

fachen, daß eine vollständige Trennung dieser Komponenten erzielt werden kann.

Anders sind die Verhältnisse bei  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Sr}^{2+}$ . Der Elementareffekt der „freien“ Ionen ist hier kleiner als 1%, und der zu erzielende Trennfaktor kann nur durch einen exponentiell steigenden Aufwand verbessert werden. Es ist deshalb lohnender, durch Vergrößern des Elementareffektes die Trennergebnisse zu verbessern.

Eine Betrachtung der tabellierten Werte der Äquivalentleitfähigkeit des Ca- und Sr-Acetats kann zur Ermittlung der Konzentration dienen, bei der der Elementareffekt am größten ist. Diese Werte stellen ein Maß für das Produkt aus der Ionenbeweglichkeit und dem Dissoziationsgrad dar. Läge ein Gemisch aus Ca- und Sr-Acetat vor, in dem beide Ionen gleich große Molenbrüche besäßen, so wäre der Elementareffekt bei

der Konzentration am größten, bei der der Unterschied in der Äquivalentleitfähigkeit einen maximalen Wert hat. Die Strontiumionen sind aber in einer viel kleineren Konzentration als die Calciumionen vorhanden. Die Verschiebung ihres Komplexbildungsgleichgewichts ist mit steigender Salzkonzentration deshalb geringer, weil die Verschiebung praktisch von der Acetationenkonzentration bewirkt wird. In diesem Fall nimmt der Elementareffekt mit abnehmender Äquivalentleitfähigkeit des Ca-Acetats zu, so daß die Trennung mit steigender Konzentration günstiger wird. Eine Bedingung deren Erfüllung für die Selbststabilisierung der Elektrolyse notwendig ist, muß bei der Wahl der Konzentration beachtet werden, nämlich, daß dort die spezifische Leitfähigkeit mit der Konzentration immer noch zunimmt. Das trifft für Ca-Acetat bis zu einer Konzentration von maximal 2 N zu.

### Messung von Filtertransmissionen und Linearität von Photovervielfachern

F. KARSTENSEN und H. J. KUSCH

Institut für Experimentalphysik der Universität Kiel

(Z. Naturforsch. 24 a, 1283—1284 [1969]; eingegangen am 28. Juni 1969)

Zur Vermessung von Filtertransmissionen werden oft Photovervielfacher in der Weise verwendet, daß das Verhältnis der Anodenströme für die beiden Fälle, daß sich das zu messende Filter im Strahlengang des auf die Kathode fallenden Lichtes befindet oder nicht, gleich der Transmission des Filters gesetzt wird. (Die selbstverständliche Berücksichtigung des Dunkelstromes wird hier und im folgenden nicht ausdrücklich erwähnt.) Dieses Verfahren ist jedoch nur richtig, wenn der Anodenstrom des Photovervielfachers linear vom Lichtstrom auf die Kathode abhängt. Bei genauen Messungen (relative Genauigkeit  $< 1\%$ ) sind die bekannten Nichtlinearitäten<sup>1-3</sup> von Photovervielfachern nicht mehr zu vernachlässigen. Die Messung einer Filtertransmission setzt dann die Kenntnis der nichtlinearen Abhängigkeit des Anodenstromes vom Lichtstrom bei dem verwendeten Photovervielfacher voraus. Zur Messung dieser Nichtlinearität wird eine eigene Meßanordnung benötigt. Im allgemeinen wird es daher vorzuziehen sein, die Messung bei verschiedenen, jeweils verkleinerten Lichtintensitäten, d. h. bei stufenweise verkleinerten Anodenströmen, zu wiederholen und die Meßergebnisse auf den Anodenstrom Null zu extrapolieren<sup>4</sup>.

Die Verfasser bestimmten die Transmission eines Platin-Rhodium-Graufilters mit 14-stufigen und 10-stufigen Photovervielfachern verschiedener Hersteller. Dabei stellte sich heraus, daß nur dann Meßwerte zu er-

halten waren, die unabhängig von der verwendeten Lichtintensität waren, wenn die Anodenströme in der Nähe des Dunkelstromes lagen. Dann ergaben sich Werte für die Transmission des Filters auch unabhängig vom jeweils verwendeten Photovervielfacher. Bei den Messungen wurden die üblichen Vorsichtsmaßnahmen (Temperaturkonstanz der Photokathode, Filter im parallelen Strahlengang, Verhinderung des Einflusses von Reflexionen usw.) angewendet.

