

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 56 (1965)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Dreischicht-Photodioden  
**Autor:** Bosse, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916350>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

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

# BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)  
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

## Dreischicht-Photodioden

Von H. Bosse, Hannover

621.383.521

### 1. Effekt

Dreischicht-Photodioden sind lichtempfindliche Elemente, deren elektrischer Widerstand sich mit der Ortsänderung des Lichtpunktes ändert.

Der Photoeffekt kommt dadurch zustande, dass im Halbleiter zwei gegenpolige Schichten aneinander grenzen. Diese Schichten werden durch Diffundieren von 3- oder 5-wertigen Atomen erzielt. Der Übergang der P- in die N-Schicht bildet die Voraussetzung für den Effekt. Die einfallenden Photonen wirken auf beide Seiten des Übergangs ein. Sie erregen die Elektron-Loch-Paare, die auseinanderstreben und den elektrischen Strom bilden.

### 2. Aufbau und Wirkungsweise

Die bekannten Photodioden haben eine Anordnung aus zwei Schichten. Bei Anordnungen mit drei Schichten ist eine Schichtenfolge N-P-N oder P-N-P möglich. In beiden Fällen gelangt man zu dem gleichen photoelektrischen Effekt, jedoch jeweils mit verschiedenen Vorzeichen. Hingegen ist das Verhalten eines solchen Elementes abhängig von der Breite der mittleren Schicht.

#### 2.1 Breite Mittelschicht<sup>1)</sup>

Das Halbleiterplättchen mit breiter Mittelschicht ist in Fig. 1 dargestellt.

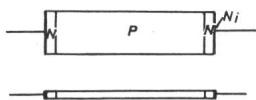


Fig. 1  
Halbleiterplättchen mit breiter Mittelschicht  
Auf- und Seitenansicht

Das Ausgangsmaterial ist hier monokristallines, hochohmiges P-Material. Das Siliziumplättchen hat eine Länge von ca. 5 mm und eine Breite von ca. 1,5 mm; die Dicke beträgt 300  $\mu\text{m}$ . Die P-Schicht wird beiderseits von einer N-Schicht begrenzt, die eine Eindringtiefe von 60  $\mu\text{m}$  hat.

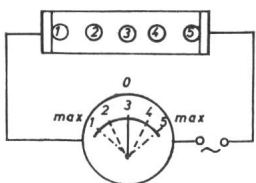


Fig. 2  
Die Abhängigkeit des Photostroms vom Ort des Lichtpunktes wird durch die entsprechenden Zahlen auf dem Halbleiterplättchen und dem Instrument dargestellt.

<sup>1)</sup> Siehe auch W. Gebert: Die Photowechseldiode — ein neues Halbleiterelement. Bull. SEV 54(1963)18, S. 761...762.

Am äusseren Ende der P-Schicht befinden sich die Elektroden, auf die die Anschlussdrähte gelötet sind.

Lässt man einen Lichtpunkt über das in Fig. 2 dargestellte Halbleiterplättchen wandern, kommt man zu folgendem Ergebnis:

#### Phase 1

Der Lichtpunkt befindet sich am linken Übergang von P zu N. Der Übergang wird leitend, während der rechte Teil sperrt. Bei angelegtem Wechselstrom wird nur eine Halbwelle durchgelassen. Der Photostrom erreicht hier sein Maximum.

#### Phase 2

Der Lichtpunkt befindet sich zwischen dem Mittelpunkt und der linken Elektrode. Der Strom an dieser Stelle ist gering, weil der Abstand zur linken N-Schicht gross ist. Der Photostrom ist entsprechend klein.

#### Phase 3

Der Lichtpunkt befindet sich genau in der Mitte des Halbleiterplättchens. Das bedeutet, dass die Photonen gleichmässig auf beide Übergänge einwirken. Dadurch fliesst in beiden Richtungen ein Strom, der sich aufhebt.

#### Phase 4

In dieser Phase befindet sich der Lichtpunkt zwischen dem Mittelpunkt und der rechten Elektrode. Der Strom ist wie bei Phase 2 gering.

