

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 44 (1953)

Heft: 23

Artikel: Neue Entwicklungen auf dem Gebiete der Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern

Autor: Schaetti, N.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059977>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Neue Entwicklungen auf dem Gebiete der Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern

Von Dr. N. Schaetti, Zürich

621.383.032.21 + 621.385.15

Die Sektion für Röhrenbau der Abteilung für industrielle Forschung am Institut für technische Physik (AFIF) beschäftigt sich seit mehr als einem Jahrzehnt intensiv mit der Herstellung und Entwicklung von Photozellen. Diese Geräte finden ein immer breiter werdendes Anwendungsgebiet. Dazu gehört vor allem auch die Fernsehtechnik. Im folgenden soll über einige neuere Entwicklungen, die an der AFIF durchgeführt wurden, berichtet werden. Es handelt sich dabei teilweise um grundsätzliche Neuerungen, die zu einer wesentlichen Verbesserung der Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern geführt haben. Die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen und der Bericht gibt Rechenschaft über den derzeitigen Stand. Neben den Photokathoden, die im 1. Abschnitt behandelt werden, folgen im 2. Abschnitt die Vervielfacher; im 3. Abschnitt werden einige Anwendungsbeispiele von Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern behandelt.

Depuis plus de 10 ans, la Section des tubes électroniques de la Division de la recherche industrielle de l'Institut de physique technique (AFIF), s'occupe activement de la construction et du perfectionnement des cellules photoélectriques, dont les applications sont de plus en plus étendues, notamment dans le domaine de la télévision. L'auteur décrit quelques-unes des innovations les plus remarquables, qui ont grandement contribué au perfectionnement des cellules photoélectriques à multiplicateur d'électrons. Leur développement n'est pas encore terminé et l'exposé renseigne sur l'état actuel. Le premier chapitre est consacré aux photocathodes, le deuxième aux multiplicateurs d'électrons et le troisième à divers applications de ces appareils.

1. Photokathoden

a) Schichten mit äusserem Photoeffekt

In Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern (Photomultiplier) wird heute weitaus am häufigsten die Cs-Sb-Kathode verwendet. Daneben sind aber auch die Li-Sb- und die mit Sauerstoff nachsensibilisierte Cs-Sb-Kathode von Bedeutung. Die infrarotempfindliche Caesiumoxyd-Kathode kommt infolge ihrer ausserordentlich grossen Empfindlichkeit gegenüber Gasresten nur sehr selten in Photomultipliern zur Anwendung.

Cs-Sb-Kathode. Es ist die empfindlichste der heute bekannten Photokathoden. Untersuchungen haben gezeigt, dass es sich um die intermetallische Verbindung Cs_3Sb handelt, welche Halbleitereigenschaften aufweist. Sie besitzt ihre höchste Empfindlichkeit im violetten und blauen Spektralbereich, zeigt aber normalerweise nur eine sehr geringe Empfindlichkeit für Rotlicht. Die Grenzwellenlänge des Photoeffektes liegt bei 7000 Å. Da bei dieser Kathode die gesamte Schicht an der Elektronenemission beteiligt ist, ist ihre Quantenausbeute auch relativ hoch. Man erreicht heute in Vervielfachern Empfindlichkeiten von 40...100 $\mu A/lm$, entsprechend einer Quantenausbeute von 10...25 % (Licht einer Wolframlampe von $T = 2360^{\circ}K$). Fig. 1 gibt die spektrale Empfindlichkeitscharakteristik dieser Kathode wieder.

Mit O_2 nachsensibilisierte Cs-Sb-Kathode. Der Abfall der Empfindlichkeit einer Cs-Sb-Kathode gegen das langwellige Spektralgebiet erfolgt sehr steil. Daraus ist die Kathode für Messungen bei Lichtwellen-

längen über 6000 Å nicht geeignet. Die Verhältnisse können günstiger gestaltet werden, wenn diese Kathode nach dem üblichen Formierungsprozess zusätzlich mit Sauerstoff behandelt wird. Dadurch wird die langwellige Grenze des Photoeffektes von

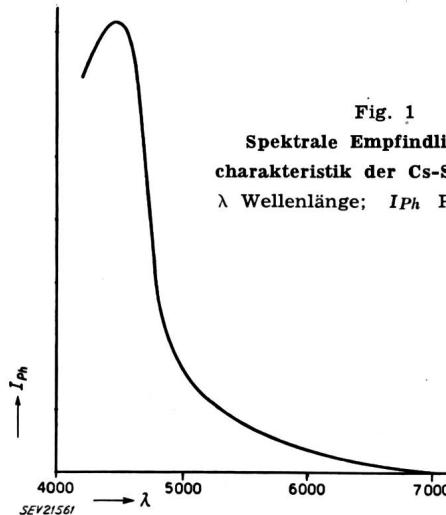
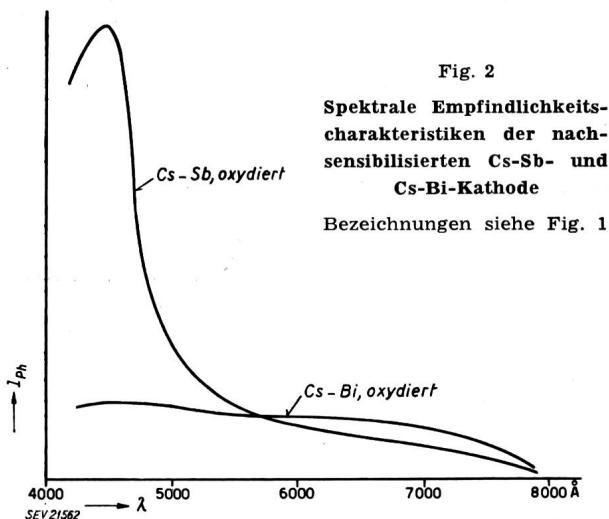


