Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 39 (1948)

Heft: 24

Artikel: Das Unterwasserkraftwerk im Vergleich mit einem Flusskraftwerk in Kaplanbauweise

Autor: Christaller, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057976

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: 22.08.2025

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

$$v_e = \sqrt{\frac{2-q^2-n^2}{2-q^2-m^2}} \tag{84}$$

$$r^2 \; ; \; q^2 \ll 1 \; ; \; v_e \approx 1 \tag{84a}$$

$$1)\; m = 0 \therefore \begin{cases} n = r \\ q = 0 \end{cases} ; \; v_e = \sqrt{1-n^2/2} \tag{85}$$

$$w^4 \ll 1 \; ; \; v_e \approx v_s^2 \tag{85a}$$

$$2)\; m = n \; ; \qquad v_e = 1 \tag{86}$$

$$3)\; n = 0 \therefore \begin{cases} m = r \\ q = 0 \end{cases} ; \; v_e = 1/\sqrt{1-m^2/2} \tag{87}$$

$$w^4 \ll 1 \; ; \; v_e \approx 1/v_s^2 \tag{87a}$$

(79) in Gl. (74) eingesetzt ergibt die extremalen Wirkleistungs-Frequenzwerte

$$p_e = \varrho \frac{1-q^2w^2}{1-w^2} \tag{88}$$

$$r^4 \ll 1 \; ; \; p_e \approx \varrho/v_s^2 \tag{88a}$$

$$r^2 \ll 1 \; ; \; p_e \approx \varrho \tag{88b}$$

$$1)\; m \; ; n = 0 \therefore q = 0 \; ; \; p_e = \varrho/v_s^2 \tag{89}$$

$$2)\; m = n = w = q \; ; \quad p_e = \varrho\,(1+w^2) \tag{90}$$

$$w^4 \ll 1 \; ; \quad p_e \approx \varrho/v_s^2 \tag{90a}$$

Den *geometrischen Ort der Extrema* erhält man durch Elimination von n bzw. m aus den Gleichungen (89) und (85) bzw. (87):

$$p_e = \frac{\sqrt{2}}{\{1+v_e^2(n)\}\sqrt{1-v_e^2(n)}} = \frac{\sqrt{2}}{\{1+1/v_e^2(m)\}\sqrt{1-1/v_e^2(m)}} \tag{91}$$

$$v_e(n) = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} ; \; p_e = \begin{cases} \sqrt{2} \\ \infty \end{cases} ; \; {}^{tg}p_e = \begin{cases} 0 \\ \infty \end{cases}$$

und ${}^{tg}p_e = 0$; $v_e(n) = 1/\sqrt{3} = 0{,}578$; $p_e = \frac{3}{4}\sqrt{3} = 1{,}30 = 1/0{,}77$

Die Extrema dieser Ortskurve und der Einhüllenden sind selbstverständlich identisch.

C. Schlussfolgerungen

Der Vergleich der Leistungskurven zeigt *erstens*, dass bei verlustarmen Kreisen nur der 1. Fall (U_s ; I_p = konst.) über den ganzen Frequenzbereich realisierbar ist, weswegen dies als Normalfall angesprochen werden muss; *zweitens* ist nicht nur Spannungs- und Stromverlauf, sondern auch der Leistungsverlauf für die gemischten Schaltungen ähnlich dem für die reinen Schaltungen, wenn die Dämpfung gering ist. Dagegen ergibt sich *drittens* für die gemischten Schaltungen eine Realisierbarkeit des 2. Falles (I_s ; U_p = konst.), wenn die Dämpfung stark ist. Ausserdem erhält die Leistungskurve mehr Resonanzcharakter. Die bisher in der elektrischen Schwingkreis-Technik vernachlässigten gemischten Schaltungen verdienen mehr Beachtung, da sie sehr wertvolle Eigenschaften besitzen. Als Anwendungsbeispiele möchte ich nur nennen: Breitbandverstärker, Frequenzgang-Korrektur, Brückenschaltungen aller Art, vor allem auch für Messzwecke.

