

Schwärzungsbestimmung bei Röntgenkleinwinkelaufnahmen durch automatische Zählung der Silberkörner, 1. Mitt. *

Von

L. Kahovec und H. Weiß

Aus dem Institut für physikalische Chemie der Universität Graz

Mit 7 Abbildungen

(Eingegangen am 22. Dezember 1961)

Es werden die Vorteile der Schwärzungsbestimmung durch „Kornzählung“ insbesondere für die Auswertung von Röntgenkleinwinkelaufnahmen erörtert und die hiebei auftretenden Probleme vor allem im Hinblick auf eine automatische Zählung der Silberkörner behandelt. Schließlich wird eine Apparatur beschrieben, die für die registrierende Kornzählung an Röntgenaufnahmen routinemäßig eingesetzt werden kann.

Einleitung

Die Vorteile der klassischen photographischen Aufnahmemethode in der Röntgenanalyse¹ lassen es berechtigt erscheinen, sich zu bemühen, das Verfahren noch weiter zu verfeinern, um den besonderen Ansprüchen der Kleinwinkel-Röntgenanalyse gerecht zu werden.

Die Auswertung der photographischen Aufnahme eines Streueffektes geschieht bekanntlich durch photometrische Bestimmung des Schwärzungsverlaufes am entwickelten Film. Da die Deckung der Silberschicht diskontinuierlich ist, ergeben sich beim Photometrieren von Kleinwinkelaufnahmen Schwierigkeiten, weil man mit einem sehr feinen Lichtbündel photometrieren muß, damit die Auflösung keine Einbuße erleidet. Dies hat nämlich zur Folge, daß sich die Schwärzungsschwankungen besonders in Gebieten geringerer Schwärzung auszuwirken beginnen und an den entsprechenden Stellen eine sehr unausgeglichene Photometerkurve ergeben.

* Herrn Prof. Dr. O. Kratky zum 60. Geburtstag gewidmet.

¹ O. Kratky, L. Kahovec und H. Werner, Z. Elektrochem. Ber. Bunsenges. physik. Chem. **63**, 64 (1959).

aus der der wahre Schwärzungsverlauf nicht mehr genau ermittelt werden kann.

Einen Ausweg aus dieser Situation stellt die „Mehrfachphotometrierung“¹ dar, bei der die Aufnahme an verschiedenen, aber analogen Stellen wiederholt photometriert wird, wobei man jedoch für die Registrierung der Kurven immer dasselbe Blatt benützt. Das Resultat ist eine Kurvenschar, die sehr viel sicherer als eine Einzelkurve ausgewertet werden kann, da sich durch die Übereinanderlagerung der Einzelkurven ein dunkler Kern ausbildet, der der ungestörten Ausschlagskurve nahekommt. Das Verfahren hat noch den Vorteil, daß Filmfehler, wenn sie nicht großflächig sind, leicht als solche erkannt werden, das Ergebnis der Photometrierung aber kaum ungünstig beeinflussen können.

Nun gibt es noch eine andere Möglichkeit, von der photographischen Aufnahme auf die eingestrahnten Röntgenquanten zu schließen, und zwar unter Beobachtung des unmittelbaren Photoeffektes: die Bestimmung der Zahl der entstandenen Silberkörner pro Flächeneinheit. Diese „Kornzählung“ wurde bereits von *Eggert* und *Noddack*² vorgeschlagen und in den klassischen Untersuchungen von *Günther* und Mitarb.³ mit Hilfe eines Mikroskops visuell durchgeführt.

Der Übergang von der Photometrierung zur Kornzählung entspricht etwa dem Übergang von der Mittelwertsanzeige zur Zählung der Einzelpulse bei Zählrohrmessungen, wenn die Impulsrate klein ist. Bei geringen Schwärzungen (genauer: kleiner Kornzahl) ist offensichtlich die Kornzählung am Platze. Es drängt sich da sofort die Frage auf, ob man bei Anwendung derselben zu kürzeren Belichtungszeiten bei der Röntgenaufnahme übergehen kann, was bei strahlungsempfindlichen Präparaten von Bedeutung wäre. Jedenfalls sind mit Hilfe der Kornzählung Aufnahmen auswertbar, die gegenüber den gewöhnlichen ein viel feineres Korn haben und dementsprechend wesentlich geringere Schwärzungen unter sonst gleichen Bedingungen aufweisen. Dies ist entschieden als Vorteil zu werten, da feines Korn höhere Auflösung bedeutet. Man könnte deswegen auch an eine Verkürzung der Röntgenkamera denken, was mit einer Intensitätserhöhung verbunden wäre.

Es war naheliegend, diese z. T. gesicherten, z. T. zu erwartenden Vorteile der Kornzählung gegenüber der Photometrierung dort auszunützen, wo sie besonders ins Gewicht fallen, nämlich bei photographischen Aufnahmen von Röntgen-Kleinwinkelstreuungseffekten. Die mühsame, visuelle Auszählung der Silberkörner kam für eine laufende Auswertung der Auf-

² *J. Eggert* und *W. Noddack*, Phys. Z. **22**, 673 (1921); Z. Phys. **20**, 299 (1923); Sitzber. Akad. Wiss. Berlin **39**, 631 (1922); **40**, 116 (1922).

