Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 15 (1924)

Heft: 1

Artikel: Ueber die Verhältnisse des Energieabsatzes aus den hydro-elektrischen Werken in der Schweiz und ihren Zusammenhang mit der Veranlagung solcher Werke

Autor: Wyssling, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061812

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: 02.10.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich,
im Januar dazu die Beilage „Jahresheft".

Alle den **Inhalt** des „Bulletin" betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins
Seefeldstrasse 301, Zürich 8 — Telephon: Hottingen 7320,
welches die Redaktion besorgt.

Alle Zuschriften betreffend **Abonnement, Expedition** und **Inserate** sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.
Stauffacherquai 36/38 Zürich 4 Telephon Selnau 7016

Abonnementspreis (für Mitglieder des S. E. V. gratis)
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft:
Schweiz Fr. 20.—, Ausland Fr. 25.—
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 2.— plus Porto.

Ce bulletin paraît mensuellement. — „L'Annuaire" est distribué comme supplément dans le courant de janvier.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la **matière** du „Bulletin" au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Seefeldstrasse 301, Zurich 8 — Telephon: Hottingen 7320
qui s'occupe de la rédaction.

Toutes les correspondances concernant les **abonnements, l'expédition** et les **annonces,** doivent être adressées à l'éditeur

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Stauffacherquai 36/38 Zurich 4 Telephon Selnau 7016

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A. S. E.), y compris l'Annuaire Fr. 20.—
pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 2.—, port en plus.

XV. Jahrgang
XVe Année

Bulletin No. 1

Januar
Janvier 1924

Ueber die Verhältnisse des Energieabsatzes aus den hydroelektrischen Werken in der Schweiz und ihren Zusammenhang mit der Veranlagung solcher Werke.

Auszug aus Vorträgen,
gehalten von Prof. Dr. *W. Wyssling*, im Kurse des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins am 4. und 5. November 1923.[1])

Der Vortragende behandelt zunächst die Eigenschaften der schweizerischen Wasserkräfte und untersucht darauf den zeitlichen Verlauf des Leistungsbedarfes, seine Zusammensetzung, die Möglichkeiten seiner Beeinflussung und stellt das bisher erreichte mit Bezug auf die Ausnützung der Wasserkräfte durch zahlreiche Erfahrungszahlen und Kurven dar, behandelt die Abfallenergie und den Energieexport, die Bestimmung der Ausgleichsspeicher und erläutert alle diese Verhältnisse an einem Beispiel, mit Nutzanwendungen für den zweckmässigen Ausbau der Werke.

Le conférencier indique d'abord les caractéristiques des cours d'eau suisses, et explique comment se composent les besoins de puissance électrique et comment ils varient au cours de la journée et de l'année. Il montre à l'aide de nombreux chiffres et diagrammes dans quelle mesure il a été possible d'exercer une influence sur cette variation et d'améliorer ainsi l'utilisation de l'énergie dont nous disposons.

Il parle ensuite des excédents d'énergie et de leur exportation, et explique à l'aide d'un exemple la manière de déterminer le volume des bassins d'accumulation et la puissance à installer sur une rivière à débit variable.

Einleitung.

Soweit möglich soll im nachstehenden versucht werden, zu den heute in der Schweiz sehr aktuellen Fragen der Ausnützung der Elektrizitätswerke und des weiteren Ausbaues unserer Wasserkräfte einen Beitrag zu liefern, insbesondere was

[1]) Die Vorträge waren für eine Zuhörerschaft von Mitgliedern der verschiedensten im Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein vertretenen Berufe und Stellungen bestimmt. Dieser Auszug umfasst von den Vorträgen nur einzelne Teile, welche die Redaktion des „Bulletin" ihrem Leserkreis glaubt vorführen zu sollen. Zahlreiche graphische Darstellungen und ausführlichere Tabellen, die den Vorträgen dienten, konnten nicht reproduziert werden. Wo nötig, deuten in diesem Niederdruck verbindende Bemerkungen in kleiner Schrift den Inhalt weggelassener, grösserer Abschnitte an. Eine vollständigere Niederlegung des Vorgetragenen enthalten *erweiterte Sonderabzüge,* die beim Generalsekretariat des S. E. V. zu haben sind (siehe Mitteilung auf Seite 38).

den *Zusammenhang zwischen den Möglichkeiten des Absatzes der Energie und den sich daraus für die Ausnützung und die Einrichtung der hydro-elektrischen Werke* ergebenden Folgerungen betrifft.

Die Eigenschaften unserer natürlichen Wasserkräfte an sich

kommen für das Problem zuerst in Betracht. Genugsam bekannt ist, dass der Wasserfluss unserer Gewässer durch das Jahr sehr stark veränderlich ist und dass sich, abgesehen von Unterschieden von Jahr zu Jahr, innerhalb jeden Jahres im allgemeinen *eine* Hauptsteigerung und *eine* grosse Senkung der fliessenden Wassermengen vollzieht, also eine „Hauptschwingung" mit der Periodendauer gleich einem Jahr besteht. Dabei findet sich für unsere schweizerischen Gewässer (im Gegensatz zu solchen etwa im Tiefland oder im Süden) der maximale Wert der Wassermengen im Sommer und der minimale im Winter, im allgemeinen um Ende Februar. Diese *Hauptschwingung* stellt aber nur die Veränderlichkeit etwa der *Tagesmittel* dar. Genauer betrachtet zeigen sich fast überall kleinere Veränderungen des Wasserflusses durch die Stunden des Tages, hervorgerufen durch atmosphärisch-topographische Einflüsse (z. B. Besonnung) oder durch menschliche Eingriffe (z. B. Oberliegerwerke). Diese „Oberschwingungen" haben aber verhältnismässig kleine Amplitude. Andere Abweichungen, deren Amplituden sehr beträchtlich und vergleichbar mit derjenigen der Hauptschwingung werden können, treten in unregelmässiger Weise durch atmosphärische Einflüsse ein, wie z. B. durch Gewitter, Föhn usw. (Es wird ein Diagramm skizziert, das diese Verhältnisse erläutert.) Ein Punkt, der gelegentlich zu wenig beachtet wird, ist folgender: Haben die erwähnten Oberschwingungen für die täglich zur Verfügung stehenden *Arbeits*mengen im allgemeinen keinen sehr grossen Einfluss, so dürfen sie doch oft keineswegs vernachlässigt werden mit Bezug auf die momentan zur Verfügung stehenden *Leistungen.*

Es ist wichtig, sich die *zahlenmässigen* Verhältnisse wenigstens der Hauptschwingung etwas vor Augen zu halten. Folgende typische Beispiele, der Wirklichkeit entnommen, mögen dies in graphischer Darstellung tun, welche sehr augenfällig den Verlauf der Tagesmittel der Wassermengen durch das Jahr für vier charakteristische Flüsse zeigt. Des Vergleichs halber sind die Mengen alle *relativ* in Prozenten desselben Jahresmittels aufgetragen (Fig. 1).

Diese Beispiele zeigen, dass wenn man das Jahresmittel der Wassermengen dieser Gewässer als 100% annimmt, ein *Rückgang* des Wasserflusses *im Winter* eintritt auf

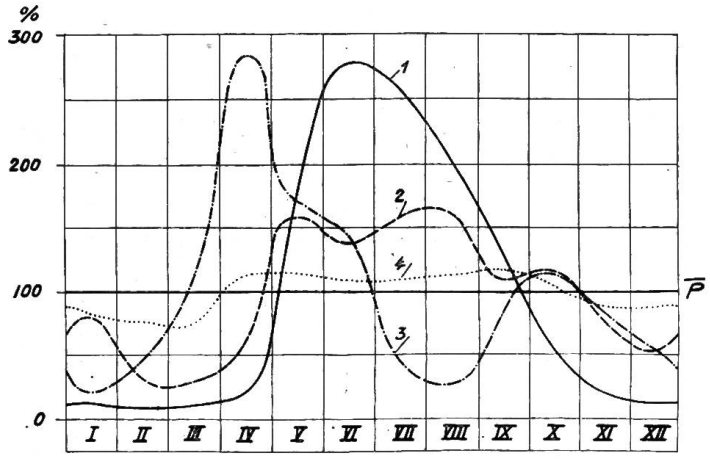

Fig. 1

Verlauf durch das Jahr der Leistung verschiedener Wasserkräfte in % des Jahresmittels.

Kurve 1 = Hochgebirgsfluss ohne künstliche Akkumulierung,
„ 2 = Mittelgebirgsfluss aus gut speicherndem Boden,
„ 3 = Mittelgebirgsfluss aus schlecht speicherndem Boden,
„ 4 = Fluss aus natürlichem See.

10 % bei dem angeführten Hochgebirgsfluss,

25 % bei beiden angeführten Mittelgebirgsflüssen,

70 % bei dem angeführten Fluss aus grossem natürl. See,

während der *maximale* Wasserfluss ansteigt auf

280% beim Hochgebirgsfluss,

280% beim Mittelgebirgsfluss in schlecht speichernd. Boden,

160% beim Mittelgebirgsfluss in gut speicherndem Boden,

120% beim Fluss aus dem See.

Dabei ist für die Verwertung wichtig, dass das *Minimum* bei

allen diesen Typen ungefähr auf die Wende zwischen *Januar und Februar* fällt. Für die Ausnützung von geringerer Bedeutung ist, dass der Maximalfluss je nach Typus zwischen April und August liegt.

Bei konstanter Gefällshöhe stellt der Verlauf der Wassermengen prozentual auch unmittelbar den Verlauf der *verfügbaren Leistungen* (zunächst der Brutto-Leistung, aber ungefähr auch in PS ab Turbinen oder in kW ab Generatoren) dar. Dies kann mit genügender Genauigkeit ohne weiteres für Hochdruckwerke gelten, während bei Niederdruckwerken die bei Hochwasser auftretenden, allerdings meist nicht lange andauernden Erniedrigungen des Gefälles die verfügbare Leistung gegenüber der Wassermenge gewaltig herunterdrücken können.

Die wirklich verfügbare Leistung eines Werkes ist dabei selbstverständlich nach oben ausserdem begrenzt durch die *Ausbaugrösse,* d. h. das Mass der möglichen Wasserführung aller daran beteiligten Einrichtungen.

Um einen richtigen Ueberblick zu gewinnen, sollen wir aber nicht bloss die Verhältnisse einzelner Wasserkraftwerke betrachten, sondern möglichst die *Gesamtheit.* Denn es handelt sich heute um das Zusammenwirken aller Wasserkraftwerke des Landes.

Die *zeitlichen Schwankungen der totalen, im Lande verfügbaren Werksleistungen* geben uns vor allem wichtige Auskunft über das, was im Wasserkraftbau zu tun ist. Für einen Ueberblick im grossen Ganzen dürfen wir ohne allzu grossen Fehler annehmen, dass die minimale Wasserführung bei allen bestehenden Werken zeitlich ungefähr zusammentreffe. Denn es gibt einen solchen Zeitpunkt, zu welchem die Wasserführung bei fast allen Werken wenig von der minimalen entfernt ist. Wenn wir auch für die Maximalleistungen der verschiedenen Werke das zeitliche Zusammenfallen annehmen, so begehen wir hierbei einen etwas grösseren Fehler, aber er wird uns das Gesamtbild für die nachfolgenden Betrachtungen doch nicht wesentlich fälschen. Unter diesen Annahmen benütze ich nun die Angaben der ausführlichen Statistik über die schweizerischen Elektrizitätswerke, welche als offizielle vom Starkstrominspektorat geführt wird, auf Grund der Angaben, zu denen die Werke laut Elektrizitätsgesetz verpflichtet sind. Ich habe daraus eine Zusammenstellung für die etwas über 80 grossen und hauptsächlichen Werke, die den weitaus grössten Teil der Energie liefern, gemacht und zwar zunächst aus der Statistik für das Jahr 1919 (welche momentan die letzte durchgehend nachgeprüfte ist) und diese durch die seither gemachten Erhebungen über die neuen grossen Werke bis Ende 1923 ergänzt.

Diese Zusammenstellung gibt folgendes Bild:

Zusammenstellung der ungefähren wirklich verfügbaren Leistungen (in PS ab Turbinen) für die Gesamtheit der grösseren[2]) hydro-elektrischen Werke der Schweiz nach Massgabe der Wasserleistung und der Ausbaugrösse.

Zusammengestellt unter Benützung der genauen Statistik des Starkstrominspektorates des S. E. V. Stand Ende 1919.

	Im Sommer	Im Winter ohne Berücksichtigung der Leistung aus vorhandenen Speichern	Im Winter mit Berücksichtigung der Leistung aus vorhandenen Speichern	Manko Winter gegen Sommer, auch wenn die Speicher voll arbeiten
	PS	PS	PS	PS
Ende 1923 ca.	900 000	ca. 290 000	ca. 410 000	ca. 490 000
(Prozentual)	(100 %)	(32 %)	(46 %)	(54 %)
Nach Einbezug des Wäggitalwerkes (nur Winterlieferung) ca.	900 000	ca. 290 000	ca. 540 000	ca. 360 000
(Prozentual)	(100 %)	(32 %)	(60 %)	(40 %)

[2]) In diese Zahlen sind die sehr vielen *kleinen* Werke nicht einbegriffen worden; sie würden zwar die angegebenen Summen vergrössern, die zur Darstellung gebrachten prozentualen Verhältnisse aber nicht verbessern. Ebenso sind grosse Werke für rein elektrochemischen Betrieb nicht inbegriffen,

Diese Zahlen zeigen, dass bis zur Erstellung des Wäggitalwerkes in der Schweiz im ganzen betrachtet im *Winter* bei voller Benützung der vorhandenen Speicherungen mit einem Rückgang der verfügbaren Leistung der hydro-elektrischen Werke auf *unter die Hälfte* derjenigen zu rechnen ist, welche die Werke im Sommer effektiv in ihren vorhandenen Ausbaugrössen verfügbar haben. Die in den *Gewässern selbst* verfügbare Sommerleistung, welche die Ausbaugrösse, d. h. die Leistungsfähigkeit der Maschinerie und Zuleitungen meistens sehr bedeutend übertrifft, wäre natürlich noch viel grösser. (Nicht zu verwechseln ist diese Verhältniszahl der Leistungen mit derjenigen der Energien; darin ist der Ueberschuss im Sommer prozentual ein viel erheblicherer.)

Mit den, Anfang 1923 bestandenen Wasserspeichern ist bereits eine wesentliche Verbesserung erzielt, da ohne dieselbe die Leistung im Winter etwa auf ein Drittel der verfügbaren Sommerleistung zurückginge. Allein dieser bisherige Speicherausgleich war, wie ersichtlich, noch viel zu gering. Rechnet man, dass, wie beabsichtigt, aus dem Werke Wäggital im Sommer gar nichts abgegeben werde, sieht man also dessen verfügbare Leistung im Sommer als Null an, so zeigen die Zahlen, dass mit der Wäggitaleranlage die im Winter verfügbare Leistung nun wenigstens auf 60 % der Sommerleistung gestiegen ist. Eine genügend gute Ausnützung selbst nur der *bestehenden* Anlagen ist aber auch damit noch nicht erreicht. Dies wäre erst der Fall, wenn die 40 % Wintermanko an Leistung auch noch durch Akkumulierwerke ausgeglichen werden könnte.