Literatur

(Es sind ausschliesslich Veröffentlichungen des Verfassers aufgeführt.)

Der verlustbehaftete Parallel-Resonanzkreis als Wechselstromwiderstand. Bull. SEV Bd. 30(1939), Nr. 4, S. 99...109; Berichtigung Nr. 6, S. 174.

Serie-Resonanzkreis, gekoppelte Kreise und Bandfilter. Bull. SEV Bd. 30(1939), Nr. 19, S. 637...644; Bd. 31(1940), Nr. 19, S. 416...429; Berichtigung Nr. 21, S. 493, u. Bd. 32 (1941), Nr. 21, S. 541...564; Berichtigung Nr. 23, S. 622.

L-R- und *C-R*-Glieder sind entartete Schwingkreise. Bull. SEV Bd. 33(1942), Nr. 1, S. 19...22.

Theorie der Filter. RADIO-Service, 1944, Nr. 3/4, S. 60, mit Fortsetzungen in den folgenden Heften. (Diese Aufsatzreihe ist eine logisch aufgebaute Zusammenfassung der in zwangloser Folge zuerst genannten und des vorliegenden Artikels. Einleitend werden aber im Gegensatz zu den anderen Aufsätzen auch die *nichtstationären Zustände*, z. B. Eigenschwingungen, Einschwingvorgänge bei Fremderregung, usw., eingehend behandelt.)

Die beiden wichtigsten «Tonblenden»-Schaltungen und ihre Berechnung. Bull. SEV Bd. 34(1943), Nr. 17, S. 506...510.

Zwei und mehr Lautsprecher am Verstärker-Ausgang. Abschnitt 2, Hochton- und Tiefton-Lautsprecher. Bull. SEV Bd. 33(1942), Nr. 4, S. 107.

Adresse des Autors:
Erwin de Gruyter, «Oranjehof», Wabern bei Bern.

Das Unterwasserkraftwerk im Vergleich zu einem Flusskraftwerk in Kaplanbauweise

Von *H. Christaller*, Biberach a. d. Riss

621.311.21 : 624.034.3

Für ein zurzeit im Bau befindliches Wasserkraftwerk an der Iller wurden vergleichsweise die Kaplanbauweise und die Unterwasserbauweise durchprojektiert. Das Ergebnis dieses Vergleichs zeigt, dass die Unterwasserbauweise etwas teurer als die Kaplanbauweise geworden wäre. Die bautechnischen, betrieblichen und wirtschaftlichen Gründe, die zur Wahl der Kaplanbauweise geführt haben, werden im einzelnen erörtert.

Pour une usine hydroélectrique en construction sur l'Iller, des projets avaient été établis aussi bien pour des turbines Francis, que pour des turbines Kaplan, ce qui a permis de constater que ces dernières sont un peu moins coûteuses. L'auteur passe en revue les raisons qui ont motivé l'adoption des turbines Kaplan, au point de vue de la construction, de l'exploitation et du rendement économique.

Das erste grössere Unterwasserkraftwerk, System Arno Fischer, wurde in Steinbach an der Iller zwischen Kempten und Memmingen im Jahre 1937/38 erstellt. 8 km unterhalb von Steinbach projektierte die Energie-Versorgung Schwaben A.-G. (EVS), Biberach a. d. Riss, eine Flusskraftstufe an der Iller unter ganz ähnlichen topographischen und wasserwirtschaftlichen Verhältnissen. Nach eingehenden Vergleichsstudien zwischen der üblichen Kaplan-Bauweise und der Unterwasserbauweise entschloss sich die EVS zur erstgenannten. Mit dem Ausbau wurde im Frühjahr 1948 begonnen.

Es wird von Interesse sein, die Überlegungen, die zur Wahl der Kaplanbauweise führten, kennenzulernen. Die Illerstufe Aitrach hat bei der Ausbauwassermenge von 100 m³/s ein Nutzgefälle von 8,94 m, eine Leistung von 6900 kW und eine Jahreserzeugung von 28,3 GWh [1]).