³ *P. Günther* und *G. Wilke*, Z. phys. Chem. **119**, 219 (1926); *P. Günther* und *R. Stransky*, Z. phys. Chem. **118**, 270 (1925); **119**, 224 (1926).

nahmen natürlich nicht in Frage. *Kratky, Treiber* und *Schurz*⁴ haben als erste eine Anordnung angegeben, die nicht nur prinzipiell eine automatische Kornzählung ermöglichte, sondern auch Ergebnisse lieferte, die mit den Resultaten der Photometrierung gut übereinstimmten. Dabei wurde die oben erwähnte Erwartung bestätigt, daß die Kornzählung tatsächlich kürzere Belichtungszeiten zuläßt.

Im folgenden soll nach einem allgemeinen Teil über die Probleme der Kornzählung eine Kornzählapparatur beschrieben werden, die gegenüber der ersten routinemäßige Zählungen gestattet, was allerdings eine Neukonstruktion in bezug auf den mechanischen Aufbau und grundsätzliche Änderungen in den elektrischen Teilen notwendig machte.

Allgemeines

Wenn die Aufnahmen durch Kornzählung ausgewertet werden sollen, so muß das entwickelte Silber naturgemäß tatsächlich in Form von Körnern vorliegen. Für die Zählung ist es an sich gleichgültig, ob das Silberkorn durch eine besonders aktive chemische Entwicklung aus dem ursprünglichen Silberhalogenidkristall hervorgegangen ist und daher im wesentlichen noch dessen Form besitzt oder ob durch eine physikalische Entwicklung die bei der Belichtung entstandenen Silberkeime durch Abscheidung von Silber aus der Lösung zu mehr minder kugeligen Teilchen vergrößert werden, wenn nur ein festes Verhältnis zwischen der Zahl der absorbierten Quanten und der Kornzahl besteht. Unbrauchbar sind dagegen Entwicklungsbedingungen, die zu einem Haufwerk von Silberfäden führen⁵.

Zwischen der Schwärzung und der Kornzahl besteht eine von *Nutting*⁶ bzw. *Arens, Eggert* und *Heisenberg*⁷ angegebene Beziehung

$$S = \frac{1}{2,3} \cdot N_0 \cdot \bar{f} \quad (1)$$

wobei N_0 die Zahl der Silberkörner pro cm^2 der Schicht und \bar{f} den mittleren Querschnitt der Körner (in cm^2) bedeutet. Wenn diese Gleichung — wie noch gezeigt werden soll — auch nur für kleine Kornzahlen und Kornquerschnitte bzw. geringe Schwärzungen gilt, so kann man aus ihr doch entnehmen, daß zur Erzielung einer bestimmten Schwärzung um so mehr Körner notwendig sind, je kleiner ihr Querschnitt ist. Dies ist für die Kornzählung wichtig: während die Photometrierung Schwärzungen bis

⁴ *O. Kratky, E. Treiber* und *J. Schurz*, Z. Elektrochem. Ber. Bunsenges. physik. Chem. **56**, 143 (1952).

⁵ Vgl. *E. Klein*, Z. Elektrochem. Ber. Bunsenges. physik. Chem. **62**, 505 (1958).

⁶ *P. H. Nutting*, Philos. Magaz. **26**, 423 (1913).

⁷ *H. Arens, J. Eggert* und *E. Heisenberg*, Z. wiss. Photogr. **28**, 356 (1931).

über den Wert 1 zu messen gestattet, hat die Kornzählung offensichtlich ihr Ende bei Schwärzungen der Schicht von etwa 0,3; dann ist die Filmfläche zur Hälfte mit Silber bedeckt und eine weitere Steigerung der Schwärzung würde schließlich zu einer Zählung der „Löcher“ führen. Auf der anderen Seite ist die Kornzählung (wie die Photometrierung) durch die Untergrundkornzahl (dort Untergrundschwärzung) vorbelastet. Dieser enge, für die Kornzählung zur Verfügung stehende Schwärzungsbereich fordert ein feines Silber(bromid)korn, weil nur so genügend viel Körner in der Schicht unterzubringen sind und damit wieder größere Unterschiede in der Strahlungsintensität bewältigt werden können.

Die Anforderungen an das Filmmaterial sind an sich sehr verschieden, je nachdem eine Photometrierung oder Kornzählung durchgeführt werden soll. Bei Filmen, die photometriert werden, kann man ihre Erschöpfung bei hoher Strahlungsdosis durch Schichtverdickung und -verdopplung hintanhaltend und den Kontrast durch Grobkörnigkeit erhöhen. Für die Kornzählung ist keine dieser Maßnahmen anwendbar, eine Kontraststeigerung auch nicht notwendig. Hier sind nur dünn-schichtige Einschichtfilme brauchbar, deren Silbergehalt jedoch so hoch wie möglich sein sollte.

Was die Genauigkeit der Kornzählung betrifft, so liegen hier zum Teil ähnliche Verhältnisse vor wie bei der Quantenzählung mittels eines Zählrohres. Dem Blindwert bei der Zählrohrmessung entspricht hier der Grundschiefer der lichtempfindlichen Schicht. In beiden Fällen beeinträchtigt der Blindwert die Vermessung schwacher Strahlung. Bezeichnet man allgemein die im Flächenstück F gefundene Kornzahl mit N bzw. die Kornzahl pro Flächeneinheit mit $Z = N/F$, so ist bei statistischer Verteilung der Körner und Abwesenheit von Meßfehlern die Kornzahlschwankung gegeben durch $\Delta Z = \pm \frac{\sqrt{N}}{F}$. Im besonderen gilt für eine

Stelle im Untergrund: $\Delta Z_u = \frac{\sqrt{N_u}}{F_u}$, für eine belichtete Stelle $\Delta Z_b = \frac{\sqrt{N_b}}{F_b}$.