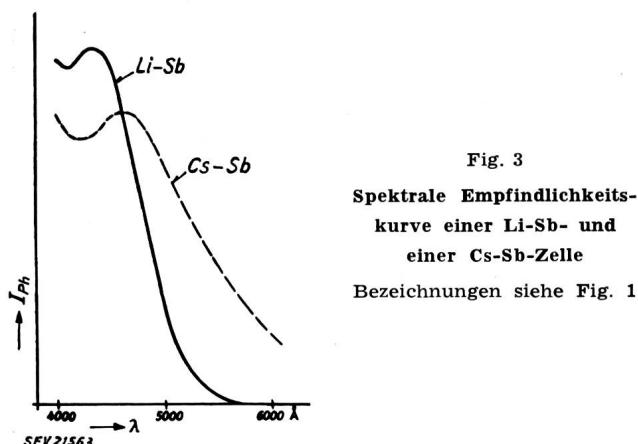
Fig. 1
Spektrale Empfindlichkeits-
charakteristik der Cs-Sb-Kathode
 λ Wellenlänge; I_{ph} Photostrom

7000 Å bis über 8000 Å hinausgeschoben und gleichzeitig die Empfindlichkeit im Bereich 6000...7000 Å wesentlich erhöht. Dieser Prozess ist allerdings mit einer Erhöhung der thermischen Emission der Photokathode verbunden und wird daher nur angewandt, wenn der Vervielfacher für Messungen im langwelligen Spektralbereich verwendet werden soll. Fig. 2 zeigt die spektrale Empfindlichkeitscharakteristik der nachsensibilisierten Cs-Sb-Kathode und gleichzeitig diejenige der ebenfalls mit

O_2 nachsensibilisierten Cs-Bi-Kathode. Während beide Kathoden für langwelliges Licht praktisch dieselbe Empfindlichkeit aufweisen, ist die Cs-Sb-Kathode für kurzwelliges Licht bedeutend empfindlicher.



Li-Sb-Kathode. Ersetzt man in der Cs-Sb-Kathode das Alkali der Reihe nach durch Rb, K und Na, so nimmt die Ausbeute von Kathode zu Kathode ab. Geht man von Na zu Li über, so steigt diese wieder an und die Li-Sb-Kathode besitzt dieselbe Empfindlichkeit wie die Rb-Sb-Kathode. Fig. 3 gibt die spektrale Empfindlichkeitskurve einer Li-Sb-Zelle von $6 \mu A/lm$ Empfindlichkeit und vergleichsweise diejenige einer Cs-Sb-Zelle von $30 \mu A/lm$. Die Li-Sb-Schicht zeigt eine wesentlich kleinere Rotausbeute als die Cs-Sb-Schicht bei praktisch gleicher Empfindlichkeit für kurzwelliges Licht. Bedeutungsvoll ist dabei die geringe thermische Emission der Li-Sb-Kathode, die nur wenige % derjenigen der Cs-Sb-Kathode beträgt. Dies ist insbesondere bei Verwendung der Photomultiplier in Scintillationszählern von grosser Bedeutung.



Die Herstellung dieser Photokathoden ist schwieriger als diejenige der Cs-Sb-Schichten. Dies zeigt schon die dazu benötigte Zeitdauer: Während eine normale Cs-Sb-Kathode innerhalb von $1/2 \dots 3/4$ h hergestellt ist, benötigt die Herstellung einer Li-Sb-Kathode eine solche von $2 \dots 3$ h.

An dieser Stelle soll das Herstellungsverfahren an der AFIF für diese Kathoden dargestellt werden.

Ausgangssubstanzen

Sb. Es wird spektralreines Antimon verwendet, welches aus einer Wolfram-Spirale auf die Glaswand der Röhre aufgedampft wird.

Li. Ausgangsmaterial ist Li in Drahtform. Da diese Li-Drähte oberflächlich mehr oder weniger stark oxydiert sind und da sie in Petrol aufbewahrt werden, ist eine Reinigung durch Destillation im Hochvakuum notwendig. Dazu wird ein Stück dieses Drahtes in ein Glaskröpfchen eingeschmolzen und auf Hochvakuum evakuiert. Das abgeschmolzene Glaskröpfchen wird in einen Ni-Zylinder eingebaut und das ganze wiederum in ein Glasrohr eingeschmolzen, welches an die eigentliche Ampulle mit aufbrechbarer Spitze angeschmolzen ist. Das ganze wird evakuiert und bei ca. $200^\circ C$ ausgeheizt. Nach dem Heizprozess wird der Ni-Zylinder mit Hochfrequenzheizung solange geheizt, bis das den Li-Draht enthaltende Glaskröpfchen springt und das Li auf die Wandung des Glasrohres überdampft. Auf diese Weise gewinnt man reines Li, welches mit dem Bunsenbrenner in die Ampulle destilliert wird.

Herstellung der Kathode im Photomultiplier

Das Sb befindet sich in einer verschiebbaren Quelle, die Ampulle mit dem destillierten Li in einem seitlichen Ansatz der Röhre, der so angeschmolzen ist, dass das Li mit einem Bunsenbrenner direkt gegen die Photokathode eingedampft werden kann. Nach dem normalen Heizprozess wird als erstes Antimon auf die Glaswand der Röhre aufgedampft. Die Schichtdicke wird durch Messung der Durchlässigkeit für Licht einer Wolframlampe mit einer Cs_2O -Zelle kontrolliert. Bei ebener Kathode beträgt die Durchlässigkeit des Sb-Spiegels ca. 80 %. Darauf wird die Li-Ampulle zertrümmert und Li mit dem Bunsenbrenner in die Röhre eingetrieben, bis die Kathode in Durchsicht eine rötlich-violette Färbung angenommen hat. Zur Verteilung des Li über die ganze Kathode wird auch diese periodisch mit dem Brenner aufgeheizt.

