

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 36 (1945)
Heft: 9

Artikel: Ein neues Steuergerät für Mutatoren
Autor: Spälti, Alfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060218>

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: 18.01.2026

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

Der Kanton Nidwalden ist unseres Wissens der einzige Kanton, der ein besonderes Gesetz über die Ausfuhr elektrischer Energie erlassen hat.

5

Beschränkungen des freien Energieverkehrs auf Grund der kantonalen *Gewässerhoheit* können gleichfalls gestützt auf Art. 9 und 49 WRG bekämpft werden. Es steht den Kantonen zwar frei, in den Wasserrechtsverleihungen Vorschriften über die Verwendung der zu erzeugenden Energie und damit auch über die Ausfuhr aufzustellen. Diese Befugnis ist in Art. 55 a WRG noch ausdrücklich erwähnt. In verschiedenen Kantonen bestehen darüber auch gesetzliche Vorschriften³⁾. Alle diese Bestimmungen sind durch Art. 9 WRG auf Massnahmen im öffentlichen Interesse beschränkt worden. Zudem darf gemäss WRG Art. 49, Abs. 5, keine fiskalische Sonderbelastung für Exportstrom auferlegt werden.

6

Die Leitungen, welche für die Verteilung elektrischer Energie erforderlich sind, beanspruchen fast ausnahmslos öffentlichen Grund und Boden (Strassen, Plätze, Wasserläufe usw.). Unter Beanspruchung versteht man in solchen Fällen nicht nur das Anbringen von Anlagen z. B. auf dem Strassenkörper selbst (Kabel, Leitungsstangen usw.), sondern auch das Spannen von Leitungen durch den Luftraum über dem öffentlichen Boden. Das Recht für solche Benützungen muss vom Inhaber der Strassenhoheit erteilt werden, wobei für deren Rechtsform die kantonalen Vorschriften maßgebend sind.

Meist wird es sich um richtige Verleihungen handeln⁴⁾. In den Strassenbenützungskonzessionen

³⁾ Z. B. Obwalden, Gesetz über Wasserbaupolizei vom 9. April 1877, Art. 46, Abs. 5 und 6; St. Gallen, Gesetz betreffend die Konzessionierung von Wasserkräften vom 27. Mai 1898, Art. 10, Abs. 3.

⁴⁾ Siehe über diese Durchleitungsrechte die Aufsätze in Wasser- und Energiewirtschaft 1943, Nr. 10/11, S. 120, und Nr. 12, S. 143.

kann der Verleiher auch Vorschriften über die Ausfuhr elektrischer Energie in andere Kantone aufnehmen, z. B. eine Bestimmung, dass die bewilligte Leitung nicht oder nur in beschränktem Umfange für den Export benutzt werden dürfe. Gegen derartige Einschränkungen der Freizügigkeit stehen — abgesehen von der staatsrechtlichen Beschwerde — zwei Rechtsmittel zur Verfügung:

a) Zunächst kann der Art. 9 WRG angerufen werden. Er ist auch dann anwendbar, wenn der Kanton die Ableitung von elektrischer Energie in einen andern Kanton kraft seiner Strassenhoheit zu beschränken versucht. Dies wäre nur im öffentlichen Interesse zulässig, wie es im erwähnten Entscheid des Bundesrates vom 20. Oktober 1944 umschrieben wurde.

b) Die Rechte auf unbeschränkte Durchleitung elektrischer Energie können sodann auf dem Enteignungswege erworben werden. Nach Art. 42 ff des Elektrizitätsgesetzes kann der Bundesrat den Eigentümern von Starkstromanlagen und den Bezugern elektrischer Energie das Recht der Expropriation einräumen. In Art. 46, Abs. 2, desselben Gesetzes wird noch ausdrücklich gesagt, dass auch gegenüber dem öffentlichen Eigentum eines Kantons das Mitbenützungsrecht auf dem Expropriationswege eingeräumt werden kann.

