Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 68 (1950)
Heft: 40

Artikel: Die Ausbaumöglichkeiten der schweizerischen Wasserkräfte: Vortrag
Autor: Kuntschen, F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-58089

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: 11.07.2025

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

Die Ausbaumöglichkeiten der schweizerischen Wasserkräfte

DK 621.311.21 (494)

Vortrag von Dipl. Ing. F. KUNTSCHEN, Direktor des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft, Bern,
gehalten am 23. November 1949 vor dem Zürcher Ingenieur- und Architektenverein, und ergänzt gemäss der heutigen Sachlage

I. Einleitung

Schon vor mehr als einem Jahr hatte der Präsident Ihrer Sektion mich um einen Vortrag über die Aussichten im künftigen Ausbau der schweizerischen Wasserkräfte gebeten. Andere Sektionen des S. I. A. hatten sich dieser Bitte angeschlossen. Veranlassung dazu war der Beschluss des Bundesrates vom August 1946, laut welchem im Amt für Wasserwirtschaft die Stelle eines Vize-Direktors geschaffen wurde mit der besonderen Aufgabe, einen generellen Ausbauplan der schweizerischen Wasserkräfte in enger Zusammenarbeit mit den kantonalen Behörden, den Elektrizitätsunternehmungen und den Ingenieurbureaux auszuarbeiten und die Verwirklichung baureifer Projekte zu fördern. Wenn ich damals zögerte, diesem Wunsche sofort Folge zu geben, so lag der Grund darin, dass in diesem Zeitpunkt verschiedene Projekte für grosse Akkumulierwerke in Diskussion standen, bei denen die Möglichkeit der Verwirklichung von anderen als rein technischen und wirtschaftlichen Erwägungen abhängt, die aber in einer Bilanz über die verfügbaren Wasserkräfte eine wesentliche Rolle spielen. Heute ist die Lage wenigstens zum Teil etwas besser abgeklärt. Es liegt aber im Wesen der Wasserkraftnutzung, dass die Projekte mit dem Fortschritt der Studien immer wieder geändert und verbessert werden, so dass alle Zahlen über die noch verfügbaren Produktionsmöglichkeiten aus unseren Gewässern nicht als endgültige, sondern als vorläufige, ungefähre Mittelwerte zu betrachten sind.

Im ersten Teil meines Vortrages sollen die Unterlagen kritisch betrachtet werden, auf welchen eine Bilanz der noch verfügbaren ausbauwürdigen Wasserkräfte aufgestellt werden kann; im zweiten Teil werde ich einige nähere Angaben über diejenigen Projekte oder Projektgruppen vermitteln, die wegen ihrer Bedeutung die Bilanz entscheidend beeinflussen.

II. Bisherige Feststellungen über die Produktionsmöglichkeiten

Die Schweiz verfügt bekanntlich neben dem Ertrag ihrer Wälder über keine andere bedeutende einheimische Energiequelle als ihre Wasserkräfte. Diese sind zwar sehr reichlich, aber doch nicht unbegrenzt. Ueber die Rolle, die der Wald in unserer Energieversorgung auf dem Sektor der Wärmewirtschaft einnimmt, ist man im allgemeinen in Ingenieurkreisen wenig orientiert; ich möchte deshalb hier erwähnen, dass während den schlimmsten Kriegsjahren der Brennholzverbrauch in der Schweiz jährlich rd. 4 Mio m^3, oder 1 m^3 pro Einwohner überschritten hat; thermisch ausgedrückt entspricht diese Menge einem Wert von rd. 38 % der Kohlenmenge, die die Schweiz in normaler Zeit jährlich importiert. Ein zahlenmässiger Vergleich mit der hydroelektrischen Energie stösst auf Schwierigkeiten; denn die Energie aus Wasserkraft eignet sich für hochwertige Anwendungen: mechanische Arbeit, Licht, Elektrolyse usw., das Brennholz dagegen nur für geringwertige Wärmeerzeugung. Sicher ist, dass für die Erzeugung von elektrischer Energie die Wasserkräfte die einzige einheimische Quelle von wirklich ausschlaggebender Bedeutung bleiben, so lange wenigstens, als die Atomenergie noch nicht in Konkurrenz treten kann.