Für die Kornzahl des eigentlichen Effektes $Z_e = Z_b - Z_u$ ergibt sich dann der mittlere absolute Fehler

$$\Delta Z_e = \pm \sqrt{(\Delta Z_b)^2 + (\Delta Z_u)^2} = \pm \sqrt{\frac{N_b}{F_b^2} + \frac{N_u}{F_u^2}} = \pm \sqrt{\frac{Z_b}{F_b} + \frac{Z_u}{F_u}} \quad (2)$$

Man erkennt, daß der Grundschiefer um so mehr das Resultat ungünstig beeinflußt, je größer seine Kornzahl Z_u gegenüber der Kornzahl Z_b der belichteten Stelle ist. Dieser Einfluß kann aber verringert werden, wenn Z_u durch Auszählen einer möglichst großen Fläche F_u ermittelt wird. Man sollte dies auch bei der Bestimmung von Z_e tun, um ΔZ_b zu verkleinern, doch ist man bei der Auszählung von Kleinwinkelaufnahmen in der Größe von F_b beschränkt.

Es ist also von wesentlicher Bedeutung, die Untergrundkornzahl durch entsprechende Maßnahmen so klein als möglich zu halten. Das Filmmaterial sollte am besten möglichst frisch verarbeitet werden; man muß unter Umständen an die Selbstherstellung der Filme denken. Durch Lagern bei tiefer Temperatur unter Schutz vor chemischen Einwirkungen und radioaktiver Strahlung kann die Entstehung störender Keime verzögert werden. Man wird schließlich versuchen, durch Anwendung von Antischleiermitteln bei der Entwicklung den Grundschleier zu unterdrücken. Alle diese Maßnahmen sind aber illusorisch, wenn der Grundschleier durch Störstrahlung in der Röntgenkamera zusätzlich stark erhöht wird.

Es sei erwähnt, daß die üblichen Röntgenfilme bei der Photometriertung (besonders deutlich nach der Methode der „Mehrfachphotometriertung“¹⁾) Kurven liefern, die in Bereichen geringer Schwärzung eine leichte Welligkeit zeigen, die mit den statistischen Kornschwankungen nichts zu tun hat. Das Auftreten solcher Schwankungen verringert natürlich noch weiter die Möglichkeit der Vermessung schwacher Effekte, gleichgültig ob die Aufnahmen photometriert oder ausgezählt werden.

Automatische Kornzählung (Prinzip der Apparatur)

Während bei der visuellen Betrachtung der vergrößerten photographischen Aufnahme jedes Korn als Einheit erfaßt und gezählt werden kann, wobei allerdings die Zerlegung der Kornagglomerate in einzelne Körner oft große Schwierigkeiten bereitet, liegen die Verhältnisse bei einer objektiven Zählung nicht so einfach.

Es sei zunächst das Prinzip der hier beschriebenen Kornzählapparatur angegeben, um dann die Probleme, die sich bei dieser Art der Zählung ergeben, aufzeigen zu können: die von einer Lampe mit Kondensator beleuchtete Aufnahme wird mittels einer Mikroskopoptik in der Blenden-ebene eines Sekundärelektronenvervielfachers (SEV) vergrößert abgebildet. Der Film wird während der Zählung durch eine entsprechende Mechanik so bewegt, daß er in Mäandern zeilenweise abgetastet werden kann. Jedesmal, wenn das Bild eines Silberkorns die Lochblende des SEV kurzzeitig abschattet, wird die Elektronenemission desselben herabgesetzt; damit ist die Möglichkeit gegeben, die durch die Silberkörner verursachten Helligkeitsschwankungen in elektrische Impulse umzuwandeln, welche mit weiteren elektronischen Einrichtungen gezählt werden können.

Nun ist es keineswegs so, daß die Zahl der Impulse identisch sein muß mit der Zahl der Silberkörner, deren Bild über das Blendenfeld des SEV zieht, auch wenn man von Zählfehlern absieht. Zuzufolge der unregelmäßigen Lage des Kornbildes zur Blendenöffnung einerseits und der

Korngrößenunterschiede⁸ andererseits wird nur ein kleiner Teil der Körner eine völlige Verdunklung der SEV-Blende und damit große Impulse hervorrufen. Der größte Teil der Körner wird die Blende nur teilweise abdecken und daher kleinere oder gar keine Impulse liefern. Wieviel Körner einer Zeile erfaßt werden, hängt also von der Empfindlichkeit der Zählleinrichtung ab. Andererseits können je nach dem Zeilenabstand und dem Größenverhältnis des Kornbildes zur Blendenöffnung einzelne Körner auch mehrmals gezählt werden.

Trotz dieser Umstände ist die Auswertung einer Aufnahme nach dem angegebenen Prinzip einwandfrei möglich, weil bei der großen Zahl von Silberkörnern in der Schicht die Relation zwischen den registrierten Impulsen und den tatsächlich vorhandenen Körnern bei ein und demselben Film an allen Stellen gleich ist. Die Kenntnis der Kornzahl pro Flächeneinheit selbst ist also gar nicht notwendig.

Im vorigen Abschnitt wurde unter der Annahme, daß die Kornzahl pro Flächeneinheit (Z) exakt bestimmbar ist, der durch die ungleichmäßige Verteilung der Körner des Effektes und Untergrundes verursachte Fehler ΔZ angegeben.