Welches dieser beiden Rechtsmittel im konkreten Falle leichter zum Ziele führt, soll hier nicht näher erörtert werden. Der Bundesrat hat unlängst in einem konkreten Fall dem Expropriationsverfahren den Vortritt gelassen. Das hat allerdings den Nachteil, dass eine recht zeitraubende und umständliche Prozedur durchgeführt werden muss. Die Freizügigkeit im Energieverkehr wäre in Frage gestellt, wenn im einzelnen Fall das langwierige Expropriationsverfahren platzgreifen müsste. Jedenfalls steht soviel fest, dass die oberste Landesbehörde den Versuchen, der Freizügigkeit im Energieverkehr Schranken aufzuerlegen, mit aller Entschiedenheit entgegengetreten ist.

Adresse des Autors:

Dr. jur. Benno Wettstein, Rechtsanwalt, Talstrasse 11, Zürich.

Ein neues Steuergerät für Mutatoren

Von Alfred Spälti, Zürich

621.314.652

Es handelt sich um ein Steuergerät für Mutatoren, das auf dem Prinzip der Spannungsverzerrung durch Uebersteuerung von Elektronenröhren beruht. Einleitend werden die Steuerspannungsverhältnisse beim Wechselrichter, für welchen das Steuergerät gebaut wurde, dargestellt. Anschliessend an einen kurzen Hinweis auf die bisherigen Steuermethoden folgt eine Beschreibung des Aufbaues und der Wirkungsweise des neuen Steuergerätes.

1. Bedingungen für die Steuerspannung

Beim ungesteuerten Quecksilberdampf-Mutator beginnt die Zündung einer Anode in dem Moment, wo sie eine positive Spannung gegenüber der Kathode erreicht hat, die grösser als die Zündspannung ist. Will man die Gleichspannung eines Gleichrichters bei konstanter Wechselspeisespannung

Il s'agit d'un appareil de commande de mutateurs, basé sur le principe de la distorsion de la tension par réglage de tubes électroniques. L'auteur étudie tout d'abord les conditions qui régissent la tension de commande dans le cas des onduleurs pour lesquels l'appareil de commande a été construit. Après un bref aperçu des méthodes de commande appliquées jusqu'ici, il procède ensuite à la description de ce nouvel appareil et de son fonctionnement.

variieren, so kann man das durch Verzögerung des Zündeneinsatzes durch negativ gegen die Kathode vorgespannte Gitter erreichen.

Beim Wechselrichterbetrieb eines Mutators werden an die Gittersteuerung bedeutend höhere Anforderungen gestellt als beim Gleichrichterbetrieb, denn in diesem Betriebsfall ist die Anodenspannung

(Spannung Anode-Kathode) fast während der ganzen Dauer einer Periode positiv, wenn auch mit schwankendem Werte. Die Anode darf aber nur

während der Zeit $\frac{1}{f \cdot m}$ (f Frequenz, m Phasenzahl) brennen; während der ganzen übrigen Zeit muss die Lichtbogenbildung durch ein negativ vorgespanntes Gitter verhindert werden. Den Verlauf der Spannungen in einem 6-phasigen selbstgeführten Wechselrichter, dessen Schaltung Fig. 1 entspreche, zeigt Fig. 2. Der Einfachheit halber wurde ein sin-förmiger Spannungsverlauf angenommen, jedoch gelten die Folgerungen, die aus dieser Figur abgeleitet werden, für beliebige Spannungskurven.