Hat die Kathode die gewünschte Färbung angenommen, so erfolgt ein Heizprozess im Ofen. Dazu wird der Pumpenprozess durch Schliessen eines Glasventiles unterbrochen. Der Heizprozess hängt natürlich wesentlich von den Ofenverhältnissen ab. In der AFIF wird die Röhre innerhalb einer Zeitspanne von $1/4$ Stunde auf $240^\circ C$ geheizt, um darauf innerhalb von ca. 20 min abzukühlen. Dadurch wird das Li richtig in die Schicht eingebaut, vermutlich bildet sich ebenfalls eine intermetallische Verbindung analog dem Cs_3Sb ; die richtig formierte Zelle weist in Durchsicht eine gelbe Färbung auf. Die notwendige maximale Heiztemperatur ist vom Aufbau des Multipliers abhängig und muss durch Versuche festgelegt werden.

Nach der beschriebenen Formierung erfolgt eine Inbetriebnahme des Vervielfachers an der Pumpe zur Entgasung der Elektroden (normalerweise bis zu 10 mA Anodenstrom). Es folgt das Abschmelzen des Ansatzes mit der Sb-Quelle. Da diese Kathode empfindlicher ist als die Cs-Sb-Kathode, ist nun normalerweise eine Nachformierung mit einem Zusatz an Li notwendig. Diese Nachformierung wird mit dem Bunsenbrenner durchgeführt.

Verglichen mit Cs wird die Formierung bei dieser Kathode durch den kleineren Dampfdruck des Li sowie infolge seiner bedeutend höheren Reaktionsfähigkeit mit Glas bedeutend erschwert. Es ist ein Überschuss an Li in der Kathode zu vermeiden, welches sich kolloidal in die Schicht einlagert, der Zelle in Durchsicht eine violette Färbung verleiht und deren Empfindlichkeit sehr stark heruntergesetzt. Dieser Überschuss ist nur sehr schwer wieder aus der Schicht zu entfernen. Im Gegensatz zur Cs-Sb-Schicht konnten in diesem Falle mit einem Nachdampfen von Sb zur Bindung des Alkaliüberschusses bis heute keine guten Erfahrungen gemacht werden.

Zusammenstellung der Daten von Photokathoden

Tabelle I

Schicht	Lage des Empfindlichkeitsmaximums Å	Lage der langwelligen Grenze Å	Mittlere Empfindlichkeit μA/1m ²	Thermische Emission bei Zimmertemperatur A/cm ²
<i>Schichtkathode</i>				
Ag-Cs ₂ O, Ag-Cs	7500...8000	11000...13000	20...50	10 ⁻¹²
<i>Legierungs-Kathoden</i>				
Cs ₃ Sb	4500	7000	30...100	10 ⁻¹⁵
Cs ₃ Sb, oxydiert	4600	8000	40...100	
Cs-Bi, oxydiert	4600	8000	10...25	
Li-Sb	4300	5700	5...20	10 ⁻¹⁷

¹⁾ W-Lampe T = 2360°K

Zum Schluss seien in der Tabelle I die wichtigsten Eigenschaften der verschiedenen Photokathoden zusammengestellt.

b) Verhalten des Dunkelstromes der Kathoden

Die Anwendungsmöglichkeiten der Photomultiplier zur Messung geringster Lichtintensitäten werden durch den Dunkelstrom dieser Röhren begrenzt. Dieser Strom, der bei vollkommener Dunkelheit in der Röhre fliesst, setzt sich aus den folgenden Komponenten zusammen:

1. Thermische Emission der Photokathode;
2. Ionenstrom, hervorgerufen durch die Ionisation von Gasresten in der Röhre und daraus resultierender Bombardierung der Photokathode;
3. Verluststrom infolge ungenügender Isolation;
4. Feldemission an den Elektroden.

Während die dritte und vierte Komponente durch geeignete Konstruktion der Röhre vernachlässigbar klein gehalten und die durch sorgfältige Entgasung der Elektroden und gutes Vakuum in der Röhre weitgehend reduziert werden können, ist die erste Komponente durch die Eigenschaften der Photokathoden bestimmt. Die thermische Emission der Photokathode ist bei gegebener Temperatur abhängig vom Kathodenmaterial und nimmt bei den heute verwendeten Kathoden in der Reihenfolge Cs₂O, Cs-Bi oxydiert, Cs-Sb oxydiert, Cs-Sb und Li-Sb ab. Sie ist um so kleiner, je kurzwelliger die Grenzwellenlänge des Photoeffektes ist.

Untersuchungen, welche an 17stufigen Vervielfachern mit Cs-Sb und Li-Sb-Photokathoden durch-

geführt wurden, haben gezeigt, dass die thermische Emission dieser Photokathoden keinen von der Belichtung der Kathode unabhängigen Wert besitzt. Nach einer Belichtung ist sie grösser und fällt in Dunkelheit langsam wieder auf den Ausgangswert zurück.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen lässt sich folgendermassen zusammenfassen:

1. Durch Belichtung wird die Nullstosszahl einer Cs-Sb- und Li-Sb-Kathode erhöht. Die Erhöhung der Nullstosszahl in Funktion der Belichtungsdauer zeigt Sättigung.
2. Durch Belichtung wird die Leitfähigkeit einer solchen Kathode erhöht. In Abhängigkeit der Belichtungsdauer zeigt auch diese Erscheinung Sättigung.
3. Nach Belichtung mit Weisslicht zeigt die Photokathode eine erhöhte Rotempfindlichkeit. Diese klingt im Dunkeln mit der Nullstosszahl wieder auf den Normalwert ab.
4. Das Abklingen der Nullstösse einer vorbelichteten Photokathode kann durch Belichtung mit Rotlicht beschleunigt werden.

c) Beeinflussung des Dunkelstromes der Cs-Sb-Kathode durch Zusatz fremder Elemente

Umfangreiche Untersuchungen an hochstufigen Vervielfachern haben gezeigt, dass durch Zusatz fremder Elemente der Dunkelstrom einer Cs-Sb-Photokathode beeinflusst werden kann, ohne dass dabei die Empfindlichkeit der Kathode im blauen Spektralbereich wesentlich verändert wird. Als Symbol für diese Kathoden mit Zusatzelementen haben wir Cs-Sb, El gewählt, wobei «El» das Zusatzelement bedeutet.

