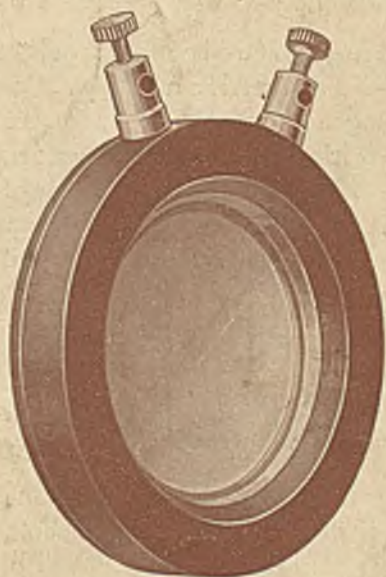


# Selen- Photoelemente



SÜDDEUTSCHE APPARATE-FABRIK

G · · · M · · B · · H

NÜRNBERG 2

SCHLISSFACH 282

## S. A. F. Selen-Photoelemente.

Das in den letzten Jahren durch eine gründliche Entwicklungsarbeit geschaffene Selen-Photoelement stellt eine lichtelektrische Zelle dar, deren Aufgabe es ist, einfallendes Licht in elektrische Energie zu verwandeln.

Das Selen-Photoelement gehört zu der Klasse der Sperrschicht-Photozellen, deren Wesen und genaue Wirkungsweise erst in jüngster Zeit richtig erforscht worden ist. Das besondere Merkmal solcher Sperrschicht-Photozellen ist, daß sie ohne jede elektrische Hilfsspannung bei Beleuchtung sofort einen elektrischen Strom liefern und daß sich dieser Vorgang nicht in einem evakuierten oder mit einem verdünnten Gas gefüllten Raum abspielt. Dadurch unterscheidet sich das neue Photoelement also deutlich von den bisher zu ähnlichen Zwecken benutzten Vakuum- oder gasgefüllten Photozellen, bei denen stets eine elektrische Spannungsquelle zum Betriebe notwendig ist, obgleich der primäre physikalische Vorgang bei beiden Zellentypen der gleiche ist.

Das Selen-Photoelement ist von allen bisher bekannten Sperrschicht-Photozellen die empfindlichste Zelle, d. h. es liefert bei gleicher Beleuchtung und gleich großer belichteter Oberfläche den größten Photostrom. Hinzukommt, daß das Selen-Photoelement eine große mechanische Festigkeit besitzt, die in allen den Fällen von großem Wert ist, wo die lichtelektrische Zelle starken Erschütterungen, z. B. bei tragbaren Apparaturen ausgesetzt ist. Das Selen-Photoelement ist unempfindlich gegen normale Luftfeuchtigkeit. Infolge seiner plattenförmigen Gestalt läßt es sich leicht in besondere, gegen Feuchtigkeit schützende Fassungen einbauen. Es verträgt normale Temperaturschwankungen. Seine hohe lichtelektrische Empfindlichkeit und seine plattenförmige Gestalt ermöglichen den Einbau der Elemente in die verschiedensten Apparate. Zusammenfassend ergeben sich folgende allgemeinen

## **Vorteile des Selen-Photoelementes.**

Hohe lichtelektrische Empfindlichkeit,  
Guter Wirkungsgrad,  
Verwendung ohne elektrische Hilfsspannung,  
Lichtelektrische Empfindlichkeit im ganzen Spektralbereich von  
ca. 275 bis 750 nm,  
Geringer Temperaturkoeffizient,  
Gute Konstanz,  
Große Lebensdauer,  
Hohe Betriebssicherheit,  
Keine zerbrechlichen Teile, deshalb unempfindlich gegen Erschütterungen,  
Große konstruktive Anpassungsfähigkeit in mechanischer Beziehung.