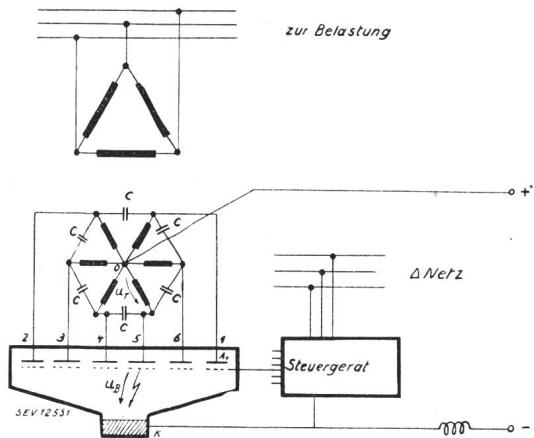


Fig. 1.
6-phaser, selbstgeführter, fremdgesteuerter Wechselrichter

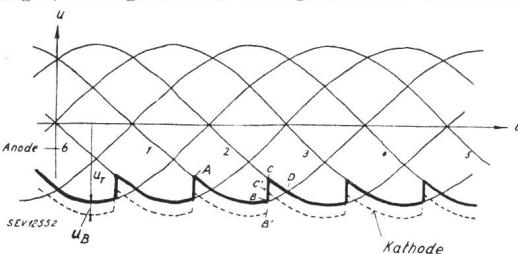


Fig. 2.
Spannungsverlauf beim 6-phasigen Wechselrichter
(Spannungen vom Transformatortestpunkt aus gerechnet)

Erklärung zu Fig. 2: Das Potential des Transformatortestpunktes werde gleich null gesetzt. Da die Lichtbogenspannung praktisch konstant ist, so ist die Spannung u_{OK} von der Kathode zum Transformatortestpunkt stets die Summe von Lichtbogenspannung u_B plus Spannung an der Transformatorkwicklung u_T der brennenden Anode. Diese Kathodenspannung ist in Fig. 2 gestrichelt eingezeichnet. Anode 1 brennt von Punkt $A \rightarrow B$. Da sämtliche übrigen Anoden in dieser Zeit eine positive Spannung gegenüber der Kathode besitzen, müssen die Gitter vor diesen Anoden den Zündeneinsatz verhindern, also negativ sein. Im Punkt B erhält das Gitter vor Anode 2 eine positive Spannung, so dass ein Anodenstrom von Anode 2 zur Kathode einsetzen kann. Da aber Anode 2 eine grössere positive Spannung gegenüber der Kathode hat als Anode 1, so entlädt sich über den Kreis Anode 2 - Kathode-Anode 1 - Kondensator C - Anode 2 der vorher von $2 \rightarrow 1$ aufgeladen gewesene Kondensator C und es entsteht so ein Strom, der dem Anoden-

strom 1 entgegengesetzt gerichtet ist und deshalb diese Entladungsstrecke löscht. Beim Löschen von Anode 1 springt die Kathode auf das Potential C' . Fig. 2 zeigt nun, dass Anode 1 im Punkt D schon wieder eine Spannung erreicht hat, die grösser als die Zündspannung ist. In diesem Zeitpunkt muss also das Gitter vor Anode 1 den Anodenstrom durch schnelle Annahme eines negativen Potentials schon wieder sperren. Die Zeit von $B \rightarrow D$ muss demnach grösser sein als die Entionisierungszeit der Strecke Anode 1 - Kathode. Da die Brenndauer einer Anode $t = \frac{1}{f \cdot m}$ ist, kann man folgenden wichtigen Schluss ziehen:

Die Zeit, während der ein Gitter eine Spannung besitzt, die den Anodenstrom nicht sperrt, muss sein: $t \leq \frac{1}{f \cdot m}$.

Aus folgender Ueberlegung folgt noch eine zweite wichtige Bedingung für die Steuerspannung:

Es ist zu beachten, dass die Zündkennlinie, welche die Gitterspannung in Funktion der Anodenspannung beim Zündeneinsatz darstellt, nicht eindeutig definiert ist. Abgesehen von der Anodenspannung ist die Grösse der zündenden Gitterspannung noch abhängig von der Temperatur und dem Druck im Stromrichtergefäß. Ebenso wird sie beeinflusst durch Brennen oder Nichtbrennen der Nebenanoden. Je nachdem, ob mehr oder weniger Elektronen von der brennenden Nebenanode in die zu zündende Entladungsstrecke wandern, wächst oder sinkt die kritische Gitterspannung. Das hat zur Folge, dass der Zündeneinsatz bei einem relativ langsamen Ansteigen der Gitterspannung nicht eindeutig definiert ist. In der Praxis ist aber aus folgenden Gründen ein möglichst exakter Zündeneinsatz erwünscht:

