart zu überestzen, daß der Rhythmus des Originaltextes beibehalten wird, so daß der Gleichlauf zwischen Bild und Text nicht gestört wird. Immerhin würde das aber mit Schwierigkeiten verbunden sein: es muß deshalb auf ein Minimum reduziert werden, unter Umständen unter Zuhilfenahme der heutigen Textprojektion (Aufschriften). Manchmal allerdings würde auch eine fremde Sprache nur wenig stören, z. B. bei Aufnahmen von berühmten Opernsängern oder anderen prominenten Persönlichkeiten. Was also weitaus wichtiger ist, das ist die Möglichkeit, den Film mit einer künstlerisch komponierten Begleitmusik zu versehen, evtl. gleich oder auch nach der Aufnahme, gespielt von großen Kapellen, so daß der Film im kleinsten Kino ohne weitere Kosten mit dieser gewissermaßen Original-Musikbegleitung gespielt werden kann. Man kann es sich gut vorstellen, daß Leute, die für einen gewissen Film oder überhaupt für das Kino kein Interesse haben, ihre Ansicht ändern, wenn sie erfahren, daß der Film mit Begleitmusik, die von diesem oder jenem bekannten erstklassigen Orchester stammt, — wo also diese Musik an und für sich schon ein Genuß ist. Außerdem wird es einen besonderen Reiz ausüben, wenn die natürlichen Geräusche bei spannenden Szenen gleich reproduziert würden,

z. B. Kanonendonner, Revolverknall und Pferdegetrappel; oder man hört Züge abfahren, Motoren klappern, man lauscht auf das Rauschen des Meeres, auf das Toben des Sturmes, das Tosen eines Wasserfalles usw. Wo es auf derartige Geräusche ankommt, muß die Begleitmusik abgeschwächt werden, um die entsprechenden natürlichen Geräusche genügend zur Geltung zu bringen. Die Reproduktion der Sprache und deren Übersetzung für fremde Länder spielt also eine ganz untergeordnete Rolle, es ist zwar auch möglich, aber nicht unbedingt nötig, da es nicht die Hauptbedingung ist. Ebenso ist das Bedenken nicht stichhaltig, daß unnatürliche Geräusche in manchen Filmszenen die Wirkung verderben könnten. Zu der Tonaufnahme stehen bei Verwendung der heutigen Verstärker einem findigen Regisseur akustisch mindestens ebensoviel Trickmöglichkeiten zur Verfügung, wie bei dem photographischen Verfahren. Eine gute Vorarbeit hat hierfür bereits der Rundfunk geleistet. Die Bedenken in bezug auf die Aufnahme von fremden, nichtzugehörigen Tönen während des Filmens sind auch nicht stichhaltig, denn Begleitmusik und natürliche Geräusche kann man ohne weiteres nachträglich aufnehmen und in den fertigen Bildfilm hineinkopieren. Bei Aufnahmen von Gesang und Gesprächen, wo gleichzeitige Bild- und Tonaufnahmen wegen des unbedingten Gleichlaufs (Synchronität) erforderlich sind, kann man die Anordnung so treffen, daß die Aufnahmeapparate in einem akustisch vollkommen abgetrennten Raum (z. B. in gepolsterten Kabinen) aufgestellt werden und die Photoaufnahmen durch Glasfenster hindurch geschehen; die singende oder sprechende Person steht also in absoluter Stille vor den Aufnahmeorganen (z. B. Mikrophon), die ihrerseits nur durch Leitungen mit der Aufnahmeapparatur verbunden sind. Die verschiedenen Mitteilungen für die Schauspieler können durch optische Signale mitgeteilt werden, wie es bereits bei Rundfunkvorträgen bekannt ist, z. B. mittels farbiger Glühlämpchen.

Bei Aufnahme von Gesang und Sprache wäre es selbstverständlich nötigenfalls auch möglich, daß die photographierten Schauspieler den Gesang oder die Gespräche nur markieren und in Wirklichkeit ein nach Belieben gewählter Souffleur, der über ein schönes Organ verfügt, den Text spricht oder singt.

Ebenfalls ist es möglich, durch Verwendung zweckentsprechend angeordneter Verstärkeranlagen, die Lautwirkung jeder Tonaufnahme nach Belieben stark oder schwach zu regulieren, selbst das Summen einer Fliege ist durch diese Mittel hörbar zu machen. Um die größten Getöse herzustellen, genügt ein Anklopfen an die Verstärkerröhre, Wind, Donner usw. sind alle künstlich nachahmbar.

Im großen und ganzen kann man sicher behaupten, daß den Regisseuren hierbei ungeheure Möglichkeiten zur Verfügung stehen, um ihre Aufnahmen noch wirkungsvoller auszugestalten als es bisher bei stummen Filmen der Fall war.

Schließlich ist zu beachten, daß bei einem richtig gewählten Sprech-Film-System, abgesehen von einigen tausend Mark für das einmalige Investierungskapital, für Lizenz, kaum nennenswerte Mehrkosten und Mühe verursacht werden, gleichgültig, wieviel gleichwertige Kopien angefertigt werden.

Auf Grund der oben erwähnten Tatsachen glaube ich ruhig behaupten zu können, daß der Sprechfilm nicht als neue Konkurrenz, sondern vielmehr als große Hilfe für das Kino und als starkes Propagandamittel für das Theater zu betrachten ist, als ein neues anregendes Vergnügen, sowie ein erstklassiges Verbreitungsmittel für Propaganda aller Art, alles in allem als ein neuer Kulturfortschritt.

Die bisher vor die Öffentlichkeit getretenen Systeme können weder vom künstlerischen noch vom technischen Standpunkt als vollendet und endgültig angesehen werden. Das ist aber keinesfalls dem Mangel an technischen oder künstlerischen Mitteln zuzuschreiben, sondern vielmehr dem Umstand, daß manche von den um die Priorität kämpfenden Gesellschaften zu früh ohne vollendete Aufnahmen an die Öffentlichkeit getreten sind, nur um zuerst zu erscheinen. Während der technischen Auseinandersetzung werden wir die Fehler der verschiedenen Systeme aufzeigen, ihre Vor- und Nachteile einander gegenüberstellen, die Möglichkeiten zur Erreichung eines idealen, in künstlerischer und technischer Hinsicht vollendeten Systems kennenlernen.

In der Hoffnung, daß es mir mittels dieses Büchleins gelingen wird, nicht nur den Freunden des „sprechenden Films“ eine interessante Stunde zu bereiten, sondern auch die durchaus unbegründete Abneigung gewisser Kreise zu brechen und aus ihnen neue Freunde für dieses außerordentlich wichtige Kulturmittel zu gewinnen, übergebe ich es den Lesern.

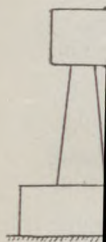
Berlin, den 12. April 1927.

Dénes von Mihály.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	III
Einleitung	1
I. Der sprechende Film in seiner historischen Entwicklung	11
II. Grundbegriffe	12
1. Die Schallwellen	12
2. Elektro-akustische Mittel	16
3. Telephone und Lautsprecher	26
4. Die Verstärker	38
a) Die mechanisch wirkenden Verstärker	39
b) Die Elektronenröhren und die Röhrenverstärker	42
III. Elektro-optische Erscheinungen	46
1. Lichtbeeinflussungsmethoden	46
2. Erscheinungen der elektrischen Lichtempfindlichkeit. Licht- empfindliche Zellen	58
a) Die allgemeinen Eigentümlichkeiten des Selens und der Selenzelle	58
b) Die Entwicklung der modernen Selenzelle	60
c) Andere lichtempfindliche Zellen	72
IV. Film- und Kinematographenapparate	79
V. Allgemeine Gruppierung der Sprechfilm-Methoden	83
VI. Die graphischen Sprechfilm-Methoden	84
VII. Die photographischen Sprechfilm-Methoden	88
a) Ruhmers Photographophon	89
b) Die transversale Aufnahmemethode von Berglund	91
c) Das von Mihály'sche „Projektophon“	94
d) Die Behebung der Schwierigkeiten bei der Aufnahme und bei der Wiedergabe des Tonphotogramms	99
e) Der von Mihály'sche Zusatz-Tonapparat	105
f) Die Aufnahmeeinrichtung von Berglund	113
g) Das System von Arnold Poulsen und Axel Petersen	114
h) Das Triergon-System	115
i) Die Einrichtung von Lee de Forest und das „Movieton“	122
k) Der sprechende Film mit dem „Ultraphon“-Prinzip von H. J. Küchenmeister	123
l) Die Experimente von Dr. Karolus	124
m) Der sprechende Film von Dr. H. Köhnemann	124
Nachwort	132

wie
den
die
lich
gen
um



geg
phi
gle
Wa
ste
bzy
sol
spr
ist
Sp
ers
sic

Einleitung

Der Gedanke des sprechenden bzw. tönenden Films ist fast so alt wie der Kinematograph selbst. Thomas Alva Edison hat gleich nach der Erfindung des Kinematographs und Phonographs daran gedacht, die beiden Erfindungen so zu kombinieren, daß nicht nur die beweglichen Bilder, sondern auch die dazugehörigen akustischen Erscheinungen: Sprache, Musik, Gesang und Naturgeräusche verewigt werden, um sie jederzeit reproduzieren zu können.

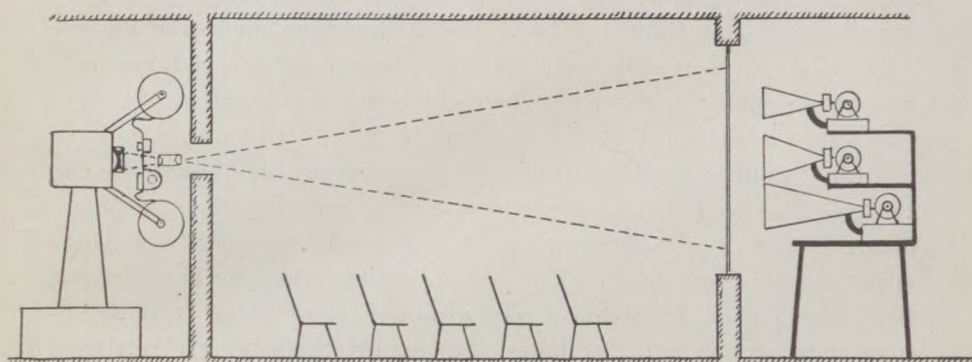


Abbildung 1.

Bei oberflächlicher Betrachtung schienen die nötigen Mittel hierzu gegeben zu sein. Es war so gedacht, daß während der kinematographischen Aufnahme eine phonographische Aufnahme-Apparatur gleichzeitig die Töne aufnimmt, so daß die Schallwellen auf einen Wachszyylinder oder eine Platte eingraviert werden. Bei Fertigstellung des Filmbildes wird auch eine Kopie von der Schallplatte bzw. dem Zylinder hergestellt. Während der Projektion des Filmes sollte nun der Phonograph hinter der Projektionswand die entsprechenden Töne wiedergeben. Diese allererste Sprechfilmanordnung ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Edison nannte diese seine Sprech-Film-Einrichtung „Kinetophon“. So einfach die Sache auf den ersten Blick auch erscheint, bei der praktischen Ausführung ergaben sich ungeheure Hindernisse.

Vor allem hat die Sicherung des Gleichlaufes (Synchronismus) der Bilder mit der Tonreproduktion, d. h. des Kinoprojektors mit dem Phonographen, große Schwierigkeiten verursacht. Es handelt sich darum, daß in demselben Augenblick, wo im Bild z. B. eine Trommel angeschlagen wird, auch der Ton hörbar sein muß. Um dies zu erreichen, müssen Kinoprojektor und Phonograph bei der Reproduktion haargenau stets mit derselben Geschwindigkeit gedreht werden, wie dies bei der Aufnahme der Fall war. Wenn wir nun bedenken, daß innerhalb einer Sekunde bereits 16—22 Kinobilderkaros projiziert werden und in diesem Zeitraum bei der Sprache z. B. ca. 3—4 Buchstaben fallen, so sehen wir ein, daß es nicht ganz einfach ist, zwischen Bild und Schall einen absoluten Gleichlauf zu sichern.

Bei der ersten Anordnung war der Synchronismus einfach dadurch geschaffen worden, daß hinter der Leinwand ein Mechaniker das Bild beobachtete und die miteinander gekoppelten Phonographen mit der Hand regulierte, in langsamerem oder schnellerem Tempo, je nachdem wie das Filmband lief. Die Anwendung mehrerer Phonographen war wegen größerer Lautstärke, besserer Tonverteilung und, wie wir es später noch näher betrachten werden, wegen der verschiedenen Tonlagen nötig.

Eine weitere große Schwierigkeit verursachte das genau gleichzeitige Anlassen (Starten) des Kinoapparates und des Phonographen; dies versuchte man dadurch zu erreichen, daß beim Anlauf des Kinoapparates für den den Phonographen bedienenden Mechaniker ein Glühlämpchen aufleuchtete. Diese primitive Einrichtung hat sich als sehr ungenau erwiesen, so daß später an ihre Stelle eine elektrische Synchronisierungseinrichtung getreten ist.

Ein weiterer Mangel der Einrichtung entstand durch den Umstand, daß die phonographischen Apparate nur für eine Zeitdauer von 3 bis höchstens 6 Minuten konstruiert sind: bei einer verhältnismäßig kurzen Filmszene von 10—15 Minuten waren also bereits zwei bis drei neue Schallplatten nötig, die ebenfalls durch Auswechseln bzw. Anlassen eine Gefährdung des Synchronismus bedeuten. Man konnte also kaum hoffen, daß es bei Filmaufnahmen von der Dauer einer Stunde oder noch länger möglich wäre, mit Schallplatten die verschiedenen Töne und Geräusche gleichzeitig mit dem Film hervorzubringen. Wenn man dabei nur mit 3 Phonographen (à 6 Minuten) rechnet, so wären für einen Filmvortrag von einer Stunde ca. 3×10 , d. s. 30 Platten nötig. Da aber die Masse, die bei Schallplatten und Zylindern verwendet wird, leicht brüchig wird, wäre es notwendig, je eine Reserveplatte mit in Anrechnung zu bringen. Das würden also 60 Schallplatten werden zur

Begleitung einer Filmrolle von einer Stunde Dauer. Hierzu kommt noch, daß die Schallplattengravierung sich nach öfterem Abspielen immer mehr abnützt, so daß die sowieso nicht sehr naturgetreuen Töne immer schlechter würden, abgesehen davon, daß die für große Lautstärke konstruierten Riesenphonographen schon an und für sich eine unnatürliche Klangfarbe haben. Unüberwindbar werden die Schwierigkeiten bei diesem System des Gleichlaufs, wenn z. B. der Film (was oft vorkommt) reißt und beim Kleben kürzere oder längere Stücke wegfallen. In diesem Falle bleibt selbstverständlich auf der Schallplatte der zu dem fehlenden Bildteil gehörige Ton bestehen und verursacht dadurch eine Bild- und Tonverschiebung (Asynchronismus), welche stets vorhanden sein würde, da die in Frage kommenden Teile der Platte von der Nadel nicht übersprungen werden können. Man müßte also bei der Reparatur des beschädigten Filmes stets ein entsprechend langes, blankes Filmstück einkleben, was wiederum bei der Bildprojektion störend wirken würde.

Aus obigen Gründen ist ersichtlich, daß sich das Edisonsche Kinetophon für die Praxis nicht eignen konnte. Jedoch wurde des öfteren eine etwas verbesserte Form in den Jahren 1905—06 vorgeführt, und wir können dies als den Anfang der Sprechfilm-Technik betrachten.

Trotz der Mißerfolge der Edisonschen Versuche haben verschiedene Forscher versucht, diese Methode der Praxis entsprechend durchzubilden. Fast gleichzeitig mit Edison haben z. B. in Deutschland Messter und Goldschmidt eine ähnliche Konstruktion angefangen, bei der für die Gleichlaufssicherung (Synchronismus) besonders präzise Konstruktionsteile verwendet wurden. Ihre grundlegenden Gedanken waren die, daß sie den Kinetographenapparat und das Grammophon vermittlel sogenannter Synchronmotoren betätigen wollten, deren engerer Gleichlauf noch durch einen geistreich durchgebildeten, rotierenden Widerstandsschalter gesichert war.

Andere Konstrukteure haben die Schwierigkeiten, die mit der Verwendung besonderer Schallplatten verbunden sind, eingesehen und haben sich deshalb bemüht, Sprechfilme zu schaffen, bei welchen der Film selbst zur Aufnahme der Schallschwingungen dienen sollte.

Die Anzahl der diesbezüglichen Patentanmeldungen ist Legion. Soweit man es nachforschen konnte, war der Franzose de Pineaud, 1909, der erste, der vorgeschlagen hat, die Schallgravierung am Rand des Filmbandes aufzunehmen. Er hat sogar zwei Methoden vorgeschlagen: bei der ersten sollte der Aufnahmestift der Schallmembranen unmittelbar am Filmrand seine Schwingungen ausführen. Da aber das Zelluloidmaterial, aus dem der normale Film angefertigt ist, zum Gra-

vieren verhältnismäßig zu hart bzw. zu zähe ist, hat er weitere Vorschläge gemacht, um diese Schwierigkeit überwinden zu können und zwar: entweder vor dem Schreibstift eine Vorwärmerrolle laufen zu lassen, unter deren Wirkung die Stelle des Films, die eben unter den Gravierstift kommt, erweicht wird oder aber durch feine Düsen vor dem Gravierstift Flüssigkeit auf den Film zu spritzen, die das Zelluloid für ganz kurze Dauer löst und dadurch zur Gravierung geeignet macht. De Pineaud scheint auch gewußt zu haben, welche Schwierigkeiten bei den Aufnahmen infolge der verhältnismäßig geringen Schallenergien entstehen; dies wird später in dem betreffenden Kapitel noch näher beschrieben werden. Er hatte sogar einen primitiven Lautverstärker gebaut. Die Gravierung wollte de Pineaud als Transversalschrift wie auch als Tiefschrift versuchen.

Der zweite Vorschlag von de Pineaud bestand darin, daß er zur Herstellung eines Sprechfilms das sogenannte magnetische Grammophon von Waldemar Poulsen (siehe Kapitel IV) verwenden wollte, bei dem am Rand des Filmes ein dünner Stahldraht oder ein dünnes Stahlband in die Filmmasse eingelegt wurde. Bei den Aufnahmen wurden die durch Schallwellen erzeugten Stromimpulse (Telephonströme) in einen kleinen Elektromagnet geführt, zwischen dessen Polen die Stahlbandarmatur des Filmbandes mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durchlief und einen mehr oder weniger starken Impuls erhielt, so daß die betreffende Stelle entsprechend mehr oder weniger magnetisch wurde. Wenn ein derartiges Stahlband wieder zwischen Weicheisenpolen durchgezogen wird, die mit Spulen versehen sind, die ihrerseits wieder mit einem Telephonhörer verbunden werden, so hört man die eingesprochenen Worte deutlich wieder.

Aus all diesem ist ersichtlich, daß de Pineaud eingesehen hat, daß zum Zweck des absoluten Gleichlaufes der Bild- und Tonaufnahmen die notwendigen Apparate vollkommen zwangsläufig gekoppelt werden müssen. Er hat sogar daran gedacht, daß der Sprechfilm, um ihn industriefähig zu machen, leicht kopierbar sein muß, d. h., daß er vielfältigt werden können muß, und schlägt deshalb vor, für seine Graviermethode eine Kopiervorrichtung zu machen, die schematisch in dem betreffenden Kapitel dargestellt werden wird.

Die Mängel der de Pineaudschen Methoden sind ohne weiteres klar ersichtlich. Dieses Graviervverfahren kann die verlangte naturgetreue Wiedergabe nie ermöglichen, da der Tonbereich, den ein einziger Gravierstift bzw. das mit ihm verbundene Schwingungssystem besitzt, sehr beschränkt ist; (deshalb hatte Edison bereits mehrere Phonographen, die für verschiedene Tonbereiche geeignet waren, an-

gewandt). Außerdem stören die Erschütterungen, die sowohl bei der Aufnahme als auch bei der Wiedergabe durch die Filmapparatur hervorgerufen werden, außerordentlich den feinen Schreibstift, so daß dadurch verschiedene stark störende Nebengeräusche entstehen.

Die Abnützung der Gravierung setzt ferner die Lebensdauer für derartige Filme stark herab. Die Benützung des magnetischen Grammophon-Systems verursacht große werkstattechnische Schwierigkeiten, bei der Herstellung des Filmes. Der Film selbst läßt sich durch das angebrachte Stahlband schlecht behandeln, das Kleben wäre z. B. ein Problem für sich usw.

Der erste, der den richtigen Gedanken getroffen und damit die Grundlage für sämtliche heute existierenden Methoden, nämlich das photographische Prinzip geschaffen hat, war der deutsche Physiker Ernst Ruhmer.

Interessant ist es, daß Ruhmer, der eigentlich als Vater des Sprechfilms zu betrachten ist, laut seiner hinterlassenen Notizen, Bücher und Aufsätze anscheinend niemals seine Gedanken als Sprechfilm betrachtet hat. Vielmehr dachte er dabei an ein Grammophon, welches bei seinen drahtlosen bzw. lichttelephonischen Experimenten als „Nebenprodukt“ entstanden war, und welches einmal geeignet war, lange Grammophonaufnahmen herzustellen, und ferner den außerordentlichen Vorteil besaß, daß eine Abnützung eigentlich nie eintreten konnte.

Damals waren schon die Experimente von Graham Bell (1893, Ausstellung in Chicago) mit der sogenannten Lichttelephonie bekannt und ebenso die sogenannte singende Bogenlampe von Duddel, und die sprechende Bogenlampe von Simon.

Bell war es gelungen, mehrere 100 m mittels Lichtstrahl zu telephonieren, indem er durch die Schallwellen, die auf eine verspiegelte Glasmembrane geworfenen Lichtstrahlen der Sonne modulierte und die reflektierten modulierten Lichtstrahlen durch eine Sammellinse auf ein verkohltes Korkstück konzentrierte, das in einem Glasgefäß eingeschlossen war (Abb. 2). Die parallelen Strahlen des Sonnenlichtes gingen also durch den Glasspiegel, der unter der Einwirkung der Sprache oder des Gesanges vibrierte. Infolgedessen waren die vom Spiegel zur Empfangsstation geworfenen Strahlen abwechselnd divergent und konvergent. Die in den Brennpunkt dieser Strahlen gestellte Korkkugel wurde also mehr oder weniger erwärmt und dehnte sich dementsprechend aus oder zog sich zusammen in raschem Tempo. Da sich diese pulsierenden Ausdehnungen in einer geschlossenen Glaskugel abspielten, die mit dem Ohr mittels eines

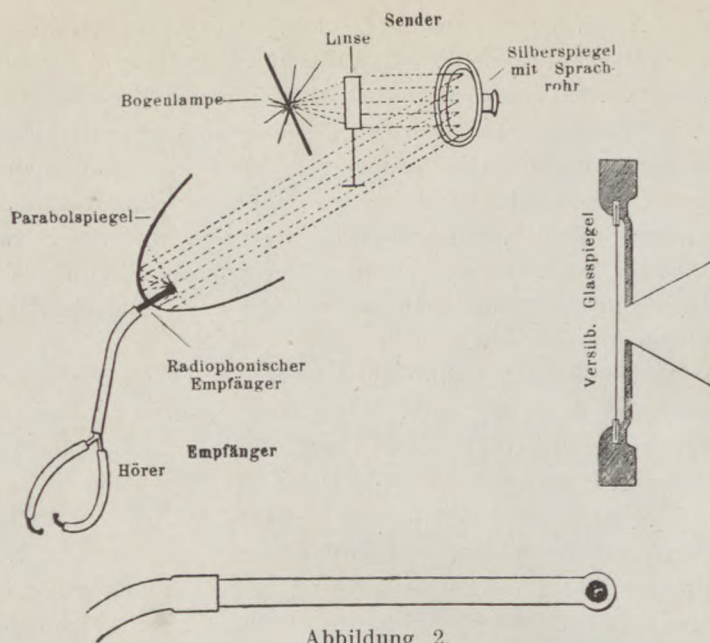


Abbildung 2.

Rohres verbunden war, erzeugte der dauernd wechselnde Druck der bestrahlten Korkkugel auf den Luftinhalt des Glasgefäßes Ton-

schwingungen, die dann leise, aber deutlich hörbar waren. Diese und ähnliche Anordnungen behandeln wir später noch eingehender, da aus diesen der eigentliche Sprechfilm entstanden ist.

Das Experiment mit der sprechenden Bogenlampe bestand darin, daß es Duddel und danach Simon gelang, eine Kohlenbogenlampe durch induktive Beeinflussung zum Sprechen bzw. zum Singen zu bringen. Auch diese Anordnung werden wir später näher kennenlernen.

Ruhmer verbesserte nun das Bellsche Lichttelefon

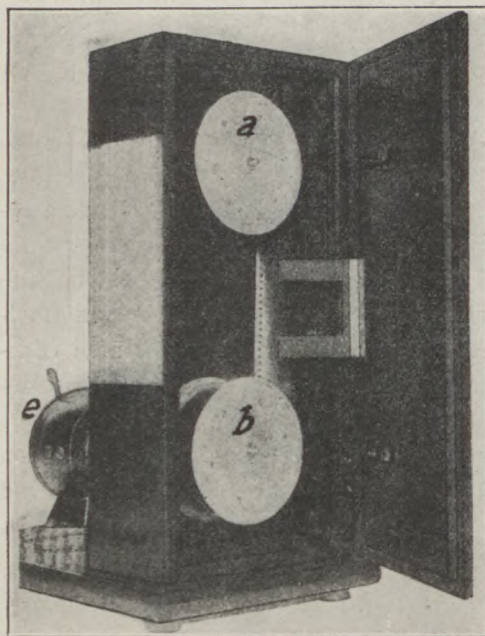


Abbildung 3.

dadurch, daß er an Stelle der Sonnenstrahlen und der vibrierenden Spiegelmembrane eine solche singende Bogenlampe verwendete, deren Lichtstrahlen durch große Scheinwerfer auf die Empfangsstelle projiziert wurden. Die pulsierende Bogenflamme einer derartigen Bogenlampe verursacht selbstverständlich auch gleichzeitige Lichtintensitätsschwankungen, die den Sprach- oder Gesangsschwankungen proportional sind, also ebensolche Wirkungen ausüben, wie die durch die Spiegelmembranen modulierten Sonnenstrahlen. Ruhmer versuchte aber auch, an Stelle der als Empfangsstation dienenden Korkkugel ein empfindlicheres Organ zu verwenden. Die Mittel hierzu waren in der schon damals bekannten Selenzelle gegeben. Über die Selenzelle wird später sehr eingehend berichtet werden, hier wollen wir nur kurz feststellen, daß das Selen ein Element ist, dessen graue, kristallinische Form die besondere Eigenschaft besitzt, den elektrischen Strom bei schwankender Belichtung entsprechend schwankend zu leiten. Durch besondere Ausführung der Zuleitungen entstand die Selenzelle. Wenn also Ruhmer eine solche Selenzelle mit einer elektrischen Stromquelle (Batterie) sowie mit einem Telephon verband und sie dem Lichtstrahl der sprachbeeinflussten Bogenlampe aussetzte, hörte er die Sprache und den Gesang vermittels des Lichtstrahls in mehreren Kilometern Entfernung. Bei diesen Experimenten fiel es Ruhmer ein, die Lichtschwankungen dadurch festzuhalten, daß er dieselben durch einen dünnen Spalt in ein lichtdichtes Kästchen dringen ließ (Abb. 3) und hinter dem Spalt einen lichtempfindlichen Film mit 2 m Geschwindigkeit pro Sekunde durchlaufen ließ. Wenn die Bogenlampe besprochen wurde und der Film ablief, bildeten sich nach Entwicklung des Filmes auf demselben quer zur Laufrichtung in scheinbar un-

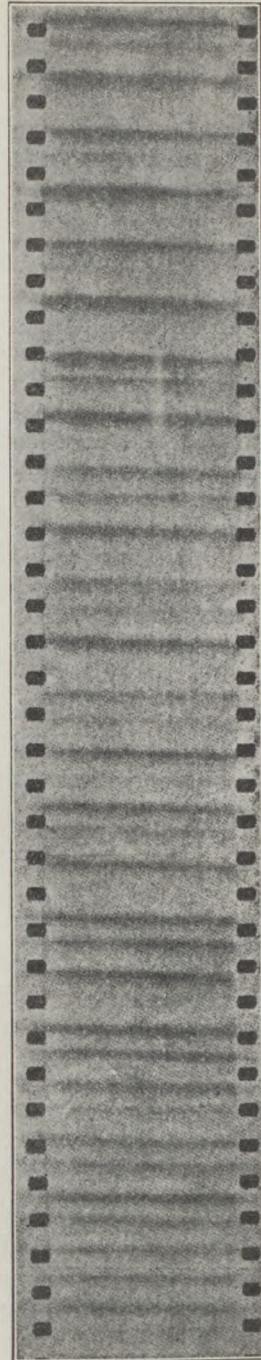


Abbildung 4.

regelmäßiger Weise dünnere oder dickere, hellere oder dunklere Streifen, wie sie in Abbildung 4 ersichtlich sind. In der Annahme, daß diese Streifen den Lichtintensitätsschwankungen der besprochenen Bogenlampe entsprachen, ließ Ruhmer dieses Filmband vor einem Schlitzdiaphragma durchlaufen, hinter dem eine gleichmäßig brennende Lampe

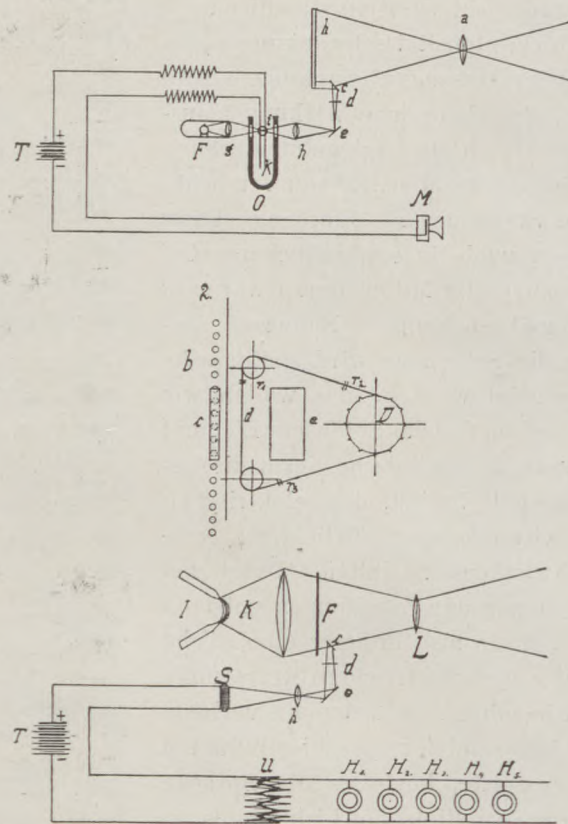


Abbildung 5.

stand, während vor dem Film eine mit Batterie und Telephon verbundene Selenzelle angeordnet war. Die verschiedenen, dunkleren oder helleren Streifen blendeten nun das Lampenlicht für die Selenzelle verschieden stark ab, und das erwartete Resultat war da. In dem mit der Selenzelle verbundenen Telephon ertönten die vorhin gesprochenen Worte, da die Lichtschwankungen, die die Streifen des Films in der Selenzelle verursachten, die elektrische Leitfähigkeit der Selenzelle veränderten, so daß sie dem Telephon von der Batterie mehr oder weniger starke Stromstöße mitteilte.

Mit diesem Experiment waren die Grundlagen für den heutigen sprechenden Film geschaffen.

Ruhmer wollte diese Einrichtung nur als langlaufendes Grammophon benutzen, da die Reproduktion mit den damals zur Verfügung stehenden Mitteln zu schwach war, sie war eben nur im Telephon hörbar. Die Verstärker waren damals noch nicht bekannt, die Selenzellen waren unvollkommen (zu unempfindlich) und die Lautsprechertechnik war sozusagen noch in den Kinderschuhen. Das waren wahrscheinlich die Gründe, weshalb Ruhmer die ideale Möglichkeit zur Schaffung eines Sprechfilms nicht erkannte. Als der Verfasser im Jahre 1914 mit seinen Bildübertragungs- und Fernseherexperimenten anfang, waren ihm die Versuche von Ruhmer und auch die Experimente von Lieben zur Erreichung eines trägheitslosen Verstärkerrelais schon bekannt. Die Mittel, die bei den Bildübertragungs- und Fernseherexperimenten in Frage kommen, wie lichtempfindliche Zellen, Lichtmodulationen usw., sind dieselben, die beim sprechenden Film notwendig sind. Durch jahrelange Experimente ist es auch gelungen, diese Mittel zu einer solchen technischen Vollkommenheit zu entwickeln, daß sie den praktischen Anforderungen entsprechen. Bei diesen Experimenten fiel es dem Verfasser ein, die Experimente von Ernst Ruhmer mit vollkommeneren Mitteln nachzumachen. Als Nebenprodukt entstand am 7. Juni 1916 der erste sprechende Film in dem Sinne, wie er heute bekannt ist. Das Resultat war sehr befriedigend, denn es ergab sich eine sehr laute Tonwiedergabe. Gleichzeitig aber hat sich herausgestellt, daß man zur Herstellung eines Tonfilmes nur wenige Millimeter am Filmband braucht. Man hatte also genügend Platz, um auf demselben Film gleichzeitig die Bilder aufzunehmen. Das war, soweit es nachweisbar ist, der allererste Sprechfilm nach dem photographischen Verfahren, d. h. Bild und Ton waren auf demselben Filmband aufgenommen. Die in Abbildung 5 ersichtliche Dar-



Abbildung 6.

stellung ist die Patenturkunde, die dem Verfasser vom Königlich ungarischen Patentamt im Jahre 1917 auf ein derartiges Sprechfilm-patent erteilt worden ist, anscheinend die allererste Urkunde auf der Welt in diesem Sinne. Ein Stück Film von der ersten Aufnahme dieser Art, bei der Herr Diplom-Ingenieur Alexander Szappanyos, der damalige erste Assistent des Verfassers, über den Sprechfilm selbst redet, ist in Abbildung 6 ersichtlich.

I. Der sprechende Film in seiner historischen Entwicklung

Es ist vielleicht interessant, die Entwicklung desprechenden Films kurz zusammenzufassen.

Im Jahre 1899 tauchte der Gedanke bei T. A. Edison auf, einen Film zu schaffen, der spricht, singt und sich selbst mit Musik begleitet. Zwischen 1899 bis 1906 wird die Graviermethode verschiedentlich versucht.

Während dieser Zeit wurde das Lichttelefon von Bell erfunden, und es wurden verschiedene Lichtmodulationsmethoden bekannt.

Im Jahre 1900 macht Ruhmer seine Experimente mit der verbesserten Lichttelefonie, und kurz darauf entsteht das „Photographophon“.

Im Jahre 1914 nimmt der Verfasser die Experimente mit lichtelektrischen Erscheinungen auf, und am 7. Juni 1916 wird das erste Projektophon, der erste 8 m lange Film, wo Sprache und Bild auf demselben Filmband aufgenommen sind, vorgeführt. Das erste Patent auf solchen sprechenden Film wird unter dem Namen „Projektophon“ bei dem ungarischen Patentamt im Jahre 1917 erteilt.

Dann folgen rasch hintereinander die Experimente von Massolle, Engl und Vogt (Trierigon). Sie führen ihren ersten Film im Oktober 1923 in Berlin zum erstenmal der Öffentlichkeit vor.

Im Frühjahr 1923 nimmt Berglund in Schweden die Experimente auf.

Fast gleichzeitig fangen Poulsen und Petersen in Dänemark und Lee de Forest in Amerika an. In der Kipho-Ausstellung (Kino- und Photoausstellung) in Berlin 1925 führen Trierigon ihren Sprechfilm wieder der Öffentlichkeit vor mit einer kurzen Ansprache des deutschen Außenministers Dr. Stresemann.

Ufa (Universum-Film-A.-G.) Berlin übernimmt die Weiterentwicklung der Trierigon im Jahre 1925. Im Frühling desselben Jahres wirkt bei diesen Experimenten Heinrich J. Küchenmeister mit, um den akustischen Teil des Sprechfilms mit seinem Ultraphonprinzip zu verbessern.

Poulsen und Petersen (Deutsche Tonfilm-A.-G.) treten im Dezember 1926 im Capitol in Berlin mit einem Kabarettprogramm vor die Öffentlichkeit.

Am 10. März 1927 führt Ufa-Triergon unter der Mitwirkung von H. J. Küchenmeister ebenfalls ein Kabarettprogramm vor.

Am 23. November 1926 hat Dr. Köhnemann seine Experimentenserie mit der neuen Verstärkermethode für die Zwecke des sprechenden Films begonnen.

Die bisherigen Vorführungen haben noch keine endgültigen und einwandfreien Ergebnisse gezeigt. Der eingeschlagene Weg scheint aber der richtige zu sein, so daß der Einzug des Sprechfilms in die Praxis unmittelbar bevorsteht.

Um die Entwicklungsmöglichkeiten, die Rentabilität der einzelnen Systeme, ihre technischen Vor- und Nachteile usw. richtig beurteilen zu können, müssen wir über Ton, Schallwellen, Telephontechnik, lichtelektrische Erscheinungen usw. gründlich informiert sein.

II. Grundbegriffe

Wenn wir die verschiedenen Sprechfilm-Methoden kennenlernen und richtig beurteilen wollen, müssen wir die grundlegenden Teile — die Bausteine all dieser Methoden — genau kennen und zwar mit besonderer Rücksicht auf die Anforderungen, die an die einzelnen Teile bei der Verwendung für den Zweck des sprechenden Filmes gestellt werden.

1. Die Schallwellen

Daß Sprache, Musik, Gesang, natürliche Geräusche, überhaupt alles, was wir als Ton, als akustische Erscheinungen empfinden, nichts anderes sind als Luftschwingungen (Verdünnungen und Verdichtungen), die durch Vibrationsstöße hervorgerufen werden und als Schallwellen zu unseren Ohren gelangen, ist allgemein bekannt. Ebenfalls ist bekannt, daß diese Luftschwingungen verschieden starke und schwache Einwirkungen auf unser im Ohr befindliches Trommelfell ausüben: dieses überträgt diese Stöße mittels einer äußerst feinen Hebelanordnung, dem sogenannten Bügel und Hammer, auf die Spiralgänge, sog. Labyrinth, in dessen Flüssigkeit (Endolymphe) sich kleine steinartige Gebilde befinden, welche die Gehörnerven erregen und dadurch in unserem Gehirn die Empfindung des Hörens hervorrufen.

Diese Schallwellen sind, wie gesagt, die Verdünnungen und Verdichtungen der Luft, die sich mit ungefähr 332 m pro Sekunde Geschwindigkeit im Luftraum verbreiten. Diese Zahl bezieht sich auf einen absolut unbewegten Luftraum. Bei Wind, bei Änderung der Temperatur, bei Feuchtigkeitsgehalt der Luft, bei Änderung des Luftdruckes ändert sich diese Zahl.

Man kann ähnliche Schwingungen sichtbar machen, wenn man ein Glasrohr innen mit einer feinen Kolophonium-Pulverhaut versieht und dieses Rohr dann mit einem gleichmäßigen Ton erregt. Das Kolophoniumpulver setzt sich auf die Stellen, wo Schwingungsknoten vor-

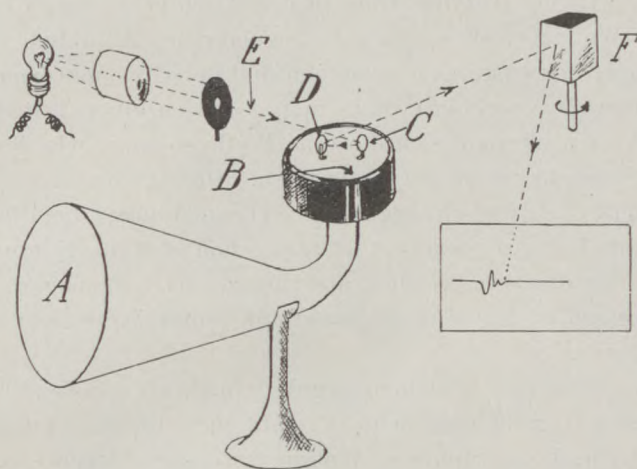


Abbildung 7.

handen sind, und dadurch wird eine Unterteilung sichtbar. Man kann aber diese Schwingungen auch graphisch als transversale Schwingungen sichtbar machen, wenn man sich einer in Abbildung 7 dargestellten sogenannten Martensschen Membraneinrichtung bedient. Ein Trichter A führt die Schallwellen der feinen Membrane (aus Löschkarton oder Glimmer) B zu. Auf dieser Membrane sind senkrecht die feinen Spiegel C und D in vertikaler Lage aufgeklebt. Ein scharfer Lichtstrahl E wird auf den Spiegel C projiziert. Von hier aus reflektiert der Strahl auf den Spiegel D, vom Spiegel D auf einen Polygonspiegel (Vierkantspiegel) F, der in gleichmäßig drehender Bewegung gehalten wird. Vom Drehspegel F wird der dünne Lichtstrahl auf eine weiße Wand reflektiert. Infolge der Winkeldrehungen des Polygonspiegels wird der schnellbewegte Lichtstrahl auf der weißen Projektionswand stets einen geraden Lichtstreifen bilden, solange die Membrane bzw. die darauf geklebten Spiegel in Ruhe sind. Falls wir aber in den

Trichter der Martensschen Membrane hineinsprechen oder -singen, macht diese die feinen Schwingungen nach, d. h. ihre Fläche vibriert. Dementsprechend ändern sich aber die Winkel, die die beiden Spiegel miteinander bilden. Der reflektierte und in horizontaler Richtung vom Polygonspiegel bewegte Lichtstrahl macht nun infolge der Bewegungen der Membrane auch in vertikaler Richtung Schwingungen, und wir sehen auf der Projektionswand die Schallwellen graphisch dargestellt. Die Form dieser Wellen ändert sich je nach der Stärke, mit der in den Trichter hineingesprochen oder -gesungen wird. Wenn wir den Polygonspiegel sich so rasch drehen lassen, daß der Lichtstreifen sich eben bildet und wir nur einzelne Töne in den Trichter gelangen lassen, so sehen wir Wellen entstehen, wie es ungefähr aus Abbildung 7 ersichtlich ist. Diese Schwingungen entstehen und verschwinden, man möchte sagen, laufen ab (verebben). Falls man aber denselben Ton länger ertönen läßt, so wiederholt sich dieselbe Welle solange, wie der Ton da ist. Man kann dies sehr gut beobachten. Diese Schwingungen nennt man populär „Grundschrwingungen“ (Formanten): bei langsamer Drehung des Polygonspiegels sieht man schon, daß die Konturen, d. h. die Zeichnung der Schallwellen, nicht ganz scharf (homogen) ist, sondern es zeigen sich vielmehr innerhalb einer Welle verschiedene Schattierungen.

Wenn man den Polygonspiegel schneller rotieren läßt und recht scharfe Lichtbündel benutzt, stellt sich heraus, daß sich fast jede Welle noch in mehrere Wellen unterteilt, deren Anzahl ein Vielfaches der Grundschrwingungen ist. Untersucht man die Eigenschaften dieser Wellen, so kommt man zu dem Ergebnis, daß sie sich bei demselben Ton nicht immer gleich gestalten; wenn der Ton von einem anderen Instrument oder von einer anderen Person stammt, wenn man das hohe „C“ vom Klavier oder von einer Geige ertönen läßt, verändern sich diese Wellen ganz charakteristisch. Daher nennt man diese feineren Wellen „Charakterwellen“ oder „Obertöne“. Man kann mit ähnlichen Einrichtungen die Form und Anzahl der bei verschiedenen Tönen entstehenden Wellen feststellen, wenn man die Geschwindigkeit kennt, mit der der Polygonspiegel sich dreht. Die Wellenhöhe, die sogenannte Amplitude, ändert sich, je nachdem wie laut der betreffende Ton ist, aber die Form und der Verlauf bleibt bei demselben Ton immer gleich. Man hat auf diese Weise festgestellt, daß die für normale Ohren hörbaren Töne etwa 16 bis 16 000 Schwingungen pro Sekunde haben. Diese Zahl liegt nicht fest, weil die Hörbarkeitsgrenze bei jedem Menschen individuell ist. Manche Personen vernehmen noch 20 000 Schwingungen pro Sekunde.

Die Hörbarkeit (Tonstärke) ist selbstverständlich bedingt durch die Amplitude der Wellen. Die noch hörbaren Energiemengen bewegen sich zwischen $\frac{1}{100}$ Mikroerg bis 10000 Erg pro Sekunde und Quadratcentimeter (unter der Bezeichnung Erg versteht man die Arbeit, die ein Dyn auf einem Zentimeter Weg leistet, und ein Dyn ist die Krafteinheit, welche der Masse von einem Gramm die Beschleunigung von 1 cm^2 in der Sekunde erteilt). Der mittlere Wert ist etwa $\frac{1}{100}$ Erg. Ein normales Ohr hört einen Ton von 161 Schwingungen pro Sekunde noch bei einer Amplitude von 0,00004 Millimeter. Interessant ist es und für die spätere Betrachtung bemerkenswert, daß unser Ohr nicht für sämtliche Töne gleichmäßig empfindlich ist, vielmehr hat es für einen gewissen Tonbereich besondere Neigung. Z. B. muß die Energie für einen Ton von 64 Schwingungen etwa 1 Million mal größer sein als für einen Ton mit 1500 Schwingungen, wenn er gleich laut empfunden werden soll. Gleiches gilt für sehr hohe Töne (M. Wien). Im Orchester ist der tiefste Ton das Kontra E des Kontrabasses mit 41 Schwingungen pro Sekunde.

Der höchste Ton ist das fünf gestrichene D der Pikkoloflöte mit 4645 Schwingungen pro Sekunde. Die menschlichen Singstimmen liegen zwischen 64 und 1500 Schwingungen pro Sekunde bei der

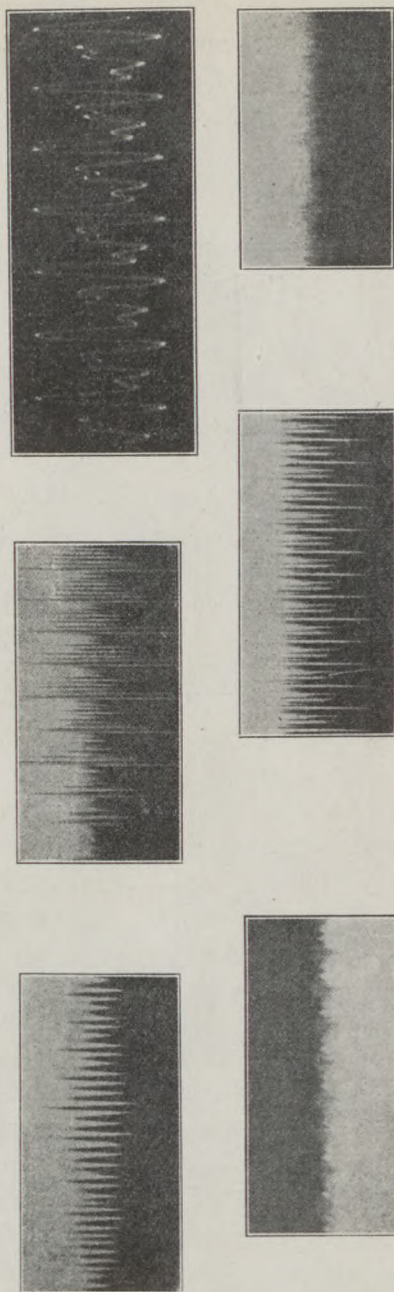


Abbildung 8.

Sprache. Zischlaute, Oberschwingungen reichen bis 14 000. Die graphische Darstellung einiger Töne ist aus der Abbildung 8 ersichtlich.

Bemerkenswert ist noch, daß die ganz hohen Schwingungen von unserem Ohr nur im Zusammenhang mit den Grundtönen empfunden

werden, allein jedoch nur bis zu einer Grenze wahrgenommen werden. Daher merkt jeder, der Gehör besitzt, so gleich, wenn diese Schwingungen fehlen, wenn man z. B. bei einer schlecht aufgenommenen Grammophonplatte nicht unterscheiden kann, ob der betreffende Ton von einer Geige oder Flöte stammt, usw.

2. Elektro-akustische Mittel

Das erste elektro-akustische Mittel wurde zweifelsohne von Graham Bell durch sein ursprüngliches Telephon erfunden (im Jahre 1877). Die Abbildung 9 zeigt die ursprüngliche Bellsche Telephonanordnung.

Der Sender A besteht aus einem permanenten Stahlmagnet C, auf den eine mit isoliertem Draht bewickelte Spule D geschoben ist. Vor den Enden der Magnetstäbe ist eine dünne (0,2mm) Weich-eisenplatte E (Membrane) gespannt. Die beiden Drahtenden der Spule D sind mit Drahtleitungen zum Empfänger B geführt (Fernleitung) und dort mit den Enden der Spule F leitend verbunden. Diese Spule sitzt an einem Stabmagnet G, vor dem gleichfalls eine dünne Eisenmembrane H gespannt ist. Wenn wir die Membrane genau untersuchen, können wir feststellen, daß sie gegen die Magnetstäbe, von denen

sie angezogen wird, etwas gewölbt ist.

Sprechen wir nun gegen eine der beiden Membranen, so wird die Sprache zwar leise, aber ganz deutlich durch die andere Membrane hörbar werden. Was geschieht hier?