## **Anwendungsgebiete:**

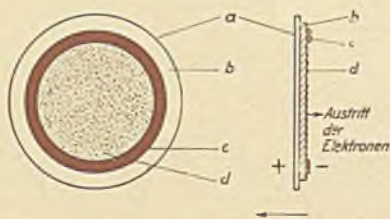
Photometer jeder Art, tragbare Beleuchtungsmesser, photographische Belichtungsmesser, Registrierphotometer, Reflexions- u. Transparenz-messer, Sichtmesser,  
Objektive Kolorimetrie,  
Lichtelektrische Signalanlagen, Einbruchsicherung (sog. Lichtschranken),  
Lichtelektrische Zählvorrichtungen,  
Automatische Einschaltung von Lichtenanlagen (sogen. Lichtwarten),  
Verkehrskontrolle auf der Straße usw.,  
Überwachung von Fabrikationsvorgängen in Industrien versch. Art,  
Rauch- und Gasmesser,  
Feuermelder,  
Messung mechanischer Veränderungen (Fernthermometer),  
Nachweis schwingender mechanischer Vorgänge,  
Gleichstromverstärkung,  
Messung hochfrequenter Wechselströme.

## **Wirkungsweise des Selen-Photoelementes.**

Das Selen-Photoelement ist aus dem bekannten Selengleichrichter der SAF entstanden<sup>1)</sup>. Der Aufbau eines Selen-Photoelementes ist

<sup>1)</sup> Literatur; L. Bergmann. Eine neue Selensperrschicht-Photozelle, Phys. Ztschr. Nr. 32 (1931) S. 286





a) Abb. 1 b)

in Abb. 1 a und b in Aufsicht und Querschnitt schematisch wiedergegeben. Auf einer etwa 1 mm starken Eisenplatte a ist eine dünne Selen-schicht b aufgeschmolzen, die durch eine besondere Temperaturbehandlung in die lichtelektrisch wirksame Modifikation des Selen übergeführt ist. Auf die Selenoberfläche ist eine sehr dünne, gut lichtdurchlässige Metallhaut d aus Edelmetall aufgebracht. Ein verstärkter metallischer Ring c dient als elektrische Zuleitung zu der lichtdurchlässigen Vorderelektrode der Zelle, die Trägerplatte a bildet den zweiten Stromanschluß. Zwischen der Selenoberfläche und der lichtdurchlässigen Elektrode liegt die unipolar leitende Sperrschicht. Legt man an das Selen-Photoelement eine Gleichstromquelle derart an, daß der Pluspol an der Vorderelektrode d, der Minuspol an der Eisenplatte a angeschlossen ist, so fließt in dieser Richtung kein Strom durch das Element, während nach Umpolung der Anschlüsse in umgekehrter Richtung sofort ein starker Strom zustande kommt. Man kann so sagen: Unter dem Einfluß einer äußeren elektrischen Spannungsquelle können Elektronen freiwillig nur von der Metallelektrode d zum Halbleiter Selen b über die dazwischenliegende Sperrschicht treten, (d. h. + Pol an Eisen, — Pol an Vorderelektrode) nicht aber in umgekehrter Richtung. In der Abb. 1 b ist die Durchlaßrichtung für Elektronen durch einen Pfeil angedeutet.

Wird nun das Photoelement in der Weise belichtet, daß das Licht durch die Elektrode d an das Selen gelangt, so werden an der Selenoberfläche Elektronen lichtelektrisch ausgelöst (äußerer lichtelektrischer Effekt), wobei sie vom Licht genügend Energie erhalten, um über die Sperrschicht zwischen Selen und Vorderelektrode, also gegen die eigentliche Durchlaßrichtung, in die Vorderelektrode übertreten. Diese infolge der Lichtwirkung übergetretenen Elektronen können zwar in der Durchlaßrichtung Vorderelektrode-Selen wieder an ihren Ursprungsort zurückfließen; legt man aber an das Photoelement einen Stromkreis etwa mit einem Galvanometer, wie es in