In Bezug auf die Erhöhung der Nullstosszahl nach Belichtung lassen sich die untersuchten Zusatzelemente in die folgenden drei Gruppen unterteilen:

- Elemente, die die Sättigungszahl der zusätzlichen Nullstösse nach Belichtung der Kathode erhöhen.
- Elemente, die bei der angewandten Versuchstechnik einen ähnlichen Sättigungswert ergeben wie die Ausgangskathode.
- Elemente, die den Sättigungswert erniedrigen.

Es sind Elemente der dritten Gruppe, die eine Verbesserung der Charakteristik der Cs-Sb-Kathode bewirken.

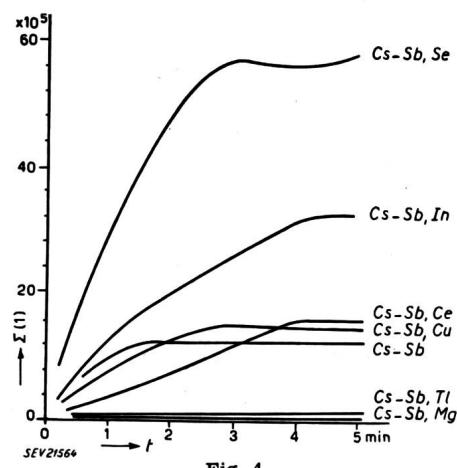


Fig. 4
Verlauf der zusätzlichen Nullstösse in Funktion der Belichtungsdauer

t Belichtungsdauer; Σ (1) Summe der zusätzlichen Nullstösse in der ersten Beobachtungsminute

In Fig. 4 ist der Verlauf der zusätzlichen Nullstösse in Funktion der Belichtungsdauer der Kathode für eine gegebene Lichtintensität aufgetra-

gen. Es sind die zusätzlichen Nullstösse eingetragen, die in der zweiten Minute nach Belichtungsende gemessen wurden. Alle Kurven zeigen Sättigung. Der Sättigungswert ist für Zusatzelemente der ersten Gruppe grösser (Se, In), für diejenigen der zweiten Gruppe praktisch unverändert (Cu, Ce) und für die Elemente der dritten Gruppe bedeutend geringer (Tl, Mg). Mit der Abnahme der Sättigungswerte ist eine Abnahme des Dunkelstromes der Kathode verbunden. Die Kathoden der dritten und auch teilweise der zweiten Gruppe sind dazu geeignet, die bedeutend schwieriger herzustellende Li-Sb-Kathode zu ersetzen.

2. Vervielfacher

a) Dynoden-Schichten

Für die Herstellung der Sekundärelektronenvervielfacher verwenden wir heute ausschliesslich eine Kupfer-Beryllium-Legierung mit 2 % Beryllium. Die Formierung umfasst einen Ausheizprozess im Hochvakuum zur Ausscheidung von Beryllium an der Oberfläche der Dynoden (Aushärtprozess dieser Legierung), sowie eine zusätzliche Oxydation des ausgeschiedenen Berylliums.

Die Vorteile dieser Legierung sind:

1. Gute Reproduzierbarkeit der Ausbeuten;
2. Sehr gute Stabilität und Wegfall von Ermüdungserscheinungen;
3. Gute Haltbarkeit an Luft;
4. Einfache Formierung zur Erreichung guter Sekundärelektronenausbeuten;
5. Kleine thermische Emission;
6. Geringe lichtelektrische Empfindlichkeit;
7. Schwaches Leuchten bei starker Belastung.

Der einzige Nachteil dieser Legierung ist eine relativ hohe Betriebsspannung. In Fig. 5 sind die Ausbeutekurven der Cu-Be-Dynoden aufgetragen. Die Kurve mit der geringsten Ausbeute entspricht

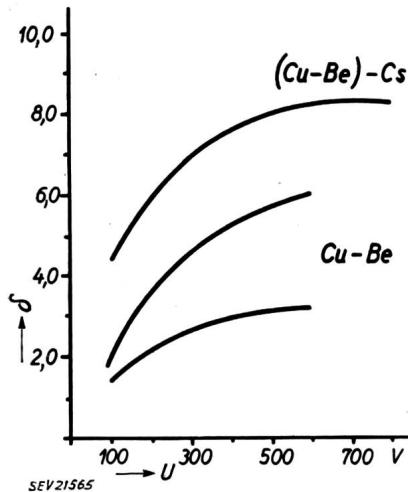


Fig. 5
Ausbeutekurven von Cu-Be-Dynoden
δ Verstärkungsfaktor; U Beschleunigungsspannung der primären Elektronen

einer Cu-Be-Schicht, welche nur thermisch behandelt wurde. Die mittlere Kurve gibt die Ausbeute für eine zusätzlich oxydierte Schicht. Die höchsten Ausbeuten werden bei einer Anlagerung von Cesium erreicht, doch sind diese Werte meistens nicht stabil.