Als besondere Vorteile des Unterwasserkraftwerks werden hervorgehoben, dass das Betriebswasser ohne Krümmungsverluste den über die ganze Flussbreite verteilten Rohrturbinen zugeführt und in diesen mit besonders gutem Wirkungsgrad ausgenutzt wird; dass Hochwasser, Eis und Schwemmzeug durch die Überfallklappe, die sich über den ganzen Wehrkraftwerksbau erstreckt, günstig abgeführt wird; dass eine wesentliche Ersparnis an Baumaterial und Baukosten und eine landschaftliche und wehrtechnische Überlegenheit gegenüber seitherigen Bauweisen vorhanden ist.

Der Entwurf A für die *Unterwasserbauweise* (Fig. 1) sieht ein festes Überfallwehr von 60 m Breite vor, in welchem die in Flussrichtung verlaufenden schlauchartigen Öffnungen für die 4 Rohrturbinen von je 25 m³/s Schluckfähigkeit Aufnahme finden. Zwischen den Turbinensätzen sind im ganzen 5 mit Segmentschützen verschlossene Grundablässe je 2,5 m hoch und 4 m breit vorgesehen. Darüber, quer zur Flussrichtung, erstreckt sich innerhalb des Überfallwehres ein Hohlraum, in welchem sich die kombinierten Turbinen-Generator-Sätze, die Bedienungseinrichtungen für die Drosselklappen und die Wehrverschlüsse, die Maschinenschaltanlage sowie ein kleiner Portalkran befinden. Auf dem Wehrrücken befindet sich über die ganze Bauwerksbreite eine 2,4 m hohe, automatisch wirkende Überfallklappe, die zusammen mit den fünf Grundablässen das höchste Hochwasser von 900 m³/s unter einer kleinen Stausenkung abzuführen in der Lage ist.

Demgegenüber sieht der Entwurf B für *Kaplanbauweise* (Fig. 2) rechtsufrig ein 39 m breites Wehr vor, das in seinem unteren Teil aus zwei durch Segmentschützen verschlossenen Grundablassöffnungen je 2,8 m hoch und 17,75 m breit und über einem Eisenbetonhohlkörper aus einer 2,4 m hohen Überfallklappe besteht. Diese Klappe erstreckt sich ohne Zwischenpfeiler über die ganze Wehrbreite. Das an das Wehr anschliessende Maschinenhaus enthält zwei Maschinensätze mit senkrechter Welle, mit Kaplanturbinen von je 50 m³/s Schluckfähigkeit, denen das Betriebswasser durch ein mit Feinrechen und Dammbalkenverschlüssen ausgestattetes Einlaufbauwerk zuströmt. Die Warte ist parallel zur Maschinenhalle über den Turbinenausläufen (Einmannbedienung), die Werkstatt und die Maschinenschaltanlage in einem Ausbau am linken Ufer untergebracht. Wehr und Kraftwerk erstrecken sich mit zusammen 63,5 m über die ganze Flussbreite.