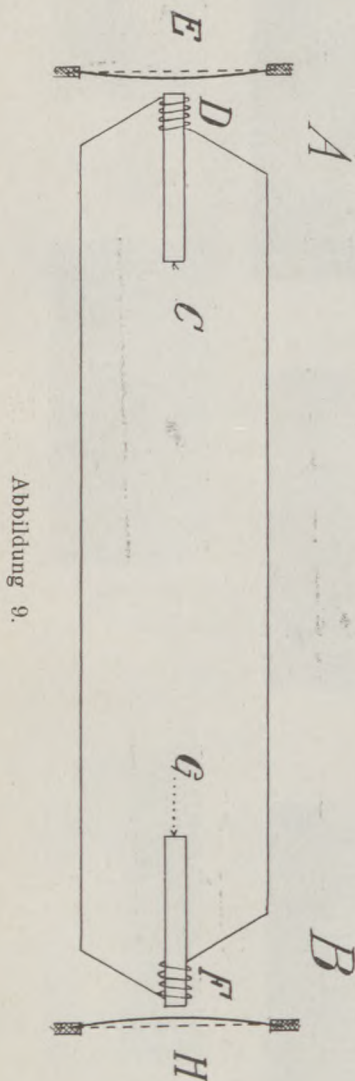


Abbildung 9.

V
die
Magn
zwise
fernu
rung
einen
in di
trisch
Magn
rufen
einma
ziehun
wird
wird
gunge
wurde
Schwi
schwi
Empfä
derjen
Das e
duktio
auftre
tragun
4—5 k
der es
Strom
entspr
findlic
erst k
kroph
W
schwe
Telep
zeichn
von E
zum e
D
zuges
2 Koh

Wenn gegen eine der Membranen gesprochen wird, so versetzen die Luftschwingungen diese in Bewegung (Vibrationen) gegenüber dem Magnetstab. Hierdurch werden aber die magnetischen Verhältnisse zwischen Membrane und Magnetstab infolge der veränderlichen Entfernung während der Schwingungen ebenfalls verändert. Die Änderung des Magnetfeldes erweckt nun in der Spule des Magnetstabes einen sogenannten induzierten Strom, der durch die Fernleitung in die andere Spule fließt. Wenn aber eine Drahtspule von elektrischem Strom durchflossen wird, so entsteht im Kern der Spule Magnetismus. Die auf diese Weise in der Empfängerspule hervorgerufenen schwankenden Kräfte wirken pulsierend, einmal verstärkend, einmal schwächend, auf den permanenten Magnetstab ein; die Anziehungskraft, die er auf die vor ihm liegende Eisenmembrane ausübt, wird also verändert. Infolge dieser schwankenden Anziehungskraft wird die Membrane in Schwingungen versetzt, die genau den Schwingungen entsprechen, die gegen die andere Membrane gesprochen wurden, so daß die durch die Empfängermembrane ausgeführten Schwingungen in dem sie umgebenden Luftraum wieder die Sprachschwingungen hervorrufen. Die Lautstärke des Tones, der durch die Empfängermembrane erzeugt wird, ist aber nur ein geringer Bruchteil derjenigen, die beim Sender durch das Sprechen hervorgerufen wird. Das ergibt sich aus den Verlusten, welche bei der magnetischen Induktion durch die Fernleitung und mechanisch bei der Membrane usw. auftreten. Mit Hilfe der Bellschen Telephone ist eine Sprachübertragung lediglich auf einige 100 m und eine Gesangübertragung auf 4—5 km möglich gewesen. Diese allererste Einrichtung, vermittlest der es gelang, durch Schallwellen (Sprache, Gesang, Musik) elektrische Stromimpulse zu erwecken und fortzuleiten, um an anderer Stelle die entsprechenden Schallwellen wieder zu reproduzieren, war zu unempfindlich, der Wirkungsgrad zu gering. Praktisch wurde die Einrichtung erst brauchbar durch die Anwendung von Transformatoren und Mikrophonen.

Wer eigentlich als Erfinder des Mikrophons zu betrachten ist, ist schwer zu sagen. Ungefähr in demselben Jahr (1877), wo das Bell'sche Telephon entstand, veröffentlichte Hughes seine als „Mikrophon“ bezeichnete Erfindung, und gleichzeitig wurde die Veröffentlichung einer von Edison erfundenen ähnlichen Einrichtung bekannt, bei der Edison zum ersten Male auch sogenannte Transformatoren verwendete.

Das Mikrophon von Hughes bestand aus einem an beiden Enden zugespitzten Kohlenstäbchen A (Abbildung 10), welches lose zwischen 2 Kohlenklötzchen B und C an einem vertikal gestellten Holzbrettchen

D befestigt war. Eine aus 3—4 Chromsäureelementen bestehende Batterie E wurde mit einem Drahtende direkt an die Telephonspule F angeschlossen, das andere Ende der Batterie führte über das lose Kohlenstäbchen zur Telephonspule. Wenn man gegen das lose Kohlen-

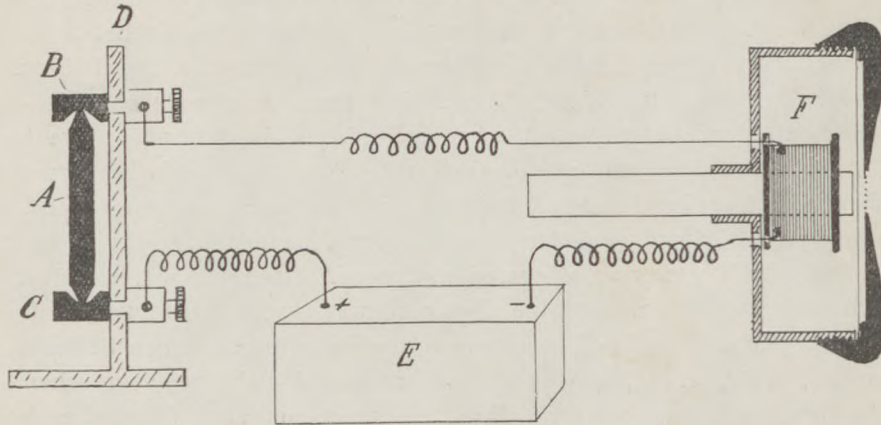


Abbildung 10.

stäbchen sprach, so war die Sprache ziemlich stark im Telephon hörbar. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß das zugespitzte Kohlenstäbchen zwischen den beiden Kohlenklötzchen für den Strom-

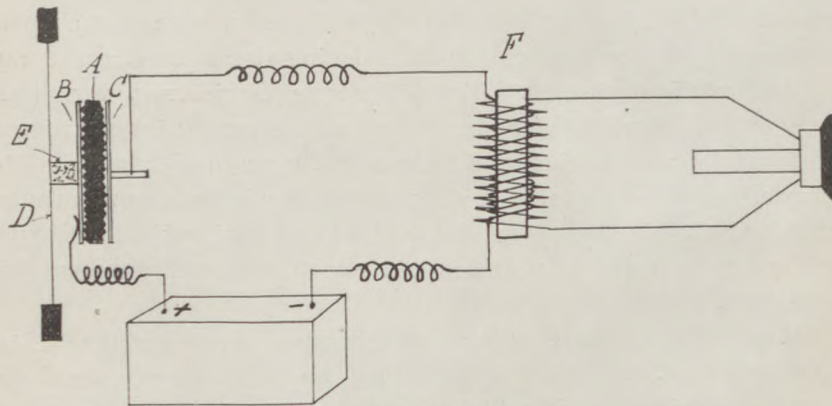


Abbildung 11.

weg einen erheblichen Widerstand bildet. Wurde aber das Stäbchen durch die Schallwellen getroffen, so übernahm es die Stöße derselben (vibrierte) und dadurch wurden die beiden Spitzen mehr oder weniger fest an die Kohlenklötzchen gedrückt. Dementsprechend konnte mehr oder weniger Strom durch das Stäbchen zur Telephonspule fließen.

Dadur
das m
Schw
E
wende
zwich
Plätt
Schall
klötz
Mikro
lose z
der S
diese
Wie v
der B
nicht
mit E
Wind
doppe
genan
spule,
geht.
Plätt
Um d
dicker
isolier
nannt.
Wachs
lierten
Ende d
überha
so ents
„induz
märs
Spann
den S
hältnis
beding
1. Der
liegen
die la

Dadurch entstand dort ein schwankendes elektromagnetisches Feld, das nun der Eisenmembrane den Schallschwingungen entsprechende Schwingungen erteilte.

Edison, dessen Einrichtung aus Abbildung 11 ersichtlich ist, verwendete eine dünne Kohlenplatte aus Retortenkohle A, welche zwischen 2 Metallplatten lose angeordnet war (B und C). Vor dem ersten Plättchen stand eine dünne Eisenmembrane D, die zur Aufnahme der Schallschwingungen diente, die sie dann durch ein weiches Gummiplättchen E dem hinter ihr aufgestellten Plättchen B übermittelte. Dieses Mikrophon beruhte ebenfalls auf der Tatsache, daß die Berührung der lose zusammenhängenden Stromleiter unter dem wechselnden Druck der Schallwellen fester wird und daß dadurch der Widerstand, den diese losen Stromleiter im Stromkreis bilden, ein wechselnder wird. Wie wir aber aus der Abbildung ersehen können, ist der Stromkreis der Batterie und des Mikrophons bei der Edisonschen Anordnung nicht durch die Telephonspule, sondern durch die innere Spule einer mit Eisenkern versehenen Doppelspule F geschlossen, deren äußere Windung über die Fernleitungen zur Telephonspule führt. Diese doppelte Spule mit Eisenkern wird Transformator oder Transmitter genannt. Diese Transformatoren bestehen aus einer Holz- oder Papier- spule, durch die ein Weicheisenstab, der sogenannte Kern, hindurchgeht. Dieser Stab ist zweckmäßig aus weichen Eisendrähten oder Plättchen zusammengesetzt, um raschen Änderungen folgen zu können. Um den Kern herum ist auf dem Spulenkörper ein allgemein etwas dickerer (ca. 0,1 mm) emaillierter oder mit Seide umspinnener, d. h. isolierter Draht gewickelt. Dieser Teil wird die Primärwicklung genannt. Über diese Wicklung kommt eine Isolierschicht, z. B. aus Wachspapier, und darauf eine zweite Wicklung aus dünnerem isolierten Draht, die sogenannte Sekundärwicklung. Wenn man an das Ende der inneren Spule (der Primärspule) eine Stromquelle schaltet oder überhaupt durch die Primärspule veränderlichen Strom fließen läßt, so entsteht in der Sekundärspule auch ein Stromstoß (man sagt: er wird „induziert“), der solange dauert, wie sich eine Änderung in der Primärspule vollzieht. Dieser induzierte Strom bzw. die induzierte Spannung steht zu dem in der Primärspule auftretenden Strom- bzw. den Spannungsänderungen in einem Verhältnis, das durch das Verhältnis der Windungszahlen und der Widerstände der beiden Spulen bedingt ist. Durch diese Anordnung hat Edison 3 Vorteile erreicht: 1. Der Strom braucht nur das Mikrophon und die unmittelbar daneben liegende Transformator-Primärspule zu durchfließen, aber nicht durch die lange Fernleitung. 2. Die Telephonspule wird nicht durch einen

dauernd durchfließenden sogenannten Ruhestrom belastet. Demzufolge kommen die Schwingungen besser zur Geltung. 3. Durch entsprechende Wahl des Transformatorverhältnisses kann man erreichen, daß die in der Fernleitung geführten Stromstöße höhere Spannungen erhalten, wodurch sich in den dünnen Fernleitungen geringere Stromverluste ergeben.

Dies auf Grund der obigen Erfindung entstandene Mikrophon hat sich, da es den praktischen Anforderungen entsprach, abgesehen von

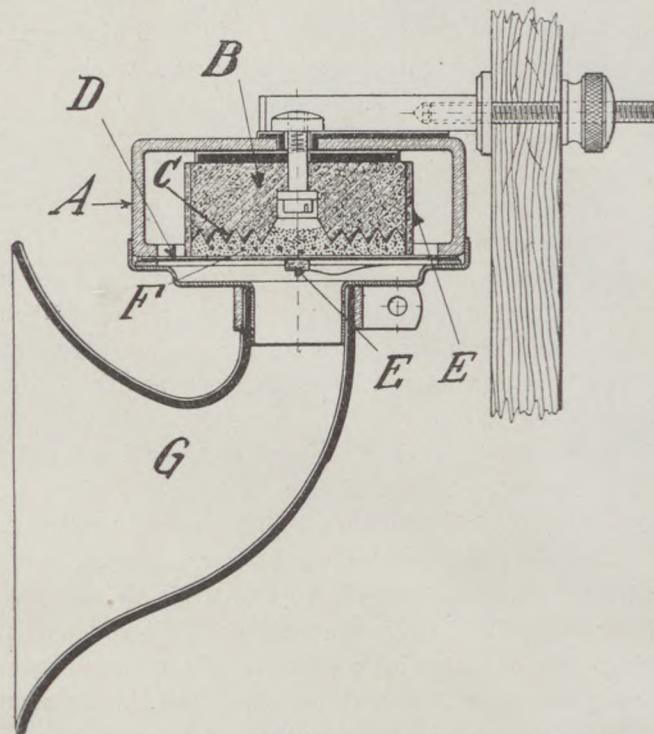


Abbildung 12.

verschiedenen konstruktiven Änderungen, im Prinzip erhalten. Das allgemein verwendete, sogenannte Kohlenkörner-Mikrophon ist aus Abbildung 12 ersichtlich.

In der Metallkapsel A ist ein hohles Kohlenklötzchen B befestigt, dessen Inneres mit scharfen Rillen oder Spitzen C ausgestattet ist. Dieser Hohlraum ist durch eine Kohlenmembrane D abgeschlossen und zwar so, daß die Membrane auf einem weichen Filzring E aufliegt. Der Hohlraum zwischen dem Kohlenklötzchen und der Membrane ist mit ca. 0,3 bis 1 mm großen Kohlenkörnern F ausgefüllt, die also hierbei den losen Stromleiter bilden. An der äußeren Seite der Membrane ist ein Trichter

G an
Je n
nach
oder

Spann
genor
zweck
kroph
wend
aus e
lichst
aufge

G angebracht, der gleichzeitig als Deckel der Kapsel ausgebildet ist. Je nach der Wahl der Kohlenkörner, ob feiner oder gröber, und je nach Ausmaß des Hohlraumes hat das Mikrophon einen größeren oder kleineren Widerstand und eignet sich für höhere oder niedrigere

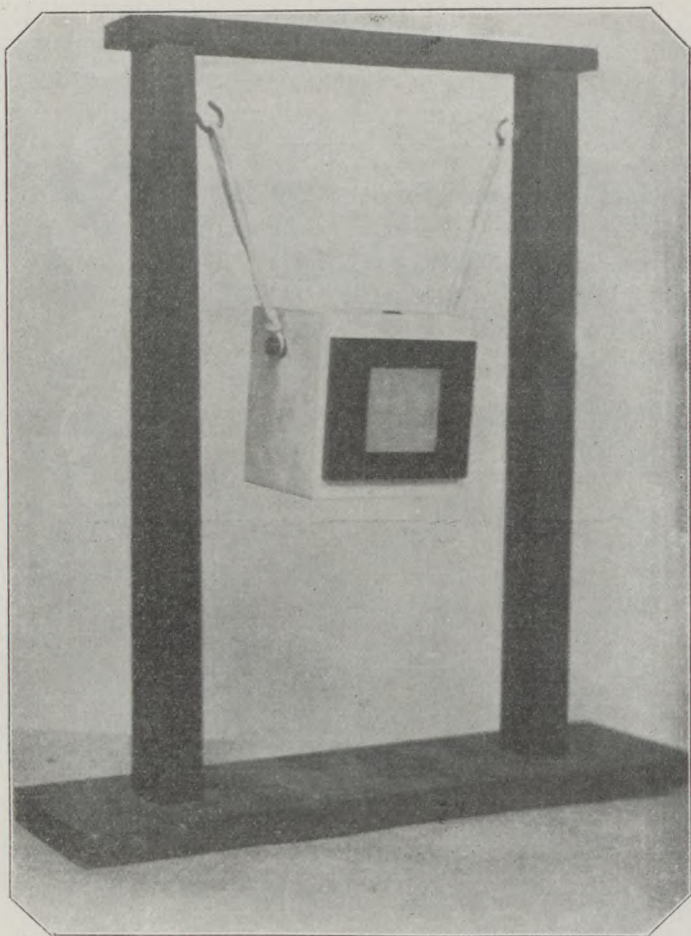


Abbildung 13.

Spannungen. Es ist klar, daß um so feinere Schwankungen aufgenommen werden können, je feiner die Körner sind. Ein für Radiozwecke ausgebildetes, hochohmiges (großer Widerstand) präzises Mikrophon, welches vielfach neuerdings für Sprechfilmaufnahmen verwendet wird, ist das Reißsche Mikrophon (Abbildung 13). Es besteht aus einem schweren, viereckigen Marmorgehäuse, welches, um möglichst erschütterungsfrei zu sein, in einem Gestell an Gummibändern aufgehängt ist. Die wesentliche Neuerung bei diesem Mikrophon liegt

darin, daß die Körnerfüllung nicht mehr aus gleich großen Körnern, sondern, den verschiedenartigen Schallschwingungen entsprechend aus verschieden großen Körnern besteht.

Da die Stromstöße im Mikrophon durch Bewegung der Körper und die dadurch hervorgerufenen Widerstandsänderungen erfolgen, mit anderen Worten also an mechanische Vorgänge gebunden sind, so kann das Mikrophon auch nicht vollkommen erschütterungsfrei sein. Da ferner der Widerstand und damit der Wirkungsgrad auch noch in anderer Hinsicht unbeständig ist, hat man versucht, für den Zweck des Sprechfilms an Stelle eines Mikrophons neue Organe für die Aufnahme zu schaffen, die den Schallschwingungen bis zu den höchsten Zahlen (Frequenzen) genau und empfindlich folgen können, deren Empfindlichkeit ferner beständig bleibt und womöglich wenig oder gar nicht an mechanische Vorgänge gebunden ist.

Mit dem Fortschreiten der Radiotechnik und der damit gleichfalls fortschreitenden Verstärkertechnik ist es gelungen, solche Mittel zu finden. Man war z. B. imstande, die in dem Telephon entstandenen geringen Induktionsströme so zu verstärken, daß sie in Konstanz und Feinheit viel genauer sind als die vom Mikrophon gelieferten Stromstöße.

Aus demselben Bestreben sind die sogenannten Kondensatormikrophone und Kathodophone entstanden.

Die Erfindung des Kondensator-Mikrophons stammt ungefähr aus der Zeit, als das Telephon und das Mikrophon erfunden wurden. Der Engländer Varley hatte nämlich folgendes entdeckt: Wenn man zwei Metallplatten nimmt, eine dickere und eine dünnere, und dieselben sehr nahe nebeneinander anordnet, ohne daß die beiden sich berühren, so daß sie also einen „Kondensator“ bilden, und man legt an diese zwei Platten hohe Spannungen an, so entsteht zwischen den beiden Platten eine Anziehungskraft; d. h. die dünnere nähert sich der dickeren Platte: wenn die Spannungsschwankungen durch ein Mikrophon entstanden sind, so muß ein derartiger Kondensator wie ein Telephon arbeiten, d. h. er reproduziert den Ton. Damals waren die Verstärker noch unbekannt, die erteilten Spannungsunterschiede demzufolge gering, so daß der Effekt derartiger Kondensatortelephone sehr schlecht war.

Erst in neuester Zeit wurde diese Erscheinung wieder mittels Verstärker untersucht, und man hat auch sehr schöne Resultate erreicht. Diese Kondensatortelephone sind unter dem Namen Statophon bekannt.

I
umge
ents
den,
feiner
noch
einen
lich

beid
wird
sogen
unter
gerin
verw
ergib
ist u
zerru
densa
Hilfss
U
Mikro
erst
bei
singe

Bei den Experimenten ergab sich, daß die Erscheinung sich auch umgekehrt durchführen läßt, d. h. man kann einen Kondensator von entsprechender Ausführung auch an Stelle eines Mikrophons verwenden, also mit ihm Stromschwankungen erzeugen. Die entstandenen feinen Spannungsschwankungen müssen danach selbstverständlich noch verstärkt werden. Es gibt aber noch eine andere Möglichkeit, einen Kondensator als Mikrophon zu verwenden. Wenn man nämlich zwei feste Kondensatorplatten nimmt und zwischen die

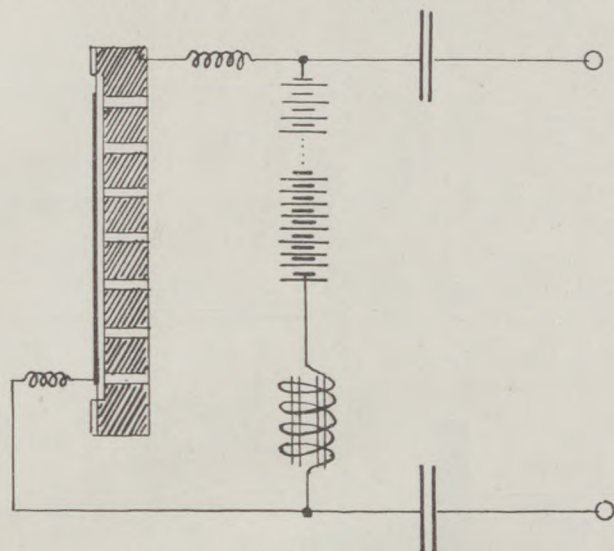


Abbildung 14.

beiden spricht, d. h. die isolierende Luftschicht beeinflusst, so wird durch den verschiedenen Druck der Schallschwingungen die sogenannte Dielektrizitätskonstante verändert, die dann Spannungsunterschiede verursacht. Allerdings sind diese Schwankungen so gering, daß sie nur unter Anwendung sehr großer Verstärker verwendbar sind. Bei Verwendung einer solchen Einrichtung ergibt sich aber der Vorteil, daß hierbei keine Membrane nötig ist und der Vorgang infolgedessen von jeder mechanischen Verzerrung frei ist. Das Schaltungsschema, das man für solche Kondensatoren zur Besprechung anwendet, sowie die Anschaltung der Hilfsspannung ist aus Abbildung 14 ersichtlich.

Um das Wesen und die Wirkungsweise des anderen masselosen Mikrophons, des Kathodophons, verstehen zu können, müssen wir zuerst von seinem Vorgänger sprechen, nämlich von der bereits schon bei der Beschreibung der Ruhmerschen Experimente erwähnten singenden und sprechenden Bogenlampe.

Duddel war derjenige, der entdeckte, daß der Flammenbogen einer Gleichstrom-Bogenlampe anfängt zu pfeifen, wenn man (nach Abbildung 15) in die Speiseleitung eine sogenannte Drosselspule (eine mit Eisenkern versehene und mit isoliertem Draht bewickelte Spule) und einen großen Kondensator einschaltet. Der auf diese Weise erzeugte Ton ändert sich, je nachdem man verschiedene Kondensatoren und Spulen zwischenschaltet. Die durch die Anordnung verursachten Wechselströme überlagern sich (superponieren) nämlich auf den Gleichstrom der Bogenlampe und dementsprechend treten im Flammenbogen Temperaturunterschiede in dem Tempo der Wechselströme auf, wodurch sich der Flammenbogen ausdehnt und zusammenzieht. Dabei wird die ihn umgebende

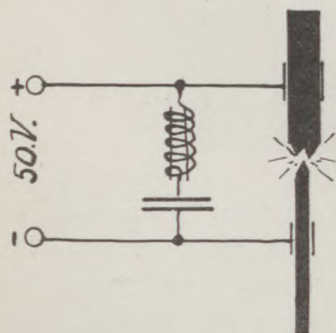


Abbildung 15.

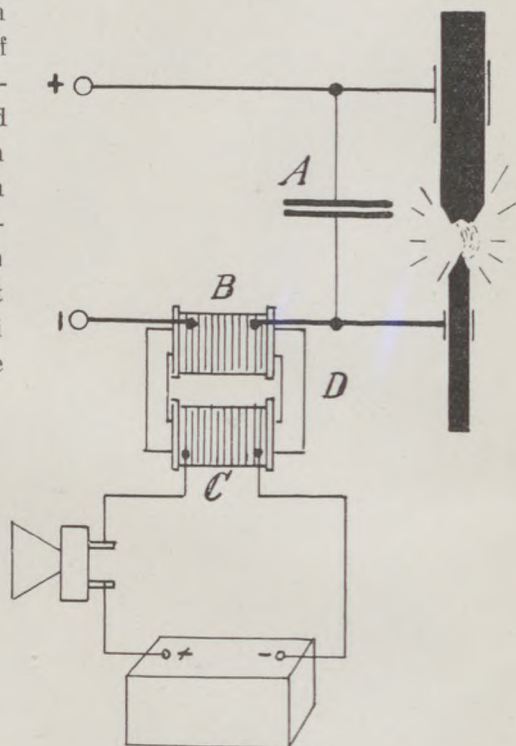


Abbildung 16.

Luft erschüttert (vibriert) und der dadurch entstehende Ton wird von uns vernommen.

Von diesem Duddelschen Experiment ausgehend, baute Professor Simon seine sprechende Bogenlampe (Abbildung 16). Hier sehen wir zwischen die Speiseleitungen geschaltet den Kondensator A und in eine der Speiseleitungen die Sekundärspule B eines Transformators D zwischengeschaltet. An die Primärspule C des Transformators ist ein Mikrophon mit einer Batterie hintereinandergeschaltet. Wenn wir in das Mikrophon hineinsprechen, so wiederholt die Bogenflamme laut jeden Ton, weil die Schwankungen, die durch das Mikrophon im

Tran
über

die
höre
Mikr
des
tende
flußt
Tele

hat a
Röhr
geme
bezei
Le

Jahre
Flam
Flam
ständ
ursac
er m
einer
zwei
stelle
fließt
Gasst
C ge
in Sc
und
kreis

Empf
Spred
Bogen
äußer
schüt
zu vi
I
katho
gereg

Transformator hervorgerufen werden, sich auf dem Flammenbogen überlagern und rasche Abkühlungen hervorrufen.

Dieses Experiment läßt sich auch umkehren, d. h. wir können die gegen die Bogenflamme gesprochenen Worte deutlich wiederhören, wenn wir im Primärkreis des Transformators an Stelle des Mikrophons einen Telephonhörer einschalten. Durch das Ansprechen des Flammenbogens wird die zwischen den Kohlen befindliche leitende Luftstrecke (ionisierte Gasstrecke) mehr oder weniger beeinflußt und deren Rückwirkung auf die Speiseleitung hören wir im Telephon.

Eine der sprechenden Bogenlampe ähnliche Zusammenstellung hat auch Lee de Forest angewandt, aus der sich später die Elektronen-Röhren entwickelten, und die allgemein als Flammen-Mikrophon bezeichnet wurde.

Lee de Forest bemerkte im Jahre 1905, daß durch eine Flamme (z. B. eine Bunsen-Flamme) unter gewissen Umständen eine leitfähige Zone verursacht werden kann. Wenn er nämlich in die Flamme einer Bunsenlampe (in die er ein Stück Chlorkalium legte) zwei Platindrähte A und B (Abb. 17) hineinbrachte, konnte er feststellen, daß zwischen diesen Drähten solange ein schwacher Strom fließt, wie die Flamme brennt. Es entsteht nämlich eine ionisierte Gasstrecke wie bei der Bogenlampe. Wenn nun durch einen Trichter C gegen die Flamme gesprochen wird, so wird dadurch die Flamme in Schwingungen versetzt; damit ändert sich aber die Flammenlänge und infolgedessen der Widerstand, so daß in einem in den Stromkreis geschalteten Telephon die Sprache, Musik usw. hörbar wird.

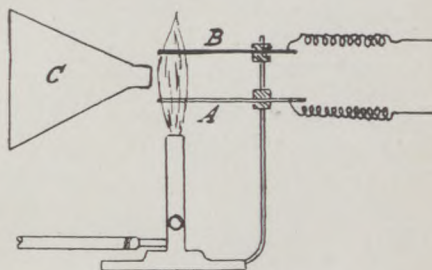


Abbildung 17.

Solche Flammen-Mikrophone besitzen eine außerordentliche Empfindlichkeit, Lee de Forest verwendete sie daher auch bei seinen Sprechfilm-Aufnahmen. Sie haben aber ebenso wie die sprechenden Bogenlampen und die Katodophone den Nachteil, daß sie sich gegen äußere Einflüsse wie Temperaturänderungen, Wind usw. sehr schwer schützen lassen, so daß bei Sprechfilm-Aufnahmen, z. B. im Freien, zu viel Störungen entstehen.

Diese Erscheinungen und die beim Radio verwendeten Glühkathoden haben die deutschen Erfinder Engel, Masolle und Vogt angeregt, ihr Kathodophon zu konstruieren.

Das Kathodophon ist in Abbildung 18 schematisch dargestellt. Hinter dem Sammeltrichter A, der in einer zugespitzten Düse endet, ist in ca. 0,2 mm Entfernung vom Ende die sogenannte Glühkathode B angeordnet. Die Glühkathode ist ein Stift, der elektrisch zum Glühen gebracht wird. Diese Glühkathode ist mit einer Schicht von Halbleitern, d. h. von Oxyden, überzogen. Die Glühkathoden haben die Eigenschaft, daß sie, wenn sie sehr stark erhitzt werden und hohe Spannungen angelegt werden, Elektronen, in diesem Fall auf die

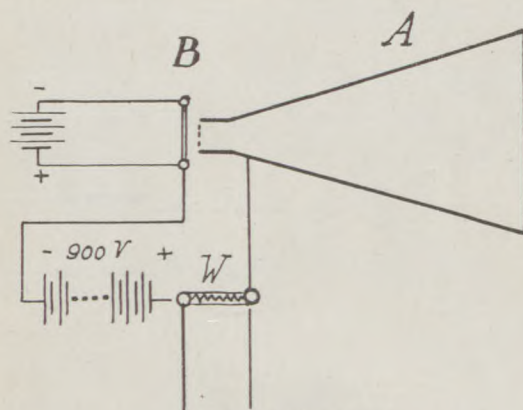


Abbildung 18.

Düse des Trichters schleudern und dadurch den Luftraum ionisieren. Es entsteht also ein Entladungsstrom zwischen Kathode und Trichter. Der positive Pol einer 900 Volt-Batterie ist an den Trichter angeschlossen, und die Glühkathode wird mit dem negativen Pol derselben Batterie verbunden. Wenn wir nun in den Trichter

sprechen, so ändert sich der Widerstand der Entladungsstrecke, so daß sich die Spannung über den in den Stromkreis geschalteten Widerstand W den Luftschwankungen entsprechend ändern wird. Diese Einrichtung ist vollkommen masselos und besitzt sehr große Empfindlichkeit, da die von ihr hervorgerufenen Spannungsschwankungen genau den mitgeteilten Luftschwingungen proportional sind. Für den praktischen Gebrauch hat aber die Einrichtung den großen Nachteil, daß zum Betrieb eine ungemein hohe Spannung erforderlich ist, wodurch die Betriebssicherheit herabgesetzt wird.

3. Telephone und Lautsprecher

Die Urform des Telephons bzw. Fernhörers haben wir bei der Bellschen Telephoneinrichtung kennen gelernt. Sie bestand aus einem Stabmagnet, dessen Ende mit einer aus isoliertem Draht bewickelten Spule versehen war. Vor diesem Ende war in einer Entfernung von ca. 0,4 mm ein kreisförmiges Weicheisenplättchen von ca. 0,2 mm Dicke und einem Durchmesser von ca. 50 mm angebracht.

Ebenso wie die Sendeorgane der ursprünglichen Telephoneinrichtungen durch verschiedene bessere, empfindlicher wirkende Ge-

räte
(Telep
techn
E
es be
Teil
Lauts
magn
elektr
komm

elektr
das p
N
deren
wicht
heutig
System

D
dem
weise
einen
bezug
Beibe
eine p

Z
perm
Weich
Die b
Um o
wurd
fertig
(lame

räte ersetzt wurden, hat sich auch das Empfangsorgan, der Hörer (Telephon) weiter entwickelt, ganz besonders seitdem die Radiotechnik große Anforderungen in dieser Hinsicht stellte.

Es wurden auch verschiedene neue Prinzipien entdeckt, wie wir es bereits im vorigen Kapitel gesehen haben. Zum überwiegenden Teil beruhen aber größtenteils auch die heutigen Telephone und Lautsprecher auf dem Prinzip von Graham Bell, d. h. eine im Dauermagnetfeld (permanentes Feld) befestigte Membrane wird durch ein elektromagnetisches Feld betätigt, das durch die vom Mikrophon kommenden „Sprechströme“ erzeugt wird, indem diese schwankende

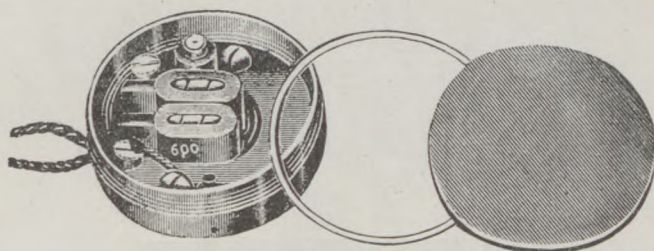


Abbildung 19.

elektromagnetische Kraft sich dem permanenten Feld überlagert und das permanente Feld verstärkt oder abschwächt.

Neuerdings haben auch in der Praxis Lautsprecher, die auf anderen Prinzipien beruhen, Anwendung gefunden, von denen wir die wichtigsten kennen lernen wollen. Zuerst wollen wir aber die heutigen, modernen Ausführungsformen der elektromagnetischen Systeme kennenlernen.

Die Änderungen, die die Hörer und Lautsprecher gegenüber dem ursprünglichen Bellschen Telephon aufweisen, bezwecken teilweise eine bessere Ausnutzung der magnetischen Überlagerung oder einen besseren akustischen Effekt und eine günstigere Anordnung in bezug auf die mechanische Beanspruchung der Membrane, um unter Beibehaltung der Reinheit und naturgetreuen Wiedergabe der Töne eine größtmögliche Lautstärke zu erzielen.

Zuerst wurde an Stelle des Stabmagneten ein hufeisenförmiger permanenter Magnet verwendet (Abbildung 19), dessen Enden mit Weicheisenpolschuhen versehen waren und beide je eine Spule trugen. Die beiden Pole wurden symmetrisch zur Membranmitte angeordnet. Um die bei der Überlagerung störenden Wirkungen zu vermindern, wurden die Polenden nicht aus einem massiven Stück Eisen angefertigt, sondern sie wurden aus Weicheisenblech zusammengesetzt (lamellierte Pole).

Um eine bequemere Konstruktion zu erreichen, hat man den permanenten Magnet nicht senkrecht zur Membrane, sondern parallel zu ihr angordnet und nur die Polschuhe senkrecht befestigt. Vielfach wurde, um ein möglichst starkes permanentes Feld zu erzielen, bei dem die Überlagerung des schwankenden Feldes besser zur Geltung kommt, an Stelle eines Magneten mehrere übereinander angeordnet.

Eine auf diesem Gedanken aufgebaute Schalldose, die sich gut bewährt hat, ist in Abbildung 20 ersichtlich (im Querschnitt).

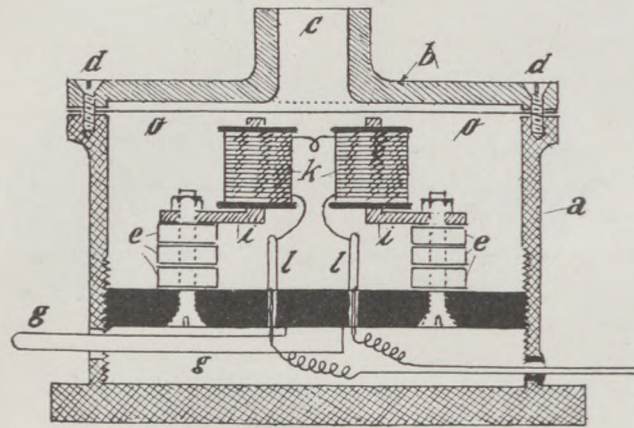


Abbildung 20.

In dem massiven Aluminiumgußgehäuse a befindet sich das magnetische System. Oben am Gußgehäuse ist ringsherum mittels der Schrauben d der Deckel b befestigt, der oben ein Verlängerungsstück c besitzt, an dem der Trichter befestigt werden kann. Der Deckel b spannt gleichzeitig die kleine Membrane o am Rand ab.

Im Gehäuse a sehen wir innen das aus 3 Magneten bestehende permanente Magnetsystem e, auf dessen zwei Polen die aus Lamellen bestehenden winkelförmigen Polschuhe (i) mit Schrauben befestigt sind. Auf diese Polschuhe sind die Spulen k aufgeschoben, deren Stromzuführung durch die isolierten Bolzen l erfolgt. Wir sehen aber auch, daß das ganze Magnetsystem nicht fest am Gehäuse, sondern auf einem besonderen Teil sitzt, der am Rand mit Gewinde versehen und im Gewinde des Gehäuses a mittels eines Hebels g drehbar bzw. schraubbar ist, so daß man die Polschuhe der Membrane nähern oder von ihr entfernen kann. Diese Einstellvorrichtung ist deswegen wichtig, weil man dadurch die Entfernung zwischen den Polen und der Membrane, den ankommenden Stromimpulsen entsprechend, einstellen kann. Je feiner diese sind, desto näher kann man mit den

Polen an die Membrane rücken. Bei starken Stromstößen dagegen muß man die Entfernung vergrößern, sonst stößt die Membrane an die Pole. Sie klirrt oder bleibt sogar kleben.

Das oben erläuterte elektromagnetische System ist das verbreitetste Prinzip und die einzelnen Fabrikate unterscheiden sich nur in der Form und der Dimension.

Um größere Lautstärke zu erzielen, hat man versucht, die Membrane zu vergrößern. Es hat sich aber herausgestellt, daß eine Membrane, wenn ihre Vergrößerung einen nicht allzu hoch liegenden Grenzwert überschreitet, ohne daß ihre Dicke entsprechend vergrößert wird, zwar eine sehr tiefe und laute Wiedergabe ermöglicht, aber sie wird für höhere Schwingungen, zum Beispiel für die Sprache, ungeeignet, denn sie wirkt unnatürlich. Wählt man wiederum die Membrane entsprechend dick, so wird eine solche Membrane so hart, daß die feinen Stromschwankungen sie nicht oder nur sehr schwach in Bewegung setzen können. Allgemein könnte man sagen, daß die Dimensionen einer normalen Telephon-Membrane für höhere Schwingungen einen Durchmesser von 30 bis 50 mm bei einer Dicke von 0,15 bis 0,25 mm und für den Lautsprecher bei 50 bis 80 mm Durchmesser 0,25 bis 0,60 mm Dicke nicht überschreiten dürfen. Wenn bei Anwendung eines Verstärkers sehr große Stromschwankungen vorhanden sind, kann man selbstverständlich bei kleineren Durchmessern eine größere Dicke wählen, da eine härtere Membrane immer besser fähig ist, die höheren Schwingungsteile der Töne aufzunehmen. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, daß, je größer die Masse der Membrane ist, auch ihr Trägheitsmoment um so größer wird, was wiederum zu Verzerrungen führt.

Man war daher bestrebt, dem dünnen Membraneblech durch entsprechende Gestaltung (Rippen, Rillen, Konusform) die erwünschte Starrheit zu geben.

Um möglichst große Dämpfung zu erzielen, verwendet man auch vielfach eine elastische Membrane-Befestigung, z. B. zwischen Gummiringen.

Verschiedene Fabriken haben, um die Amplitude zu vergrößern und auch die für die Schallschwingungen geeignetste Membrane anwenden zu können, die Weicheisenmembrane verlassen und benützen Membranen aus verschiedenem Material, z. B. aus Glimmer, Pappe, Holz usw. Da nun diese Membranen magnetisch nicht betätigt werden können, werden dieselben durch eine Hebelübersetzung mit einem kleinen Eisenanker gekoppelt, welcher schwenkbar vor den Polen angeordnet ist. Eine solche mit Hebelübersetzung arbeitende und mit

Glimmermembrane versehene Schalldose zeigt Abbildung 21. Die Erfahrungen zeigen aber, daß mit solchen Einrichtungen wohl eine etwas größere Lautwirkung zu erzielen ist, aber leider auf Kosten der naturgetreuen Wiedergabe. Außerdem treten sofort Ver-

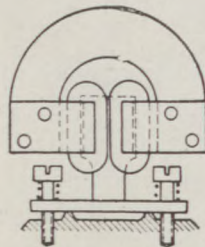
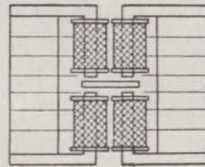
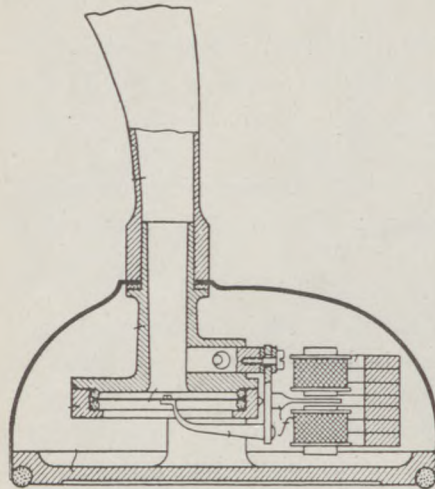


Abbildung 21.

darauf, daß sie die Schallschwingungen in einer bestimmten Richtung ausstrahlen. Wenn man eine möglichst große Lautstärke erzielen will, ohne Beibehaltung der Feinheiten der Wiedergabe, kann man sagen, daß, je größer der Trichter, desto größer auch der Effekt ist. Leider aber gehen gleichzeitig die Feinheiten verloren. Die Musik und Sprache klingt verzerrt, vertieft, weil durch die Reibung der im Trichter schwingenden Luftsäulen an der Trichterwand

zerrungen auf, wenn in der Hebelanordnung die kleinste Lockerung eintritt oder zu große Reibungswiderstände vorkommen.

Eine andere Art der Schall-dosen beruht auf dem Prinzip, daß elektrische Leiter, die in einem permanenten Magnetfeld liegen, abgelenkt werden, wenn sie von Strom durchflossen werden. Dementsprechend hat man Schall-dosen gebaut, bei denen z. B. an einer nicht metallischen Membrane eine Spule befestigt ist, die, wenn sie von Sprachströmen durchflossen wird, im Magnetfeld Schwingungen ausführt (sog. elektrodynamisches System).

Bei allen diesen Schall-dosen spielt, wenn man sie als Lautsprecher verwenden will, die Wahl eines entsprechenden Trichters oder einer entsprechenden Richtfläche (wie Parabolspiegel und ähnliche Reflexionsflächen) eine große Rolle. Die allgemeinen Formen der Trichter, aus Abbildung 22 ersichtlich, sind bekannt. Ihre Wirkung beruht

die
wird
Tric
gen

laut
Rei
aus
sch
Res
hat
hö
um

die feinen Schwingungen vernichtet werden. Die Trichterwand selbst wird zum Mitschwingen erregt. Außerdem tritt eine Resonanz des Trichters auf, d. h. es werden gewisse Töne, die den Eigenschwingungen des Trichters nahestehen, bevorzugt, und das Resultat ist eine

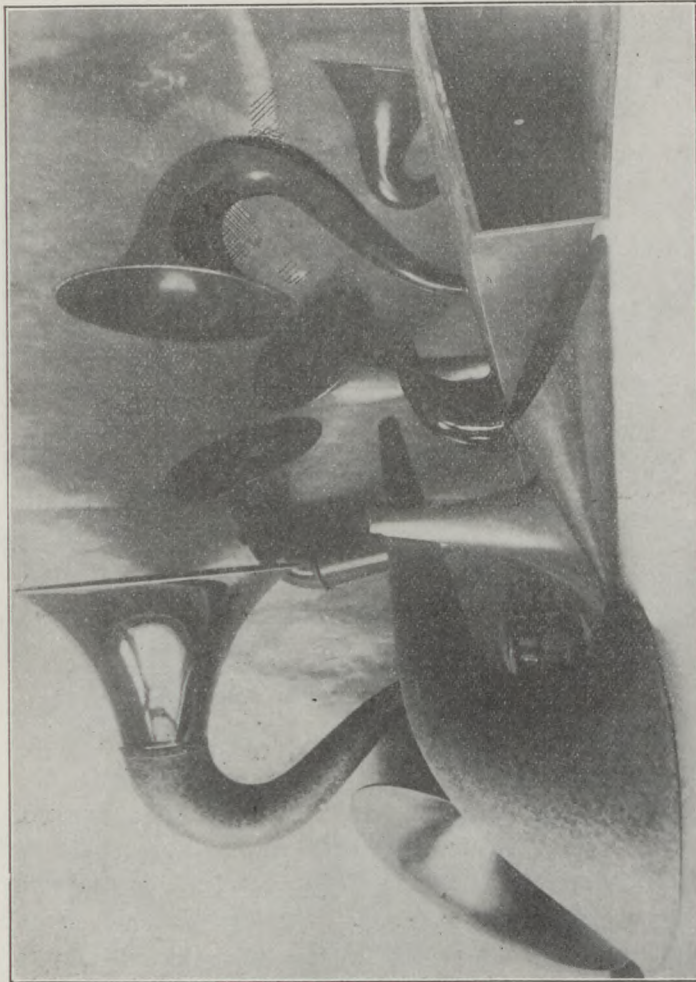


Abbildung 22.

laute, aber verzerrte Wiedergabe. Man hat vielfach versucht, die Reibung an der Trichterwand durch verschiedene Trichterformen auszuschalten. Ebenso hat man versucht, durch Verwendung verschiedenen Trichtermaterials und verschiedener Trichterformen die Resonanzerscheinungen auszuschalten, aber ein endgültiges Resultat hat sich nicht ergeben. Je größer die Öffnung des Trichters ist, je höher seine Eigenschwingungen liegen und je kleiner der Trichter ist, um so reiner und naturgetreuer wird die Wiedergabe, aber die Laut-

stärke nimmt ab. Die durch die Trichter erzielte Lautwirkung geht immer auf Kosten der Tonreinheit, so daß man höchstens von einem gut gewählten Kompromiß reden kann. Ganz besonders schwer wird die Sache, wenn es sich um Lautsprecher handelt, die, wie es eben beim Sprechfilm nötig ist, sehr große Schallenergien abgeben müssen, um große Säle mit dem sprechenden Tonvolumen füllen zu können, und wobei doch darauf geachtet werden muß, eine absolut naturgetreue Wiedergabe auch der feinsten Nuancen zu erzielen.

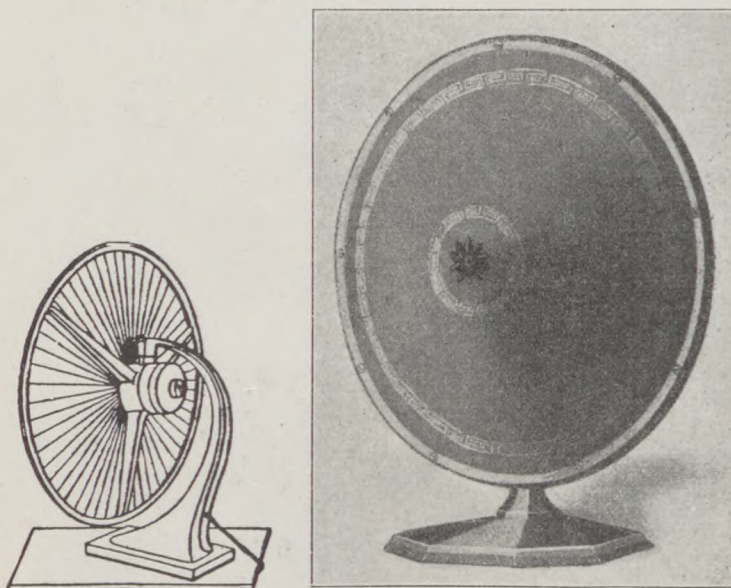


Abbildung 23.

Schon in der Radiotechnik hat dieses Problem vielen Forschern Anlaß gegeben, den Trichter gänzlich wegzulassen und die Richtwirkung durch andere Mittel zu erzielen. Manche haben dies dadurch zu erreichen gehofft, daß sie mit der Membrane der Schall Dosen größere plane oder konische Erregerflächen koppelten (aus Papier, Pappe, Holz usw.) Zwei solcher Lautsprecher, die von Lumière und Crossley, sehen wir in Abbildung 23.

Die Wiedergabe bei solchen Lautsprechern ist auch tatsächlich etwas naturgetreuer, aber die Lautstärke ist nicht sehr befriedigend. Eine absolut reine Wiedergabe kann man auch hier nicht erwarten, da das Zusammenwirken der zwei Membranen ebenfalls Anlaß zu gewissen Resonanzerscheinungen gibt.

Der Parabol-Lautsprecher des Verfassers beruht auf dem Prinzip, daß eine ausgesprochene Richtwirkung entsteht, wenn eine

Schalldose mit der zugewendeten Mundöffnung im Brennpunkt einer Parabolfläche steht, weil diese Fläche die Schallschwingungen ebenso wie die Lichtstrahlen bei dem Scheinwerfer in einem nahezu parallelen Bündel reflektiert.

Diese Anordnung besitzt den außerordentlichen Vorteil, daß zwi-

schen der Richtfläche und der schwingenden Luftsäule keine Reibung stattfindet; außerdem ist die Parabolfläche gegen achsiale Stöße unempfindlich, so daß eine Resonanz vollkommen unterbleibt.