In Wirklichkeit werden durch die Meßmethodik noch zusätzliche Fehler gemacht. Zufolge der Schwankungen in der Filmbeleuchtung und in der Elektronenemission des SEV werden bei Teilabschattungen die entstehenden Impulse einmal die Empfindlichkeitsschwelle des Verstärkers überschreiten und gezählt werden, ein andermal nicht. Soweit man hier durch Stabilisation der Betriebsspannungen etwas verbessern kann, wird man es tun. Nahe beisammen liegende Silberkörner werden bei der automatischen Zählung zeitlich rasch aufeinanderfolgende Impulse geben, die je nach der Auflösungsfähigkeit der Zählleinrichtung zu Zählverlusten führen können. Es läßt sich aber hier, wie bei Zählrohrmessungen, eine Zählverlustkorrektur anbringen. Auch diesbezüglich liegen die Verhältnisse bei Feinkornfilmen günstiger als bei grobkörnigen.

Mechanischer Aufbau des Kornzählers

Die zeilenweise Abtastung des Films wird durch zweierlei Bewegungen desselben erreicht: ein Wagen (samt Filmhalter und Film) wird einerseits horizontal hin und her bewegt, andererseits nach Durchlaufen jeder Zeile während der Umkehr der Horizontalbewegung in vertikaler Richtung mittels einer Präzisionsspindel um einen kleinen Betrag gehoben. Das Verhältnis Zeilenlänge zu Gesamthub der Horizontalbewegung ist so gewählt, daß der Film nur während des mit ungefähr gleichbleibender Geschwindigkeit durchlaufenen Teiles der Bewegung zur Zählung freigegeben wird; die Verschiebung des Films senkrecht zur Zeile geschieht

⁸ Über Korngrößenverteilung siehe z. B. bei *E. Klein*, Z. Elektrochem. Ber. Bunsenges. physik. Chem. **62**, 993 (1958).

also jeweils bei abgedunkeltem Strahlengang und stört daher nicht die Zählung.

Der Filmhalter (Abb. 1) besteht aus zwei geschliffenen Stahlplatten, die an einer Seite durch ein Scharnier verbunden sind und zwischen denen der Film durch Anziehen zweier Rändelschrauben eingeklemmt wird. Die Platten haben korrespondierende Ausschnitte in Form eines T. Die Aufnahme erstreckt sich entlang des senkrechten Ausschnittes (Breite 4 mm, Länge 20 mm) und muß von vornherein so in den Filmhalter eingelegt werden, daß

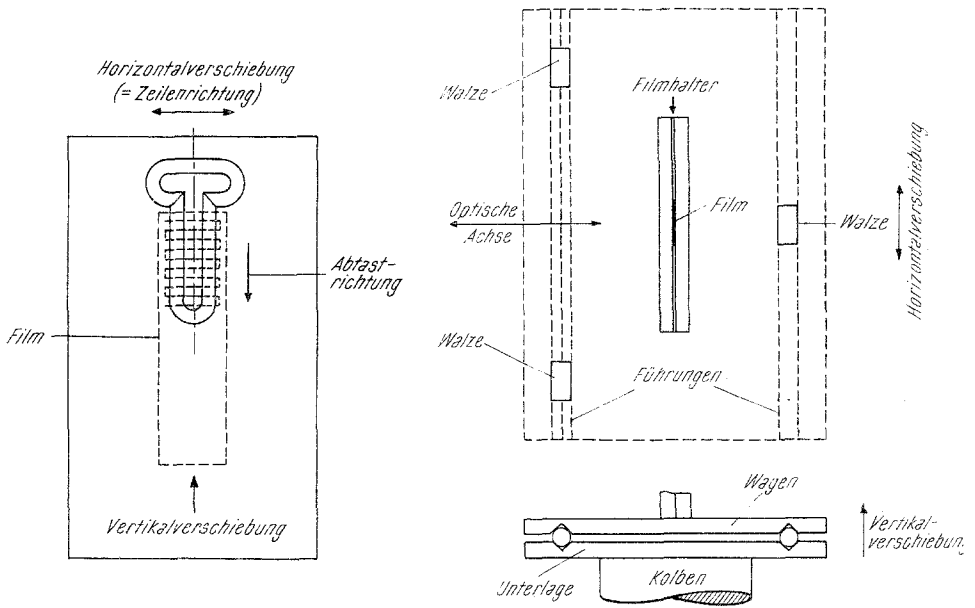


Abb. 1

Abb. 2

Abb. 1. Filmhalter (schematisch) mit überhöht eingezeichneter Abtastspur

Abb. 2. Wagen von oben und von der Seite

sie in der (waagrechten) Zeilenrichtung homogen ist. Der waagrechte Ausschnitt bleibt frei, um die elektrische Einrichtung der Apparatur ohne Ausspannen des Films überprüfen zu können (siehe unten). Der Filmhalter wird durch Anziehen einer Rändelschraube am Wagen mit Dreipunktauflage befestigt; durch Justieren kann erreicht werden, daß der Film während der Horizontal- und Vertikalbewegung die optische Achse des Mikroskops stets im selben Abstand vom Objektiv quert und damit immer scharf abgebildet wird.