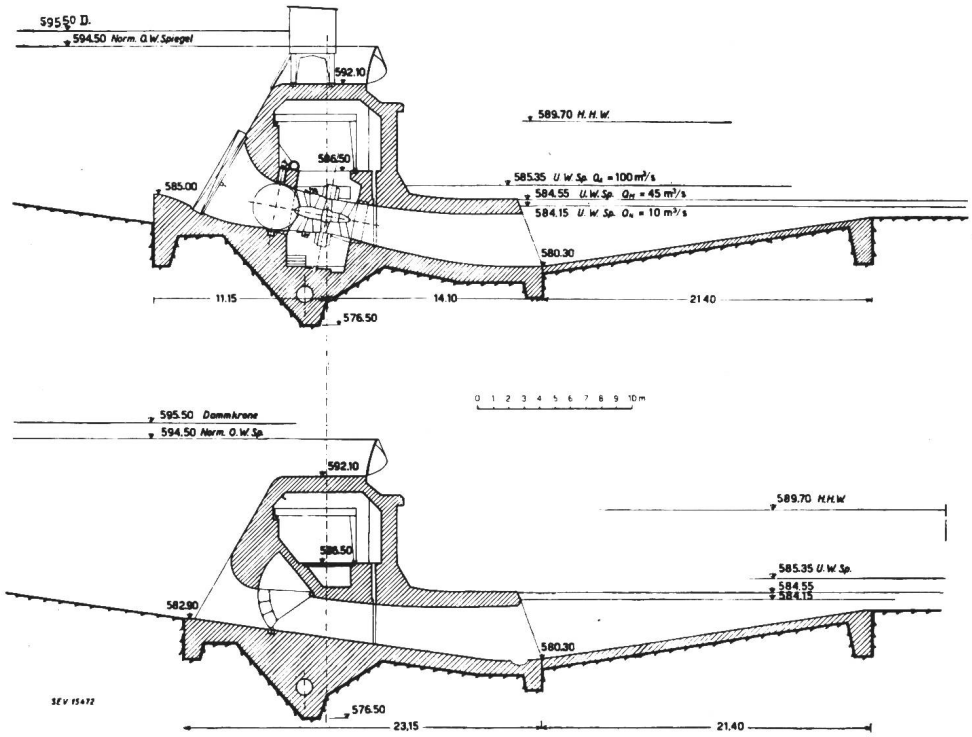

Fig. 1
Illerstufe I, Aitrach
Unterwasserbauweise
Oben: Schnitt durch eine Turbine
Unten: Schnitt durch einen Grundablass

Bei beiden Entwürfen ist eine sparsame Ausführungsweise vorgesehen. Der *Kostenvoranschlag* ergab auf Preisbasis 1938 für die Kaplanbauweise (B) einen Endbetrag von 3,81 Mill. RM, für die Unterwasserbauweise (A) dagegen 4,19 Mill RM. Der Unterschied von rund 10 % liegt hauptsächlich in folgendem begründet:

Bei beiden Entwürfen ist die Ausführung in zwei Bauabschnitten am vorteilhaftesten. Entwurf A erfordert jedoch, obwohl der Wehrkraftwerksbau gegenüber B um 3,5 m weniger lang ist, mit Rücksicht auf die Baufeldeinteilung eine umfangreichere Flussverlegung während der Bauzeit, sowie eine tiefere Gründung über die ganze Flussbreite. Dadurch

[1]) 1 GWh = 10^9 Wh = 1 Million kWh.

erhöhen sich die Kosten für Baugrubenumschliessung, Wasserhaltung und Aushub. Das Risiko einer Überflutung der Baugrube im zweiten Bauabschnitt ist bei der Unterwasserbauweise grösser, weil alsdann nur etwas mehr als die Hälfte der Wehröffnungen für den Hochwasserabfluss verfügbar ist, während bei der Kaplanbauweise das im ersten Bauabschnitt fertiggestellte Wehr in seiner ganzen Ausdehnung zur Verfügung steht. Die Beton- und Eisenbetonarbeiten haben in beiden Fällen ungefähr den gleichen Umfang, jedoch ist bei A mit fetteren Mischungen für den Kraftwerkhohlkörper zu rechnen. Die Aufwendungen für den Kraftwerkhochbau mit dem geräumigen Maschinen- und Schalthaus sind naturgemäss bei Lösung B höher. Die Kaplanbauweise erfordert eine um drei Monate geringere Bauzeit, weil der erste Bauabschnitt mit dem Wehr sich in viel kürzerer Zeit durchführen lässt als der entsprechende Bauteil bei der Unterwasserbauweise. Der Unterschied in den Anlagekosten wäre nicht nennenswert gewesen, wenn nicht bei der Unterwasserbauweise mit hohen Lizenzgebühren zu rechnen gewesen wäre, die allein etwa 10 % des eigentlichen Wehrkraftwerkbaues betragen hätten.

Trotz der geringeren Anlagekosten wäre die Entscheidung für die Kaplanbauweise nicht ohne weiteres gefallen, wenn nicht gleichzeitig noch eine Reihe anderer Gesichtspunkte gegen die Unterwasserbauweise gesprochen hätten.