Die bisherige Ausführungsform (Abbil-

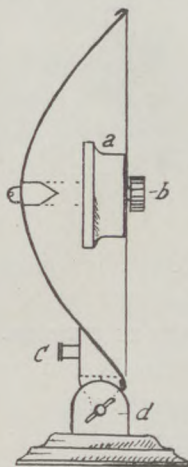
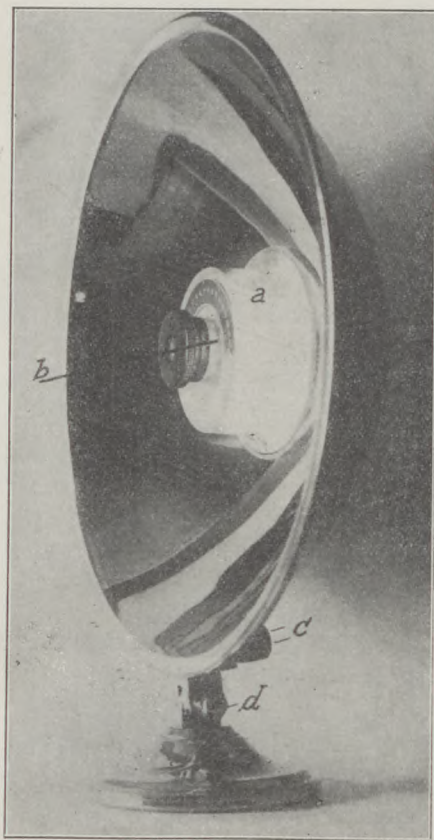


Abbildung 24.

dung 24) ist eine mittelgroße Form und die Ausbildung eines großen Lautsprechers auf diesem Prinzip ist bereits in Arbeit.

Ein Flächenlautsprecher von ganz besonderer Art für große Lautstärke ist der Bandlautsprecher von Siemens & Halske. In Abbildung 25 ist die schematische und photographische Darstellung des Bandlautsprechers ersichtlich. Wir wissen schon, daß ein Stromleiter, der in einem starken Dauermagnetfeld angeordnet ist, abgelenkt wird, wenn er von Strom durchflossen wird. Dementsprechend ist bei dem Bandlautsprecher zwischen dem Nord- und Südpol (N, S) eines sehr starken Elektromagneten ein ca. 10 cm langes, 1 cm breites und $\frac{1}{100}$ mm

dicke gewelltes Aluminiumband A lose aufhängt. Wenn das Bändchen von Sprechströmen durchflossen wird, so führt es Schwingungen aus, die zu dem Kraftlinienfeld senkrecht stehen, und versetzt dadurch die am Band anliegende Luft in Schallschwingungen.

Die Lautstärke, die man mit einem derartigen Bändchen-Lautsprecher erzielen kann, ist sehr groß und bei richtig gewählten Dimensionen ist die Wiedergabe auch fast vollkommen von Verzerrung

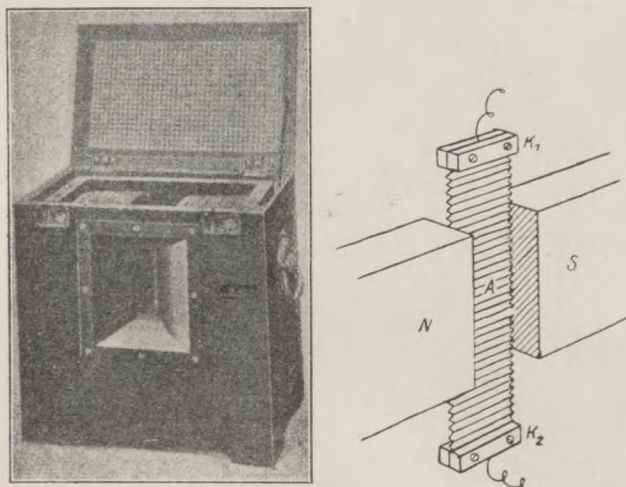


Abbildung 25.

frei. Leider aber müssen die Sprechströme vorher sehr stark verstärkt werden, um die zur Betätigung des Bändchens notwendige Stromstärke zu erzielen.

Über das Wesen der Kondensator-Lautsprecher (sog. elektrostatisches System) haben wir schon bereits im vorigen Kapitel gesprochen. Hier wollen wir etwas näher die konstruktiven Ausführungsformen des Statophons erläutern.

Wir wissen bereits, daß zwischen zwei nebeneinander isoliert aufgestellten Metallplatten eine Anziehungskraft auftritt, wenn an beide große Spannungen angelegt werden. Wenn diese konstante Spannung von schwankenden Spannungen überlagert wird, so führen die Metallplatten Schwingungen aus, weil die Anziehungskraft schwankt. Der Effekt wird größer, wenn die Platten entweder eine große Fläche haben oder die beweglichen Platten dünn sind oder die Entfernung zwischen beiden Platten gering ist.

Beim Statophon (Abbildung 14) findet eine dicke, starre Metallplatte von 30 bis 50 cm Durchmesser Anwendung, auf die in einer Entfernung von ca. 0,5 mm eine Glimmerplatte von 0,1 mm Dicke und

ebenfalls 30 bis 50 mm Durchmesser isoliert aufgespannt wird. Die Glimmerplatte ist mit einer dünnen Silberschicht überzogen, die als zweite Kondensatorplatte dient. Die feste Platte ist durchlöchert, um eine günstige Dämpfung der hinter der Platte stehenden Luftmasse zu erreichen. Das Schaltungsschema des Statophons ist ebenfalls aus Abbildung 14 ersichtlich.

Mit Statophonen sind auch sehr erhebliche Lautstärken erreichbar. Seine praktische Anwendung wird jedoch besonders erschwert durch die ungemein hohe Spannung (7 bis 900 Volt), welche als Hilfspspannung angeschaltet werden muß. Außerdem haben die Statophone stets einen sogenannten Nasenton, der wahrscheinlich auf die Luftwirbel zurückzuführen

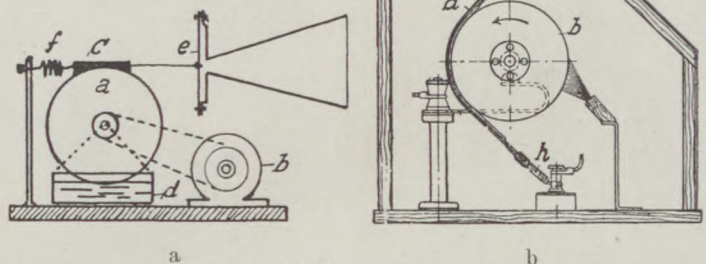


Abbildung 26.

ist, die durch den sehr geringen Abstand der Glimmermembrane von der festen Platte verursacht werden.

Jedenfalls scheint dieser Weg gangbar zu sein, wenn es gelingt, die Statophone für Sprechfilmzwecke noch geeigneter durchzukonstruieren.

Wir wollen noch kurz über eine fünfte Art von Lautsprecher sprechen, die man zusammenfassend als motorische Lautsprecher bezeichnen kann und welche unter Umständen für die Sprechfilmeinrichtungen in Frage kommen können.

Die bekanntesten Arten dieser Lautsprecher sind in Abbildung 26 a—d schematisch dargestellt.

Bei diesen Lautsprechern liegt der Grundgedanke darin, die zur Erzeugung der Schallwellen nötige Energie einem Motor zu entnehmen, dessen quantitative Arbeit durch die Sprechströme nur gesteuert wird.

Der erste derartige Motorlautsprecher (Abbildung 26 a) stammt bereits von Edison aus den Jahren, wo die Verstärker noch nicht be-

kannt waren. Dieser Lautsprecher (wie auch alle anderen Motorlautsprecher) können auch als Verstärkerrelais betrachtet werden.

Beim Aufbau seiner Konstruktion ging Edison von der bekannten Erscheinung aus, daß zwischen Halbleitern und Metallen eine Anziehungskraft auftritt, wenn an beide Spannungen angelegt werden. Dementsprechend ließ Edison (Abb. 26 a) eine Kalktrommel a durch einen Motor b gleichmäßig drehen, und zwar so, daß die Trommel sich unten in einem Gefäß d anfeuchten konnte. An einer anderen Stelle der

Trommel lag ein aus Platin oder aus Palladium angefertigter Bügel c an, welcher sich einerseits auf eine Membrane e und andererseits auf eine Balancefeder f stützte, so daß eine leichte Reibung zwischen der drehenden Kalktrommel

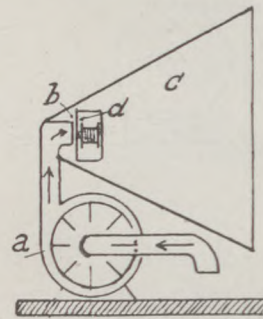
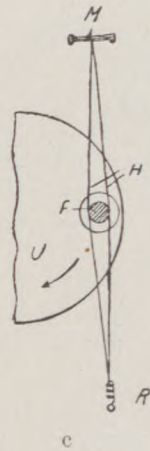
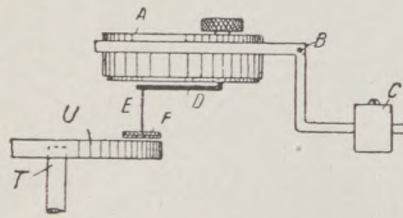


Abbildung 26.

und dem Platinbügel schon im Ruhezustand bestand. Die schwankenden Spannungen der Sprechströme wurden zu dem Metallbügel und zu der Kalktrommel geführt. Mit den schwankenden Spannungen wurde die Anziehungskraft und daher auch die Reibung zwischen Bügel und Trommel abwechselnd größer und kleiner. Dementsprechend reißt die drehende Trommel den federnden Bügel mehr oder weniger mit.

Eine ähnliche, auf demselben Prinzip beruhende Relaismotor-sprecher-Anordnung ist der in Abbildung 26 b schematisch dargestellte Johnsen-Rabbek-Lautsprecher.

An Stelle der Kalktrommel wird hier ein Achatzylinder oder Lithographensteinzylinder b verwendet, der durch das Metallband d berührt

wird, welches seinerseits sich auf die Membrane *k* und die Feder *h* stützt. Die hierzu notwendige Spannung ist ca. 200 Volt, auf die durch Verwendung eines Transformators die Sprechströme überlagert werden. Das Gerät spricht schon bei sehr feinen Spannungsänderungen an.

Die dritte Figur (Abbildung 26 c) stellt das „Frenophon“ von Brown dar.

Hier handelt es sich gleichfalls um eine feine Reibungskupplung, die aber nicht durch Spannungsänderungen, sondern durch die Schwingungen einer Telephonmembrane gesteuert wird. Die Wirkungsweise des Frenophons soll in folgendem erklärt werden:

An der Membrane des gewöhnlichen Telephons *A* ist ein feiner Hebel *D—E* starr befestigt, dessen unteres Ende ein Plättchen *F* hat, auf das eine dünne Korksicht geklebt ist. Das Telephon *A* ist kippbar auf der Achse *B* befestigt und sein Gewicht kann durch stellbare Gewichte *C* ausbalanciert werden.

Unter dem Korkplättchen wird eine absolut plane Glasscheibe *U* durch ein Uhrwerk in Drehung gehalten. Der Stift *E* ist einerseits durch eine Saite *H* mit der Membrane *M*, am anderen Ende mit einer Feder *R* verbunden.

Wenn wir die Glasscheibe in Drehung setzen, so wird sie den Stift *E* infolge der Reibung in der Drehrichtung so weit verschieben, bis die Kraft der Feder *R* die Reibung aufhebt. Wenn wir dem Steuerteophon *A* Sprechströme zuführen, fängt die Membrane derselben und der damit gekoppelte Stift *E* zu schwingen an, d. h. die Reibung zwischen Stift (bzw. Korkkupplung) und Glasscheibe wird größer und kleiner; damit ändert sich die Kraft, mit der die Glasscheibe den Stift fortschleudern will, so daß die Membrane *M* die Schall-schwingungen vergrößert ausführt.

Bei allen diesen Motor-Lautsprechern, die auf der Änderung von Reibungswiderständen beruhen, besteht der Nachteil, daß die Kupplungen zu empfindlich sind, d. h. auf die geringste Störung in der Reibung stark reagieren (Staub, Feuchtigkeit usw.) und infolge der Abnutzung ein ständiges Nachstellen bzw. Überwachen erfordern.

Bei dem Parsonschen Autoxophon wird durch einen Motor eine kleine Luftturbine *a* in schneller Drehung gehalten, deren Luftstrom durch eine Öffnung *b* in den Trichter *c* tritt, welcher durch eine Membrane *d* gesteuert wird (Abbildung 26 d). Diese Anordnung hat den Nachteil, daß sie hauptsächlich nur für niedrige Tonfrequenzen geeignet ist, bei höheren Tonlagen treten leicht Resonanzerscheinungen auf.

Der Motorlautsprecher von v. Mihaly versucht, die oben angeführten Nachteile der anderen Systeme dadurch auszuschalten, daß die Sprechströme eine Elektromagnetkupplung durchfließen, welche sich vor einer vom Motor rasch bewegten Weicheisenscheibe befindet, diese aber nicht berührt. Die Elektromagnetkupplung ist kippbar zwischen Spitzen angeordnet und durch einen feinen Stift mit der Membrane verbunden. Wenn durch die Kupplungsspulen Sprechströme fließen, wird die kippbare Achse infolge der zwischen ihr und der rotierenden Weicheisenscheibe auftretenden schwankenden Magnetfelder, dem Magnetfeld entsprechend, mitgerissen und übt dadurch Stöße über den Verbindungsstift auf die Membrane aus, die die Schallschwingungen ausführt.

Welche von allen diesen Lautsprecher-Einrichtungen sich am besten für den Sprechfilmzweck eignet, kann man heute noch nicht bestimmen. Die Forscher, die bisher Sprechfilme vorgeführt haben, haben sich mit Statophonen, mit Bandlautsprechern und normalen Magnetsystemen beschäftigt. Als allgemeine Forderung und Hauptbedingung für diesen Zweck muß man Lautstärke und Klangreinheit verlangen. Da aber der Verstärkungsgrad, der bei Sprechfilmen bisher angewandt wurde, bereits viel größer ist als derjenige, der bei den allgemeinen Radioübertragungen in Frage kommt, stellt sich die Notwendigkeit zur Umkonstruktion dieser Lautsprecher heraus; evtl. muß man zu anderen Prinzipien übergehen, da die Wiedergabe der sehr tiefen und sehr hohen Tonlagen bei allen diesen Anordnungen bei dem heute nötigen Verstärkungsgrad zu verschieden ausfällt.

Unter diesem Gesichtspunkt muß die weitere Forderung aufgestellt werden, daß, welches Prinzip auch angewendet werden mag, immer mehrere, auf verschiedene Tonlagen eingestellte Lautsprecher verwendet werden müssen.

Ein weiterer, sehr wichtiger und für die praktische Verbreitung des Sprechfilms maßgebender Gesichtspunkt bei der Wahl des verwendeten Lautsprechers ist der, daß dieser keine komplizierte Bedienung erfordert und sein Betrieb keine übermäßig hohen Spannungen erforderlich macht.

4. Die Verstärker

Die Verstärkertechnik ist für sich allein eine eigene Wissenschaft und umfaßt ein so großes Gebiet, daß sie im Rahmen dieses Buches nur so weit erläutert werden kann, wie es für die Gewinnung eines einheitlichen Bildes über die Sprechfilmtechnik unbedingt erforderlich ist.

a) Die mechanisch wirkenden Verstärker

Das Bestreben, einen Verstärker zu konstruieren, der imstande ist, ganz geringe Sprechströme so weit zu verstärken, daß dieselben durch Lautsprecher für ein ganzes Auditorium vorführbar werden, ist sehr alt. Schon bei den ersten praktischen Telephonversuchen tauchte dieser Wunsch auf (also vor ca. 50 Jahren), aber erst im Jahre 1910 wurde er durch das sogenannte Verstärkerrohr (Elektrodenröhre) erfüllt.

Man hat zuerst versucht, diese Frage mit mechanischen Mitteln zu lösen.

Der Ausgangspunkt für alle diese Konstruktionen war der Gedanke, daß man mit den winzigen Sprechströmen eine Telephonmembrane oder ähnliche Einrichtungen betätigt, deren Schwingungen dann auf einen Kontakt verschieden starken Druck ausübten und dadurch den Kontaktwiderstand veränderten. Wenn man über diese veränderlichen Kontakte eine Ortsbatterie anschließt, kann man einen Lautsprecher betätigen.

Das erste derartige mechanische Verstärkerrelais war das Mikrophonrelais von Mercadier (Abbildung 27).

Dieses Relais war nichts anderes, als eine Kombination eines empfindlichen Telephonhörers mit einem feinen, einfachen Mikrophon. Auf die Membrane *b* des vertikal gestellten Hörers *a* ist ein feines, dünnes Plättchen *c* aus Retortenkohle aufgeklebt; gegenüber von diesem Plättchen wurde auf einer federnden, stellbaren Fassung ein Kohlenprisma *d* angeordnet, welches durch eine Mikroschraube so eingestellt werden mußte, daß ein Stromkreis, der zwischen einer Batterie und dem Lautsprecher über diesen Kohlenkontakt geschaltet ist, dort einen hohen Widerstand vorfindet (loser Kontakt). Wenn nun dem Telephonhörer *a* die schwachen Sprechströme zugeführt werden, fängt seine Membrane und das darauf geklebte Kohlenplättchen zu schwingen an und übt verschieden starken Druck auf das Kohlenprisma aus. Demzufolge ändert der lose Kontakt seinen Widerstand und es wird mehr oder weniger Strom in den Lautsprecher gesteuert.

Mit einer solchen Verstärkerrelaisanordnung waren bei empfindlicher Einstellung tatsächlich sehr schöne Erfolge erreichbar. Man

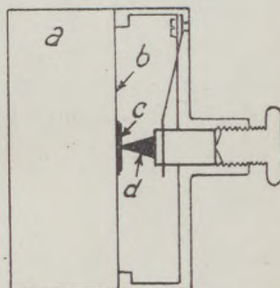


Abbildung 27.

konnte zum Beispiel Sprache, die im Hörer kaum wahrnehmbar war, so weit verstärken, daß der Lautsprecher einen ganzen Saal mit richtigen Tonvolumen füllen konnte. Leider nützte sich der Kontakt rasch ab, und außerdem war diese Anordnung sehr empfindlich gegen jede Erschütterung. Trotz ballistischer Aufstellung des Relais, indem man es mit einem schweren Bleiuntergestell versah, das auf weichen Gummistücken lag, war ein solches Relais so empfindlich, daß schon ein Vorbeigehen genügte, um den Kontakt auszulösen.

Ein anderes, auf ähnlichem Prinzip beruhendes Relais ist von Brown angegeben worden (Abbildung 28).

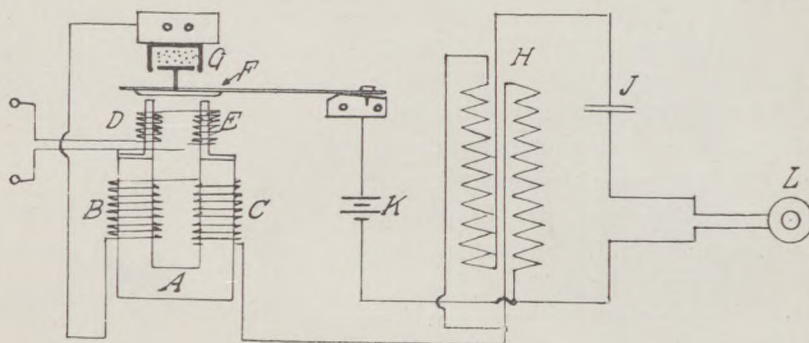


Abbildung 28.

Auf einem permanenten Magneten A sind zwei starke Spulen B und C angeordnet. Am Ende des Magneten sitzen zwei weitere feine Spulen D und E. Den letzteren werden die zu verstärkenden Ströme zugeführt. Vor den Polen des Magneten sehen wir den Anker F, dessen Ende auf einem feinen, kleinen Kohlekörner-Mikrophon G sitzt; H bedeutet einen kleinen Transformator, J einen Kondensator von ca. 2 Mikrofarad, K eine Batterie von 6 Volt und L ein Telephon, welches an den Transformator geschaltet ist.

Wenn in die Spulen D/E Stromschwankungen geführt werden, so wird der Anker F betätigt, wodurch der Mikrophonkontakt G beeinflusst wird, so daß dieser mehr Strom durchläßt und dadurch die Spulen B/C beeinflusst. Durch die Ankerbewegung werden die Stromschwankungen, die durch den Transformator ins Telephon gelangen, also verstärkt. Leider hat auch dieses Relais eine recht große Inkonstanz und ist ebenfalls sehr empfindlich gegen mechanische Erschütterungen.

Einen interessanten Vorschlag machte Waldemar Poulsen für die Verstärkung von Telephonströmen, um sie bei seinem magnetischen Phonograph zu verwenden.

Die schematische Darstellung des magnetischen Phonographs zeigt Abbildung 29.

Wenn man in das Mikrophon A spricht, so werden die dabei entstehenden Stromimpulse durch eine gewöhnliche Telephoneinrichtung (Transformator B, Batterie C) einem kleinen Elektromagneten D zugeführt, zwischen dessen Polen ein gleichmäßig magnetisierter Stahldraht hindurchgezogen wird. Das den Sprechströmen entsprechend variable Magnetfeld, welches sich zwischen den Polen des erwähnten Elektromagneten D bildet, magnetisiert bzw. entmagnetisiert den vorher gleichmäßig magnetisierten Draht in der den Sprechströmen entsprechenden Weise. Jeder Punkt des Stahldrahtes besitzt also, nachdem er den Elektromagnet passiert hat, Stellen von stärkerer bzw. schwächerer Magnetisierung, die in ihren Intensitäten genau den auf die Mikro-

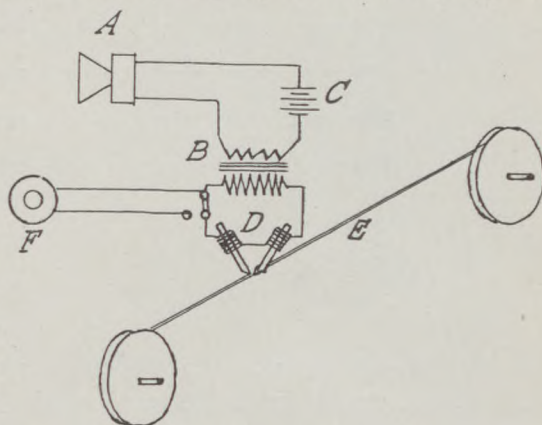


Abbildung 29.

phonmembrane auftreffenden Schallschwingungen entsprechen. Die Schallschwingungen sind also in dem Stahldraht magnetisch aufbewahrt. Läßt man nun den so magnetisierten Draht wieder in derselben Richtung zwischen den Polen desselben Elektromagneten hindurchlaufen, so erleiden die Magnetkerne durch die verschieden starken Magnetisierungen entsprechende Induktionsstromimpulse und in einem an Stelle des Mikrophons angeschalteten Telefon hören wir die Sprache wieder.

Es steht selbstverständlich nichts im Wege, gleichzeitig mit mehreren „Schreib“-Magneten dieselben Schwingungen auf mehrere Stahldrähte aufzunehmen. Wenn wir nun diese nebeneinander parallel laufenden Stahldrähte auf dem Wege über eine entsprechende Anzahl von Abhörmagneten und mit an diesen angeschlossenen Telefonen abhören, so entsteht eine Addierung der Schallwellen bzw. eine Lautverstärkung. Der diesbezügliche Plan von W. Poulsen ist in Abbildung 30 schematisch dargestellt. Interessant ist es, daß Poulsen, wenn auch mehr notgedrungen als absichtlich, eine Phasenverschiebung anwendete, die er lediglich als ein nicht allzu sehr

störendes Moment in Kauf nahm. Heutzutage ist durch das Ultraphonprinzip bewiesen, daß die Phasenverschiebung unter Umständen direkt als Verstärkung zur Geltung kommt, mindestens aber als akustischer Ausgleich wirkt, da unsere Ohren die etwas verschobene zweite Schallwelle als plastische Ergänzung empfinden.

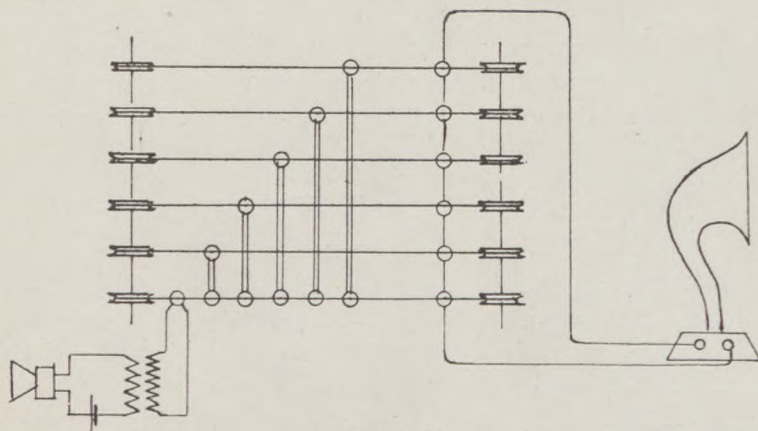


Abbildung 30.

All diese Verstärkungsmethoden waren zu schwerfällig, außerdem waren sie in quantitativer Hinsicht nicht ausreichend. Der wirkliche trägheitslose Verstärker wurde in der Elektronenröhre gefunden.

b) Die Elektronenröhren und die Röhrenverstärker

Um das Wesen der Verstärkerröhren erklären zu können, müssen wir auf eine experimentelle Erscheinung zurückgreifen, die Edison-Effekt genannt wird. Abbildung 31 zeigt die Anordnung zur Vorführung des Edison-Effektes.

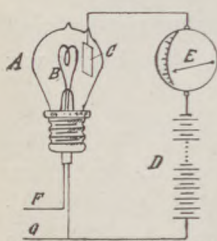


Abbildung 31.

In einer stark evakuierten Glühlampe A ist außer dem Glühfaden B noch eine Metallplatte C eingeschmolzen und zwar so, daß zwischen Glühfaden und Platte keine stromleitende Verbindung besteht.

Wenn wir eine Batterie D einerseits an den Glühfaden, andererseits an einen empfindlichen Stromanzeiger (Galvanometer E) anschließen, wobei der andere Pol des Galvanometers mit der Platte C verbunden werden muß, so zeigt das Galvanometer noch keine Ablenkung, da der Stromkreis zwischen B und C unterbrochen ist. Wenn

wir aber die Glühlampe einschalten, indem wir ihr durch die Leitungen F/G entsprechenden Strom zuführen, so zeigt das Galvanometer sofort eine Ablenkung, d. h. aus dem vorhin noch unterbrochenen Stromkreis zwischen B und C ist eine stromleitende Verbindung durch den luftleeren Raum hindurch entstanden. Diese Erscheinung wird nach ihrem Entdecker Edison-Effekt genannt.

Die Erklärung für diese Erscheinung ist in der Elektronenbewegung gegeben.

Jedes Material besitzt mehr oder weniger elektrische Teilchen, die man Elektronen nennt. Die im Glühfaden anwesenden Elektronen treten infolge der Erhitzung aus (Emission), fliegen von dem negativen Pol (Glühfaden B) gegen den positiven Pol (Platte C), überbrücken also den luftleeren Zwischenraum und machen ihn dadurch stromleitend.

Wenn wir die Pole der Batterie umtauschen, hört dieser Effekt auf. Das ist dadurch zu erklären, daß die Platte C die Elektronen nur anzieht, wenn ihre Ladung positiv ist. Daraus ist zu schließen, daß die auftretenden Elektronen negativ sind. Der Glühfaden wird Kathode, die Platte C Anode genannt.

Diese Erscheinung wurde zuerst von Lee de Forest zur Verstärkung sehr schwacher Stromimpulse verwendet.

Lee de Forest legte zwischen Kathode und Anode ein sogenanntes Gitter, d. h. ein Metallnetz oder eine durchlochte Metallplatte. Dabei stellte er fest, daß bei Auftreten von Stromschwankungen zwischen diesem Gitter und der Kathode auch das Galvanometer im Anodenkreis starke Schwankungen anzeigt, und zwar proportional zu denen, die sich zwischen Kathode und Gitter abspielen.

Die schematische und daneben die wirkliche Ausführungsform solcher Elektronenröhren ist aus Abbildung 32 ersichtlich. Die Wirkungsweise der Elektronenröhre als Verstärker wird im folgenden kurz erklärt.

In der Elektronenröhre wird die Kathode (ein kleiner Glühfaden) mit einer Batterie verbunden (Heizbatterie 3–10 Volt) und zum Glühen gebracht, so daß von der Kathode Elektronen nach der Anode ausströmen können. Um der Anode die notwendige Ladung zu erteilen, wird sie mit dem positiven Pol einer 100 Volt-Batterie verbunden, deren negativer Pol zur Kathode führt.

Zwischen Kathode und Anode ist ein Gitter angeordnet. Dieses Gitter ist, solange keine Ladung vorhanden ist, neutral, d. h. die bei der Kathode austretenden Elektronen werden von der Anode ebenso angezogen, als ob das Gitter nicht vorhanden wäre.

Falls wir aber an die Kathode und das Gitter eine Spannung anlegen, indem wir zum Beispiel die Sekundärspule eines Transformators anschalten, dessen Primärspule von einem besprochenen Mikrophon und einer Batterie beeinflusst wird, so können zwei Fälle eintreten: Wenn die Spannungsschwankung dem Gitter eine positive Ladung erteilt, so erhöht sich der Elektronenstrom und damit auch

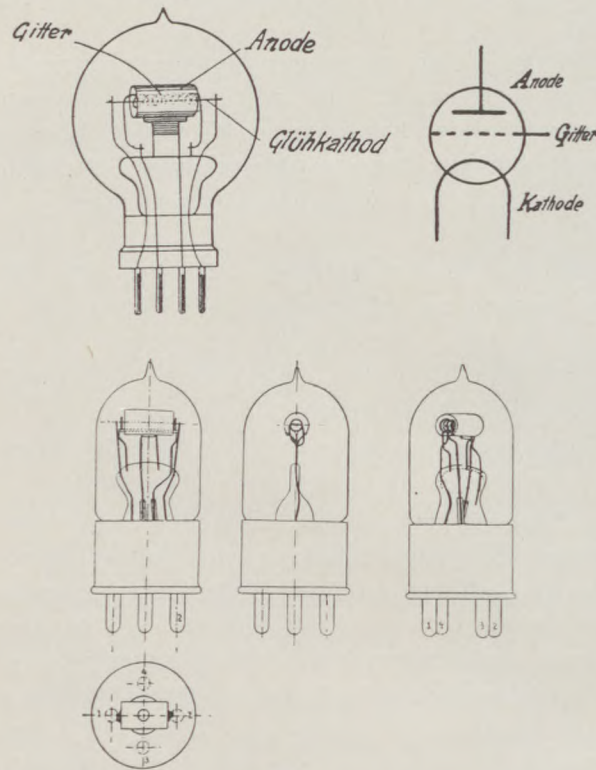


Abbildung 32.

der Anodenstrom. Wird die Ladung des Gitters negativ, so vermindert sich der Elektronenstrom und demzufolge wird auch der Anodenstrom abgeschwächt.

Der Verstärkungsgrad einer solchen Röhre ist etwa das 28- bis 30fache. Man kann selbstverständlich durch Hintereinanderschalten mehrerer solcher Röhren theoretisch eine beliebig hohe Verstärkung erzielen. Jedoch darf man nicht vergessen, daß man über einen gewissen Grad nicht hinausgehen kann, da die Verstärkung nicht genau linear proportional ist und außerdem zwischen den einzelnen Röhren kleine Störungen auftreten, die dann mitverstärkt werden: geht man

über diese gewisse Grenze hinaus, so wird die Verzerrung so groß, daß dadurch die eigentlichen Sprechströme unverständlich werden.

Im nachfolgenden wollen wir aus dem großen Gebiete der Verstärkertechnik drei Arten von Mehrfachverstärkern in großen Zügen beschreiben, die besonders für Sprechfilmzwecke in Betracht kommen und die man allgemein als Niederfrequenz-Verstärker bezeichnet.

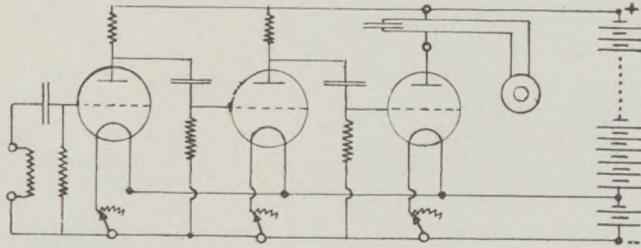


Abbildung 33.

Abbildung 33 zeigt einen Dreiröhrenverstärker, wo der Stromkreisanfang bei dem ersten Rohr beginnt und der Stromkreis des verstärkten Stromes mit dem Gitterkreis der folgenden Röhre durch Kondensatoren und hochohmige Widerstände gekoppelt wird, was man kurz Widerstandsverstärker nennt.

Hierbei sehen wir, daß in den Eingangskreis ein Widerstand gelegt ist, dessen eines Ende über einen Kondensator mit dem Gitter und dessen anderes Ende mit der Kathode (Glühfaden) verbunden ist. Um die infolge der Abtrennung des Gitters durch die Zwischen-

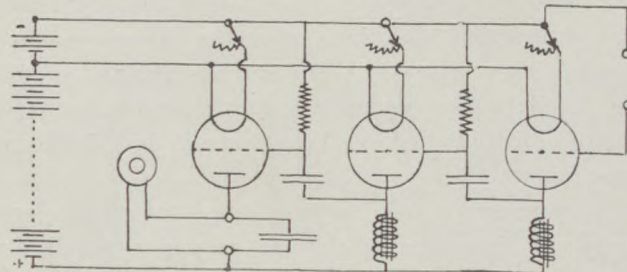


Abbildung 34.

schaltung des Kondensators sich auf dem Gitter ansammelnden negativen Ladungen zur Kathode abzuleiten, ist zwischen Gitter und Heizdraht ein sehr großer Widerstand eingeschaltet.

Abbildung 34 zeigt einen sogenannten Drosselspulenverstärker, bei dem an Stelle des Widerstandes eine Drosselspule eingeschaltet ist, wodurch man den Vorteil erhält, daß der Ohmsche Widerstand recht klein sein kann, wenn der induktive Widerstand genügend hoch

gewählt wird. Da aber diese Höhe des induktiven Widerstandes von den Frequenzen (Schwingungszahlen) abhängig ist, eignet sich diese Schaltung weniger für Sprechfilmzwecke.

Abbildung 35 zeigt einen Dreiröhrenverstärker mit Transformator-kupplung, wobei die in der Primärspule des Transformators

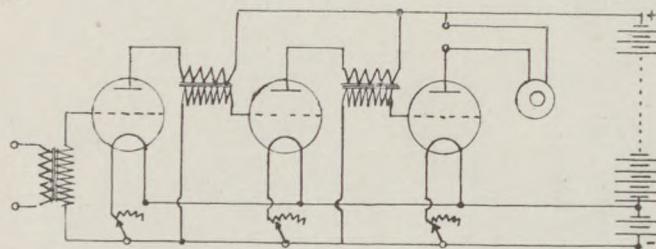


Abbildung 35.

auftretenden Stromschwankungen in der Sekundärspule entsprechend hinauftransformiert werden und an Gitter und Kathode der nächsten Röhre gelangen.

III. Elektro-optische Erscheinungen

Wir wissen schon, daß die endgültige Lösung der Sprechfilmprobleme zweifelsohne durch die von Ruhmer vorgeschlagene photographische Methode zu erreichen ist. Das ursprüngliche Verfahren von Ruhmer, mit der sprechenden Bogenlampe und der einfachen Abhörmethode, eignet sich allerdings nicht für praktische Zwecke. Es sind aber glücklicherweise viele andere Erscheinungen, die für die Zwecke des Sprechfilms geeignet sind, vorhanden, ganz besonders seitdem ein absolut trägeitsloser Verstärker in dem Röhrenverstärker entdeckt worden ist.

Diese Erscheinungen wollen wir hier in zwei Gruppen besprechen: erstens diejenigen, mittels deren wir imstande sind, durch Töne bzw. Schallwellen Lichtschwankungen zu erzeugen; zweitens die Erscheinungen, bei denen Lichtschwankungen entsprechende elektrische Stromschwankungen hervorrufen.

1. Lichtbeeinflussungsmethoden

Zwei Lichtbeeinflussungsmethoden haben wir bereits im vorigen Kapitel besprochen, und zwar den Lichttelephonsender von Graham Bell und die singende Bogenlampe von Duddel bzw. die sprechende Bogenlampe von Simon.

Abbildung 36 zeigt die ursprüngliche Anordnung von Graham Bell. Auf die verspiegelte Glimmermembrane A wird durch die Linse B von der Lichtquelle C ein paralleles Lichtbündel geworfen. Im Ruhezustand wird dieses Strahlenbündel von der Glimmermembrane gleichfalls parallel reflektiert, z. B. gegen die Schirmöffnung D, so

daß die Hälfte des Strahlenbündels durch die Öffnung auf den Schirm F fällt. Wenn wir aber durch den kleinen Trichter E gegen die Membrane sprechen, so führt diese Schwingungen aus, und zwar wird sie sich abwechselnd konkav und konvex krümmen, (in der Abbildung durch punktierte und gestrichelte Linien gekennzeichnet). Je nachdem wie der plane Spiegel aus seiner Ruhelage

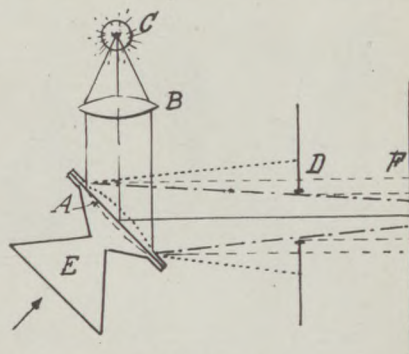


Abbildung 36.

schwingt, verändert sich auch das Strahlenbündel, welches der Spiegel reflektiert und zwar wird dieses abwechselnd divergent und konvergent. Wenn die Lichtquelle selbst mit gleichmäßiger Intensität brennt, so wird durch die Öffnung D starkes Licht durchdringen; denn im divergenten Zustand wird ein größerer Teil des Strahlenbündels durch den Schirm abgeschattet, wenn aber das Lichtbündel durch die Membranebewegung konvergent wird, so fällt das ganze Licht durch die Öffnung auf den Schirm F, so daß dieser dann am stärksten belichtet wird. Wir sehen hier also eine der allereinfachsten Methoden, um Schallwellen in Lichtintensitätsschwankungen umzusetzen. Wenn man der Öffnung D eine schmale Viereckform (Schlitz) gibt und hinter diese einen lichtempfindlichen Film in einem geschlossenen dunklen Raum durchlaufen läßt, so erhält man dieselben Intensitätsstreifen, wie wir es schon bei dem Ruhmerschen Film gesehen haben, weil dem mit gleichmäßiger Geschwindigkeit hinter dem Schlitz laufenden Film eine variable Lichteinwirkung erteilt wird. Diese einfachste Methode zur Herstellung von Sprechfilmen hat für die Praxis wenig Bedeutung. Um nämlich wahrnehmbare Lichtintensitätsschwankungen zu erhalten, muß ganz in der Nähe der Glimmermembrane gesprochen werden.

Der Verfasser hat aus diesem Grunde ein Verfahren ausgearbeitet, das ein recht befriedigendes Resultat ergab. Diese Anordnung ist schematisch aus der Abbildung 37 ersichtlich.

Bei dieser Anordnung ist an Stelle der Bellschen Glimmerspiegelmembrane ein empfindliches Telephon getreten, dessen Eisenmem-

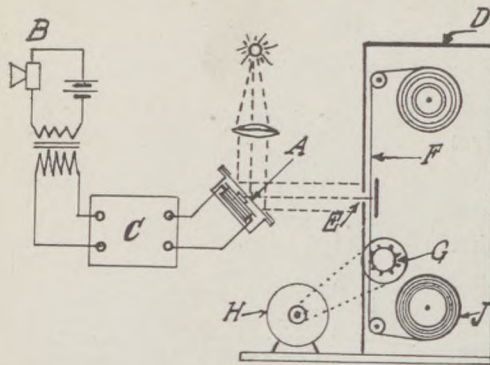


Abbildung 37.

brane A ebenfalls verspiegelt ist. Das Telephon wird vom Mikrophon B (oder vermittels eines zweiten Telephons) durch den Zweiröhrenverstärker C betätigt. Die beim Schlitz E auftretenden Lichtintensitätsschwankungen sind dieselben wie bei der Bellschen Anordnung. Hinter dem Schlitz im lichtdichten Kasten D läuft der Film F, welcher durch eine Zahntrommel G bzw. durch einen kleinen Elektromotor H mit einer Geschwindigkeit von 2 m pro Sekunde auf die Trommel J aufgewickelt wird. Nach Entwicklung des Filmes sieht man die charakteristischen Intensitätsstreifen. Der hinter dem Schlitz sichtbare, undurchsichtige Schirm verhindert das Eindringen von fremdem Licht in den Kasten, damit die Filmrolle keine Nebenbelichtungen erhält.

Diese Anordnung hat gegenüber der Bellschen Anordnung den Vorteil, daß die Sprechströme und damit die Schwingungen der Lichtmembrane nach Belieben verstärkt werden können, unabhängig von der Besprechungsentfernung.

Abbildung 38 zeigt die wirkliche Ausführung dieser Lichtbeeinflussungsapparatur.

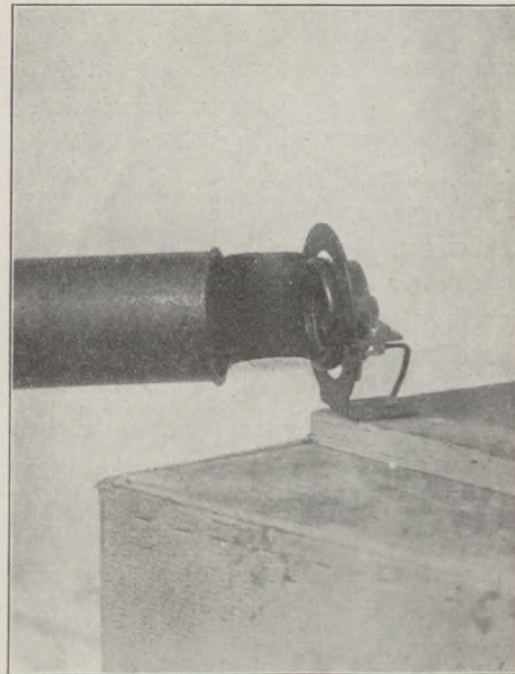


Abbildung 38.

Diese beiden Anordnungen sind die einfachsten und bequemsten, haben aber den Nachteil, daß durch die Anwendung einer Membrane schon von vornherein gewisse Schwingungen bevorzugt

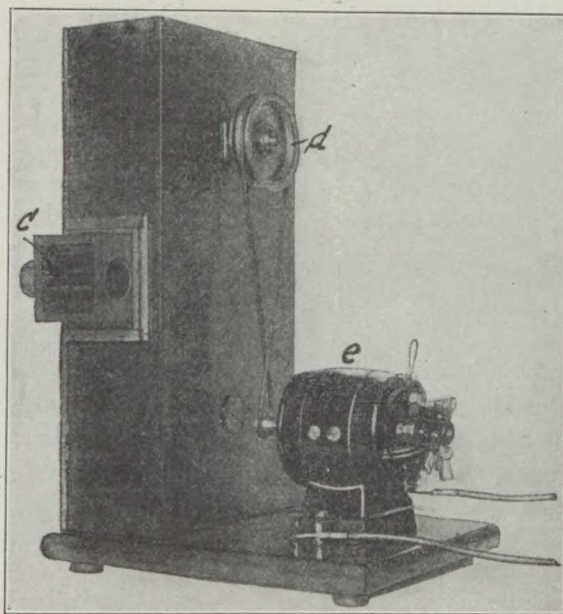


Abbildung 39 a.

werden, d. h. an der Tonaufnahme haften bereits alle die Verzerrungen, die bei jeder Telephonieübertragung vorhanden sind. Demzufolge hängt die naturgetreue Wiedergabe bei dieser Methode

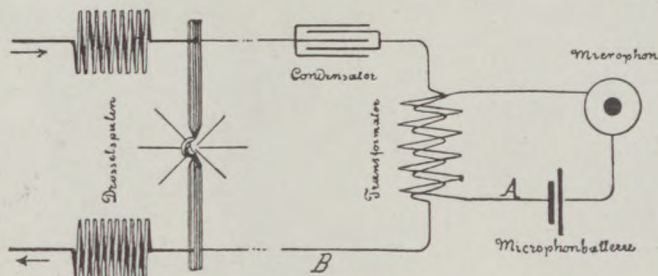


Abbildung 39 b.

davon ab, wie sorgfältig der Verstärker gebaut und das Telephon gewählt wird. Mit verschiedenen Dämpfungen des Spiegeltelephons und bei Verwendung eines Telephons an Stelle des Mikrophons sowie mit einem Dreiröhrenverstärker kann man jedoch überraschend schöne Aufnahmen mit diesem Verfahren erzielen.

Über die ursprüngliche Ruhmersche Einrichtung zur Tonaufnahme haben wir schon im vorigen Kapitel gesprochen. Ab-

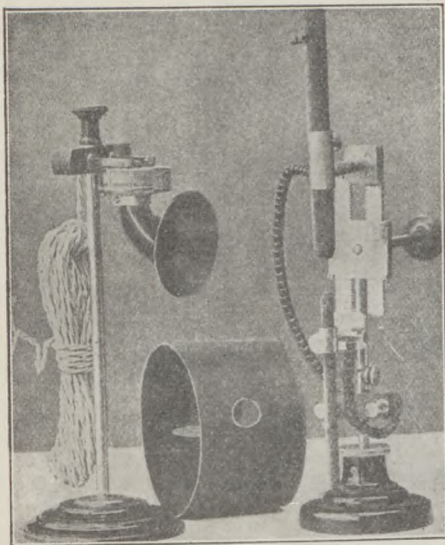


Abbildung 39 c.

Abbildung 39 a — d veranschaulicht seine experimentelle Anordnung. Vor einer Bogenlampe, deren Speisestrom durch das Mikrophon induktiv beeinflußt wird, steht der lichtdichte Kasten, in dem der Film vor dem Beleuchtungsschlitz rasch vorbeigezogen wird. Ruhmer verwendete zur Verstärkung der Lichtwirkung vor dem Beleuchtungsschlitz eine Zylinderlinse.

Diese Ruhmersche Anordnung ist nur zur Demonstration geeignet, für praktische Zwecke ist sie unbrauchbar. Selbst das Experiment mit der sprechenden Bogenlampe ist eine heikle, höchst unsichere Sache. Zu einer gewissen Bogenlänge gehört eine ganz scharf bemessene Kapazität und Selbstinduktion. Brennt die Lampe eine gewisse Zeit, so nützen sich die Kohlen ab und die Bogenlänge vergrößert sich, so daß alles wieder nachgestellt werden müßte, um dieselbe Empfindlichkeit beizubehalten. Hierzu kommt noch, daß bei der erforderlichen Bogenlänge der Bogen leicht wandert, d. h., daß die in dem Kohlenmaterial befindlichen unhomogenen Stellen eine Veränderung des Kraters verursachen, wodurch sich aber nicht nur wieder die Bogenlänge, sondern auch die optische Achse der ganzen Einrichtung verändert. Diese Veränderung der optischen Achse und das Zischen des Flammenbogens bewirken unerwünschte und

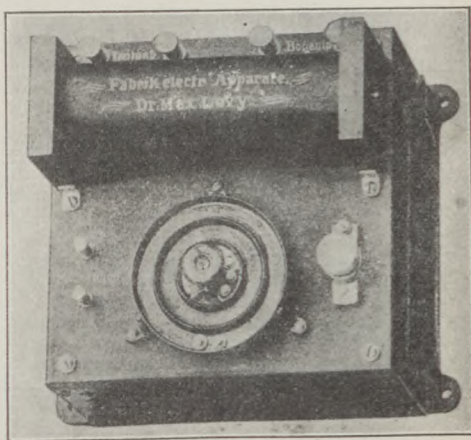


Abbildung 39 d.

störende Intensitätsänderungen im Belichtungsspalt. Außerdem verbraucht die Bogenlampe viel Strom (25 bis 40 Ampère bei etwa 50 bis 100 Volt), wodurch der Betrieb erschwert wird.

Diese beiden oben beschriebenen, grundverschiedenen Methoden, die Spiegelmembran-Methode und die „Sprechende Bogenlampen-Methode“, geben gleichzeitig die Gruppen an, in die sämtliche Lichtbeeinflussungsmethoden eingeordnet werden können, d. h., es handelt sich entweder um Einrichtungen, bei denen die Lichtintensität der Lichtquelle unmittelbar durch Sprechströme beeinflusst wird (Bogenlampe), oder um solche, bei denen sozusagen eine Relaiseinrichtung Verwendung findet, welche, durch die Sprechströme gesteuert, das Licht einer konstanten Lichtquelle entsprechend den Tonschwingungen mehr oder weniger durchläßt (Spiegelmembrane usw.).