Beim Gleichstrom-Wechselstrom-Mutator ist die Zeit, während der die soeben gelöschte Anode infolge ihrer negativen Spannung gegenüber der

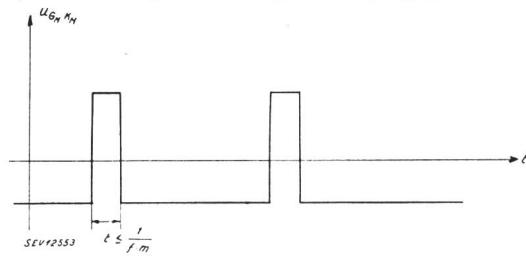


Fig. 3.
Idealer Steuerspannungsverlauf für Mutatoren

Kathode nicht zünden kann, an und für sich sehr klein (vergl. Fig. 2). Ein zu später Zündeneinsatz der zu zündenden Anode könnte zu einem dauernden Brennen der Anode führen (sog. Durchzünden), was für die Gleichspannungsquelle einen Kurzschluss bedeutet. Beim Parallelbetrieb von mehreren gesteuerten Gleichrichtern, die von demselben Transformatortestpunkt gespiesen werden, würde durch ungleichen Zündeneinsatz der verschiedenen Gleichrichtergefäß die Last ungleich verteilt.

Ein idealer Steuerspannungsverlauf wäre der in Fig. 3 angegebene.

2. Bisherige Steuermethoden

Es lag zunächst nahe, zur Erzeugung der Steuerspannung eine dauernd umlaufende Kontaktwalze zu benutzen, die mittels eines Synchronmotors angetrieben wird. Dieses System hat sich aber in der Praxis nicht bewährt, denn durch die betriebsmässige Verschmutzung der Kontaktwalze entstandene fehlerhaften Steuerimpulse, die zum Durchzünden des Wechselrichters führten. Es werden heute deshalb ausschliesslich statische Steuermethoden verwendet. Als solche sind bis heute Apparaturen im Gebrauch, die die erforderliche Steuerspannung mittels Thyatronröhren, Trocken-gleichrichtern oder hochgesättigten Drosselpulsen erzeugen¹⁾. Bei kleinen Mutatorleistungen fällt aber der Nachteil ins Gewicht, dass diese Apparaturen verhältnismässig viel Leistung verbrauchen und ihre Herstellung ziemlich teuer ist.

3. Steuergerät mit Elektronenröhren

Diese Apparatur benötigt im wesentlichen einen Steuertransformator beliebiger kleiner Leistung und

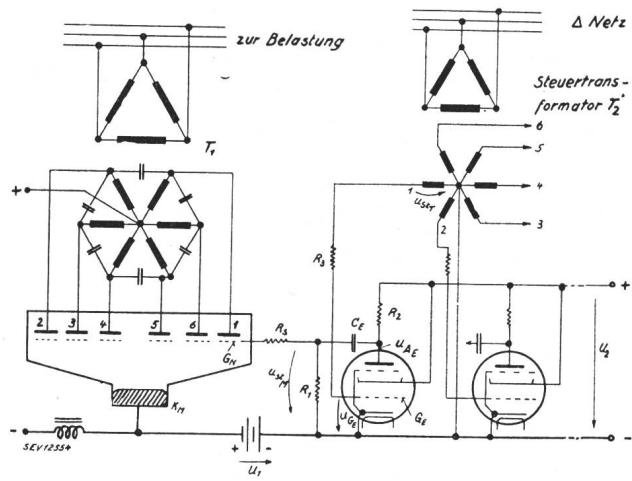


Fig. 4.
Steuergerät mit Elektronenröhren
(Nur für eine Phase vollständig gezeichnet)

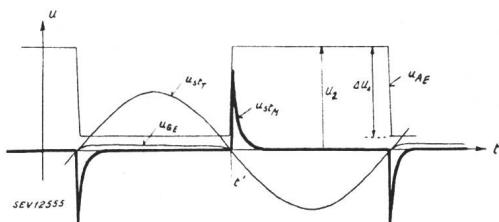


Fig. 5.