Schon bei den ersten und bescheidenen praktischen Ausführungen von Wasserkraftanlagen zur Erzeugung elektrischer Energie haben die schweizerischen Fachleute die grossen Entwicklungsmöglichkeiten vorausgesehen, die eine rationelle Ausnutzung der in unseren Gewässern vorhandenen Energie bringen kann und insbesondere den Wert dieser einheimischen Energie für die Stärkung unserer wirtschaftlichen Unabhängigkeit gegenüber dem Ausland erkannt. Bereits im Jahre 1891 hat die Gesellschaft Freiland ein Gesuch an den Bundesrat eingereicht zwecks Aufnahme eines neuen Artikels in die Bundesverfassung, dessen erster Satz hätte lauten sollen: «Sämtliche unbenutzten Wasserkräfte der Schweiz sind Eigentum des Bundes». Die Eingabe führte unter anderem aus, dass in der Schweiz noch viele Mio PS zu gewinnen seien und dass diese Kraftquelle an Stelle der jetzt durch eingeführte ausländische Kohle erzeugten Dampfkraft treten müsse. Der Antrag war für einen Föderativstaat wie unsere Eidgenossenschaft viel zu zentralistisch; die Bundesversammlung fasste denn auch[1]) den Beschluss, es sei der Eingabe der Gesellschaft Freiland keine Folge zu geben. Immerhin wurde der Bundesrat eingeladen, die Untersuchung der Wasserverhältnisse der Schweiz als Grundlage zur Feststellung der noch nutzbar zu machenden Wasserkräfte zu fördern. Dieser Beschluss hat auf die erfreuliche Entwicklung des schweizerischen hydrometrischen Dienstes einen bedeutenden Einfluss ausgeübt.

Der erste Versuch vom Jahre 1890, die verfügbaren Wasserkräfte unseres Landes zu berechnen, stammt von Ingenieur *H. Lauterburg*, einem früheren Leiter des Eidgenössischen Hydrometrischen Zentralbureau. Auf Grund seiner für jene Zeit sehr eingehenden Erhebungen gelangte Ing. Lauterburg zu folgenden Ergebnissen: Gesamte vorhandene Brutto-Wasserkräfte 4 682 000 PS, davon aber nur 623 000 produktive, d. h. praktisch ausnutzbare Brutto-PS (d. h. ungefähr 430 000 kW).

Einige Jahre später hat Ing. Lauterburg diese Zahlen revidiert und erheblich reduziert. Hierzu äusserte sich der damalige Chef des Eidgenössischen Hydrometrischen Bureau, Ing. Dr. *J. Epper*, wie folgt: «Zweifelsohne ist Ing. Lauterburg mit seinen rd. 4,5 Mio Brutto-PS weit über die Wirklichkeit hinaus geraten». Er fügt bei: «Häufig kann man die Ansicht äussern hören, dass in den schweizerischen Wasserkräften ein ungeheurer nationaler Reichtum liege. Damit hat es aber seine besondere Bewandtnis. Dieser Reichtum ist an den noch völlig brachliegenden Gewässerstrecken keineswegs schon gewinnbringend vorhanden, er muss erst durch die Erstellung von kostspieligen Wasserkraftanlagen geschaffen werden. Dazu braucht es auch riesige Kapitalien».

Die zweite offizielle Statistik über die verfügbaren Wasserkräfte der Schweiz wurde im Jahre 1914 von der Abteilung für Wasserwirtschaft des Schweizerischen Departementes des Innern durchgeführt. Sie hatte den Zweck, einen Einblick in unseren Reichtum an weisser Kohle zu vermitteln. Die Statistik, die von Ing. *C. Ghezzi* von der Eidgenössischen Abteilung für Wasserwirtschaft durchgeführt wurde, stützte sich auf eine ganz generelle Vorprojektierung von Wasserkraftanlagen, die hauptsächlich nur auf Kartenstudien beruhte. Die Bedeutung der künstlichen Staubecken war bereits anerkannt worden, allerdings nur im engen Rahmen der damaligen Anschauungen. Diese Untersuchungen führten zu folgendem Ergebnis:

Die totale verfügbare Leistung aus allen schweizerischen Wasserkräften, einschliesslich der bereits ausgenutzten, beträgt 2,5 Mio 24stündige Netto-Pferdestärken, d. h. rd. 1,75 Mio 24stündige kW entsprechend einer jährlichen Energieproduktionsmöglichkeit von rd. 15 Mrd kWh.

Heute erreicht die mittlere jährliche Energieproduktionsmöglichkeit aller bestehenden Kraftwerke fast 12 Mrd kWh; mit den im Bau befindlichen Kraftwerken wird sie auf rd. 14 Mrd kWh ansteigen. Offensichtlich war die Statistik von 1914 immer noch wesentlich zu niedrig. Dies ist jedoch leicht erklärlich, wenn man die Fortschritte berücksichtigt, die die Technik im Kraftwerkbau, insbesondere im Bau von Talsperren, seit 1914 durchgemacht hat.

Mit dieser kurzen Schilderung der sukzessiven Schätzungen unseres Reichtums an ausbauwürdigen Wasserkräften wollte ich Ihnen zeigen, wie schwierig es ist, eine solche Bilanz mit einiger Zuverlässigkeit aufzustellen. Die Angaben, die man gelegentlich über die verfügbaren Wasserkräfte in anderen Ländern zu lesen bekommt, wo die Unterlagen für diese Bestimmung noch ganz unzuverlässig sind, müssen deshalb mit grosser Vorsicht aufgenommen werden.