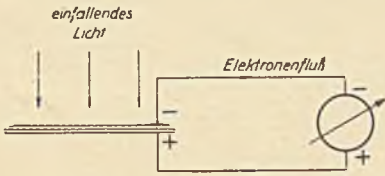


Abb. 2

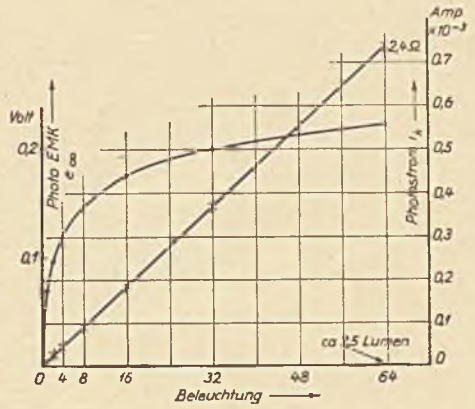


Abb. 3

Abb. 2 dargestellt ist, so fließt ein Teil der die lichtelektrisch ausgelösten Elektronen durch diesen Kreis als Photostrom an ihren Ausgangsort im Selen zurück. Dieser Photostrom ist bei gegebener Belichtung des Elementes umso größer, je kleiner der Widerstand des Außenkreises gegenüber dem Widerstand der Sperrschicht in der Durchlaufrichtung ist.

## Photostrom und Photospannung des Selen-Photoelementes.

In der Abb. 3 ist sowohl die Photospannung eines offenen Photoelementes als auch der Photo-Kurzschlußstrom in Abhängigkeit von der auf das Element auffallenden Beleuchtung wiedergegeben und zwar für eine Zelle der Type T 10062 E bzw. 6771 A mit einer wirksamen Oberfläche von  $9,7 \text{ cm}^2$  ( $45 \text{ mm } \varnothing$ ). Die Photospannung erreicht sehr bald einen Sättigungswert und steigt nicht wesentlich über  $0,2 \text{ Volt}$  an. Der Photostrom dagegen steigt in dem Falle, daß der äußere Widerstand des Kreises sehr klein ist (Kurzschlußstrom) linear mit der Beleuchtung an. Die Abb. 4 zeigt im Gegensatz hierzu

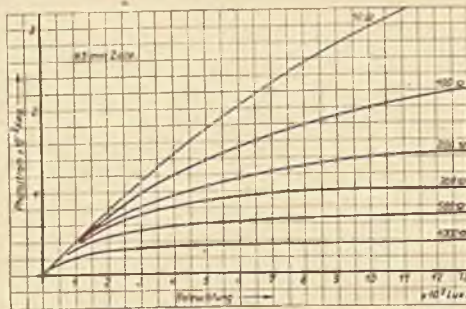


Abb. 4

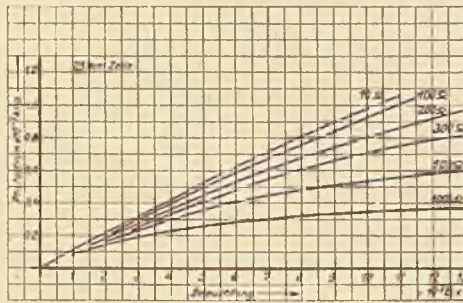


Abb. 5

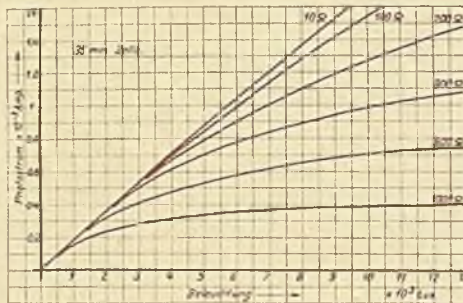


Abb. 6

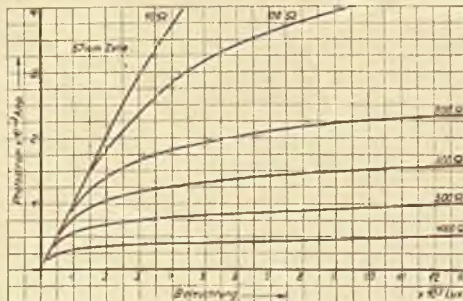


Abb. 7

den Verlauf des Photostromes in Abhängigkeit von der Beleuchtung bei der gleichen Zelle für verschieden große Widerstände im Verbraucherkreis. Abbildungen 5, 6 und 7 geben die entsprechenden Kurven für Zellen von 25, 35 und 67 mm  $\varnothing$  wieder. Je größer die Widerstände im äußeren Stromkreis sind, desto schlechter ist die Proportionalität zwischen Photostrom und Beleuchtung erfüllt. Hierauf muß bei Verwendung der Zelle als Photometer geachtet werden.