Eine vielfach angewandte Lichtbeeinflussungsmethode stammt von Professor Dr. Arthur Korn, der im Jahre 1903 für die Zwecke seines Bildtelegraphen-Apparates ein Vakuum-Rohr verwendete (Abb. 40), in dem zwei Elektroden a_1 und a_2 isoliert voneinander angeordnet waren. Wenn man den beiden Elektroden hochgespannte Ströme zuführt, so entsteht zwischen ihnen ein bläuliches Lichtbündel, welches photographisch besonders wirksam ist und sich leicht in seiner Intensität beeinflussen läßt; dies kann dadurch geschehen, daß man eine der Zuführungsleitungen — zum Beispiel so, wie wir es bei der Bogenlampe gesehen haben — induktiv an einen Mikrophonkreis ankoppelt. Wir sehen in der Originalzeichnung von Prof. Dr. Korn, daß das Ende der einen Elektrode a_2 als kleiner Hohlspiegel bzw. als Reflektorfläche ausgebildet ist. Gegenüber von diesem Spiegelchen ist eine durchsichtige Öffnung (Diaphragma) für die schwankenden Lichtwirkungen in einer Hartgummikapsel angeordnet. Die Elektrodrähte selbst sind bis zum Ausstrahlungspunkt in Glas geführt (isoliert), um zu verhindern, daß zwischen den Drähten eine Strahlung entsteht. Ähnliche Vakuumlampen sind zur Zeit als Glimmlichtlampen allgemein bekannt. Diese Glimmlichtlampe wird zum Beispiel von Lee de Forest und auch von der Trierigon (Masolle, Engl und Vogt) in ähnlicher Ausführung wie die oben beschriebene für ihre Aufnahmen verwendet.

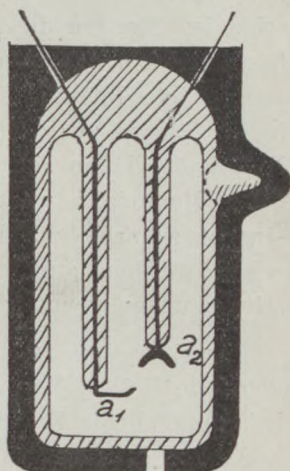


Abbildung 40.

Die Glimmlichtlampe arbeitet masselos, infolgedessen kann sie praktisch als vollkommen trägheitslos betrachtet werden. Die Art der Strahlen, die hierbei entstehen, sind photographisch äußerst wirksam (aktinisch), leider ist aber ihre Intensität verhältnismäßig gering. Bei dem sprechenden Film wird aber, wie wir es später eingehend behandeln werden, eine sehr schmale Spaltbeleuchtung und damit eine ungeheuer rasche Einwirkung (bis $\frac{1}{16000}$ Sekunde) notwendig. Nun stellt sich bei der erwähnten Anordnung heraus, daß bei einer optischen Konzentrierung der Strahlen in einen (0,01 mm) schmalen Streifen die Einwirkungen nicht genügen, um auch die feinsten Lichtänderungen noch in den Film „einzuexponieren“, d. h. ausgeprägte Intensitätsstreifen hervorzurufen. Die Änderungen sind in der Lampe zwar vorhanden, aber hinterlassen beim entwickelten Negativfilm keine sichtbaren Spuren. Daher sind die Forscher, die diese Methode anwenden, gezwungen, mit einem breiteren Lichtstreifen zu arbeiten. Dieser Umstand schließt aber, wie wir später sehen werden, aus, daß sämtliche, auch die allerfeinsten, Schall-schwingungen genau aufgenommen werden können.

Zwei weitere wichtige Punkte spielen hierbei noch eine bedeutende Rolle. Man muß nämlich erstens berücksichtigen, daß die lichtempfindliche Schicht des Filmes (Emulsion) nicht linear proportional auf die Lichtschwankungen reagiert, und zweitens ist die Reaktion des Filmes sowohl nach unten wie nach oben begrenzt. Der erste Umstand bedeutet, daß bei einer doppelt so starken Belichtung des Filmes die dadurch entstandenen Schwärzungen nicht im Verhältnis 1:2 stehen. Um keine Verzerrung der Original-Tonschwingungen zu verursachen, müßten die Schwärzungsunterschiede aber dieselben Proportionen aufweisen wie die Schallwellen. Da aber andererseits die Änderungen des Glimmlichtes mit den Sprechstromschwankungen linear proportional erfolgen, so wird die Folge eine Verzerrung bei der Wiedergabe sein. Die Begrenzung durch die Minimal- und Maximal-Empfindlichkeit des Filmes kann für die Glimmlichtmethoden nur nach unten Schwierigkeiten bereiten insofern, als die ganz feinen Intensitätsschwankungen verloren gehen. Glücklicherweise sind aber schon von der Bildtelegraphie und Lichttelephonie her viele andere Lichtbeeinflussungsmethoden bekannt, die sich für die Tonaufnahme eignen und bei denen eine der Filmeempfindlichkeit entsprechende Korrektur besser möglich ist. Professor Dr. Karolus bedient sich zum Beispiel für seine Sprechfilm-Experimente der sogenannten Kerr-Zelle. Das sogenannte Kerr-Phänomen besteht in folgendem (Abbildung 41):

In einem Glasgefäß, welches mit Nitro-Benzol gefüllt ist, sind zwei Metallplatten einander gegenüber befestigt, die demnach einen Kondensator bilden. Vor und hinter dem Glasgefäß sind Nicol-Prismen aufgestellt, und zwar so, daß ein Lichtstrahl, der durch die Nicol-Prismen und das Nitrobenzol geht, vollkommen ausgelöscht wird. Wenn wir aber den Kondensatorplatten Spannungsschwankungen zuführen, so dringt das Licht wieder durch, und zwar proportional zu den Spannungsschwankungen, die man also in diesem Falle durch die Tonschwingungen steuern muß. Bei dieser Zusammenstellung kann man bedeutend größere Lichtintensitäten durchsteuern, d. h. eine Begrenzung, besonders nach unten, tritt nicht ein. Diese Erscheinung arbeitet zwar masse- und trägheitslos, aber auch wieder linear proportional, woran sehr wenig zu ändern

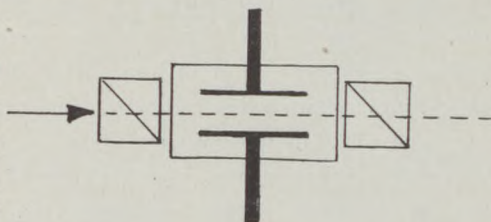


Abbildung 41.

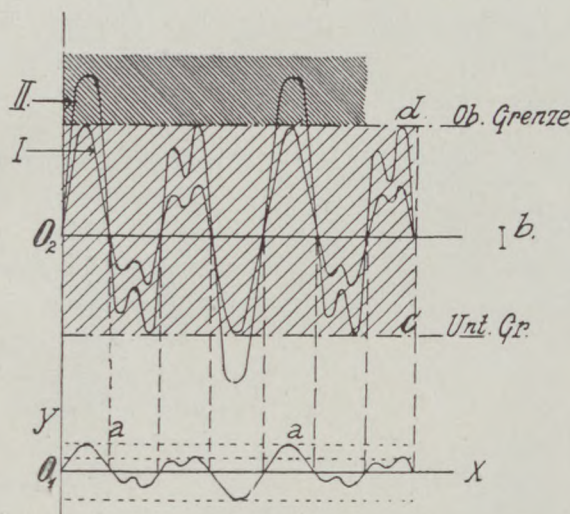


Abbildung 42.

ist. Will man die ganz feinen Schwankungen so verstärken, daß deren Intensitätsunterschiede für die Emulsion noch gut wirksam werden, so stößt man auf die obere Grenze; über eine gewisse Amplitudengröße hinaus treten nämlich keine Intensitätsunterschiede im Film mehr ein, da die Emulsion schon längst überbelichtet ist.

Um das oben Gesagte richtig zu verstehen, werfen wir einen Blick auf die Abbildung 42, wo diese Frage schematisch veranschaulicht ist. Die Linie a—a soll hier eine Tonschwingung darstellen, c bedeutet die untere, d die obere Empfindlichkeitsgrenze und b das Maß der Intensitätsschwankung, worauf die Emulsion des Filmes noch reagieren kann. Wir erkennen dann folgendes: Wenn wir die Tonkurve so weit verstärken, daß deren kleinste Spitzen dem Mindestmaß entsprechen, so wird der ganze übrige Teil der Schwingung so groß, daß die Spitzen über die beiden Grenzen hinausragen (Kurve 2). Nehmen wir eine kleinere Verstärkung an (Kurve 1), so wird die gesamte Lichtschwankung innerhalb der Grenzen bleiben, aber die Intensitätsunterschiede, die die Spitzen verursachen, sind zu klein, um die Emulsion noch beeinflussen zu können. In Wirklichkeit ist das Problem noch komplizierter, da die Beeinflussbarkeit der Emulsion nicht nur von dem Maß der Intensitätsschwankungen abhängig ist, sondern auch von der Geschwindigkeit (Expositionszeit), mit der diese erfolgen.

Aus diesen Gründen kann man wohl behaupten, daß die absolute Masse- und Trägheitslosigkeit der oben erwähnten Systeme für

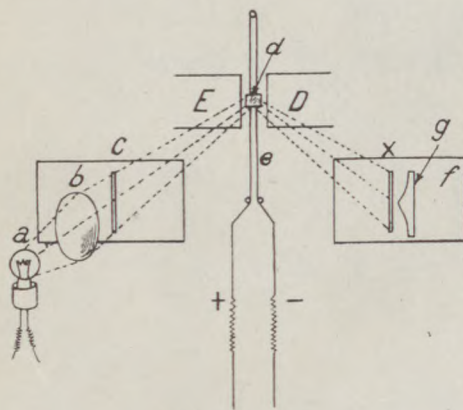


Abbildung 43.

unseren Zweck nicht als unbedingter Vorteil angesprochen werden kann. Von dieser Erkenntnis ausgehend, hat der Verfasser zur Konstruktion eines Lichtrelais Versuche mit einem Oszillographen gemacht. Die Anordnung eines Oszillographen-Lichtrelais ist aus Abbildung 43 ersichtlich. Der Oszillograph selbst besteht aus einer feinen, aus Platindraht von 0,003 bis 0,001 mm Dicke angefertigten Schleife e,

welche mit dem aufgeklebten Spiegelchen d zwischen den Polen E und D eines starken Magneten ausgespannt ist. Die vom Verstärker kommenden Sprechströme werden in diese Drahtschleife geführt und lenken die Schleife und damit den auf ihr befestigten Spiegel ihren Intensitätsschwankungen entsprechend ab. Um die den Schallwellen entsprechenden Stromschwankungen bzw. die durch sie hervorgerufenen Ablenkungen des Spiegels in entsprechende Lichtintensitätsschwankungen umzuwandeln, lassen wir das mit der Linse

b gesammelte Lichtbündel der konstant brennenden Lampe a durch den Spalt c auf den Spiegel d fallen; dieser reflektiert dasselbe als einen scharfen Lichtstreifen auf den undurchsichtigen Schirm f vor die Spitze des teilweise keilförmigen Spaltes g. Wenn der Spiegel unbewegt ist, kann der Lichtstreifen x nicht durch den Spalt g gelangen. Wird aber der Spiegel infolge der Sprechströme abgelenkt, so bewegt sich der Lichtstreifen der Ablenkung entsprechend auf dem Spalt und durchdringt denselben, je nach der Stärke der Stromimpulse, an einer schmäleren oder breiteren Stelle. Hierdurch gelangen größere oder kleinere Teile des Lichtstreifens durch den Schirm f; wenn wir hinter dem Spalt g eine Zylinderlinse anbringen, so entsteht in deren Brennpunkt (Fokus) je nach dem Maße der Ablenkung des Lichtstreifens x eine abwechselnd heller oder dunkler aufleuchtende Linie.

Wir können in der Figur bemerken, daß die Konturen des Spaltes g nicht geradlinig, sondern gewölbt sind. Der Grund hierfür liegt darin, daß man auf diese Weise eine Lichtkorrektion erzielt, die den kleinen Schwingungen entspricht. Diese Korrektion ist zum Beispiel für die untere Grenze der Empfindlichkeit verwendbar; für die Korrektion der oberen Grenze kann man die Resonanzfähigkeit des Oszillographen ausnutzen. Diese besteht bekanntlich darin, daß die Schleife des Oszillographen — ebenso wie zum Beispiel eine Geigensaite — eine mechanische Eigenschwingung besitzt, deren Schwingungszahl von der Abmessung, dem Material, der Spannung der Schleife usw. abhängt. Wird der Schleife eine elektrische Schwingung zugeführt, die ihrer Eigenschwingung naheliegt, so wird sie eine vergrößerte Ablenkung ausführen, d. h. der Oszillograph „bevorzugt“ diese Schwingungen. Wenn wir nun an die unlineare Empfindlichkeit der Filmemulsion und an die bei kleinen, raschen Schwingungen bestehenden Verstärkungsschwierigkeiten denken, so wird der außerordentliche Vorteil des Oszillographen für diese Zwecke ohne weiteres klar.

Diese vom Verfasser im Jahre 1916 angegebene Lichtrelaisanordnung hat selbstverständlich viele Forscher zur Erkenntnis dieser Vorteile gebracht, und verschiedene Nachfolger haben diese Methode in etwas veränderter Form für Sprechfilmaufnahmen mit mehr oder weniger Glück angewendet.

Die dänischen Ingenieurkandidaten Arnold Poulsen und Axel Petersen (Deutsche Tonfilm A.-G.) benutzen ebenfalls Oszillographen für ihre Sprechfilmaufnahmen. Sie verwenden einen Siemens-Oszillographen, aber die Ablenkungen der reflektierten Lichtstrahlen wer-

den nicht durch einen quantitativen Spalt in Intensitätsschwankungen umgewandelt, sondern sie lassen den Lichtstreifen sich in der Längsrichtung an einem dünnen Schlitz bewegen, hinter dem in der Querrichtung der Film vorbeiläuft (Abbildung 44). Dementsprechend entstehen hier vorläufig noch keine Intensitätsschwankungen, sondern transversale Schwingungsunterschiede, wie in Abbildung 8 ersichtlich. Wenn man einen solchen Film vor einem konstanten Lichtstreifen abrollen läßt und hinter dem Film durch eine Sammellinse

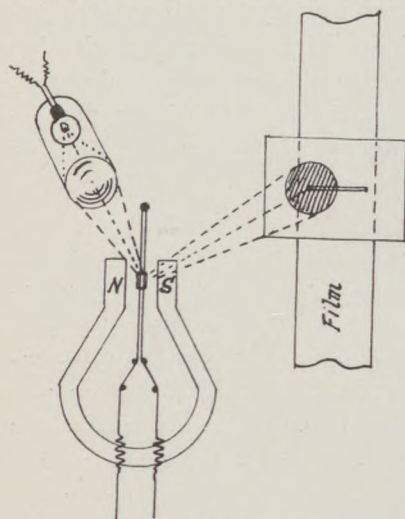


Abbildung 44.

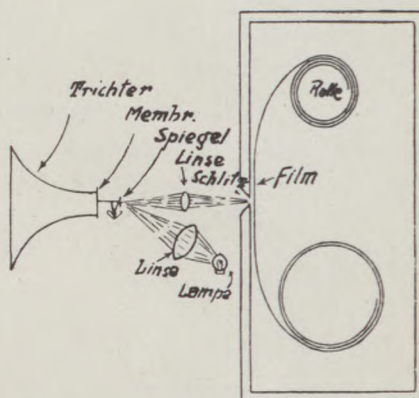


Abbildung 45.

die durchdringenden Lichtintensitäten beobachtet, so werden selbstverständlich dieselben Intensitätsschwankungen entstehen wie bei der anderen Methode. Dieses Verfahren hat manche Vorteile, aber auch manche Nachteile, die wir später eingehend besprechen werden; an dieser Stelle wollen wir nur kurz erwähnen, daß die Vorteile darin bestehen, daß es bei diesem Verfahren keine untere Grenze für die Emulsionsempfindlichkeit gibt. Dagegen werden die Vorteile, die das Oszillographen-Lichtrelais in bezug auf die Korrektionsmöglichkeiten bietet, nicht vollkommen ausgenutzt. Ebenso bedeutet es praktisch einen großen Nachteil, daß für die Transversal-Aufnahmen ein so breiter Filmstreifen erforderlich ist, daß Bild und Ton unmöglich auf ein und demselben Film aufgenommen werden können. Es muß vielmehr ein besonderer Tonfilm verwendet werden, wodurch das Verfahren verteuert und die Handhabung erschwert wird.

Eine der obigen sehr ähnliche Methode ist die in Abbildung 45 schematisch dargestellte Methode von Berglund. Dieser benutzt zum

Ablenken des Spiegelchens eine schwingende Membrane (z. B. eine Telephonmembrane), deren Vibrationen mit feinen Hebeln dem Spiegel übermittelt werden. Eine ähnliche Anordnung für die Zwecke der Bildtelegraphie (Abbildung 46) wurde übrigens auch von Professor Dr. Korn angegeben. Er verwendet übrigens für seinen Phototelegraph-Apparat ebenfalls ein Lichtrelais, das ohne weiteres auch für Sprechfilmaufnahmen geeignet wäre. Zwischen den Polen N und S eines starken Magneten sind zwei Saiten C_1 und C_2 parallel zu

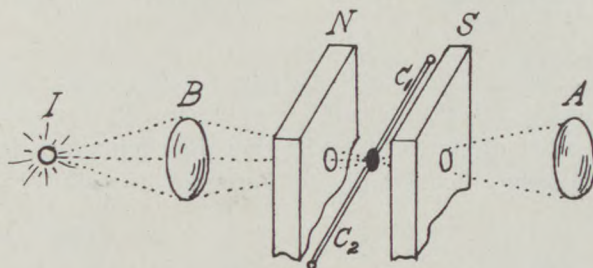


Abbildung 46.

den Polebenen ausgespannt. Die Pole sind so durchbohrt, daß das durch Linsen konzentrierte Licht der Lampe I zur Sammellinse A durchdringen könnte, wenn nicht ein kleines Aluminiumplättchen auf die Saiten aufgeklebt wäre. Dieses Plättchen sperrt also den Lichtstrahlenweg so lange, wie die Saiten sich nicht bewegen. Falls aber die Saiten von Sprechströmen durchflossen werden, bewegen sich diese senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien nach oben oder unten, und damit gibt das Aluminiumplättchen den Lichtweg den Stromimpulsen entsprechend mehr oder weniger frei.

Außer den oben beschriebenen Lichtbeeinflussungsmethoden gibt es noch viele andere physikalische Erscheinungen, mit denen man Stromschwankungen (Sprechströme) mit mehr oder weniger Aussicht auf Erfolg dazu verwenden kann, um mit ihrer Hilfe

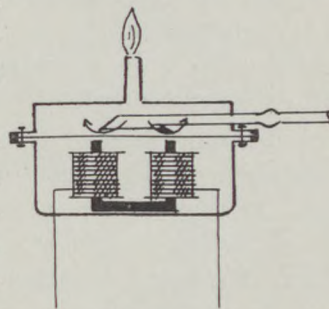


Abbildung 47.

die Lichtintensität für Sprechfilmaufnahmen zu beeinflussen, so z. B. das zweite Kerr'sche Phänomen, die Drehung der Polarisations-ebene in schwankenden magnetischen Feldern, die magnetische Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen, die König'sche Gas-Membrane mit elektromagnetischer Betätigung (Abbildung 47). Bei allen diesen Erscheinungen hat man aber immer die eigene Empfindlichkeit, die Be-

grenzung der Filmempfindlichkeit und die Lichtintensitätsfragen zu erwägen. Über alle diese und noch weitere Fragen erhalten wir ein vollkommeneres Bild bei den späteren detaillierten Erläuterungen der einzelnen, praktisch schon bestehenden Methoden.

2. Erscheinungen der elektrischen Lichtempfindlichkeit

Lichtempfindliche Zellen

a) Die allgemeinen Eigentümlichkeiten des Selen und der Selenzelle

Man kennt sehr viele lichtelektrische Erscheinungen, bei welchen die Änderung der Lichtintensität elektrische Änderungen hervorruft. Unter allen diesen lichtelektrischen Erscheinungen ist die hervorstechendste jene Eigenschaft des grauen kristallinen Selen

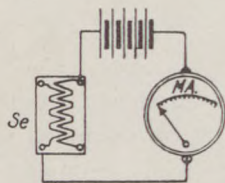


Abbildung 48.

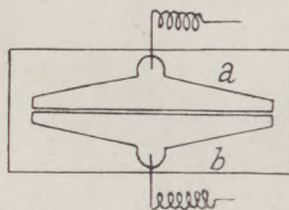


Abbildung 49.

(Se), daß der elektrische Widerstand im umgekehrten Verhältnis zu seiner Belichtung steht. Wenn man also in einen elektrischen Stromkreis, der aus einer Batterie und einem empfindlichen Milliampèremeter besteht, eine Selenzelle einschaltet (Abbildung 48), so wird der Ausschlag des Milliampèremeters davon abhängen, wie stark die Selenzelle belichtet ist.

Unter einer Selenzelle versteht man eine Anordnung, die mit entsprechender Stromzuführung versehen ist und die dem grauen kristallinen Selen von hohem, spezifischem Widerstande einen großen Leitungsquerschnitt sichert. Das Prinzip aller Selenzellen ist aus Abbildung 49 ersichtlich. Bei einer Selenzelle sieht man eine ca. 600 bis 800 mm lange Parallelleitung mit einem Abstände von ca. 0,5 mm vor und drängt diese Leitungsfläche mittels verschiedener Methoden auf ca. 15 bis 20 cm zusammen. Auf die so zubereitete Unterlage wird dann amorphes Selen in dünner Schicht aufgetragen und mittels eines entsprechenden Erwärmungsprozesses sensibilisiert, d. h. man bringt es in seine graue kristallinische Form, macht es also lichtempfindlich. Die bekanntesten Formen, welche sich praktisch bewährten, werden wir später näher beschreiben.

Eine normale Selenzelle hat einen elektrischen Widerstand von 60 000 Ohm im Dunkeln (dies nennt man den „Dunkelwiderstand“ der Zelle); dieser Widerstand vermindert sich auf 30 000 Ohm, also ca. auf die Hälfte, wenn man die Zelle bis auf 1 m Entfernung einer 16kerzigen Glühlampe nähert (dies nennt man den „Belichtungswiderstand“ der Zelle). Hebt man die Belichtung auf, so nähert sich der Widerstand der Zelle mit dem Verdunkeln wieder dem Dunkelwiderstand“ der Zelle, und verdunkelt man ganz, so wird die Zelle nach kürzerer oder längerer Zeit ihren ursprünglichen Widerstand wieder erreichen. Wenn wir aber die Belichtung und Verdunkelung sowie die Widerstandsänderung genau messend verfolgen, so gewahren wir, daß die Widerstandsänderungen der Zelle den Belichtungsänderungen nicht genau folgen, sondern diesen zeitlich nacheilen, d. h. die Zelle nimmt erst eine gewisse Zeit nach der Belichtung ihren

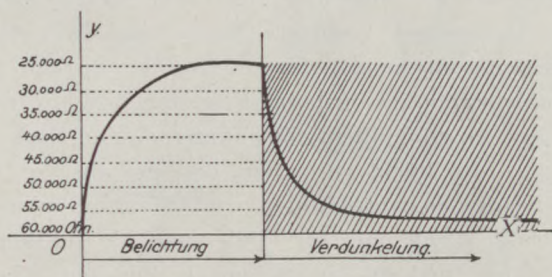


Abbildung 50.

Mindestwiderstand an, und nach der Verdunkelung steigt der Widerstand nicht sofort auf den ursprünglichen Wert. Diese Hysteresis-Erscheinung nennt man die „Trägheit“ der Zelle. Die Trägheit einer normalen Zelle zeigt das Diagramm der Abbildung 50. Auf der Abscisse wurde die Belichtung bzw. in dem schraffierten Teile die Verdunkelung aufgetragen, während die Ordinaten die Widerstandsverminderung oder, was dasselbe ist, die Erhöhung der Leitfähigkeit bedeuten. Wie ersichtlich, steigt die Kurve der Leitfähigkeit zuerst steil an, um sich dann von einem gewissen Wert an immer mehr einer der Abscissenachse parallelen Linie zu nähern und nach dem Erreichen des Maximums sich nicht mehr zu ändern. Wenn in diesem Momente, wie es auch in der Abbildung der Fall ist, die Verdunkelung eintritt, so sinkt die Leitfähigkeit zuerst plötzlich, dann immer langsamer und die Kurve nähert sich asymptotisch der X-Achse, bis sie ihren ursprünglichen Wert erreicht. Dieser wird aber viel langsamer erreicht als der obere Grenzwert; zuweilen dauert es stundenlang.

Aus dem Obenstehenden sieht man, daß bei einer normalen Zelle, welche man in einem Stromkreis von 50 Volt Spannung zu verwenden pflegt, die Differenz der Stromstärke zwischen dem maximalen und minimalen Wert ca. 1 Milliampère ausmacht. Um aber die Grenzwerte zu erhalten, muß man die Zelle ca. 5 Minuten lang der Belichtung einer 16 kerzigen Lampe aussetzen und nachher verdunkeln.

Wenn die Belichtung kürzer oder die Differenz zwischen den Belichtungen kleiner ist, so vermindern sich die Änderungen der Stromstärke sehr rasch. Dies trifft z. B. bei der Phototelegraphie zu, wo die Selenzelle 10 bis 20 Bildelemente in der Sekunde registrieren muß, die manchmal nur in ihren Abstufungen voneinander verschieden sind. Die Änderungen der Stromstärke sind in diesem Falle schon so schwach, daß auch das empfindlichste Saitengalvanometer kaum den Ausschlag von 1 mm ergibt. Wenn wir aber die Zelle in der Sekunde mehrere hundertmal Belichtungsänderungen aussetzen, so kann man die Stromschwankungen nur mittels eines empfindlichen Telefons wahrnehmen, ja, bei den älteren Zellen nur dann, wenn die schnellen Lichtschwankungen sehr stark sind.

Wir können also leicht verstehen, daß die aus der Trägheit der Selenzelle folgenden Schwierigkeiten von Anfang an eines der größten und schwierigsten Probleme für diejenigen darstellten, die einen Sprechfilm planten, und die die Selenzelle kannten. Vergessen wir nicht, daß bei dem Sprechfilm ein lichtwahrnehmendes Organ nötig ist, das in der Sekunde 16 000 Lichtschwankungen, und zwar sehr schwachen Änderungen, mit registrierbaren Stromschwankungen zu folgen vermag. Mit anderen Worten war es der zweite und vielleicht schwierigste Teil des Problems, eine solche Selenzelle zu erfinden, die gar keine oder keine praktisch wahrnehmbare Trägheit besitzt und welche die bisherigen Zellen weit übertrifft.

b) Die Entwicklung der modernen Selenzelle

Das Selen ist ein Element, das Berzelius im Jahre 1817 entdeckte. Sein chemisches Zeichen ist Se. Es weist viele verwandte Eigenschaften mit dem Schwefel auf, mit welchem es oft gemeinsam vorkommt. Das Selen ist in mehreren Modifikationen bekannt: das amorphe Selen, welches schwarz oder rot sein kann, das rote kristallinische Selen und endlich die graue kristallinische Modifikation, von welcher nach der Art der Kristalle verschiedene Abarten bekannt sind. Obzwar das Selen in der Natur sehr oft, besonders in Begleitung von Metallen und Schwefel vorkommt, ist es doch stets nur in ge-

ringer Menge vorhanden. In größerer Quantität erhält man es bei der Schwefelsäure-Fabrikation im Niederschlag in den Bleikammern und zwar in seiner roten amorphen Modifikation.

Wenn man das rote amorphe Selen erwärmt, so schmilzt es und geht in eine graphitartig schimmernde, schwarzglasige amorphe Modifikation über. Wenn man das glasige amorphe Selen langsam erwärmt, so beginnt es bei 50 bis 60 Grad Celsius weich zu werden und verwandelt sich bei 90 bis 120 Grad in eine graue kristallinische Masse, welche je nach ihrer Reinheit bei 217,5 bis 219 Grad Celsius schmilzt. Wenn die Abkühlung durch nichts gestört wird, verwandelt es sich wieder zum schwarzen glasigen Selen, welches man durch seine Zerstäubung in die rote amorphe Art verwandeln kann.

Wenn man aber das geschmolzene rote Selen während der Abkühlung einem Luftzuge aussetzt, oder wenn man es reibt, so erhält man wieder seine graue kristallinische Form. Das schwarze amorphe Selen nimmt auch dann seine graue kristallinische Form an, wenn man es längere Zeit einer nahe an 200 Grad Celsius reichenden Erwärmung aussetzt.

Von den verschiedenen Modifikationen des Selens interessiert uns am meisten die graue, kristallinische Form, von welcher Pittorf im Jahre 1851 nachgewiesen hat, daß sie im Gegensatz zu der amorphen und der roten kristallinischen Form die Elektrizität leitet. Allerdings ist es wahr, daß die Leitfähigkeit dieser Modifikation nur eine minimale ist. So beträgt der Widerstand eines Selenwürfels mit einer Seitenlänge von 1 mm 3 bis 4 Millionen Ohm.

Wegen seines großen Widerstandes wollte es der englische Kabelingenieur Willoughby-Smith im Jahre 1873 bei seinen geplanten Kabelmessungen als Widerstand benutzen. Bei dieser Gelegenheit entdeckte May, ein Mitarbeiter von Smith, daß der elektrische Widerstand des grauen kristallinischen Selens von dessen Belichtung abhängt, und zwar derart, daß es seinen Widerstand um so mehr verringert, mit je stärkerem Lichte man es bestrahlt. Unter vorteilhaften Umständen kann sich sein Widerstand bis auf ein Zehntel verringern.

Bei den ersten Beobachtungen bereitete der Umstand außerordentliche Schwierigkeiten, daß selbst bei dem winzigsten Selenstückchen die Widerstandsänderungen sich bei einem Widerstande von mehreren Millionen Ohm abspielten. Um die praktische Handhabung zu erleichtern, war es notwendig, die Wirkung des hohen spezifischen Widerstand durch einen großen Leitungsquerschnitt zu vermindern, was dann zur Erzeugung der „Selenzelle“ führte. Die Selenzelle ist also nichts anderes als eine Einfassung des Selens, die

einen langen und schmalen Leitungsquerschnitt sichert. Die erste Zelle hat W. von Siemens erzeugt. Ihre Form zeigt Abbildung 51. Zwei parallel gewundene Platindrähte bilden auf einem Isoliergrunde voneinander isolierte Spiralen. Der Raum zwischen beiden wird mit Selen ausgefüllt und mit einer dünnen Glimmerscheibe bedeckt. Die so hergestellte Selenzelle wird dann 3 Stunden lang in einem Paraffinbade bei 210 Grad Celsius sensibilisiert und dann

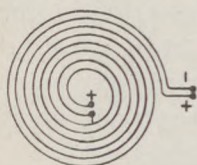


Abbildung 51.

langsam auf Zimmertemperatur gebracht. Die so hergestellten Zellen sollen bei starker Belichtung ihren Widerstand bis auf $\frac{1}{10}$ ihres Dunkelwiderstandes vermindern.

Die verschiedenen Forscher haben die auf eine kleine Oberfläche zusammengedrängten, sehr langen parallelen Elektroden in den verschiedensten Ausführungsformen hergestellt. Es kann nicht unser Ziel sein, sämtliche einzeln aufzuzählen, darum werden wir nur die Haupttypen beschreiben.

Die Selenzelle Mercadiers besteht dem Wesen nach aus zwei 0,1



Abbildung 52.



Abbildung 53.

mm dicken Kupferbändern, welche durch Pergamentstreifen voneinander isoliert sind und von welchen beiläufig 5 m in der in Abbildung 52 ersichtlichen Weise zusammengerollt werden, so daß die Bänder nirgends miteinander elektrisch verbunden sind. Die Rolle wird durch einen Rahmen zusammengehalten.

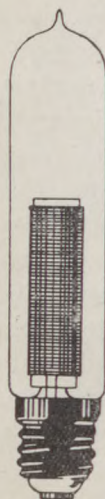


Abbildung 54. stellen des elektrischen Kontaktes mit einer Edisonfassung

Die Selenzelle Weinholds ist in Abbildung 53 dargestellt. Auf einem vier bis fünf Zentimeter hohen, aus Isoliermaterial (Glas, Schiefer, Glimmer) hergestellten Zylinder von 2 cm Durchmesser ist in 1 mm Abstand voneinander eine Doppelspirale eingeschnitten, in welche zwei voneinander isolierte Platin- oder Messingdrähte aufgewunden sind, deren Enden einzeln fixiert sind.

Fast ganz identisch mit dieser Zelle ist die durch Ruhmer, später durch von Bronk fabrizierte Selenzelle Abbildung 54), welche aber in einer evakuierten Glasbirne eingeschlossen ist und an den Enden zum Her-

versehen wird. Der Vorteil dieser Zelle besteht den anderen gegenüber darin, daß sie von den äußeren Verhältnissen, wie Feuchtigkeit usw., weniger abhängig ist.

Bidwell und andere haben die doppelten Drahtwindungen auf flachen oder gewölbten Täfelchen angebracht (Abbildung 55). Das Material des Täfelchens ist auch hier ein Isolierstoff, der die höhere Temperatur gut aushält (Ton, Glas, Schiefer, Glimmer). Das Aufwinden in gleichen Abständen wird auf verschiedene Art durchgeführt: Man graviert entweder in die obere und untere Kante des Täfelchens Einschnitte oder man windet auf einmal dicht nebeneinander vier Drähte auf, von denen man den ersten und dritten fixiert, die zwei mittleren aber, welche nur zum Herstellen des gleichmäßigen Abstandes benutzt werden, wieder abwindet.

Bell stellte eine Zelle her, bei welcher in einer Metallplatte feine Bolzen dicht befestigt waren, über welche eine dicht durchlochte

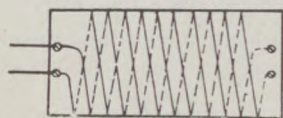


Abbildung 55.



Abbildung 56.

zweite Metallplatte derart isoliert befestigt wurde, daß jeder untere Bolzen in die Mitte von je einer Öffnung kam, jedoch die obere Platte nicht berührte; das aufgetragene Selen füllte den Zwischenraum zwischen Bolzen und Öffnungswand aus. Bell hat auch zylindrische Bifilarzellen angefertigt, ja es wird sogar behauptet, daß überhaupt die erste Konstruktion von ihm stamme.

Liesegang und später Ries haben gravierte Zellen hergestellt. Auf eine Isolierplatte wird eine dünne Platinschicht, sogenannter Platinspiegel, aufgetragen, der dann durch die in Abbildung 56 dargestellte Form mittels eines Zickzackritzkes in zwei Teile geteilt wird. Den Elektrodenzwischenraum bildet in diesem Falle der Ritz selbst. Liesegang hat das Selen auf der Unterlage in geschmolzenem Zustand aufgetragen, während Ries das eine bedeutend gleichmäßigere Schicht hervorrufende Ausfällen verwendet.

Beim Herstellen der verschiedenen Zellenunterlagen war das Hauptbestreben, eine möglichst einfache und sichere Methode zu finden, um bei tunlichst kleiner Oberfläche möglichst lange Spalten in gleichmäßigem Abstand zu erzielen und dennoch bei guter Isolation

die parallelen Elektroden zusammenzudrängen, wobei die Entfernung der Elektroden möglichst klein sein soll.

Der gemeinsame Fehler der erwähnten Haupttypen ist in erster Reihe, daß alle eine zu große Oberfläche haben, was zwar bei jenen Zwecken, für die sie hergestellt wurden, keine wesentliche Rolle spielt, aber sie für die Zwecke des Sprechfilms gänzlich ungeeignet macht, da ihre Oberfläche im Durchschnitt 20 qcm beträgt. Wir haben schon oben auseinandergesetzt, daß die für einen Sprechfilm in Betracht kommende Selenzelle eine Oberfläche von höchstens einem Quadratmillimeter haben darf (also den zweitausendsten Teil der erwähnten Oberfläche), auf welcher Elektroden von 15 bis 20 mm Länge zusammengedrängt werden müssen. Demgegenüber fielen bei den obigen Zellen auf einen Millimeter bei den bifilaren 1 bis 3, bei der Mercadier-Zelle 4, bei den gravierten Zellen 2 Elektroden. Wer sich mit der Herstellung von Selenzellen nicht beschäftigt hat, könnte leicht der Meinung sein, daß mittels einiger der obigen Methoden immerhin eine Zelle mit feinerer Teilung herzustellen wäre, wenn man nur die Dimensionen verringert. Leider wird dies durch die Praxis widerlegt.

Am meisten zusammendrängbar erscheint die gravierte Zelle, denn es ist ja allbekannt, daß man mittels Teilmaschinen, z. B. der Jedlik'schen Maschine, auf einer Glasplatte ca. 1000 Striche auf 1 Millimeter herstellen kann. Unzweifelhaft könnte man, wenn auch nicht 1000, so doch jedenfalls 10 bis 30 parallele Striche in der Längsrichtung eingravieren, aber die hierzu senkrecht stehende Verbindungslinie, welche $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{30}$ mm lang wäre, könnte man nicht genau herstellen, ohne hierbei die einzelnen Äste der Elektroden zu durchschneiden. Ein anderer Fehler der gravierten Zellen besteht darin, daß das Ritzen nur scheinbar einen gleichmäßigen Abstand gibt; wenn man die gewonnenen Kanäle im Mikroskop betrachtet, gewahrt man, daß deren Ränder einen zerfetzten, ungleichförmigen Elektrodenzwischenraum bilden.

Es ist eine der wichtigsten Hauptforderungen, die man an die Selenzellenunterlage stellt, daß der Abstand der Elektroden genau parallel ist, d. h. daß der Stromweg überall der gleiche ist. Dieser Forderung wegen ist auch die alte Mercadierzelle unverwendbar, da deren von Hand bewirkte Aufwicklung zu Ausbuchtungen Anlaß gibt. Bei der speziellen Zelle von Bell macht die Ungenauigkeit der Bohrungen und die Deformierung der Stifte einen gleichmäßigen Elektrodenabstand illusorisch.

Bei den bifilar aufgewundenen Zellen, bei denen die in erhitztem Zustande gespannten Drähte in Windungen eingesetzt werden, erhält man zwar einen ziemlich gleichmäßigen Elektrodenabstand, aber das Spannen setzt ziemlich dicke Drähte voraus, und auch die zur Bettung dienenden Rillen können nicht beliebig dicht angeordnet werden.

Die mit vier Drähten bewickelten Zellenkörper könnten bedeutend feiner sein; diese ergeben aber beim Erhitzen, wenn man das Selen aufträgt und sensibilisiert, einen sehr ungleichförmigen Elektrodenabstand, da bei dem Erhitzen infolge der verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten der Drähte und der Unterlage die Drähte lose werden.

Das Auftragen der Selenschicht der Zelle geschieht meistens in der Weise, daß man die Zellenunterlage über den Schmelzpunkt des Selen hinaus erwärmt und sie dann mittels eines in Stabform gebrachten amorphen Selenstückes einreibt, wobei man darauf achten muß, daß die Schicht überall gleichmäßig ist. Man darf die Unterlage nicht viel höher als bis zum Schmelzpunkt erwärmen, denn sonst läuft das schon aufgetragene Selen in Tröpfchen zusammen und verdunstet.

Den Erwärmungsgrad kann man am besten dadurch kontrollieren, daß man mit dem Selenstab fortwährend versucht, ob die warme Elektrode das Selen schon schmelzen läßt. Sobald dies eingetreten ist, muß man die Oberfläche rasch einreiben, wobei man darauf zu achten hat, daß inzwischen die Schicht keinem Luftzug und beim Abkühlen keinem Druck ausgesetzt ist, da sonst das Selen in eine schlecht empfindliche und schwer weiter sensibilisierbare graue kristallinische Modifikation übergeht. Wenn man daher bemerkt, daß beim Einreiben mittels des Stäbchens sich eine lichtgraue Spur bildet, muß man das Aufstreichen beenden und die Zelle in ein schon auf 180° bis 210° C vorgewärmtes Paraffin- oder Luftbad bringen, damit die Schicht dort in eine lichtempfindliche graue, kristallinische Form übergeht. Dies nennt man das „Sensibilisieren“.

Bezüglich der günstigsten, lichtempfindlichsten Sensibilisierungstemperatur und Sensibilisierungszeit sowie der Methode der Abkühlung, geben die einzelnen Forscher sehr verschiedene Daten an:

Bidwell erwärmt das Präparat in einem Luftbade langsam bis auf 210 Grad C, dann hält er dasselbe eine Stunde lang auf dieser Temperatur, schließlich läßt er es langsam auf Zimmertemperatur abkühlen.

Pfund hält die Selenzelle im ganzen 5 Minuten lang in einem 180 Grad C warmen Luftbade und läßt sie dann langsam abkühlen.

Demgegenüber empfiehlt Ries ein 5 Stunden langes Erwärmen auf 190 Grad C, das er inzwischen langsam auf 200 Grad erhöht. Das langsamere Abkühlen wird auch von ihm vorgeschrieben.

Wenn man die Selenzelle rasch abkühlen läßt, so vermindert sich ihr Widerstand beträchtlich, aber damit vermindert sich auch ihre Lichtempfindlichkeit, d. h. die durch das Licht hervorgerufenen Widerstandsänderungen werden kleiner.

Mit Rücksicht darauf, daß das Selen stark hygroskopisch ist, empfiehlt es sich, jene Zellen, die nicht in ein luftdichtes Glasgefäß eingeschlossen werden, noch vor der gänzlichen Abkühlung mit einer farblosen, durchsichtigen Lackschicht zu überziehen, um sie vor Feuchtigkeit zu schützen.

Durch die bei der Sensibilisierung angewandte Methode, durch die Temperatur und Zeitdauer der Erwärmung und der Abkühlung kann man Selenzellen mit den verschiedensten Eigenschaften gewinnen. Im folgenden versuchen wir die Eigenschaften der Selenzellen zu erörtern und den Zusammenhang dieser Eigenschaften mit der Empfindlichkeit der Zellen aufzuklären.

Wenn man den Widerstand einer Anzahl Selenzellen von normaler Größe (im Durchschnitt 20 qcm) so bestimmt, daß kein Licht an die Zellen gelangt, so findet man, daß dieser sogenannte „Dunkelwiderstand“ der Zellen von 30 000 Ohm bis 3—4 000 000 Ohm in den verschiedensten Abstufungen variiert. Es gibt selbst zwischen ganz gleich hergestellten Zellen große Unterschiede. Die Abweichungen erklären sich durch jene mikroskopischen Unterschiede, welche die Elektrodenabstände der einzelnen Zellen, die Dicke und Fläche der Selenschicht aufweisen, ferner durch den Wasser- oder Verunreinigungsgehalt des amorphen Selens, sowie durch die verschiedenen Temperaturänderungen während der Sensibilisierung (bessere Abkühlung etc.).

Wenn man die Zellen belichtet, so findet man, daß der Zeiger des Instrumentes zuerst schnell, dann langsamer ausschlägt, bis er, bei einem gewissen Punkt stehenbleibend, einen kleineren Widerstand anzeigt, den man den „Belichtungswiderstand“ der Zelle nennt. Der Belichtungswiderstand ist bei einer guten Zelle durchschnittlich die Hälfte des Dunkelwiderstandes, wenn man die Zelle dem diffusen Zimmerlicht aussetzt. Das Verhältnis zwischen dem Dunkel- und Belichtungswiderstande wird die „Lichtempfindlichkeit“ der Zelle genannt. Eine Maßeinheit für die Lichtempfindlichkeit ist bisher noch nicht vereinbart, und die einzelnen Forscher beziehen die Lichtempfindlichkeit der Zellen auf verschieden starke Lichtwirkungen. Der eine

bezeichnet den Belichtungswiderstand bei der unmittelbaren Belichtung mit einer 16kerzigen Glühlampe, der andere bei diffusem Zimmerlicht, der dritte bei konzentriertem Sonnenlicht, und man hat ihn auch bei Belichtung mit einer Normalkerze bestimmt.

Die bisherigen Erfahrungen lehren, daß bei gleichen Zellen der Anfangs- oder Dunkelwiderstand um so kleiner ist, je dicker die Selen-schicht, je näher zum Schmelzpunkt die Sensibilisierung erfolgte und je länger sie dauerte. Die Lichtempfindlichkeit hingegen, also das Verhältnis, um wieviel sich der Widerstand prozentual bei der Belichtung ändert, steht schon in einem viel komplizierterem Verhältnis zu diesen Faktoren. Je dicker die Selenschicht, umso kleiner wird auch der Belichtungswiderstand der Zelle, aber bei einem gewissen Grade vermindert sich allmählich die Lichtempfindlichkeit. Die lange (3 bis 4 Stunden) währende Sensibilisierung bei beiläufig 200 Grad C, nach welcher eine langsame Abkühlung folgt, gibt allgemein konstante, sehr lichtempfindliche Zellen. Wenn man die Zelle nach der Sensibilisierung rasch abkühlt, ist die Lichtempfindlichkeit anfangs viel größer, doch wird dieselbe rasch kleiner als diejenige der langsam abgekühlten Zellen. Man darf aber nicht glauben, daß man mittels sehr langsamer Sensibilisierung den Dunkelwiderstand und die Lichtempfindlichkeit unbegrenzt verändern kann, denn eine Sensibilisierung von länger als 6 bis 7 Stunden verursacht keine Besserung, ja während meiner Versuche habe ich sogar bemerkt, daß bei übermäßig lange sensibilisierten und künstlich langsam abgekühlten Zellen die Lichtempfindlichkeit in einigen Tagen sehr nachließ. Man kann zu guten lichtempfindlichen Zellen von mittlerem Widerstande (100 000 Ohm) gelangen, wenn man die Zelle bei 200 Grad C drei Stunden lang erwärmt, sodann langsam (während einer halben Stunde) auf die Zimmertemperatur abkühlen läßt, wobei man Sorge trägt, daß noch vor der gänzlichen Abkühlung die Zelle entweder in einen hermetisch verschlossenen Raum gebracht (luftdichte Glasglocke oder durchsichtige Ölschicht), oder mit einem farblosen Lack überzogen wird (Zaponlack).

Wenn man bei einer so hergestellten Selenzelle den Verlauf der Widerstandsänderungen bei der Belichtung und Verdunkelung genau untersucht, so findet man, daß die Widerstandsänderungen den Lichtänderungen nicht momentan folgen, sondern gegen diese eine gewisse zeitliche Verschiebung aufweisen.

Abbildung 57 zeigt graphisch den Verlauf der Widerstandsänderungen einer normalen Zelle, wenn die Zelle durch eine 16kerzige Glühlampe aus der Entfernung von 30 cm während 5 Minuten gleich-

mäßig belichtet war und dann, als die Zelle ihren kleinsten Widerstand erreicht hatte, also der Zeiger des Instrumentes sich nicht mehr bewegte, plötzlich ganz verdunkelt wurde. Wie man sieht, vergrößert sich die Leitfähigkeit der Zelle (d. h. der Widerstand vermindert sich) zuerst plötzlich, dann erreicht sie, langsam sich umbiegend, einen konstanten Wert. Jetzt tritt die Verdunkelung ein, während welcher

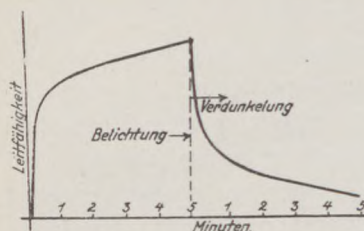


Abbildung 57.

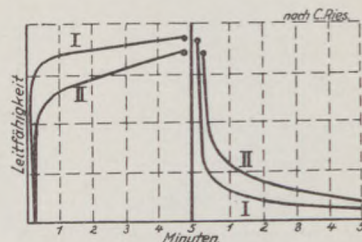


Abbildung 58.

die Zelle zuerst rasch, dann langsam ihre Leitfähigkeit verliert; die charakteristische Kurve nähert sich mit sehr kleiner Biegung asymptotisch dem ursprünglichen Wert des Dunkelwiderstandes. Diese Erscheinung, nämlich daß die Zelle nur mit einer gewissen Verspätung den sie betreffenden Lichtänderungen zu folgen vermag, nennt man, wie bereits erwähnt, die „Trägheit“ der Zelle, und man unterscheidet daran zweierlei: die Belichtungsträgheit und die Verdunkelungsträgheit. Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß die Verdunkelungsträgheit größer ist, denn während die Zelle bei der Belichtung den Höchstwert der Leitfähigkeit in 3 bis 5 Minuten erreicht, gewinnt sie den ursprünglichen Wert des Dunkelwiderstandes erst nach beträchtlich längerer Zeit wieder. Bei einer guten Zelle macht auch dies nur 15 bis 20 Minuten aus, aber es gibt auch Zellen, die erst nach Tagen den Anfangswert erreichen.

Wenn man die charakteristischen Trägheitskurven mehrerer Zellen miteinander vergleicht, so gewahrt man die großen Unterschiede. Die Kurve I der Abbildung 58, welche den Lichtänderungen schneller (genauer) folgt, ist die Trägheitskurve einer sogenannten „weichen“ Zelle, welche langsam bei hoher Temperatur sensibilisiert und dann langsam abgekühlt wurde. Die Kurve II ist das Charakteristikum der Trägheit einer „harten“ Zelle, welche bei niedriger Temperatur (130 Grad) sensibilisiert und dann rasch abgekühlt wurde. Wenn man die Zelle nahe an ihrem Schmelzpunkt, also beiläufig 215 Grad C, lange erwärmt und sehr langsam abkühlt, lernen wir eine neue Eigenschaft der Zelle, die „Ermüdung“, kennen. Die Trägheitskurve einer ermüdenden Zelle zeigt Abbildung 59. Wie man sieht, steigt

die Kurve bei gleichmäßiger, starker Belichtung zuerst sehr steil an, dann, statt allmählich steigend sich dem Höchstwerte zu nähern, sinkt zuerst die Leitfähigkeit, und dann verläuft die Kurve fast parallel zur X-Achse. Eine solche Zelle eignet sich, wie wir sehen werden, besonders zur Registrierung schwacher, aber mit großer Frequenz stattfindender Lichtänderungen.

Über den Grund der Trägheit besitzen wir, ebenso wie über die Lichtempfindlichkeit des Selen nur Annahmen; die endgültige Klärung fehlt bisher. Trotzdem ist es interessant, einige dieser Hypothesen zu besprechen, denn obwohl sie keine befriedigenden Erklärungen geben, kann man doch einige praktische Maßregeln aus ihnen folgern.