Verlauf der Spannungen im Elektronenröhren-Steuergerät
(Spannungen auf das Potential der Elektronenröhrenkathode
bezogen)

eine Gleichspannungsquelle zur Speisung der Elektronenröhren. Als solche wurden handelsübliche Radio-Endpentoden verwendet. Die Wirkungsweise der Schaltung (Fig. 4) sei an Hand von Fig. 5 erläutert. Sie stellt den Verlauf der Spannung u_{stT} des Steuertransformators T_2 , sowie die Spannung am Gitter der Elektronenröhre u_{GE} und an der Anode u_{AE} dar. (Es wird nur die Phase I betrachtet;

¹⁾ AEG-Mitt. März 1934, Brown Boveri Mitt. Mai/Juni 1938.

die übrigen Phasen sind genau gleich aufgebaut.) (Der Index E bezieht sich auf Elektronenröhren, M auf Mutator, T auf Transformator.)

Die Elektronenröhre wird durch das Gitter G_E vom Steuertransformator T_2 über einen hochohmigen Widerstand R_3 mit einer Wechselspannung u_{stT} ausgesteuert. Ist diese Spannung positiv, so setzt ein Gitterstrom ein, der während der ganzen Halbperiode der Wechselspannung das Gitter G_E praktisch auf einem konstanten, schwach positiven Potential hält. Während der negativen Halbperiode fliesst jedoch kein Gitterstrom und das Gitter erhält die volle Wechselspannung (Kurve u_{GE}). Bei positivem Gitter fliesst ein relativ grosser Anodenstrom. Dieser erzeugt im Widerstand R_2 einen Spannungsabfall:

$$\Delta U_{AE} = I_{AE} \cdot R_2$$

Bei kleiner negativer Gitterspannung u_{GE} ist der Anodenstrom i_{AE} null geworden. Wählt man die Spannung des Steuertransformators entsprechend hoch, so wird der Anodenstrom i_{AE} in sehr kurzer Zeit null und die Anode der Elektronenröhre springt auf das Potential der Gleichspannungsquelle U_2 . Der Verlauf der Anodenspannung entspricht also der Kurve u_{AE} . Diese rechteckförmige Spannung wird über einen Kondensator C_E angekoppelt. Der gitterseitige (Gitter des Mutators) Belag des Kondensators folgt dem Spannungssprung der Anode. Nach dem Spannungssprung lädt sich der Kondensator über die Widerstände R_1 und R_2 auf, so dass die Steuerspannung u_{stM} rasch wieder auf null fällt (Kurve u_{stM}). Dieser Steuerspannung wird eine Gleichspannung U_1 (s. Fig. 4) überlagert, d. h. das Kathodenpotential der Steuerröhren ist negativer als die Kathode des Hauptentladungsgefäßes, folglich ist die Steuerspannung u_{stM} bezogen auf die Mutatorkathode fast während der ganzen Periode negativ und verhindert damit den Zünden bis zu dem Moment t' , wo das Gitter des Mutators einen positiven Impuls erhält.

Die obige Betrachtung gilt nur, wenn keine Ströme über das Gitter des Mutators abfliessen. Das ist der Fall, wenn die betreffende Anode infolge negativen Potentials nicht zünden kann. In diesem Fall stimmt die berechnete Steuerspannungskurve mit dem Oszillogramm genau überein.

Beim Zünden der Anode hat das Oszillogramm der Steuerspannung dagegen den Verlauf nach Fig. 6.