III. Grundlagen zur Ermittlung der verfügbaren Wasserkräfte

In der Schweiz verfügen wir über sehr gute und zuverlässige Grundlagen, als deren Hauptelemente zu nennen sind:

1. Die Hydrologie. Sie orientiert über die Wasserführung der Gewässer und die zur Ausnützung zur Verfügung stehenden Wassermengen.

[1]) auf Grund eines Gutachtens von Ing. *A. Jegher*, siehe SBZ Bd. 47, Nr. 12 vom 24. März 1906. Red.

Alpen
Lütschine in Gsteig
Einzugsgebiet:
Oberfläche 379 km²
Mittlere Höhe 2050 m ü. M.
Vergletscherung 20,2 %

Mittelland
Töss in Neftenbach
Einzugsgebiet:
Oberfläche 342 km²
Mittlere Höhe 650 m ü. M.
Vergletscherung 0 %

Jura
Areuse in Champ-du-Moulin
Einzugsgebiet:
Oberfläche 360 km²
Mittlere Höhe 1076 m ü. M.
Vergletscherung 0 %

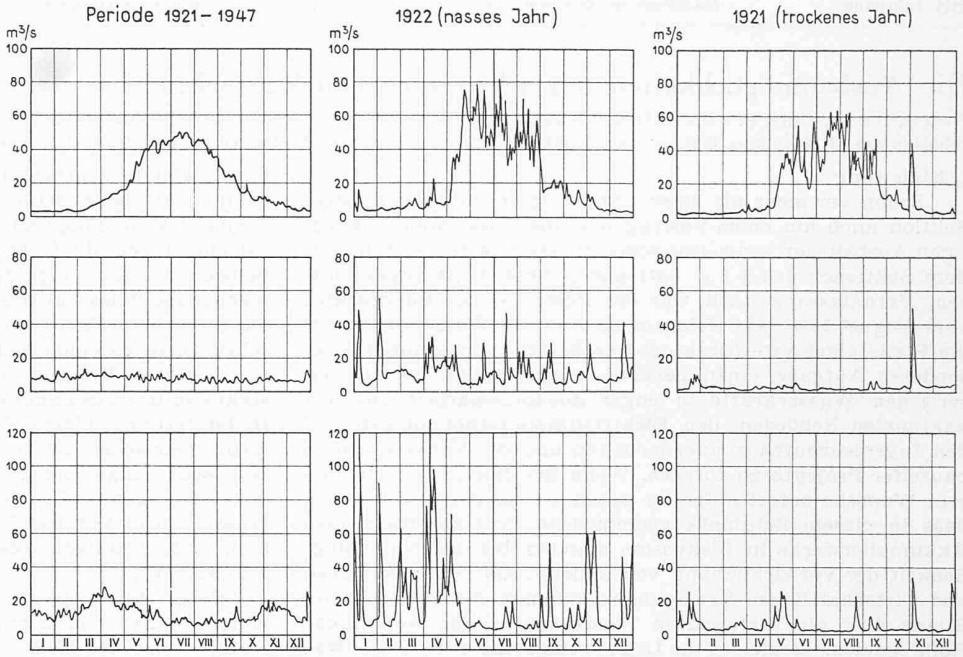

Bild 1. Tagesmittel der Abflussmengen in m³/s aus drei charakteristischen Einzugsgebieten angenähert gleicher Grösse

2. *Die Topographie*, die uns über die Gefällsverhältnisse aufklärt, unter denen diese Wassermengen verarbeitet werden können.

3. *Die Geologie*, die die Unterlagen für die Beurteilung der Baugrundverhältnisse vermittelt, deren Kenntnis für den Bau von Wasserkraftwerken von ausschlaggebender Bedeutung sind, ganz besonders für die Erstellung von Akkumulierbecken.

Ich möchte nicht unterlassen, die guten Dienste zu unterstreichen, die unsere sehr exakte Landeskarte für die Projektierung von Kraftwerkanlagen geleistet hat und immer noch leistet. Sie gestattet in zuverlässiger Weise, die Einzugsgebiete, die Vergletscherung, die mittlere Höhenlage und bei Hochdruckanlagen auch das Bruttogefälle zu bestimmen; allerdings sind für die nähere Projektierung weitere Detailaufnahmen nicht zu umgehen.

Dank des Weitblickes der zuständigen Stellen wurde bereits vor 60 Jahren das Studium der Abflussverhältnisse der schweizerischen Gewässer systematisch eingeleitet. Wohl kein Land auf der Welt verfügt über ein derart engmaschiges Netz von Beobachtungs- und Abflussmengenstationen. Die Ergebnisse sind durch die verschiedenen Veröffentlichungen des Amtes für Wasserwirtschaft den Interessenten bekanntgegeben worden; seit 1917 werden sie regelmässig im Hydrographischen Jahrbuch publiziert. Das zuletzt erschienene Jahrbuch für das Jahr 1949 gibt die täglichen Abflussmengen an 110 verschiedenen Messtationen bekannt.

