

Kleinwinkel-Röntgenanalyse mit Zählrohren in Antikoinzidenzschaltung

Von

L. Kahovec und H. Werner

Aus dem Institut für Physikalische Chemie der Universität Graz

Mit 9 Abbildungen

(Eingegangen am 23. Juli 1958)

Es wird der mechanische und elektrische Aufbau einer Zählrohrenanordnung mit Antikoinzidenzschaltung für die Zwecke der Röntgen-Kleinwinkelanalyse beschrieben und die Brauchbarkeit der Anlage für die Vermessung sehr schwach streuender Präparate an Hand der Streukurve von 1%iger γ -Globulinlösung gezeigt.

Die Aufgaben der Kleinwinkel-Röntgenanalyse¹, welche ein Hauptforschungsgebiet unseres Instituts ist, erfordern eine immer weitergehende Verfeinerung sowohl der experimentellen Methodik als auch der Theorie. Ein sehr wesentliches Hilfsmittel bei Kleinwinkelmessungen ist wohl die Kamera selbst. Es wurden hier Kameras entwickelt, die auch bei sehr hoher Auflösung eine noch fast vernachlässigbar geringe Störstreuung (Blendenstreuung) aufweisen². Was die Aufnahmemethodik betrifft, so ist wegen der oft sehr geringen Streuintensitäten sowohl bei der klassischen photographischen Methode als auch den neuen elektrischen Anzeigeeinrichtungen (Geiger-, Proportional- und Szintillationszähler) die Ge-

¹ Auf neuere zusammenfassende Darstellungen der Methode und ihrer Anwendung sei verwiesen: A. Guinier und G. Fournet, *Small angle scattering of X-rays*, J. Wiley & Sons, Inc., New York 1955; W. W. Beeman, P. Kaesberg, J. W. Anderegg und M. B. Webb, *Size of Particles and Lattice Defects*, in: *Handbuch der Physik*, Band XXXII, herausgeg. von S. Flügge, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1957; O. Kratky, *Z. Elektrochem. angew. physik. Chem.* **60**, 245 (1956); *Naturwiss.* **42**, 237 (1955); V. Gerold, *Z. angew. Physik* **9**, 43 (1957).

² O. Kratky, *Z. Elektrochem.* **58**, 49 (1954), **62**, 66 (1958); *Kolloid-Z.* **144**, 110 (1955); O. Kratky und A. Sekora, *Mh. Chem.* **85**, 660 (1954); O. Kratky und Z. Skala, *Z. Elektrochem.* **62**, 73 (1958).

nauigkeit möglichst zu steigern³. Durch die vorliegende Mitteilung soll ein Beitrag zu diesem Problem geliefert werden. Zur Theorie der Kleinwinkelstreuung wurden im Institut ebenfalls eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, auf deren wichtigste verwiesen sei⁴.

Bei Verwendung eines Geiger-Zählrohres als Anzeigeeinstrument kann bei genügender Streuintensität der Momentanwert der Streustrahlung erfaßt werden, was die automatische Registrierung der Streu- bzw. Interferenzkurven erlaubt (käufliche Zählrohrinterferenzgoniometer). Wenn es sich aber darum handelt, sehr schwache Intensitäten zu messen, wie dies bei der Röntgen-Kleinwinkelstreuung von organischen Präparaten der Fall ist, dann bildet — abgesehen von der unbequemerem punktweisen Vermessung — der Blindwert des Zählrohres eine empfindliche Einschränkung der Meßmöglichkeit nach unten, es sei denn, daß man die Primärintensität der Röntgenanlage wesentlich erhöht, was aber nur mit großem Aufwand geschehen kann und normalerweise nicht in Frage kommt.