Der Wagen (Abb. 2) wird aus einer Stahlplatte gebildet, die an der Unterseite eine doppelte Prismenführung besitzt, welche mit einer ebensolchen der Unterlagsplatte korrespondiert. In den Führungen liegen — gegen Verschiebung gesichert — drei Walzen (zwei an den Enden der einen Führung, eine in der Mitte der zweiten), auf welchen der Wagen hin- und hergleitet. Eine Bleibeswerung der Platte verschiebt den Schwerpunkt nach unten. Der Wagen wird durch einen Exzenter mittels einer Pleuelstange hin- und

herbewegt. Diese greift allerdings nicht direkt am Wagen an; dies hätte ja zur Folge, daß bei der gleichzeitigen Vertikalbewegung die Umkehrpunkte des Wagens und damit die Zeilenenden auf Kreisbögen lägen. Die Pleuelstange ist vielmehr mit einem in der Senkrechten nicht bewegten Zwischenschlitten verbunden, welcher eine vertikale Säule trägt, an der der Mitnehmer des Wagens abrollen kann. Der Gesamthub wurde auf 6 mm eingestellt; im Mittelteil desselben (4 mm) wird der Film zur Zählung freigegeben, anschließend ist beidseitig auf einer Strecke von je 1 mm der Strahlengang unterbrochen. Diese Verhältnisse erreicht man durch entsprechende Längeneinstellung der Pleuelstange. Als Antrieb

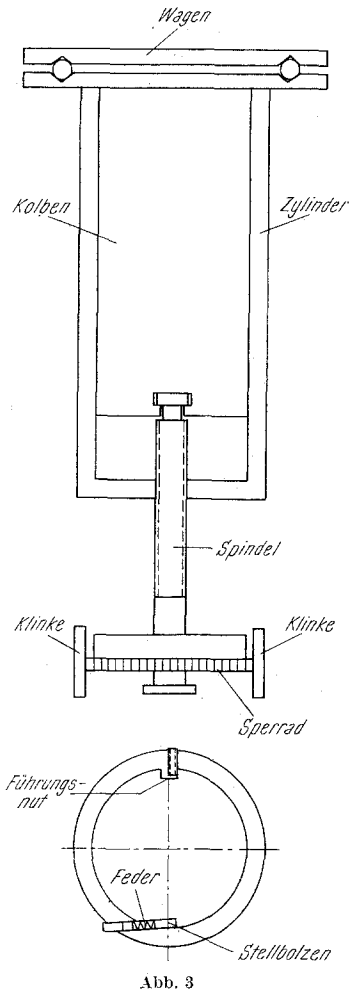


Abb. 3

Abb. 3. Einrichtung zur Vertikalverschiebung

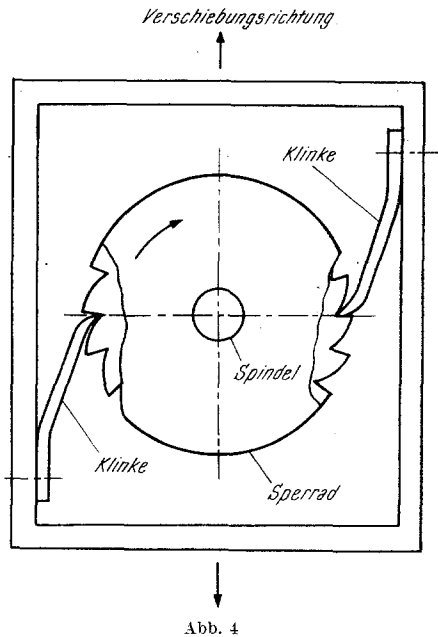


Abb. 4

Abb. 4. (schematisch)

dient ein Dreiphasen-Synchronmotor mit 1500 U/min. Mit einem Untersetzungsgetriebe wird die Drehzahl des Exzenters auf etwa 0,5 U/sec gebracht. Der Wagen braucht daher zu einer ganzen Hin- und Herbewegung etwa zwei Sekunden, in einer Richtung ungefähr eine Sekunde; eine Filmzeile (4 mm) läuft während etwa einer halben Sekunde durch. Eine größere Zeilengeschwindigkeit hätte bei hohen Kornzahlen bereits erhebliche Zählverluste bzw. Korrekturen zur Folge.

Die Vertikalbewegung wird mit Hilfe einer senkrecht stehenden Präzisionsspindel bewerkstelligt (Abb. 3), deren Sperrad im richtigen Zeitpunkt (während der Dunkelperiode) um einen bestimmten Betrag weitergedreht wird. Aus Abb. 4 ist zu erkennen, daß dies von zwei in einem verschiebbaren Rahmen befestigten Klinken besorgt wird, von welchen jeweils eine in die Zähne eingreift. Diese Bewegung wird durch einen zweiten Exzenter gesteuert, der mit dem für die Horizontalbewegung gekoppelt ist. Die einstellbare Verschiebung des Rahmens bestimmt auch den Vorschub der Schraube, welche ihrerseits einen, in einem geschliffenen Zylinder verschieblichen und durch eine Führungsnut gegen Drehung gesicherten Kolben bewegt. Am oberen Ende des Kolbens ist die Unterlagsplatte des Wagens befestigt. Eine ganze Umdrehung der Schraube entspricht einer Bewegung des Films um 0,5 mm in senkrechter Richtung. Bei insgesamt 250 Zähnen an der Schraubentrommel bedeutet also die Weiterbewegung derselben um einen halben Zahn eine Verschiebung von $1 \cdot 10^{-3}$ mm, die um einen ganzen Zahn einen Zeilenabstand von $2 \cdot 10^{-3}$ mm usw. Die Schraube wird während der Zählung nach oben verschoben, die Rückstellung erfolgt nach Ausklinken der Federn mit der Hand. Ein Lineal, dessen Teilung mit der des Filmhalters korrespondiert, erleichtert das Aufsuchen bestimmter Stellen der Aufnahme.