#### Phase 5

Diese Phase entspricht umgekehrt der Phase 1, weil durch die Belichtung des rechten Übergangs der linke Teil sperrt. Dadurch wird die andere Halbwelle durchgelassen, und der Strom fliesst in der anderen Richtung.

Aus den einzelnen Phasen ergibt sich folgendes Gesamtbild: An den P-N-Übergängen ist der Strom am grössten. Zur Mitte hin wird der Strom geringer und in der Mitte des Halbleiterplättchens fliesst kein Strom mehr. Wandert der Lichtpunkt über die Mitte hinweg, dann ändert sich die Stromrichtung (Fig. 3).

Am linken Übergang hat der Strom seinen Maximalwert von +3 mA, gegen die Mitte fällt er, in der Mitte ist er Null. Wandert der Lichtpunkt nach rechts, dann hat er einen negativen, zunehmenden Wert, der sein Maximum mit -3 mA am rechten Übergang erreicht. Der Photostrom ist von der Lichtstärke und vom Ort des Lichtpunktes linear abhängig.

#### 2.2 Schmale Mittelschicht

Der Aufbau des Elementes mit der schmalen Mittelschicht lässt sich wie folgt vornehmen (Fig. 4): Als Ausgangsmaterial dient monokristallines, N-leitendes Silizium. Das Siliziumplättchen hat eine Länge von ca. 12 mm, eine Breite von 6 mm und eine Dicke von 300  $\mu\text{m}$ . Die Oberfläche wird

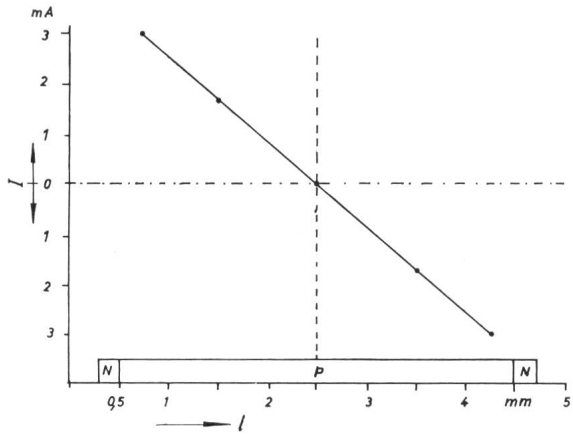


Fig. 3

Charakteristik des Halbleiterplättchens mit breiter Mittelschicht  
I Photostrom in mA; l Länge des Plättchens

durch einen  $\text{SiO}_2$ -Streifen mit einer Breite von ca. 1 mm in zwei gleiche Quadrate geteilt. Dieser Streifen ist mit Hilfe der Photoresisttechnik aufgebracht. Unter dem Oxydstreifen, der nur eine Dicke von  $0,5 \mu\text{m}$  hat, befindet sich das Ausgangsmaterial. Die beiden Quadrate sind bis zu einer Eindringtiefe von  $30 \mu\text{m}$  P-leitend. Auf den P-leitenden Flächen oder an der entsprechenden Stelle auf der N-Unterseite sind die Elektroden aufgebracht.

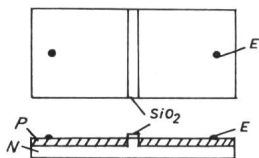


Fig. 4  
Aufbau eines Elementes mit schmaler Mittelschicht  
 $\text{SiO}_2$  Oxydschicht von  $0,5 \mu\text{m}$  Dicke;  
E Elektrode

Verfolgt man einen Lichtpunkt, der über das in Fig. 5 dargestellte P-N-P-Element wandert, dann ergibt sich folgendes:

Phase 1

Der Lichtpunkt befindet sich auf dem P-Gebiet nahe der linken Elektrode. Der Abstand zum N-Mittelstreifen ist gross. Der Strom hat sich gegenüber Phase 2 nur wenig erhöht.

Phase 2

Der Lichtpunkt überdeckt links die Grenze des P-Gebietes; Es fliesst ein Strom von einigen zehn  $\mu\text{A}$ .

Phase 3

Hier wird die P-Schicht nahe der rechten Elektrode beleuchtet. Der Photostrom ist so gross wie in Phase 2 und hat die umgekehrte Richtung.