Die Nachteile der Unterwasserbauweise in *baulicher* Hinsicht wurden schon erwähnt. Dazu kommen eine Reihe *betrieblicher* Gesichtspunkte, die gegen die Unterwasserbauweise sprechen. Die Verklausungsgefahr ist bei den verhältnismässig kleinen Grundablässen bei A grösser als bei den 17,75 m breiten Grundablassöffnungen von B. Die Rechenputzmaschine watet bei A im Wasser und kann bei hohen Wasserführungen bei umgelegter Stauklappe gar nicht in Tätigkeit treten. Die Belüftung des Maschinenraums und die Abfuhr der Generatorabluft ist bei A unbefriedigend, ebenso die Zugänglichkeit der Turbinen und Generatoren und der Platz für Montage und Demontage. Bei einem Generator- oder Schaltanlagebrand sitzt der Maschinist in der Mausefalle. Ein Bombenvolltreffer setzt die ganze Anlage unter Wasser. Die Entwässerungspumpen im Maschinenhaus müssen einen besonderen Grad von Zuverlässigkeit haben, denn ein Versagen würde in kurzer Zeit Teile des Maschinenraums unter Wasser setzen. Es wurde deshalb ein Notdieselaggregat vorgeschlagen.

Dagegen sind die Wasserverluste, die an der Dichtung zwischen dem Turbinenrohr und dem Turbinen-Generatorlaufrad auftreten, nicht von so grosser Bedeutung, wie dies häufig behauptet wird. Auch hat diese Dichtung in Steinbach bis jetzt offenbar keine besonderen Schwierigkeiten und keine grossen Instandhaltungskosten gebracht. Sie besteht dort aus einer Gummimanschette, die sich gegen V2a-Stahl drückt. In den während des Krieges erstellten Anlagen stand kein V2a-Stahl mehr zur Verfügung. Es traten deshalb Rosterscheinungen auf und die Gummidichtung musste dort nach verhältnismässig kurzer Zeit erneuert werden.

Besonders gerühmt an der Unterwasserbauweise wird die gute Anströmung der Turbinen auch bei Hochwasser, während bei einem seitlich gelegenen Maschinenhaus bei Hochwasser und gesenkten Schützen starke Querströmungen zum Turbinenrechen zu beobachten sind. Versuche im Flussbaulaboratorium haben aber gezeigt, dass, wenn das Maschinenhaus in keiner zu scharfen Bucht liegt, nur in den obersten Schichten Querströmungen auftreten, während in der Tiefe die Stromfäden gleichmässig verlaufen.

Beim *wirtschaftlichen* Vergleich der beiden Bauweisen ist vor allem zu sagen, dass bisher bei der Unterwasserbauweise nur Propellerturbinen mit feststehenden Laufrädern Verwendung fanden. Zuverlässige Wirkungsgradmessungen an ausgeführten Anlagen liegen bis jetzt nicht vor. Jedoch kann von den Vertretern der Unterwasserbauweise nicht be-