Einfluß des Zählrohrblindwertes auf die Meßgenauigkeit

Werden bei einem bestimmten Streuwinkel N_M Quanten bzw. Impulse in der Zeit t gemessen, so ist die Impulsrate $R_M = N_M/t$. Bei vollkommen statistischer Verteilung der Impulsfolge ist der mittlere Fehler einer Messung $\Delta N_M = \pm \sqrt{N_M}$ bzw. auf die Zeiteinheit bezogen $\Delta R_M = \pm \sqrt{N_M}/t$. Jeder Meßwert N_M setzt sich nun aus dem eigentlichen Streuwert N_S und dem Blindwert N_B zusammen: $N_M = N_S + N_B$ bzw. pro Zeiteinheit $R_M = R_S + R_B$. Daraus ergibt sich der gesuchte Streuwert pro Zeiteinheit $R_S = R_M - R_B$. Dabei werden die Meßrate R_M und die Blindrate R_B durch getrennte Messungen bei zumeist verschiedenen Meßzeiten (t_M, t_B) ermittelt. Jede dieser Messungen ist mit einem Fehler $\Delta R_M = \pm \sqrt{N_M}/t_M$ bzw. $\Delta R_B = \pm \sqrt{N_B}/t_B$ behaftet. Der mittlere absolute Fehler des eigentlichen Streuwertes R_S ist dann $\Delta R_S = \pm \sqrt{(\Delta R_M)^2 + (\Delta R_B)^2} = \pm \sqrt{N_M/t_M^2 + N_B/t_B^2} = \pm \sqrt{R_M/t_M + R_B/t_B}$.

Daraus der mittlere prozentuelle Fehler des Streueffektes:

$$E_S = 100 \cdot \Delta R_S/R_S = \pm 100 \cdot \frac{\sqrt{R_M/t_M + R_B/t_B}}{R_M - R_B} \%$$

³ L. Kahovec, G. Porod und H. Ruck, Kolloid-Z. **133**, 16 (1953); L. Kahovec und H. Ruck, Z. Elektrochem. **57**, 859 (1953).

⁴ O. Kratky, Mh. Chem. **76**, 325 (1947); J. Polymer Sci. **3**, 195 (1948); O. Kratky und G. Porod, Acta Physica Austr. **2**, 133 (1948); J. Colloid Sci. **4**, 35 (1949); Rec. Trav. chim. Pays-Bas **68**, 1106 (1949); G. Porod, Acta Physica Austr. **2**, 255 (1955); **3**, 66 (1949); Z. Naturforsch. **4 a**, 401 (1949); Kolloid-Z. **124**, 83 (1951); **125**, 51 (1951); J. Polymer Sci. **10**, 157 (1953).

Aus der Formel ergibt sich, daß der Einfluß des Blindwertes auf den Fehler des Streuwertes vernachlässigbar ist, wenn $R_B \ll R_M$. Ist dagegen die Meßrate R_M und damit die Streurrate R_S nicht wesentlich von der Blindrate R_B verschieden, so ist der Fehler E_S nur durch längere Meßzeiten t_M und t_B klein zu halten. Nun wird man aber aus Zeitökonomie eine möglichst kurze Gesamtmeßzeit wünschen, d. h. bei einer bestimmten verlangten Genauigkeit (also vorgegebenem E_S) ein Minimum für $T = t_M + t_B$ fordern, wobei sich auch für die Meßzeit t_M (während der das [eventuell zersetzliche] Präparat der Röntgenstrahlung ausgesetzt wird) ein annehmbarer Wert ergeben sollte. Die Rechnung⁵ liefert für die dieser Bedingung entsprechenden Meßzeiten t_M^* und t_B^* folgende Ausdrücke (Wahrscheinlichkeitskonstante = 1):

$$t_M^* = \frac{10^4 (\sqrt{R_M/R_B} + 1) \sqrt{R_M/R_B}}{E_S^2 \cdot R_B \left(\frac{R_M}{R_B} - 1\right)^2}; \quad t_B^* = \frac{10^4 (\sqrt{R_M/R_B} + 1)}{E_S^2 \cdot R_B \left(\frac{R_M}{R_B} - 1\right)^2}$$

Hätte z. B. in einem Meßpunkt der Streueffekt die Streurrate $R_S = 40$ und sollte diese auf 3% genau ermittelt werden, so müßte man bei Verwendung eines Zählrohres mit dem üblichen Blindwert $R_B = 60$, also bei $R_M = 100/\text{min}$ ohne Präparat etwa 100 min, mit Präparat etwa zwei Stdn. lang messen. Diese Zeiten stellen bereits die Meßgrenze dar; noch schwächere Streuwerte wären mit der gleichen Genauigkeit praktisch nicht mehr meßbar.