Phase 4

Der Lichtpunkt überdeckt auf der rechten Seite den Übergang des P-Gebietes zum N-Mittelstreifen (wie in Phase 1), jedoch mit umgekehrter Richtung.

Phase 5

In diesem Fall wird entweder nur der N-Mittelstreifen oder dazu beide Übergänge beleuchtet. Die durch die Belichtung in Bewegung gesetzten Elektronen und Löcher wandern in Richtung beider Elektroden und heben sich gegenseitig auf. Sperrt jedoch

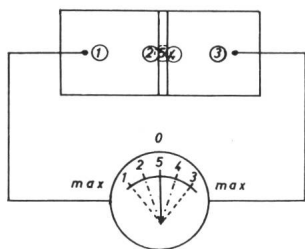


Fig. 5  
Die Abhängigkeit des Photostroms vom Ort des Lichtpunktes wird durch die entsprechenden Zahlen auf dem Element und dem Instrument dargestellt

der eine Übergang mehr als der andere, dann ist das Gleichgewicht aufgehoben und es fliesst ein Strom von einigen  $\mu\text{A}$  in einer Richtung. Legt man eine Spannung von  $\pm 2 \text{ V}$  an die Elektroden des Elementes an, dann erhöht sich der Minimalstrom. Wird die Spannung grösser als  $\pm 2 \text{ V}$ , dann wächst der Minimalstrom so stark an, dass die Polarität nicht mehr wechselt. Der Maximalstrom, der ohne angelegte Spannung  $20 \mu\text{A}$  beträgt, steigt bei einer angelegten Spannung von  $2 \text{ V}$  auf  $40 \mu\text{A}$  an.

Fasst man die einzelnen Phasen zusammen, so ergibt sich folgendes Gesamtbild:

Wenn der Lichtpunkt von einem P-Feld zum anderen wandert, wird die Stromrichtung gewechselt. Die Zunahme des Stromes ist in der Nähe des Überganges am stärksten.

Der durch den Lichtfleck erzielte Photostrom ist in Fig. 6 in Abhängigkeit von der Lage dargestellt. Die maximale Stromzunahme liegt dicht an dem N-Mittelstreifen und ist dadurch bedingt, dass der Lichtfleck den einen oder anderen Übergang bedeckt. Die beiden Werte sind gleich gross und unterscheiden sich nur in der Stromrichtung. Zwischen beiden läuft die Kurve durch den Nullpunkt. Dies tritt ein, wenn beide Übergänge gleichmässig beleuchtet sind. Gegen die Elektroden nimmt der Strom nur noch wenig zu.

Eine genaue Analyse des Elementes mit der schmalen Mittelschicht ergibt folgendes:

Das auftreffende Licht wirkt sich durch die etwa  $30 \mu\text{m}$  dicke P-Schicht auf den darunterliegenden P-N-Übergang

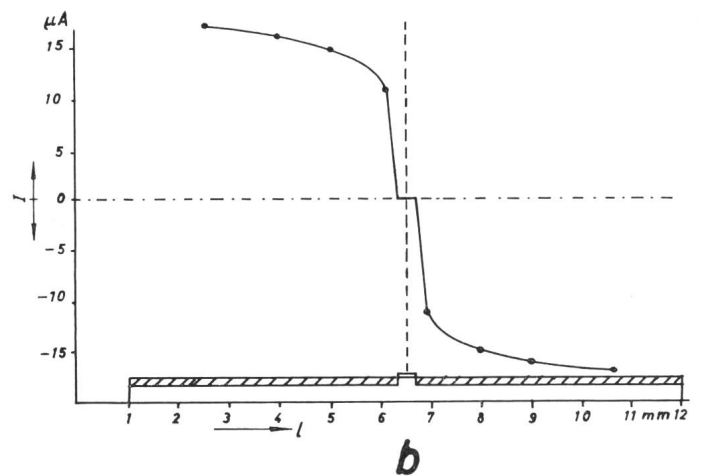
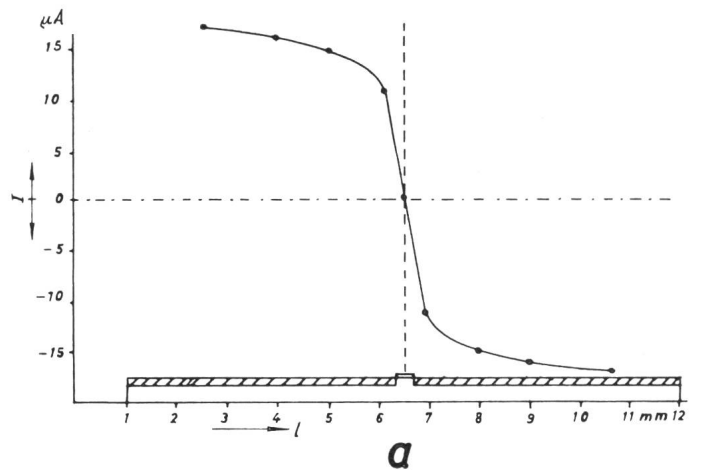