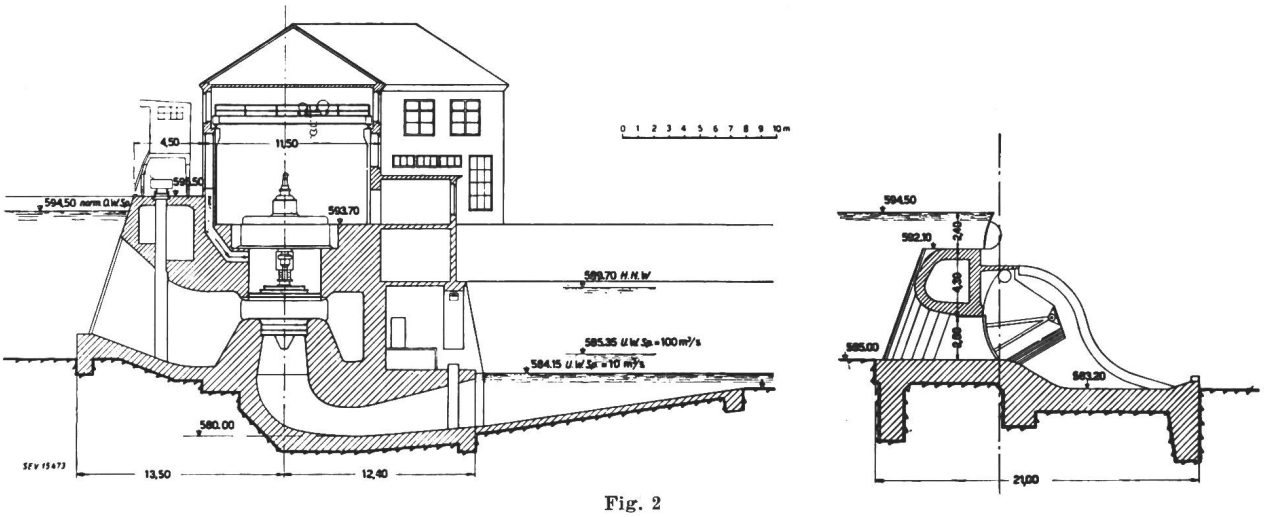

Fig. 2
Illerstufe I, Altrach
Kaplanbauweise
Links: Maschinenhaus Rechts: Wehr

stritten werden, dass die Wirkungsgradcharakteristik wie bei allen Propellerturbinen ausserordentlich spitzig im Vergleich zu den flachen Charakteristikkurven der Kaplanturbinen verläuft. Deshalb ist der in den bisher ausgeführten Unterwasserkraftwerken erzielte *durchschnittliche* Wirkungsgrad erheblich schlechter und die Jahreserzeugung geringer als bei einer entsprechenden Kaplananlage. Die Ursache hierfür liegt in der hohen spezifischen Drehzahl der Propellerturbine, der Unmöglichkeit ihrer Überöffnung und im raschen Sinken der Leistung beim Rückgang der Turbinenbeaufschlagung. Eine gewisse Verbesserung dieses Übelstandes konnte bei den bestehenden Unterwasserkraftwerken an der Iller durch Betriebsweise im grösseren Verbundbetrieb erzielt werden. Dort werden die einzelnen Gefällstufen als Tagesspeicherwerke mit Blockfahrplan jeweils so eingesetzt, dass die Turbinen in der Nähe des Kulminationspunktes der Wirkungsgradkurve beaufschlagt werden.

Die Verwendung von Turbinen mit *beweglichen* Laufrädern wird den Durchschnittswirkungsgrad von Unterwasserkraftwerken verbessern. Jedoch stehen der praktischen Ausführung einstweilen technische Schwierigkeiten entgegen, deren Beseitigung zum mindesten noch längere Entwicklungsarbeit erfordert. Bei den neueren Unterwasserkraftwerken wurde der Platz für den späteren Einbau einer doppelt regulierten Turbine vorgesehen.

Es wäre nicht angebracht, von dieser einen Vergleichsuntersuchung ausgehend ein allgemeines Urteil über die Unterwasserbauweise, die eine Zeit lang in Deutschland von gewissen Kreisen als den seitherigen Bauweisen weit überlegen gepriesen wurde, zu fällen. Es sei deshalb auf ähnliche Vergleichsuntersuchungen, die in den Jahren 1943 und 1944 für Wasserkraftprojekte an der Oberen Alz, an der Drage und am Oberrhein bei Waldshut-Kadelburg durchgeführt wurden, hingewiesen. Dabei hat sich bezüglich der *Anlagekosten* etwa folgendes ergeben:

Die Unterwasserbauweise kann nur in Erwägung gezogen werden, wo ein Flusskraftwerk billiger und vorteilhafter ist als ein Kraftwerk mit Seitenkanal. Günstige Voraussetzungen für billige Anlagekosten sind alsdann:

a) Gefällstufen von nicht mehr als 10...12 m und nicht weniger als 5...6 m,

b) Flusstäler mit Hochufer, so dass der Aufstau des HHW keine teuren Dammbauten im Oberwasser erfordert,

c) Möglichkeit der Baudurchführung seitlich des bestehenden Flusslaufs, z. B. durch Abschneidung einer Flußschleife,

d) geringes spezifisches Hochwasser, da die Gesamtbreite des Wehrkraftwerksbaus geringer wird, als bei der Kaplanbauweise,

e) grosse Flussbreite an der Baustelle bei gleichzeitigem grossem spezifischem Hochwasser, da dann der grösseren Breite des Unterwasserkraftwerks die Mehrkosten der Anschlussdämme bei dem gedrängteren Wehrkraftwerksbau der Kaplanbauweise gegenüberstehen.