Da bei höherer Belichtungsintensität der Photostrom auch größere Werte annimmt, können die angeschlossenen Meßinstrumente durch Nebenschlußwiderstände unempfindlicher gemacht werden, wodurch dann automatisch der Widerstand im Verbraucherkreis des Photoelementes kleiner wird. Die Stromausbeute steigt ferner mit der Größe der belichteten Zellenoberfläche, wie es die Kurven in Abb. 8 wiedergeben; auch hier gilt, daß eine Proportionalität zwischen Photostrom und belichteter Zellenoberfläche nur dann besteht, wenn der Widerstand im Außenkreis klein ist. <sup>1)</sup>

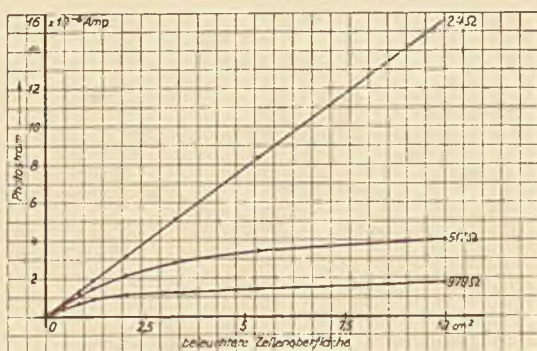


Abb. 8

## Empfindlichkeit des Photoelementes.

Als ungefährer Anhaltspunkt für die Empfindlichkeit eines Selen-Photoelementes kann angegeben werden, daß bei einer Beleuchtung von 1 Lux von dem Element pro 1 cm<sup>2</sup> Oberfläche ein Photostrom von ca.  $3 \cdot 10^{-8}$  Amp. geliefert wird. Bei Belichtung mit Sonnenlicht liefert die Zelle Type 6771 A ca. 30 Milliamp. Photostrom bei 2 Ohm Instrumentenwiderstand.

## Innerer Widerstand des Photoelementes.

Für die günstigste Anpassung des Photoelementes an irgend einen Verbraucher ist der innere Widerstand von Bedeutung. Dieser ist, wie aus der Abb. 9 hervorgeht, zunächst eine Funktion der Beleuchtung und zwar ist er umso kleiner, je intensiver die Zelle belichtet, d. h. je

<sup>1)</sup> Bezüglich weiterer Einzelheiten muß auf die Originalliteratur verwiesen werden: z. B. L. Bergmann Messungen an Selen-Photoelementen, Phys. Ztschr. 33 (1932) S. 513 u. A. Drehler, Neuere Erfahrungen mit Sperrschichtzellen, Zeitschr. Licht & Lampe 21 (1932) S. 21.

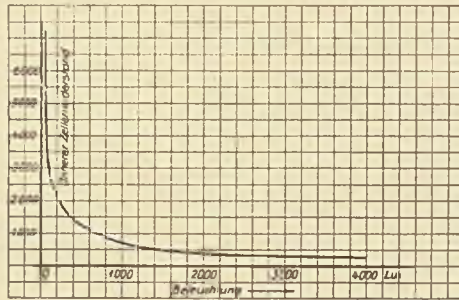


Abb. 9

mehr Elektronen lichtelektrisch frei gemacht werden. Außerdem hängt der innere Widerstand des Photoelementes noch von der Größe der Zelloberfläche ab; je größer diese ist, d. h. je größer der Querschnitt des Photoelementes für den Elektronenstrom wird, desto kleiner wird der innere Widerstand. Die Kurve in Abb. 9 bezieht sich auf ein Selenphotoelement Type 6771 A mit ca.  $9,7 \text{ cm}^2$  wirksamer Oberfläche.