Aus diesen Zahlenverhältnissen ergibt sich schlagend als ein erster Schluss unserer Betrachtungen:

Solange und soweit wir nicht wesentlich grössere Leistungen im Sommer verwerten können als wir sie im Winter bedürfen (und das Umgekehrte ist, wie noch zu zeigen, heute der Fall) *so muss die allgemeine Richtlinie unserer Wasserkraftverwertung heute darauf ausgehen, zunächst Werke zu erstellen, welche möglichst hohe Winterleistungen erzeugen* und die Sommerleistungen womöglich gar nicht oder unwesentlich vermehren, dagegen die *Winterleistungen durch Akkumulierungen bedeutend zu steigern fähig sind.* Selbstverständlich ist auch bei Werkprojekten dieser Art vorerst die Wirtschaftlichkeit zu untersuchen.

Der zeitliche Verlauf des Bedarfes an Leistung,

so wie er heute ist und wie die allfälligen Möglichkeiten seiner Entwicklung liegen, ist nun als zweiter Hauptpunkt zu untersuchen.

Darüber ist wohl ziemlich allgemein bekannt, dass die Verhältnisse des Konsums gegenüber der Disponibilität ungünstig sind. Auch die vom Bedarf *beanspruchten* Leistungen verändern sich in jedem Jahre wieder ähnlich und vollziehen also eine Hauptschwingung mit der Periode eines Jahres, aber Natur (Besonnung, Temperatur usw.) und menschliche Gewohnheiten führen zu höheren Bedarfen an Leistung im Winter und geringern im Sommer, der natürlichen Wasserleistung bei uns entgegengesetzt.

Das nachstehende Diagramm (Fig. 2) zeigt deutlich diesen Gegensatz. Es stellt den Verlauf der beanspruchten Leistungen in ihrer „Hauptschwingung" für ein älteres Lichtwerk und ein modernes Ueberlandwerk, sowie denjenigen der verfügbaren Leistung eines Gebirgswassers und eines Seeausflusses im gleichen Masstab dar, und zwar für dasselbe Jahresmittel. Die verfügbare Jahresenergie jedes dieser Flüsse ist also der von jedem dieser Werke beanspruchten *gleich,* kann aber trotzdem den Bedarf bei weitem nicht decken wegen des zeitlich ganz verschiedenen Verlaufs der Leistungen.

---

da diese als für die Deckung des Allgemeinbedarfs nicht zur Verfügung stehend, für diese Verhältnisse nicht mitzurechnen sind.

Aus diesen Gründen sind diese Summen niedriger als in verschiedenen veröffentlichten Angaben. Dagegen sind sie bezüglich des Verhältnisses der wirklich *verfügbaren Minimal- und Maximal-*Leistungen so genau als zu ermitteln möglich.

Auch beim Verlauf der Leistungen des Bedarfs oder Konsums zeigen sich gewissermassen „Oberschwingungen", die sich jeden Tag ungefähr wiederholen, aber an der Wochenwende etwas anders sind, also den Tag und die Woche als Periodendauer haben. Die Amplituden dieser Oberschwingungen sind aber, im Gegensatz zu denjenigen bei den Wasserleistungen, *sehr gross,* erreichen diejenigen der Haupt-(Jahres-)Schwingungen oder überschreiten sie. Diesem Umstand ist bei Wasserkraftverwertung alle Beachtung zu schenken.

Eine übersichtliche Darstellung des Verlaufs der beanspruchten Leistung durch das *Jahr* kann wegen dieser starken und raschen Oberschwingungen nur unter Auftragung der *mittleren* Tagesleistungen, noch besser der mittleren *Wochen*leistungen erzielt werden, oder, was auf dasselbe herauskommt, durch eine Darstellung der täglichen abgegebenen *Energie*mengen (Arbeitsmenge = 24 h × mittlere Leistung) in kWh oder PSh. Bei solcher Darstellung darf aber niemals vergessen werden, dass die wirklich vorkommenden Leistungen jeden Tag zeitweise viel höher, zeitweise viel kleiner sind.

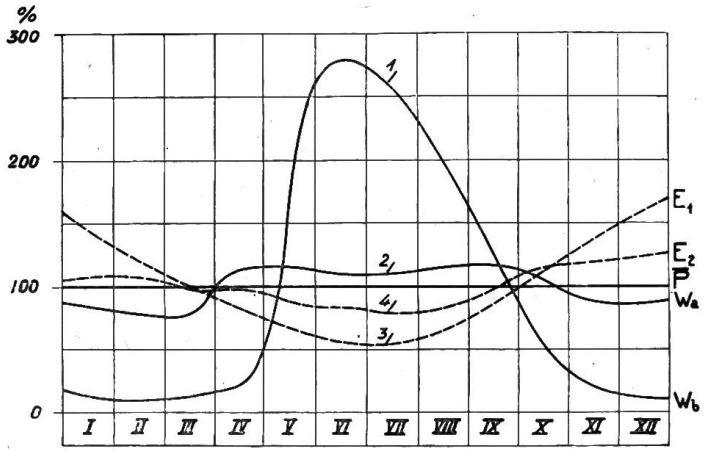

Fig. 2

Verlauf durch das Jahr natürlicher Wasserkraftleistungen und des Leistungsbedarfs von Elektrizitätswerken in % des Jahresmittels.

Kurve 1 = Hochgebirgswasser,
„ 2 = Fluss aus natürlichem See,
„ 3 = Reines Lichtwerk,
„ 4 = Werk für allgemeinen Bedarf.

Die graphische Darstellung ebenso wie die Zahlentabellen (die hier weggelassen sind) zeigen, dass sogar das *Monatsmittel* der Leistung bei einem Elektrizitätswerk, wie sie sich anfangs verhielten („Lichtwerk" von 1893), im Sommer auf etwa 45% des Jahresmittels sinkt und im Winter bis auf über 180 % desselben ansteigt. Bei einem Werk für Allgemeinabgabe, wie solche in neuerer Zeit erzielt wird, fällt die mittlere Monatsleistung im Sommer nun allerdings nur noch auf etwa 80 bis 90 % des Mittels und hebt sich im Dezember noch auf etwa 115 bis 125 % desselben.

Entsprechend den vorerwähnten „Oberschwingungen" sind dagegen die *wirklich* (an Werktagen im Winter, im allgemeinen im Dezember) vorkommenden *maximalen Leistungen* viel höher. Sie erreichten früher bei Lichtwerken 600 bis 800 %, bei der neuzeitlichen Entwicklung unserer Allgemeinwerke noch etwa 200 bis 300 % der mittleren Leistung durch das Jahr.

Solange und soweit mit diesem Verlauf des Leistungsbedarfes gerechnet werden muss, sowie mit Befriedigung desselben durch Wasserwerke die den Zufluss so benützen wie er natürlicherweise ist, bleibt die Ausnützung der verfügbaren Wasserkraftenergie eine ausserordentlich schlechte. Denn es darf alsdann die in irgendeinem Moment beanspruchte *Leistung* nicht grösser sein als die im *gleichen* Moment verfügbare *Leistung* der Wasserkraft, also vor allem die geforderte Maximalleistung, welche etwa im Dezember Werktag abends beansprucht wird, nicht höher als die dannzumal nicht weit von ihrem *Minimum* entfernte verfügbare Wasserkraftleistung.

Die ganze Entwicklung der Ausnützung unserer Wasserenergie ging daher und muss auch weiterhin ausgehen auf die *bessere zeitliche Anpassung der begehrten und der verfügbaren Leistungen.*

In erster Linie wird man an eine entsprechende *Verbesserung des zeitlichen Verlaufs der beanspruchten, der abzugebenden Leistungen* denken.

Dies ist eine Hauptaufgabe der *Elektrizitätswirtschafter,* als welche ein Teil der *Elektroingenieure* sich betätigt.

Betrachten wir daher zunächst

die Möglichkeiten und das Mass der Verwendung hydro-elektrischer Energie für die verschiedenen Zwecke.

Technisch bestehen bekanntlich für keine Energieart weniger Schwierigkeiten der Umwandlung in andere Gebrauchsformen, als für die elektrische Energie. In diesen Eigenschaften liegt ja der Grund der enormen Verwendung der Elektrizität als Energieübermittler. Die *Wirtschaftlichkeit* ist es daher noch, die massgebend und zu prüfen ist.

Hierfür ist *der (relative) Preis der verschiedenen zu erzielenden Energieformen* ausschlaggebend, der sich bei anderer als hydro-elektrischer Erzeugung einstellt.

(An dieser Stelle wurden in den Vorträgen die Verhältnisse der Gestehungskosten und des relativen Bedarfs der verschiedenen Gebrauchsenergieformen nachgewiesen, die hier als bekannt vorausgesetzt werden dürfen, ebenso wie die *Wert-Reihenfolge: Licht, mechanische Energie für Kleinmotoren, Kleinbetriebswärme [Kochen usw.], Grossmotorenenergie, Kleinraumheizung, Industriewärme.)*

Die Deckung des Bedarfs an einer bestimmten Energieform wird selbstverständlich um so eher und vollständiger aus hydro-elektrischer Energie erfolgen können, je höher der „relative Wert" jener Energieform nach vorstehender Reihe ist.

Somit ergibt sich, dass die *Bedarfsdeckung durch hydro-elektrische Energie um so aussichtsreicher* und wahrscheinlicher ist, *je weiter oben in der vorstehenden Reihe* jene Energieform steht.

In diesen Umständen liegt der innere Grund für die bekannten Tatsachen, dass die Elektrizitätswerke mit der Abgabe elektrischen Lichts ihre Tätigkeit begannen, dass man dann auf elektrischen Kleinmotorenbetrieb überging und erst später für Grossmotorenbetrieb „konkurrenzfähig" wurde, endlich die Wärmeabgabe erst mit besonders billiger Wasserkraft und bestentwickelter Technik möglich wurde.

Sind die Möglichkeiten der Abgabe bestimmter Energieformen im allgemeinen darnach bekannt, so muss weiter

die besondere Beeinflussung der Konsumverhältnisse durch jede einzelne Energieverwendungsart

studiert werden, namentlich mit Rücksicht auf Veränderungen, welche die Förderung bestimmter Energieabgaben bringen kann.

Die Abgabeverhältnisse der einzelnen Energieverwendungsarten

müssen hierzu sorgfältig untersucht werden. Als allgemein bekannt darf vorausgesetzt werden, dass und in welcher Art etwa die im ganzen abzugebende Leistung (in kW) jedes Elektrizitätswerkes zeitlich schwankt, in ganz besonders starkem Masse durch die Stunden jedes Tages.

Dieser zeitliche Verlauf ist aber im allgemeinen für jede Verwendungsart ein wesentlich anderer. Er wird einerseits durch unveränderliche Naturvorgänge und anderseits durch menschliche Gewohnheiten bewirkt; die letztern lassen sich zum Teil, aber im allgemeinen nur wenig oder schwer, verändern. In erster Linie seien betrachtet:

Die Schwankungen des Leistungsbedarfes der verschiedenen Verwendungen durch die Stunden des Tages.

Der Vortragende erläutert diese Verhältnisse eingehend anhand von etwa einem Dutzend Diagrammen, Kurven des Tagesverlaufs der Leistung für die verschiedenen Energiearten und dessen Grundlagen. Der Verlauf der Leistungen für *Beleuchtung* (zusammengesetzt aus *Strassen-, Arbeits-, Wohnungs-* und *„Vergnügungs"*-Licht), für *Kochstrom, städtische Strassenbahnen, Motoren* für Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft, sowie für die *Raumheizung*, werden in ihrem charakteristischen Verlauf durch die Stunden des Tages einzeln und mit den wichtigsten Zahlen behandelt.

Ferner wird die *Bedeutung und Anwendung der Einzelkurven der Tagesleistung* dargelegt, für die synthetische Erstellung des kombinierten Tagesdiagramms einer bestimmt zusammengesetzten Allgemeinabgabe, für die Analyse eines vorgekommenen Leistungsverlaufs, die Vorausbestimmung der Aenderung eines solchen Ver-

laufs durch bestimmte Neuabgaben und für die Berechnung des Inhalts von Tagesspeichern.

Sehen wir uns nun an, wie in *Auswirkung der besprochenen Einzeldiagramme* sich bisher gestalteten

die zahlenmässigen Verhältnisse des Verlaufes des kombinierten Leistungsbedarfes durch den Tag.

Im allgemeinen ist dieser Verlauf für *alle* Werke charakterisiert durch durchgehend geringe Werte der beanspruchten Leistung während der „Spätnacht", d. h. zirka von 21 oder 22 Uhr bis zirka 5 oder 6 Uhr, durch eine kurz dauernde Maximalleistung die meistens am Abend, bei einigen Werken am Vormittag auftritt, und eine kurzzeitige Einsenkung über die Mittagszeit. Die nachstehenden Diagramme verschiedener Werke zeigen alle diese gemeinsamen Eigenschaften, jedoch in der verschiedensten Form, namentlich mit Bezug auf die relativen Werte der maximalen, minimalen und mittleren Leistung. Die Unterschiede sind durch die typisch verschiedenen Abgabeverhältnisse bedingt (Fig. 3 und 4).

Trägt man, wie in diesen Schaubildern ausgeführt, die 24 Stunden des Tages als Abszissen, die Leistungen als Ordinaten auf, so stellt selbstverständlich die Fläche zwischen der Kurve und den Achsen die

Tagesarbeit (Tagesenergie) $= \int_0^{24} P_c \, dt = \overline{P}_c \times 24$ dar, wobei

$\overline{P}_c =$ *„mittlere" Tagesleistung* zu bezeichnen wäre.

Die *maximale* erforderliche Tagesleistung $= P_{cm}$ ist im allgemeinen *bedeutend* grösser als die mittlere. Man bezeichnet das Verhältnis

$$\sigma = \frac{P_{cm}}{\overline{P}_c}$$

als *„Schwankungsverhältnis"* (hier: des Tages).

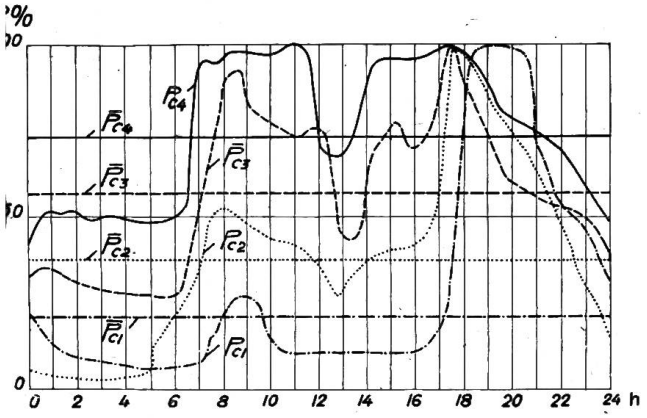

Fig. 3

Verlauf durch die Tagesstunden und Mittelwerte der Leistung für verschiedene Elektrizitätswerke am Tage maximaler Belastung

Kurve P_{c1} = Reines Lichtwerk, 1893,
„ P_{c2} = Dasselbe Stadtwerk (Licht und Motoren), 1901,
„ P_{c3} = Stadtwerk mit gemischter Abgabe, davon erheblich Kochstrom, 1919,
„ P_{c4} = Ueberlandwerk mit besonderer Ausnützung der Tagesleistungen, 1921,
$\overline{P}_{c1} \div \overline{P}_{c4}$ = Mittelwerte der Kurven $P_{c1} \div P_{c4}$.