Bleiabschirmung des Zählrohres

Der hauptsächlich durch die Höhenstrahlung und die Radioaktivität der Umgebung verursachte Blindwert des Zählrohres kann bekanntlich durch Bleipanzerng wesentlich herabgesetzt werden. Allerdings wird davon bei den käuflichen Zählrohrinterferenzgoniometern kein Gebrauch gemacht, da man für gewöhnlich auf den einen größeren mechanischen Aufwand bedingenden Gewinn verzichten kann, weil die zu messenden Effekte groß genug sind.

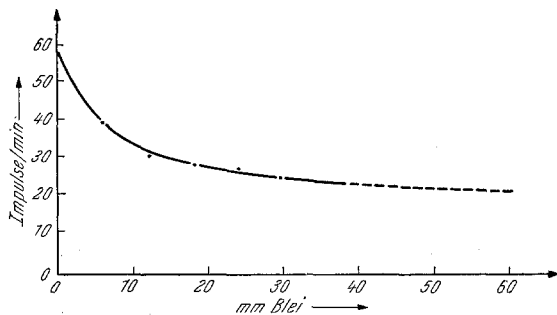


Abb. 1. Blindwert in Abhängigkeit von der Bleidicke

Bei Anordnungen für punktweise Vermessung läßt sich eine Bleiabschirmung leichter anbringen. Wie Abb. 1 zeigt, kann z. B. der Blind-

⁵ S. z. B. *D. Taylor*, Measurement of Radioisotopes, S. 58; vgl. auch *H. Werner*, Dissertat. Universität Graz 1957.

wert beim Philips-Zählrohr Type 18507 durch einen 4 cm dicken, zylindrischen Bleimantel von 58 Impulsen/min auf 23 Impulse/min heruntergedrückt werden. Dickere Bleischichten geben keine wesentliche Verbesserung, erhöhen aber in unangenehmer Weise das Gewicht der Abschirmung. Bei sonst gleichen Verhältnissen wie im obigen Beispiel wäre unter Verwendung eines abgeschirmten Zählrohres mit z. B. $R_B = 20$ die Meßzeit mit Präparat $t_M = 65,6$ Minuten, ohne Präparat $t_B = 38$ Minuten, also eine wesentliche Abkürzung der Messung zu erzielen. Andererseits sind jetzt noch schwächere Effekte in erträglichen Zeiten meßbar.

Das Antikoinzidenzprinzip

Eine weitere Senkung des Blindwertes läßt sich nur durch elektronische Hilfsmittel, nämlich durch eine Antikoinzidenzschaltung, erreichen. Das Antikoinzidenzprinzip ist, wie auch das Koinzidenzprinzip, schon länger bekannt⁶, doch wurde es in der Zählrohr-Röntgenanalyse unseres Wissens bisher nicht angewendet, weil dies gewöhnlich nicht erforderlich ist⁷. Zur Messung schwacher radioaktiver Strahlung wurde dagegen das Antikoinzidenzprinzip schon öfters herangezogen⁸ und auch eine dazu geeignete Anlage von der Industrie (AEG) gebaut⁹. Bei der Antikoinzidenzschaltung werden im Gegensatz zur Koinzidenzschaltung zwei zeitlich zusammenfallende Ereignisse nicht gezählt, z. B. die durch dasselbe Höhenstrahlungsquant in zwei Geigerzählrohren gleichzeitig ausgelösten Entladungen bzw. die entsprechenden Impulse.

Im vorliegenden Fall wurde das zur Messung der Röntgenstrahlung dienende Zählrohr (im folgenden als Zentralzählrohr ZZR bezeichnet) mit einem Kranz von 9 Mantelzählrohren (MZR) umgeben. Impulse, die von den Mantelzählrohren allein oder gleichzeitig mit dem Zentralzählrohr ausgelöst werden, kommen nicht zur Registrierung. Nur wenn im Zentralzählrohr allein zufolge der Absorption eines Röntgenquants eine Auslösung erfolgt, wird der zugehörige Impuls von der Antikoinzidenzschaltung an das Zählwerk weitergegeben.

Trotz der Möglichkeit, auf elektronischem Wege Störstrahlung auszuschalten, kann man auf die Bleipanzerung der Zählrohrkombination nicht verzichten. Die Mantelzählrohre bilden aus geometrischen und elektri-

⁶ W. Bothe, Z. Physik **59**, 1 (1930); G. Herzog, Rev. Sci. Instr. März **1940**, S. 84.