### Elektrische Leistung des Photoelementes.

Die elektrische Leistung, die ein Selen-Photoelement bei gegebener Beleuchtung abgibt, hängt von der Größe des elektrischen Widerstandes des Verbraucherkreises ab und erreicht ein Maximum, wenn der Widerstand des Verbrauchers gleich dem inneren Widerstand des Photoelementes ist. Die Kurven in Abb. 10 bis 13 zeigen für die einzelnen Zellentypen die Abhängigkeit der elektrischen Leistung vom Belastungswiderstand bei verschiedenen Beleuchtungsstärken. Für die gebräuchlichsten Größen der Selen-Photoelemente kann man

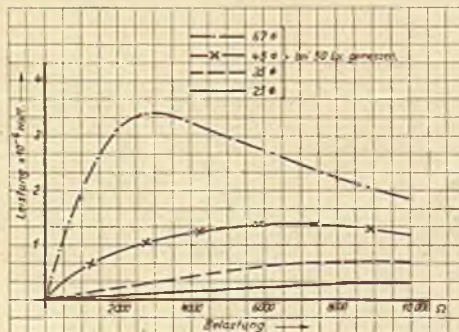


Abb. 10



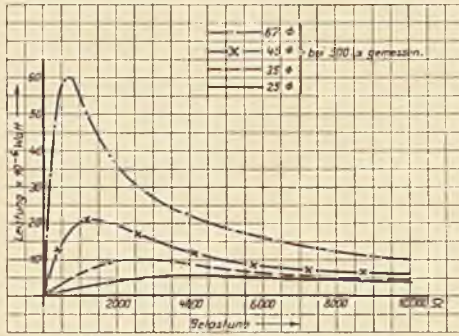


Abb. 11

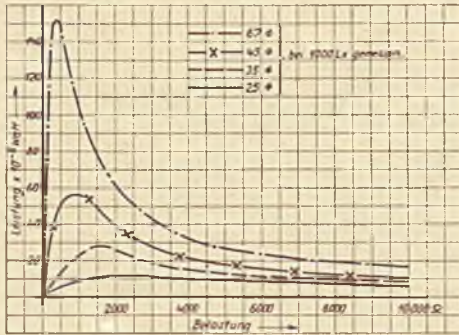


Abb. 12

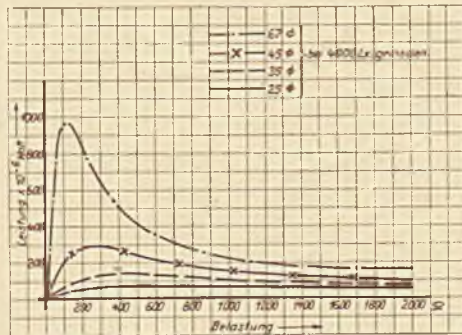


Abb. 13

aus den Kurven bei verschiedenen Beleuchtungen die maximalen elektrischen Leistungen sowie die dabei im Verbraucherkreis anzuwendenden Widerstände ersehen. Diese entsprechen gleichzeitig dem jeweiligen inneren Widerstand des betreffenden Photoelementes bei der angegebenen Beleuchtung.

## Temperaturkoeffizient des Selen-Photoelementes.

Von den bisher bekannt gewordenen Sperrschicht-Photozellen besitzt das Selen-Photoelement den kleinsten Temperaturkoeffizienten, wobei als weiteres günstiges Moment hinzukommt, daß die Änderung des Photostromes mit der Temperatur gerade im Gebiet der Zimmertemperatur um  $20^{\circ}$  herum sehr klein ist. Allgemein nimmt mit höherer Temperatur der Photostrom ab und zwar umso stärker, je größer der Widerstand im Außenkreis ist. Der Temperaturkoeffizient des Kurzschlußstromes ist praktisch gleich Null, der der Photospannung bei  $20^{\circ}$  etwa  $1,3\%$  pro Celsiusgrad. Bei einem Außenwiderstand von  $100\ \Omega$  beträgt der Temperaturkoeffizient nur  $0,14\%$ , bei  $350\ \Omega$  etwa  $0,4\%$  pro Celsiusgrad.