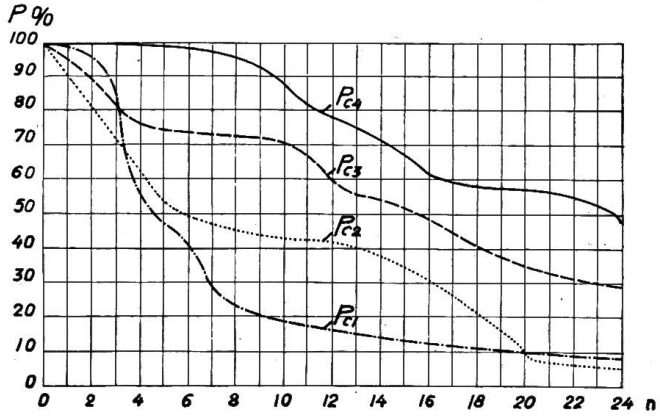

Fig. 4

Dauerkurven*) der Leistung derselben Elektrizitätswerke für den Tag maximaler Belastung.

*) Siehe Seiten 16 und 17.

Das Schwankungsverhältnis bezieht sich immer auf einen bestimmten Zeitabschnitt, hier also den Tag. Es liefert keine Bestimmung, aber eine gewisse Charakterisierung des Verlaufes der Kurve und insbesondere ein Mass der *Ausnützung* der beanspruchten Leistung.

Da P_{cm} die zur Verfügung zu haltende Leistung ist, also $24\,h \times P_{cm}$ diejenige Arbeit, welche diese verfügbare Leistung in einem Tage erzielen könnte, $24\,h \times \bar{P}_c$ aber die wirklich im Tag geleistete Arbeit ist, so gibt der *reziproke Wert des Schwankungsverhältnisses unmittelbar das Mass der Ausnützung der beanspruchten Leistung,* denn es ist

$$\frac{\bar{P}_c \times 24}{P_{cm} \times 24} = \frac{1}{\sigma}.$$

Dabei ist stets $\sigma < 1$.

Je näher das Schwankungsverhältnis an die Zahl 1 herankommt, desto besser ist die Ausnützung. Folgende Beispiele, ermittelt aus den obigen Leistungsdiagrammen (Fig. 3) für die *Winterwerktage* von 4 typischen, verschiedenen Werken, geben uns einen Begriff von den Zahlen der Wirklichkeit:

Typische Werte des Schwankungsverhältnisses für Wintertage bei:		σ
einem reinen Lichtwerk	1893	4,5
demselben Stadtwerk mit Licht und Motoren	1901	2,64
einem Ueberlandwerk mit gemischter Abgabe	1913	1,9
einem Stadtwerk mit gemischter Abgabe und ziemlich viel Kochstrom	1919	1,73
einem Ueberlandwerk mit besonderer Ausnützung der Tagesleistungen	1921	1,35

Diese Zahlen erweisen die grosse Verschiedenheit dieser Verhältnisse und zeigen weiter, dass an sich immer noch bessere Ausnützung der beanspruchten Leistungen, selbst durch die stärkst belasteten Winterwerktage, denkbar ist. Sie beweisen aber auch, dass seit den ersten Zeiten unserer Elektrizitätswerke ein ganz *bedeutender Fortschritt* eingetreten ist, ergeben doch die angegebenen extremen Werte eine Erhöhung der Ausnützung der an den Wintertagen beanspruchten Wasserkraftleistung *vom einfachen auf das dreieinhalbfache.*

Die Natur der Vervollkommnung lässt sich beispielsweise aus der sukzessiven Veränderung der Leistungsdiagramme eines Winterwerktages bei den Werken von 1893 bis 1921, welche die Fig. 3 darstellt, genau erkennen.

Die Mittel, mit denen Verbesserungen möglich geworden,

wurden in den Vorträgen ausführlicher besprochen: Vermehrung der Energieabgabe für Motoren, Abgabe billigerer Energie für Zeit der Tageshelle („Tageskraftmotoren"), Sperrzeiten, dann Doppel- und Mehrfachtarif, Kochstromabgabe, billigerer Spätnachtstrom für Hausboiler, Bäckeröfen, Wohnungsakkumulieröfen, Wasserpumpwerke, besondere Industrien.

Tarifmassnahmen. Der gewaltige Erfolg, der sich in der Veränderung der Form der Kurven und der Zahlen besonders im letzten Dezennium manifestiert, ist zugleich die Rechtfertigung für die entsprechenden, von Unverständigen oft angefochtenen Tarifmassnahmen, welche alle auf sehr stark veränderliche Preise pro kWh, sei es nach der Tageszeit oder nach der Verwendungsart der Energie, ausgehen müssen. So allein kann die an sich mögliche Umstellung der Gewohnheiten der Verbraucher erzielt werden, die dann durch Verbesserung der Ausnützung die entsprechende Herabsetzung aller bezw. der Mittelpreise ermöglicht.

Es stellt sich nun die Frage nach den

Möglichkeiten weiterer Verbesserung der Tagesdiagramme der Leistung.

Die Praxis ergibt etwa folgendes:

Die weitere Vergleichmässigung der beanspruchten Leistung über den ganzen Tag kann vor allem aus noch durch entsprechende Lenkung der *Kleinabgabe* gefördert werden. Manche Elektrizitätswerke haben mit wohldurchdachten Massnahmen, wie z. B. sorgfältiger Anpassung der Sperrzeiten und Umschaltzeiten und der Preisverhältnisse bei Mehrfachtarif Bedeutendes erzielt in der Ausfüllung der „Täler geringen Leistungsverbrauchs", z. T. haben sie sogar in der letzten Zeit dadurch eine

Kompensation des abnehmenden Industriebedarfs erreicht. Gewiss tun nicht alle Werke in dieser Beziehung das Mögliche. Es gibt heute noch Werksleiter, die nicht an die Mehrfachtarife oder Analoges heran wollen, und ganze Gegenden, die sogar noch grösstenteils nicht nach Zählung, sondern zu Jahres-Pauschalbeträgen bedient sind. Auf diese Weise sind die in diesem Punkte möglichen Vervollkommnungen allerdings nicht erreichbar. Sie erfordern eben mühevolle Kleinarbeit und grosse Beweglichkeit der Werkleitungen, die vielfach in hohem Masse, aber noch nicht überall zu konstatieren sind.

An dieser Stelle führten die Vorträge aus, dass noch Bedeutendes zu erreichen sei an ganzjähriger Spätnachtabgabe für Boiler, Bäckeröfen, Schweinefutterkessel, an Winternachtenergie für Speicheröfen, vielerorts durch Kochstromabgabe, dass aber die Anschaffungskosten für die Verbraucher eine Erschwerung bilde, und dass der Wegfall der heute so kurzzeitigen Fabrikbeleuchtung eher ein Vorteil wäre.

Im ganzen wird es für Werke mit allgemein gemischter Stromabgabe bei uns kaum möglich sein, weiterzukommen als bis zu einer Herabdrückung des Schwankungsverhältnisses für einen Winterwerktag etwa auf den Wert 1,25.

Die Wochenperiode des Leistungsbedarfes.

Es ist noch des *verschiedenen Verlaufes des Leistungsbedarfes durch die verschiedenen Tage derselben Woche* Erwähnung zu tun. Diese Wochenperiode wird von dem allgemeinen Ausfall der Arbeit an den Sonntagen und sodann neuerdings auch von der vielfachen Auslassung der Arbeit am Samstagnachmittag verursacht. Diese Verminderung der Ausnützung der Wasserkraft im allgemeinen muss hingenommen werden. Einen gewissen, aber beschränkten Erfolg haben Ausgleichsversuche durch die an sich vorteilhaften elektrischen Kirchenheizungen – aber leider nur im Winter – und in den Städten etwa durch Tarifvergünstigungen für Vergnügungsstätten und Reklamebeleuchtung gehabt. Doch können diese Mittel den Minderverbrauch an Samstagen und Sonntagen nur wenig kompensieren.

Die zahlenmässigen Verhältnisse ergeben sich für grössere schweizerische Elektrizitätswerke etwa wie folgt:

Mittlere Leistung des Samstags	= 0,7 bis 0,8	derjenigen am gewöhnl. Werktag	
„ „ am Sonntag	= 0,3 bis 0,5	„ „ „	„
„ „ für die Woche	= 0,85 bis 0,90	„ „ „	„

Arbeit einer Woche = 6 bis 6,3 mal die Arbeit eines gewöhnlichen Werktages.

Schwankungen des Leistungsbedarfes über längere Perioden, besonders das Jahr [3]).

Schon aus theoretischen Ueberlegungen ergibt sich, dass für einen gewissermassen *normalen* Verlauf der Energieabgabe (der nicht durch aussergewöhnliche Spezialabgaben zur Zeit sonst geringen Leistungsbedarfes verändert wird), das Schwankungsverhältnis um so grösser ist, je grösser der in Betracht gezogene Zeitabschnitt ist, also beim selben Werke im allgemeinen grösser für das Jahr als für die Woche und den Tag.

Die (ideelle) Benützungsdauer. Lange bevor in theoretischen Betrachtungen über diese Dinge das „Schwankungsverhältnis“ eingeführt wurde, haben die Praktiker mit der sog. „jährlichen Benützungsdauer“ oder „Benützungszeit“ gerechnet, die an Stelle des „Schwankungsverhältnisses“ als Kriterium der Ausnützung erkannt und benützt wurde. Man verstund darunter die *ideelle Benützungsdauer der Maximalleistung*, d. h. diejenige Zeit, während welcher die wirklich maximal beanspruchte Leistung arbeiten müsste, um die wirklich abgegebene Jahresenergie (Arbeit) zu leisten. (Also nicht eine Zeit, während welcher die Maximalleistung *wirklich* beansprucht wird, denn diese kann theoretisch ein Moment, unendlich klein sein und ist auch in Wirklichkeit stets sehr kurz.)

[3]) Nicht zu verwechseln mit denjenigen des *Energie*bedarfes, die weiterhin besprochen werden.

Diese *Benutzungsdauer T* ist also definiert durch:

$$\text{Jahresenergie} = A = P_{cm} \times T.$$

Anderseits ist die mittlere konsumierte Leistung des Jahres $\overline{P}_c$ definiert durch

$$\overline{P}_c \times 8760\,\text{h} = A = \text{Jahresenergie}$$

woraus sich die Gleichheit ergibt:

$$P_{cm} \times T = \overline{P}_c \times 8760$$

und daraus:

$$T = \frac{\overline{P}_c}{P_{cm}} \times 8760 = \frac{8760}{\sigma_{Jahr}} \text{ oder}$$

$$\sigma_{Jahr} = \frac{8760}{T_{Jahr}}.$$

„Schwankungsverhältnis" und „Benützungsdauer" geben also beide ein Mass der Ausnützung einer beanspruchten Leistung. Auch die Benützungsdauer kann, ausser auf das Jahr, auf die Woche oder den Tag bezogen werden, im Vergleich mit deren Stundenzahl 168 beziehungsweise 24:

$$\sigma_{Woche} = \frac{168}{T_{Woche}} \text{ und } \sigma_{Tag} = \frac{24}{T_{Tag}}.$$

Zahlenangaben über die wirklich vorgekommenen Leistungsschwankungen gibt die Tabelle der folgenden Seite.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, ist die Jahresbenützungsdauer der Maximalleistung von dem Werte 1000 Stunden zu Beginn der ersten Elektrizitätswerke, die nahezu reine Lichtwerke waren, bis heute für die meisten Werke für Allgemeinversorgung auf etwa 3000 Stunden und für einzelne sogar auf 4000 Stunden und mehr gesteigert worden.

Diese Zahlen beweisen besser als viele Worte den gewaltigen Fortschritt, der durch die Leitung unserer Elektrizitätswerke in bezug auf Ausnützung der beanspruchten Leistungen erzielt worden ist.

Damit, dass wir Schwankungsverhältnis und Benützungsdauer nun nicht nur für den Tag, sondern auch für Woche, Monat und Jahr angaben, sind wir bereits in ein weiteres Gebiet der nötigen Betrachtungen eingetreten, das ist:

Verlauf des Bedarfs durch die Tage, Wochen oder Monate des ganzen Jahres.

Auch in diesen Schwankungen zeigen sich durch das Jahr gewisse Gesetzmässigkeiten, die wiederum abhängig sind von der Veränderlichkeit des *Bedarfs der einzelnen Verwendungsarten durch das Jahr.* Um den Jahresverlauf im ganzen zu verstehen und die allfälligen Möglichkeiten seiner Beeinflussung zu erkennen, müssen daher auch hier die verschiedenen Verwendungsarten je für sich betrachtet werden.

Ich will dabei die vereinfachende Annahme machen, die Werke besässen vollkommene sogenannte „Tagesakkumulation", d. h. es sei möglich, durch Wasserspeicherung die Veränderlichkeit der abgegebenen Leistung durch die Stunden eines Tages derart auszugleichen, dass eine durch den ganzen Tag konstante Zuflussleistung, welche dem Mittel der abzugebenden am betreffenden Tage entspricht, die beanspruchten grösseren und kleineren Leistungen in jedem Momente erzeugen und abgeben könne.

Unter dieser Voraussetzung genügt es, den Verlauf der *mittleren* Tagesleistung durch die Tage des Jahres zu studieren. Multipliziert man diese mit dem konstanten Faktor = 24 Stunden, so erhält man die tägliche *Energie*abgabe. Diagramme, welche den

Typische Beispiele für die ungefähren Verhältnisse der Schwankungen des Leistungsbedarfes von Elektrizitätswerken in der Schweiz, gekennzeichnet durch

das *„Schwankungsverhältnis"*
= Verhältnis der maximalen, in dem betreffenden Zeitabschnitt vorgekommenen Leistung (in kW z. B.) zur mittleren jenes Abschnittes;

die *(ideelle) „Benützungsdauer der Maximalleistung"*
= diejenige Zahl Stunden (h), während welcher die, in dem betreffenden Zeitabschnitt wirklich vorgekommene maximale Leistung (z. B. in kW) konstant hätte arbeiten müssen, um die in jenem Zeitabschnitt wirklich verbrauchte Energie (Arbeit in kWh) zu leisten;

das *Ausnützungsverhältnis der erforderlichen Maximalleistung*
= das Verhältnis der mit der letzteren im Zeitabschnitt produzierbaren zur wirklich abgegebenen Arbeit, gleich dem reziproken Wert des Schwankungsverhältnisses (× 100, wenn in %).