Man könnte einwenden, daß zufolge mechanischer Ungenauigkeiten der Apparatur und thermischer Einflüsse ein exakter Vorschub des Films im eben angeführten Ausmaß nicht möglich sei. Dagegen ist anzuführen, daß es sich ja darum handelt, in einem kleinen Flächenelement, welches (bis auf die statistischen Schwankungen) als homogen angesehen werden kann, die *mittlere* Kornzahl zu bestimmen. Dazu muß man nur möglichst oft und an verschiedenen Stellen des Flächenelementes die Kornzahl einer Zeile bestimmen. Am besten wird dies verwirklicht, wenn die Zeilen dicht aufeinanderfolgen, so daß man überdies nach Auszählung des einen Areals am Anfang des nächsten steht. Selbst bei Fehlverschiebungen um ganze Zeilenbreiten würde sich am Mittelwert praktisch nichts ändern, wenn nur die Zeilenzahl gewahrt bleibt und sich die Kornzahl benachbarter Areale nicht sprunghaft ändert. Wohl ergibt sich dann eine größere Unsicherheit bei der Abgrenzung der einzelnen Flächenelemente, doch würde sich dies auch nur bei wiederholter Fehlverschiebung in ein und derselben Richtung bemerkbar machen.

Die einzelnen Teile der Apparatur sind auf einer Eisenplatte montiert, welche ihrerseits auf einem Eisentisch steht. Die ganze Anlage ist erschütterungsfrei in einem thermokonstanten Raum aufgestellt.

Optische Einrichtung

Als Lichtquelle dient eine 6 Volt/35 Watt Autolampe, die über einen Eisenwasserstoffwiderstand (6 V/5 A) von einem stabilisierten Gleichspannungsnetzgerät (12 V) der Fa. Sorensen-Ardag, Zürich, gespeist wird. Zusätzlich wurde noch eine 12 V-Akkumulatorenbatterie als Pufferbatterie parallel zum Ausgang des Netzgerätes geschaltet. Die Verwendung von Wechselfeldspannung verbietet sich wegen des Einflusses der in diesem Fall auftretenden Helligkeitsschwankungen auf die Impulshöhe und damit auf das Resultat. Die Lampe ist kontaktsicher gefaßt und im Lampengehäuse entsprechend justierbar gehalten. Zum Ausgleich der Veränderungen der Lampe während des Gebrauches bzw. der Lampenunterschiede beim Austausch dient ein höherohmiger Schiebewiderstand parallel zum Eisen-

regler. Nach dem Durchgang durch ein Wärmeschutzfilter wird das Licht von einem Doppelkondensator auf den Film konzentriert. Die Lampenwendel wird parallel zur Zeilenrichtung (horizontal) auf dem Film abgebildet.

Mit Hilfe eines (liegenden) Mikroskops (Objektiv 10:1, Okular $16\times$) wird ein etwa 124fach vergrößertes Bild des Films in der Blendenebene des Sekundärelektronenvervielfachers (SEV) erzeugt. Objektiv und Okular sind getrennt gehalten; ersteres ist auf dem Lager der Spindel befestigt und wird normalerweise nicht verstellt, letzteres sitzt auf einer optischen Bank und kann mittels einer Mikrometerschraube feinverschoben werden. Durch geeignete Maßnahmen (Verwendung von Metallen verschiedener Wärmeausdehnung, günstige Tubushalterung des Okulars u. a.) werden die Auswirkungen von Temperaturänderungen auf die Abstände Filmebene—Objektiv bzw. Okular möglichst verringert. Die Scharfeinstellung der Optik (des Okulars) erfolgt zuerst visuell bei Stillstand des Films, danach genauer bei bewegtem Film, indem die Stelle aufgesucht wird, bei der eine bestimmte Zeile (möglichst im Untergrund) die höchste Impulszahl ergibt.

Die Blende vor dem SEV wird durch ein Loch von etwa 0,3 mm Durchmesser in einem dünnen Bronzeblech dargestellt und ist gegen Verstaubung mit einem Mikroskopierdeckplättchen bedeckt. Auf einem weißen Schirm in der Blendenebene (um die Blende herum) sind Felder mit Raster aufgezeichnet, deren Fläche in einem bekannten Verhältnis zu dem mit der Zählautomatik erfaßten Areal steht. Es kann so ein Vergleich zwischen visuell und automatisch ermittelter Kornzahl angestellt werden. Hinter der Blende befindet sich eine Kugellinse von 0,5 mm Durchmesser, die das einfallende Licht auf die ganze Katodenfläche des SEV verteilt. Dem SEV wird ja hier im Gegensatz zur gewöhnlichen Verwendung im Mittel ein ziemlich hoher Lichtstrom zugeführt, der beim Auftreffen auf eine der Blende entsprechende kleine Fläche der Kathode Schwierigkeiten verursachen würde.

Der sorgfältigen Justierung der einzelnen Teile der Optik muß besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, da davon sehr die Empfindlichkeit und Reproduzierbarkeit der Methode abhängt. Es ist besonders auf die Einhaltung der Abbildungsschärfe über längere Zeiten zu achten und deswegen trotz der oben erwähnten Maßnahmen die optische Einrichtung vor Temperaturschwankungen besonders zu schützen.