## Spektrale Empfindlichkeit des Selen-Photoelementes.

Das Selen-Photoelement ist im ganzen sichtbaren Spektralbereich empfindlich zum Unterschied gegenüber allen anderen Photozellen, die eine mehr oder minder große selektive Empfindlichkeit in bestimmten Spektralbezirken besitzen. Aus diesem Grunde ist das Selen-

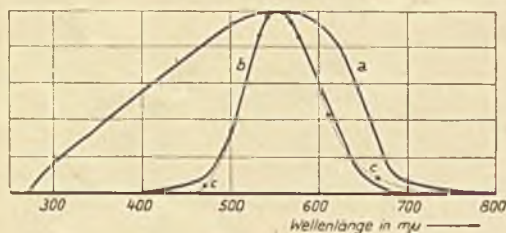


Abb. 14

Photoelement gerade für photometrische Zwecke außerordentlich gut brauchbar. Die Kurve a in Abb. 14 zeigt für ein energiegleiches Spektrum die Abhängigkeit der Empfindlichkeit des Selen-Photoelementes von der Wellenlänge des einfallenden Lichtes. Man erkennt, daß das Selen-Photoelement auch noch im ultravioletten Licht sowie im kurzwelligen Ultrarot eine brauchbare Empfindlichkeit besitzt. Dieser sehr günstige Verlauf der spektralen Empfindlichkeit des Selen-Photoelementes ermöglicht es, das Photoelement sowohl als

photographischen Belichtungsmesser, als auch durch Vorschaltung geeigneter Filter für besondere Zwecke zu benutzen. Die SAF liefert z. B. ein Filter, das die Zellenempfindlichkeit der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges weitgehend anpaßt. In der Abb. 14 gibt die Kurve b die spektrale Empfindlichkeit eines menschlichen Normalauges an. Die eingezeichneten Meßpunkte, bzw. die gestrichelte Kurve c, zeigen die spektrale Empfindlichkeit der Kombination Selen-Photoelement + Filter<sup>1)</sup>. Eine solche Anpassung des Photoelementes an die spektrale Empfindlichkeit des Auges kann auch in anderer Weise durch Benutzung von zwei Filtergläsern, die sich nur teilweise überdecken, erreicht werden<sup>2)</sup>.

## Trägheit des Selen-Photoelementes bei intermittierender Beleuchtung.

Das Selen-Photoelement arbeitet praktisch trägheitslos, d. h. Photospannung als auch Photostrom setzen mit der Beleuchtung momentan ein. Störend macht sich bei dem Selen-Photoelement bei hohen Belichtungsfrequenzen nur seine verhältnismäßig große Eigenkapazität zwischen Vorderelektrode und der Selenoberfläche bemerkbar. Bei dem Photoelement Type 6770 A liegt diese Eigenkapazität in der Größenordnung von einigen 1000 cm. Andererseits aber läßt sich

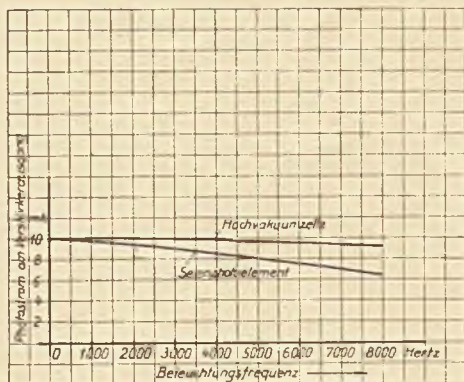


Abb. 15

<sup>1)</sup> Literatur: L. Bergmann. Versuche und Messungen mit Selenperschichtphotozellen, Phys. Ztschr. 34 (1933) S. 227.

<sup>2)</sup> Literatur: A. Drehler. Über eine Filterkombination zur genauen Angleichung der Spektralempfindlichkeit von Photozellen an die des Auges, Licht und Lampe 22 (1933) S. 93.



das Selen-Photoelement infolge seines geringen ohmschen Widerstandes über einen Transformator an den Eingang eines Röhrenverstärkers anpassen, wodurch eine günstige Spannungstransformation erzielt wird. Durch den gegenüber Hochvakuumzellen sehr kleinen Eigenwiderstand des Photoelementes ist der Uebertragungsfaktor bei kleinen und mittleren Frequenzen in einem ziemlich breiten Intervall verhältnismäßig konstant, weil der Blindwiderstand des Photoelementes zunächst groß gegen den Eigenwiderstand ist. Zur Orientierung diene die Abb. 15, in der sowohl für eine Hochvakuumzelle als auch für ein Selenphotoelement Type 6770 A die am Verstärkerausgang auftretenden Wechselströme bei intermittierender Belichtung in Abhängigkeit von der Lichtwechselfrequenz aufgetragen sind. Der Anschluß des Selenphotoelementes erfolgte dabei über einen Transformator mit dem Uebersetzungsverhältnis 1 : 50.