Werk und dessen Typus	Jahr	Schwankungsverhältnis	Benützungsdauer der Maximalleistung	Ausnützungsverhältnis der Maximalleistung
A. Für ein Jahr = 8760 h:		σ	Stunden	%
Stadtwerk A, „reines Lichtwerk"	1893	7,9	1000	12,6
Dasselbe	1899	6	1460	16,7
Dasselbe, Allgemeinversorgung . . .	1912	3,6	2430	28
Dasselbe mit Inbegriff grosser Sommerkraftabgabe	1912	2,4	3650	41,8
Stadtwerk B, Allgemeinversorgung . . .	1912	2,7	3250	37
Dasselbe	1919	2,4	3650	41,8
Stadtwerk C	1912	4,9	1780	20,4
Dasselbe	1913	4,6	1900	21,8
Stadtwerk D	1913	3,1	2820	32,5
Dasselbe mit Inbegriff besonderer Sommerkraftabgabe	1913	2,9	3000	34,5
Ueberlandwerk E	1909	3	2920	33,3
Dasselbe	1912	2,9	3000	34,5
Dasselbe	1918	2,6	3360	38,5
Ueberlandwerk F	1909	2,6	3360	38,5
Dasselbe	1912	2,9	3000	34,5
Dasselbe	1918	2,4	3650	41,8
Ueberlandwerk G, mit grossen Sommerkraftabnehmern	1909	1,9	4600	52,8
Dasselbe	1913	2,1	4160	48
Schweizerwerke im allgemeinen heute . .	1923	ca. 1,6 bis 2,5 (bis 3,8)	ca. 4500 bis 3000 (bis 2000)	ca. 60 bis 40 (bis 25)
B. Für einen Winterwerktag = 24 h:				
Stadtwerk A, „reines Lichtwerk"	1893	4,50	5,3	22,2
Dasselbe, Allgemeinversorgung	1901	2,64	9,1	38
Dasselbe Allgemeinversorgung	1920	1,55	15,5	65
Stadtwerk B, Allgemeinversorg. (viel Licht)	— —	—	—	—
Dasselbe, mit erhebl. Kochstromabgabe	1919	1,73	13,9	58
Ueberlandwerk C, Allgemeinversorgung .	1913	1,90	12,6	53
Dasselbe	— —	—	—	—
Ueberlandwerk D, Allgemeinversorgung . .	— —	—	—	—
Dasselbe, mit diversen Sonderabgaben .	1921	1,35	17,8	75
Schweizerwerke im allgemeinen heute . .	1923	ca. 1,3 bis **2,0** (bis 3)	ca. 18 bis **12** (bis 8)	ca. 77 bis **50** (bis 33)
C. Für eine Woche (genauer: im Winter) = *168 h:*				
Schweizerwerke im allgemeinen heute . .	1923	ca. 1,4 bis **2,2** (bis 3,5)	ca. 120 bis **80** (bis 50)	ca. 72 bis **45** (bis 28)
D. Für einen Monat = 732 h im Mittel:				
Schweizerwerke im allgemeinen heute . .	1923	ca. 1,6 bis **2,5** (bis 3,8)	ca. 500 bis **300** (bis 200)	ca. 63 bis **40** (bis 26)

Verlauf der täglichen Energieabgaben durch die Tage des Jahres

darstellen (eine Treppenlinie mit 365 kleinen Stufen) sind bei den Elektrizitätswerken seit Jahren in Gebrauch; sie geben also auch ohne weiteres und direkt den *Verlauf der mittleren Tagesleistung* an. Auch dieser entsteht bei jedem Werk aus dem

Verlauf der mittleren Tagesleistungen für die einzelnen Abgabearten durch das Jahr.

Untersuchungen über dieses Verhalten, entnommen sowohl wirklichen Ergebnissen bei Werken als auch theoretischen Ueberlegungen, ergeben zusammenfassend etwa folgendes:

Unter Darlegung der Ursachen, die sich für die Beleuchtung z. T. durch Sonnentabellen nachweisen lassen, werden hier die Ergebnisse durch Diagramme und Zahlentabellen erläutert und in der Hauptsache wie folgt festgestellt: Für eine mittlere Monatsleistung = 100, normaler Rückgang der Beleuchtungsenergie auf 55 ÷ 45 als Minimum im Juni und Juli und Aufstieg auf 160 ÷ 180 für den Dezember als Maximum; Kochenergiebedarf in Wintermonaten bis 25 % über, im Sommer 10 bis 15 % unter dem Jahresmittel; Strassenbahnenergie in Wintermonaten bis 20 % über, in Sommermonaten ca. 10 % unter dem Jahresmittel per Monat; Energie für Raumheizung steigt in harten Wintermonaten auf 200 bis 400 % des Jahresmittels des Monatsbedarfs, der 4 bis 5 Monate lang = 0 ist; Monatsmittel des Bedarfs an Energie für Gewerbe- und Industriemotoren und für Grossbahnen wenig und unbestimmt schwankend durch das Jahr. Sogenannte Ergänzungskraft für zeitweise wasserarme Eigenwerke von Fabriken geben bei uns bedeutende, durch das Jahr unregelmässige Aenderungen des monatlichen Energiebedarfs.

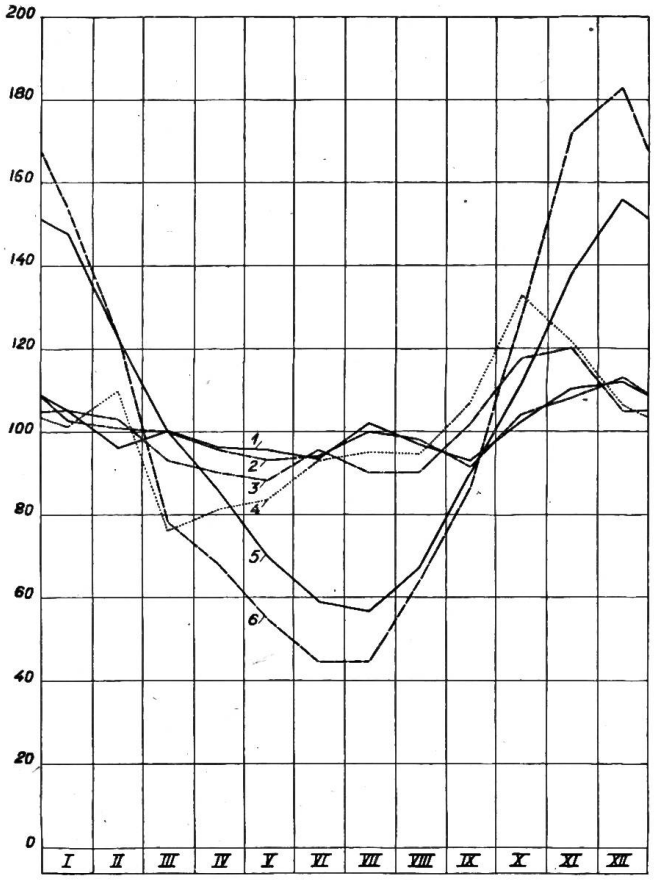

Fig. 5

Verlauf der Monatsenergie durch die Monate des Jahres für typische Elektrizitätswerke (in % des Mittels).

Kurve 1 = Reines Bahnwerk,
„ 2 = Ueberlandwerk (mit elektrochemischer Abgabe),
„ 3 = Ueberlandwerk,
„ 4 = Ueberlandwerk mit viel Ergänzungskraftabgabe,
„ 5 = Stadtwerk mit fast ausschliesslicher Beleuchtungsabgabe,
„ 6 = Reines Lichtwerk.

Im ganzen ist ersichtlich, dass für beinahe alle Verwendungen im Winter bedeutend mehr Energie oder mittlere Leistung pro Tag bezw. Monat verbraucht wird als im Sommer. Nur wenige Spezialindustrien machen davon Ausnahmen.

Selbst da, wo gar kein Strom für Raumheizung abgegeben wird, oder nur verhältnismässig wenig, wie das gegenwärtig noch beinahe überall der Fall ist, zeigt

der faktische Verlauf des gesamten (gemischten) Monats- oder Tagesenergiebedarfs durch das Jahr

bei den schweizerischen Werken eine bedeutende Senkung im Sommer.

Dies ist besonders gut ersichtlich aus den Jahresdiagrammen der mittleren Monatsarbeit einiger typischer Werke aus früheren und den letzten Jahren, wie sie die nebenstehende Fig. 5 enthält. Diese Kurven zeigen daneben freilich auch, dass es in neuerer Zeit immerhin gelungen ist, diese Ungleichheiten wesentlich zu mildern.

Unsere Graphik erweist zahlenmässig z. B. folgende Verhältnisse:

In Prozenten der mittleren betrug die monatliche Energieabgabe

für:	Jahr	Im Minimum	Im Maximum
Ein reines Lichtnetz	1921	44 % (Juli)	183 % (Dezember)
Ein städtisches Werk (nahezu nur Lichtabgabe) .	1893	57 % (August)	156 % (Dezember)
Ein grosses Ueberlandwerk mit viel Ergänzungskraftabgabe	1913	76 % (März)	133 % (Oktober)
Ein etwas kleineres Ueberlandwerk ähnlicher Verhältnisse mit besonders guten Tageskurven	1913	88 % (Mai)	120 % (November)
Ein Ueberlandwerk mit etwelcher Sommerabgabe für Elektrochemie	1913	91 % (September)	113 % (Dezember)
Das Bahnwerk einer normalspurigen Nebenbahn	1921	92 % (September)	112 % (Dezember)

Aus diesen Zahlen ist zunächst der, gegenüber dem Verhalten der Wasserkraft konträre, heute vorkommende bedeutende Mehrverbrauch an Energie in den Winter- gegenüber den Sommermonaten in seinem Masse deutlich ersichtlich. Dabei sei nochmals darauf aufmerksam gemacht, dass die vorstehenden relativen Werte nur die Monats*energien* oder die *mittleren* Monats*leistungen* bedeuten und dass die *maximalen* beanspruchten Leistungen noch im Schwankungsverhältnisse grösser sind. Folgende Vergleichsaufstellung möge daher nochmals das Bild des gegenseitigen Verhältnisses typischer *Wasserkraft*leistungen (siehe Seite 2) und geforderter *Abgabeleistungen* vor Augen führen:

Gegenüber einer *mittleren Leistung durch das Jahr = 100 %* beträgt beispielsweise

bei einem:	die Leistung des natürlichen Wasserzuflusses zur Sommerzeit	zur Winterzeit	
Hochgebirgsbach	bis 280 % (max.)	nur 10 % (min.)	
Fluss aus natürlichem See	bis 120 % (max.)	nur 70 % (min.)	
	die beanspruchte Leistung zur Sommerzeit	zur Winterzeit im Monatsmittel	zur Winterzeit im Maximum
bei einem Elektrizitätswerk,			
früher, „Lichtwerk“	ca. 45 %	ca. 180 %	ca. 600 – 800 %
heute, gut ausgenütztes Allgemeinwerk .	ca. 90 %	ca. 120 %	ca. 200 – 300 %

Diese Werte werden ohne weiteres klar machen, *wie* schwierig eine gute Ausnützung der disponibeln Energie unserer Wasserkräfte ist. Im folgenden sei auf das Erreichte und Erreichbare eingetreten.

Die bisher erreichte Ausnützung der Jahresenergie

unserer schweizerischen Elektrizitätswerke ist ebenfalls aus der Statistik des S.E.V. zu entnehmen.

Das Verhältnis der höchsten abgegebenen zu der im gleichen Moment verfügbaren *Leistung*, gewissermassen der *Grad der Ausnützung der ab Werk disponibeln Leistung zur Zeit des Maximums,* liegt bei den Schweizer Werken im allgemeinen recht hoch; es erreichte im Winter 1919, als Mangel an verfügbarer Leistung war, bei den meisten Werken über 80, bei manchen über 90 und bei mehreren direkt 100 %. Dieses Verhältnis gibt – darauf sei aufmerksam gemacht – natürlich *nicht* etwa die Ausnützung der verfügbaren Leistung oder gar der Jahres*energie* der betreffenden *Wasserkraft* an sich. Denn die Leistungsfähigkeit der erstellten *Anlagen,* ihre *Ausbaugrösse* wird sozusagen nie so hoch sein, wie die zu Zeiten starken Wasserflusses in der Wasserkraft selbst liegende Leistung; bedeutende Leistungen und Energien der Wasserkraft selbst bleiben so überhaupt „ab Werk nicht verfügbar“.

Das Verhältnis der *Ausnützung der im Werke verfügbaren Energie* betrug noch im Jahre 1912 bei sehr vielen Werken nur um 20 % herum, während es um die Jahrhundertwende allgemein noch bei etwa 15 % lag. In dem vorhin genannten Jahre 1919 *bisher höchster* Ausnützung unserer Werke (die infolge behördlicher Massnahmen durch zwangsweise Reduktion der beanspruchten Maximalleistungen und Verlegungen der Arbeitszeiten erzielt worden war), betrug der für unsere Betrachtungen wichtigste *Ausnützungskoeffizient der disponibeln Jahresenergie* bei den ungünstiger stehenden Werken um 50 %, erreichte bei vielen auch 60 %, bei einem Werk, das Hoch- und Niederdruck verbindet, als ausserordentliches Höchstmass 92 %. Von den ursprünglich vorkommenden Prozentsätzen bis zu diesen liegt eine enorme Verbesserung bis heute, erreicht durch die erweiterte und günstigere Verwendung elektrischer Energie als Folge der dahin zielenden Massnahmen der Werke, im genannten Jahre ausserdem zufolge der behördlichen Zwangsordnung, die sich die Industrie in normalen Zeiten nicht mehr gefallen lassen wird.

Auch diese letztgenannten Zahlen sind aber im allgemeinen noch *nicht* diejenigen der *Ausnützung der ganzen disponibeln Wasser*energie bei den betreffenden Werken, und zwar wegen der Beschränkung der möglichen *Leistungen* durch die *Ausbaugrösse,* die z. B. bei den Niederdruckwerken im allgemeinen gewaltig unter der im Wasser selbst (oft längere Zeit) verfügbaren (Sommer-) Leistung liegt.

In der nachfolgenden Tabelle lassen wir einige, der Statistik des S. E. V. entnommene beispielsweise Zahlen der *Ausnützung der disponibeln Jahresenergie* folgen. Sie bestätigen die oben genannten Angaben.

Suchen wir ferner, ausser durch diese Einzelbeispiele, im Punkte der Energieausnützung noch ein Bild für die *Gesamtheit* oder das *Mittel* zu gewinnen:

Ausnützung der (ab Wasserkraft und Werk) disponibeln Jahresenergie bei einer Anzahl schweiz. hydro-elektrischer Werke.

Werk	Jahr	Abgegeb. Jahresenergie in % der disponibeln
Stadtwerk A (Allgemeinversorgung)	1912	40
	1916	49
Stadtwerk B (Viel Licht)	1912	30
(Viel Kochstrom u. dgl.)	1919	49
Stadtwerk C	1912	23
	1919	35
Stadtwerk D	1912	54
	1919	63
Ueberlandwerk E	1912	34
	1919	36
Ueberlandwerk F	1912	29
	1919	92
Ueberlandwerk G	1912	37
	1916	51

Die hauptsächlichsten Schweizerwerke, über welche genauere Angaben vorliegen und die den grössten Teil des Allgemeinbedarfs an Energie abgeben (also mit Weglassung vieler kleiner und der rein elektrochemischen Werke) haben zusammen im Jahre 1919 ab ihren Kraftwerken nicht ganz 2000 Millionen kWh abgegeben, während sie 2800 Millionen kWh hätten abgeben *können.* Die Ausnützung der verfügbaren Energie dieser Werke, die auch den Masstab für die Gesamtheit abgeben kann, hat also in diesem Jahre bester Konjunktur ineinandergerechnet ca. *70* % erreicht und es blieben auch in diesem günstigsten Jahre allein aus diesen Werken noch über 800 Millionen kWh unabsetzbar. Daraus ist besonders gut ersichtlich, dass und in welch hohem Masse, bei aller Steigerung der Ausnützung gegenüber früher, doch noch für sehr viel bisher Unverwertbares eine Verwendung gesucht werden muss. Das Problem der

Verbesserung der Energieabgabe in ihrem Verlauf durch das Jahr

bleibt also bestehen. Seine Lösung ist nicht vollständig zu trennen von derjenigen der bereits besprochenen Verbesserung der *Tages*leistungsdiagramme. Die für diese angegebenen Mittel helfen im allgemeinen auch dem Ausgleich durch das Jahr. Im

Sinne dieser Vergleichmässigung der Energieabgabe kann schon jeder, durch das ganze Jahr einigermassen *konstante* weitere Bedarf dienen. Besser allerdings ein Bedarf, der im Winter höher als im Sommer ist.