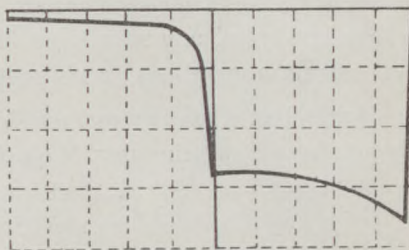


Abbildung 59.

Moser erklärt die Lichtempfindlichkeit des Selen damit, daß zwischen dem Selen und den Elektroden nur eine lose Verbindung besteht; das Selen dehnt sich angeblich bei der Absorption der sichtbaren Strahlen aus und erzeugt hierdurch einen besseren Kontakt mit den Elektroden.

Bidwell, von der Tatsache ausgehend, daß die Lichtempfindlichkeit des Selen durch Zugabe von z. B. 0,5 Prozent Silber oder anderen Metalles vermehrt und die Trägheit vermindert wird, folgert daraus, daß die Leitfähigkeit des Selen durch die jedenfalls vorhandenen verunreinigenden Metallteilchen (Seleniden) verursacht wird, welche sich unter der Einwirkung des Lichtes bilden.

Nach Siemens ist das graue kristallinische Selen eine feste Lösung der gut leitenden metallischen und einer schlecht leitenden Modifikation, deren gegenseitiges Mengenverhältnis sich infolge Einwirkung des Lichtes verändert.

Korda sieht in der Lichtempfindlichkeit eine photoelektrische Erscheinung, ähnlich der, welche bei den Schwefelkristallen nachweisbar ist.

Nach Weigel stammt die Lichtempfindlichkeit des Selen von den absorbierten und in gewissen Mengen immer vorhandenen Wasserteilchen, die unter der Einwirkung des Lichtes ihre Leitfähigkeit verändern. Er folgerte daraus, daß eine Zelle, wenn man sie in ein Phosphorpentoxyd enthaltendes Glasgefäß bringt, ihre Lichtempfindlichkeit gänzlich verliert. Demgegenüber kann darauf verwiesen werden, daß

es eine, unzählige Male bewiesene Tatsache ist, daß unter dem Einfluß der Feuchtigkeit die Zelle ihre Lichtempfindlichkeit einbüßt.

Nach P f u n d und R i e s ist die Leitung im Selen seinem Charakter nach elektronisch. Das Licht ruft bei seiner Absorption Resonanz in den Atomen hervor. Diese Resonanz macht Elektronen frei und vermehrt dadurch die Zahl der zur Leitung des Stromes verfügbaren Elektronen, somit auch die Leitfähigkeit.

Außer diesen Erklärungen gibt es noch eine Reihe anderer Annahmen, die den obigen ähnlich sind; aber bisher wurde keine derselben bewiesen, und man kann für jede derselben stützende Beweise vorbringen, aber ebenso auch gegen jede Einwendungen erheben.

Ich selbst ging bei meinen Versuchen mit dem Selen von einer Hypothese aus, welche der M o s e r 'schen Annahme am ähnlichsten

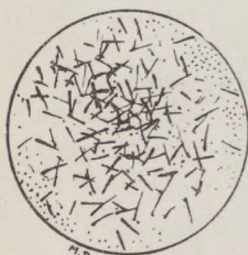


Abbildung 60.

ist und welche, obwohl sie schon oft von vielerlei Seiten verneint wurde, dennoch die meiste Wahrscheinlichkeit besitzt und die meisten praktisch verwertbaren Resultate ergibt. Ich verwandte bei den Sensibilisierungen neben den einzelnen Zellen Begleitpräparate, welche nach den verschiedenartig ausgeführten Sensibilisierungen immer mikroskopisch untersucht wurden. Das Resultat war, daß die größere Lichtempfindlichkeit immer jene Zellen zeigten, bei welchen man in größerer Zahl die Nadelkristalle feststellen konnte (Abbildung 60). Aus dieser Tatsache kann man folgern, daß diese Nadelkristalle gemeinsam einen losen Leiter bilden, welcher unter der Wirkung des Lichtes als Kohärer dient oder infolge der durch Wärmewirkung hervorgerufenen Ausdehnung als Mikrophonkontakt wirkt.

Von dieser Annahme ausgehend, stand eine doppelte Aufgabe vor mir, erstens, jene Sensibilisierungsumstände zu erforschen, bei welchen sich die meisten Nadelkristalle bilden, zweitens den Zusammenhang zu finden, welcher zwischen dem Verhalten der Nadelkristalle und den Eigenschaften der Zelle besteht.

Die erste Aufgabe war leicht zu lösen: Ich ließ einen automatisch regulierbaren Thermostat anfertigen, in welchem die Sensibilisierung von Präparaten unter mikroskopischer Beobachtung vonstatten ging. Das Resultat war bald erlangt. Die Nadelkristalle bildeten sich am günstigsten bei solchen Präparaten, welche vor ihrer Sensibilisierung vollkommen amorph waren und sich in möglichst gleichmäßigen, fein

verteilten Tröpfchen auf dem Glas niederschlugen. Wenn man das Präparat bis in die unmittelbare Nähe des Schmelzpunktes bringt und es dort einige Minuten lang hält, alsdann plötzlich auf 190 Grad C abkühlt und nach zwei Stunden langer Erwärmung derart auf Zimmertemperatur bringt, daß von 130 Grad C ab die Abkühlung rasch vor sich geht, so bilden sich die Nadelkristalle in großer Anzahl. Die Größe der Kristalle hängt von der Zeitdauer ab, während welcher das Präparat unmittelbar unter der Schmelztemperatur gehalten wurde. Außer diesem interessanten Ergebnis hat die mikroskopische Untersuchung auch einen interessanten Beweis zur Stützung der Hypothese gegeben, nämlich: je größer die Nadelkristalle sind, um so kleiner ist der Widerstand der Zelle und um so größer ist deren Trägheit. Je kleiner dagegen die Kristalle sind, um so größer ist der Widerstand und um so kleiner die Trägheit der Zelle, was ganz mit der Annahme übereinstimmt, daß es sich dabei um mechanische Bewegungen der Kristalle handelt, bei denen die losen Kontakte kleinerer Anzahl einen kleineren Widerstand und demnach die größeren Kristalle langsame Bewegungen (d. h. größere Trägheit) verursachen und umgekehrt. Übrigens ist die Tatsache, daß die Zellen mit größerem Widerstand lichtempfindlicher und weniger träge sind, von sämtlichen Forschern und ihren praktischen Erfahrungen bestätigt worden. Selbstverständlich ist auch hier die Zunahme der Trägheit mit der Schichtdicke zu erklären, und zwar in der Weise, daß das Eindringen des Lichtes allmählich, evtl. durch Vermittlung geschieht.

Der Einwand, den man gegen diese Wärmeausdehnungshypothese stellen kann, daß nämlich die Selenzelle entgegen dem Verhalten der Zellen aus Ruß auch dann noch funktioniert, wenn man einen intermittierenden Lichtstrahl durch eine Alaunlösung auf sie fallen läßt, hat keinen absoluten Wert. Es ist zwar eine Tatsache, daß die Zellen auch dann noch arbeiten, aber einerseits ist die absolute Undurchlässigkeit der Alaunlösung nicht zu beweisen, andererseits ist es fraglich, ob nicht in der Schicht selbst eine Veränderung der Lichtschwingungen stattfindet. Andererseits übertreffen die auf Grund dieser Hypothese hergestellten Zellen in jeder Hinsicht sämtliche bisherigen Zellen ganz bedeutend.

Von den obenerwähnten Annahmen ausgehend, mußte ich, einerseits um der Sensibilisierungstemperatur genauer folgen zu können, andererseits um die Reaktions-Temperaturänderungen zu erleichtern, eine solche Zellenunterlage herstellen, deren Wärmekapazität minimal ist. Der Zellenkörper (Abbildung 61) besteht aus zwei Kupferbacken a und b, welche durch zwei isolierte Schrauben c und d gegeneinander

gepreßt werden. In den durch die Backen gebildeten und in Wirklichkeit 1 mm breiten Spalt sind 12 Paar (24 Stück) einzelne 0,03 mm dicke Platin- oder Stahlplättchen als Elektroden eingesetzt, von

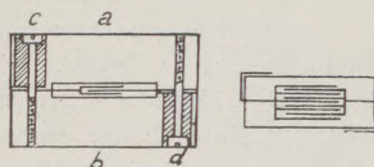


Abbildung 61.

welchen 12 mit der einen Backe, 12 mit der anderen metallisch verbunden, aber voneinander durch Glimmer isoliert sind. Die negativen und positiven Elektroden dringen kammartig 1 mm tief ineinander, hierdurch eine Elektrodenfläche von

1 qmm bildend. Es muß betont werden, daß das Zusammendrängen der 24 Elektroden auf diesen Raum nur bei besonderer Sorgfalt und unter Verwendung entsprechender Kunstgriffe möglich ist.

c) Andere lichtempfindliche Zellen

Bisher haben wir uns unter den Organen, die zur Lichtwahrnehmung dienen, hauptsächlich mit den Selenzellen befaßt; die übrigen lichtelektrischen Erscheinungen haben wir nur kurz erwähnt. In neuerer Zeit haben verschiedene Forscher ihre Aufmerksamkeit, infolge der Trägheit der Selenzelle, immer mehr anderen lichtelektrischen Erscheinungen zugewendet. Die neuerdings erzielten Resultate zeigen aber noch immer keine derartige Verbesserung, die ihre Verwendung für die Zwecke des Sprechfilms günstiger erscheinen läßt. Damit wir aber keine der etwa vorhandenen Lösungsmöglichkeiten unbeachtet lassen, werde ich auch über diese Erscheinungen und die Resultate, die mit ihrer Hilfe erreicht wurden, berichten. Ich möchte aber schon vorweg bemerken, daß von allen diesen lichtelektrischen Erscheinungen — auf Grund meiner eingehenden Versuche bin ich zu dieser Ansicht gekommen — eine gute Selenzelle noch immer das beste Mittel ist.

Den Gegenstand der vergleichenden Versuche bildeten folgende lichtwahrnehmenden Organe: 1. Selenzellen, 2. lichtelektrische Elemente, 3. sogenannte mechanische Zellen, 4. Photozellen.

Die Selenzellen kennen wir schon, darum soll die ungefähre komplette Serie der Selenzellen auf Abbildung 62 nur zur Ergänzung dienen. Das Resultat der Selenzellenversuche war die Zelle Nr. 14, mit 42 Elektroden pro Millimeter.

Auch die verschiedenen lichtelektrischen Elemente, deren lange Reihe R. E. Liesegang in seinem Buche „Beiträge zum Problem des elektrischen Fernsehens“ (Liesegang-Verlag, Leipzig 1899) aufzählt, wurden untersucht.

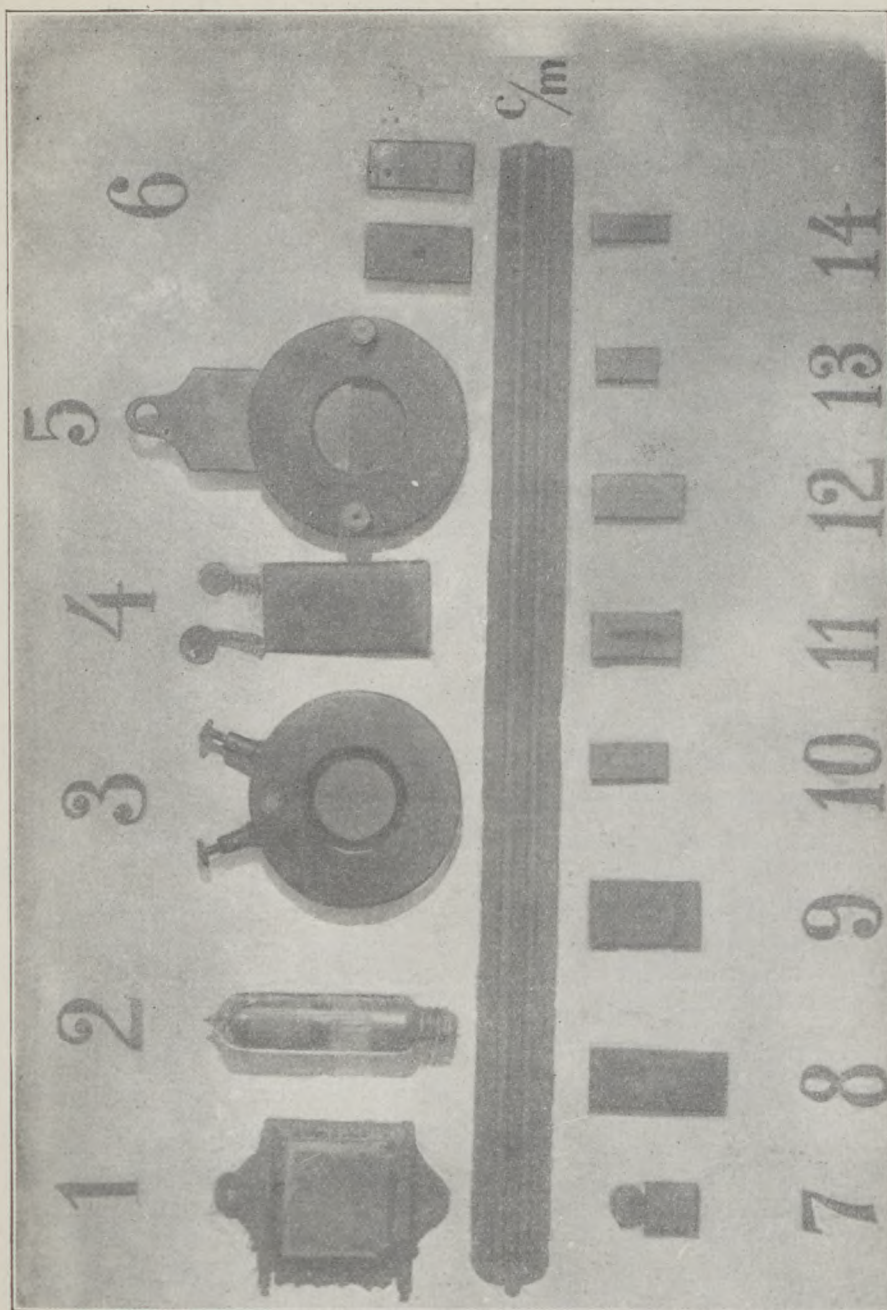


Abbildung 62.

Bekanntlich hat E. Becquerel schon im Jahre 1839 unmittelbar aus dem Lichte Elektrizität herzustellen versucht. Becquerel entdeckte nämlich, daß, wenn man in mit einigen Tropfen Säure angesäuertes

Wasser zwei Metallplatten stellt und die eine beleuchtet, ein an die Platten geschaltetes Galvanometer das Vorhandensein eines elektrischen Stromes anzeigt.

Wenn Becquerel z. B. zwei Metall-Platten (Messing) in mit Salpetersäure angesäuertes Wasser legte und die eine belichtete, so stellte

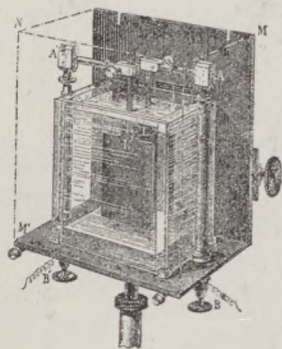


Abbildung 63.

diese Platte gegenüber der anderen einen negativen Pol dar. Wenn er aber vorerst dieses Lichtelement an eine andere Batterie schaltete, wodurch die eine Platte schwach oxydierte, arbeitete sie bei der Belichtung als positive Platte.

Wenn er statt Messingplatten silberne Platten benutzte, so wurde die belichtete Platte immer positiv, auch wenn er sie vorher an eine Batterie schaltete.

Wenn er aber Kupferplatten in schwefelsaures Kupferoxyd, Zinkplatten in Zinkvitriol, Eisenplatten in Eisenvitriol, Eisen in Eisenchloridlösung, Bleiplatten in Blei-Azetatlösung legte und die eine Platte beleuchtete, so war die beleuchtete Platte negativ.

Bei diesen „lichtelektrischen Elementen“ entsteht also die elektromotorische Kraft unmittelbar infolge der Lichtwirkung. Diesen Strom nennen wir photoelektrischen Strom.

Becquerel hatte auf dieser Grundlage seinen in der Abbildung 63 abgebildeten Photometer konstruiert. Das ist ein $6 \times 6 \times 5$ cm großes Glasgefäß, in welchem die Halter A — A¹ die reinen Feinsilberplatten L — L¹ isoliert in einem Gefäß halten, welches in 100 g Wasser 2 g schwefelsaures Monohydrat enthält.

Das ganze Element ist in einer lichtdichten Kassette M—N—M¹ eingeschlossen, welche nur auf der Vorderseite eine Öffnung zum Zwecke der Belichtung hat. Die Silberplatten setzen wir vor ihrer Ingebrauchnahme Chlor-, Jod- oder Bromdämpfen aus.

Ein ebensolches Lichtelement — dessen Empfindlichkeit bedeutend größer ist als die des vorhergehenden — kann man herstellen, wenn man in ein Glasgefäß, das dünne Säurelösung enthält (1% Schwefelsäure), eine blanke Platinplatte und hierzu quer eine andere Platinplatte stellt, deren eine Seite mit einer dünnen Selenschicht überzogen ist. Die andere Seite ist durch Lack oder Paraffin isoliert.

Die Herstellung einer Minchinschen Selenzelle, deren Empfindlichkeit gleichfalls außerordentlich groß ist, geschieht auf folgende Weise:

In die 1 mm große Öffnung einer Glasröhre ist ein hineinpassender Aluminiumdraht eingeschoben, und zwar so, daß sich die Glasröhre und das Drahtende berühren. Am gemeinsamen Ende wird eine ungefähr 0,3 mm dicke Selenschicht angeschmolzen, welche wir nach ihrer Erstarrung wieder bis fast zum Schmelzen erwärmen und dann schnell abkühlen. Das Ende des mit diesem Selen versehenen Rohres versenken wir in ein mit Önanthol gefülltes Gefäß (Önanthol — $\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}$ — eine Flüssigkeit, die bei der trockenen Destillation des Rizinusöles entsteht). Den anderen Pol im Gefäß bildet ein Platindraht.

Wenn wir nun den einen Pol einer Batterie an den Platindraht legen, den anderen an ein Galvanometer, von welchem eine Leitung zu dem Aluminiumdraht führt, und wir projizieren das Licht mit Hilfe eines kleinen Brennsiegels von unten gegen das mit Selen versehene Ende des Aluminiumdrahtes, dann haben wir einen unendlich empfindlichen lichtregistrierenden Apparat geschaffen (Abbildung 64).

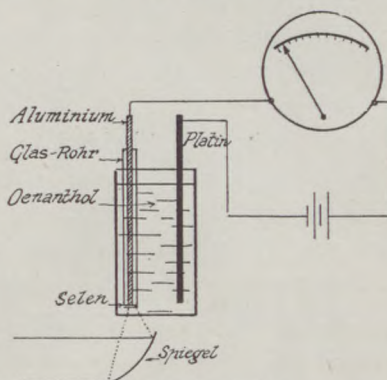


Abbildung 64.

Derartige Kombinationen von lichtempfindlichen Elementen gibt es zahlreiche. Im allgemeinen werden sehr gute Empfindlichkeiten mit ihnen erreicht, wenn auch für gewöhnlich ihre Reaktion mit kleineren und größeren Trägheitserscheinungen verbunden ist. Trotzdem besteht die Möglichkeit, eine Zusammenstellung zu finden, die den Trägheitsfaktor bis zu dem in der Praxis erwünschten Maße senkt.

Eine für die Zwecke des Sprechfilms weniger in Betracht kommende Erscheinung — welche wir nur der Vollständigkeit halber erwähnen — ist die mechanische Wirkung des Lichtes.

Wenn man nämlich aus irgendeinem Stoff ein sehr dünnes Blättchen (Scheibe oder Diaphragma) scharfen Lichtwirkungen aussetzt, welche schnell unterbrochen werden (in der Sekunde mehrere hundertmal), dann geben diese Blättchen einen Ton (Eisen, Wasser, Zink, Blei, Silber, Gold und besonders stark Hartgummi). Bei Glas- und Kohlenplatten entsteht kein Ton, wenigstens ist er nicht wahrnehmbar.

Diese Erscheinung kommt auch dann zustande, wenn wir z. B. aus Glas einen Hörtrichter machen, welcher in Kugelform endet, und wenn

wir diese Kugel mit verschiedenen Stoffen, so mit Kristallen, Jodkalium, Selen, Schwefelblumen, Ebonit, Holz usw. füllen.

Mercadier überzog ein dünnes Glimmerhäutchen mit Ruß und projizierte auf dieses Häutchen die unterbrochenen Lichtstrahlen. Die Anordnung erwies sich als sehr empfindlich.

Leider stellt sich die obige Erscheinung nur beim Intermittieren relativ sehr starker Lichtstrahlen ein. Mercadier behauptet zwar, daß hierzu selbst das Licht einer Petroleumlampe genügt, doch auch bei den sorgfältigst durchgeführten Versuchen fand ich keine Bestätigung für die Richtigkeit dieser Behauptung. Angenommen aber, daß man dies tatsächlich erreichen könnte, so wären die Lichtintensitätsänderungen viele hundertmal so groß als diejenigen, auf welche beim Sprechfilm gerechnet werden kann. Andererseits könnten aber die Membrane bzw. die Mikrophon-Kontakte der relativ großen Frequenz nicht folgen.

Eine weitere Erscheinung, die vom Lichteindruck abhängt und welche H. Herz im Jahre 1887 entdeckte, ist die, daß die Durchschlagkraft eines elektrischen Funkens sich steigert, wenn wir die Funkenstrecke der Wirkung ultravioletter Strahlen aussetzen, und zwar kommt die Wirkung bei den Kathoden zur Geltung, indem sie dort die negative Elektrizität, auch wenn sie nicht durchschlagen würde, auszutreten zwingt. Wenn wir also die Funkspitzen derart voneinander entfernen, daß der Funke bei der gegebenen Spannung nicht mehr durchschlagen kann, so stellt sich der Funke sofort ein, wenn wir die Kathode der Wirkung ultravioletter Strahlen, z. B. einer Quarzlampe, aussetzen.

Mit dieser Erscheinung haben sich außerordentlich viele beschäftigt, so u. a. Righi, Stoleto und besonders Hallwachs.

Stoletow hat auf Grund dieser Erscheinung als erster versucht, eine sogenannte „Photozelle“ herzustellen. Er hat parallel mit einer Metallscheibe von 22 cm Durchmesser in 2 mm Entfernung isoliert ein ebenso großes, feines Metallnetz ausgespannt. Den positiven (+) Pol der Batterie B, die aus 100 Elementen bestand, verband er mit dem Netz N. Den negativen Pol der Batterie hatte er mit der Scheibe S verbunden, und zwar so, daß das Galvanometer G dazwischen geschaltet war (Abbildung 65). Trotzdem das Netz und die Scheibe S durch Luft voneinander isoliert waren, wurde die Nadel des Galvanometers, bei starker Beleuchtung des Netzes, sofort abgelenkt, zeigte also Strom an.

Wenn das Netz N aus einem positiven Metall, z. B. aus Zink, die Scheibe S aus einem negativen Metall, z. B. versilbertem Kupfer, her-

gestellt ist, so wird bei Belichtung ein genügend empfindliches Instrument selbst dann Strom anzeigen, wenn man die Batterie B ausschaltet und ihre Stelle ganz einfach kurzschließt.

Die Versuche von Hallwachs, Hoor, Elster und Geitel, von Bichet und Blondot zeigten, welche Umstände die obige Wirkung hervorrufen. Die Qualität des Lichtes hat hierauf einen besonderen Einfluß. Das unmittelbare Sonnenlicht erzeugt diese Wirkung in kleinerem Maße als das Magnesiumlicht. Am stärksten wirkt das elektrische Licht.

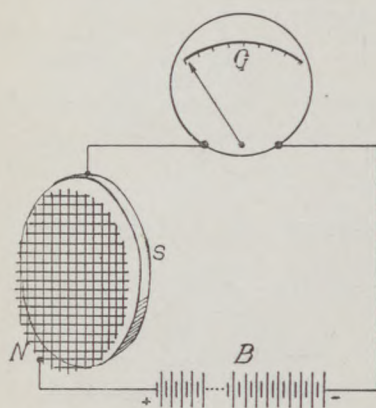


Abbildung 65.

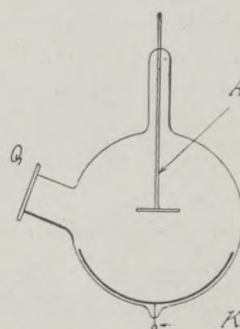


Abbildung 66.

Viel hängt auch von dem Stoff der Elektroden ab. Reines Zink, Aluminium, Magnesium entladen sich durch die Wirkung des Sonnenlichtes, wenn sie negative Ladung haben. Eine noch größere Empfindlichkeit zeigen die Amalgame gewisser Metalle. Der Empfindlichkeit nach ist Kalium das beste, dann kommt Natrium; Quecksilber ist nicht empfindlich, nur das in Quecksilber gelöste Metall kann als Agens betrachtet werden. Die Empfindlichkeitsreihe, die mit der Voltaschen übereinstimmt, ist K, Na, (Mg, Al), Zn, Sn. Die übrigen Metalle Cd, Pb, Cu, Fe, Hg, Pt und die Kohle zeigen keine Lichtempfindlichkeit.

Auch die Umgebung, in welcher das Netz und die Scheibe untergebracht sind, ist von Wichtigkeit. So wirkt z. B. auch der in der Luft eines Raumes vorhandene Sauerstoff hemmend.

Aus diesem Grunde sperrt man solche Photozellen in ein geschlossenes Glasgefäß, aus dem die Luft entfernt ist (evakuiert).

Elster und Geitel haben hierzu bei ihren Versuchen das reine Alkali-Metall als am geeignetsten gefunden. Der metallischen Kaliumoberfläche steht eine andere Elektrode gegenüber, die aus Platin oder aus Aluminium hergestellt ist.

Die Abbildung 66 zeigt die allgemein bekannte Photozelle. Die Zelle selber wird aus Glas gemacht, deren eine Verlängerung bei Q mit einem ebenen Quarzfenster versehen ist, welches die ultravioletten Strahlen durchläßt; da es plan ist, verursacht es keine Brechung. In das Gefäß ist unten der Kontakt der Kathode K eingelötet, deren in das Gefäß hineinragendes Ende mit der innen niedergeschlagenen Silberschicht in Verbindung steht, auf welcher das lichtempfindliche Metall niedergeschlagen ist. Von oben reicht die Aluminium- oder Platinanode hinein. Die Zelle wird nach der Vollendung sorgsam mit Hilfe eines reduzierenden Gases sauerstofffrei gemacht, dann wird sie mit Wasserstoff, He-

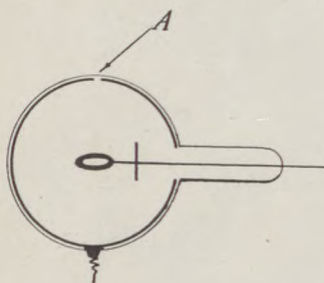


Abbildung 67.

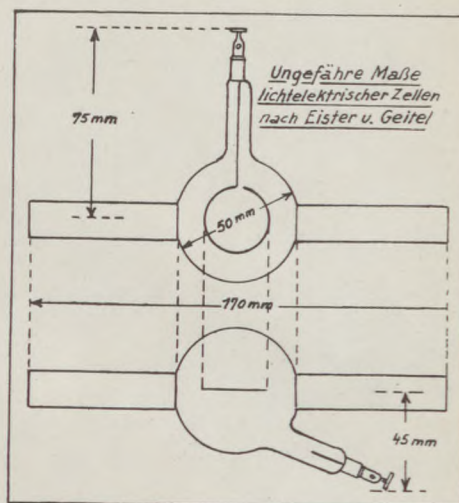


Abbildung 68.

lium, Stickstoff oder mit einem anderen Edelgas gefüllt, das dann wieder zu einem Dichtegrad, wie es die Umstände erlauben, herausgepumpt wird.

Neuerdings wird bei diesen Zellen, damit das ganze projizierte Licht in um so größerem Maße ausgenutzt werden kann, die ganze Kugeloberfläche mit einem Spiegel oder einer lichtempfindlichen Fläche versehen, und nur eine kleine Öffnung wird freigelassen (A in der Abbildung 67). Hierdurch erreicht man, daß das hineinprojizierte Licht durch seine mehrfache Reflexion voll ausgenutzt wird.

Solche und auch ähnliche Photozellen arbeiten praktisch ohne Trägheit. Ihre Stromimpulse sind aber so schwach, daß sie — wie wir es noch sehen werden — wenigstens in ihrer heutigen Form bei der Verstärkung noch sehr große Schwierigkeiten verursachen.

Als Ergänzung wollen wir noch einige Angaben über die am meisten bekannten Photozellen bringen:

Die Photozelle nach Elster und Geitel (fabriziert von der Firma Günther & Tegetmeyer) ist mit ihren Abmessungen aus Abb. 68

ersichtlich. Sie werden mit Kalium-, Kadmium-, Natrium- oder Rubidium-Füllung hergestellt, und zwar so, daß als aktiver Beleg die Hälfte der aus Uviol-Glas oder aus Quarzglas bestehenden Kugeln innen mit der kolloidalen Modifikation dieser Alkalimetalle bedeckt wird. Die andere Elektrode ist Platin- oder Aluminiumdraht. Die Kugel wird nach Fertigstellung evakuiert und eventuell mit Edelgas (Argon) gefüllt, wodurch die Empfindlichkeit etwa um das 100fache erhöht wird. Gasleere Zellen zeigen die Erscheinung des Sättigungsstromes und dessen Proportionalität mit der Beleuchtungsstärke.

Eine andere für Sprechfilmzwecke bereits angewandte Photozelle ist die von O. Preßler hergestellte sogenannte Maschenzelle (Abbildung 69). Die normale Maschenzelle enthält Kalium, das einem gründlichen Reinigungsverfahren unterworfen ist und eine hydrierte Oberfläche besitzt. Das Zellengefäß ist mit gereinigtem Edelgas von einer bestimmten Dichte gefüllt, so daß sich die größte Empfindlichkeit der Zelle bei etwa 100 Volt Vorspannung ergibt. Die Anode ist maschenförmig. Die Empfindlichkeit erreicht etwa einmal 10^{-8} Ampère für die Meterkerze, d. h. es fließt bei Annäherung einer Glühlampe von 25 Kerzen bis auf 50 cm Entfernung von der Zelle ein Strom von etwa 1×10^{-6} Ampère.

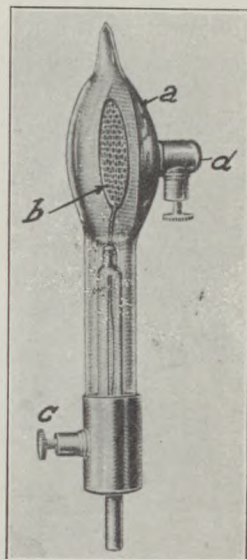


Abbildung 69.

IV. Film- und Kinematographenapparate

Um manche Zusammenhänge richtig erklären zu können, müssen wir noch einige wichtige Angaben über den Film und die Kinematographenapparate bringen, aber nur insofern, als dies unsere anderweitigen Auseinandersetzungen unbedingt erfordern und der enge Rahmen dieses Büchleins es zuläßt.

Der Film selbst — wie er heutzutage allgemein bekannt ist — ist ein durchsichtiges Zelluloidband, das allgemein in 120 m Länge hergestellt wird und auf der einen Seite mit einer lichtempfindlichen Schicht (Emulsion) — meist eine Bromsilber-Gelatine-Emulsion — überzogen ist. An beiden Seiten des Filmstreifens sind Löcher (die

sogenannte „Perforation“) vorhanden, die zur Weiterbeförderung des Filmes dienen, denn in diese Lochreihen greift der Fortbewegungsmechanismus ein. Die Abmessungen des international verwendeten Filmes sind aus Abbildung 70 zu ersehen. Die Bildgröße, die auf diesem Film aufgenommen werden kann, beträgt 18×24 mm. Es ergibt sich also, daß nach der Aufnahme an jeder Seite noch schmale, unbelichtete (nicht beanspruchte) Streifen übrigbleiben, die unter Umständen für die Tonaufnahme verwendet werden können.

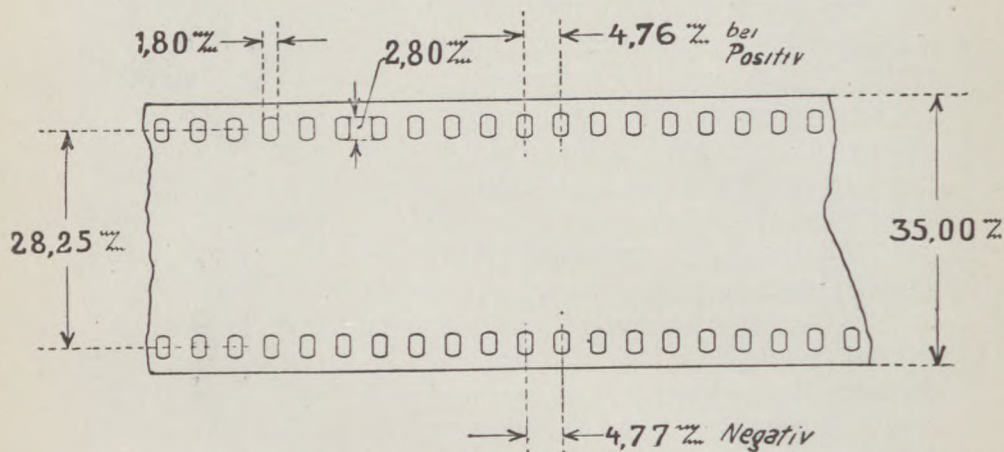


Abbildung 70.

Die Wirkungsweise der Kinematographenapparate ist wohl auch als allgemein bekannt vorauszusetzen. Das Filmband wird ruckweise hinter einem photographischen Objektiv bewegt und zwar so, daß während der Bewegung das Objektiv durch eine rotierende Fläche (Blende) verschlossen wird und die Aufnahme bei dem kurzen Stillstand des Filmstreifens erfolgt. Die so erhaltene Bildserie wird nach Fertigstellung der positiven Kopie durch einen Projektionsapparat in getrennten Einzelbildern, aber in rascher Aufeinanderfolge, vergrößert auf eine Leinwandfläche projiziert. Dabei wird das Filmband ebenfalls ruckweise zwischen einer starken Lichtquelle (allgemein eine Bogenlampe) und den Projektionslinsen fortbewegt, und zwar wieder so, daß die Projektion nur bei den kurzen Stillständen des Filmes erfolgt, während die ruckweisen Bewegungen abgeblendet werden. Die in schnellem Wechsel (16—22 Bilder pro Sekunde) ausgeworfenen Einzelbilder vermischen für unser Auge in ein zusammenhängendes, bewegliches Bild, da unser Auge infolge seiner Trägheit alle Lichterscheinungen, die sich innerhalb einer Achtel Sekunde abspielen, nicht mehr zu trennen vermag.

Was uns am meisten interessiert, ist der Mechanismus, der die rasche, ruckweise Fortbewegung des Filmstreifens bewirkt, weil die Apparatur für Tonfilmaufnahmen dieser Bewegung angepaßt werden muß. Hierbei müssen wir voranschicken, daß es bereits Apparate gibt, bei denen die Filmfortbewegung nicht mehr ruckweise, sondern kontinuierlich geschieht. Die Einzelprojektion jedes Bildes erfolgt mit Hilfe eines optischen Ausgleiches. Leider haben diese neuerdings mehrfach bearbeiteten Ideen noch nicht zu einem praktisch absolut brauchbaren Abschluß geführt, obwohl manche technisch-wissenschaftlich bereits als vollendet angesehen werden können. Wie wir später sehen werden, würden diese Apparate gerade für die Kombination mit einer Tonaufnahme-Apparatur ideale Möglichkeiten bieten; da aber die in der Praxis allgemein verwendeten Apparate mit ruckweiser Filmfortbewegung arbeiten, muß man bei Lösung des Sprechfilmsystems noch mit diesem System rechnen.

Das am meisten eingeführte System ist das in Abbildung 71 schematisch angegebene, sogenannte „Maltheserkreuz-System“. Eine Zahntrommel A greift mit ihren Zähnen in die Perforation des Filmbandes B ein, so daß dieses gezwungen wird, der Bewegung der Trommel zu folgen. Auf der Achse der Trommel A sitzt fest mit dieser verbunden das Maltheserkreuz-Rad C. Unter diesem sehen wir die Scheibe E, die mit der etwas größeren Scheibe F auf der gemeinsamen Achse G befestigt ist, welche durch Zahnradübersetzung schnell gedreht werden kann. Auf der Scheibe E ist ein halbkreisförmiger Ausschnitt K angebracht, und in dessen Mitte sitzt auf der Scheibe F ein Stift L. Wenn nun die Achse G und damit die Doppelscheibe E, F gedreht wird, so schleift diese zuerst an dem Maltheserkreuz-Rad C, ohne es bewegen zu können. Wenn aber der Stift L in den Schlitz des Maltheserkreuz-Rades eingreift, macht dieses eine Vierteldrehung mit und bleibt dann wieder stehen, weil der Stift den Schlitz wieder verläßt. Dieses Spiel wiederholt sich bei jeder Umdrehung der Scheibe E, F. Während der Bewegung — also während das Maltheserkreuzrad den Film „zieht“ — wird das Objektiv durch eine rotierende Blende

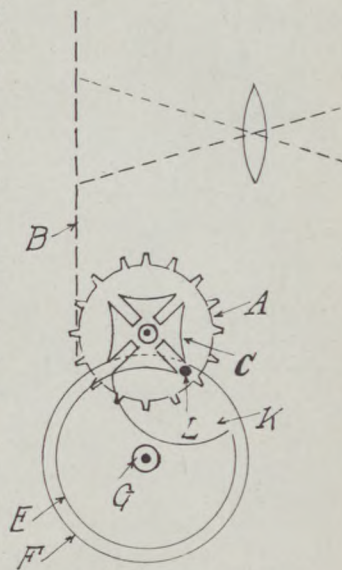


Abbildung 71.

verdunkelt, d. h. gesperrt. Beim Stillstand des Filmstreifens wird bei den Aufnahmeapparaten die Exponierung bewirkt, und bei den Projektionsapparaten erfolgt die Durchleuchtung.

Neben dieser Maltheserkreuzrad-Einrichtung finden in der Praxis noch das sogenannte Schlägersystem (Abbildung 72) und das Greifersystem (Abbildung 73) Verwendung.

Bei dem ersteren wird der Film durch eine Bremsvorrichtung A von der Zahntrommel B gezogen. Ein exzentrisch angeordneter

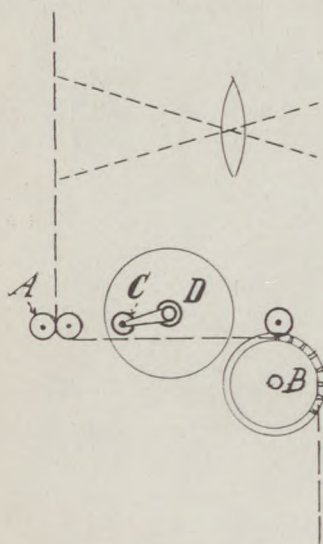


Abbildung 72.

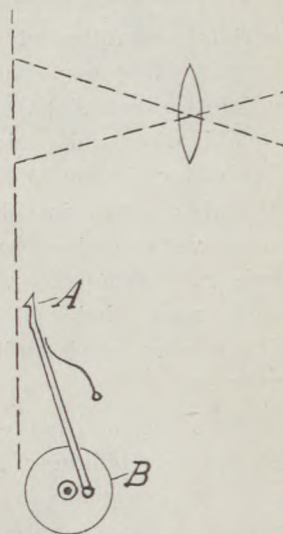


Abbildung 73.

Hammerstift C wird um die Achse D gedreht, so daß er bei jeder Umdrehung einmal auf den gespannten Film schlägt und damit eine ruckweise Bewegung desselben verursacht.

Bei dem Greifersystem (Abbildung 73) wird eine mit schräg zugespitzten Zähnen versehene Gabel A verwendet, die mit dem Exzenterad B auf und ab bewegt wird. Die schräg zugespitzten Zähne der Gabel greifen während der Abwärtsbewegung beiderseits in die Perforation des Filmbandes und ziehen dieses um eine Bildhöhe herunter; bei der Aufwärtsbewegung rutschen die Zähne aus der Perforation heraus, der Greifer schleift am Filmrand entlang „leer“ nach oben, und das Spiel wiederholt sich.

Alle diese Betrachtungen sind deswegen für uns wichtig, weil gegenüber der hier geschilderten ruckweisen Art der Bildaufnahme die Tonaufnahme einen gleichmäßigen Lauf erfordert; infolgedessen hat

der Fortbewegungsmechanismus einen recht großen Einfluß auf die Tonaufnahmen.

Bei allen diesen Systemen ist die Filmführung im großen und ganzen dieselbe: Von einer Trommel wickelt eine Zahntrommel (Speisetrommel) den Film so rasch ab, daß sich vor dem Fortbewegungsmechanismus eine Schleife (Entlastungsschleife) bildet. Zwischen dieser Schleife und dem Mechanismus befindet sich die Belichtungsöffnung (Fensteröffnung). Hinter dem Fortbewegungsmechanismus bildet der Film nochmals eine Schleife; diese wird von der Zahntrommel aufgenommen und zum Aufrollen der Filmtrommel zugeführt.

Die Bewegung des Filmes erfolgt also nur zwischen den Schleifen ruckweise, dagegen zwischen den Trommeln und Zahntrommeln kontinuierlich. Dies sind also die Stellen, wo man eine Tonaufnahme-Einrichtung anbringen kann. Das bedeutet selbstverständlich soviel, als ob zwischen Ton und Bild bei der Aufnahme sowohl als bei der Wiedergabe eine Phasenverschiebung eintritt; dies kommt aber solange nicht zur Geltung, wie die Phasenverschiebung bei der Wiedergabe mit derjenigen bei der Aufnahme genau übereinstimmt. Wohl verstanden, durch diese Phasenverschiebung kann keine Störung in bezug auf die Gleichzeitigkeit (Synchronismus) auftreten, denn sie bleibt innerhalb des Mechanismus und kommt bei der Wiedergabe überhaupt nicht zum Vorschein.

V. Allgemeine Gruppierung der Sprechfilm-Methoden

Bevor wir die Einzelheiten der bereits bestehenden Sprechfilmsysteme näher behandeln, wollen wir diese kurz nach den Grundsätzen, auf denen sie aufgebaut sind, gruppieren.

Wir unterscheiden grundsätzlich 2 verschiedene Methoden:

1. Das Graviervverfahren; hierbei setzen die während der Bildaufnahme entstehenden Schallwellen mechanische Schwingungssysteme in Bewegung, die ihrerseits einen Gravierstift betätigen; dieser fixiert die den Schallschwingungen entsprechenden Schwankungen mechanisch (als Gravur, als feine Rillen) auf eine Platte oder auf den Film selbst.

2. Das photographische System, bei dem die Schallschwingungen Lichtwirkungen auslösen, deren Schwankungen photographisch aufgenommen werden. Hier können wir zwei Untergruppen unterscheiden:

- a) Die Intensitätsmethode, bei der die Schallschwingungen die Intensität einer Lichtquelle beeinflussen, so daß die Tonaufnahme als hellerer bzw. dunklerer, dünnerer oder dickerer Streifen fixiert wird.
- b) Die transversale Methode, bei der die Schallschwingungen die Bewegung eines konstanten Lichtstrahles verursachen; hierdurch wird der Ton graphisch auf dem lichtempfindlichen Film abgebildet, von dem er aber wieder als Intensitätsschwankung „abgenommen“ wird.

Welche von diesen Methoden die beste ist, kann nur die Praxis entscheiden. Ein voreiliges Urteil zu fällen, wäre zwecklos. Allenfalls könnte man prophezeien, daß die Graviermethode als praktische Möglichkeit kaum in Frage kommen dürfte. Die Zukunft gehört dem photographischen System. Ob aber von diesem die Intensitätsmethode oder die transversale Methode praktischer ist, das ist heute noch ein offene Frage. Beide haben Vor- und Nachteile. Es handelt sich lediglich darum, bei welcher von beiden sich die Nachteile zu Gunsten ihrer Vorteile am besten ausschließen lassen.

Im folgenden wollen wir diese Systeme detailliert betrachten mit besonderer Rücksicht auf die praktischen Anforderungen.

VI. Die graphischen Sprechfilm-Methoden

Über diese Systeme haben wir bereits in den früheren Kapiteln gesprochen. An dieser Stelle wollen wir sie auf Grund der bisherigen Erläuterungen noch etwas näher betrachten, um ihren praktischen Wert und ihre evtl. Ausbaumöglichkeiten beurteilen zu können.

Die Edisonsche Einrichtung haben wir schon kennengelernt. Abgesehen von den Synchronismus-Schwierigkeiten und von den Unannehmlichkeiten, die aus der Anwendung von zahlreichen Grammophonplatten entstehen, kann diese Einrichtung auch aus akustischen Gründen keine praktische Zukunft haben. Die mechanischen Schwingungssysteme, die hierbei nötig sind — die Membranen der Schalldosen (sowohl für die Aufnahme als für die Wiedergabe, die Hebelanordnung, die zur Betätigung der Graviernadel verwendet wird usw. — be-

grenzen einen bestimmten Frequenzbereich. Ganz populär ausgedrückt, diejenigen Phonograph- oder Grammophonapparate, die sich besonders gut zur Aufnahme und Wiedergabe der Sprache eignen, sind schon weniger zweckentsprechend für die Wiedergabe von Musik, noch weniger zur Reproduktion von anderen Geräuschen wie z. B. Kanonendonner, Motorgeräuschen usw. Dies gilt besonders dann, wenn alle diese verschiedenen Töne mit derselben (und zwar großen) Lautstärke reproduziert werden sollen. Die Anwendung von mehreren, auf verschiedene Tonbereiche abgestimmten Sprechmaschinen vervielfacht aber wieder die Schwierigkeiten der Handhabung usw.

Die Verbesserung, die Goldschmidt und Meßter, später auch Gaumont in bezug auf einen automatisierten Synchronismus (Gleichlauf) vorgeschlagen haben, bedeutet vom praktischen Standpunkt aus zwar nur einen geringen Fortschritt, soll aber hier als geistreiche Pionierarbeit kurz erläutert werden.

Bei dieser Anordnung sollte der Antrieb des Kinematographprojektors und des Grammophonapparates durch sogenannte Synchronmotoren erfolgen. Um einen ganz genauen Phasen-Synchronismus zu erreichen, sollten die beiden Synchronmotoren mit je einem kreisförmigen Widerstand versehen werden, auf denen ein mit der Motorachse festgekoppelter Schalthebel rotierte. Die beiden Widerstände waren durch Brückenschaltung mit einem Meßinstrument verbunden, dessen Zeiger solange keinen Ausschlag ergab, wie der sich drehende Schalthebel bei beiden Widerständen auf ein und derselben Stelle lief, d. h. solange wie die Motoren synchron waren. Ein Ausschlag am Meßinstrument nach der einen oder anderen Seite kündigte dem Mechaniker eine Verschiebung im Synchronismus an, worauf dieser den voreilenden Motor solange einregulieren mußte, bis der Synchronismus-Zeiger wieder in die Ruhelage kam. Meßter verbesserte später dieses Synchronismus-System noch dadurch, daß er die Ausschläge des Instrumentes zur Erzeugung elektrischer Kontakte benutzte, die die Korrektur der Motoren automatisch durchführten.

Bei dem Verfahren von de Pineaud sind alle Synchronismus-Einrichtungen überflüssig, da er, wie wir schon wissen, die Tongravur unmittelbar am Film anzubringen versuchte. Sein Plan ist aus Abbildung 74 ersichtlich. Am Filmaufnahmeapparat, und zwar dort, wo der Film von der oberen Filmtrommel durch die Speisetrommel nach der Aufnahmestelle (Fensteröffnung) gezogen wird, wo also der Film noch kontinuierlich läuft, ordnete de Pineaud ein Telephon an. Auf der Membrane dieses Telephonhörers sitzt der Gravierstift

und drückt leicht gegen den Film, der an der betreffenden Stelle durch die Rolle i gestützt wird. Das Telephon g wird mit einem Mikrophonrelais nach Mercadier e, d an die Batterie f angeschlossen. Das Mikrophonrelais wurde von dem Empfangsmikrophon a durch den Transformator c betätigt. Wir sehen hier also eine primitive Verstärker-

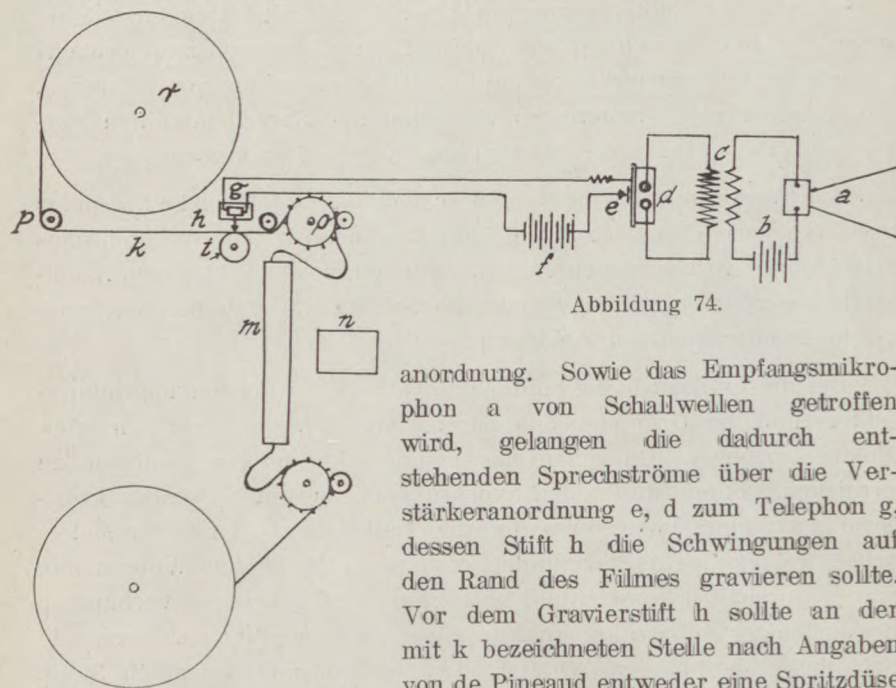


Abbildung 74.

anordnung. Sowie das Empfangsmikrophon a von Schallwellen getroffen wird, gelangen die dadurch entstehenden Sprechströme über die Verstärkeranordnung e, d zum Telephon g, dessen Stift h die Schwingungen auf den Rand des Filmes gravieren sollte. Vor dem Gravierstift h sollte an der mit k bezeichneten Stelle nach Angaben von de Pineaud entweder eine Spritzdüse angebracht werden, die Lösungsmittel auf den Film bläst, oder ein Vorwärmer, der das Filmmaterial erweichen und zur Gravierung vorbereiten sollte.