### Das Doppel-Photoelement.

Das Doppel-Photoelement ist gedacht für die photometrische Vergleichung zweier Lichtquellen als objektiver Ersatz für die bekannten subjektiven Vergleichsphotometer. Es besteht aus zwei mit ihrer Rückseite aufeinandergelegten Selenphotoelementen (Abb. 16). An

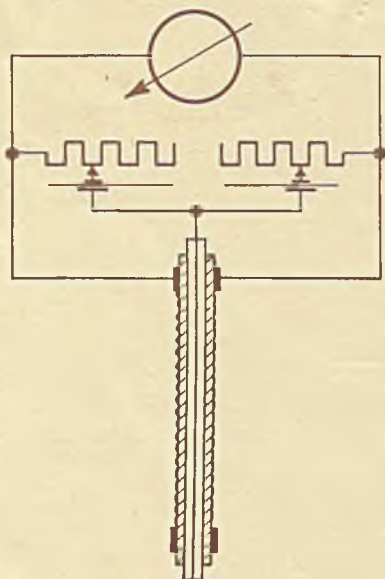


Abb. 16

die Außenelektroden wird ein Meßinstrument mit möglichst großer Stromempfindlichkeit als Nullinstrument (Nullpunkt in der Skalenmitte) angeschlossen. Unter der Voraussetzung, daß beide Zellen gleiche Empfindlichkeit haben, stellt sich das Meßinstrument nur dann auf Null ein, wenn beide Zellen gleich hell beleuchtet werden. Eine etwa vorhandene Verschiedenheit in der Lichtempfindlichkeit beider Zellen läßt sich entweder durch eine Doppelmessung mit um  $180^\circ$  gedrehtem Doppelphotoelement eliminieren oder durch Parallelschaltung zweier Regulierwiderstände ausgleichen. Zu diesem Zweck ist das Doppel-Photoelement mit einem Mittelkontakt zu versehen.

## Das Differential-Photoelement.

Das Differential-Photoelement ist elektrisch analog dem Doppel-Photoelement gebaut nur mit dem Unterschied, daß die beiden Photoelemente dicht nebeneinander auf einer gemeinsamen Grundplatte angeordnet sind. In der Abb. 17 ist ein Differentialphotoelement

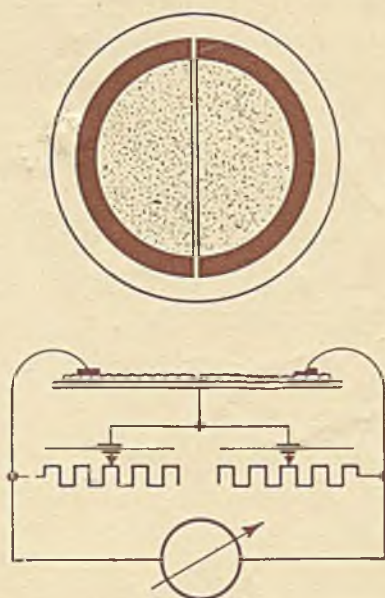


Abb. 17

in Aufsicht und Querschnitt gezeichnet. Wird ein Galvanometer als Nullinstrument in der eingezeichneten Weise an das Differential-Photoelement angeschlossen, so zeigt es nur dann den Strom Null,

wenn beide Hälften des Photoelementes gleich hell beleuchtet sind. Auch hier lassen sich mittels parallelgeschalteter Widerstände die beiden Zellenhälften elektrisch aufeinander abgleichen. Zu diesem Zweck muß an dem Photoelement ein dritter Anschluß angebracht werden, der mit der Grundplatte in Verbindung steht.