b) Aufbau der bisherigen Photomultiplier

Fig. 6 zeigt das Bild eines 17stufigen Vervielfachers mit Li-Sb-Kathode, wie er für die Anwendung in Scintillationszählern entwickelt worden ist. Die Durchsichts-Photokathode ist auf der Innenseite der Kugel formiert und besitzt eine ausnutz-

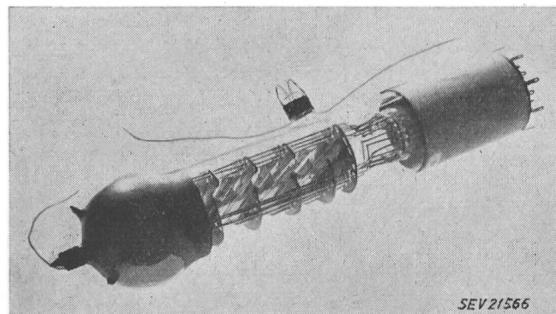


Fig. 6
17stufiger Elektronenvervielfacher mit Li-Sb-Kathode

bare Oberfläche von ca. 10 cm^2 . Der Vervielfacher ist ein elektrostatisch fokussierter Schaufelvervielfacher nach *Raychman*. Fig. 7 gibt seinen Aufbau wieder. Die Dynoden sind Kreissegmente von 120° Öffnung mit einem tangential anschliessenden geraden Teil. Für die Vervielfachung ist im wesentlichen nur der kreisförmige Teil der Dynode wirksam, so dass Elektronen, welche auf den geradlinigen Teil auftreffen, verloren gehen. Aus diesem Grunde gelingt es bei diesem Vervielfachertyp nicht, die primären Photoelektronen in Richtung der Achse des Vervielfachers einzufallen und

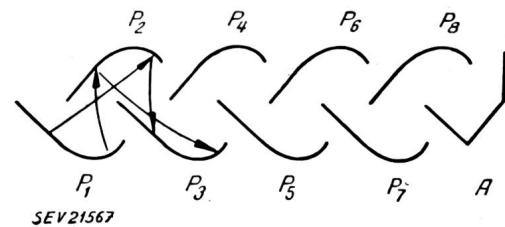


Fig. 7
Schematischer Aufbau des Vervielfachers in Fig. 6
A Anode; P₁...₈ Dynoden

anschliessend zu verstärken. Die Photoelektronen müssen unter einem minimalen Winkel zur Vervielfacherachse eindringen, was den bisherigen Vervielfacheraufbau bedingt.

Der Nachteil der bisherigen Röhren war in ihrem Aufbau und in der Gestaltung der Photokathoden zu suchen:

1. Ungenügende Homogenität der Photokathode über die ganze ausnutzbare Fläche.
2. Kugelförmige Oberfläche der Photokathode und daher keine Möglichkeit einer optischen Abbildung auf diese.
3. Aus demselben Grund ungünstige Verhältnisse für die Verbindung Kristall-Photokathode beim Scintillationszähler.
4. Ungünstige Einbaubedingungen dieser Röhren in die verschiedenen Apparaturen, da der Lichteinfall praktisch senkrecht zur Röhrenachse erfolgt.

Aus diesen Gründen ist in Anlehnung an ausländische Entwicklungen ein neuer Röhrentyp hergestellt worden, der die angeführten Nachteile nicht mehr besitzt.

*c) Photomultiplier mit Frontkathode
neuer Konstruktion*

Fig. 8 zeigt einen 6stufigen Vervielfacher mit Frontkathode. Die Photokathode ist auf dem Boden der Röhre hergestellt, der aussen plangeschliffen ist und innen eine Kugelkalotte bildet, auf wel-

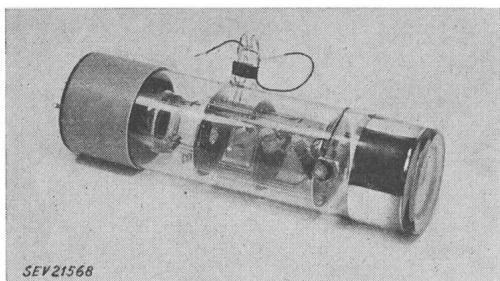


Fig. 8
6stufiger Vervielfacher mit Frontkathode

cher die Kathode formiert ist. Diese besondere Form wurde gewählt und die folgenden Forderungen sind zu erfüllen:

1. Homogenität der Photokathode über die gesamte Oberfläche von 55 mm Durchmesser.
2. Absaugen aller Photoelektronen von der Kathodenoberfläche in die Vervielfachereintrittsöffnung von 10 mm Durchmesser.
3. Gute Verbindung Kristall-Photokathode beim Scintillationszähler.

Fig. 9 gibt einen Schnitt durch diese Röhre wieder. Die Form der Dynoden ist abgeändert, sie besitzen eine grössere aktive Oberfläche. Diese Form gestattet nun einen Eintritt der Primärelektronen in den Vervielfacher in Achsenrichtung. Diese fallen auf die erste schräg zur Achse gestellte Dynode, deren Sekundärelektronen in den eigentlichen Vervielfacher gelangen.