Fig. 6

Charakteristik des Elementes mit schmaler Mittelschicht  
a der Lichtpunkt ist so breit wie die Mittelschicht  
b der Lichtpunkt ist kleiner als die Mittelschicht

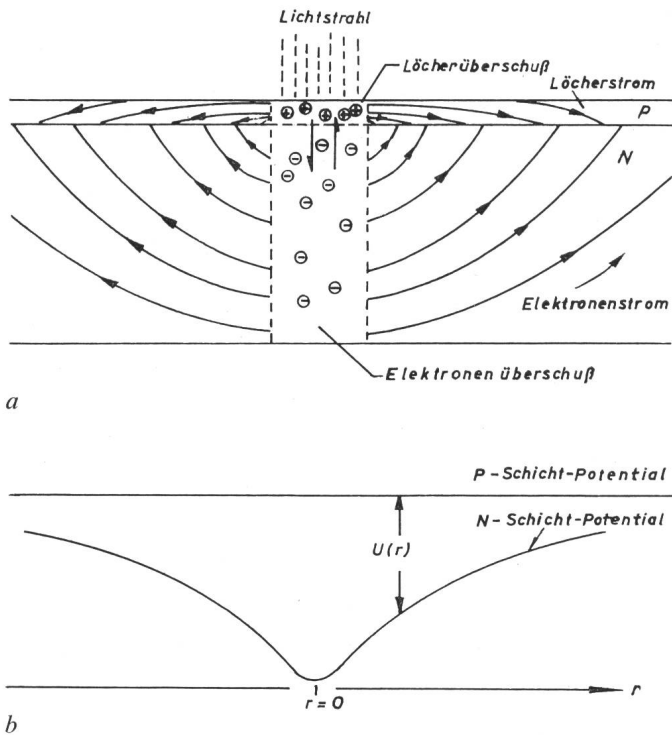


Fig. 7

**Auswirkung des Lichteinfalls bei einem P-N-Element**

a Querschnitt des Elementes; die Pfeile geben die Stromrichtung an; b Charakteristik des Elementes;  $U$  Spannung in Abhängigkeit vom Ort  $r$  des Lichtpunktes

aus und erzeugt an dieser Stelle einen Photostrom. Dieser besteht im P-Gebiet aus einem Strom von Löchern und im N-Gebiet aus einem Strom von Elektronen. Zwischen beiden besteht bei der Belichtung ein Potential, das bei  $r = 0$  seinen grössten Wert hat und nach beiden Seiten abfällt (Fig. 7).

Der Photostrom ist eine Funktion des am jeweiligen Ort herrschenden Potentials. Wenn die P-Schicht an den Punkten 2 und 4 (Fig. 5) beleuchtet wird, dann ergibt sich eine photoelektrische Anordnung, die sich wenig von der bekannten P-N-Anordnung unterscheidet<sup>2)</sup>. Trifft der Lichtpunkt dort auf (Fig. 8), wo die P-Schicht durch einen N-leitenden Streifen unterbrochen ist, dann ändert sich die Charakteristik, weil zu dem horizontalen auch noch der vertikale Übergang hinzukommt. Durch beide Übergänge geraten mehr Elektronen