f) Felslage etwa 3...6 m unter Flußsohle, da dann die durchschnittlich tiefere Gründung der Unterwasserbauweise nur wenig vermehrte Aushubkosten verursacht,

g) wenig Geschiebe,

h) wenn bei grösseren Hochwassern die zwischen Ober- und Unterwasser verbleibende Gefällsdifferenz so gross ist, dass der Ausfluss durch die Grundablässe schiessend erfolgt und infolgedessen Gefällsmehrung, bzw. hoher Abflusskoeffizient erwartet werden kann.

Dagegen wird die Kaplanbauweise bei geringeren oder grösseren als den unter a) angegebenen Gefällstufen, ferner bei Flüssen mit flachen Ufern und grossem spezifischem Hochwasser, oder da, wo infolge des engen Flussprofils und des hoch anstehenden Felsens die über die Bauzeit erforderliche Umlaufrinne teure Kosten verursacht, auf alle Fälle billigere Anlagekosten ergeben.

Wenn sich die betrieblichen und wirtschaftlichen Nachteile, die heute sehr gegen die Unterwasserbauweise sprechen, im Laufe einer weiteren Entwicklungsarbeit auch teilweise verbessern lassen, so ist doch rein anlagekostenmässig eine Überlegenheit der Unterwasserbauweise nur in besonders gearteten Fällen denkbar. Das Anwendungsgebiet wird also auch in Zukunft auf bestimmte Fälle beschränkt bleiben.

Literatur

[1] *Canaan, H. F.:* Das Unterwasserkraftwerk und die Unterwasserturbine, Bauweise Arno Fischer. — Heidenheim, 1945. Als Manuskript gedruckt.

[2] *Vas, Oskar:* Über das Unterwasserkraftwerk. Österr. Bauz. Bd. 1(1946), Nr. 1/2, S. 42...48, u. Nr. 5/6, S. 111...126. [Siehe Rezension in Bull. SEV Bd. 39(1948), Nr. 12, S. 412.]

Adresse des Autors:
Hans Christaller, Regierungsbaumeister, Biberach/Riss, Württemberg (Deutschland).

Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

Handie-Talkie-Apparate [1]) sind konzessionspflichtig

621.396.73

Die Generaldirektion der PTT schreibt uns am 30. 10. 48:

In letzter Zeit haben Tageszeitungen und Zeitschriften Mitteilungen veröffentlicht, nach denen tragbare Geräte — die sogenannten «Handie-Talkie» — zur Führung telephonischer Gespräche auf drahtlosem Wege nunmehr auch in der Schweiz erhältlich seien, und von jedermann ohne Konzession betrieben werden können. Diese Meldungen verursachten Verwirrung bei den Firmen, die sich mit der Fabrikation und dem Vertrieb derartiger Geräte befassen, was wir aus zahlreichen Anfragen, ob die Konzessionspflicht für den Betrieb der fraglichen Geräte wirklich fallen gelassen worden sei, schliessen müssen.

Die veröffentlichten Mitteilungen sind unrichtig. Sie wurden bereits durch die Presse widerlegt. Es liegt uns jedoch daran, die an der Fabrikation und am Handel mit solchen Geräten interessierten Kreise noch besonders auf die einschlägigen Gesetzesbestimmungen aufmerksam zu machen, um sie selbst und ihre Klienten vor Schaden zu bewahren.

Art. 1 des Telegraphen- und Telephonverkehrsgesetzes von 1922 räumt der PTT-Verwaltung das ausschliessliche Recht ein, elektrische und radioelektrische Telephonanlagen zu er-

[1]) s. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 7, S. 186.