Die etwa vorgeschlagenen oder denkbaren Mittel seien hier besprochen.

In verkürzter Wiedergabe ergibt sich:

Vermehrte Kochstromabgabe ist an sich in hohem Masse denkbar und wirtschaftlich. Vollelektrisches Kochen kann zu einem Energiebedarf von ca. 1 kWh per Tag oder 300 bis 350 kWh per Jahr pro angeschlossene Person veranschlagt werden, erfordert aber bei uns (kurz vor 12 Uhr) etwa gegen $^1/_3$ kW Maximalleistung pro Person (ca. 10 mal mehr als die Beleuchtung!). Vermehrte Beschränkung auf sieden und „dämpfen" statt braten und Selbstkocherverwendung mit Spätnachtstrom könnte die erforderlichen Maximalleistungen günstig vermindern. Sehr bedeutender Kochanschluss kann je nach Art des bisher bestehenden Tagesdiagramms die für die Gesamtabgabe des Werks erforderliche Maximalleistung wenig bis sehr bedeutend steigern, so dass unter Umständen Verteil- und Werksanlagen sehr erheblich verstärkt werden müssen. Die Ausnützung der Anlagen kann je nach Umständen leicht besser oder schlechter werden.[4])

Wenn von den Einwohnern der Schweiz sich an volle elektrische Küche ungefähr

anschliessen würden:	so ergäbe sich ein Bedarf für das Kochen allein an maximaler Leistung kW	Jahresenergie kWh
1 Million	ca. 300 000	ca. 300 ÷ 350 Millionen
2 Millionen	ca. 600 000	ca. 600 ÷ 700 Millionen
3 Millionen	ca. 900 000	ca. 900 ÷ 1000 Millionen

Abgabe von Kochstrom im *grossen* erfordert vorsichtige Wirtschaftsrechnungen. *In vielen Werken besteht die wirtschaftliche Möglichkeit der Grossabgabe von Kochstrom, aber lange nicht in allen gleichermassen. Auf eine Verbesserung der Ausnützung unserer Wasserkräfte durch Kochstromabgabe im grossen ist nicht zu rechnen; insbesondere ergibt letztere keinen Ausgleich zwischen der überschüssigen Sommerenergie und der teilweise mangelnden Winterleistung.* Solcher wäre denkbar durch elektrisches Kochen im Sommer bei Brennstoffküche im Winter, mit Anreiz durch sehr billigen Sommertarif, um die Kosten der doppelten Einrichtung wettzumachen.

Gegenüber dem Winterbedarf *erhöhte Sommerabgaben für Industrie* kommen nur für lagerfähige Produkte in Frage; die Winterabgabe kann dafür kaum je ganz sistiert werden, auch nicht für *Elektrochemie,* weil die allgemeinen Unkosten und die der Einrichtungen sonst das Produkt zu teuer machen, auch wegen Arbeiterschwierigkeiten. Allgemeine Krisis und Valuta erschweren heute diese Abgaben bei uns besonders.

Für *allgemeine industrie-thermische Zwecke* könnte sehr viel Sommerenergie verwendet werden, die Wirtschaftlichkeit scheitert aber dabei oft an den Kosten der doppelten (elektrischen und kalorischen) Einrichtungen und ist überhaupt nur bei sehr niedrigen Energiepreisen erzielbar.

Der Erfolg aller dieser Bestrebungen ist bisher ein recht beschränkter; er erfordert sehr eingehendes Studium des Einzelfalles und vieles verständnisvolles Zusammenwirken der Industrie mit den Elektrizitätswerken.

Die Aufnahmefähigkeit des Inlandes für Sommerenergie ist eine beschränkte und wird es bleiben; sie kann trotz aller Bemühungen der Technik und der wirtschaftlichen Leitung der produzierenden Werke wohl kaum je den Sommerüberschuss auch nur der Leistungsfähigkeit der heute ausgebauten Werke erreichen und noch viel weniger den vielmal grössern Energieüberschuss, der in den bestehenden Werken durch mögliche Vergrösserung ihres Leistungsausbaues oder gar in unsern noch nicht benützten Wasserkräften erzielbar wäre.

So weist denn alles gebieterisch auf den

Export von Abfallenergie und besonders von Sommerenergie.

Es sind die in der letzten Zeit in der Presse, in unsern Volksvertretungen und Versammlungen so überaus zahlreichen Kundgebungen über und vielfach gegen den Energieexport, neben verschiedenen an mich gelangten Wünschen, welche mich veranlassen, hier auch über diesen Punkt eingehender zu sprechen.

[4]) Siehe die besonderen Untersuchungen des Autors im Bulletin des S.E.V. 1917, Seiten 171 u. ff.

An dieser Stelle sei zunächst der Begriff, der anderwärts auch etwa „Ueberschussenergie“ genannt wird, bei uns meistens „**Abfallkraft**“ oder besser: **Abfallenergie**, etwas genauer erläutert, da er oft falsch verstanden und definiert wird.

Zunächst wollen wir als „*Normalabgabe*“ diejenige Energielieferung bezeichnen, die zu den *vom Bezüger gewollten* Zeiten *immer* und in diesem Sinne *das ganze Jahr* verlangt werden kann und für welche die entsprechende Leistung bereitzuhalten ist.

Der Begriff der Abfallenergie ist ein relativer. Abfallenergie kann nicht definiert werden aus Betrachtungen über die in einem bestimmten Zeitabschnitt totalen verfügbaren und verwendbaren *Energie*mengen (in kWh), sondern ist nur bestimmbar aus dem *zeitlichen Verlauf* der in jedem Moment disponibeln und der beanspruchten *Leistung* (in kW).

Denkt man sich den Verlauf der im allgemeinen sich fortwährend verändernden *beanspruchten* (konsumierten) *Leistung* P_c eines bestimmten Gebietes und dazu die im allgemeinen ebenfalls fortlaufend veränderliche *verfügbare* (disponible) Leistung P_d der Wasserkraft eines Werkes, durch welche der Bedarf zu decken ist, so wird es immer Zeiten geben, zu denen die disponible Leistung grösser ist als die konsumierte. Als „Abfallenergie“ (etwa gemessen in kWh) müssen wir dann bezeichnen die Summe der Produkte aus diesen Ueberschüssen der disponibeln über die konsumierte Leistung (gemessen in kW) in deren jeweilige Zeitdauer (gemessen in h = Stunden). Aus dieser Definition der Abfallenergie geht hervor, dass das, was heute bei einem bestimmten Werke Abfallenergie ist, es morgen oder später oft nicht mehr ist.

Tragen wir in üblicher graphischer Darstellung die Zeit t als Abszisse, die Leistungen P_d und P_c als Ordinaten auf, so wird (siehe Fig. 6 *links*) die

$$\text{Abfallenergie} = \int_{t_1}^{t_2} (P_d - P_c)\, dt = F_1 .$$

Die Fläche F_1, welche die Abfallenergie darstellt, erstreckt sich über diejenigen Zeiten, zu denen $P_d > P_c$ ist, zwischen t_1 und t_2.

Man ist wohl geneigt, der Figur links, welche eine „erste Art“ der „Kurven des zeitlichen Verlaufs“ darstellt, vorzuwerfen, sie stelle Verhältnisse dar, die für ein Elektrizitätswerk *unmöglich* seien. In der Tat ist vor t_1 und nach t_2 die konsumierte Leistung grösser als die disponible, was nicht eintreten könnte bei einem „für sich allein betriebenen“ Werke. Diese Betriebsart ist aber heute schon beinahe ein Ausnahmefall. Man darf heute im allgemeinen nicht annehmen, dass ein Elektrizitätswerk für sich allein und nur soweit ausgenützt sei, dass seine eigene, durch den direkten Wasserfluss entstehende Leistung immer mindestens so gross sei als die beanspruchte. Das würde für viele Werke eine sehr schlechte Ausnützung ergeben, wie späterhin noch zu zeigen ist. Ein Werk dieser Art wird, sofern es nicht durch eigene Akkumulierung für die im allgemeinen nur kurzen Zeitabschnitte des Ungenügens seiner direkten Leistung die letztere vorübergehend genügend erhöhen kann (wobei dann die Kurve der P_c wieder überall

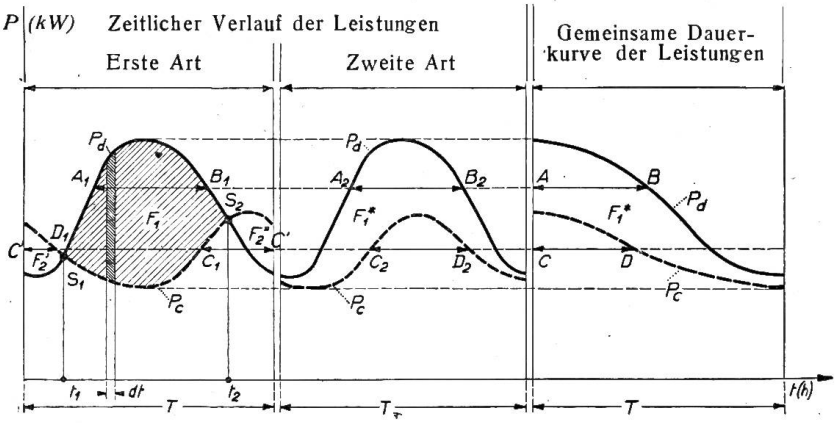

Fig. 6

Bestimmung der Abfallenergie aus dem Leistungsverlauf.

unter derjenigen der P_d bleibt), zu diesen kurzen Zeiten des Mangels sich von einem andern Werke entsprechende Leistungen zur Verfügung stellen lassen, *Ergänzungsenergie* beziehen. Gibt die Kurve den genauen Verlauf von P_c an, so ist diese zu beziehende Fremdenergiemenge durch die Flächen $F_2' + F_2'' = F_2$ dargestellt.

Es kann also *bei einem und demselben Werke* innerhalb eines betrachteten Zeitabschnitts (z. B. Jahr oder Tag) *sowohl Abfallenergie verkäuflich als auch „Kraftmangel" vorhanden,* d. h. die disponible Leistung geringer als die gerade beanspruchte sein.

Man darf für die Bestimmung von Abfallenergie bei einem bestimmten Werke auch nicht mit der sogenannten *„Dauerkurve"* der beanspruchten und der disponibeln Leistungen rechnen.[5])

Nehmen wir beispielsweise als Kurven zeitlichen Verlaufs nun diejenigen der Figur der Mitte („zweite Art"). Gegenüber der „ersten Art" ist hier lediglich die Kurve der P_c um eine gewisse Zeit *verschoben,* so dass *jederzeit* $P_d > P_c$ ist; beide Kurven sind aber an sich gleich wie in der Figur links. Die beiden Kurven, die „erster" wie die „zweiter Art", ergeben daher hier genau *dieselbe,* in der Figur rechts gezeichnete *Dauer*kurve. Der zeitliche Verlauf „zweiter Art" ergäbe als Abfallenergie die Fläche F_1^*. Ihr gleich ist in der *Dauer*kurve die Fläche zwischen den beiden Kurven. Aber es ist

$$F_1^* > F_1.$$

In einer Abhandlung in der S. B. Z. 1920, Band 75, Seite 16, ist nun diese Fläche *zwischen den beiden Dauerkurven* als *Abfallenergie* definiert. Das ist *nur dann richtig,* wenn es sich um ein ganz für sich allein arbeitendes Werk ohne Fremdenergiebezug handelt, so dass die Kurve des zeitlichen Verlaufs der disponibeln Leistung P_d stets mindestens so hoch liegt wie diejenige der beanspruchten Leistung P_c. Sobald aber diese beiden Kurven sich schneiden (wie in der Figur bei S_1 und S_2), Ergänzungs-Fremdkraftbezug stattfindet, was heute sehr oft vorkommt, so kann aus den *Dauer*kurven die Abfallenergie *nicht* ermittelt werden. Die in jenem Aufsatz aus den Dauerkurven abgeleitete Definition der Abfallkraft und die daraus gezogenen Folgerungen sind daher nicht zutreffend.

Es muss überhaupt bei Beurteilung der Verhältnisse von hydroelektrischen Werken sehr vorsichtig mit der Verwendung der sogenannten Dauerkurven vorgegangen werden; das wird gelegentlich übersehen. Der wirkliche *zeitliche* Verlauf der Leistungen darf nicht ausser acht gelassen werden. Die Arbeitsmenge einer Wasserkraft kann für einen bestimmten Zeitabschnitt genügen, die Dauerkurven können „Energieüberschuss" zeigen und die verfügbare Leistung kann dennoch zeitweise kleiner als die beanspruchte, also die Wasserkraft ungenügend sein.

Die *Abfallenergie* entsteht also aus Leistungen, die zur betreffenden Zeit verfügbar sind, aber die dannzumal niemand beansprucht, so dass buchstäblich zu jener Zeit überschüssiges Wasser „bachab fliesst" und nichts dafür eingenommen wird.

Charakteristisch ist aber für die Abfallenergie, wie sich aus vorigem ergibt, auch der Umstand, dass der Bezüger die betreffende Leistung *nur zu den Zeiten beziehen kann, während welcher die übrigen,* „Normalenergie" (zu „normalen Tarifen") beziehenden *Abonnenten diese Leistung nicht beanspruchen* und während welchen anderseits die dazu nötige Wasserkraft *wirklich vorhanden* ist, was z. B. bei voller

[5]) Für Diejenigen, die nicht mit dem, den Wasserbauern und Hydraulikern geläufigen Begriff der „Dauerkurve" einer Zeitfunktion vertraut sind, sei hier erklärt: Eine „Dauerkurve" stellt durch die Abszissenlängen eines ihrer Punkte die Zeitdauer dar, während welcher die Funktion selbst (hier die Leistungen) in einem der Ordinate entsprechenden *oder höhern* Werte vorkommen. Die Funktionswerte sind in der Dauerkurve nicht nach den Momenten ihres Stattfindens, sondern z. B. nach ihrer Grösse geordnet. In der Figur entsteht also die rechts gezeichnete Dauerkurve aus derjenigen des zeitlichen Verlaufs links, indem man $AB = A_1B_1$, $CD = C_1C'D_1$ usw. macht. Mit Bezug auf die Kurven der mittleren Figur, bei welcher die Verlaufskurve für P_c an sich gleich ist wie links, aber zeitlich verschoben, ist dann $AB = A_2B_2$ und $CD = C_2D_2$ usw.

Die Fig. 4 auf Seite 7 stellt die in Fig. 3 nach ihrem zeitlichen Verlauf durch den Tag dargestellten Leistungen verschiedener Elektrizitätswerke in ihrer Dauerkurve im gleichen Masstab dar.

oder auch nur starker Ausnützung von Sommerenergie aus Niederdruckwerken gelegentlich sicher nicht der Fall ist, nämlich bei Gefällsverminderung durch Hochwasser. Daraus erhellt als Charakteristikum der Abfallenergie die *Belastung mit der Bedingung beschränkter Benützungszeiten* und unter Umständen derjenigen *des „Abstellens"* und zwar auch zu Zeiten, die *nicht zum voraus bestimmt* sind. Dies ist eine gewaltige Erschwerung der Verwendung solcher Energie, die dem Abnehmer im allgemeinen besondere Schwierigkeiten und Kosten macht. Einmal allgemein durch Inkonvenienzen, die in der reduzierten Ausnützungszeit seiner Anlagen und in vielleicht unpassenden Arbeitsstunden liegen, ferner unter Umständen — und das trifft besonders für „Sommerenergie" zu — namentlich dadurch, dass er besondere Einrichtungen für die zeitweise anderweitige Beschaffung der Energie treffen und daherige laufende Auslagen zu tragen hat.