Diese Angaben dienen nicht nur der Wasserkraftnutzung, sondern bilden die unentbehrliche Grundlage für die gesamte schweizerische Wasserwirtschaft. Es sollte deshalb vermieden werden, dass durch zu weitgehende Sparmassnahmen dieser für die Allgemeinheit sehr nützliche Dienst eingeschränkt wird.

Der Abfluss der Gewässer hängt in erster Linie von den Niederschlägen ab, die ihrerseits wiederum stark durch das Bodenrelief bedingt sind. Die Niederschläge sind in der Regel in den höheren Lagen beträchtlicher als in den tiefen Regionen; sie sind deshalb sehr verschieden in den Alpen, den Voralpen, im Mittelland oder im Jura, Bild 1. Während der kalten Jahreszeit fallen die Niederschläge in den höheren Lagen in fester Form und werden bis zur Zeit der Schneeschmelze aufgespeichert. Die Gletscher und Firne, die rund 2200 km² unseres Bodens bedecken, (davon die Hälfte im Einzugsgebiet der Rhone) weisen von Oktober bis April nur einen ganz geringen Abfluss auf; sie liefern dagegen sehr grosse Wassermengen in den fünf übrigen Monaten. Demzufolge zeigen sämtliche Hauptgewässer der Schweiz, die alle den höheren Alpenregionen entspringen, wie Rhein, Rhone, Aare, Tessin und Inn, einen ausgesprochenen alpinen Charakter mit viel Wasser im Sommer und wenig im Winter, Bild 2. Unsere zahlreichen Seen des Mittellandes üben wohl eine ausgleichende Wirkung auf die unterhalb liegenden Flusstrecken aus, vermögen aber doch nicht, den allgemeinen Charakter des Regimes zu ändern. Entsprechend dieser Situation ist die Energieproduktion in den Laufwerken wesentlich grösser im Sommer als im Winter, was leider im Gegensatz steht zu den Bedürfnissen der Energiekonsumenten. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit des Baues von Akkumulierbecken. So sind denn auch heute bei allen Projekten und Projektstudien für Grosskraftanlagen im Gebirge gewaltige Staubecken vorgesehen. Ihre Erstellung bildet das Kernproblem des Baues grosser Hochdruckanlagen.

Die Gesamtwassermenge, die jährlich im Mittel an den Grenzstellen aus der Schweiz abfliesst, beträgt 53 Mrd m³; davon rühren ungefähr 13 Mrd m³ von ausländischen Einzugsgebieten her. Dies ergibt eine mittlere Abflusshöhe von 960 mm oder einen mittleren spezifischen Ertrag von 30 l pro s km². Diese Werte sind gegenüber denen unserer Nachbarländer sehr hoch; sie weisen auf günstige Voraussetzungen für die Ausbeutung der Wasserkräfte hin. Allerdings ist die Zahl von 30 l/s km² nur ein Mittelwert, der sich je nach der geographischen Lage stark verändert. In den höheren Zonen ist die mittlere Ergiebigkeit der Gewässer viel grösser, in den Niederungen dagegen kleiner.

Auch die topographischen Voraussetzungen sind in der Schweiz allgemein für die Ausbeutung der Wasserkraft äusserst günstig, ganz besonders in den Alpengebieten. Es gibt nur selten Gewässerstrecken, die so wenig Gefälle aufweisen, dass eine Ausnutzung zur Gewinnung von Energie nicht in Betracht gezogen werden kann. Viele ausgedehnte Einzugsgebiete weisen eine sehr hohe mittlere Meereshöhe gegenüber dem tiefsten Punkt ihres Gebietes auf. So hat z. B. der Rhein in Felsberg ein Einzugsgebiet von 3249 km² mit einer mittleren Höhe von 2010 m; Felsberg liegt aber nur auf 562 m ü. M. Das Einzugsgebiet der Rhone beträgt bei ihrer Einmündung in den Genfersee 5221 km², seine mittlere Höhe 2130 m, während die Einmündungsstelle nur 372 m ü. M. liegt. Ein einzigartiges Beispiel stellt das Kraftwerk Dixence dar; das Bruttogefälle beträgt 1746 m, die Distanz zwischen Wasserfassung im Stausee und Rückgabe in die Rhone nur 16 km.

Auch in bezug auf die geologische Beschaffenheit des Untergrundes ist unser Land bereits weitgehend erforscht; immerhin sind auch auf diesem Gebiet für die Detailprojektierung genauere Untersuchungen notwendig; dies gilt ganz besonders für Staubecken in bezug auf ihre Dichtheit sowie auf die Eignung der Sperrstelle für die Erstellung der Staumauer.