⁷ Nach Mitteilung der Fa. Siemens-Halske, Karlsruhe, wird von ihr ein Röntgenquantometer für Röntgen-Fluoreszenzmessungen unter Verwendung von Geiger-Zählrohren in Antikoinzidenzschaltung entwickelt.

⁸ W. Libby, Radiocarbon Dating, Chicago 1952; G. Rohringer, L. Sverak, E. Broda und K. Liebscher, Mh. Chem. **86**, 117 (1955).

⁹ Umschau **58**, 150 (1958).

sehen Gründen (unempfindliches Volumen!) keine lückenlose Hülle¹⁰; im Bleimantel löst die durchdringende Strahlung Schauer aus, so daß der Zählrohrmantel mit Sicherheit anspricht.

Mechanischer Aufbau des Zählrohrteiles

An sich gibt es für die Anordnung der Teile zwei Möglichkeiten: Bleimantel zwischen Zentralzählrohr und Mantelzählrohr oder außerhalb aller Zählrohre. In der Wirksamkeit bestand kein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Varianten. Wir haben uns für die zweite entschieden, da man weniger Mantelzählrohre braucht, womit auch die weitere elektronische Einrichtung einfacher wird, und die

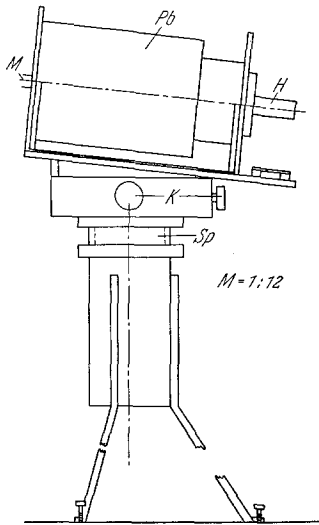


Abb. 2. Gesamtbild des Aufbaues

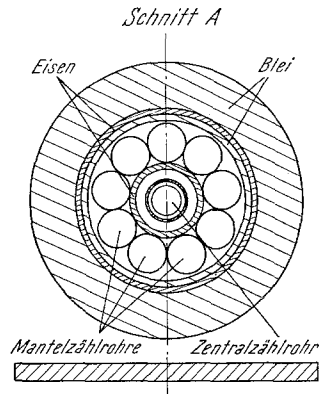


Abb. 3. Schnitt A durch die Anordnung der Zählrohre und des Bleipanzers

Mantelzählrohre das Zentralzählrohr in der Längsrichtung besser einhüllen (kleiner, ungeschützter Raumwinkel an den Enden des ZZR). Man nimmt damit allerdings bei gleicher Dicke einen schwereren Bleimantel in Kauf.

Da das Zentralzählrohr mit zugehörigem Spalt während der Messung in einem Bogen um das Präparat als Mittelpunkt feinverschoben werden muß, ergibt sich die Notwendigkeit, es vom Zählrohr- und Bleimantel mechanisch zu trennen. Die schwere Bleimasse (ungefähr 50 kg) ließe eine Feinverstellung gar nicht zu, außerdem wäre eine dauerhafte Justierung der auf hohe Auflösung hinzielenden Röntgenkamera nach O. Kratky² nicht zu erreichen. Der Komplex mit den Mantelzählrohren und dem Bleimantel befindet sich auf einem eigenen Postament und kann seitlich, in der Höhe, und in bezug auf die Neigung durch entsprechend kräftige

¹⁰ Der Gedanke, die MZR durch ein einziges, konzentrisch das ZZR umhüllendes Zählrohr zu ersetzen, wurde erwogen, aber nicht weiter verfolgt.

Schrauben grob verstellt werden. Das Zentralzählrohr hat innerhalb der Mantelzählrohre eine gewisse Beweglichkeit, ohne anzustoßen, so daß der Mantel immer erst nach einigen Feinverstellungen des ZZR auf Grund einer Tabelle nachgestellt werden braucht.

Die Gesamtanordnung zeigt Abb. 2, Einzelheiten über den Zählrohrteil selbst sind in Abb. 3 (Querschnitt) bzw. Abb. 4 (Längsschnitt) dargestellt.