Aus alledem ergibt sich die Notwendigkeit und *volle Berechtigung* der Abgabe der *Abfallenergie zu viel niedrigeren Einheitspreisen* als sie die „Normalabonnenten" bezahlen, welche die von ihnen gebrauchte Leistung das ganze Jahr zu der *ihnen* passenden, in den meisten Fällen zu jeder beliebigen, z. T. direkt zu der für die Wasserleistung ungünstigsten Zeit geliefert haben wollen. Denn für sie sind die, ob selbst nur gelegentlich erforderlichen Leistungen sozusagen ständig bereit zu halten, entsprechend diesen Bereitstellungen sind die Werke zu erstellen und ergeben sich ihre Kosten, im allgemeinen selbst ohne dass immer ein entsprechender Energiekonsum obligatorisch wäre. Der Bezüger von Abfallenergie aber bezieht und bezahlt das, was ohne ihn verloren geht und keine Kosten verursacht.

Anderseits ist die geringste für Abfallenergie erzielte Einnahme sozusagen restloser Gewinn, insofern eben die Abfallenergie aus der vorhandenen Leistungsfähigkeit der Anlage abgegeben wird und keine oder keine nennenswerten weiteren Erzeugungskosten veranlasst.

Eine solche auch noch so geringe Einnahme vermindert die Nettoausgaben des Produzenten und kann zur Verbilligung der „Normalabgabe"-Energie zugunsten von deren Abnehmern verwendet werden. Dies bleibt so, gleichgültig *wie hoch* bezw. niedrig der für diese Abfallenergie erzielte Einheitspreis ist und gleichgültig, *wohin* diese Energie geht, ob sie im Inland bleibe oder ins Ausland wandere.

Mit der *Notwendigkeit* eines im allgemeinen wesentlich geringeren Preises für Abfallenergie gegenüber „Normalenergie" trifft die Tatsache des *Genügens* eines geringen Preises für Abfallkraft infolge Wegfalls besonderer Erzeugungskosten zusammen. Anderseits kann die zu jeder Zeit zur Verfügung zu haltende Energie nicht zu ebenso billigem Einheitspreis abgegeben werden, weil gerade ihre Bereitstellung allein die ganzen Betriebsausgaben verursacht und entsprechende Selbstkosten ergibt.

Nur völliges Verkennen der eben geschilderten Verhältnisse kann sich daher daran stossen, wenn *Abfallenergie, sei es im Inland oder Ausland, sehr viel billiger pro kWh verkauft wird, verkauft werden kann und muss, als die nach dem Willen des Bezügers jederzeit beanspruchbare „Normalenergie"*.

Der Export von Energie im allgemeinen.

Dass die **Ausfuhr von Abfallenergie** notwendig ist für die Schweiz und eher möglich als deren Inlandabgabe, hat seinen Grund in den bereits angeführten Umständen, dass unser Land dafür, insbesondere für die überschüssige Sommerenergie, keinen genügenden, wirtschaftlichen Absatz hat; dieser wird sich auch bei grösster Anstrengung und der denkbar vollkommensten Technik nicht finden, sofern nicht ganz unwahrscheinliche Brennstoffverteuerungen eintreten. Die Abgabe von Abfallenergie ins Ausland ergibt dagegen oft grössere Wirtschaftlichkeit. Das liegt erstens darin, dass dort vielfach günstigere Verhältnisse als bei uns bestehen für die Beschaffung anderer Energie zu den Zeiten, da diese hydraulische Energie nicht geliefert wird (Winter), weil dort die Brennstoffpreise (Kohlenländer!) vielfach auch *relativ* billiger sind. Zweitens sind Wasserkräfte im Ausland zum Teil weniger vorhanden

oder kommen teurer zu stehen (Flachland). Aus diesen Gründen konnte schon bisher und kann weiterhin in wirtschaftlicher Weise Sommerenergie in bedeutendem Masse aus der Schweiz exportiert werden, während die trotzdem immer noch disponibel bleibenden Mengen von Sommerenergie den heute im Lande wirklich realisierbaren Bedarf an solcher noch weit überschreiten.

Export auch von Ganzjahrenergie, von Winterenergie kommt daneben heute allerdings auch in gewissem Masse vor. Eine solche kann aber oft nicht ganz umgangen werden, wenn grosse Mengen Sommer-Abfallenergie abgesetzt werden wollen. Denn, wie schon einmal erwähnt, können manche Fabrikationsbetriebe wirtschaftlich nicht bestehen, wenn sie den hydro-elektrischen Betrieb im Winter vollständig einstellen müssen. Bei Belieferung derartiger Abnehmer muss daher zu dem grossen Vorteil des Verkaufs bedeutender Posten Sommerenergie auch der Nachteil der Abgabe von etwas Winterleistung in den Kauf genommen werden. Es ist im einzelnen Falle Rechnungssache, ob und wie weitgehend dies für das Werk, damit für die Schweizerabnehmer und das Land im allgemeinen, von Vorteil ist. Derartige Ermittlungen sind aber nicht so einfach, sondern wie das ganze Energiegeschäft ausserordentlich komplex und nicht von jedermann richtig zu beurteilen.

Es wird hier weiter darauf aufmerksam gemacht, dass bei der im allgemeinen sehr geringen Dotierung der Exportenergiequanten mit hochwertig angerechneter Winterenergie sich zufolge des gewissermassen „beliebig" niedrigen Preises der Sommerenergie auch noch für den mittleren Energiepreis solcher Exportverträge scheinbar „Schleuderpreise" ergeben und dass ferner die wirklich exportierten Energiemengen zwar schon recht erheblich erscheinen mögen, es aber gegenüber den noch disponibeln Sommerüberschüssen nicht sind und dass — leider, zufolge der Industriekrisis — für die nächsten Jahre auch im Winter noch Ueberschüsse disponibel sein werden.

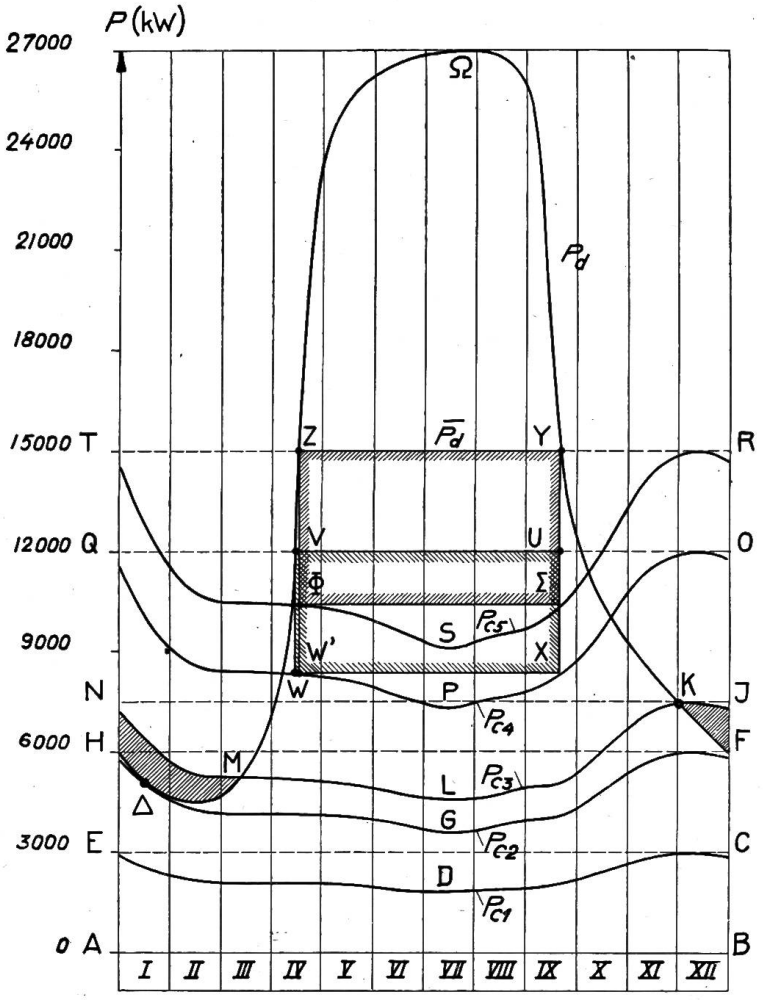

Fig. 7.

Beispiel verschiedener Ausnützung einer variablen Wasserkraft.

In der nächsten Zeit ist daher auch keine Ursache zur Aengstlichkeit wegen Export von Ganzjahr- oder Winterenergie, sofern dieser in gewissen quantitativen und zeitlichen Grenzen gehalten wird.

Ein Beispiel über die Ergebnisse verschiedener Ausnützung einer stark veränderlichen Wasserkraft

möge nun noch die Verhältnisse der Abgabe von Abfallenergie und der Ergänzung durch fremde Winterkraft, sowie des Erfolges verschiedener möglicher Ausnützung überhaupt, näher erläutern.

Für dieses in den Vorträgen ausführlich besprochene Beispiel seien hier die Hauptsachen anhand der *Fig. 7* und der *Tabelle Seite 21* kurz angegeben:

Angenommen sind heute bei uns vorkommende, typische Verhältnisse, für die Wasserkraft ein Verlauf der disponibeln Leistung durch das Jahr nach der, etwa einem Hochgebirgswasser entsprechenden Kurve P_d mit dem Mittelwert $\overline{P_d} = 15000$ kW, für den Elektrizitätskonsum ein Verlauf der mittleren Monatsleistung durch das Jahr nach den Kurven P_c, entsprechend voller Befriedigung des (gemischten) Allgemeinbedarfs einer Gegend unserer mittleren Verhältnisse. Das Schwankungsverhältnis (zwischen den Maximalleistungsspitzen und dem Mittelwert) jedes Monates ist entsprechend mittlerem Vorkommen durchwegs = 2 angenommen. Es werden fünf verschiedene Ausnützungsstufen untersucht, die in der Tabelle die fünf Vertikalrubriken ergeben:

1. Ohne Tagesspeicher (alte „Raubbauanlage"), so dass die Spitzen des Leistungsbedarfes höchstens die direkt disponible Wasserleistung erreichen dürfen, nach der Kurve P_{c2}, die mittleren Monatsleistungen daher halb so gross bleiben müssen, entsprechend P_{c1}, welche Kurve dann die Fläche der abgegebenen Energie nach oben begrenzt.

2. Mit Tagesspeicher, so dass P_{c2} zur Kurve der mittleren Monatsleistungen und diejenige der Maximalleistungen zu P_{c4} (mit doppelten Höhen) wird, die Ausbaugrösse damit von 6000 auf 12000 kW steigen muss.

3. Unter gleicher Einrichtung und „Normalabgabe" wie vorhin wird noch Abfallkraft abgegeben und zwar erstens höherwertige mit konstanter Leistung von 3700 kW über den Sommer und minderwertige mit variabler Leistung.

4. Gleiches Verfahren wie vorhin, jedoch mit Ausbau bis zur mittleren Wasserkraftleistung (15000 kW) und entsprechend grösserer Abgabe von Abfallenergie, aber gleichbleibender von Normalenergie.

5. Mit Ausnützung der vorigen Ausbaugrösse für Normalabgabe, d. h. P_{c5} als Kurve der Leistungsspitzen und P_{c3} als solcher der Monatsmittel der Leistungen, unter Ankauf von (wenig) Ergänzungsenergie im Winter.

Den finanziellen Berechnungen sind Anlagekosten zugrunde gelegt, welche für vollständiges Kraftwerk bis zur Hochspannungsausführung im ersten Falle zu 1500, im zweiten und dritten Falle zu 1200 und im vierten und fünften Falle zu 1100 Fr. pro kW angesetzt sind, woraus unter wahrscheinlichen Annahmen die in der Tabelle enthaltenen jährlichen Betriebsauslagen entstehen. Die disponibeln Abfallenergien sind, wie ersichtlich, nur zu einem gewissen Teil als verkauft angenommen, zu entsprechenden, geringen Preisen; für die Fremdenergie im Winter wird angenommen, dass ihr Preis rund der dreifache der eigenen Normalenergie sei.

Alle Annahmen bewegen sich in normal vorkommenden, für die gezogenen Schlüsse eher ungünstigen Werten.

Im ausführlichen *Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Betriebsarten,* den die Vorträge unter Begründungen enthalten, werden besonders folgende Zahlenwerte hervorgehoben, für welche hier auf die *Tabelle* (Seite 21) selbst verwiesen sei:

Die bedeutende Reduktion des Preises der Normalenergie, welche der Verkauf von Abfallenergie (Fall 3, 4 und 5) möglich macht; die von Fall 1 bis 5 gewaltige Steigerung der Ausnützung der Wasserkraftenergie und der abgebbaren Menge von Normalenergie wie von Totalenergie im Jahre; die namentlich durch Speicherung und Zukauf von wenig Winterergänzungsenergie erzielte bedeutende Steigerung der abgebbaren Normalenergie, d. h. des bedienbaren Gebietes oder der Intensität der Belieferung.

Es werden weiter ausgeführt die ersichtlichen Vorteile der Steigerung der Ausnützung bis zur Ueberschreitung der *direkten* Leistungsfähigkeit der Wasserkraft im Winter, es wird hingewiesen auf den trotz hoher Kosten erzielten Erfolg der Hochdruckakkumulierwerke und ihre Zusammenfassung mit Niederdruckwerken zu Arbeitsgruppen. Angedeutet wird, dass bei Niederdruckwerken die Verhältnisse analog sind wie im Beispiele, nur etwa die Dauer des Wintermangels kürzer und die der Sommerüberschüsse länger. Weiter wird erwähnt, wie das Aufgehen kleiner Werke, die vorher für sich allein schlecht ausgenützt waren, in einer grossen Kraftwerkgruppe zur Verbesserung ihrer Energieausnützung bis zu 100 % führen kann.

Sodann werden folgende Schlüsse gezogen als

allgemeine Folgerungen aus dem Beispiel:

1. Der Verkauf von Abfallenergie, besonders des Sommerüberschusses gibt die Möglichkeit der Herabsetzung der Preise für die (weiter oben definierte, das ganze Jahr zu gewöhnlichen Tarifen zur Verfügung zu haltende) „Normalenergie". Selbst die allergeringsten, auch sogenannte Schleuderpreise für solche Abfallenergie wirken in diesem Sinne.

2. Verkauf von Abfallenergie im Sommer kann selbst dann vorkommen und verbilligend auf die Normalenergie, also im Interesse von deren Abnehmern, wirken, wenn ein Werk im *Winter* Leistungs*mangel* hat.

Grundlagen und Ergebnisse des Beispiels verschiedener Ausnützung einer variabeln Wasserkraft.