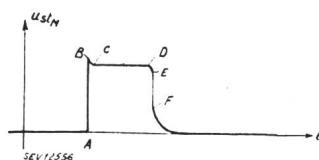


Fig. 6.
Steuerspannungsverlauf bei brennender Anode

Erklärung zu Fig. 6: Der Spannungssprung $A-B$ entsteht auf die gleiche Art, die vorher an Hand von Fig. 4 erläutert wurde. Durch diesen Spannungssprung erhält das Gitter G_M eine Spannung,

die grösser als die Gitterspannung ist, so dass die Entladung einsetzen kann. Die Stossionisation setzt aber nicht augenblicklich ein, sondern der Anodenstrom der gezündeten Entladungsstrecke erreicht erst nach etwa 10^{-6} s seinen vollen Wert. Nach dem Einsetzen der Entladung fliessen aber Elektronen über das positive Mutatorgitter ab, das sich wie eine Anode verhält, und vermindern durch den Spannungsabfall an den Widerständen R_1 und R_s (Fig. 4) das positive Potential des Gitters G_M . Dieses fällt dadurch nahezu auf das Potential U_1 der Mutatorkathode ($B-C$ in Fig. 6). Bei weiterem Sinken der Gitterspannung fliesst aber ein Strom in umgekehrter Richtung über das Gitter G_M , also ein Ionenstrom, so dass dieses während der Brenndauer der Anode wenig unter das Kathodenpotential des Mutators sinkt (Strecke $C-D$). Während dieser Zeit kann sich der Kondensator C_E aufladen. Da die Zeitkonstante des Gliedes $(R_1 + R_2) \cdot C_E$ bedeutend kleiner ist als die Brenndauer der Anode, so stellt sich an C_E fast der stationäre Zustand ein, d. h. der anodenseitige Belag des Kondensators liegt auf dem Potential der Gleichspannungsquelle U_2 , der gitterseitige ungefähr auf dem Kathodenpotential des Mutators. Im Moment nach der Kommutation (Anode des Mutators negativ) werden keine neuen Ionen mehr durch Stossionisation gebildet. Die noch vorhandenen Ionen rekombinieren oder wandern über das Gitter G_M und die Anode A_M ab. Die Zahl der über das Gitter G_M abfliessenden Ionen sinkt sehr rasch, so dass sie nur noch sehr kurze Zeit einen Spannungsabfall an $R_1 + R_s$ erzeugen können ($D-E$ in Fig. 6). Nachher macht das Gitter G_M einen Potentialsprung von E nach F , denn der Kondensator C_E , der während der Brenndauer der Anode nur auf die Spannung

$$u_{CE} = U_2 - U_1$$

geladen war, lädt sich nun über die Widerstände R_1

und R_2 weiter auf, bis er die Spannung U_2 erreicht hat. Die Spannungs differenz $U_2 - u_{CE}$ verteilt sich dabei auf die beiden Widerstände R_1 und R_2 im Verhältnis ihrer Grössen. Dieser Potentialsprung ist für die Entionisierung sehr günstig, denn die Entionisierungszeit sinkt mit wachsender negativer Steuergitterspannung²⁾.

Ein Unterschied der Steuerspannungskurven bei stark und schwach belastetem Mutator, der eventuell durch die verschiedenen Entionisierungsbedingungen hätte erwartet werden können, konnte im Oszillogramm nicht festgestellt werden.

4. Zusammenfassung

Das beschriebene Steuergerät eignet sich wegen seines ausserordentlich kleinen Leistungsbedarfes speziell auch zum Betrieb von Mutatoren kleiner Leistung. Die Steuerleistung zum Aussteuern der Elektronenröhren ist praktisch null. Die Heizleistung und die Leistung der Gleichspannungsquelle für die Röhren betragen nur etwa 80 Watt.

Aus der Beschreibung geht hervor, dass ein Gerät von entsprechendem Aufbau für einen Mutator von beliebiger Phasenzahl und Frequenz verwendet werden kann.

Dieses Steuergerät ist äusserst betriebssicher, weil keine umlaufenden Teile verwendet werden. Seine Herstellung kommt im Vergleich mit andern Geräten bedeutend billiger.