Abb. 1 zeigt ein typisches Ergebnis für einen Philips DUVF 56-Photovervielfacher, der bei einem Querstrom im Spannungsteiler zur Dynodenversorgung von etwa 3 mA bei 2,0 kV Spannung betrieben wurde. Die Stromverstärkung war etwa  $5 \cdot 10^6$ . In Abb. 1 ist die gemessene Filtertransmission mit dem einfachen statistischen Fehler der Meßreihen als Funktion des jeweils maximalen Anodenstromes (d. h. kein Filter im Strahlengang) aufgetragen.

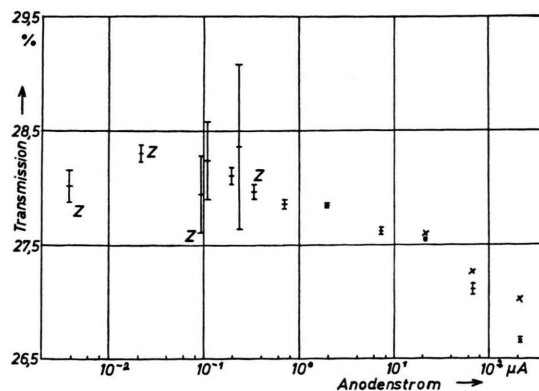


Abb. 1. Gemessene Filtertransmission als Funktion des Anodenstromes des Photovervielfachers. Erläuterungen im Text.

<sup>1</sup> F. MARSHALL, J. COLTMAN u. L. HUNTER, Rev. Sci. Instr. 18, 504 [1947].

<sup>2</sup> W. HERMANN, Z. Naturforsch. 12 a, 1006 [1957].

<sup>3</sup> G. KORTÜM u. H. MAIER, Z. Naturforsch. 8 a, 235 [1953].

<sup>4</sup> H. KUNZ, Dissertation, Technische Hochschule Hannover: „Über ein photoelektrisches Normalpyrometer mit quasi-konstanter Empfängerempfindlichkeit und Sektorschwächung für den Bereich 650 °C bis 3700 °C“, S. 91 ff.



Sofern der Anodenstrom nicht kompensiert wird, muß sein Einfluß auf den Strom im Spannungsteiler und damit auf die Dynodenspannungen berücksichtigt werden. Dieser Effekt spielt nur oberhalb  $10\ \mu\text{A}$  Anodenstrom eine Rolle. Die entsprechend korrigierten Meßwerte sind in Abb. 1 als Kreuze eingetragen.

Der Anodenstrom wurde als Spannungsabfall über einen Anodenwiderstand mit einem Digitalvoltmeter, Zeitkonstante 2 sec, mehrfach gemessen und Mittelwerte gebildet. Bei sehr kleinen Strömen erwies es sich als bequemer, die durch einzelne Photoelektronen an der Anode hervorgerufenen Impulse pro Zeiteinheit zu zählen. Die auf diese Weise gewonnenen Werte sind in Abb. 1 mit „Z“ gekennzeichnet.

Andere Photovervielfacher zeigten ganz ähnliches Verhalten. Messungen mit Lichtimpulsen führten zu den gleichen Ergebnissen.

Liegen für einen Photovervielfacher Messungen, wie als Beispiel in Abb. 1 gezeigt, vor, so läßt sich auch die Abhängigkeit des Anodenstromes von der Beleuchtung der Photokathode auf einfache Weise gewinnen. Dabei muß die Voraussetzung gemacht werden, daß die Mes-

sung der Transmission bei kleinen Strömen die wahre Transmission ergibt.

Bei der Messung von Filtern mit kleiner Transmission wird die Nichtlinearität des Photovervielfachers besonders stören, weil ein großes Intervall der Beleuchtung benötigt wird. Im Beispiel der Abb. 1 entspricht der Anodenstrom  $10^{-3}\ \mu\text{A}$  etwa dem zehnfachen Dunkelstrom. Wählt man die Beleuchtung so, daß bei in den Strahlengang gesetztem Filter dieser Anodenstrom fließt, so ergeben sich folgende Abweichungen zwischen gemessener und wahrer Transmission, wenn die Nichtlinearität unberücksichtigt bleibt:

Wahre Transmission:

$$10^{-3}; \quad 10^{-4}; \quad 10^{-5}$$

Gemessene Transmission:

$$0,99 \cdot 10^{-3}; \quad 0,94 \cdot 10^{-4}; \quad 0,85 \cdot 10^{-5}$$

Aus diesen Werten wird deutlich, daß die Nichtlinearität von Photovervielfachern eine merkliche Fehlerquelle bei der genauen Messung von Filtertransmissionen sein kann, die bei kleinen Transmissionen besonders störend ist.