Das Zentralzählrohr liegt in einem Messingrohr M , welches mittels Hilfsrohr H von rückwärts (in der Zeichnung rechts) in den Mantel einge-

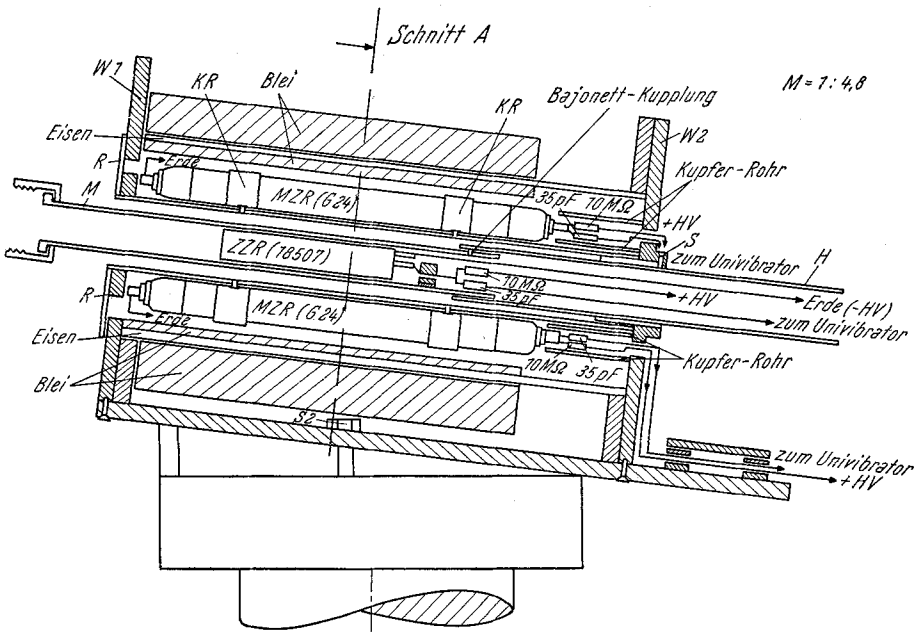


Abb. 4. Längsschnitt durch den Bleimantel

führt und durch eine Überwurfmutter am Spaltkopf befestigt wird. Nach Lösung der Bajonettfassung wird das Rohr H wieder entfernt. Die Mantelzählrohre sind durch Schellen (Kupferringe KR) an einem Eisenrohr befestigt, welches von der Rückwand W_2 und einer Stütze an der Wand W_1 gehalten wird.

Elektrischer Teil (Schaltung)

Als Zentralzählrohr wird ein Philipsrohr Type 18507 mit Argon-Bromfüllung, Länge 110 mm, Arbeitsspannung 1650 V, verwendet. Die Mantelzählrohre sind Erzeugnisse der 20th Century Electronics, Type G 24, Länge 210 mm, Betriebsspannung 1260 V. Die Arbeitsspannung für die Zählrohre liefert ein Netzgerät der Fa. Maurer, Neuffen, Type

NG 57, Z 2, eine Spezialausführung mit zwei unabhängig voneinander einstellbaren Hochspannungen für das ZZR bzw. die MZR. Das Gerät ist stabilisiert; eine Änderung der Netzspannung um 10% hat eine Änderung der Zählrohrspannung um 0,02% zur Folge, was für den vorliegenden Zweck völlig ausreicht. Die Zählrohre werden nach Abb. 5 an die Hochspannung bzw. an die Univibratoren angeschlossen.

Abb. 6 zeigt im Blockschema die weitere Schaltung, deren Einzelheiten aus Abb. 7 hervorgehen.

Die von den Zählrohren kommenden (negativen) Impulse gelangen an Univibratoren (unselbständige Multivibratoren), in welchen sie geformt werden (Rechteckimpulse gleicher Höhe und Breite). Von den 9 Mantelzählrohren sind 8 paarweise an je einen Univibrator angeschlossen, was die Schaltung vereinfacht, ihre Wirksamkeit aber nicht beeinträchtigt, da man etwa bis zu 5 Zählrohren an einen Univibrator legen kann,