Auf ähnliche Weise wie bei der Aufnahme wollte de Pineaud auch ein Mercadier-Mikrophonrelais als Verstärker für die Wiedergabe verwenden, was den Anschein erweckt, als ob er bereits mit den praktischen Schwierigkeiten gerechnet hätte. Trotzdem kann diese oder eine ähnliche Anordnung (auch zum Beispiel bei Anwendung von Röhrenverstärkern usw.) kaum zu einem praktischen Erfolg führen; denn man kann von einem verhältnismäßig groben Schwingungssystem, wie es eine Gravieranordnung immer darstellt, niemals erwarten, daß es alle notwendigen Tonbereiche bzw. Frequenzen umfaßt. Außerdem dürfte es kaum gelingen, die Erschütterungen, die von dem Kinoapparat selbst ausgehen, für die Gravierung unschädlich zu machen, d. h. diese Erschütterungen werden eine ungestörte, reine Gravur einfach unmöglich machen.

Unter dem Namen „Vitaphon“ wurde neuerdings von der Western Electric Comp. in Zusammenarbeit mit der Bell Telephon Comp. ein Tonfilm ins Leben gerufen, der zur Zeit in mehreren Theatern von Warner Brothers vorgeführt wird.

Im Prinzip ist das „Vitaphon“ nichts anderes als eine mit den heute zur Verfügung stehenden technischen Mitteln vervollkommnete Form des Original-Kinetophons von Edison. Man hat erkannt, daß die Schallgravur eine um so bessere akustische Reproduktion gibt, je größer die Aufnahmeenergie und je kleiner die Beanspruchung ist, die bei der Wiedergabe von der Nadel verlangt wird. Dementsprechend wird die Graviernadel bei der Aufnahme der Vitaphonplatten nicht unmittelbar von der Schallempfängermembrane betätigt, sondern durch ein elektromagnetisches Schwingungssystem, welches seinerseits die den Schallschwingungen entsprechenden Stromschwankungen über eine große Verstärkeranlage vom Aufnahmемikrophon erhält. Hierdurch wird erreicht, daß die Schauspieler nicht unmittelbar an das Aufnahmeorgan heranzutreten brauchen, sondern daß die Aufnahme mit entsprechend gewähltem Verstärkungsgrad auch aus größeren Entfernungen erfolgen kann. Die Originalaufnahme geschieht im übrigen, genau wie bei den normalen Phonographen, durch Eingravieren äußerst feiner Rillen in weiche Wachsplatten, die bereits bei Verwendung nicht allzu großer Platten eine lange Aufnahme ermöglichen. Von der Originalaufnahme werden dann in üblicher Weise auf elektrolythischem Wege Matrizen hergestellt, mit denen eine beliebige Anzahl Kopien gepreßt werden.

Bei dem Wiedergabeapparat des „Vitaphons“ wird der Bildprojektor und der Tonapparat synchron betätigt. Die Schwingungen, die bei der Nadel entstehen, erwecken nicht unmittelbar die Schallschwingungen, sondern rufen, da die Nadel mit einem magnetischen Schwingungssystem gekoppelt ist, Stromschwankungen hervor. Diese kleinen Stromschwankungen werden durch große Verstärker zur Betätigung von mehreren Riesenlautsprechern verwendet. (Eine ähnliche Einrichtung wird bereits bei den Rundfunk-Schallplattenkonzerten angewandt.) Durch diese Anordnung wird der große Nachteil des Edison Kinetophons vermieden, nämlich daß die Schallplatte bei Erzeugung von großen Schallenergien durch die Nadel überanstrengt wird und infolgedessen die Rillen zu rasch deformiert werden. Bei der beschriebenen elektrischen Wiedergabeeinrichtung ist die Beanspruchung des Phonogramms durch die Nadel minimal, weil die Lautstärke erst durch elektrische Verstärker erzielt wird. Ferner ver-

mindern sich die typischen Nebengeräusche, die auch sonst bei Sprechmaschinen durch die Reibung zwischen Nadel und Platte entstehen, da bei dieser Einrichtung der Nadeldruck gegen die Platte sehr gering ist.

Das Vitaphon stellt eine schöne werkstattechnische Leistung dar, für eine allgemeine Verbreitung kann es aber nicht in Frage kommen, da es trotz der bedeutenden Verbesserung in bezug auf Naturtreueheit und Plastik noch sämtliche anderen Fehler aufweist, die wir bei der Edison'schen Einrichtung besprochen haben.

VII. Die photographischen Sprechfilm-Methoden

Die photographischen Sprechfilmmethoden fangen, wie bekannt, mit dem Ruhmer'schen „Photographophon“ an. Wie wir schon wissen, besteht der Grundgedanke aller dieser Methoden darin, daß man durch die Schallschwingungen Lichtschwankungen (und zwar entweder Lichtintensitätsschwankungen oder Ablenkungen eines konstanten Lichtstrahles) erzeugt; diese Lichtschwankungen werden dann gleichzeitig mit den Bildaufnahmen auf dem lichtempfindlichen Film aufgenommen und fixiert.

Bei der Reproduktion des Tonfilmes werden die durch die Tonschwingungen beeinflussten Teile des Filmes zwischen einer konstanten Lichtquelle und einer lichtempfindlichen elektrischen Zelle hindurchgezogen, so daß die verschieden geschwärzten Teile des Tonfilmes die Lichtstrahlen der Lichtquelle verschieden stark auf die lichtempfindliche Zelle auftreffen lassen; hierdurch entstehen in der letzteren den Tonschwingungen entsprechende elektrische Schwankungen (Widerstandsschwankungen oder Photoströme), die dann mit Hilfe von Verstärkereinrichtungen die Lautsprecher betätigen.

Der in die Augen springende Vorteil aller dieser Methoden besteht darin, daß die photographisch aufgenommenen Tonschwingungen bei den Aufnahmen nicht jenen Störungen unterliegen, die bei der graphischen Methode dadurch entstehen, daß die Graviernadel bei ihren Schwingungen einen Widerstand durch das auszugravierende Material erleidet; dieser rückwirkende Widerstand ist von der Geschwindigkeit und von der Amplitudengröße abhängig und führt infolgedessen zu Verzerrungen. Beim photographischen Verfahren fällt bei der Aufnahme jegliche Rückwirkung fort; dasselbe gilt für die

Wiedergabe, weil der durchleuchtende Lichtstrahl keine Abnützung verursachen kann. Ebenso treten die Nebengeräusche, die beim graphischen Verfahren durch das Schleifen der Nadel auf den Walzen entstehen, nie auf. Ein anderer gewaltiger Vorteil der photographischen Methode ist ihre bedeutend leichtere Handhabung und ferner der Umstand, daß die Tonaufnahme hierbei viel weniger mechanischen Beschädigungen unterworfen ist.

a) „Ruhmer's Photographophon“

Die prinzipielle Anordnung von Ruhmer zur Aufnahme und Wiedergabe von Schallschwingungen ist aus Abbildung 75a ersichtlich. Die Schallschwingungen werden von dem Mikrophon A aufgenommen, welches mit der Batterie B und mit der Primärwicklung des Transformators C verbunden ist. Die Sekundärwicklung des Trans-

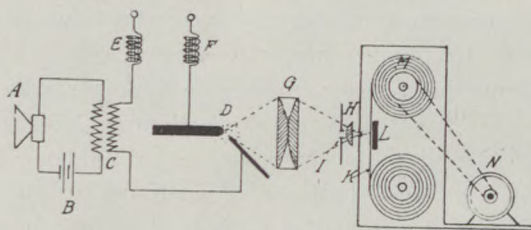


Abbildung 75 a.

formators ist in die eine Speiseleitung der Gleichstrom-Bogenlampe D geschaltet zwecks Überlagerung der Sprechströme. Alle beiden Speiseleitungen sind gegenüber der Stromquelle der Bogenlampe durch Drosselspulen E und F für die Sprechströme gesperrt. Das schwankende Licht der Bogenlampe wird durch die Linse G gegen den Schlitz I eines lichtdichten Kästchens projiziert, innerhalb dessen der lichtempfindliche Film K durch den Elektromotor N von der Rolle M abgewickelt wird und zwar mit einer Geschwindigkeit von 2 m pro Sekunde. Vor dem Durchleuchtungsschlitz sehen wir noch eine Zylinderlinse H, um eine schmale und scharfe Projektion des Lichtstreifens zu erzielen. Hinter dem Film K, dort wo sich der Durchleuchtungsschlitz befindet, ist ein undurchsichtiger Schirm L angeordnet, welcher das unerwünschte Eindringen von Licht in den lichtdichten Kasten und damit die vorzeitige Belichtung des Filmes verhindert. Der besprochene Film wird nach der Aufnahme in der üblichen Weise entwickelt und fixiert. Hierdurch entsteht ein Filmband (Abbildung 76), auf welchem in scheinbarer Unordnung schmälere und breitere, dunklere und hellere Querstreifen zu erkennen sind; das sind die durch die Schall-

schwingungen hervorgerufenen Intensitätsstreifen. Diese Streifen vertreten als Intensitätsunterschiede die Stelle der Amplitudenveränderungen der einzelnen Tonschwingungen.

Zur Wiedergabe des Tones wird der Film nach dem Trocknen aufgerollt und in einem anderen lichtdichten Kästchen (Abbildung 75b)

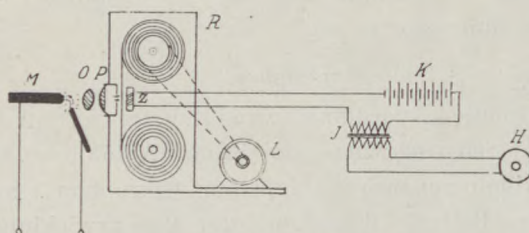


Abbildung 75 b.

in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit wie bei der Aufnahme durch den Elektromotor L abgewickelt. Eine konstant brennende Bogenlampe M (oder irgendeine andere starke Lichtquelle,

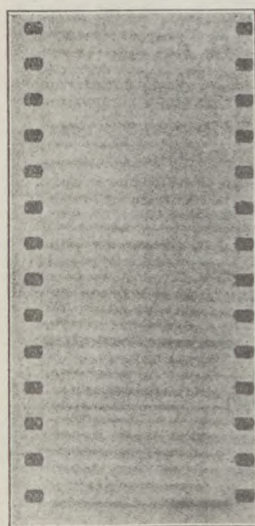


Abbildung 76.

wie z. B. die Nernstlampe, Azetylenlicht usw.) durchleuchtet den Film auf dem Wege über eine optische Anordnung, welche aus der Linse O, der Cylinderlinse P und einem Schlitz besteht, ebenso wie bei der Aufnahme; das schmale Lichtbündel dringt hierbei durch den Film durch und beleuchtet eine Selenzelle Z, mit der eine Batterie K von 50 Volt Spannung und über einen Transformator I ein Hörer H verbunden sind. Die äußerst rasch durchlaufenden Intensitätsstreifen des Filmes blenden den konstanten Lichtstrahl für die lichtempfindliche Selenzelle der Aufnahme entsprechend verschieden stark ab und erzeugen dadurch in der Selenzelle elektrische Widerstandsänderungen, die den Schwankungen des Aufnahmемикrophons entsprechen, so daß wir im Hörer H alles wiederhören, was vorhin in das Mikrophon hineingesprochen wurde. Für die Wiedergabe ist es gleichgültig, ob wir die Original-Negativaufnahme oder eine positive Kopie derselben „abspielen“, da die beeinflussenden Sprechströme sowieso Wechselströme sind.

Die durch Ruhmers Photographophon wiedergegebenen Töne waren sehr schwach und nur im Kopfhörer hörbar, einerseits, weil die Mittel,

die hierbei angewandt wurden, nicht genügend empfindlich waren, andererseits, weil damals noch kein trägheitsloser Verstärker zur Verfügung stand. Auch bezüglich der Naturtreue und Verzerrungsfreiheit lassen diese Aufnahmen noch viel zu wünschen übrig, weil die Aufnahmeorgane, wie die Bogenlampe und das Mikrophon, nicht genügend konstant waren und die mechanische Führung des Filmes noch recht primitiv war. Jedenfalls waren aber hierdurch die grundlegenden Bausteine des Sprechfilmes gegeben, und alle heutigen Methoden sind, wenn auch mit verschiedenen Detailänderungen, auf dieser Basis aufgebaut. Eine kleine prinzipielle Änderung wurde nur von Berglund im Bezug auf das Aufnahmeverfahren angegeben, die wir im folgenden besprechen wollen.

b) Die transversale Aufnahmemethode von Berglund

In früheren Kapiteln haben wir schon besprochen, daß wir die Amplituden der Schallschwingungen nicht nur in Lichtintensitäts-

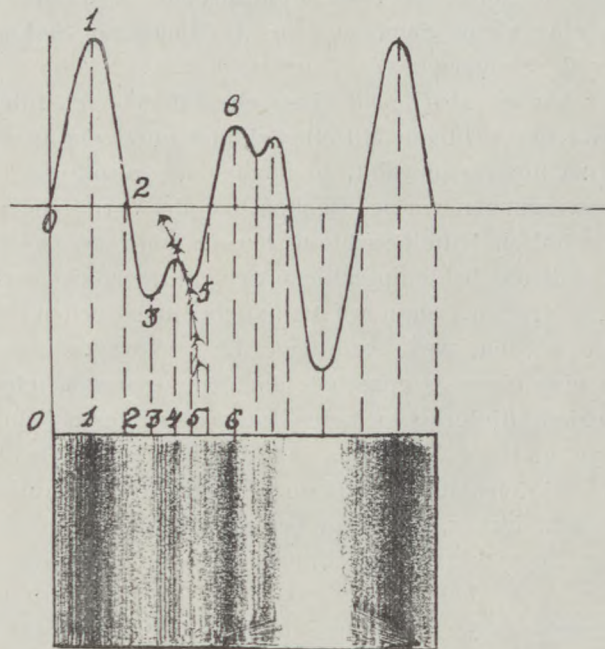


Abbildung 77.

schwankungen umändern können, sondern daß wir auch imstande sind, sie zur Ablenkung eines konstanten Lichtstrahles zu benutzen. Wenn wir den abgelenkten, schwingenden Lichtstrahl durch einen Polygonspiegel „auseinanderziehen“ und auf eine Schirmwand proj-

zieren, so können wir die Schallschwingungen graphisch darstellen, z.B. so, wie eine „a“-Schwingung in Abbildung 77 aussieht. Auf dieser Abbildung können wir aber auch dieselbe Schwingung in Intensitätsstreifen erblicken. Wenn die Linie „o“ bei der graphischen Methode (nicht zu verwechseln mit der Graviermethode!) die Strahlenführung im Ruhezustand bedeutet, so soll sie bei der Intensitätsmethode eine Mittelbelichtung für den lichtempfindlichen Film darstellen. Werden nun beide Systeme durch den Vokal a in Schwingungen versetzt, so bewegt sich der Lichtstrahl bei der graphischen Methode zuerst aufwärts bis zum Punkt 1. In gleicher Zeit entsteht beim Intensitätssystem eine Erhöhung der Intensität, d. h. von Null bis Eins wird der Film nach der Entwicklung eine allmählich sich verstärkende Schwärzung aufweisen. Von Punkt 1 bis 2 sinkt die Schwingung bis zur Linie „o“, gleichzeitig geht bei der Intensitätsmethode die Intensität der Strahlen bis zum Mittelwert (Ruhezustand) zurück, bleibt aber nicht stehen, sondern sinkt von 2 bis 3 noch weiter; der Film wird also weniger bestrahlt als beim Ruhezustand. Von da aus sehen wir wieder eine kleine Steigerung bis 4, danach ein Sinken bis 5, wieder eine große Steigerung bis 6 und so fort.

Wir können also leicht einsehen, daß bei der Intensitätsmethode die Wahl der richtigen Mittelbelichtung eine sehr große Rolle spielt. Ist sie zu niedrig gewählt, so können die negativen (unteren) Teile der Schwingungen verloren gehen, da die Verminderung der zu niedrig gewählten Mittelbelichtung bereits eine so schwache Belichtung ergibt, daß die lichtempfindliche Schicht gar nicht mehr darauf reagiert. Andererseits kann die Mittelbelichtung auch nicht beliebig hoch gewählt werden, weil sozusagen die „Schwärmungsmöglichkeit“ des Filmes eine obere Grenze hat; darüber hinausgehende Schwankungsunterschiede hinterlassen keine Intensitätsunterschiede mehr. Dieser Umstand und die Tatsache, daß die Filmempfindlichkeit sich nicht allen Lichtintensitäts-Schwankungen gegenüber genau linear-proportional verhält, ferner, daß man bei der Wahl der Mittelbelichtung und bei der Entwicklung des Filmes auf die Bildaufnahme Rücksicht nehmen muß, haben scheinbar als ersten Berglund dazu gebracht, sich bei der Aufnahme des Tonfilmes der graphischen Methode zu bedienen und den graphisch erhaltenen Sprechfilm mit der Intensitätsmethode abzuheben.

Abbildung 78a zeigt schematisch die Berglund'sche Methode. Dem Telephon E werden die aufzunehmenden Sprechströme zum Beispiel über eine Verstärkeranordnung zugeführt. Durch die Membrane des Telephons wird das bei F auf feinen Hebeln befestigte Spiegelchen G

in Schwingungen versetzt. Auf das Spiegelchen „G“ treffen die konzentrierten Strahlen der Lichtquelle H auf und werden gegen die geschlitzte Wand C so projiziert, daß der Lichtkegel I im Ruhezustand den dünnen Schlitz D bis zur Hälfte bedeckt. Würde der Film beim Ruhezustand des Spiegelchens G von A bis B abgerollt, so erhielten wir nach dem Entwickeln einen halbseitig geschwärzten Film. Werden

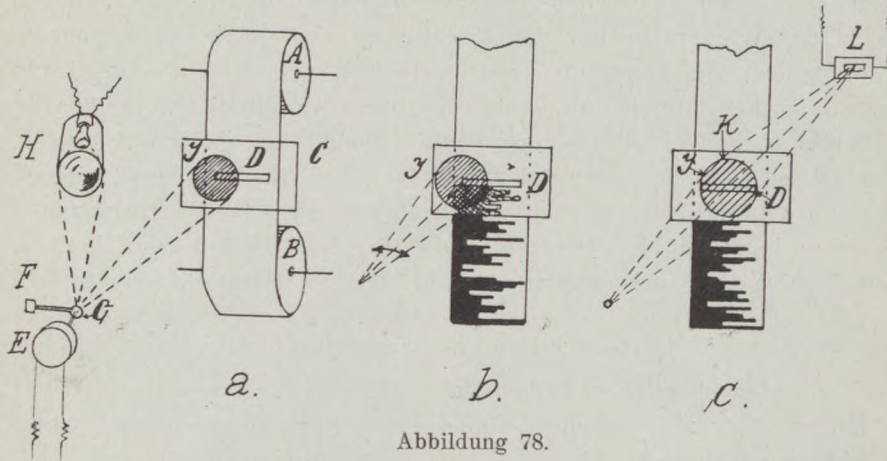


Abbildung 78.

aber die verstärkten Sprechströme zum Telephon E geführt, so werden die Schwingungen dessen Membrane in Vibration versetzen und das einseitig befestigte Spiegelchen G den Schwingungen entsprechend ablenken; dadurch wird der Lichtkegel E am Schlitz D nach rechts oder links bewegt. Dementsprechend erhalten wir nach dem Entwickeln des Filmes Schwärzungen, wie sie aus Abbildung 78b ersichtlich sind. Wir erhalten also hierdurch wirklich die graphische Darstellung des Tones, bei der aber die Stärke des Lichtes gleichgültig ist; man muß nur dafür sorgen, daß durch den angewendeten Lichtstrahl überhaupt eine Schwärzung bewirkt wird. Es gibt also nunmehr nur noch eine untere Grenze, die obere Grenze kommt in Fortfall. Man kann einen so gewonnenen Film ebenfalls abhören, wenn man sich einer Anordnung bedient, wie sie in Abbildung 78c schematisch dargestellt ist.

Zum Abhören wird der Schlitz D durch eine starke Lichtgarbe I in der ganzen Breite bedeckt. Hinter dem Schlitz D und hinter dem Film wird eine Sammellinse K befestigt, so daß alle durch den Schlitz dringenden Lichtstrahlen bei L auf eine lichtempfindliche Zelle konzentriert werden. Wenn wir nun den graphisch „besprochenen“ Film zwischen der Linse K und dem Schlitz D durchlaufen lassen, so werden die verschiedenen Schwärzungen den Schlitz verschieden stark absperren, bzw. freilassen. Die Schlitzfläche, durch die der konstante

Lichtstrahl durchdringen kann, ist einmal kleiner, ein anderes Mal größer; dementsprechend wird das auf die lichtempfindliche Zelle konzentrierte Licht in seiner Intensität schwanken.

Diese Methode hat wie gesagt gegenüber der anderen den großen Vorteil, daß man nicht im geringsten an eine genaue Grundbelichtung gebunden ist, sondern diese der Bildaufnahme anpassen kann. Dagegen hat sich aber in der Praxis herausgestellt, daß die Schwankungen bei der Wiedergabe nur dann richtig zur Geltung kommen können, wenn man die Amplituden recht erheblich verstärkt, also genügend groß macht. Für die Aufnahme von großen Amplituden wird aber die Breite eines Normalfilms erforderlich, sodaß bei solchen Systemen, wo diese Methode angewandt wird (Berglund, Poulssen und Petersen usw.) ein besonderer Film zur Aufnahme der Schallschwingungen neben dem Bildfilm notwendig wird. Dies erschwert die Handhabung, gefährdet die Synchronität und vergrößert die Herstellungskosten.

c) Das von Mihály'sche „Projektophon“

In chronologischer Reihenfolge hatte der Verfasser bereits vier Jahre früher als Berglund seinen ersten Sprechfilmapparat — Projektophon genannt — konstruiert und zusammengestellt. Das war anscheinend der allererste sprechende Film, bei dem Bild und Ton nebeneinander auf ein und demselben Film photographiert wurden.

Nach sorgfältiger Nachprüfung des Ruhmer'schen Photographophons wurden zuerst die Mängel desselben festgestellt und dann versucht, diese zu beheben. Die allererste Schwierigkeit lag darin, daß — während man zum Photographieren der Lichtschwingungen, die die Schallschwingungen vertreten, einen vollkommen gleichmäßigen (kontinuierlichen) Lauf des Filmes haben mußte — sich der Film bei den normalen Kinematographen-Aufnahme- und -Wiedergabeapparaten sprungweise bewegt. Es gibt zwar auch bei diesen normalen Kinematographen-Apparaten verschiedene Stellen, an denen der Film kontinuierlich läuft, und zwar einmal zwischen der oberen Filmrolle und der ersten Zahntrommel (Speisetrommel) und sodann zwischen der Abnehmertrommel und der Aufwicklerrolle. Es hat sich aber schon bei den allerersten Experimenten herausgestellt, daß diese Stellen nicht ohne weiteres geeignet sind, um dort die Tonaufnahme- bzw. Wiedergabeapparaturen anzuordnen. Diese Trommeln werden nämlich durch Zahnräder, Schneckenräder, Ketten oder dergleichen von der Hauptachse angetrieben. Für die oberflächliche Beobachtung scheint auch ihre Bewegung absolut gleichmäßig (kontinuierlich) zu sein, aber bei genauer Untersuchung erweist sich diese Annahme als

falsch. Die Teile, die die Bewegung vermitteln, haben ganz allgemein feine Lockerungen, außerdem verursachen z. B. die Zahnradverbindungen kleine Stöße, die durch das Anschließen der einzelnen Zahnflächen aneinander entstehen, so daß der Film, der scheinbar mit gleichmäßiger Bewegung vorwärts zu laufen scheint, in Wirklichkeit in der Längsrichtung „zitternd“ bzw. „sprungweise“ vorwärtsgeht. Dies Zittern wird noch dadurch verstärkt, daß in der Perforation des Filmes entweder durch Austrocknen des Materials oder durch den Entwicklungsprozeß, aber auch schon durch ganz minimale Abnützung der Stanzvorrichtung an der Perforierungsmaschine kleine Ungenauigkeiten entstehen können. Infolgedessen werden die Zähne jeder Zahntrummel bereits etwas konisch hergestellt. Wenn diese Zähne nun in die Perforation eingreifen, so bewirken sie erst dann eine Weiterbeförderung des Filmes, wenn sie ganz in die Perforationslöcher eingreifen. Infolge dieses Umstandes kann die Filmführung auch bei präzise ausgeführten Kinematographenapparaten „zitternd“ erfolgen, wenn nämlich die Perforation nur um Hundertstel Millimeter abweicht, und das trifft leider für 99% der Filme zu.

Um diese Schwierigkeiten beheben zu können, hat der Verfasser zwei Möglichkeiten angegeben:

Bei der ersten Konstruktion (Abbildung 5) ist der Tonapparat in der Fensteröffnung angeordnet, also dort, wo die Durchleuchtung des Filmbildes für die Projektion erfolgt und wo der Film während der Projektion für kurze Zeit stehen bleibt. Da aber an der Fensteröffnung die Anzahl der wechselnden Bilder nur etwa 16 bis 22 in der Sekunde beträgt, während sich die Änderungen des durch Schallwellen beeinflussten Lichtstrahles auf mehrere tausend (bis etwa 16 000) pro Sekunde belaufen, mußte man dafür sorgen, daß die schwankenden Lichtimpulse am Rande des Filmes gleichmäßig verteilt werden. Zu diesem Zweck wird der tonbeeinflusste Lichtstrahl durch die Schlitze einer rotierenden Blende am Filmrand durchgelassen. Die Schlitze der Blende sind so angeordnet, daß während des Stillstandes jedes Bildkaros ein Schlitz den schwankenden Lichtstrahl am Filmrand entlangführt; während des Sprunges des Filmes (Bildwechsel) wird der Strahl dagegen abgesperrt. Aus konstruktiven Gründen war diese Einrichtung seitwärts von der Fensteröffnung angeordnet, und der bewegliche „Ton-Lichtstrahl“ wurde durch einen auf 45 Grad eingestellten Spiegelstreifen e auf den Film reflektiert. Dasselbe Spiegelchen diente gleichzeitig dazu, daß der zur Tonaufnahme dienende Rand des Filmes vor den Strahlen des kinematographischen Objektives geschützt wird.

Zur Umwertung der Schallschwingungen in Lichtintensitätsschwankungen diene bei dieser Konstruktion ein Oscillographen-Lichtrelais O. Bei der in Abbildung 5 schematisch dargestellten Ausführungsform war an der Oscillographenschleife eine feine Blende aufgeklebt, welche im Ruhezustand den Weg für die Strahlen der Lichtquelle F abspernte. Wenn die Schleife des Oscillographen unter der Einwirkung der von dem Mikrophon M über einen Verstärker kommenden Sprechströme eine Ablenkung erfährt, läßt die Blende durch verschieden starke Winkelverdrehungen mehr oder weniger Licht durch, das dann durch die rotierende Schlitzblende auf den Film gelangt.

Beim Wiedergabeapparat werden die Strahlen der Projektionslampe L, die durch den „besprochenen Teil des Filmes durchdringen“, ebenfalls durch einen schmalen Spiegelstreifen seitwärts abgelenkt und dringen gleichfalls durch eine rotierende Schlitzblende auf eine hochempfindliche Selenzelle S, in der infolgedessen entsprechende Widerstandsschwankungen auftreten, welche im Lautsprecher H den Ton reproduzieren.

Diese erste Sprechfilmanordnung funktionierte, aber bei den damals zur Verfügung stehenden Verstärkern war die Lautstärke schwach; außerdem war die Wiedergabe von einem tiefen Nebengeräusch begleitet, das auf die sekundlich 16 bis 22mal erfolgenden Unterbrechungen zurückzuführen war. Während des Bildwechsels entstanden 16 mal 1/80 Sekunde lange Pausen, die zusammen einen tiefen Nebenton ergaben. Auf Grund dieser experimentellen Erfahrungen stellte der Verfasser ein paar Monate später den aus Abbildung 89 ersichtlichen Sprechfilmapparat her.

Als Tonaufnahmeapparatur dient hier ein einfaches Telephon (12), dessen Membrane verspiegelt ist. Die Telephonmembrane wird von dem Mikrophon (14) über den Verstärker (17) in Schwingungen versetzt. Eine Linse (11) projiziert auf die Spiegelmembrane eine parallele Lichtgarbe von der Glühlampe (10). Diese Lichtgarbe wird von der Membrane durch einen Schlitz (8) auf den Rand des Filmes projiziert. Die ganze Einrichtung ist zwischen der ersten Filmkassette und zwischen der ersten Zahntrommel angeordnet, also dort, wo der Film noch kontinuierlich läuft. Wenn man nun gegen das Mikrophon spricht, versetzen die entstandenen und verstärkten Sprechströme die Spiegelmembrane in Schwingungen, d. h. die Krümmung dieser Membrane ändert sich proportional zu den Stromschwankungen. Die Folge hiervon ist, daß die Divergenz des reflektierten Lichtstrahlenbündels sich ebenfalls proportional zu den Schallschwingungen ändert.

Die Intensität des durch den Schlitz durchdringenden Lichtes schwankt also entsprechend den Schallschwingungen und der hinter dem Schlitz kontinuierlich laufende Film wird verschieden starken Lichteindrücken (Expositionen) ausgesetzt, die sich nach Entwicklung des Filmes als hellere oder dunklere bzw. dickere oder dünnere Streifen zeigen.

Bei diesem Aufnahmeapparat waren Bild und Ton mit Phasenverschiebung aufgenommen, und zwar insofern, als die Schallwellen, die zu einem Bild gehörten, zwar gleichzeitig, aber auf etwa 175 mm Entfernung aufgenommen worden waren. Dementsprechend mußte man die zu einem Bild gehörten, zwar gleichzeitig, aber mit etwa 175 mm von der Fensteröffnung entfernt anordnen, um Asynchronität zu vermeiden. Da die Phasenverschiebung einen permanenten Charakter hatte, entstanden hieraus keine weiteren Schwierigkeiten.

Um so schwieriger war aber eine absolute Tonreinheit und naturtreue Klangfarbe zu erzielen. Es stellte sich zuerst heraus, daß bei der Reproduktion der Aufnahme sich ständig ein Nebengeräusch zeigte, das wie ein Zahnradgeräusch klang. Nach langen und sehr sorgfältigen Untersuchungen wurde die Ursache dieses Nebengeräusches geklärt. Wir hatten nämlich zuerst einen normalen Aufnahmeapparat von Ernemann verwendet und dabei die Antriebvorrichtung unverändert ge-

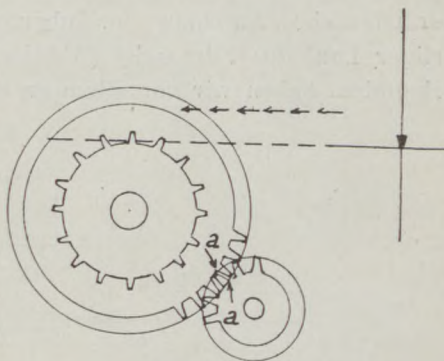


Abbildung 79.

lassen und den Tonaufnahmeapparat einfach anmontiert. Bei oberflächlicher Betrachtung schien die Filmführung zwischen der ersten Zahntrömmel und der oberen Filmkassette absolut kontinuierlich zu sein. Bei einer eingehenden Untersuchung, wo wir den Film bei eingeschaltetem Tonapparat, aber ohne „Besprechung“ durchlaufen ließen, wurden jedoch nach der Entwicklung des Filmes Intensitätsstreifen sichtbar. Der Grund hierfür lag auf der Hand. Die obere Zahntrömmel, die den Film bewegt, wird durch Vermittlung mehrerer Zahnräder von einer Kurbel angetrieben. Die Zähne dieser Räder hatten alle — wenn auch nur minimale — Lockerungen, d. h. die durch ihre Vermittlung entstandene Drehung der Zahntrömmel war infolge der raschen, feinen Anschläge der einzelnen Zähne nicht absolut kontinuierlich, sondern aus lauter feinen

Sprüngen zusammengesetzt (Abbildung 79). Infolgedessen war auch der Lauf des Filmes über dem Beleuchtungsschlitz sprungartig, d. h. der Film lief zitternd in der Längsrichtung vorwärts, seine einzelnen Teilchen verweilten also kürzer oder länger hinter dem Schlitz. Hier-

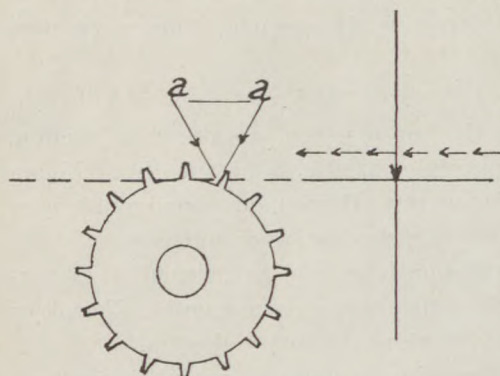


Abbildung 80.

durch entstanden auch bei konstantem Licht Expositionsunterschiede, d. h. verschiedene Schwärzungen, die der Bewegung der Zahnräder entsprachen.

Ein weiterer Fehler entstand aus dem Umstand, daß die Zähne der Zahntrommel selbst nicht haargenau an den Perforationslöchern anliegen, sondern kleinere oder größere, noch dazu

veränderliche „Anschläge“ erlauben, deren Folge wiederum ein ruckartiger Lauf des Filmes ist (Abbildung 80). Als wir diesen Fehler erkannten, haben wir vor allem an die Stelle der Zahntrommel eine

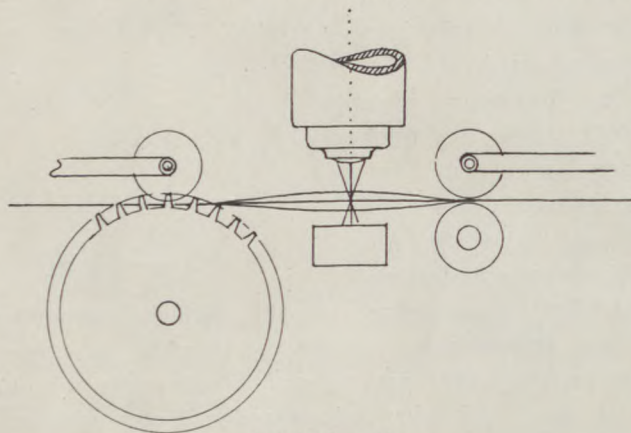


Abbildung 81.

Gummitrommel eingesetzt, welche nur einige Zähne besaß, um ein größeres „Rutschen“ des Filmbandes zu verhindern.

Den Antrieb haben wir ebenfalls verändert, indem wir durch einen mit einem schweren Schwungrad versehenen Elektromotor die den Film bewegend Gummietrommel unmittelbar angetrieben haben. Von deren Achse wurde dann erst mittels einer elastischen Kupplung (um Rückwirkungen zu vermeiden) der Bildmechanismus betätigt.

Außer diesem — als longitudinalen Fehler bezeichneten — Übelstand zeigte sich noch eine andere Schwierigkeit, die wir im folgenden den transversalen Fehler der Filmführung nennen wollen und die dadurch entstand, daß der Film während seiner Vorwärtsbewegung auch Schwingungen senkrecht zu seiner Ebene ausführte (Abb. 81).

Infolge kleiner Spannungsunterschiede des Filmes bleibt dieser nicht genau gerade, sondern bildet kleine Krümmungen über der Beleuchtungsöffnung. Der Beleuchtungslichtstrahl ist aber nicht parallel, so daß, wenn der Film nicht genau an den Kanten des Beleuchtungsschlitzes anlag, die einexponierten Lichtstreifen breiter wurden als dies der Proportionalität der Schallschwingungen entsprochen hätte. Bei der Intensitätsmethode entspricht jeder Schallamplitude ein Schwärzungsgrad und den Knotenentfernungen (Wellenlänge) eine proportionale Breite des Intensitätsstreifens. Bleibt diese bei der Aufnahme nicht genau proportional, so bekommen wir eine ganz verschwommene, falsche Reproduktion, die sich noch weiter verschlechtert, wenn derselbe Fehler auch bei der Wiedergabe vorkommt und sich dadurch vervielfacht.

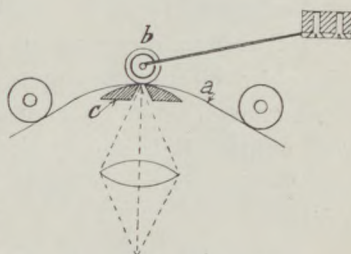


Abbildung 82.

Um diese Fehler zu vermeiden, haben wir die aus Abbildung 82 ersichtliche Anordnung verwendet, bei der der Film a durch eine mit Velour bedeckte federnde Rolle b gegen den Beleuchtungsschlitz c gedrückt wird.

d) Die Behebung der Schwierigkeiten bei der Aufnahme und bei der Wiedergabe des Tonphotogramms

Diese Experimente mit den beiden oben erwähnten Sprechfilmeinrichtungen haben gleichzeitig die Klärung derjenigen Schwierigkeiten ermöglicht, die in recht großer Anzahl bei der Aufnahme und bei der Wiedergabe des Tonphotogrammes vorkommen und von deren Beseitigung die Güte einer Tonfilmapparatur abhängig ist. Wir wollen im folgenden diese Schwierigkeiten kurz zusammenfassen:

Einige dieser Schwierigkeiten, die bei der Aufnahme entstehen, haben wir bereits kennengelernt. Bei Anwendung der Intensitätsmethode ist eins der allerschwersten Probleme die richtige Wahl der Mittelbelichtung (Grundbelichtung), die dem Empfindlichkeitsgrad des

Lichtrelais bzw. der erforderlichen Dauer des Entwicklungsprozesses richtig angepaßt sein muß, der wiederum von der Bildaufnahme abhängig ist. Es könnte also z. B. vorkommen, daß man — um sämtliche kleine Details der Tonaufnahme bei der Entwicklung richtig herauszuholen zu können — eine Entwicklungsdauer anwenden müßte, bei der die Bildaufnahme bereits teilweise oder vollständig verdunkelt (überentwickelt) würde. Der umgekehrte Fall könnte aber auch eintreten.

Um diese Fehler zu vermeiden, können gemäß einem Vorschlag des Verfassers bei der Aufnahme zwei getrennte Negativ-Filme verwendet werden, die synchron laufen und von denen der eine zur Aufnahme des Bildes, der andere zur Aufnahme der gleichzeitigen Schall-schwingungen dient. Man kann diese zwei Negative bis zum gewünschten Maß voneinander unabhängig entwickeln und sie erst nach Fertigstellung auf einen gemeinsamen positiven Film zusammenkopieren.

Eine andere von Dr. Köhnemann vorgeschlagene Möglichkeit zur Ausgleicheung der Bild- und Tonaufnahme besteht darin, daß man einen gemeinsamen Negativfilm solange entwickelt, bis auch die Einzelheiten der schwächer exponierten Teile alle erscheinen. Dabei wird der andere Teil selbstverständlich überentwickelt. Um dies korrigieren zu können, werden im Kopierapparat zwei getrennte Lichtquellen verwendet und Bild- bzw. Tonaufnahme ihrer Entwicklung entsprechend verschieden stark belichtet, so daß an dem gewonnenen Positivfilm die verschiedenen Belichtungen ausgeglichen werden.

Über die Schwierigkeiten, die bei der Filmführung entstehen, z. B. durch die feinen Ungenauigkeiten des Antriebsmechanismus oder dadurch, daß die Zähne der Zahntrommel nicht haargenau in die Perforation des Filmes passen und kleine ruckartige Bewegungen während der Fortbewegung des Filmes in der Längsrichtung verursachen, was wir als „longitudinalen“ Fehler bezeichnet haben, haben wir bereits gesprochen; ebenso haben wir schon den anderen Fehler erwähnt, der dadurch entsteht, daß der Film quer zu seiner Bewegungsrichtung schwingt, was wir „transversalen“ Fehler genannt haben. Hier wollen wir nochmals kurz feststellen, daß der longitudinale Fehler zwischen den wirklichen Intensitätsstreifen falsche Schwärzungen hervorruft, die dadurch entstehen, daß die Filmteile der Belichtung verschieden lange ausgesetzt sind.

Der andere sogenannte transversale Fehler hat eine unberechtigte Verbreiterung der Intensitätsstreifen und gleichzeitig ein Sinken des Intensitätsgrades zur Folge; da sich der Film vom Belichtungsschlitz

weiter entfernt hatte, treffen ihn die Lichtstrahlen mehr divergierend und exponieren demgemäß einen breiteren, aber schwächeren Streifen ein.

Zur Behebung des longitudinalen Fehlers verwendete der Verfasser bekanntlich eine Antriebs-Anordnung, bei der ein mit Schwungrad versehener Elektromotor mittels einer elastischen Gummikupplung diejenige Zahntrommel antrieb, die den Film vor dem Tonaufnahmeschlitz vorbeizieht. Zwecks besserer Anpassung der Zähne der Zahntrommel an die Perforation wurde eine aus recht weichem Gummi hergestellte Zahntrommel verwendet.

Zur Vermeidung des transversalen Fehlers wurde der Film durch eine federnde, mit Gummi oder Velour bedeckte Rolle an den Aufnahmeschlitz gedrückt.

Bei dem Trierigon-Verfahren wird der longitudinale Fehler durch ein sehr geistreiches Schwungrad-System vermieden: Der Film liegt fast ganz um eine Zahnrادتrommel herum, deren Zähne etwas schmaler sind als die normalen Zähne; dafür ist aber eine große Auflagefläche vorhanden, so daß immer einige Zähne an den Perforationskanten anliegen. Eine Vorsorge gegen den transversalen Fehler ist nicht getroffen, so daß sich besonders bei der Reproduktion leicht „gurgelnde“ Nebengeräusche zeigen, die dadurch entstehen, daß auf einmal mehrere Intensitätsstreifen durchleuchtet werden, die dann nicht einzeln auf das lichtwahrnehmende Organ einwirken, sondern eine resultierende Wirkung hervorrufen.

Bei den Dr. Köhnemann'schen Apparaten wird der Filmantrieb ebenfalls mit einer elastischen Kupplung (Federkupplung) angetrieben, aber der Elektromotor hat auch noch einen Selbstregler. Dieser Selbstregler besteht aus einer Bremsvorrichtung, die mit Zentrifugalregulator auf eine bestimmte minimale Geschwindigkeit eingestellt wird. Wenn der Motor z. B. infolge von Schwankungen im Stromnetz seine Geschwindigkeit erhöhen will, dehnt sich der Zentrifugalregulator und betätigt entweder Bremsbacken oder schaltet Vorschaltwiderstände ein.

Zur Behebung des transversalen Fehlers wird bei den Apparaten von Dr. Köhnemann der Film dort, wo die Aufnahme erfolgt, gespannt über eine gewölbte Glasfläche (Zylinderlinse) hinübergezogen, wobei der Film durch eine plane Glasscheibe oder durch eine Glasrolle gegen das Prisma gedrückt wird. Bei der letzten Ausführung wird die Zylinderlinse ebenfalls durch eine Glasrolle ersetzt.

Bevor wir weitergehen, wollen wir schon hier feststellen, daß bei den graphischen (transversalen) Methoden (Poulsen, Petersen, Berglund) von den oben erwähnten Fehlern nur der longitudinale und der transversale Fehler entstehen können; die Fehler, die durch unglückliche Wahl der Mittelbelichtung entstehen, können gar nicht vorkommen. Dafür ist aber bei der transversalen Methode stets ein besonderer Film zur Tonaufnahme nötig.

Eine bei allen Sprechfilmmethoden gleich große Schwierigkeit entsteht dadurch, daß die Fortbewegungsgeschwindigkeit des Filmes durch die Bildaufnahme bedingt ist. Die normalen Kinematographen-Aufnahme- und -Wiedergabeapparate führen innerhalb 3 Sekunden einen Meter Film durch, die Geschwindigkeit des Filmes beträgt also etwa 33 cm pro Sekunde. Wir müssen also die Intensitätsstreifen oder Transversalschwingungen, die innerhalb einer Sekunde vorkommen können, auf einen 33 cm langen Filmstreifen verteilen. Wir wissen aber, daß, wenn man die Oberschwingungen auch einigermaßen berücksichtigen will, man mit 15 000 Schwingungen in der Sekunde rechnen muß. Verteilt man aber 15 000 Änderungen in der Sekunde z. B. auf 30 cm, so erhält man einen $\frac{1}{50}$ mm breiten Filmteil für jede Schwingung, denn so groß ist die Bewegung des Filmes innerhalb $\frac{1}{15000}$ Sekunde. Will man vermeiden, daß mehrere Lichtschwankungen auf dem Film übereinander einexponieren, so muß man dafür sorgen, daß für jede Lichtschwankung eine neue Stelle des Filmes zur Verfügung steht. Der Verfasser hatte diese Schwierigkeit bei seinen ersten Experimenten dadurch umgangen, daß er einfach eine viel größere Filmgeschwindigkeit (etwa 3 m pro Sekunde) eingestellt hatte, wodurch selbstverständlich viel mehr Platz für jede Intensitätsschwankung zur Verfügung stand (0,2 mm). Diesem Ausweg stand aber entgegen, daß sich eine solche Veränderung der normalen Filmgeschwindigkeit keinesfalls durchführen läßt. Ganz abgesehen davon, daß die Bildaufnahme sich bei solch großen Geschwindigkeiten nur bei ganz günstiger und sehr starker Belichtung durchführen läßt, erhöht sich die Beanspruchung des ganzen Mechanismus und besonders der Filmperforation in solchem Maße, daß man nach ganz kurzem Durchlaufen des Filmes sowohl diese wie auch den Mechanismus erneuern muß.

Man müßte also, um praktische Möglichkeiten zu schaffen, mit der Schlitzbreite der Belichtungsöffnung bis auf $\frac{1}{50}$ mm heruntergehen. Ein wirklicher aus zwei Kanten bestehender Schlitz in dieser Breite läßt sich aber kaum herstellen. Wenn das aber werkstattechnisch noch möglich wäre, würde man dadurch wenig erreichen. Der über diesen Schlitz gleitende Film trägt feinen Staub mit sich, und auch vom Film

selbst reiben sich feine Teilchen ab. Dieser Staub würde innerhalb weniger Sekunden den feinen Schlitz verstopfen und die weitere ungestörte Aufnahme verhindern.

Abbildung 83 zeigt die vom Verfasser vorgeschlagene Lösung dieser Schwierigkeiten. Es findet hierbei eine Mikroskop-Projektion Anwendung. Ein Mikroskop *e* wird über der Filmführung *l, k* befestigt. Am Okular (obere Linse) des Mikroskops ist ein ca. $\frac{1}{2}$ mm breiter Schlitz vorhanden. Über diesem Schlitz brennt eine Halbwattlampe *c*, deren Glühfaden aus einer sehr engen Spirale besteht, die genau auf die Schlitzrichtung eingestellt ist. Wenn das Mikroskop umgekehrt verwendet wird, projiziert es ein verkleinertes Bild des vom Schlitz abgegrenzten Fadenbildes auf den Film. Ist die Vergrößerung des Mikroskops eine Hundertfache, so verkleinert es auch in der umgekehrten Richtung hundertfach, so daß man unten am Film eine ca. $\frac{1}{200}$ mm breite Durchleuchtungsstelle erhält. Man kann aber mit dem Maß der Verkleinerung nicht nach Belieben heruntergehen, besonders nicht bei der Aufnahme. Es wird nämlich rasch eine unterste Grenze erreicht, weil man infolge dieser optischen Anordnung mit einem recht großen Lichtverlust rechnen muß. Wenn man berücksichtigt, daß bei der Aufnahme das durch Schallschwingungen gesteuerte Licht im allgemeinen nicht direkt von der Lichtquelle kommt, sondern über irgendein steuerndes Organ (Lichtrelais) geführt wird, welches schon selbst Lichtverluste verursacht, so kommt man zu der nächsten Schwierigkeit: Zum Mangel an Lichtintensität. Dies geht sogar soweit, daß z. B. diejenigen Systeme, die zur Aufnahme der Schallschwingungen als Lichtrelais eine Glimmlichtlampe anwenden, kaum unter eine Grenze von $\frac{1}{10}$ mm Belichtungsbreite heruntergehen können. Das bedeutet aber, daß diese Systeme gar nicht imstande sind, mehr als etwa 3300 Schwingungen in der Sekunde aufzunehmen. Alle Schallschwingungen, die diese Zahl überschreiten, exponieren also übereinander.