## **Besondere Anwendung der Selen-Photoelemente.**

Außer dem eigentlichen und am nächsten liegenden Verwendungszweck des Photoelementes zu photometrischen Zwecken der verschiedensten Art seien noch folgende Verwendungsmöglichkeiten mitgeteilt:

Der Nachweis und die Messung kleiner Drehbewegungen, z. B. Vergrößerung eines Galvanometerauschlages<sup>1)</sup>, die Untersuchung schwingender mechanischer Vorgänge<sup>2)</sup>, die Messung kleiner mechanischer Verschiebungen mit dem Differentialphotoelement, z. B. Fernmanometer<sup>3)</sup>, die Gleichstromverstärkung<sup>4)</sup>, die Messung hochfrequenter Wechselströme (Photoamperemeter<sup>5)</sup>, und schließlich die Verwendung zu Demonstrationsversuchen über den Photoeffekt im Unterricht<sup>6)</sup>. Bei der Verwendung des Selen-Photoelementes zu lichtelektrischen Signalanlagen (Raumschutz, Lichtwarte, Zählvorrichtungen usw.) können die Photoelemente direkt mit einem Kontaktrelais verbunden werden, vorausgesetzt daß dieses eine genügende Stromempfindlichkeit und genügend sichere Kontaktgebung besitzt<sup>1)</sup>.

Die in den Kurven niedergelegten Meßzahlen gelten nicht als Garantiewerte für die zur Lieferung kommenden Zellen. Sie sind als unverbindliche Mittelwerte zu betrachten.

Literatur: 1) 2) L. Bergmann. Ein photoelektrisches Relais zur Vergrößerung kleiner Drehbewegungen Phys. Ztschr. 32 (1931) S. 68.

1) 2) 3) 4) L. Bergmann. Über die Verwendung der Selensperrschicht-Photozelle zu physikalischen Messungen, Ztschr. f. techn. Phys. 13 (1932) S. 568.

5) H. Schwarz, Strommessung bei hohen Frequenzen, Jahrb. für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 39 (1932) S. 165.

6) L. Bergmann. Versuche mit Selengleichrichtern und Selenphotoelementen, Ztschr. f. d. phys. und chem. Unterricht 46 (1933) S. 49.

Literatur: L. Bergmann u. H. Fricke. Ein hochempfindliches Relais zur Verwendung bei Sperrschicht-Photozellen, Ztschr. f. Fernmeldetechnik, 14 (1933) S. 151.



## Selen - Photoelemente.

Ausführung **mit** Fassungsring und Anschlußklemmen.

Bestell-No.	Wirksame Fläche ca : cm <sup>2</sup>	Gewicht ca. Gramm	Preis RM
6770 A	2,8	26	<b>18.—</b>
6771 A	9,7	50	<b>24.—</b>

Ausführung **ohne** Fassungsring.

Bestell-No.	Durch- messer mm	Wirksame Fläche ca : cm <sup>2</sup>	Gewicht ca. Gramm	Preis RM
T 10051 E	18	1,0	3	<b>12.—</b>
T 10063 E	25	2,8	4	<b>15.—</b>
T 10088 E	35	4,9	7	<b>18.—</b>
T 10062 E	45	9,7	11	<b>20.—</b>
T 10074 E	67	25,5	28	<b>32.—</b>

**Differential-Photoelemente** ohne Fassungsring.

Bestell-No.	Durch- messer mm	Wirksame Fläche ca : cm <sup>2</sup>	Gewicht ca. Gramm	Preis RM
T 10413 E	25	2,8	4	<b>24.—</b>
T 10412 E	45	9,7	11	<b>32.—</b>

Für Photo-Elemente in Spezial-Ausführung nach Angaben wolle man Spezialofferte einholen.

Selen-Photoelemente  
Selen-Trocken-  
Gleichrichter  
Elektrolyt-Kondensatoren

der **S.A.F.**

zeichnen sich aus durch  
**überragende Qualität!**

**S.A.F.** SÜDDEUTSCHE APPARATE-FABRIK <sup>GM</sup><sub>BH</sub>  
NÜRNBERG 2 Schließfach 282 + Fernsprecher Nr. 42381