Ausgehend von diesem ersten Vervielfacher mit Frontkathode ist eine weitere Zahl von Röhren von diesem Typus entwickelt und für die Produktion in kleinen Serien vorbereitet worden:

1. Multiplier mit 6stufigem Vervielfacher, grosse Dynoden
2. Multiplier mit 12stufigem Vervielfacher, grosse Dynoden
3. Multiplier mit 12stufigem Vervielfacher, kleine Dynoden
4. Multiplier mit 14stufigem Vervielfacher, kleine Dynoden
5. Multiplier mit 17stufigem Vervielfacher, kleine Dynoden

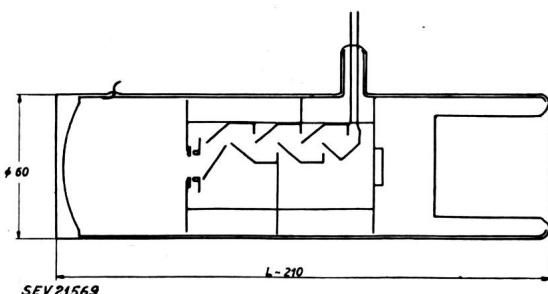


Fig. 9
Schnitt durch die Vervielfacherröhre in Fig. 8

Tabelle II vermittelt eine Zusammenstellung der Eigenschaften dieser Vervielfacherröhre. Fig. 10 zeigt einen Vervielfacher mit 12 Stufen.

Zusammenstellung von Daten von Photomultipliern mit Frontkathoden

Tabelle II

Dynodenanzahl	Maximale Gesamtspannung	Maximale Verstärkung	Maximaler Anoden-gleichstrom mA	Maximaler Impulstrom mA	$I_0^1)$ Dunkelstrom mA
6, gross	2000	10^4	5	200 ²⁾	$1 \cdot 10^{-9}$
12	3200	10^6	15		$1 \cdot 10^{-8}$
12, gross	3250	10^6	5	70	$5 \cdot 10^{-8}$
14	3600	10^8	1		$5 \cdot 10^{-7}$
17	4000	10^9	1		$5 \cdot 10^{-7}$

¹⁾ Für Cs-Sb, El-Kathode bei Zimmertemperatur; wirksame Fläche der Kathode: 55 mm Durchmesser

²⁾ bei einer Stufenspannung von 400 V

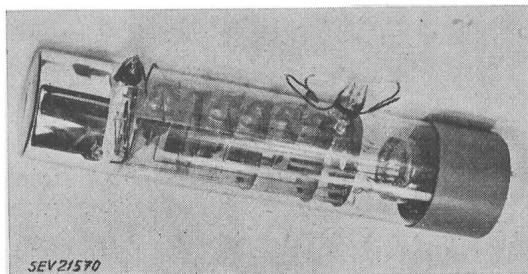


Fig. 10
12stufiger Vervielfacher

d) Photomultiplier spezieller Konstruktion

Für Messungen im Ultraviolettbereich werden Vervielfacher mit Quarzfenster benötigt, welche für diese kurzwellige Strahlung bis zu einer Wellenlänge von 1800 Å durchlässig sind. Fig. 11 zeigt die Ansicht eines solchen Vervielfachers. Das Quarzfenster ist über 8 Zwischengläser mit dem Pyrexglas der Röhre verschmolzen und gestattet auf diese Weise ein normales Ausheizen der Röhre und die Herstellung der Zelle auf dem Quarzfenster.

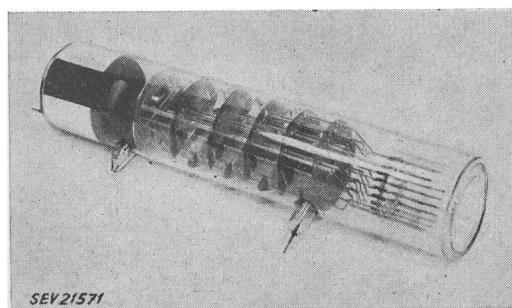


Fig. 11
Vervielfacher mit Quarzfenster

3. Anwendungsbeispiele von Photomultipliern

a) Fernsehtechnik

In der Fernsehtechnik finden Photomultiplier im Leuchtpunktabtaster Anwendung. Dieser Abtaster dient der Übertragung von Diapositiven und Filmen. Das Prinzip der Diapositiv-Abtastung ist einfach: Auf dem Schirm einer lichtstarken Kathodenstrahlröhre wird das Raster von gewünschter Zeilenzahl erzeugt. Dieses Raster wird auf das

Diapositiv abgebildet. Das von diesem Punkt für Punkt durchgelassene Licht wird auf der Photokathode des Photomultipliers gesammelt und durch diesen analysiert. Zur Erzeugung eines Bildes mit richtiger Gradation ist oft eine Korrektur des Multipliernsignals notwendig (Gammakorrektion). Um diese unmittelbar am Vervielfacherausgang vornehmen zu können, wurden unsere 12stufigen Vervielfacher so konstruiert, dass sie Ausgangsströme von 10...15 mA liefern können. (Schwärzung der Anode, geschwärzte Nickelbleche in Berührung mit den letzten 4 Dynoden.)

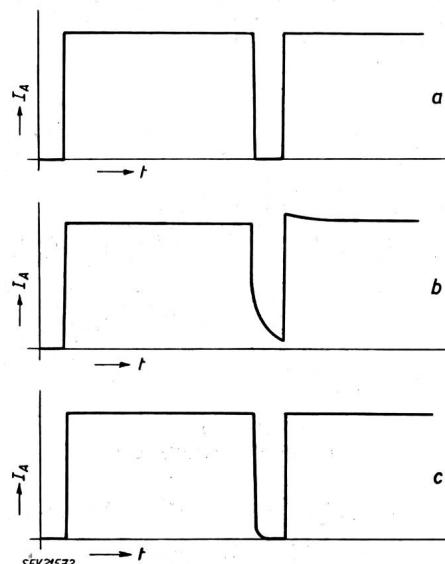


Fig. 12
Signalformen

a ideales Signal; b Signal eines Vervielfachers mit Cs-Sb-Photokathode; c Signal eines Vervielfachers mit Cs-Sb, El-Photokathode; t Zeit; I_A Impulsstrom