Eine Verkleinerung der Belichtungsbreite hängt also von der zur Verfügung stehenden gesteuerten Lichtintensität ab. Es soll gleichzeitig bemerkt werden, daß sich durch diese Verkleinerung der Belichtungsbreite gleichzeitig die Gefahr des longitudinalen und transversalen Fehlers erhöht, so daß man für eine viel genauere Filmführung Sorge tragen muß. Dies verursacht selbstverständlich sowohl bei der Aufnahme wie bei der Wiedergabe gewisse Schwierigkeiten. Bei der letzteren insofern, als sämtliche auf die lichtempfindliche Zelle wirkenden Lichtstrahlen die äußerst schmalen Streifen durchleuchten müssen. Falls das geringste Schwingen des Filmes eintritt, werden mehrere Streifen übereinander auf die Zelle projiziert, in welcher infolgedessen

eine dem Mittelwerte der verschiedenen Intensitätsstreifen entsprechende Stromschwankung entsteht, die eine Verzerrung zur Folge hat.

Beim Wiedergabeapparat können die oben erläuterten optischen Schwierigkeiten teilweise auf einem von Dr. Köhnemann vorgeschlagenen Weg behoben werden. Köhnemann verwendet bei der Wiedergabe eine Mikroprojektion, mit deren Hilfe die äußerst feinen Intensitätsstreifen etwa 50fach vergrößert auf die lichtempfindliche Zelle projiziert werden.

Über die Schwierigkeiten, die bei der transversalen Methode vorhanden sind, wollen wir kurz nur folgendes erwähnen:

Vor allem ist hierbei für die Aufnahme der Schallschwingungen ein besonderer Film notwendig, welcher, ganz abgesehen von den dadurch entstehenden Mehrkosten, gleichzeitig die Handhabung erschwert. Der Gedanke, transversale Aufnahmen auf dem Bildfilm dadurch zu ermöglichen, daß die transversalen Schwingungen durch Mikroprojektion auf einen schmalen Streifen des Bildfilms projiziert und von dort bei der Wiedergabe vergrößert wiedergegeben werden, ist leider undurchführbar. Der Verfasser hat in dieser Beziehung sehr sorgfältige Experimente durchgeführt, bei denen sich herausstellte, daß selbst dann, wenn 5 mm breite Streifen des Bildfilmes für die Tonaufnahme reserviert werden, die höheren Oberschwingungen noch immer kleiner bleiben als die Korngröße der feinsten Filmemulsion; d. h. Schwingungen von dieser Größenordnung ergeben keine Unterschiede mehr. Diese Oberschwingungen würden also bei der Wiedergabe nivelliert, und hierdurch ginge die Naturtreue der Reproduktion vollkommen verloren.

Eine weitere Unannehmlichkeit, die bei der transversalen Methode durch die Anwendung eines separaten Tonfilmes entsteht, ist die Schwierigkeit, die durch evtl. Kleben des Filmes hervorgerufen wird; man muß nämlich ganz genau darauf achten, daß der von dem Bildfilm ausgefallene Teil in entsprechender Weise auch beim Tonfilm ausgeschnitten werden muß. Selbstverständlich kann man sich technisch leicht durch entsprechende Markierungen am Film helfen, aber die Operation selbst dauert lange und verzögert den weiteren Vortrag.

Bei den oben beschriebenen Schwierigkeiten handelt es sich um diejenigen, die bei allen Sprechfilmkonstruktionen zu vermeiden sind, die auf dem photographischen Prinzip beruhen. Die weiteren Detailschwierigkeiten, die nur bei einzelnen Konstruktionen entstehen, wollen wir von Fall zu Fall bei der Beschreibung der betreffenden Methoden erläutern.

e) Der von Mihály'sche Zusatz-Tonapparat

Abbildung 83 zeigt die eben erwähnte, vom Verfasser konstruierte Tonfilmapparat, die auf Grund der früheren Erwägungen im Jahre 1917 aufgebaut wurde mit der Absicht, daß sie an jedem bisherigen Kinoprojektor anzubringen sein sollte, um größere Anschaffungskosten zu vermeiden.

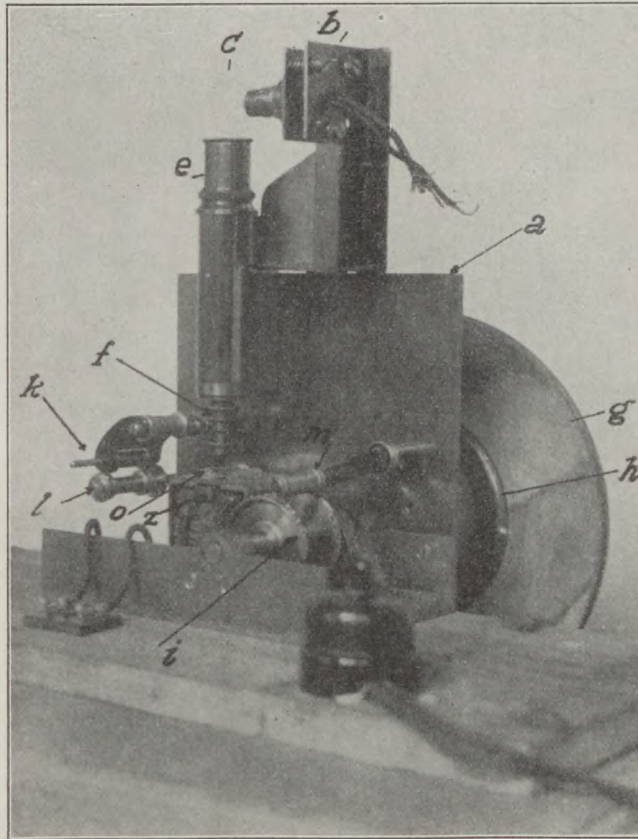


Abbildung 83.

Am Metallgestell *a* sehen wir oben einen mit Schrauben genau einstellbaren Balken *b*, der eine einfadige Halbwattglühlampe *c* trägt. Unter der Mitte des Glühfadens ist das Okular des Mikroskops *e* am Gestell befestigt, dessen Objektiv *f* das verkleinerte Bild des Glühfadens gegen einen gewölbten, feinen Schlitz *o* projiziert, unter dem sich die lichtempfindliche Selenzelle *z* befindet. Der Film, der von dem Kinoprojektor kommt, wird zwischen den Rollen *l* und *k* durchgeführt und durch die aus Gummi hergestellte Zahntrommel *i* über den Schlitz

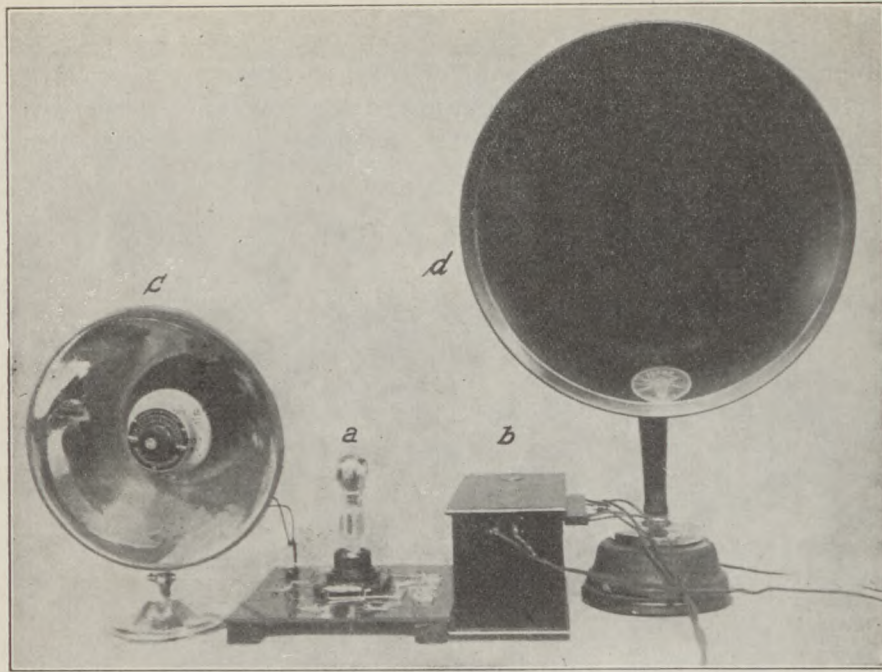


Abbildung 84.

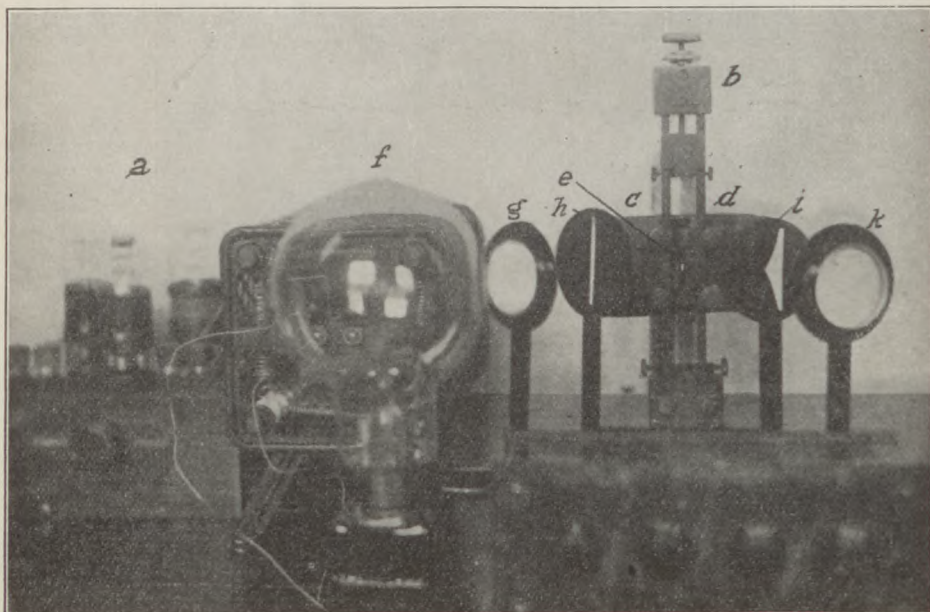


Abbildung 85.

o gezogen, wobei ein Ausspringen der Perforation durch die federnde Klapprolle m verhindert wird. Der Antrieb der Zahntrommel i erfolgt durch das schwere Metallrad h, das seinerseits durch die Schnurscheibe g bzw. durch eine hieran befestigte biegsame Welle angetrieben wird, welche mit dem Antrieb des Kinoprojektors gekoppelt ist. Um eine Übertragung von kleineren Schwankungen in der Tourenzahl des Kinoprojektors auf den Tonfilmapparat zu vermeiden, ist die Vermittlungsscheibe mit dem Antriebsrad h nicht festgekoppelt, sondern über ein sogenanntes Leerlauf- oder Voreilen des Tonapparates ermöglicht. (Später wurde hierfür auch eine Gummikupplung verwendet.)

Derselbe Apparat wurde auch für die Aufnahme verwendet, wobei selbstverständlich die ganze Anordnung in einem lichtdichten Kasten verschlossen war und an die Stelle der Lampe c das durch die Schallwellen beeinflusste Lichtrelais trat.

Bei Verwendung dieses Apparates war zwischen der Bild- und Tonplacierung eine Phasenverschiebung von 126 cm eingestellt, die eine recht große Entfernung zwischen Bildprojektor und Tonapparat ermöglichte. Diese Entfernung spielt nämlich bei der Montage eine bedeutende Rolle.

Die mit diesem Apparat erzielten Resultate waren sehr befriedigend. Bei Wiederaufnahme meiner diesbezüglichen Experimente im vorigen Jahre gelang es z. B. mittels der aus Abbildung 84 ersichtlichen Verstärkereinrichtung — bestehend aus einer Loewe-Dreifachröhre und einem Dreiröhrenverstärker, ebenfalls von Dr. Loewe, die einen Parabolautsprecher und einen Tefag-Trichterlautsprecher betätigten — Sprechfilmvorführungen zu machen, die bei einer sehr schönen natürlichen Klangfarbe eine ausreichende Lautstärke für einen mittelgroßen Saal ergaben. Die Verwendung zweier Lautsprecher mit verschiedener Tonlage (Tonbereich) bezweckte teilweise auch die Erhöhung der plastischen Wirkung.

Bei den Aufnahmen wurde ein Oscillographen-Lichtrelais (Abb. 85) verwendet. Die Schallwellen trafen auf einen Lautsprecher, der hierbei an Stelle des Mikrophons wegen seiner größeren Konstanz be-

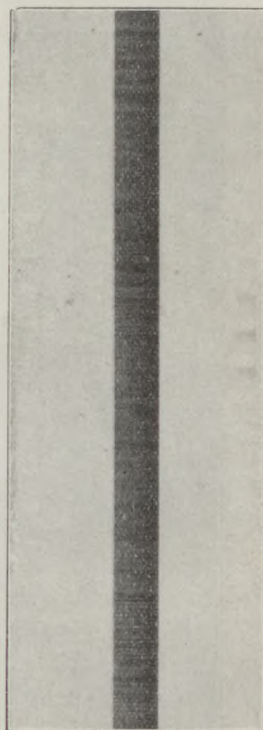


Abbildung 86.

vorzugt wurde. Die im Lautsprecher durch die Tonschwingungen hervorgerufenen Sprechströme wurden durch einen Dreiröhrenverstärker a zu einem von Mihály'schen Oscillographen b geführt, zwischen

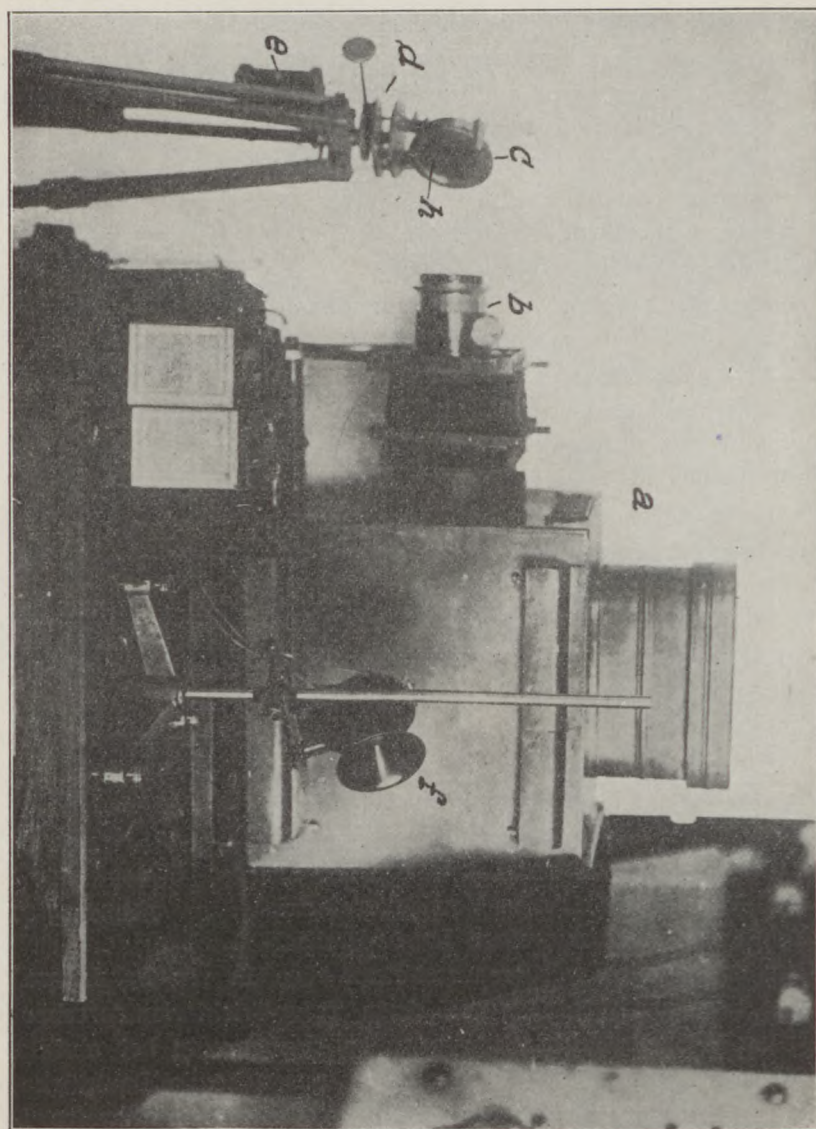


Abbildung 87.

dessen starken Magnetpolen c und d ein ca. 1 mm breites und 3 mm langes Spiegelchen e auf die aus 0,02 mm dicken Platindraht bestehende Schleife aufgeklebt ist. Die Schleife und damit das aufgeklebte

Spiegelchen *e* führen infolge der Sprechströme Schwingungen um eine vertikale Achse aus, und zwar proportional zu den Amplituden der jeweiligen Schallwellen.

Das Spiegelchen wurde von einer Punktlichtlampe *f* mittels der Linse *g* durch einen vertikalen schmalen Schlitz *h* hindurch belichtet,

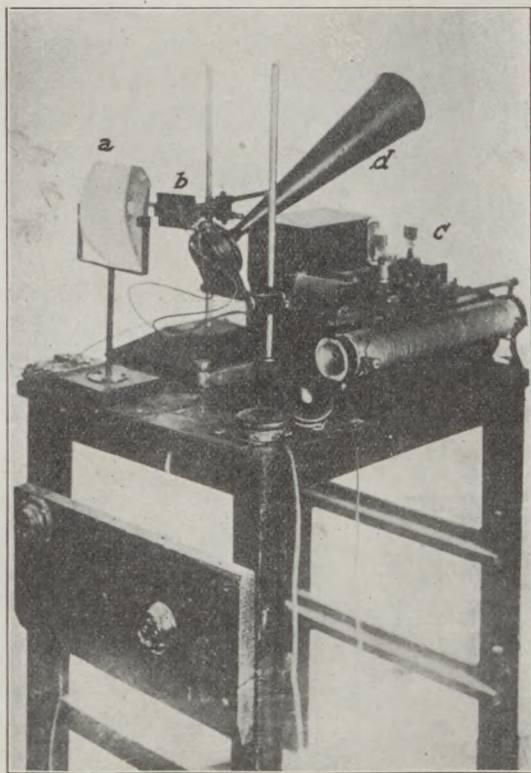


Abbildung 88.

so daß das Spiegelchen einen grellen Lichtstreifen gegen die Diaphragmawand *i* reflektierte. Auf dieser Diaphragmawand sehen wir eine einem Dreieck ähnliche Öffnung, welche so angeordnet ist, daß der Lichtstreifen in der Ruhelage des Oscillographen-Spiegels nicht durch den Schlitz dringen konnte, vielmehr vor der Spitze des Schlitzes stand. Falls aber dem Oscillographen Stromschwankungen zugeführt wurden, lenkten diese das Spiegelchen mehr oder weniger ab; infolgedessen konnte der reflektierte Lichtstrahl durch den Schlitz *i* durchdringen und fiel auf die Sammellinse *k*, deren Brennpunkt, der auf den Film

projiziert wurde, nun aufleuchtete. Je nach der Größe der dem Oscillographen zugeführten Stromimpulse wurden die Ablenkungen des Spiegelchens kleiner oder größer, die von ihm reflektierten Lichtstreifen durchdrangen den dreieckigen Schlitz i demnach auf einer schmälere oder breitere Stelle. Im Brennpunkt der Linse k wurden also einmal kürzere, einmal längere Lichtstreifen konzentriert, dem-

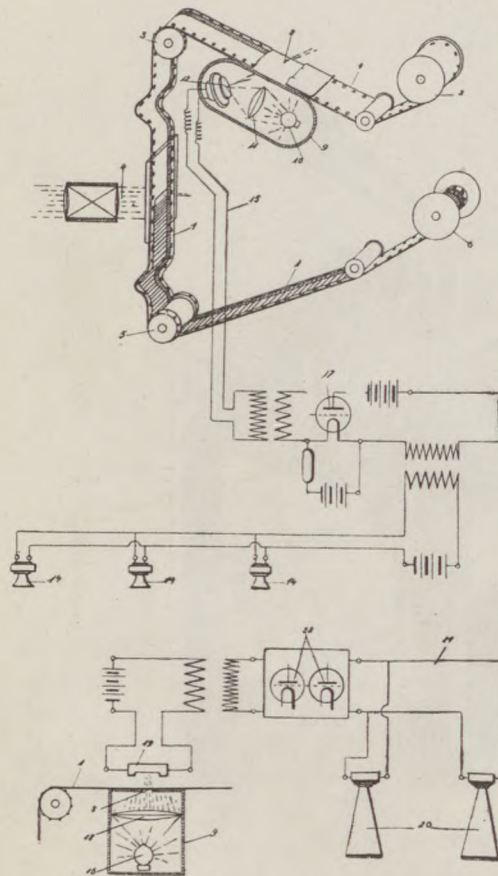


Abbildung 89.

entsprechend war die Lichtintensität im Brennpunkt, der Amplitude der Schallwellen entsprechend, kleiner bzw. größer. Diese Lichtflecke von schwankender Intensität wurden durch einen Spalt hindurch mit Hilfe der oben beschriebenen Mikroskop-Projektion auf den Film geworfen. Nach Entwicklung des Filmes ergaben sich die in Abbildung 86 ersichtlichen feinen, dicht nebeneinanderliegenden und stark kontrastierten Streifen.

Neben diesen Experimenten liefen weitere Versuche des Verfassers mit einer verbesserten Lichttelephoneinrichtung durch Verwendung einer Spiegelmembrane; später entstand hieraus eine zweite Aufnahmemethode, die zwar manche Nachteile gegenüber

der ersteren aufwies, aber auch einige Vorteile hatte. Die lichttelefonische Einrichtung des Verfassers ist aus Abbildung 87 und 88 ersichtlich. In Abbildung 87 ist der Sender dargestellt, bei dem das Licht einer starken Punktlichtlampe a durch die Linse b möglichst parallel gegen ein Telephon c projiziert wird. Die Membrane h des Telephons ist versilbert und auf Hochglanz poliert, so daß gewissermaßen eine Spiegelfläche entsteht, die die Lichtstrahlen gegen den Empfänger (oder auf den Film) reflektiert. Wenn wir in das Mikrophon f hinein-

sprechen, so beeinflussen die entstehenden Stromschwankungen über den Transformator e das Telephon c, und die Krümmungen der Spiegelmembrane h ändern sich ungefähr proportional zu der Amplitude der Schallwellen. Dementsprechend bleibt aber der vom Spiegel reflektierte Lichtstrahl nicht mehr parallel, sondern wird mehr oder weniger divergent oder konvergent, je nach den Schwingungen der Membrane.

Dieser vibrierende Lichtstrahl wird am Empfänger (Abbildung 88) durch eine Linse a aufgefangen und auf die Selenzelle b konzentriert. Je nachdem sich die Dichte des auf die Linse gefallenen Lichtstrahls den Schallwellen entsprechend verändert, treten dementsprechende Widerstandsänderungen in der Selenzelle auf, so daß in einem von der Zelle und einem Verstärker c betätigten Lautsprecher d Ton, Sprache, Gesang usw. deutlich und laut reproduziert werden. Es lag auf der Hand, daß hiermit auch die Mittel für eine einfache Sprechfilmmethode gegeben waren. Auf Grund dieser Einrichtung entstand die in Abbildung 89 schematisch dargestellte zweite Sprechfilmeinrichtung des Verfassers.



Abbildung 90.

Oben sehen wir die Aufnahmeeinrichtung. Bevor der Film (1) vor das Objektiv kommt, d. h. bevor die Bildaufnahme erfolgt, passiert er dort, wo er noch gleichmäßig läuft, also zwischen der oberen Filmrolle (2) und der Speisetrommel (3) den Tonaufnahmeapparat. Dieser besteht aus einer lichtdichten Kassette (9), in welcher das Glühlämpchen (10) durch die Linse (11) ein nahezu paralleles Lichtbündel auf das Spiegeltelefon (12) wirft. Von diesem wird das Licht gegen einen sehr schmalen Schlitz (8) reflektiert, über den der Film hinweggleitet. Die Anordnung war, wie wir sehen können, so getroffen, daß der Tonstreifen innerhalb der Perforation war (ein ca. 2 mm breiter Streifen). Die Beeinflussung der Lichtmembrane (Spiegeltelefon [12]) geschah durch mehrere parallel geschaltete Mikrophone (14) und durch Verstärker (17). Ein zu diesem Zweck verwendetes Mikrophon zeigt Abbildung 90. Als Lichttelefon wurde später, um bessere Effekte

d. h. einen größeren Krümmungsradius des Spiegels zu erzielen, ein Megaphon verwendet, das durch Hebelübersetzung auf einen dünnen Glasspiegel wirkte. (In Abbildung 91 sehen wir dieses Megaphon oben am Aufnahmeapparat.)

Die Einrichtung zur Reproduktion eines solchen Filmes ist ebenfalls aus der in Abbildung 89 wiedergegebenen Patentzeichnung zu

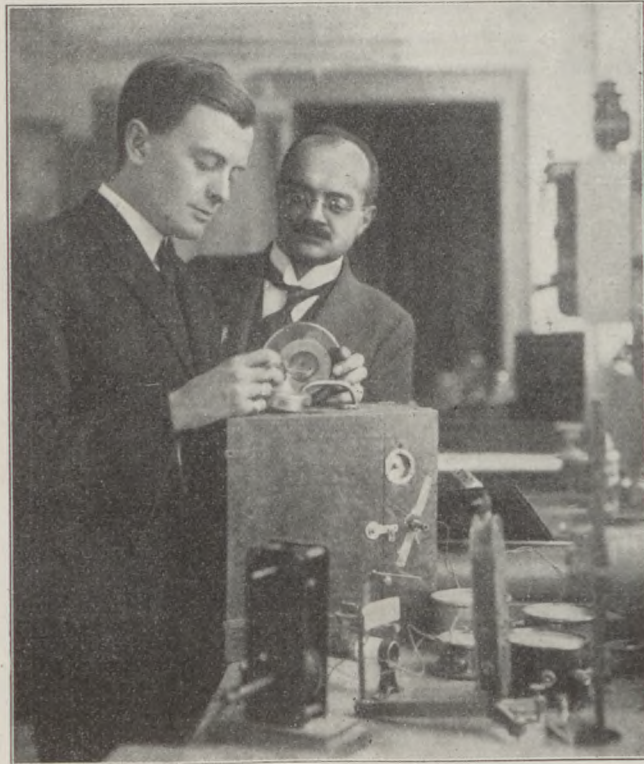


Abbildung 91.

ersehen. In derselben Entfernung von der Projektionsöffnung des Kinoprojektors, wie sie bei der Aufnahme bestand, ist eine Selenzelle (19) befestigt; unter dem Film (1) ist eine Schlitzprojektions-Einrichtung vorhanden, bei der in dem lichtempfindlichen Kasten (9) die Lampe (16) mittels der Linse (18) grelle Lichtbündel auf den schmalen Durchleuchtungsschlitz (8) konzentriert. Das Durchdringen dieser Strahlen auf die Zelle (19) ist durch die Intensitätsstreifen am Film bedingt. Es erfolgt stärker bei helleren und schwächer bei dunkleren Streifen. Die Schwankungen, die hierdurch in der Selenzelle (19) entstehen, wirken auf den Verstärker (22),

der die Lautsprecher (20) betätigt. Ein Stückchen Film, das mit dieser Einrichtung aufgenommen ist, ist in Abbildung 92 zu sehen.

Der Vorteil der letzteren Einrichtung liegt in ihrer großen Einfachheit. Leider ist die Güte der Aufnahmen sehr stark abhängig von dem verwendeten Telephon (Spiegeltelephon). Es hat sich herausgestellt, daß hierdurch eine starke Bevorzugung derjenigen Tonlagen entsteht, die das Aufnahmetelephon sowie die bei der Reproduktion verwendeten Lautsprecher besitzen. Sind diese Tonlagen sehr verschieden, so verursacht dieser Umstand einen zu großen Energieverlust. Auch der Empfindlichkeitsgrad der Einrichtung bleibt stark hinter der oscillographischen Methode zurück, d. h. unter gleichen Umständen ergibt die letztere eine viel kontrastreichere Aufnahme.

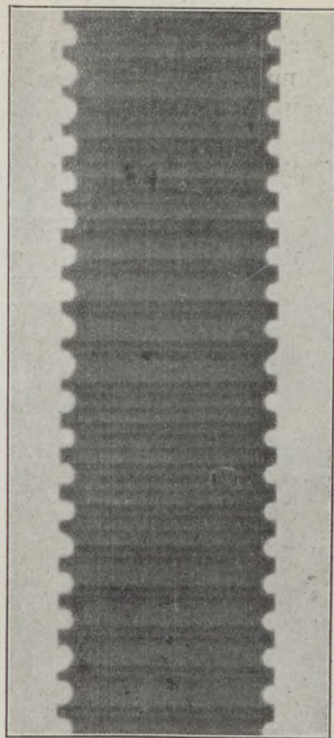


Abbildung 92.

f) Die Aufnahmeeinrichtung von Berglund

Die Aufnahme-Einrichtung von Berglund unterscheidet sich, wie wir schon wissen, von den vorhin besprochenen Methoden zunächst dadurch, daß Berglund anscheinend als Erster die transversale Methode einführte. Sein Apparat ist in Abb. 45 und 78 schematisch dargestellt. Auf Grund der bisherigen Erläuterungen wollen wir hier nur feststellen, daß der Aufnahmeapparat nicht sehr günstig ist. Vor allem weist er in größtem Maße alle diejenigen Schwierigkeiten auf, die bei jeder mechanischen Aufnahmemethode vorhanden sind. Die Feinheiten der Tonwiedergabe sind hierbei durch das Aufnahmetelephon bedingt, welches seine eigene Tonlage besitzt und außerdem noch durch einen Hebelarm und durch das aufgeklebte schwingende Spiegelchen belastet ist. Ferner dürfen wir nicht vergessen, daß die Membrane eines Telephons ihre Schwingungen nicht zwischen einer konvexen und einer konkaven Stellung ausführt, sondern vielmehr in konzentrischen Wellen schwingt. Ein absolut linear-proportionaler Zusammenhang zwischen Membrane- und Spiegelbewegung ist also nicht unbedingt vorhanden.

Über die praktischen Resultate, die Berglund mit seinem Apparat erzielt hat, verfügen wir nicht, aber auf Grund des vorhin Gesagten kann man wohl folgern, daß er die praktischen Ansprüche nicht erfüllen kann.

g) Das System von Arnold Poulsen und Axel Petersen

Eine ebenfalls transversale Methode ist diejenige von Poulsen-Petersen, welche in Deutschland von der Tonfilm A. G. Hannover

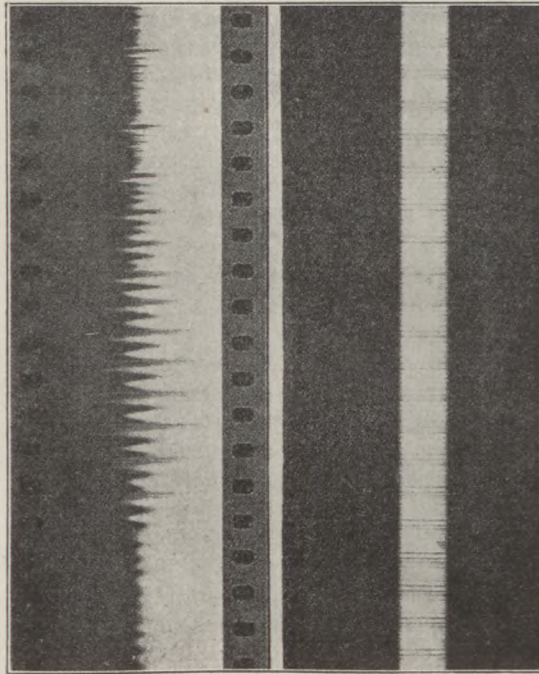


Abbildung 93.

durchgeführt und im vorigen Winter im Kapitol in Berlin vorgeführt worden ist.

Zur Aufnahme des Tonfilmes verwenden Poulsen und Petersen ebenfalls einen besonderen Film; der Tonaufnahmeapparat läuft synchron mit dem Bildaufnahmeapparat. Die Schallwellen werden einem Oszillographen verstärkt zugeführt; das vom Oszillographen reflektierte Lichtbündel führt den Schallwellen entsprechende Schwingungen über einem schmalen Schlitz aus, hinter dem der Tonfilm kontinuierlich mit einer Geschwindigkeit läuft, die genau derjenigen des Bildfilms entspricht. Hierdurch erhalten Poulsen und Petersen eine Tonaufnahme, wie wir sie schon in Abbildung 8 gesehen haben (vgl. auch Abb. 93).

Zur Wiedergabe des Tonfilms wird ebenfalls ein Doppelapparat verwendet, dessen eine Seite das Filmbild projiziert, und dessen andere Seite, mit der ersteren synchron laufend, die Tonwiedergabe besorgt. Der Tonfilm läuft hierbei über einen schmalen Spalt, der durch die konzentrierten Strahlen einer konstanten Lichtquelle beleuchtet wird. Hinter dem Schlitz, im Brennpunkt einer zweckentsprechenden optischen Einrichtung ist eine Selenzelle von Professor Hans Thirring angeordnet. (Diese Selenzelle stimmt im Wesen mit der Kondensatorzelle des Verfassers überein.) Je nachdem, wie die Schlitzbreite durch den Tonfilm mehr oder weniger freigelassen bzw. abgesperrt wird, fällt von der konstanten Lichtquelle mehr oder weniger intensives Licht auf die Selenzelle, so daß dort den Schallwellen entsprechende Widerstandsänderungen auftreten. Die verstärkten Stromschwankungen werden zum Siemens'schen Bandlautsprecher geführt.

Die öffentliche Vorführung zeigte leider einen Mangel an Zischlauten, so daß man auf das Fehlen der höheren Schwingungen schließen könnte. Das wäre an und für sich wenig begründet, da nicht nur das oscillographische Lichtrelais bei der Tonaufnahme, sondern auch die Selenzelle bei der Wiedergabe, wenn sie richtig eingestellt sind, ohne weiteres für solche Frequenzen geeignet sind. Vielmehr besteht die Möglichkeit, daß die Führung des Filmes und damit die optische Ausnützung der Amplitudenunterschiede beim Phonogramm mangelhaft war. Ganz abgesehen von diesen, jedenfalls auszumerzenden Fehlern muß man aber feststellen, daß ein transversales System, solange hierfür ein besonderer Film notwendig ist, nicht nur die Kosten der Herstellung erhöht, sondern auch die Handhabung des Sprechfilms bedeutend erschwert. Außerdem ist die Ausführung des Tonwiedergabeapparates als einfacher Zusatzapparat viel schwieriger.

h) Das Triergon-System

Von denjenigen Sprechfilmsystemen, die bisher an die Öffentlichkeit getreten sind, kann man wohl das Triergonsystem als das vollendetste bezeichnen.

Die deutschen Erfinder Engl, Massolle und Vogt haben zweifelsohne eine sehr gewissenhafte Arbeit geleistet. Wenn wir auch von vornherein betonen müssen, daß die Vorführungen der Triergon-Filme bisher sehr viel zu wünschen übrigließen, so wollen wir doch gleich feststellen, daß dies mehr an einer übereilten Vorführung der Laboratoriumsergebnisse liegt, als daran, daß dies System etwa keine exakte Wiedergabe gestatten würde.

Zur Aufnahme der Schallschwingungen wird beim Triergonverfahren eine Glimmlichtlampe verwendet, wie wir sie in dem betreffenden Kapitel besprochen haben, eine sehr ähnliche Lampe wie die, die Professor Dr. Korn bei seinem Bildtelegraphenapparat verwendet. Die Glimmlichtlampe, „Ultrafrequenzlampe“ genannt, wird durch die verstärkten Sprechströme beeinflusst. Im Anfang wurde als Aufnahmeorgan das schon besprochene Kathodophon verwendet. Die Schallwellen trafen also auf dieses Kathodophon. Die hier entstandenen Stromschwankungen wurden dann durch einen eigens hierfür konstruierten Zweiröhrenverstärker verstärkt und wirkten durch Koppelung (ähnlich wie sie bei der sprechenden Bogenlampe angewendet wird) auf die „Ultrafrequenzlampe“. Die Intensität der Glimmlichtlampe wurde hierdurch beeinflusst, und das schwankende Licht wirkte durch einen Schlitz hindurch verkleinert auf den lichtempfindlichen Film ein. Hier wollen wir gleich erwähnen, daß während der Aufnahme beim Triergonverfahren ebenfalls zwei besondere Filme für die Bild- und Tonaufnahme verwendet werden; diese werden dann getrennt entwickelt und nach der Fertigstellung zu einem einheitlichen Positivfilm verbunden d. h. nebeneinander kopiert. (Soweit dem Verfasser bekannt ist, wurde in letzter Zeit an Stelle des etwas heiklen Kathodophons des öfteren ein Reiß-Mikrophon verwendet, besonders seitdem die künstlerische Leitung der Aufnahmen in den Händen von Dr. G. Bagier liegt. Versuchsweise haben auch Kondensatormikrophone Anwendung gefunden, da das Kathodophon anscheinend gewisse Unbeständigkeiten aufwies.)

Die Glimmlampe (Ultrafrequenzlampe) besteht aus aus Wolfram hergestellten Elektroden, von denen die Anode spitzenförmig, die leuchtende Kathode als kleiner Hohlspiegel ausgebildet ist. Die beiden befinden sich in einer eingeschmolzenen Glaskugel (Abbildung 94), die mit Edelgas (Argon oder Stickstoff) von ca. 0,3 Atmosphären Druck gefüllt wird. Die Ultrafrequenzlampe beleuchtet mittels Kondensatorlinsen einen Spalt von ca. 0,1 mm Breite und 45 mm Länge. Das Bild des auf diese Art mit Licht ausgefüllten Schlitzes wird mit einem Mikroskop-Objektiv verkleinert auf den Film projiziert, so daß es sich dort als ca. 2 mm langer und etwa 0,005 mm breiter Lichtstreifen abbildet.

Die Zahntrommel, die den Film unter dem Beleuchtungssystem fortbewegt, wird durch einen Elektromotor unter Zwischenschaltung eines Schwungrades und einer elastischen Kupplung angetrieben, um kleine Schwankungen, die durch innere Reibung des Mechanismus auftreten könnten, auszuschalten. Um den gleichmäßigen Lauf des

Antriebsmechanismus kontrollieren zu können, sind auf dem Schwungrad ringsherum Eisenzapfen in gleichmäßigem Abstände angeordnet, die vor einem Elektromagnet durchlaufen und in diesem feine, gleichmäßige Stromstöße erregen; diese werden in einem mit dem Elektromagnet verbundenen Telephon als Summen hörbar. Die kleinste Unregelmäßigkeit der Drehung wird durch diese akustische Kontrolle sofort hörbar gemacht.

Die Aufnahme der Bilder und Tonschwingungen erfolgt, wie schon gesagt, auf zwei besonderen Filmen; durch Kopplung

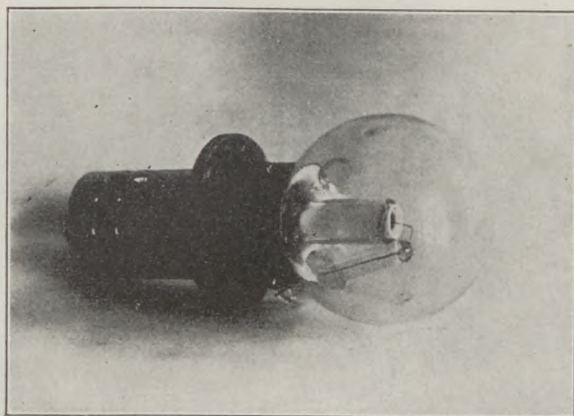


Abbildung 94.

des Bildaufnahme- und Tonaufnahmeapparates wird dafür gesorgt, daß die Filmgeschwindigkeit bei beiden 380 mm pro Sekunde beträgt. Um die Störung der akustischen Aufnahme durch die klappernden Apparate zu verhindern, werden diese in gepolsterten Kästen untergebracht.

Nach Beendigung der Aufnahme werden die Filme unabhängig voneinander entwickelt, da der mit reichlicher Lichtwirkung exponierte Bildfilm ja eine ganz andere Entwicklungsdauer und andere Entwicklungsmittel benötigt, als der mit recht schwachem Glimmlicht besprochene Tonfilm. Dieser Umstand, nämlich das begrenzte Tonaufnahmelicht, macht es unmöglich, Bild und Ton gleichzeitig auf ein und demselben Negativ aufzunehmen.

Erst nach Fertigstellung der beiden Negativfilme werden diese nebeneinander auf einen gemeinschaftlichen Positivfilm kopiert. Der von Triergon verwendete Positivfilm (Abbildung 95) hat aus unbekannten Gründen eine anormale Dimension. Wie wir aus der Abbildung sehen können, ist an einer Seite noch ein 7 mm breiter Rand vor

handen, auf den die Phonogramme kopiert werden. (Der Trierгонfilm hat also eine Breite von 42 mm gegenüber der normalen Breite von 35 mm, wodurch es unmöglich ist, irgendeinen vorhandenen normalen Bildprojektor mit einem Trierгон-Tonfilmapparat als Zusatzgerät zu versehen, da der Film durch den normalen Filmprojektor gar nicht durchlaufen kann.) Eine weitere, ebenfalls unverständliche Abweichung

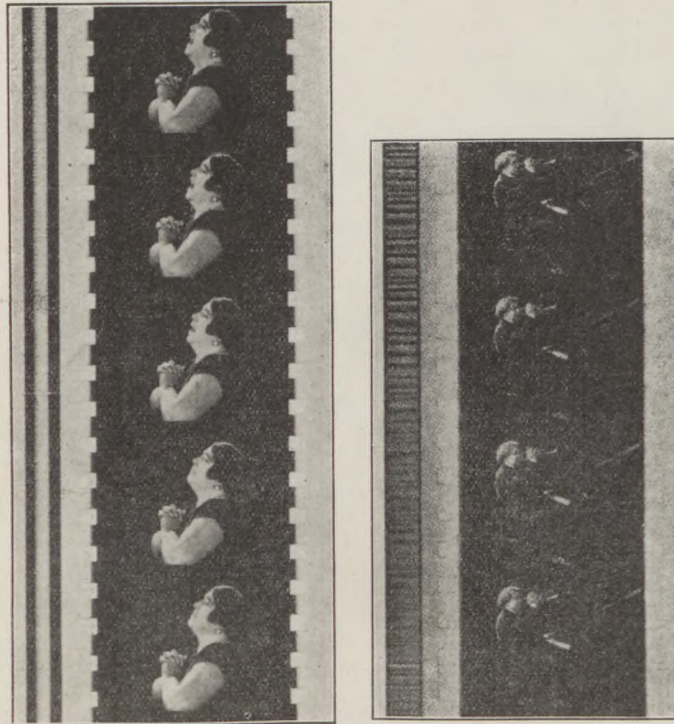


Abbildung 95.

des Trierгонfilmes von allen normalen Filmen besteht darin, daß seine Perforationslöcher vierkantig sind gegenüber der normalen abgerundeten Form. Diese scharfen vierkantigen Perforationen werden leider leicht „innenbrüchig“, d. h. sie reißen an den Ecken ein.

Das Nebeneinanderkopieren des Bild- und Tonfilmes geschieht mit einer konstanten Verschiebung von ca. 150 mm, d. h. der zu einem Bild gehörige Ton ist 150 mm vor dem betreffenden Bild auf den Rand des Positivfilms kopiert. Der Grund hierfür liegt darin, daß der in der Fensteröffnung bewegte Filmteil sich ruckweise bewegt und das Abhören des Phonogramms beim Trierгонverfahren unterhalb der Fensteröffnung bei der Aufwickelzahntrömmel erfolgt.

Der mit der Tonwiedergabeapparatur zusammenkonstruierte Triergonprojektor ist aus Abbildung 96 ersichtlich:

Der Film wird von der oberen Trommel A durch die gleichmäßig rotierende Zahntrommel B abgewickelt. Hinter der Zahntrommel B

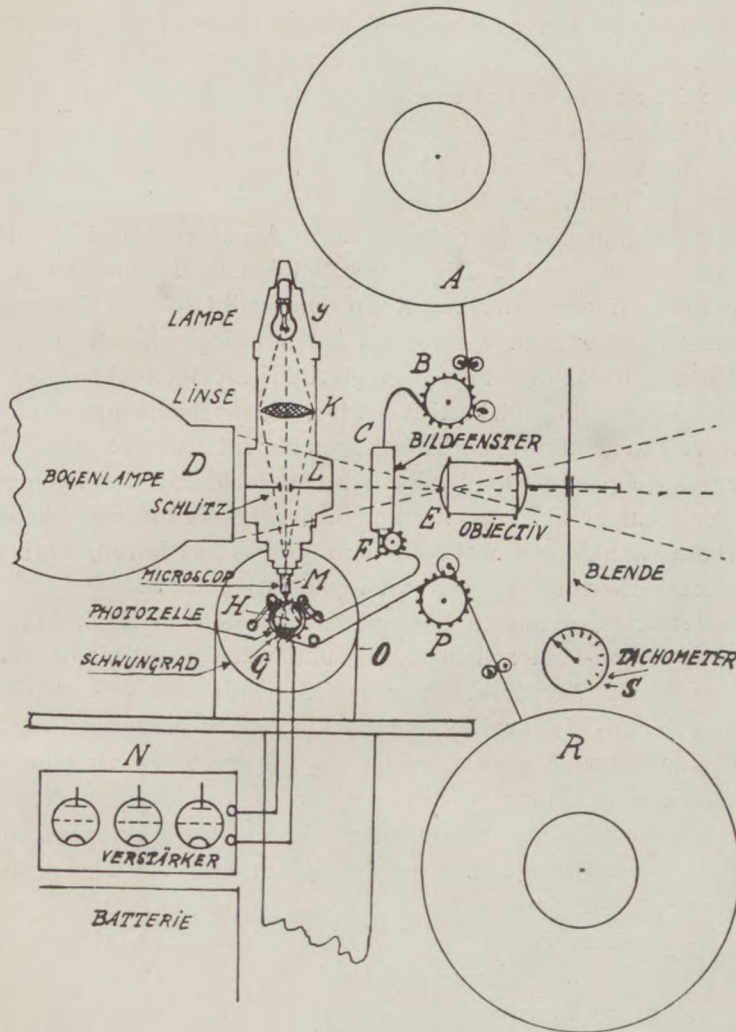


Abbildung 96.

bildet der Film eine Schleife und gelangt zwischen der üblichen Gleitführung C, durch den Maltheserkreuzradmechanismus F ruckweise befördert, vor das Bildfenster; hier wird er von der Projektionslampe D durchleuchtet, und die einzelnen Bilder werden wie üblich durch das Objectiv E auf die Projektionswand projiziert. Hinter der Zahn-

trommel F, die durch das Maltheserkreuz-System bewegt wird, bildet der Film wieder eine kleine Schleife und läuft danach um die Zahntrommel H herum, wo das Abhören erfolgt. Diese Zahntrommel H wird durch ein Schwungrad und eine elastische Kupplung O vom Antriebselektromotor gedreht, ähnlich wie beim Aufnahmeapparat, um eine ganz gleichmäßige Drehung zu erhalten. Die Zahntrommel H ist hohl, weil hier die lichtempfindliche Photozelle hineinragt. Die Photozelle ist an einem feststehenden Balken befestigt und zwar so, daß ihre Beleuchtungsöffnung gerade unter dem die Trommel überragenden Rand des Filmes steht, auf dem sich die Intensitätsstreifen befinden. In vertikaler Richtung über diesem Beleuchtungspunkt sehen wir die optische Einrichtung zur Projektion der Intensitätsstreifen auf die Photozelle. Die Halbwattglühlampe I konzentriert ihr Licht durch die Kondensatorlinse K auf den Spalt L, dessen Bild durch das Mikroskop-Objektiv M verkleinert auf den Intensitätsstreifen abgebildet wird. Unter dem Film divergiert das Lichtbündel so, daß die Anode der Photozelle voll bestrahlt wird. Je nachdem nun die verschieden starken und breiten Schwärzungen der Intensitätsstreifen diese Belichtungslinie passieren, blenden sie das Licht für die Photozelle mehr oder weniger ab. Die hierauf in der Photozelle entstehenden Photostromschwankungen werden durch die Verstärkereinrichtung N zu elektrostatischen Telefonen (Statophonen) geführt.

Die hierfür verwendeten Photozellen sind den im Kapitel IV beschriebenen Alkali-Photozellen ähnlich und werden mit ringförmiger Kathode und mit Neongas-Füllung meistens für 240 Volt Betriebsspannung gebaut. Die für die Statophone nötige Spannung beträgt 750 Volt. Hierzu kommen noch diejenigen Spannungen, die zum Betrieb der Verstärkereinrichtung notwendig sind.

Durch diese enormen Spannungen werden die praktischen Möglichkeiten für den Triergon-Wiedergabeapparat recht stark beschränkt. Wenn wir berücksichtigen, daß eine Reservebatterie aus Gründen der Betriebssicherheit unerläßlich ist, so ergibt sich, daß wir hierbei über mehrere 1000 Volt Spannung verfügen müssen, die sich nicht vom Netz nehmen lassen, und zwar nicht nur wegen der Spannung, sondern vor allem, weil jede Schwankung, die bei städtischen Stromnetzen nie zu vermeiden ist, viel zu störend wirken würde. Andererseits erfordert die Entnahme von mehreren 1000 Volt Spannungen aus Akkumulatorbatterien tausende von Akkumulatorzellen und bedeutet deshalb ebensoviel Fehlerquellen. Es genügt das geringste „Kochen“, d. h. die kleinste Blasenbildung in einem einzigen Akkumulator, und es entsteht ein verstärktes Nebengeräusch.