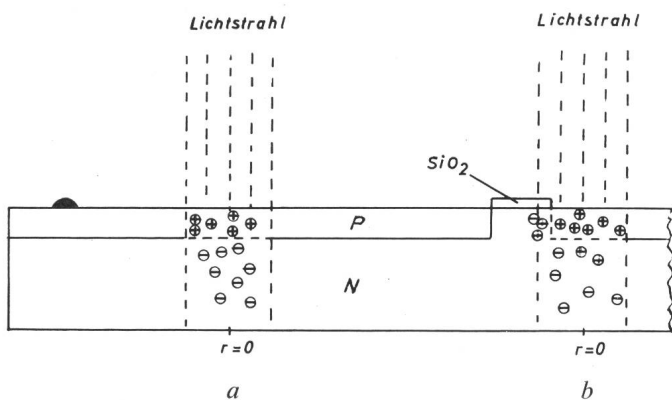


Fig. 8

**Lichteinfall an zwei verschiedenen Punkten des P-N-P-Elementes**

a an einem horizontalen P-N-Übergang  
b am horizontal- und vertikalen Übergang

<sup>2)</sup> J. S. Winslow, D. P. Foote, L. W. Elmore: Radiation Tracking Transducer, Electro-Optical Systems, Inc, Pasaneda, California.

und Löcher in Bewegung, und der Photostrom steigt steil an. Ist der Lichtpunkt aus dem Einflussbereich des Überganges heraus, dann steigt der Strom nur noch schwach an und hat denselben Endwert wie das Element, bei dem die P-Schicht nicht unterbrochen ist (Fig. 9).

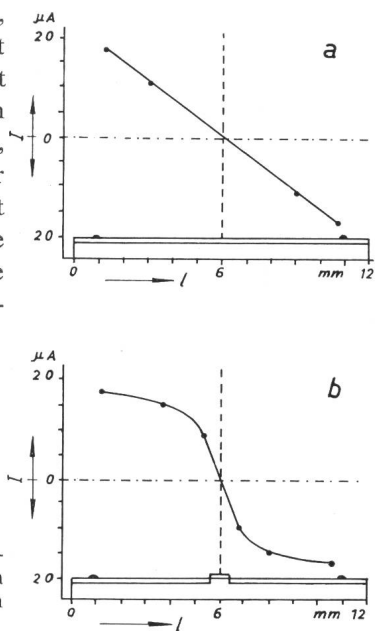


Fig. 9

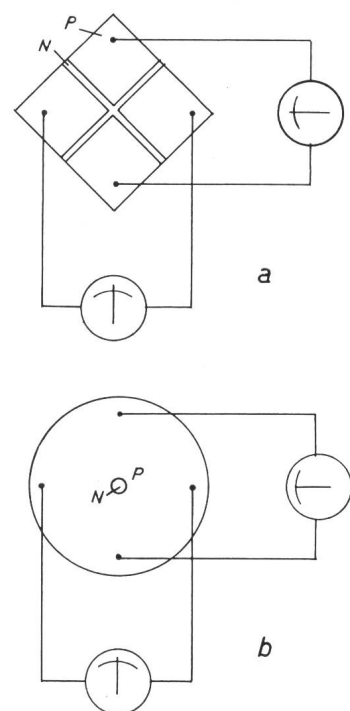
**Die Charakteristik des PNP-Elementes (b)**

hat im Unterschied zum bekannten PN-Element (a) im wichtigen Zentralgebiet einen steilen Stromanstieg

**3. Zweidimensionale Elemente**

Die eindimensionalen Elemente lassen sich durch zweidimensionale ergänzen. Ein P-N-P-Element mit schmaler Mittelschicht hat in der zweidimensionalen Ausführung die Form eines Quadrates mit einer Kantenlänge von ca. 12 mm (Fig. 10a). Dieses Quadrat ist durch einen SiO<sub>2</sub>-Streifen in vier kleinere Quadrate aufgeteilt. Die Quadrate sind P-leitend. Unter der SiO<sub>2</sub>-Schicht befindet sich das N-leitende Ausgangsmaterial und auf den vier Quadraten die Elektroden. An Stelle der Streifen kann man auch eine N-leitende zentrale Kreisfläche nehmen, die einen geringen Durchmesser hat (Fig. 10b). Die Messung erfolgt bei beiden Elementen an den gegenüberliegenden Elektroden.