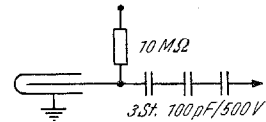


Abb. 5. Spannungsversorgung der Zählrohre

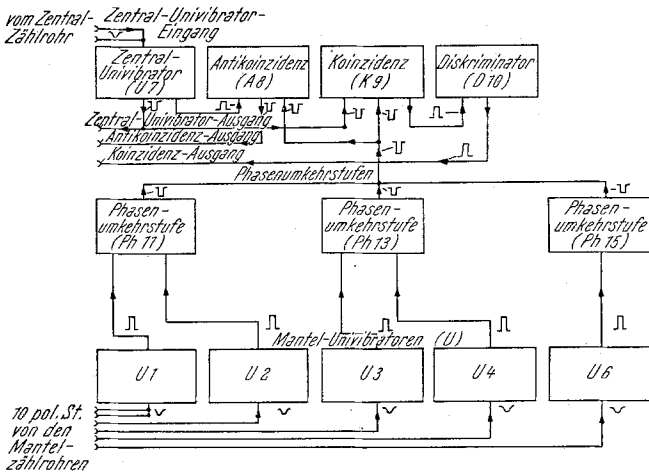


Abb. 6. Blockschaltbild für die Antikoinzidenzschaltung

Die an den Anoden I der Doppeltrioden ECC 40 entstehenden (positiven) Impulse werden weiter verarbeitet. Vom Univibrator des ZZR gelangen die Impulse direkt an die Antikoinzidenzstufe, während die aus den Univibratoren der MZR vorher noch Umkehrstufen durchlaufen, wodurch sie wieder negativ werden. Je ein Univibrator ist an je eine Triodenstrecke einer Umkehrstufe geschaltet. Die Ausgänge aller Umkehrstufen werden gemeinsam an die Antikoinzidenzstufe geführt. Die Röhre dieser Stufe ist so geschaltet, daß sie auf negative Impulse allein (die von den MZR kommen) oder auch auf gleichzeitig einlangende negative und positive Impulse nicht anspricht. Positive Impulse ohne Koinzidenz mit nega-

tiven, die also nur von den im ZZR absorbierten Röntgenquanten stammen können, „öffnen“ dagegen die Röhre, wodurch an ihrer Anode negative Impulse entstehen, die zur Zählung gelangen¹¹.