Das Amt für Wasserwirtschaft hat in den Jahren von 1928 bis 1943 sehr eingehende Untersuchungen durchgeführt, um festzustellen, welche Akkumulierbecken in der Schweiz geschaffen werden können. Das Ergebnis ist in den Mitteilungen des Amtes Nr. 25 bis 30 unter dem Titel «Die ver-

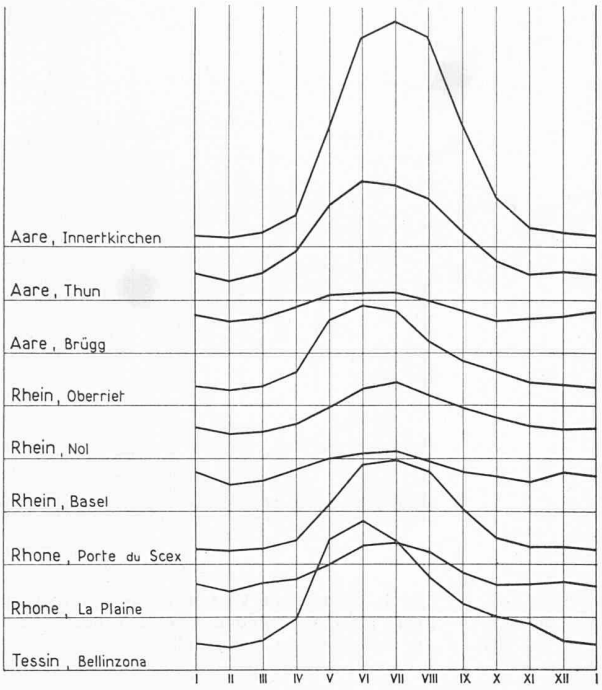

Bild 2. Spezifische monatliche Abflussmengen der schweizerischen Hauptgewässer, in gleichem Masstab (1 cm = 50 l/s km²) aufgetragen

fügbaren Wasserkräfte der Schweiz unter besonderer Berücksichtigung der Speichermöglichkeiten für die Erzeugung von Winterenergie» veröffentlicht worden. Die Studie konnte selbstverständlich nur generell gehalten werden, trotz des enormen Materials, das gesammelt werden musste. Sie zeigt, dass die Zahl der für die Erstellung in Frage kommenden Stauseen sehr begrenzt ist. Es ist somit nötig, diejenigen Speichermöglichkeiten, die für die Ausführung praktisch in Frage kommen können, grosszügig auszubauen; das Volumen der Speicherung soll überall soweit gesteigert werden, als es die örtlichen Verhältnisse, die vorhandenen Wassermengen und die Wirtschaftlichkeit der angeschlossenen Werkgruppe gestatten. Es ist deshalb verständlich, dass sogar Staubecken auf ausländischem Boden wie im Val di Lei oder im Livignotal mitberücksichtigt werden müssen, trotz allen Komplikationen, die dabei durch zwischenstaatliche Verhandlungen entstehen könnten.

Für die Aufstellung einer Bilanz der verfügbaren Wasserkräfte des Landes ist noch ein weiterer Umstand sehr günstig: Es gibt wohl in der Schweiz keine Gegend mehr, die nicht entweder von Ingenieurbureaux, Elektrizitätsunternehmungen oder anderen Interessenten auf ihre Eignung zur Erzeugung von hydro-elektrischer Energie wenigstens generell untersucht worden wäre. Dadurch sind wertvolle Unterlagen geschaffen worden.

Die Ausbauwürdigkeit einer Wasserkraft ist aber nicht nur ein technisches, sondern ebensosehr ein wirtschaftliches Problem. Ausserdem sind weitere Gesichtspunkte zu berücksichtigen, wie zum Beispiel der Schutz der Natur und ihrer Schönheiten (man denke an den Rheinfall, an den Nationalpark), die Rücksicht auf die Ortschaften, die unter Wasser gesetzt werden müssen, und in bestimmten Fällen auch die Interessen unserer Landesverteidigung.

Eine Statistik der verfügbaren Wasserkräfte wäre wertlos, wenn die in Betracht gezogenen Projekte nicht den drei folgenden Anforderungen entsprechen würden:

1. Die hydrologischen, topographischen und geologischen Grundlagen müssen zeigen, dass das Projekt technisch ausführbar ist; dabei muss das Projekt in einen generellen und rationellen Gesamtausbauplan hinein passen.

2. Es muss feststehen, dass die für die Ausführung nötigen Rechtsverleihungen erhältlich sein werden; beim föderativen Aufbau unserer Wasserrechtsgesetzgebung ist dies nicht immer von vornherein sicher.

3. Die Aussicht muss bestehen, dass das Projekt genügend wirtschaftlich ausgestaltet werden kann, um einen Interessenten zu finden, der bereit ist, es auszuführen. Die Gestehungskosten der erzeugbaren Energie spielen eine ausschlaggebende Rolle.