	Ausnützungsart				
	1	2	3	4	5
Disponible Wasserkraft:					
Leistung . . . . . = P_d					
im Minimum . . . . . kW	. . . . .		4 500		
im Maximum . . . . . kW	. . . . .		27 500		
im Jahresmittel . . . . . kW	. . . . .		15 000		
Jahresarbeit . . . . . = A_d Mill. kWh	. . . . .		131		
Darstellende Fläche			ABFKYΩZVMΔHA		
	Bei Einrichtung und Betrieb				
	ohne beziehungsweise		mit Tagesspeicher		
	ohne	beziehungsweise	mit Abfallverkauf		
	ohne Bezug von Winter-Spitzenenergie bezw. mit solchem				
Ausbaugrösse:					
Leistung . . . . . = P_a kW	6 000	12 000	12 000	15 000	15 000
Mögliche Jahresarbeit (Wasserrückgang berücksichtigt) . . . . . = A_d' Mill. kWh	50	82	82	93	93
Darstellende Fläche	ABFMHA'	ABFKUVMΔHA		ABFKYZMΔHA	
Abgabeverhältnisse:					
Normalabgabe:					
Leistung . . . . . = P_c					
absolut maximale . . . . . kW	6 000	12 000	12 000	12 000	15 000
maximales Monatsmittel . . . . kW	3 000	6 000	6 000	6 000	7 500
Jahresenergie . . . . . = A_c Mill. kWh	20	40	40	40	50
Darstellende Fläche	ABCDEA		ABFGΔHA		ABJKLMNA
Abfall (im Jahre):					
Sommerkraft:					
konstante Leistung . . . . . kW	0	0	3 700	7 000	4 200
disponible Energie . . . . Mill. kWh	0	0	19	25	17
Darstellende Fläche	—	—	UVWXU	YZW'XY	YZΦΣY
davon abgegeben . . . = A_s Mill. kWh	0	0	15	20	13
Inkonstanter Abfall:					
disponible Energie . . . . Mill. kWh	0	0	28	29	29
Darstellende Fläche	—	—	FKUXWVMΔGF	FKYXW'ZVMΔGF	KYΣΦZVMLK
davon abgegeben . . . = A_a Mill. kWh	0	0	11	12	12
Winterergänzung:					
Bezogen vom Fremdwerk:					
maximale Leistung . . . . . kW	0	0	0	0	1 500
Energie im Jahre . . = A_f Mill. kWh	0	0	0	0	2
Darstellende Fläche	—	—	—	—	FJKF+HNMΔH
Totale Abgabe:					
maximale Leistung . . . . . kW	6 000	12 000	12 000	15 000	15 000
Jahresenergie = $A_c' \geqq A_c + A_s + A_a$ . . . Mill. kWh	20	40	66	72	75
Ausnützungsverhältnis der					
Wasserkraftenergie $(A_c' - A_f) : A_d$ . . . %	15	30	50	55	56
Werksenergie $(A_c' - A_f) : A_d'$ . . . . %	40	48	80	77	78
Finanzielles Ergebnis „ab Werk" per Jahr:					
Einnahmen aus:					
Normalabgabe . . . . . 1000 Fr.	900	1 400	1 400	1 500	1 500
(zum Normalpreis) . . . . (Rp./kWh)	(4,5)	(3,5)	(3,5)	(3,75)	(3,0)
Sommerenergie konst. Leist. 1000 Fr.	0	0	225	300	195
(zum Abfallpreis) . . . . . (Rp./kWh)			(1,5)	(1,5)	(1,5)
Inkonstante Abfallenergie . . 1000 Fr.	0	0	55	60	60
(zum Abfallpreis) . . . . . (Rp./kWh)			(0,5)	(0,5)	(0,5)
Insgesamt . . . . . 1000 Fr.	900	1 400	1 680	1 860	1 755
Abzug:					
Kosten der Fremdenenergie . 1000 Fr.	0	0	0	0	180
(zum erhöhten Preis) . . . (Rp./kWh)					(9,0)
Netto-Einnahmen . . . . . 1000 Fr.	900	1 400	1 680	1 860	1 575
Ausgaben für das Werk, totale . 1000 Fr.	900	1 000	1 400	1 500	1 500
Ueberschuss über Selbstkosten . . 1000 Fr.	0	0	280	360	75
ermöglicht Reduktion des Normalabgabepreises auf . . . (Rp./kWh)	—	—	(2,8)	(2,85)	(2,85)
Ermässigung des Normaltarifs um %	—	—	20	24	5
			[bezw. gegen 3,5:	19	19]

3. Der Ertrag aus Verkauf von Abfall- und besonders von überschüssiger Sommerenergie kann mit Erfolg, ausser zur Verbilligung der Normalenergie, auch zum Ankauf von Winterergänzungsenergie und damit zur besseren und einschränkungslosen Bedienung der Abnehmer von Normalenergie verwendet werden.

4. Winterergänzungsenergie kann durchaus wirtschaftlich sehr viel höher pro Einheit bezahlt werden als die mittleren Gestehungskosten der Normalenergie sind.

Hier ist in den Vorträgen näher ausgeführt, in welchem Masse dasselbe Quantum Jahresenergie in seinen Kosten steigt, wenn es, anstatt auf das Jahr verteilt, als Ergänzungsenergie in viel kürzerer Zeit, daher mit Einrichtungen für viel grössere Leistung, abgegeben werden muss.

5. Die *Winterkraftergänzung aus kalorischen Werken* wurde hier in den Vorträgen noch kurz behandelt mit dem Ergebnis, dass sie heute wohl für einzelne spezielle Fälle wieder wirtschaftlich sein könne, was aber vorsichtige Berechnungen in jedem Einzelfall untersuchen müssen.

6. Aus dem Vorstehenden ist auch die Verkehrtheit und Unhaltbarkeit von gewissen *schematischen Forderungen für den Nachweis der Rentabilität neu zu erstellender Werke* dargetan, die in jüngsten Vorschlägen selbst aus technischen Kreisen gelegentlich zu lesen waren, etwa von der Art: „Es sollten keine Werke mehr gebaut werden dürfen, bei denen die kWh ab Werk sich höher als auf 3 Rp. stellt.“ Solche einfachen „Formeln“ gibt es nicht, so einfach ist auch *diese* Technik nicht.

7. Es wird wohl nach dem früher Gesagten keiner allgemeinen Erörterung mehr bedürfen, dass genau ebenso die, leider ebenfalls von technischer Seite schon unterstützte Forderung nach einem *Einheitspreis* aller *abgegebenen* Energie in den Bereich des Unverständigen gehört, solange man eine gute, auch für den Abnehmer vorteilhafte Ausnützung der Wasserkräfte will.

Dieser Satz wurde in den Vorträgen genauer belegt durch Zahlenbeispiele, welche sofort zeigen, wie dieselbe Zahl Kilowattstunden aus einem hydro-elektrischen Werke sehr verschiedene Totalgestehungskosten ergäbe, je nachdem das Werk jene Energie z. B. nur für Licht oder nur für Industriemotoren usw. mit entsprechend viel grösserer oder kleinerer Ausbauleistung und Verteilanlagen zu liefern hätte.

Elektrische Energietarife sind eine mindestens ebenso komplexe Sache wie z. B. Eisenbahntransporttarife. Dort wird kein Einsichtiger vorschlagen, dass der Transport eines Kilozentners über eine bestimmte Entfernung dasselbe kosten solle, gleichgültig ob derselbe aus Kohle im Güterzug oder aus einem gewichtigen Fahrgast in der ersten Klasse des Expresszuges bestehe, und doch handelt es sich in beiden Fällen auch um genau das gleiche Netto-Energiequantum.

Folgerungen für den Bau hydroelektrischer Werke.

Die Verhältnisse gestatten leider nicht, diesen Teil noch so eingehend zu behandeln, wie beabsichtigt war. Zunächst einiges

Technisches. Da der Ausgleich der Leistungsabgabe wohl durch entsprechende Tarifmassnahmen etwas gefördert werden kann, aber niemals auf eine konstante Leistung zu bringen sein wird, geschweige denn auf eine Steigerung der abgenommenen Leistungen im Sommer über diejenigen des Winters, wie sie den natürlichen zufliessenden Wasserleistungen entspräche, so bleibt die Notwendigkeit des *Ausgleichs* in der *Erzeugung*, d. h. der *Wasserspeicherung*, der Schaffung von Akkumulierbecken bestehen. In erster Linie sind nötig

Tagesspeicher. Solche sollten wo irgend möglich bei keinem Wasserkraftwerk weggelassen werden, dessen Druckverhältnisse dies gestatten. Die Wirtschaftlichkeit erlaubt sicherlich noch etwas höhere Ausgaben für solche Speicher, als man früher glaubte und teilweise vielleicht jetzt noch annimmt. Gerade im Verlauf durch die Stunden eines Tages kommen ja die grössten Unterschiede der Leistung vor. Wie wir sahen, stellt sich das Schwankungsverhältnis des Tages, das Verhältnis zwischen der maximalen und mittleren Leistung im Tage, das früher bis zu 8 stieg, auch heute noch vielfach auf 3 bis 4 und nur in günstigsten Fällen etwa auf 2. Ein Tagesspeicher wird daher, sofern ein Werk diese Schwankungen zu liefern hat (z. B. in

der Hauptsache für sich allein für Allgemeinzwecke arbeitet), die Abgabefähigkeit des Werks mindestens verdoppeln, wie gerade unser „Beispiel" zeigte. Dazu kommt, dass die kurze Zeit, über welche hierbei gespeichert werden muss, der Wirtschaftlichkeit günstig ist, da der Speicherinhalt nur relativ klein zu sein braucht. (Die Veränderlichkeit der mittleren Wochenleistungen oder Monatsleistungen durch das *Jahr* ist verhältnismässig viel geringer, erfordert aber trotzdem wegen der langen Zeit selbstverständlich ungeheuer viel grössere Stauräume.) Mit *wenig Mitteln* ist hier *sehr viel zu erreichen.* Auch bei Niederdruckwerken wird, wenigstens bei „Usinesbarrage", da und dort eine gewisse Kurzzeitspeicherung erzielbar und wenn möglich auszuführen sein.

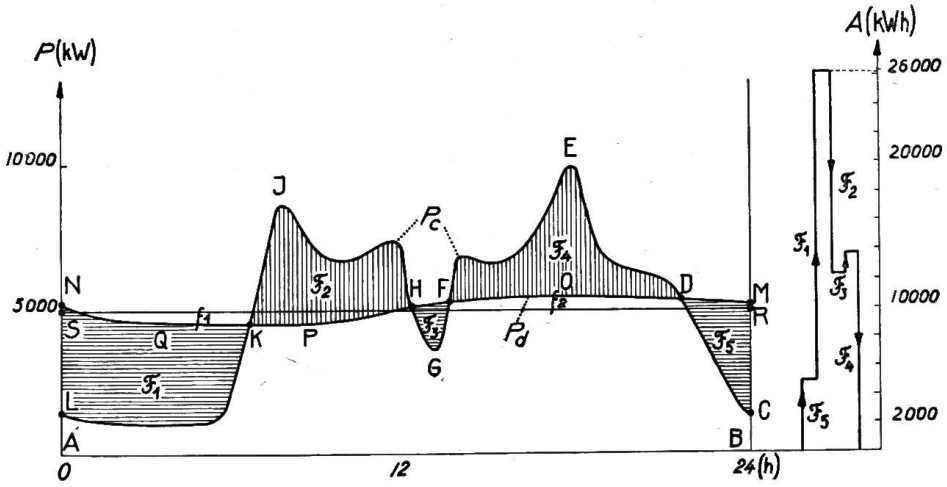

Fig. 8

Beispiel für die Bestimmung der Grösse von Tagesspeichern.

Die Bestimmung der Grösse von Tagesspeichern erfordert, wie überhaupt diejenige eines Speichers für irgendeinen Zeitabschnitt, die Kenntnis des wirklichen, *zeitlichen* Verlaufs der beanspruchten Leistung (in PS oder kW) durch die Stunden des Tages. Es dürfen dabei die in vielen Fällen vorkommenden stündlichen Veränderungen des Wasserzuflusses (z. B. durch Besonnungsverhältnisse oder Oberliegerwerke verursacht) nicht vernachlässigt werden, d. h. es muss auch der zeitliche Verlauf der disponibeln Leistung aufgezeichnet werden, beides für denselben im Zusammentreffen ungünstigsten Tag. Die Aufzeichnung der beiden Kurven liefert durch die unter- und überschiessenden Flächen zwischen beiden ohne weiteres die Kapazität des Speichers in PSh oder kWh und damit durch Umrechnung den Stauraum in m³ Wasser.

Das Diagramm Fig. 8 diene zur Erläuterung.

Darin stellt die Kurve P_d den Tagesverlauf der disponibeln Leistung des zufliessenden Wassers, die Kurve P_c denjenigen der konsumierten Leistung, die Rechteckshöhe $AS = BR$ das für beide gleiche Mittel dar (volle Ausnützung der zufliessenden Energie). Die Summe der überschiessenden Energieflächen

$F_1 + F_3 + F_5 = 21\,300 + 1400 + 4900$ kWh,

die aus dem Speicher zu decken sind, ist dann gleich der Summe der unterschiessenden $F_2 + F_4 = 13\,600 + 14\,000$ kWh = der gespeicherten Energie.

Zur Zeit	Kilowattstunden		
	Inhalt	Füllung	Leerung
„*D*"	0		
		+ 4900	–
„*M*" (*N*)	4900		
		+ 21 300	–
„*K*"	26 200		
		–	– 13 600
„*H*"	12 600		
		+ 1400	–
„*F*"	14 000		
		–	– 14 000
„*D*"	0		

Denkt man sich den Speicher zur Zeit des Punktes *D* leer, so erhält man die in vorstehender Tabelle enthaltenen Daten.

Der notwendige *Speicherinhalt* ergibt sich als der grösste Wert in der Kolonne „Inhalt." Also hier gleich 26 200 kWh. Hat man die Rechnung nicht zufällig (wie hier)

an dem Punkte wirklichen Leerseins begonnen, so ergibt sich der Inhalt als grösste algebraische Differenz der (positiven und negativen) Inhaltszahlen. Die zeichnerische Auftragung der den Hydraulikern geläufigen „*Summenkurven*", welche die Energieflächen in einem Längenmasstab darstellen, ist zur Bestimmung der Speicherkapazität nicht nötig; man kann, da der *zeitliche* Verlauf des Inhalts hier ohne Bedeutung ist, eine graphische Uebersicht durch Auftragung der Füllungs- und Leerungsmengen ohne Rücksicht auf einen Zeitmasstab gewinnen, wie dies *rechts* in der Fig. 8 geschehen ist.

Falls die gesamte, in der ganzen Speicherungsperiode beanspruchte Arbeit zunächst noch kleiner ist als die zufliessende Wasserenergie, so ergeben sich die Aenderungen in der Figur und der alsdann kleinere Speicherinhalt und die Ueberlaufmenge leicht. Doch wird man sich einrichten, wenigstens später durch Vergrösserung des Speichers die ganze Wassermenge ausnützen zu können, z. B. unter Voraussetzung gleichbleibenden Charakters der Abgabe. Alsdann sind einfach alle Ordinaten der P_c-Kurve im selben Verhältnis derart zum „Zukunftsverlauf" der Leistungsabgabe zu erhöhen, dass der Flächeninhalt unter dieser Kurve gleich der Wasserenergie wird, worauf die Bestimmung der Speicherkapazität mittels dieser Zukunftskurve dieselbe wird wie vorhin.