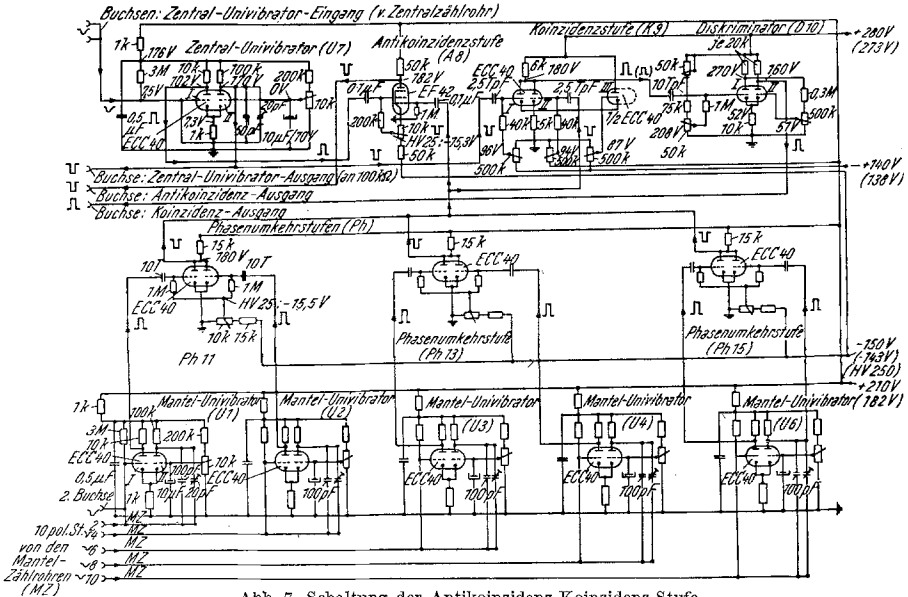


Abb. 7. Schaltung der Antikoinzidenz-Koinzidenz-Stufe

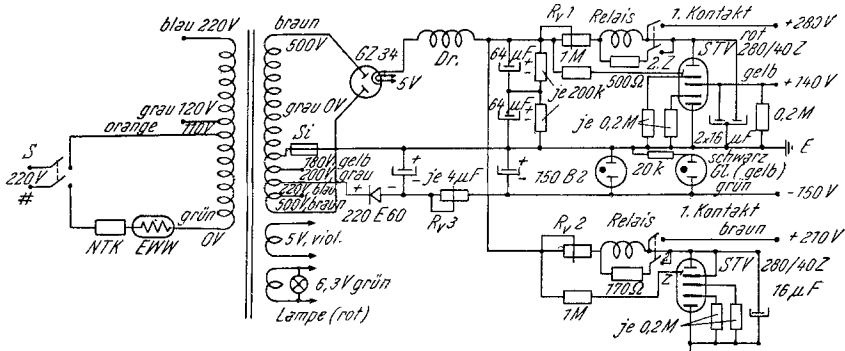


Abb. 8. Spannungsversorgung

Zur Kontrolle der Antikoinzidenzstufe wurde noch eine Koinzidenzschaltung angeschlossen. An der Anode II des Zentralunivibrators entstehen negative Impulse, die direkt (zur Überprüfung des Zentralzähl-

¹¹ Der Antikoinzidenzstufe liegt eine Schaltung zugrunde, die uns Herr Dr. F. Hawliczek, Institut für Krebsforschung, Lainzer Krankenhaus, Wien, freundlicherweise zur Verfügung gestellt hat, wofür wir ihm auch an dieser Stelle danken.

rohres) gezählt werden können, ansonsten aber an die Koinzidenzstufe geführt werden, welche auch die negativen Impulse nach den Umkehrstufen seitens der Mantelzählrohre empfängt. Jeder dieser negativen Impulse erzeugt an der Anode der Koinzidenzröhre einen positiven Impuls, dessen Amplitude aber klein bleibt, solange die Signale aus den beiden Kanälen zeitlich getrennt ankommen. Nur bei Koinzidenz übersteigt die Amplitude einen bestimmten Wert, ab welchem erst der angeschlossene Diskriminator anspricht. Verbindet man seinen Ausgang mit dem Zählgerät, so werden jetzt nur Impulse gezählt, die gleichzeitig im Zentral- und mindestens einem Mantelrohr ausgelöst werden. Die nötigen Spannungen für die verschiedenen Stufen liefert ein Netzgerät, das nach Abb. 8 geschaltet ist.

Die Impulse wurden mit einem elektronischen Zählgerät der Fa. Philips, Type PW 4032, registriert.

Überprüfung und Wirksamkeit der Antikoinzidenzschaltung

Zur Überprüfung der Schaltung wurden künstlich koinzidente Impulse erzeugt, indem ein Zählrohr an die miteinander verbundenen Eingänge des Zentral- und eines Mantelunivibrators angeschlossen wurde (die MZR wurden dabei von der Hochspannung abgeschaltet). Am Ausgang der Antikoinzidenzstufe konnten keine Impulse festgestellt werden, dagegen wurden innerhalb der statistischen Schwankung ebensoviel Impulse an der Koinzidenzstufe gezählt, wie sie das Zählrohr direkt (ohne Univibrator) liefert.

Weiters wurde die Blindrate des Zentralzählrohres an drei Punkten der Schaltung gemessen. Die Zahl der Impulse pro Min. betragen: am Ausgang des Zentralunivibrators 23,2 (ebensoviel wie am Zählrohr direkt), am Ausgang der Antikoinzidenzstufe 10,3 und am Ausgang der Koinzidenzstufe 13,1. Die Antikoinzidenzschaltung drückt also den Blindwert von 23,2 (Bleipanzerung allein) auf 10,3. Die Differenz (12,9) entspricht innerhalb der Fehlergrenze der Zahl der koinzidenten Impulse 13,1, womit das einwandfreie Funktionieren der Schaltung bestätigt ist.

Daß der Nulleffekt nicht völlig unterdrückt werden kann, hängt zum größten Teil damit zusammen, daß das Zentralzählrohr an den Enden weder durch das Blei noch durch die Mantelzählrohre ganz abgeschirmt wird. Ein geringer Anteil des Blindwertrestes ist auf Radioaktivität des Zählrohrmaterials bzw. des Bleimantels zurückzuführen, wenn auch versucht wurde, durch Einbau von Eisenrohren die Bleistahlung vom Zentralzählrohr abzuhalten.