Die Grenze der noch zulässigen Gestehungskosten ist durch den Marktpreis der Energie bestimmt. Dieser Marktpreis ist aber eine sehr schwer feststellbare Grösse, denn er variiert nicht nur je nach der Qualität der Energie, sei es Sommer-, Winter-, Tag-, Nacht-, Wochenend- oder Spitzen-Energie, sondern er hängt auch von der Konkurrenzmöglichkeit der übrigen ausländischen Energiequellen ab, vielleicht später einmal auch von den Gestehungskosten der Atomenergie. Bei der Beurteilung darf allerdings nicht vergessen werden, dass die hydro-elektrische Energie unsere nationale Energie darstellt, die uns auch in schwersten Zeiten zur Verfügung steht. Der Rohstoff, d. h. das Wasser, wird bei der Ausnutzung nicht verzehrt und bleibt zeitlich unbeschränkt in unserem Dienst. Das sind Faktoren, die nicht unberücksichtigt bleiben dürfen.

Es ist noch zu bemerken, dass die wirtschaftliche Grenze des Energiepreises nicht für alle Bauinteressenten auf der gleichen Stufe steht. Unternehmungen, die z. B. hauptsächlich Haushalt und Gewerbe in grossen Ortschaften beliefern, haben mehr Spielraum als solche mit vorwiegend kleinen, über schwach besiedelte Gebiete verteilten Konsumenten.

Dadurch, dass der Verkaufspreis des elektrischen Stromes im Gegensatz zu dem aller andern Konsumgüter seit der Zeit vor dem letzten Krieg nicht zugenommen hat, und dass anderseits die Erstellungskosten der Wasserkraftanlagen sich fast verdoppelt haben, ist eine Diskrepanz entstanden, die noch durch die Tatsache gesteigert wird, dass die wirtschaftlich günstigen Wasserkräfte bereits ausgebaut sind, die noch verfügbaren dagegen für ihre Nutzbarmachung immer schwierigere technische und finanzielle Probleme stellen.

Diese Betrachtungen mögen zur Genüge gezeigt haben, wie schwierig es ist, einen festen Masstab für die Beurteilung der Ausbauwürdigkeit der noch verfügbaren Wasserkräfte zu finden. Eine solche Beurteilung ist aber für den rationellen weiteren Ausbau von allergrösster Bedeutung, und es ist begreiflich, dass die beteiligten Kreise diesem Problem immer wieder grösste Aufmerksamkeit schenken. So hat der schweizerische Wasserwirtschafts-Verband eine Kommission mit Direktor H. Niesz als Präsidenten gebildet, an deren Arbeiten sich das Amt für Wasserwirtschaft und das Amt für Elektrizitätswirtschaft aktiv beteiligten; die Aufgabe dieser Kommission bestand im Aufstellen von Richtlinien für die Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen von Wasserkraftanlagen. Die Arbeiten sind abgeschlossen, und das Ergebnis ist unter dem Titel «Richtlinien für die vergleichende Beurteilung der relativen Wirtschaftlichkeit von Wasserkraft-Vorprojekten» erschienen; es kann beim Sekretariat des Wasserwirtschaftsverbandes bezogen werden.

Bisher war es üblich, Wasserkraftprojekte auf Grund der Gestehungskosten für die durchschnittlich im Winter erzeugbare Kilowattstunde zu vergleichen; dabei wurden die um den Erlös aus der Sommerenergie verminderten Jahreskosten durch die Winterenergiemenge dividiert. Bei diesem etwas summarischen Verfahren wird namentlich die Qualität der Energie nur ungenügend berücksichtigt. Aber auch die Grundlagen, nach welchen die Projekte aufgestellt waren, stimmten meistens nicht überein. Um diesem Mangel abzuhelfen, enthalten die neuen Richtlinien in einem ersten Teil Definitionen der zu verwendenden hydraulischen und elektrischen Grössen; im zweiten Teil findet man Empfehlungen für die Aufstellung von Vorprojekten nach einheitlichen Grundsätzen in wasser- u. energiewirtschaftlicher Hinsicht, namentlich in bezug auf die auszunützenden Wassermengen, die Energieproduktion, die Anlagekosten und die Jahreskosten der Erzeugung; der dritte Teil gibt die eigentlichen Richtlinien samt den Grundsätzen für die Bewertung der Energieerzeugung.

Das neu eingeführte Bewertungsverfahren besteht in der Gegenüberstellung des Marktwertes der gesamten jährlichen Energieproduktion zu den Jahreskosten des Werkes. Der hierdurch gebildete Quotient (Marktwert der Energie durch Jahreskosten) wird Bewertungs-Quotient genannt. Nach ihm werden die zu vergleichenden Projekte beurteilt. Indessen sind aber die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen der Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie derart vielgestaltig, dass, wie bereits gesagt, von einem einheitlichen Energiemarkt nicht gesprochen werden kann. Die angenom-

menen Marktpreise sind Berechnungswerte, welche einem «konventionellen» Energiemarkt entnommen worden sind.