Diese Steuerapparatur wurde im Laboratorium des Elektrotechnischen Institutes der ETH bei der Untersuchung eines selbstgeführten sechsphasigen Wechselrichters, was Gegenstand einer Diplomarbeit war, verwendet und zeigte während der ganzen Betriebsdauer nicht eine einzige Störung.

Adresse des Autors:

Dr. Alfred Spälti, dipl. Ing., Eugen-Huber-Strasse 22, Zürich 9.

²⁾ W. Ostendorf, Entionisierungszeiten von Stromrichtern, ETZ 1938, S. 87.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Ausnutzung der Sonnenenergie

(Nach A. Piccard, Bull. Technique des Ateliers de constructions mécaniques de Vevey S. A., 1942, Nr. 2.)

621.472

Die Sonne, ohne die auf der Erde kein organisches Leben möglich ist, liefert auch die Energie für den Antrieb unserer Kraftmaschinen, ohne dass wir uns dessen in jedem Falle voll bewusst sind. Die Dieselmotoren z. B. nützen bei der Verbrennung von Oel Energie aus, welche vor vielen Millionen von Jahren von der Sonne auf die Erde strömte und dort die Existenz der Lebewesen ermöglichte, deren Ansammlung und Umwandlung dann zur Bildung der heute ausgebeuteten Erdölvorkommen führte. In gleicher Weise ist die in den Dampfkesseln verfeuerte Kohle oder das in den Generatoren der Autos vergaste Holz nichts anderes als Sonnenenergie, welche durch das Chlorophyll der Pflanze in chemische Energie umgewandelt worden ist. Die Hydroelektrizitätswerke werden von Wasser angetrieben, welches, durch die Sonne verdunstet, in die Höhe gestiegen ist und nun beim Abfliessen in tieferen Lagen nutzbare Arbeit in den Turbinen leistet. Es soll nun an Hand einiger Beispiele der Wirkungsgrad dieser Energieumwandlungen untersucht und geprüft werden, ob weitere Möglichkeiten für die Ausnutzung von Sonnenenergie bestehen.

1. Wirkungsgrad der Umwandlung von Sonnenenergie

Die Sonne sendet beständig in Form von Strahlung eine Dauerleistung von $37 \cdot 10^{22}$ kW aus. Ueber die Entstehung dieser von der Sonne dauernd abgegebenen Strahlungsenergie sind schon die verschiedensten Theorien aufgestellt worden. Ohne näher auf diese Theorien einzugehen, sei nur erwähnt, dass nach der Theorie von Einstein bei der Annahme, dass die ausgestrahlte Sonnenenergie aus Masse entstehe, die Sonne pro Sekunde einen Gewichtsverlust von 4 Millionen Tonnen erleiden muss. Auf die Erde kommen vom ganzen von der Sonne ausgestrahlten Energiefluss nur $1,7 \cdot 10^{14}$ kW, das sind etwa 2,2 Milliardenstel. Setzen wir die Jahreserzeugung aller schweizerischen Elektrizitätswerke mit $8,5 \cdot 10^9$ kWh ein, so sehen wir, dass die Sonne in einer Stunde gleichviel Energie auf die Erde schickt wie alle schweizerischen Kraftwerke zusammen in $1,7 \cdot 10^{14} : 8,5 \cdot 10^9 = 2 \cdot 10^4$ Jahren, also in 20 000 Jahren erzeugen. Pro Quadratmeter der Erdoberfläche, welche senkrecht von der Sonne bestrahlt wird, trifft es eine Leistung von 1,35 kW, was bei 220 V in einer Hausinstallation gerade einem normalen Stromkreis für Lichtzwecke mit 6 A Absicherung entspricht und für den gleichzeitigen Betrieb eines Strahlers von 750 W, eines Bügeleisens von 400 W, die Beleuchtung von 2 Zimmern mit je 75 W und den Betrieb eines Radioapparates von 50 W ausreicht. Es stellt sich