Ohne Diapositiv erwartet man für eine Zeile des Rasters ein Signal mit symmetrischen Flanken, gemäss Fig. 12a. Die Erfahrung hat aber gezeigt, dass ein solches Signal nie erhalten wird, sondern dass die Endflanke flacher abfällt (Fig. 12b). Diese Erscheinung wurde lange einer Störung im Vervielfacherteil zugeschrieben. Aus diesem Grunde wurde versucht, diese Erscheinung, die starke Pegelstörungen im übertragenen Bilde zur Folge

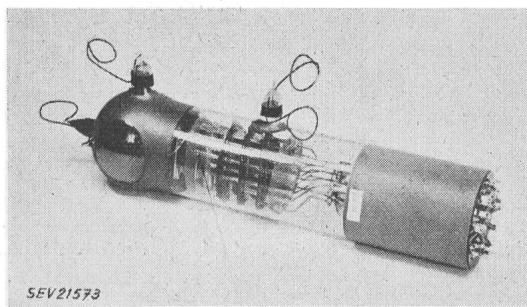


Fig. 13
12stufiger Vervielfacher mit Steuergitter

hat, durch Sperrung des Vervielfachers durch ein Signal unmittelbar am Ende jeder Zeile zu unterbinden. Zu diesem Zwecke wurden diese Vervielfacher mit einem Steuergitter zwischen Kathode

und Vervielfachereingang ausgerüstet. Mit einem Impuls von 20 V lässt sich auf diese Weise der Vervielfacher vollkommen sperren und dadurch die Störung eliminieren. Fig. 13 zeigt einen 12stufigen Vervielfacher mit Steuergitter.

Nach den ersten Untersuchungen über die Nullstromerhöhung in Vervielfächern nach Belichtung der Photokathode wurde vermutet, dass die Erscheinung der Nachemission innerhalb der einer Zeile folgenden Zwischenzeilenpause auf diese Eigenschaft der Photokathoden zurückzuführen sei. Tatsächlich wurde festgestellt, dass Vervielfacher mit Cs-Sb, El-Kathoden diese Störung nur sehr schwach aufweisen (Fig. 12c). Im übertragenen Bilde macht sie sich nicht mehr bemerkbar.

b) Scintillationszähler

In der Kernphysik spielt der Scintillationszähler für die Registrierung von geladenen Partikeln eine bedeutsame Rolle. Es ist die Kombination eines Kristalles mit einem Photomultiplier. Der Kristall (z. B. Antrazin oder Stilben) fluoresziert beim Durchgang eines Teilchens, und der Photomultiplier registriert die einzelnen sehr lichtschwachen Scintillationspuren. Da die Intensität der Fluoreszenzspuren in gewissen Fällen proportional der Energie des untersuchten Teilchens ist, gestattet die Messung der Impulshöhe des Vervielfachers einen Aufschluss über die Energie des Partikels, vorausgesetzt, dass zwischen Lichtintensität der Fluoreszenzspur und Ausgangsstrom des Vervielfachers Proportionalität besteht. Eine wesentliche Voraussetzung für solche Messungen ist somit die Proportionalität zwischen Photostrom und Anodenstrom.

Messungen

über Proportionalität Photostrom-Anodenstrom

Diese Messungen bezeichnen die Bestimmung der Proportionalitätsgrenze bei den verschiedenen Vervielfachertypen. Der Vervielfacher wird über einen Spannungsteiler mit hohem Querstrom gespeist. Er wird mit Lichtimpulsen von ca. 500 μ s Dauer und variabler Intensität belichtet. Die ersten vorliegenden Messungen haben folgende Resultate ergeben:

12stufiger Vervielfacher mit Dynoden grosser Oberfläche, Grenze bei einer Stufenspannung von 250 V: 70 mA;

6stufiger Vervielfacher mit Dynoden grosser Oberfläche, Grenze bei einer Stufenspannung von 400 V: > 200 mA (2. Messung in Amerika durchgeführt).

Seit einiger Zeit ist es bekannt, dass intensive Scintillationen eine Auslösung von Nachläufern zum Hauptimpuls zur Folge haben: Nachimpulse oder Satellitimpulse. Es ist zu vermuten, dass auch diese Erscheinung mit der besprochenen Belichtungsnachwirkung bei den Photokathoden in Zusammenhang steht.

Messungen über Nachimpulse bei kurzen Belichtungszeiten

Zur Zeit sind Untersuchungen im Gange zur Klärung des Verhaltens der Cs-Sb und Cs-Sb, El-Kathoden bei sehr kurzen Belichtungszeiten und kleinen Belichtungsintensitäten. Es werden dabei

die gemessenen Impulszahlen sowie die Nachwirkungen bei den verschiedenen Vervielfachern miteinander verglichen. Dazu wird das Licht einer W-Lampe über einen auf einer rotierenden Scheibe montierten Spiegel von 2 mm Breite auf die Photokathode des Vervielfachers geworfen. Der Spiegel rotiert mit einer Drehzahl von 7500/min und erzeugt auf diese Weise Lichtblitze von 50 μ s Dauer. Die ersten Resultate dieser Versuche zeigen, dass die Vervielfacher mit den neuen Kathoden tatsächlich kleinere Impulszahlen registrieren als diejenigen mit einer normalen Cs-Sb-Kathode. Die zweite Vervielfacher-Gattung zählt dabei 2,5mal mehr Impulse als die Vervielfacher mit Cs-Sb, El-Kathode. Dieser Tatbestand deutet darauf, dass ein Vervielfacher mit normaler Kathode tatsächlich mehr Nachimpulse liefert als ein Vervielfacher mit einer neuen Kathode.