Bei der Berechnung des Marktwertes der von einem Kraftwerk erzeugbaren Energie wird unterschieden zwischen der *Minimalerzeugung*, welche auch im wasserarmen Jahr vorhanden ist, und der *Mehrerzeugung*, welche darüber hinaus im Durchschnittsjahr möglich ist. Für diese beiden Hauptkategorien der erzeugten Energie wird ferner für jeden Monat nach Werktags-Tagesenergie sowie Nacht- und Wochenendenergie unterschieden. Der auf diese Art gebildete Marktwert ist also auch konventioneller Natur, gleich übrigens, wie der Betrag der Jahreskosten, welcher für jede Werkgattung unter bestimmten Annahmen berechnet wird. Im Prinzip ist das Verfahren das selbe, wie dasjenige, das vom Konsortium Kraftwerke Hinterrhein bereits in seiner «Berichterstattung an das Eidg. Post- und Eisenbahndepartement» vom 25. Okt. 1944 benutzt wurde.

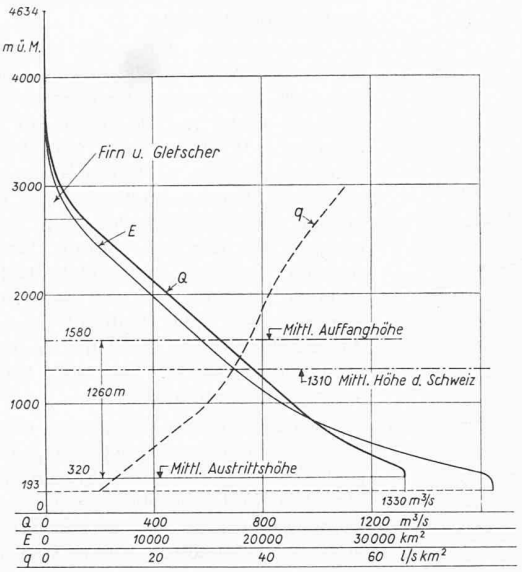

Bild 3. Ermittlung der Rohwasserkraft P aller fliessenden Gewässer in der Schweiz im Durchschnitt vieler Jahre. Total: Q = 1330 m³/s; H = 1260 m; P = 16,4 Mio kW

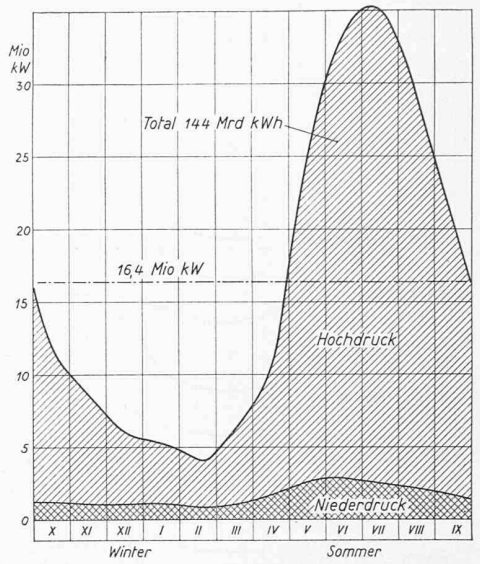

Bild 4. Monatliche Verteilung der Rohwasserkraft aller fliessenden Gewässer der Schweiz im Durchschnitt vieler Jahre

Prof. Dr. *B. Bauer* hat zusammen mit Ing. *R. J. Oehler* ein ähnliches Verfahren angewendet[1]), das sich jedoch insofern vom Verfahren der genannten Kommission unterscheidet, als Prof. Bauer den Quotienten Marktwert durch Produktionskosten als Masstab der Eigenwirtschaftlichkeit von Kraftwerken bezeichnet. Im übrigen verwendet Prof. Bauer als Jahr geringster Wasserführung eines auf Grund einer Wahrscheinlichkeitsrechnung bestimmtes konventionelles Minimaljahr; er rechnet also mit minimalen Wassermengen gleicher Wahrscheinlichkeit des Auftretens für die ganze Schweiz, im Gegensatz zur Bewertungs-Kommission, welche das für die ganze Schweiz wasserarme hydrographische Jahr 1920/21 zugrunde legt.

Es würde eine grosse Vereinfachung bedeuten, wenn von nun an alle Projekte auf Grund dieser Richtlinien aufgestellt werden könnten, die ebenso für Niederdruck- als auch für Hochdruckwerke gelten; allerdings vermögen diese Richtlinien nur für den Vergleich von Projekten unter sich einen zuverlässigen Masstab zu geben, nicht aber für die Eigenwirtschaftlichkeit der einzelnen Projekte. Sie vermitteln aber doch in der Gesamtfrage der Wirtschaftlichkeit von Wasserkraftanlagen einen viel besseren Einblick und liefern somit einige wertvolle Anhaltspunkte für die allgemeine Beurteilung der Ausbauwürdigkeit von Kraftwerkprojekten.