Das Ergebnis dieser Ausführungen kann man dahin zusammenfassen, daß im Triergonverfahren viele geistreiche Gedanken stecken, viele sorgfältige, gewissenhafte Konstruktionsarbeit, aber — wenigstens in der heutigen Form — kann es kaum für eine allgemeine praktische Einführung und populäre Verbreitung in Frage kommen.

Die unzureichende, beschränkte Lichtstärke, die bei der Tonaufnahme durch Anwendung der Glimmlichtlampe gegeben ist, erschwert die richtige Wahl der Mittelbelichtung, wodurch leicht eine Verstümmelung der Phonogramme eintritt. Diese erschwert nach der Entwicklung beim Zusammenkopieren zum gemeinschaftlichen Positivfilm die Erzielung einer kontrastreichen Phonogrammkopie, so daß schließlich eine akustische Verzerrung entsteht. Die bisherigen, innerhalb längerer Pausen wiederholten Vorführungen, die in dieser Beziehung keinen Fortschritt aufweisen konnten, haben das leider praktisch bestätigt. Manche Tonbereiche fehlen gänzlich, besonders die unteren und oberen Grenzlagen, was auch selbstverständlich ist. Die lineare Proportionalität, auf die Triergon so sehr exakt, man möchte sagen beinahe allzu peinlich geachtet hat, bewährt sich eben beim Sprechfilm gar nicht. Wir dürfen nicht vergessen, was wir im Kapitel IV besprochen haben, nämlich, daß ein Ton von 64 Schwingungen in der Sekunde eine 1 Million mal größere Energie haben muß als ein Ton von 1 500 Schwingungen, um durch unser Ohr als gleich laut empfunden zu werden. Hieraus wird verständlich, daß selbst die größten Trommelschläge schwach oder gar nicht hörbar waren. Andererseits konnte man wiederholt das Fehlen der sehr hohen Schwingungen, besonders der Zischlaute feststellen. Wenn man solche Filme unter dem Mikroskop betrachtet, findet man allerdings die den Zischlauten entsprechenden Intensitätsstreifen. Zur Geltung kommen sie aber überhaupt nicht oder nur sehr schwach. Wie ist das möglich? Sehr einfach! Zwar sind diese Streifen bei der Aufsicht fast genau, sogar ganz genau proportional zu den anderen Teilen der Intensitätsstreifen; sie sind aber nicht proportional bedeckt, d. h. dringen nicht so tief in die Emulsionsschicht ein. Infolgedessen geht bei der Durchleuchtung die Proportionalität um so mehr verloren, je stärker sie durchleuchtet werden müssen. Die Photozellen benötigen nun recht starke Vorbelichtung, wodurch ihr Vorteil gegenüber einer guten Selenzelle, nämlich daß sie absolut trägheitslos sind, sehr zweifelhaft wird. Die Trägheit der Selenzelle wird erst bei $\frac{1}{100\ 000}$ Sekunde störend. Dagegen sind sie weitaus empfindlicher als die Photozellen und benötigen keine Vorbelichtung.

Alle diese Umstände beeinträchtigen also die akustische Qualität der Triergon-Wiedergabe. Die praktische Anwendungsmöglichkeit wird dadurch beschränkt, daß die Verwendung der mit diesem Verfahren hergestellten Filme wegen ihrer größeren Breite nur mit Triergonapparaten möglich ist, so daß von einer Ausbildung des Verfahrens als Zusatzapparat, der an jeden bestehenden Projektor anzubringen ist, keine Rede sein kann. Außerdem bereitet die notwendige enorm hohe Betriebsspannung große Unbequemlichkeiten und vermindert die Sicherheit des Verfahrens.

i) Die Einrichtung von Lee de Forest und das „Movieton“

Diese beiden Methoden unterscheiden sich von dem eben erläuterten Triergonverfahren vor allem dadurch, daß sie normale Filme verwenden.

Lee de Forest benutzt für die Intensitätsstreifen innerhalb der Perforation 2,5 mm breite Streifen unmittelbar neben dieser, und zwar bei seinem neuesten Projekt auf beiden Seiten. Der eine Intensitätsstreifen, der mit der von den Schallschwingungen beeinflussten Glimmlichtlampe aufgenommen wird, dient zur Wiedergabe des Tones, der andere dient lediglich dazu, das Tonvolumen den Frequenzen entsprechend zu ändern, d. h. die Verstärkeranlage zu steuern. Lee de Forest verwendet dementsprechend auf der einen Seite das Aufnahmeorgan nur für die Schallschwingungen; auf der anderen Seite verursacht ein ballistisches Lichtrelais Schwärzungen, die dem momentanen Tonvolumen entsprechen. Bei der Wiedergabe werden zwei Photozellen benutzt, von denen die eine durch Verstärker auf die Lautsprecher wirkt, während die andere, beeinflusst von den langsameren Volumenschwankungen, einen Mechanismus betätigt, der den Verstärkungsgrad beeinflusst, je nachdem ob die dynamische Wirkung den Frequenzen entsprechend eine größere oder kleinere sein muß.

Beim Movietonverfahren werden zur Aufnahme als Lichtrelais zwei Glühlämpchen verwendet, die sehr geringe Wärmekapazität besitzen. Die beiden Lämpchen projizieren ihr Licht auf ein und dieselbe Seite des Bildfilmes, und zwar wird der eine Intensitätsstreifen außerhalb, der andere innerhalb der Perforation aufgenommen. Wie nun hierbei ein Ausgleich der verschiedenen Volumen erzielt wird, darüber fehlen leider nähere Angaben. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird dies dadurch erreicht, daß eins der Glühlämpchen durch entsprechende Wahl der Wärmekapazität auf einen anderen lang-

sameren Schwingungsbereich abgestimmt ist und dadurch zur ballistischen Registrierung der Volumen dient. In den übrigen Teilen weisen diese beiden Verfahren wenig Neues auf und weichen hauptsächlich nur in Detailfragen von den bereits erläuterten Systemen ab.

k) Der sprechende Film mit dem „Ultraphon“-
Prinzip von H. J. Küchenmeister

Eine Verbesserung der Wiedergabe bei dem Triergonverfahren wurde durch die Universum-Film-A.-G. (Ufa) unter der Führung von Dr. G. Bagier versucht und zwar mit Hilfe einer Erfindung von H. J. Küchenmeister, dem sogenannten „Ultraphonprinzip“.

Das Ultraphonprinzip selbst wurde — wie schon erwähnt — zuerst zur Verbesserung des Klangeffektes bei Sprechmaschinen verwendet. Im Wesen besteht die Erfindung darin, daß man zwei Nadeln (und dementsprechend zwei Schall Dosen) verwendet, die an der Sprechmaschine so angeordnet sind, daß sie hintereinander in ein und derselben Rille der Schallplatte mit etwa 20 mm Entfernung voneinander laufen und den Ton mit Phasenverschiebung doppelt reproduzieren. Infolge der verhältnismäßig kurzen Entfernung der beiden Nadeln, die als Zeitintervall nur etwa $\frac{1}{100}$ Sekunde ausmacht, empfindet man die phasenverschobene doppelte Wiedergabe nicht als besonderen zweiten Ton; infolge einer noch nicht vollständig geklärten akustischen Täuschung glaubt man vielmehr, eine mehrfache Steigerung der Lautstärke wahrzunehmen, wobei der Ton gleichzeitig einen gewissen plastischen Charakter gewinnt. Es tritt jedenfalls nicht eine einfache Addition durch die doppelte Wiedergabe ein, da man die Lautstärke scheinbar etwa 4- bis 5 mal so stark empfindet als bei einer einzigen Schalldose. Die Begründung ist aller Wahrscheinlichkeit nach mehr auf physiologische Grundlagen als auf physikalische Erscheinungen zurückzuführen. Unsere Ohren sind bei Tönen, die normales Volumen haben, gewöhnt, den dabei auftretenden Wiederhall unbewußt mit aufzunehmen. Bei der einfachen Schallplattenwiedergabe ist, besonders wenn die Platte fein und detailreich aufgenommen und wiedergegeben wird, das Volumen des reproduzierten Tones viel zu schwach, um ein Wiederhallen in dem Maße erwecken zu können, daß es für unsere Ohren wahrnehmbar wird; dementsprechend empfinden wir solche feinen Wiedergaben als schwach und unnatürlich. Wird nun durch eine zweite Schalldose ohne Interferenz-Komplikationen ein zweiter, dem Wiederhall entsprechender Ton erweckt, so empfinden wir das Resultat als einen natürlicheren und stärkeren Ton. Außerdem kann

man selbstverständlich bei Verwendung von 2 Schalldosen und 2 Tonführungen auch größere Tonbereiche beherrschen. Die obige Hypothese zur Begründung dieser recht interessanten akustischen Täuschung scheint auch durch die Tatsache unterstützt zu werden, daß die notwendige Phasenverschiebung, soweit es der Verfasser beobachten konnte, stark von der Größe der Räumlichkeit abhängt, in der der Effekt vorgeführt wird.

Dies Ultraphonprinzip wurde nun bei dem Ufa-Triergon-Küchenmeister-Verfahren zur Wiedergabe des Tonfilmes verwendet, indem das Phonogramm an zwei nahe beieinander gelegenen Stellen durchleuchtet und durch lichtempfindliche Zellen abgehört wurde. Küchenmeister verwendet bei seinen diesbezüglichen Experimenten, um größere Empfindlichkeiten zu erzielen, für die Aufnahme anstelle der Alkaliphotozellen von Mihály'sche Kondensatorzellen.

1) Die Experimente von Dr. Karolus

Im letzten Jahr hat auch der durch seinen Bildtelegraphen bekannte Professor Dr. Karolus Experimente in bezug auf den sprechenden Film aufgenommen. Über die Detailfragen ist bisher recht wenig veröffentlicht worden. Jedenfalls sind die Mittel, die sich für den Bildtelegraphen bewährt haben, mit gewissen Änderungen ohne weiteres auch zum Aufbau eines Sprechfilm-Systems nach der Intensitätsmethode geeignet. Dementsprechend verwendet Dr. Karolus zur Umwertung der Tonschwingungen in Lichtintensitätsschwankungen die von ihm durchgebildete Kerrzelle, die von uns schon im Kapitel IV beschrieben worden ist. Bei der Wiedergabe verwendet Dr. Karolus eine Photozelle; nähere Daten über die Details seiner Konstruktion fehlen noch.

m) Der sprechende Film von Dr. H. Köhnemann

Eines der am allerbesten durchgebildeten und am sorgfältigsten aufgebauten Systeme ist das von Dr. Köhnemann, bei dem nicht nur die grundlegenden Probleme, sondern auch die feinsten Detailfragen am genauesten berücksichtigt worden sind. Vor allem sind seine Einrichtungen sowohl für die Aufnahme als auch für die Wiedergabe als Zusatzapparat ausgebildet; dies entspricht am besten den praktischen Erfordernissen, denn die Kinotheater können den Tonapparat dann ohne weiteres an ihre Kinoprojektoren anmontieren und brauchen keinen neuen kompletten Kinoprojektor anzuschaffen.

Auch der Film, den Dr. Köhnemann verwendet, ist der Normalfilm, dessen beide Ränder außer den Perforationen noch die Intensitätsstreifen tragen, so daß bei diesem System die Bildgröße nicht im geringsten verkleinert zu werden braucht.

Am Anfang seiner Experimente ging Dr. Köhnemann von dem Standpunkt aus, daß die restlose Lösung der Sprechfilmprobleme vor allem eine Verstärkerfrage ist, d. h. eine Methode kann erst dann praktisch verwertbar werden, wenn sehr große Verstärkungen ohne Anwendung von besonders hohen Spannungen und riesigen Akkumulatoranlagen zu erzielen sind; denn auch große Tonvolumen müssen ohne Überanstrengung der Lautsprecher und ohne Ausnutzung ihrer Spitzenleistung erreichbar sein. Hierfür war es aber unerlässlich, neue Wege der Verstärkung zu suchen. Wie bekannt, haben die Stromschwankungen, die bei der Wiedergabe unter der Beeinflussung durch die Phonogramme in einer Photozelle entstehen, eine Größenordnung von 10^{-10} , in einer Selenzelle etwa 10^{-4} . Um diese Stromschwankungen in einem Kopfhörer hörbar zu machen, reichen auch die 2 bis 3 Röhrenverstärker aus, die bei Radioapparaten verwendet werden und eine Anodenspannung von etwa 100 Volt benötigen. Will man aber mit der Verstärkung durch Röhren so hoch gehen, daß große Lautsprecher ein auch für Theater ausreichendes Tonvolumen geben, so kommt man zur Anwendung von Verstärkern, die unangenehm hohe Spannungen benötigen.

Um dies zu vermeiden, verwendet Dr. Köhnemann bei seiner Verstärkeranlage einen kleinen Röhrenverstärker nur zur Vorverstärkung; für die eigentliche Verstärkung auf große Energien bedient er sich aber einer Hochfrequenzmaschine, bei der die nötigen Spannungen nie 200 Volt übersteigen. Die Verstärkereinrichtung von Dr. Köhnemann ist schematisch aus Abbildung 97 ersichtlich.

Die von der Zelle Z gelieferten Modulationsschwingungen werden über einen Vorverstärker V einem Hochfrequenzschwingungskreis HM-L1-Tr-D-C1 zugeführt. Die Energie dieses Hochfrequenzschwingungskreises wird durch die Hochfrequenzmaschine HM erzeugt. Es ist dies eine normale Hochfrequenzmaschine, wie sie in der drahtlosen Telephonie und Telegraphie Verwendung findet. Die Maschine, die für ganz große Verstärkungsleistungen höchstens 800 Watt geben muß, erzeugt eine Schwingung von z. B. 10 000 Per/s bei einer Effektivspannung von ca. 75 Volt. Der vorerwähnte Hochfrequenzschwingungskreis ist mit Hilfe der Abstimmittel L1 und C1 mit der Maschinenfrequenz von 10 000 Per/s in Resonanz.

bar zu machen, müssen sie gleichgerichtet werden, da sonst der Lautsprecher nicht ansprechen würde. Die Gleichrichtung erfolgt in einem Spezial-Gleichrichter G für niedere Spannungen und hohe Ströme.

Die Energiezuführung zum Gleichrichter G erfolgt mittels des Transformators Tr, der primärseitig an den 10 000 Per/s-Hochfrequenzschwingungskreis, sekundärseitig an die beiden Anoden des Gleichrichters angeschlossen ist. Die gleichgerichtete modulierte Hochfrequenz wird von der Mitte der Sekundärwicklung und von der Glühkathode entnommen und dem Lautsprecher zugeführt. Wie aus der Schaltung ersichtlich ist, werden beide Hochfrequenzwechsel ausgenutzt, um keine Energie zu verlieren. Durch die Sperrkette C2-D2 wird eine evtl. noch auftretende Hochfrequenz von dem Lautsprecher ferngehalten.

Schwanken z. B. die vom Vorverstärker gelieferten Schwingungen von 10 bis 100 Milliampère, so schwankt der dem Lautsprecher zugeführte gleichgerichtete Strom J von ca. 0,6 bis 3 Ampère. Es ist klar, daß mit solchen Stromstärken ganz große Lautsprecherleistungen möglich werden. Die Einrichtung hat aber außer dieser großen Verstärkungsmöglichkeit noch eine Reihe von weiteren Vorteilen vor den üblichen Verstärkungseinrichtungen voraus, und zwar:

Es sind keinerlei hohe und lebensgefährliche Spannungen vorhanden, wie sie die Batterien und Hochspannungsmaschinen der normalen Verstärkereinrichtungen benötigen, denn die im Hochfrequenzschwingungskreis und am Gleichrichter auftretenden Spannungen von höchstens 200 Volt sind, da es sich um Hochfrequenz von 10 000 Perioden handelt, ungefährlich.

Weiter fallen sämtliche Batterien mit Ausnahme der Heizbatterien des Vorverstärkers, sowie deren Wartung und Aufladung fort. Der Anodenstrom des Vorverstärkers kann durch Netzanschlußgeräte ohne Bedenken entnommen werden. Auch der Gleichrichter G benötigt keine Heizbatterie, denn die Heizung der Glühkathode erfolgt durch den Heiztransformator mit 10 000 Perioden Hochfrequenz.

Es ist also praktisch so, daß die Verstärkungseinrichtung direkt an das vorhandene Netz angeschlossen werden kann. Bei richtiger Dimensionierung des Hochfrequenz-Schwingungskreises und des Gleichrichters können die Verluste auf ein Minimum herabgedrückt werden, so daß auch der Wirkungsgrad der Anlage als durchaus brauchbar und auf jeden Fall jenem der Verstärkungseinrichtungen mit Anodenbatterien und Hochspannungsmaschinen überlegen ist.

Durch diese Anordnung gelang es Dr. Köhnemann, die feinsten Stromschwankungen der lichtempfindlichen Zelle auf einen riesigen

Grad zu verstärken, dessen Grenze ohne jede praktische Schwierigkeit fast nach Belieben gewählt werden kann.

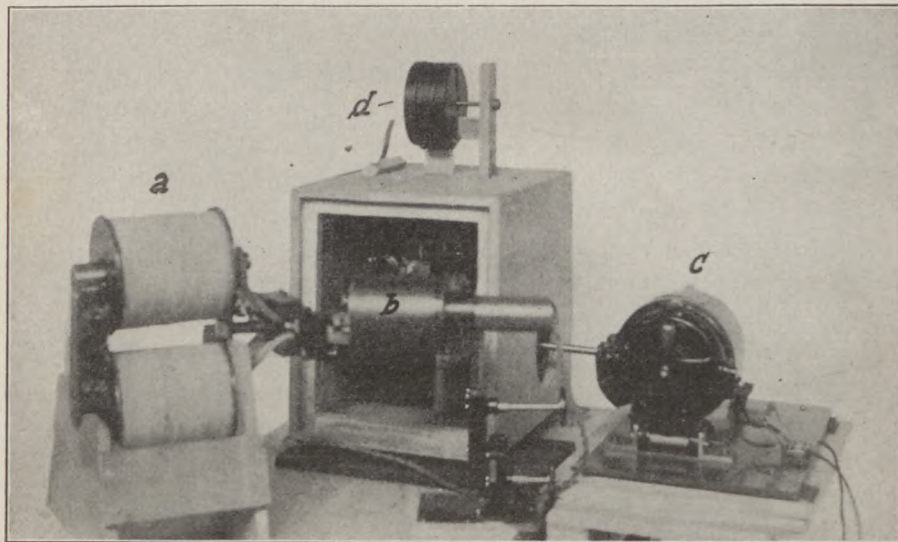
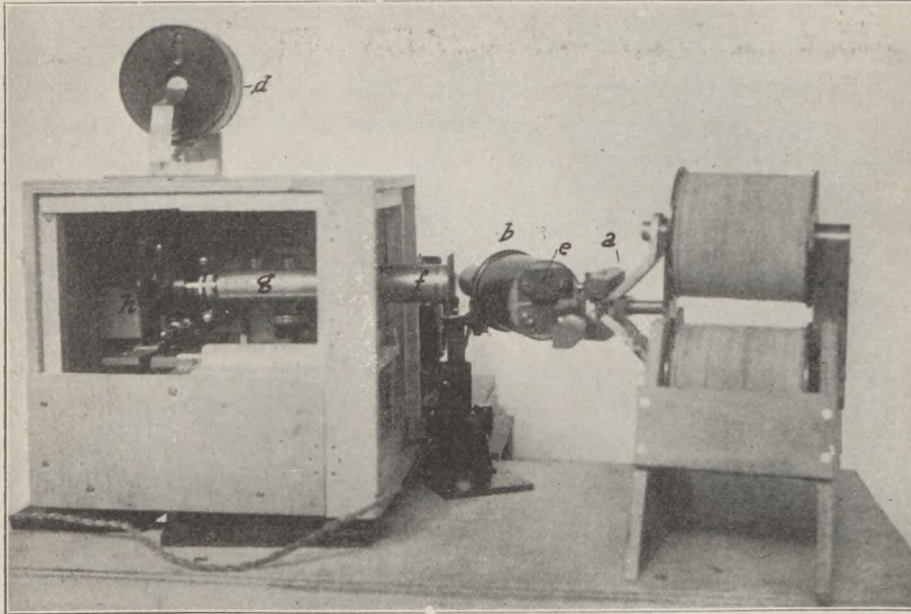


Abbildung 98.

Aber auch die anderen Einzelheiten dieser Methode sind den praktischen Erfordernissen genau angepaßt.

Die Einrichtung arbeitet, wie gesagt, nach der Intensitätsmethode. Bei der Aufnahme wird das Phonogramm und das Bild auf einem separaten Negativfilm aufgenommen, um die Entwicklungsschwierigkeiten zu vermeiden; nach Fertigstellung der Negative werden diese auf einen gemeinsamen Positivfilm zusammenkopiert. Ein Versuchsmodell des Tonaufnahmeapparates zeigt Abbildung 98. Bei dieser Einrichtung verwendete Dr. Köhnemann, ebenso wie Poulsen und Petersen, der Verfasser und andere, einen Oszillographen *a* zur Umwertung der Tonschwingungen in Lichtintensitäten. Der Spiegel des Oszillographen *a* wird von der Projektionslampe *b* durch einen Spalt hindurch beleuchtet, so daß das vom Spiegel gegen den Aufnahmeapparat reflektierte Strahlenbündel sich als schmales horizontales Viereck über einem ebenfalls horizontalen Spalt *f* abbildet. Wird die Oszillographenschleife von den verstärkten Sprechströmen durchflossen, so schwingt der viereckige Lichtfleck mehr oder weniger in den Spalt *f* hinein; dessen mehr oder weniger bestrahltes Bild wird durch das Mikroskop *d* auf 0,005 mm Breite und 1 mm Länge verkleinert und auf den Film projiziert.

Die Filmführung ist gleichfalls sehr präzise ausgeführt. An der Belichtungsstelle wird der Film in gespanntem Zustand über eine Zylinderlinse geleitet und durch eine geschliffene Glasplatte gedrückt. Durch diese planparallele Glasplatte hindurch erfolgt die Bestrahlung. Ein transversales Schwingen des Filmes ist also gänzlich ausgeschlossen. (Bei einer neuen Konstruktion von Dr. Köhnemann wird der Film durch Luftstrom an den Glaszylinder gedrückt.) Die Bewegung des Filmes erfolgt durch eine Zahntrommel, deren Kränze neben den Zähnen, also dort, wo der Film aufliegt, mit Gummibelag versehen sind, so daß der Antrieb des Filmes eigentlich durch das Kleben zwischen Gummikranz und Film erfolgt und die in die Perforationen eingreifenden Zähne nur als Sicherung gegen ein eventuelles Rutschen des Filmes dienen. Die Zahntrommel wird von einem Elektromotor mittels einer elastischen Kupplung (Federkupplung) angetrieben; derselbe Motor treibt ebenfalls mit elastischer Kupplung den Filmaufnahmeapparat an. Der hierzu verwendete Elektromotor ist so ähnlich, wie er bei elektrischen Sprechmaschinen und bei den sogenannten Diktaphonen verwendet wird, d. h. er ist zwecks Sicherung des gleichmäßigen Laufes mit einem Schwungrad von etwa 3 kg Gewicht versehen. Außerdem besitzt er einen Zentrifugal-Regulator in Verbindung mit einer selbsttätigen Bremse. Diese Bremse (bzw. der Regulator) ist so eingestellt, daß sie den Motor bei der normalen Netzspannung etwas bremst. Treten Spannungsschwankungen

im Netz auf, so läßt die Bremsung entsprechend nach, und das Schwungrad gleicht den Lauf wieder aus. Bei einer anderen Ausführung wird eine Wirbelstrombremse verwendet.

Beim Zusammenkopieren des Tonfilm- und Bildfilm-Negativs zu einem gemeinsamen Positivfilm verwendet Dr. Köhnemann eine spezielle Kopiermaschine, die es erlaubt, für die Bildkopie und die Ton-

kopie zwei verschiedene, voneinander unabhängige Kopierlampen zu verwenden, falls dies infolge verschiedener Intensität der Bild- und Tonnegative notwendig wäre.

Die Vereinigung des Bildes und des Phonogramms geschieht übrigens mit einer Phasenverschiebung von etwa 1,5 m, damit der Zusatz-Tonapparat nicht unmittelbar am Bildprojektor montiert zu werden braucht, was bei manchen Konstruktionen schlecht auszuführen wäre.

Ein mittels des Verfahrens von Dr. Köhnemann aufgenommenes Phonogrammnegativ ist aus Abbildung 99 ersichtlich.

Die Führung des Filmes und der Antrieb bei den Reproduktionsapparaten ist genau so wie bei dem Aufnahmeapparat. Nur die Projektionseinrichtung ist etwas anders. Bei anderen Methoden ist nämlich vielfach dadurch eine Schwierigkeit entstanden, daß eine äußerst

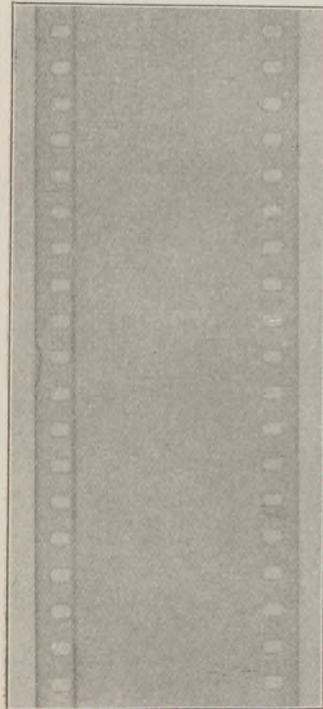


Abbildung 99.

feine Fokuslinie am Phonogramm anliegen muß, um richtig durch die Schwärzungen der Intensitätsstreifen beeinflußt zu werden und auf die lichtempfindliche Zelle einzuwirken. Falls aber der Film selbst oder die Lampe, oder die Projektionseinrichtung nur im geringsten Maße in Schwingungen geriet, so kam es vor, daß die Fokuslinie nicht scharf am Film anlag und gleichzeitig mehrere Streifen durchleuchtete, wodurch dann Verzerrungen eintraten. Um das zu vermeiden, wird bei den Köhnemannschen Wiedergabeapparaten das Phonogramm mit Hilfe einer Mikroprojektion mehrhundertfach vergrößert, so daß die allerfeinsten Striche als millimeterbreite Streifen auf eine schmale lichtempfindliche Zelle fallen. Ob diese Streifen jetzt scharf sind oder nicht, spielt schon eine untergeordnete

Rolle. Die Widerstandsänderungen, die in der lichtempfindlichen Zelle durch das Phonogramm hervorgerufen werden, werden dann über die oben beschriebene Verstärkeranlage zum Lautsprecher geführt.

Als Lautsprecher verwendet Dr. Köhnemann zwei verschiedene neue Arten von Lautsprechern; die diesbezüglichen Experimente sind aber noch nicht endgültig abgeschlossen.

Die eine Lautsprecherart von Dr. Köhnemann ist ein Kondensatorlautsprecher, bei welchem der bewegliche Belag unterteilt ist, bzw. aus mehreren, verschieden langen und verschieden stark gespannten Aluminiumbändern besteht, die alle auf verschiedene Tonbereiche abgestimmt sind. Diese Lautsprecheranordnung ist also sozusagen eine treue Nachahmung der menschlichen Stimmbänder und bildet einen Übergang zwischen den Kondensator-Lautsprechern (wie z. B. den Statophonen) und den Bändchen-Lautsprechern von Siemens. Man könnte sagen, es ist ein Mehrfach-Bändchen-Lautsprecher mit elektrostatischer Betätigung. Die Modulationsfähigkeit solcher Lautsprecher übertrifft alle anderen bisherigen Typen bei weitem.

Ein anderer Lautsprecher von Dr. Köhnemann befindet sich zur Zeit noch im Versuchsstadium. Er basiert auf der Ionisation der Luft, wodurch eine unmittelbare Umwertung der Spannungsschwankungen in Luftschwingungen ermöglicht wird ohne irgendeine Membrane, Bändchen oder eine ähnliche Einrichtung. Es würde sich also um einen absolut masselosen Lautsprecher handeln, was zweifellos als eine ideale Möglichkeit bezeichnet werden muß.

Nachwort

Aus den vorstehenden Kapiteln können wir ersehen, daß die technisch einwandfreien Mittel zur Erreichung einer den praktischen Erfordernissen gerecht werdenden Sprechfilm-Methode vorhanden sind. Welche Methode sich für den praktischen Betrieb am besten eignen wird, läßt sich heute noch nicht ohne weiteres entscheiden. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß eine Verschmelzung verschiedener Methoden die endgültige praktische Lösung bringen wird.

Welche Methode man aber schließlich auch einschlägt, es müssen unbedingt die von uns auseinandergesetzten Bedingungen aufs sorgfältigste erfüllt werden, weil sonst bloß schöne Laboratoriumsergebnisse, „glücklich gelungene Aufnahmen“ entstehen können, aber keine „betriebsmäßig“ mit absoluter Sicherheit hergestellten Tonfilme.

Vom technischen Standpunkt aus gesehen, könnte man vielleicht mit großer Wahrscheinlichkeit prophezeien, daß diejenigen Methoden praktisch die besten Aussichten haben, die dem photographischen Prinzip folgen, womöglich ohne die geringste Änderung der Film-Normalien. Es erleichtert selbstverständlich die Verbreitung des sprechenden Filmes, wenn die Vorführung keinen eigens für diese Zwecke konstruierten besonderen Projektor benötigt, sondern der Tonwiedergabeapparat an jeden anderen schon vorhandenen Projektor ohne große Montage und Änderungen angeschlossen werden kann.

In bezug auf die Forderungen, die man an die Leistung des Sprechfilmes stellen soll, könnte man es als empfehlenswert bezeichnen, die Aufnahme der Sprache selbst möglichst auf das allergeringste Maß herabzudrücken; man sollte sich vielmehr auf die Aufnahme der Begleitmusik und der Naturgeräusche beschränken. Ganz abgesehen von den künstlerischen Schwierigkeiten eines „maschinellen Theaters“ darf man nie vergessen, daß der Film bzw. das Kino ein internationales, demokratisches Unterhaltungsmittel ist, das den großen Volksmengen gehört. Es hat daher nur dann eine richtige pekuniäre Basis, wenn es sich den Bedürfnissen der Menge so streng wie möglich anpaßt.



M. Krayn, Verlagsbuchhandlung **Berlin W10**
für techn. Literatur
Genthiner Straße 39

Werke über Hochfrequenztechnik:

Rundfunktechnisches Handbuch

von

Dr. Heinrich Wigge

Professor für Physik und Funkentelegraphie am Friedrichspolytechnikum
Cöthen-Anh.

I. Teil

**Die konstruktiven und theoretischen
Grundlagen für den Selbstbau von
Rundfunkempfängern**

Umfang ca. 350 Seiten.

Mit 563 Abbildungen

Preis gebunden 15 Goldmark.

II. Teil

**Die physikalischen Grundlagen,
die Konstruktion und die Schaltung von
Spezialempfängern für den Rundfunk**

Umfang 314 Seiten.

Mit 416 Abbildungen.

Preis gebunden 12 Goldmark.

Teil I und II zusammen bezogen 25 Goldmark.

Mit Wiggess Rundfunktechnischem Handbuch ist beabsichtigt, für jeden Interessenten des Rundfunkwesens ein wirkliches Handbuch zu schaffen. Die hervorragenden Besprechungen in der Fachpresse beweisen, daß diese Aufgabe vollständig erfüllt wird.

Die E. T. Z. schreibt: Es liegt hier das Werk eines Fachmanns vor, der die Praxis des Funk-Bastelwesens ebenso gut und gründlich beherrscht wie die Theorie der Funktechnik. Das Buch wird jedem, der seine Funkapparate selbst bauen will, von großem Nutzen sein, aber auch dem berufsmäßigen Konstrukteur von Empfängern und Zubehör kann es als wertvolles Nachschlagebuch dienen.

„Z. f. Hochfrequenztechnik“ schreibt: Das Rundfunktechnische Handbuch von Professor Dr. H. Wigge bietet in einem handlichen Band alles wesentliche übersichtlich vereinigt. Es will in erster Linie ein Ratgeber für diejenigen sein, welche sich selbst Empfangsgeräte herstellen. Das Buch wird nicht nur für den Bastler, sondern auch für den Fachmann ein praktisches Handbuch sein.

„Dr. h. c. Graf von Arco“ schreibt: Ich freue mich ganz besonders, hier ein neues Buch vorzufinden das dem praktischen Amateur wirklich gute Dienste leisten kann, weil es, wie bisher kaum ein zweites wirklich auf die praktischen Bedürfnisse eingeht. Daneben ist der Leser auch besonders erfreut über die außerordentlich leichte Verständlichkeit und einfache Darstellungsweise.

„Radio-Export“ schreibt: Der Fachmann und der Laie, beide finden Anregungen, beide werden befriedigt. Man kann mit großem Interesse dem Erscheinen des zweiten Bandes entgegensehen.

„Z.-J.-Funk“ äußert sich: Dieses umfangreiche Werk macht einen außerordentlich günstigen Eindruck. Dieses Buch wird sicherlich als vorzüglicher Ratgeber stets geschätzt werden.

Inhaltsübersicht des I. Teiles:

Vorwort.

Kapitel I.

Vorbereitungen.

Kapitel II.

Der Schwingungskreis.

Kapitel III.

Die Antennenanlage. — Physikalische Grundlagen. — Schutzmaßnahmen beim Antennenbau. — Praktischer Antennenbau.

Kapitel IV.

Der Empfang mit dem Detektor. — Der Detektor. — Detektorschaltungen. — Der Bau eines Detektorempfängers.

Kapitel V.

Die Elektronenröhre. — Die Wirkungsweise der Elektronenröhre. — Die Stromquellen der Röhre.

Kapitel VI.

Niederfrequenzverstärkung. — Theorie der Niederfrequenzverstärkung. — Die Selbstherstellung von Niederfrequenzverstärkern.

Kapitel VII.

Fernhörer und Lautsprecher.

Kapitel VIII.

Das Audion.

Kapitel IX.

Der Hochfrequenzverstärker.

Kapitel X.

Rückkoppelungsempfänger.

Schluß.

10 Regeln für die Auswahl des Empfängers.

Inhaltsübersicht des II. Teiles:

Kapitel I.

Das Problem des H.-F. Verstärkers.

Kapitel II.

Transponierungsempfänger.

Kapitel III.

Die Pendelrückkopplung.

Kapitel IV.

Reflexempfänger.

Kapitel V.

Die Doppelgitterröhre.

Kapitel VI.

Spezialröhren.

Kapitel VII.

Mehrröhrengeräte.

Anhang.

M. Krayn, Verlagsbuchhandlung für techn. Literatur, Berlin W10

Das elektrische Fernsehen und das Telehor

von

Dionys von Mihály

Zweite, durch einen Nachtrag erweiterte Ausgabe.

Mit 112 Textfiguren.

Preis broschiert M. 10.—, gebunden M. 12.—

Inhaltsübersicht:

1. Das Problem des elektrischen Fernsehens.
2. Vorversuche und Arbeiten für das Fernsehen.
3. Der v. Mihálysche Fernseher.
4. Nachtrag.
 - A. Neuere Erwägungen und Versuche zur Feststellung der bei Fernsehen erforderlichen Frequenzen.
 - B. Die Bedeutung der Kurzwellensender bei den Bildübertragungen.
 - C. Die Untersuchung und die praktische Vergleichung der verschiedenen lichtempfindlichen Organe bezüglich des Fernsehens.
 - D. Registrierorgane (Lichtrelais), welche infolge der Entwicklung der Verstärker technik für die Bildübertragung brauchbar geworden sind.
 - E. Die Bestimmung der Anzahl der Bildelemente (der Feinheit der Bildzerlegung) die auf Grund der neueren Untersuchungen beim Fernsehen notwendig sind
 - F. Verschiedene praktische Fernsehversuche.
5. Die Entwicklungsrichtungen der Bildübertragung.
6. Nachwort.

Die Hochfrequenztechnik in Einzeldarstellungen

Band I. Atmosphärische Störungen in der drahtlosen Nachrichtenübermittlung mit Abbildungen von Dr. A. Koerts, Patentanwalt in dem Haag (Holland). Preis br. M. 10.—, geb. M. 12.—

Der funktelegraphische Wetter- und Zeitzeichendienst

Von Postrat H. Thurn. Mit 15 Figuren im Text, Preis M. 2.—

M. Krayn, Verlagsbuchhandlung für techn. Literatur, Berlin W10

Eisenbahnzug - Telephonie

Von Dipl.-Ing. Bruno Rosenbaum,
Direktor der Dr. Erich E. Huth
G. m. b. H., Ges. f. Funkentelegraphie.

Erweiterter Vortrag mit 25 Abbildungen im Text. Preis brosch. M. 1.50

Grundzüge der Elektrotechnik

Ein Lehrbuch mit Aufgaben-
sammlung zum Gebrauche beim
Unterricht an höheren technischen Lehranstalten und zum Selbststudium von
Dipl. Ing. Dr. phil. nat. Gustav Maier, Professor an der höheren technischen
Staatslehranstalt Kaiserslautern. Mit 219 Abbildungen im Text und zahlreichen
Übungsaufgaben. Preis brosch. M. 12.—, gebd. M. 14,—

Im erweiterten Umfange erscheint jetzt:

**Jahrbuch
der drahtlosen Telegraphie
und Telephonie**

Zeitschrift für Hochfrequenztechnik

Herausgegeben von

Professor Dr. J. Zenneck

und

Privatdozent **Dr. E. Mauz**

Begründet 1907, XXIX/XXX. Band (1927)

Abonnementspreis pro Band (1/2 Jahr M. 15.—)

Auch sind noch die kompletten Bände 12—14, 18, 19, 21—30 zu nachstehenden
Preisen lieferbar:

Band 12—14, 18, 19 21, 22. in Heften . . .	je RM. 20.—
„ 12—14, 18, 19 21, 22. gebunden . . .	je „ 23.—
„ 23 u. 24 gebunden in einem Bande . . .	„ 35.—
„ 25 „ 26 „ „ „ „ „ „ „ „ „	„ 35.—
„ 27 „ 28 „ „ „ „ „ „ „ „	„ 35.—
„ 29 u. 30 „ „ „ „ „ „ „ „ „	„ 35.—

Druck Rosenthal & Co., Berlin NW21

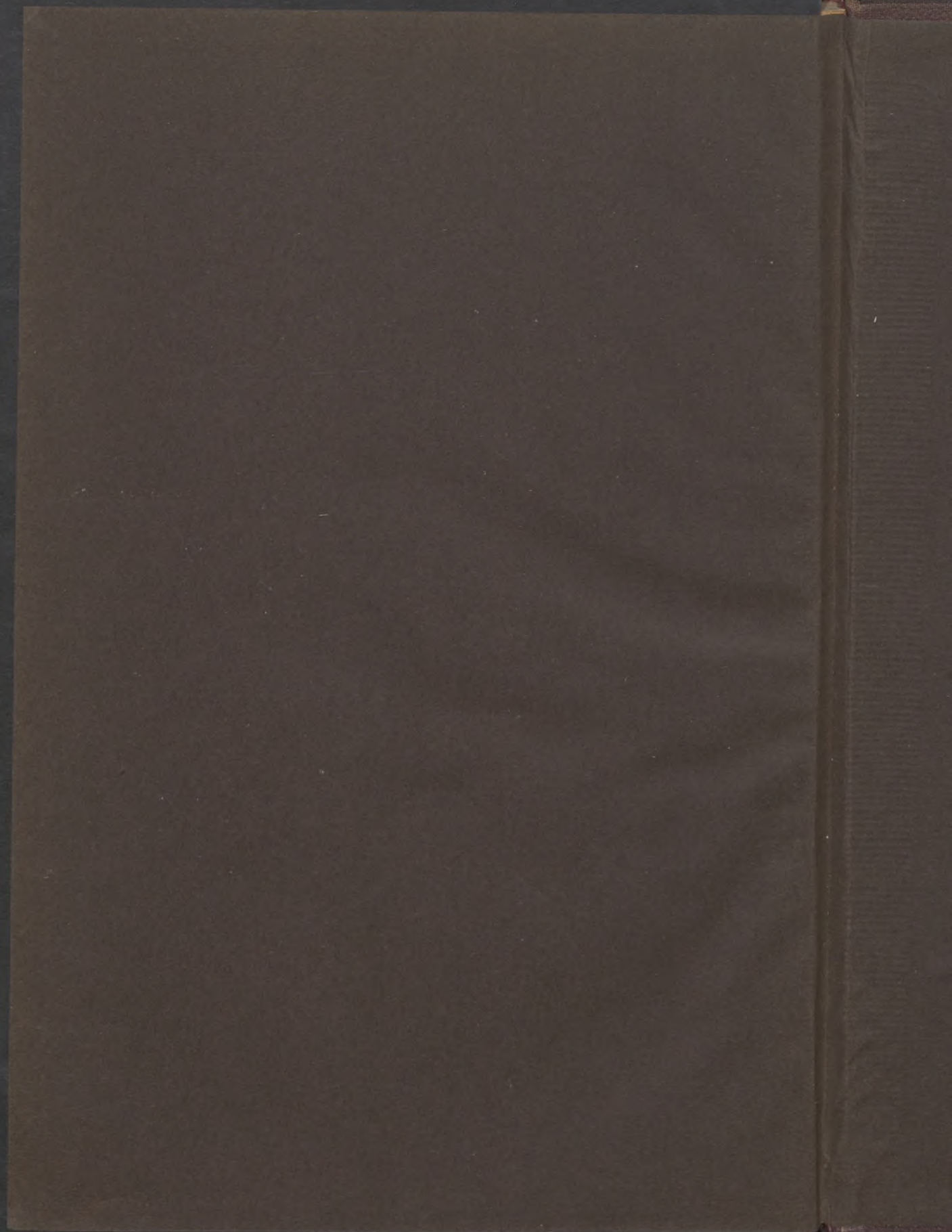
V10

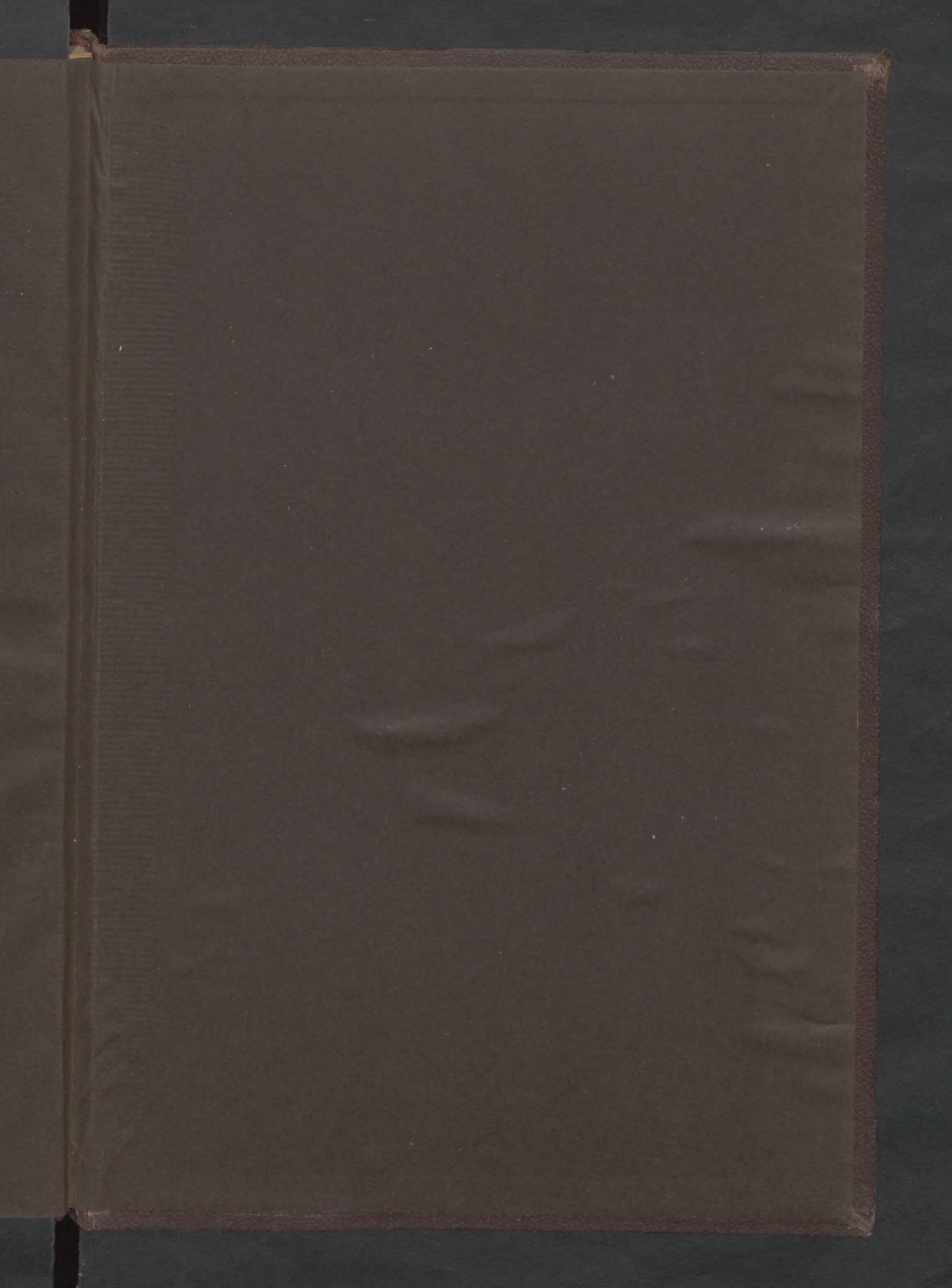
um,
Huth

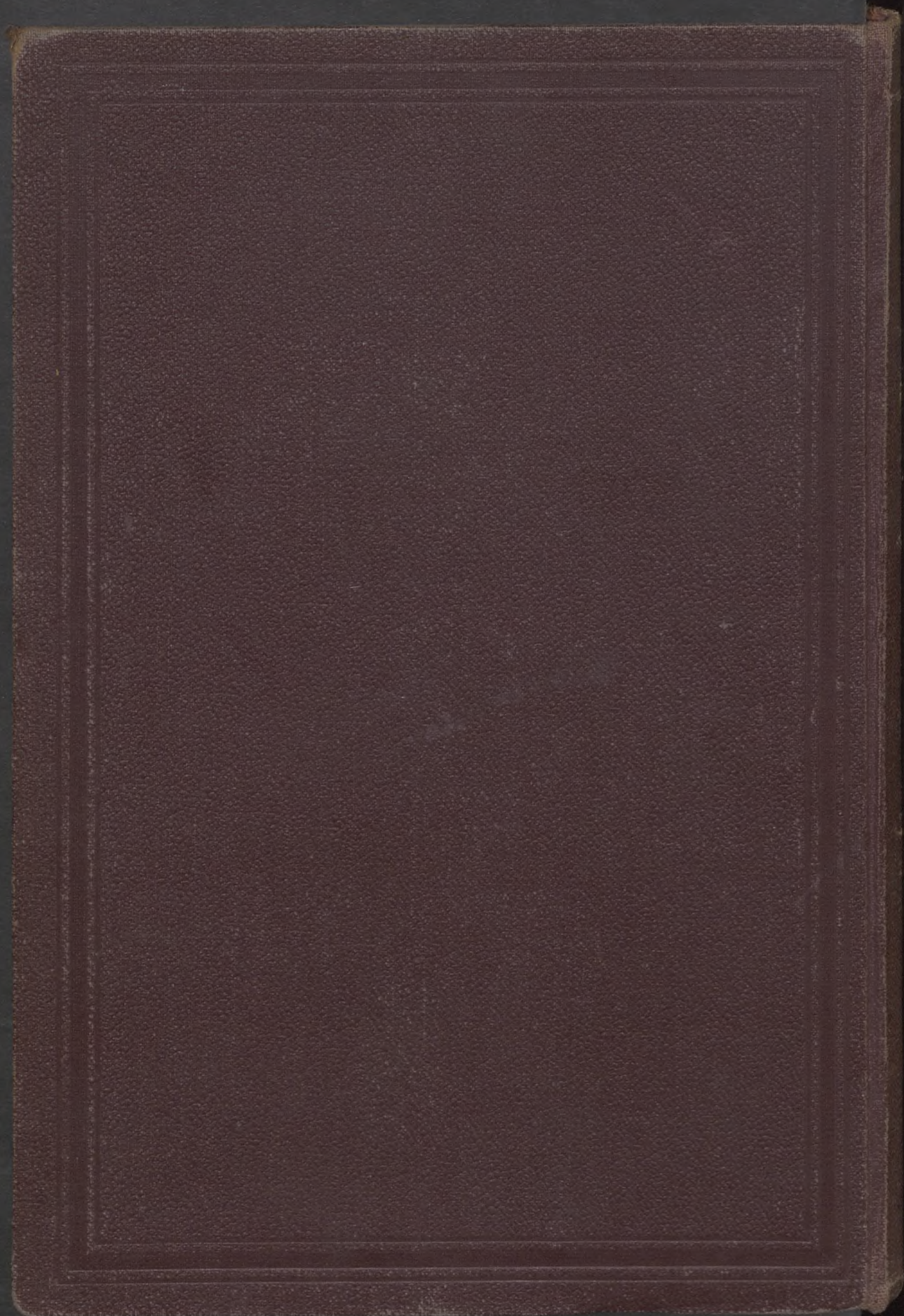
1.50

ben-
beim
von
chen
chen

den







1001

1001

1001

1001

1001

1001