Literatur

- [1] N. Schaetti, W. Baumgartner und Ch. Flury: Untersuchungen über den Dunkelstrom von Sekundärelektronenvervielfachern mit Cs-Sb-Photokathode. *Helv. Phys. Acta* Bd. 26 (1953), Nr. 3/4, S. 380...385.
- [2] N. Schaetti: Beeinflussung der Charakteristik einer Cs-Sb-Photokathode durch Zusatz fremder Elemente. *Z. angew. Math. Phys.* Bd. 4 (1953), Nr. 6, im Erscheinen.
- [3] N. Schaetti und W. Baumgartner: Untersuchungen über den Dunkelstrom von Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern. *Helv. Phys. Acta* Bd. 25 (1952), Nr. 6, S. 605...611.
- [4] N. Schaetti: Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern, *Trans. of Instruments and Measurements Conference Stockholm 1952*, S. 192...197.
- [5] N. Schaetti und W. Baumgartner: Verhalten der Cs-Sb-Photokathoden bei verschiedenen Temperaturen. *Helv. Phys. Acta* Bd. 24 (1951), Nr. 6, S. 614...619.
- [6] N. Schaetti und W. Baumgartner: Cathodes photoélectriques lithium-antimoine. *Le Vide* Bd. 6 (1951), Nr. 34/35, S. 1041...1045.
- [7] N. Schaetti: Sekundärelektronenvervielfacher, *Z. angew. Math. Phys.* Bd. 2 (1951), Nr. 3, S. 123...158.
- [8] N. Schaetti: Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern. *Helv. Phys. Acta* Bd. 23 (1950), Nr. 1/2, S. 108...120.

Adresse des Autors:

Dr. Norbert Schaetti, Dolderstrasse 23, Zürich.

Structure, évolution et problèmes de la distribution à Lausanne

Par Paul Meystre, Lausanne

621.311.1(494.4)

Dans la première partie¹⁾, des questions relatives à la production et au transport de l'énergie avaient été examinées. Dans le présent article, on considère directement le cas des réseaux de distribution et en particulier Lausanne. L'auteur suit l'évolution, au cours des années, ce qui entraîne des adaptations importantes au réseau de 6,4 kV, comme aussi aux stations de transformation, modifications dues à l'augmentation considérable de la densité de la consommation. Les considérations finales soulignent les éléments essentiels de l'évolution et montrent combien, si des principes généraux peuvent être établis, l'adaptation à des cas particuliers entraîne une multitude de problèmes propres à chacun d'eux.

Dans une première partie parue, sous à peu près le même titre, dans le Bulletin ASE 1953, n° 12, nous avons émis quelques considérations générales et donné un aperçu de la production aux transports de l'énergie, éléments souvent communs à plusieurs entreprises.

La jonction aux lignes de transport et la distribution proprement dite est en général plus particulièrement le fait des entreprises de distribution au détail. Nous avons repris ici le cas particulier de Lausanne considéré comme un exemple de distribution urbaine. Les solutions qui y ont été appliquées peuvent être considérées, sous un angle général, comme un exemple qui permet de faire ressortir certains modes de faire. Il est évident qu'ailleurs ces solutions peuvent être un peu différentes. Il n'en résulte pas moins que, découlant des mêmes causes, elles suivront les mêmes principes.

1. Pierre-de-Plan

Centrale de couplage et centrale thermique

Le simple examen de l'évolution de ces installations va permettre de constater combien sont rapides les fluctuations imposées par le progrès de la technique et les nécessités de l'exploitation.

Considérons l'usine de Pierre-de-Plan sur Lausanne.

En 1902, le transport de l'énergie est continué. Le réseau de distribution est d'emblée établi

In einem ersten Teil¹⁾ wurden Energie-Erzeugungs- und Transportfragen behandelt. Der vorliegende Artikel betrachtet die Verteilnetze der Stadt Lausanne. Der Verfasser beschreibt deren Entwicklung im Verlauf der Jahre, in denen wegen der beträchtlichen Steigerung der Abgabedichte erhebliche Anpassungen des 6,4-kV-Netzes und der Transformatorenstationen notwendig waren. Die Schlussbetrachtungen heben die wichtigsten Elemente der Entwicklung hervor und zeigen, wie, selbst wenn allgemeine Grundsätze bestehen, die Anpassung an besondere Fälle eine Reihe von Fragen nach sich zieht, von denen jede für den betreffenden Fall charakteristisch ist.

en triphasé 3000 V. La transformation se fait par moteurs série-alternateurs avec réglage de la tension centralisé.

Une centrale thermique est installée; elle comprend des chaudières à vapeur alimentant des machines à piston entraînant un alternateur triphasé. C'est à la fois une réserve et une couverture des pointes de consommation.

En 1907 et 1911, la consommation augmente, la centrale thermique assure un service de pointe suivi et couvre une production accrue. Les machines à vapeur sont remplacées par 2 turbines à vapeur de 2000 et 1000 kW.

1920. Le nouveau transport triphasé 50 kV aboutit à une nouvelle usine de couplage, complètement séparée de la centrale thermique. Cette nouvelle usine remplit des tâches multiples: transformation

50 000/3000 V de l'énergie pour Lausanne-ville, 50 000/6000 V de l'énergie pour Lausanne-banlieue, 50 000/65 000 V de l'énergie, destination Genève, par ligne EOS; première interconnexion en Suisse romande,

50 000/14 000 V, destination Cie de Joux, réglage de la tension de 3000 V (ville) par régulateurs d'induction.

La centrale thermique ne perd pas de son importance, la consommation continuant à augmenter

¹⁾ voir Meystre, P.: Structure, évolution et problèmes des réseaux d'électricité en Suisse romande. Bull. ASE t. 44 (1953), n° 12, p. 522...527.

¹⁾ siehe Meystre, P.: Structure, évolution et problèmes des réseaux d'électricité en Suisse romande. Bull. SEV Bd. 44 (1953), Nr. 12, S. 522...527.