Halbleiterplättchen mit breiter Mittelschicht lassen sich ebenfalls durch eine zweidimensionale Ausführung erweitern. Das Plättchen hat quadratische Form und eine Kantenlänge von 5 mm. Es hat vier getrennte N-Zonen, die um die grosse P-Zone angeordnet sind. An den äusseren Flächen der N-Zonen befinden sich die vier Elektroden. Die Messung erfolgt parallel zu den Kanten.



**4. Typen**

Die Photohalbleiter mit der breiten Mittelschicht werden als Photowechseldioden bezeichnet. Auf dem Markt sind zwei

Fig. 10

**Zweidimensionale Elemente**

a mit N-Balken  
b mit N-Punkt

Typen erhältlich: eindimensional arbeitende und zweidimensional arbeitende.

Elektrische Daten beider Typen:

Vorspannung, maximal . . . . . 50 V  
 Elektrische Leistung, maximal . . . . . 250 mW  
 Dunkelstrom bei 50 V . . . . . ca. 1  $\mu$ A  
 Empfindlichkeit bei 10 V . . . . . ca. 20  $\mu$ A/mWcm<sup>2</sup>  
 Arbeitstemperatur, maximal . . . . . 150 °C

Die Elemente mit der schmalen Mittelschicht werden als Radialphotoelemente bezeichnet.

Elektrische Daten beider Typen:

Photostrom, maximal . . . . . 20  $\mu$ A  
 Arbeitstemperatur, maximal . . . . . 100 °C

Es besteht die Möglichkeit, dass man an ein solches Element, das mit der selbsterzeugten Spannung arbeitet, eine Zusatzspannung von 2 V Wechselstrom legt. Dann steigt der maximale Photostrom auf 50  $\mu$ A an.

Adresse des Autors:

H. Bosse, Ingenieur, c/o Dr. Ing. R. Rost, Kristalloden, Ubbenstrasse 21, D-3 Hannover 1.

## Die Pumpe-Turbine als Weiterentwicklung der Speicherpumpe

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 11. November 1964 in Zürich, von D. Florjančič, Winterthur

621.224.6

Die Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Energieerzeugung verlangt aus wirtschaftlichen Gründen immer grössere Leistungseinheiten. Diese werden als klassische, hydraulische und thermische Kraftwerke erstellt und neuerdings auch als Atomkraftwerke. Damit der Anlagen-Wirkungsgrad in Bezug auf Energieausnutzung und Kapitalamortisation hoch wird, ist man bestrebt, die Laufzeit dieser Grundlastanlagen pro Jahr möglichst hoch zu halten. Andererseits eignen sie sich weniger zur Leistungsregelung, da dies mit einer Wirkungsgradeinbusse und Lebensdauerverkürzung verbunden ist. Damit die Energieschwankungen aufgefangen werden können, müssen mehr Spitzenkraftwerke gebaut werden. Eine Möglichkeit, Spitzenenergie rasch zu produzieren, bieten die Speicherkraftwerke. Ihre Einheiten müssen aber aus den erwähnten Gründen ebenfalls grössere Leistungen aufweisen, da in modernen Netzen hochindustrialisierter Länder immer mehr ausgeprägte Energiespitzen auftreten. Im weiteren sollen die hydroelektrischen Kraftwerke bei eventuellem Ausfall der Grundlastwerke in der Lage sein, kurzfristig auch die Grundlastproduktion sicherzustellen.

Aus Fig. 1 ist ersichtlich, wie die Leistungen einzelner Pumpeneinheiten in den letzten 10 Jahren stetig gestiegen sind. Damit ist man jedoch zu Maschinendimensionen gekommen, die aus konstruktiven Gründen immer schwieriger