Es sei noch erwähnt, daß auch zufällig koinzidente, aber unabhängige Impulse im Zentral- und mindestens einem Mantelzählrohr auftreten können, was einen Verlust an Meßimpulsen bedeutet. Die dadurch be-

dingten Meßfehler sind aber in jedem Fall gering, da bei kleiner Meßrate die zufälligen Koinzidenzen sehr selten vorkommen, bei größeren Meßraten (und klein gehaltener Blindrate) aber prozentuell nicht ins Gewicht fallen, was sich aus der Formel für die Zahl der nur in Frage kommenden Zweifachkoinzidenzen pro Sekunde ergibt: $n_{1,2} = 2 R_1 \cdot R_2 \cdot t$, worin R_1 und R_2 die Impulsraten im Zentral- und Mantelzählrohr und t die Impulsdauer bedeutet. Für $R_1 = 600/\text{min}$, $R_2 = 60/\text{min}$ und $t = 10^{-4} \text{ sec}$ ist $n_{1,2} = 10^{-3}/\text{sec}$, also vernachlässigbar klein.

Meßbeispiel

Die Anwendung der Antikoinzidenzschaltung bei Vermessung schwachstreuender Präparate möge an Hand der Streukurven von γ -Globulinlösungen gezeigt werden.

Zunächst wurde eine 8%ige γ -Globulinlösung untersucht und gute Übereinstimmung mit der aus vielen photographischen Aufnahmen durch Mittelung erhaltenen Streukurve erzielt¹².

Danach konnte auch die Vermessung einer 1%igen γ -Globulinlösung versucht werden, die auf photographischem Wege wegen der langen Be-

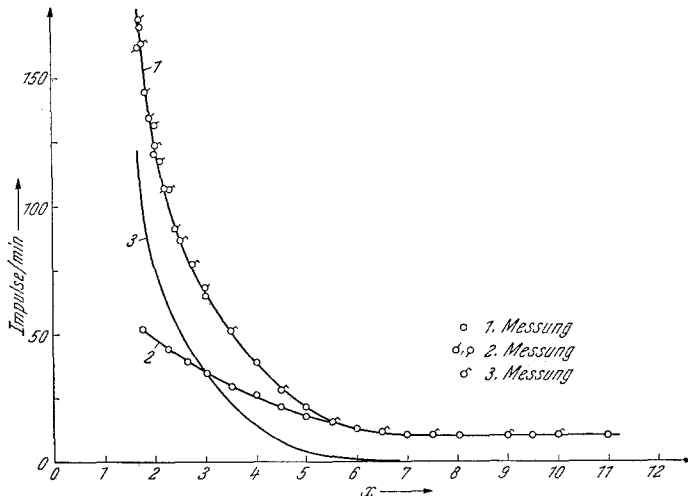


Abb. 9. Antikoinzidenz-Zählrohraufnahme einer 1%igen γ -Globulinlösung
 Kurve 1: Streukurve Kurve 2: Blindkurve Kurve 3: Differenz von Kurve 1 und 2

lichtungsdauer (etwa 200 Stdn.) und der dabei auftretenden Veränderung des Präparates kein brauchbares Ergebnis lieferte. Bei ausreichend dicht liegenden Meßpunkten und einem gewählten Fehler der Einzelmessung von nur 3% waren zur Vermessung der Kurve mit Präparat 8 Stdn., ohne

¹² O. Kratky, G. Porod, A. Sekora, B. Paletta, J. Polymer Sci. **16**, 163 (1955).

Präparat (Blindkurve) 7 Stdn. nötig. Abb. 9 gibt die Resultate wieder. Die Präparatkurve (1) wurde aus drei Messungen erhalten und läßt die gute Reproduzierbarkeit der Methode erkennen. Aus der Differenz dieser und der Blindkurve (Lösungsmittelaufnahme, Kurve 2) ergibt sich dann die eigentliche Streukurve 3, die im vermessenen Gebiet mit der Kurve der 8%igen Lösung übereinstimmt. Durch die Verkleinerung des Störpegels mit Hilfe der Antikoinzidenzanordnung ist auch der Auslauf der Streukurve mit der gleichen Genauigkeit wie in den anderen Kurventeilen in tragbaren Meßzeiten zu erfassen.

Für die Anregung und Unterstützung dieser Arbeit möchten wir an dieser Stelle dem Institutsvorstand Herrn Prof. Dr. O. Kratky unseren wärmsten Dank aussprechen.