Elektrischer Teil

Am Sekundärelektronenvervielfacher treten durch die kurzzeitigen Abschattungen der Blende Emissionsschwankungen auf, die an einem Arbeitswiderstand in Spannungsschübe umgewandelt werden. Nach der Impulsformung werden die Impulse elektronischen Zählwerken zugeführt.

Um eine kontinuierliche Zählung durchführen zu können, sind zwei Zählwerke in Verwendung, von welchen eines jeweils zählt, während das andere die Impulszahl des vorher ausgezählten Areals zeigt. Nach dem Durchlauf von 20 Zeilen beginnt dieses Zählwerk zu zählen, nachdem die vorhergehende Zahl gelöscht wurde, und das andere gestattet die Ablesung usw. Die Rückstellung auf Null und die Umleitung der Impulse besorgt ein Schaltrad, welches mit den mechanischen Steuerungen synchron läuft.

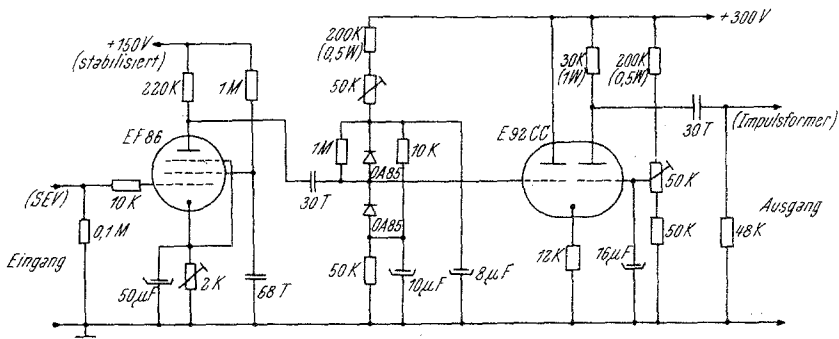


Abb. 5. Impulsverstärker

Es ist nicht möglich, zur Registrierung der Impulszahlen durch einen Schreiber eine Integrierschaltung anzuwenden, da der Mittelwert durch die Dunkelperioden stark gefälscht würde. Die Impulse werden daher nach der Impulsformung für einen weiteren Verstärker abgezweigt, gleichgerichtet und gespeichert, indem sie einen Kondensator aufladen, der mit dem Gitter einer Röhre verbunden ist. Die Spitzenspannung, die dieser Kondensator nach 40 Zeilen erreicht, entspricht also der Summe der jeweils an beiden Zählwerken abgelesenen Zahlen. Im Anodenstromkreis der Röhre liegt ein gewöhnlicher Schreiber: er zeichnet in gleichen Abständen Ordinaten, deren Länge wieder ein Maß für die Impulszahl der 40 Zeilen ist. Gleichzeitig mit der Nullstellung des einen Zählwerkes wird durch das genannte Schaltrad auch der Kondensator entladen, so daß die Schreibfeder auf die Nulllinie zurückfällt.

Alle elektrischen Einheiten werden trotz eigener Stabilisation nicht direkt vom Lichtnetz gespeist, sondern von einem Wechselspannungskonstanthalter der Fa. Sorensen-Ardag, Zürich, mit vorstabilisierter Spannung versorgt.

Als lichtempfindliche Zelle ist ein SEV der Fa. Maurer, Neuffen, Type VP 691 J in Verwendung, mit einem maximalen Verstärkungsfaktor von 10^6 . Die notwendigen Betriebsspannungen liefert das zugehörige Netzgerät Type N 6/54. Die Spannung am SEV (und damit der Verstärkungsfaktor) läßt sich mittels Stufenschalter bzw. Regulierknöpfen grob und fein re-

gulieren. Damit wird auch die Empfindlichkeit des SEV verändert und es ist somit möglich, eine Analyse der verschiedenen großen Impulse durchzuführen. Zu diesem Zweck wurden die Feineinstellknöpfe mit einem zusätzlichen Schraubenantrieb ausgestattet, der außerdem die jeweilige Einstellung fixiert. Zur Überprüfung der richtigen Funktion des SEV bzw. des zugehörigen Netzgerätes, gleichzeitig zur Kontrolle der Konstanz der Beleuchtung und der optischen Justierung, wird bei freiem Strahlengang (Gleichlicht) mit

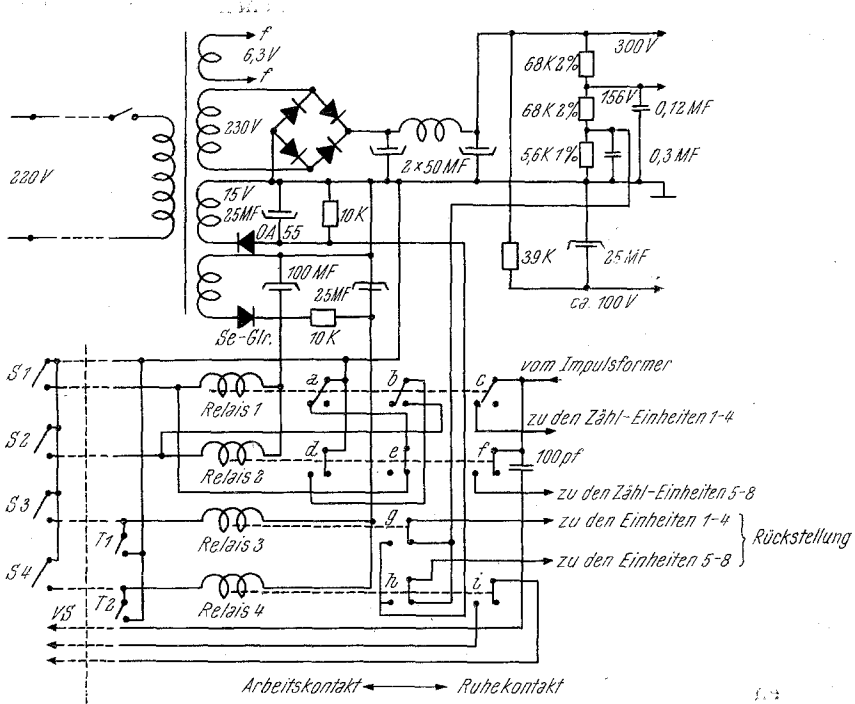


Abb. 6. Netzgerät und Relaischaltung für die Dekadeneinheiten, den Impulsverstärker und Impulsformer