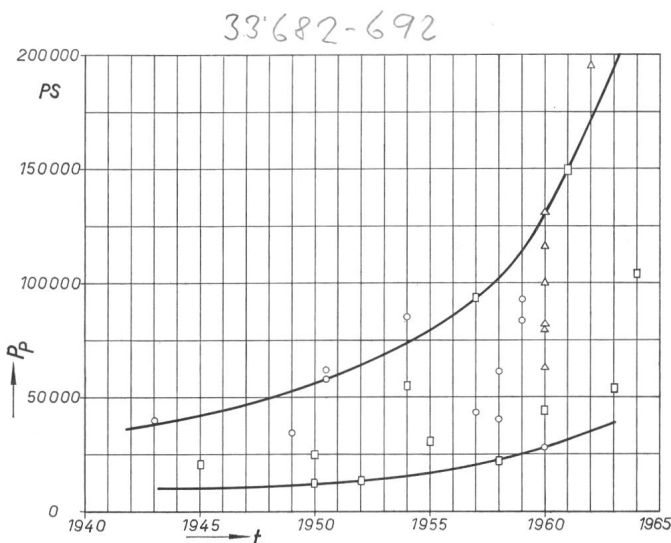


Fig. 1

Leistungen einzelner Pumpeneinheiten in Funktion der Zeit  
 □ Ausführung A; ○ Ausführung B; △ Projekt  
 $P_P$  Leistung pro Pumpe;  $t$  Zeit

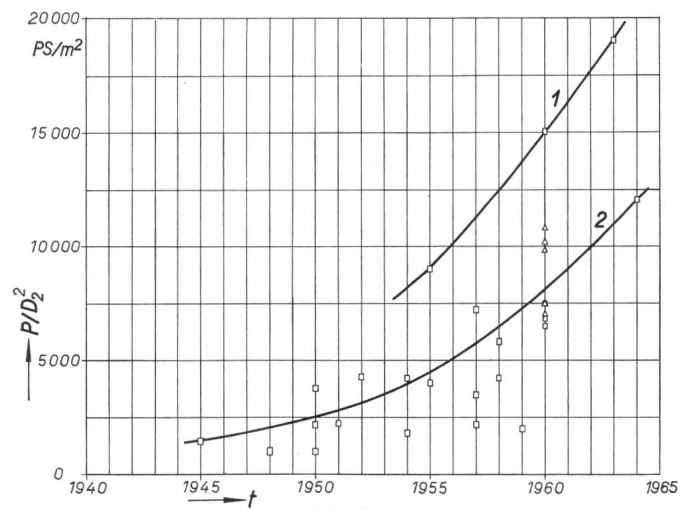


Fig. 2

Leistungssteigerung infolge erhöhter spezifischer Drehzahlen

□ Ausführung A; △ Projekt  
 1 hohe Drehzahl; 2 niedrige Drehzahl  
 $P$  Maschinenleistung;  $D_2$  Laufradaussendurchmesser;  $t$  Zeit

auszuführen sind und in der Herstellung relativ teuer werden. Die grossen Abmessungen der Speicherpumpen sind bedingt durch die verhältnismässig tiefen Drehzahlen der Turbinen (insbesondere Pelton-turbinen) einerseits und andererseits vielfach durch die kleine Zulaufhöhen, welche durch den niedrigen Gegendruck der Francisturbinen gegeben sind. Dies verlangt in den meisten Fällen eine mehrstufige, ein- oder sogar doppelflutige Pumpe. Um ihre Dimensionen kleiner zu halten, ist man bestrebt, in das Gebiet der schnelllaufenden Maschinen vorzustossen. Bei gleichbleibender Grösse kann damit eine wesentliche Leistungssteigerung erreicht werden. Aus Fig. 2 ist die Leistungssteigerung infolge erhöhter spezifischer Drehzahlen im Laufe der letzten Jahre dargestellt. Diese Erhöhung war aus bautechnischen Gründen aber nur möglich, weil parallel zur hydraulischen Entwicklung der Laufräder eine Verbesserung der Saugfähigkeit erzielt wurde. Untersuchungen der Laufradeintrittsgestaltung und direkte Beobachtungen der Kavitation ermöglichten die Beherrschung der Kavitation bzw. Kavitationsschäden. Die Vertiefung der Kenntnisse über die Pumpe-Kavitation erlaubte auch weiter an die Grenze des Kavitationsbeginnes zu gehen und sogar eine örtliche Kavitation in Kauf zu nehmen, was übrigens im Turbinenbau schon längst üblich ist. Dadurch steigen zwar die Unterhaltungskosten infolge Instandsetzung