IV. Ueber die Grösse der verfügbaren Wasserkräfte

Wie bereits oben unter Abschnitt II festgestellt wurde, ergaben die bisherigen Schätzungen der verfügbaren Wasserkräfte stark voneinander abweichende Zahlen. Es dürfte daher zunächst die Frage nach der oberen Grenze der gesamten Rohwasserkraft aller schweizerischen Gewässser interessieren. Das Eidgenössische Amt für Wasserwirtschaft hatte im Jahre 1939 für die Landesausstellung in Zürich diese Rohwasserkraft ermittelt. Es benützte hierzu die hypsographischen Karten der Schweiz und die gemessenen Werte des mittleren Jahresabflusses in den verschiedenen Höhenlagen (Bild 3). Daraus lässt sich eine mittlere Abflussmenge von 1330 m³/s und ein mittleres Bruttogefälle von 1260 m ableiten, was einer mittleren Leistung von 16,4 Mio kW, bzw. einer theoretischen jährlichen Energiemenge von 144 Mrd kWh im Durchschnitt vieler Jahre entspricht.

Wie aus Bild 4 hervorgeht ist diese Rohwasserkraft auf die verschiedenen Monate des Jahres ungünstig verteilt: Der kleinste Wert im Februar beträgt nur rd. ein Zehntel des Maximums im Juli.

[1]) SBZ 1948, Nr. 38, S. 517*.

Von dieser gewaltigen Rohenergiemenge von 144 Mrd kWh pro Jahr ist aber nur ein kleiner Teil praktisch verwertbar. Im Jahre 1949 betrug die mittlere jährliche Produktionsmöglichkeit aller bestehenden Kraftwerke rd. 12 Mrd kWh; im Bau befinden sich heute Kraftwerke, die im Maximum rd. 2,3 Mrd kWh jährlich werden erzeugen können. 10% der Rohwasserkräfte sind also heute bereits ausgebaut oder im Bau begriffen. Ich werde Ihnen in meinen weiteren Ausführungen zeigen, dass die noch ausbauwürdigen verfügbaren Wasserkräfte ungefähr so gross sind, wie die bereits ausgebauten und im Bau begriffenen. Es ergibt sich daraus die Feststellung, dass die gesamten ausbauwürdigen Wasserkräfte der Schweiz rd. 20% der in der Natur vorhandenen Rohwasserkräfte betragen. (Forts. folgt)

Nacheiszeitliche Seespiegelschwankungen und Strandlinienverschiebungen am Zugersee

Von Dipl. Ing. MAX BÜTLER, Cham DK 551.481.1(494.33)

Das Problem vorzeitlicher Seespiegelschwankungen interessiert, rein wissenschaftlich gesehen, besonders die Geologie, die Hydrologie, die Klimatologie und die Archäologie. Von der praktischen Seite her steht die Ingenieurwissenschaft damit im engsten Zusammenhang, weil die Strandlinienverschiebungen z. T. nicht tragfähige Baugründe wie Lehm-Seekreide-Moorböden bedingen, z. T. gefährliche Nebenerscheinungen aufkommen lassen wie Gleitflächen, ungleiche Senkungen, variable Stauverhältnisse, hydrostatische Druckschwankungen, wandernde Brandung, Vibrationen.

So ist die kunstgerechte Ausführung von Tiefbauten wie Brücken, Dämme, Düker, Schächte, Quaibauten, Moorkanäle, Strandsiedlungen, ja selbst der Ertrag von Kulturflächen, direkt von der Lage der Strandlinie abhängig. Die Bedeutung dieser Frage wird noch klarer, wenn man sich der Senkungen, Gleitbewegungen und Rissbildungen an alten und modernen Tief- und Hochbauten, sowie der Uferschlipfe bewusst wird.

Die grossen Wasserspiegelschwankungen der urzeitlichen Seen waren teilweise, sogar vorwiegend Klimazeiger, weil die Wasserspiegellagen mit den Schwankungen der Niederschläge parallel gingen. Sogar der regulierte, moderne Zugersee folgt heute noch den Schwankungen der Schweizergletscher, bzw. den Klimaschwankungen, also den Schwankungen der Sonnenflecken.

Anderseits ist jeder Seespiegel von der Höhenlage der Abflusschwelle abhängig; er ist also Funktion der natürlichen Verlandung des Abflusses und seiner Stauhaltung.

Die Wasserspiegel der meisten alpinen Randseen und der Juraseen sind nach Ende Eiszeit (Magdalénien) gesunken. Doch haben ihre Seespiegel in der Folge unzählige Zwischenschwankungen, Hebungen und Senkungen erfahren. Erst seit etwa der Römerzeit machte sich die künstliche Stauhaltung geltend.