Hilfe eines Galvanometers der Anodenstrom des SEV gemessen und eventuell eine notwendige kleine Korrektur durch Änderung der Beleuchtungsstärke vorgenommen.

Im Anodenkreis des SEV liegt der Arbeitswiderstand von 0,1 MΩ, der gleichzeitig als Gitterableitwiderstand der ersten Röhre der Verstärkerstufe dient (Abb. 5). Die Impulsformung besorgt eine Impulsformereinheit der Fa. Philips (Type 88929/03), die die Impulse an Dekadenzähleinheiten (Philips, Type 88929/02) weitergibt. Je vier Zählseinheiten sind zu einer Gruppe vereinigt.

Abb. 6 zeigt den Teil der Schaltung, der für die genannten Einheiten die Spannungen erzeugt, außerdem die Relaischaltung, die zur abwechselnden Weitergabe der Impulse an die beiden Zählwerke notwendig ist. Die Schalter S_1 bis S_4 werden von Nocken betätigt, die in entsprechender Stellung zueinander auf dem Schaltrad angebracht sind. Durch die Schalter S_1 und S_2

werden abwechselnd die Relais 1 und 2 in Schaltstellung gebracht (Selbsthaltungsschaltung), so daß die Impulse vom Impulsformer über die Kontakte *c* bzw. *f* an die entsprechende Zählrohrengruppe gelangen. Bei Betätigen der Schalter S_3 und S_4 entlädt sich ein Kondensator über die Spulen der Relais 3 und 4, wodurch die Kontakte *g* bzw. *h* kurzzeitig geschlossen werden und damit die betreffenden Zählröhren den zur Rückstellung notwendigen Impuls

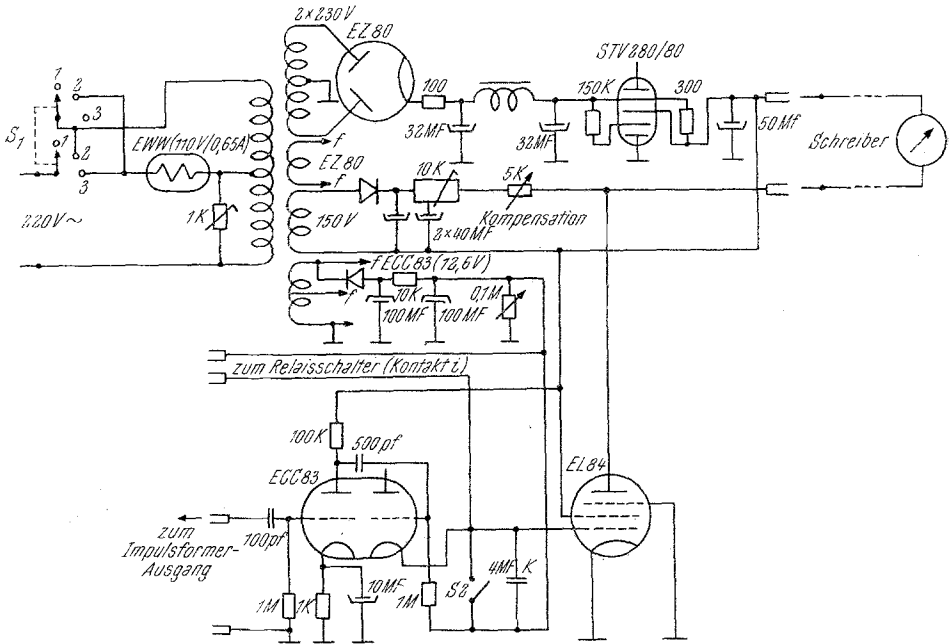


Abb. 7. Verstärker für den Schreiber

erhalten. Von Hand aus kann dies mit Hilfe der Taster T_1 und T_2 geschehen. Das einwandfreie Arbeiten der einzelnen Teile der Zählereinrichtung wird durch Auszählen eines Testfilmes bei einer festgelegten Empfindlichkeit des SEV überprüft.

Aus Abb. 6 geht hervor, daß die Impulse aus dem Impulsformer gleichzeitig über einen 100 pF-Kondensator zum Verstärker des Schreibers (*VS*) geleitet werden. Die Schaltung dieses Verstärkers samt Netzteil ist in Abb. 7 wiedergegeben. Einzelheiten über die Arbeitsweise dieser Einheit sind in der Dissertation von *H. Weiß*, Universität Graz, 1957, zu finden.

In einer zweiten Mitteilung soll über die Anwendung dieses Kornzählers zur Schwärzungsbestimmung insbesondere von Röntgenkleinwinkelaufnahmen und über Meßergebnisse von allgemeiner Bedeutung berichtet werden.