Die Ergebnisse über den nötigen Inhalt von Tagesspeichern hängen zunächst vom *Verlauf der zufliessenden Wasserleistung* ab, deren Veränderungen durch den *Tag* allerdings in vielen Fällen unbedeutend sind, und sodann selbstverständlich besonders von dem *Tagesverlauf der konsumierten Leistungen.* Dieser hinwiederum wird einer der geschilderten, charakteristischen Kurven entsprechen für ein Werk, das für sich allein für alle normal vorkommenden Zwecke eines bestimmten Gebietes, etwa in der bei uns auftretenden Verteilung der Verwendungen, alle Energie liefert. Ein solcher Verlauf ist in Fig. 8 angenommen. Der Energieinhalt des Speichers muss hier 26 200 kWh sein bei einer totalen Tagesenergie von 120 000 kWh, beträgt also = 21 % der letzteren. Wo dagegen z. B. Fremdkraftbezug eintritt oder das Werk mit irgend einem anderen in besonderer Weise zusammenarbeitet oder gar nur Spitzenkraft für ein solches liefert, können Füllung und Leerung in ihrem Verlauf einen gänzlich anderen Charakter und der Speicher wesentlich verschiedenen Inhalt annehmen.

Allgemeine Zahlenangaben über die relative Grösse der nötigen Speicher können daher nur etwa für den skizzierten Fall der vollen Allgemeinversorgung eines Gebietes, z. B. unter schweizerischen Verhältnissen mit den hier auftretenden Schwankungsverhältnissen, gemacht werden. Selbstverständlich handelt es sich dabei um die *Verhältniszahl* zwischen dem nötigen Energieinhalt des Akkumulierbeckens A_a und der *gesamten,* während der Dauer einer ganzen *Speicherungsperiode abzugebenden* Energie A_t. Ohne näher darauf einzutreten, sei beigefügt, dass für den Fall eines über die Speicherungsperiodendauer *konstanten Wasserzuflusses* für dieses vorgenannte Verhältnis ein *oberer Grenzwert* $\left(\frac{A_a}{A_t}\right)_{max} = \frac{\sigma - 1}{\sigma}$ gefunden wird. In Wirklichkeit wird aber, besonders wo *mehr*maliger Wechsel zwischen Auffüllen und Entleeren innerhalb einer Periode vorkommt (z. B. Bahnbetriebe, Mittagsfüllung bei Allgemeinbetrieb für Tagesspeicher usw.), der nötige Speicherinhalt im allgemeinen bei weitem nicht so gross.

Notwendige Energiekapazität für Speicher verschiedener Periodendauer, welche die volle Ausnützung der, über die ganze Speicherungsperiode zufliessenden Wasserenergie (deren Zuflussleistung als über die Periodendauer *konstant* angenommen wird) durch die wirklich vorkommenden, variabeln abzugebenden Leistungen bewirken, unter Annahme der Veränderlichkeit letzterer entsprechend den heutigen Verhältnissen solcher schweizerischer Elektrizitätswerke, die für sich *allein* eine volle *Allgemeinversorgung* durchführen:

Für die Fälle dieser Voraussetzungen ergeben sich aus den Konsumkurven in Wirklichkeit ungefähr die Zahlen:

Kapazität eines Tagesausgleichspeichers

= ca. 15 bis 25 % der grössten Tagesarbeit (eines Winterwerktages),
= ca. 0,5 bis 1 % der konsumierten Jahresarbeit;

Kapazität eines Wochenausgleichspeichers

= ca. 8 bis 12 % der grössten Wochenarbeit (Dezemberwoche),
= ca. 1,5 bis 3,5 % der konsumierten Jahresarbeit,
= 2,5 bis 3,5 mal so gross als der Tagesausgleichspeicher;

Kapazität eines Jahresausgleichspeichers

= ca. 8 bis 12 % der konsumierten Jahresarbeit.

Nochmals sei wiederholt: für *unveränderlichen Zufluss.*

Für veränderlichen Zufluss, in den sehr von einander abweichenden Verhältnissen unserer Gewässer, stellt sich für die oben definierte „Allgemeinabgabe normalen Verlaufes" für volle Ausnützung der Wasserenergie in Wirklichkeit etwa die Kapazität eines

Jahresausgleichspeichers

= ca. 15 bis 40 (bis 50) % der konsumierten Jahresarbeit.

Zur Bedeutung der Speicher sei noch folgendes beigefügt:

Für die **Tagesspeicher** wurde die besondere Wichtigkeit und Wirksamkeit schon weiter oben dargetan.

Wochenausgleichspeicher haben durch die Reduktion der Arbeitszeit, insbesondere die Einführung des freien Samstagnachmittags, an Bedeutung entschieden zugenommen. Was von der Wirksamkeit des Tagesausgleichspeichers gesagt wurde, gilt heute, wenn auch nicht in ebensolchem Masse, daher vielfach auch für die Wochenspeicherung. Diese ist mit relativ mässigen Kapazitäten ausführbar, wird daher sicher noch da und dort wirtschaftlich und durchführbar. Aus den früher gegebenen Zahlen geht hervor, dass sich dadurch heute schon Steigerungen der maximalen und der mittleren abgebbaren Leistungen um etwa 10 bis 12 % erzielen lassen.

Speicher für den Jahresausgleich sind, das braucht hier nicht weiter erörtert zu werden, nicht sehr häufig wirtschaftlich möglich. Immerhin muss meines Erachtens die Veranlagung unserer hydro-elektrischen Werke von den, in den ersten Anfängen etwa an Raubbau grenzenden Verfahren so viel als möglich weiterschreiten auf dem heute eingeschlagenen Wege der Schaffung von Jahresspeichern. Wo nicht weiter gegangen werden kann, sind Speicherbecken anzustreben, die einen Jahresausgleich wenigstens für das betreffende Werk selbst bezwecken. Das wird, seit durch den Krieg die gesteigerten Brennstoffpreise eintraten, noch in manchen Fällen wirtschaftlich sein, in denen man dies vorher vielleicht nicht annehmen konnte.

Speicher zur Winteraushilfe an andere Werke, insbesondere solche zur Aufstapelung des ganzen Jahreszuflusses auf den Winter und ohne Sommerentnahme lassen sich gewiss nur an besonders wenigen Orten billig genug erstellen. Hier sollte daher eine *sorgfältige Auswahl* Platz greifen auf eine geringe Zahl grosser Objekte, die als besonders günstig sowohl in lokal-topographischer Hinsicht wie in bezug auf ihre Lage im Lande befunden werden. Notwendig aber sind weitere solche Werke, wie wir zeigten, für eine rationelle Nutzung unserer Wasserkräfte in grossem Masse.

Betreffend die **Wirkung der Ausgleichspeicher** sei noch auf einen Punkt aufmerksam gemacht: Die Förderung der Abgabe von *Spätnachtenergie* ist wichtig für den Tagesausgleich. Sie kann daher besonders dazu dienen, die vorhandenen *Verteilanlagen,* Transformatorenstationen usw. besser auszunützen, d. h. die für deren Verzinsung usw. auszulegenden Beträge auf eine grössere Anzahl kWh zu verteilen und damit den mittleren Gestehungspreis der „Normalabgabe" zu vermindern. Diese

Wirkung ist vorhanden, ob Speicherung angewendet wird oder nicht. Ist gar keine Speicherung da, so tritt weitere, analoge Wirkung auch durch Verteilung der jährlichen *Kraftwerk*kosten auf eine grössere Energiemenge ein. Werden Speicher für den *Tages*ausgleich zugefügt, so vermindert die Nachtenergieabgabe selbstverständlich auch die nötige Grösse der Tagesspeicher und damit die Auslagen für diese. Gleichzeitig verliert nun aber die Abgabe weiterer Spätnachtenergie an Wirksamkeit, weil Energie, die nachts nicht verwendet wurde, nunmehr durch die Speicherung am Tage als „Normalenergie" verkäuflich wird. Noch deutlicher zeigt sich diese Wirkung, sobald ein Werk mit Speicherung zum *Jahres*ausgleich ausgerüstet ist, oder mit einem derart eingerichteten anderen Werk technisch und vielleicht auch finanziell verbunden ist. Wie aus den oben gegebenen Grössenordnungen solcher Speicher ersichtlich, liefern nämlich Jahresspeicher den *Tages*ausgleich *ohne weiteres* und gewissermassen unmerklich. So verliert für Werke oder Werksgruppen mit mächtigen Jahresspeichern die Förderung der Nachtstromabgabe zum Ausgleich durch den Tag an Bedeutung, indem sie nur noch eine Verminderung der aus den Jahreskosten der *Verteilungs*anlagen entstehenden *Zusatz*kosten der Energieeinheit bewirkt, die Verbilligung der Energiekosten *ab Werk* aber nun vorteilhafter durch Mehrabgabe von *Normal*energie erzielt werden kann. Daraus folgt, dass in diesen Fällen die Reduktion auf dem Energiepreis für Nachtstrom wirtschaftlich nicht mehr so weit gehen kann wie in den Werken geringerer Speicherfähigkeit.

Die Ausbaugrösse der Werke. Diese richtet sich bei nichtspeichernden Werken mit variabler Leistung vorwiegend nach der Absetzbarkeit von Sommerenergie und bei den Werken mit möglicher Speicherung nach dem, für die betreffende Verwendung (als Alleinwerk oder als mit andern gekuppeltes oder als reines Winterwerk) sich einstellenden Maximum der konsumierten Leistung, der vom Falle „Normalabgabe" bis zur Abgabe von Winterspitzenenergie sehr verschieden ausfällt. Zwischen diesen weit auseinanderliegenden Grenzen kommen alle denkbaren Möglichkeiten und Kombinationen vor und allgemeine Zahlenregeln lassen sich natürlich nicht angeben.

Dagegen scheint mir, man könnte doch etwa folgende *Richtlinien* festlegen, sofern man den Glauben an eine, wenn auch langsame Wiedergesundung unserer europäischen Wirtschaftsverhältnisse nicht verloren hat und demgemäss wirklich ernstlich und unvoreingenommen an eine möglichst volle Nutzbarmachung dieses unseres Nationalvermögens herangehen will, was ja nicht sofort mit vollen Segeln ausgeführt zu werden braucht!

Der angemessene Export von Energie, durch welchen das Inland gar nichts verliert, aber vieles gewinnen kann, erweist sich, zum mindesten im Sommer, als unumgänglich. Betrachtet man die Sache von etwas umfassenderem Standpunkt, so darf man wohl heute die Frage des Energieausgleiches über Landesgrenzen hinaus über einen ganzen Kontinent ins Auge fassen, ein Gedanke, der schon wiederholt geäussert wurde. Die Kohlenländer haben bisher meist ebenso billige und zum Teil billigere Energie erzeugen können als wir mit unseren Wasserkräften. Aber ich kann mir nicht vorstellen, dass die stattgehabte *relative* Erhöhung der Wertung der Handarbeit, mit welcher doch die Kohlenförderungskosten eng verbunden sind, wieder vollständig verschwinde, so dass die Kosten des Brennstoffes wieder auf das frühere Verhältnis zu den Kosten anderer Bedürfnisse zurückgingen. Die Erstellungs- und Betriebskosten unserer hydro-elektrischen Werke werden zwar aus demselben Grunde auch nicht mehr auf das Vorkriegsmass zurückkommen, allein das Mass der Steigerung der *Betriebs*ausgaben ist hier nicht so hoch, namentlich wegen des grossen Anteils der Kapitalzinsen. Es kommt hinzu, dass man doch auch in Kohlen- und Oelländern beginnt, an die Erschöpfbarkeit jener Mittel im Vergleich zur Unerschöpflichkeit des Wasserflusses zu denken. Daher dürfte sich vielleicht doch die Erscheinung der letzten Zeit fortsetzen, dass sich auch die nur *zeitweise* Verwendung von Wasserkraft, nämlich zu Jahreszeiten, wo sie besonders reichlich und daher billig ist, selbst in Brennstoffländern als wirtschaftlich erweist und daher mit dem Export weiterer Mengen von Sommerenergie von uns an Nachbarländer, die an billigen Wasser-

kräften ärmer sind, gerechnet werden darf. Anderseits könnte vielleicht auch die Verwendung kalorischer Winterspitzenkraft für uns in der Weise wieder wirtschaftlich werden, dass aus den Gegenden der billigen Kohle uns im Winter auf denselben elektrischen Wegen, die im Sommer dem Export dienen, kurzzeitig mangelnde Leistungen zugeführt würden. Ein derartiger Austausch von Energie von Land zu Land auf elektrischem Wege scheint mir keine Unwahrscheinlichkeit für eine bessere Zukunft zu sein.

Jedenfalls aber können und sollten wir mit dem Export überschüssiger Sommerkräfte beim zukünftigen Ausbau unserer Werke rechnen.

Das führt zum Schluss, dass man beispielsweise bei *Niederdruckwerken* nicht aus allzu grosser Aengstlichkeit zufolge der gegenwärtigen Krise die Ausbaugrösse herabsetzen soll, sondern sie mindestens so hoch halten, wie es in der letzten Zeit geschah. (Wir konstatieren an Beispielen, dass am selben Flusse der Ausbau in letzter Zeit auf die doppelte Leistung ausgeführt wurde als vor 20 oder 30 Jahren, sogar bei weiter oben liegenden Werken.) Bei Niederdruckwerken wird ein späterer Weiterausbau bei bisheriger Bauweise im allgemeinen durch die erste Anlage verunmöglicht, abgesehen etwa von der Maschinerie. Anderseits wird eine hohe Ausbauleistung vielleicht längere Jahre nicht gebraucht werden.

Es wäre hier sehr wünschbar, „Sparlösungen" zu finden, die allenfalls teilweisen spätern Ausbau ermöglichten. Ein reiches Feld für unsere Wasserbauingenieure! Es scheint mir, dass es für die heutige Technik z. B. kein unlösbares Problem wäre, den Unterbau der Maschinenhäuser bei Niederdruckwerken auf ein durchaus Notwendiges in der Fundation und Umfassung zu beschränken mit einer Konstruktion, die den spätern Ausbau für mehr Maschinen und den Einbau von weiteren Turbinen in anderer Bauart und Grösse ermöglichen und die anfänglichen Kosten möglichst erniedrigen würde. (Das wäre auch für den Turbinenbau, der besonders für Niederdruck heute immer noch stark im Fluss ist, vorteilhaft.) Ob und wie auch für die Wasserzuführungsanlagen ein späterer Ausbau von Niederdruckanlagen ohne grosse Betriebsstörung ermöglicht werden könnte, ist ein Problem, das der Ingenieurkunst immerhin wenigstens gestellt werden dürfte.

Bei solchen *Hochdruckwerken,* die *keine* wirtschaftliche *Akkumulierung* ermöglichen, liegt mit Rücksicht auf die im allgemeinen leicht mögliche Verbindung mit Winterergänzungswerken ebenfalls kein Anlass vor, den Ausbau allzu ängstlich nach der Niederwasserleistung zu richten. Wie weit man jeweilen gehen soll, können natürlich im einzelnen Falle nur Wirtschaftlichkeitsrechnungen entscheiden. Hier wird es leichter sein, zur Ersparnis einzelne Teile vorläufig nur entsprechend einer kleineren Ausbaugrösse zu erstellen und erst später zu erweitern, gleichzeitig aber die später nicht mehr erweiterungsfähigen Teile von Anfang an für eine genügend grosse, endgültige Leistung zu bemessen. Immerhin stellt sich bekanntlich auch hier schon seit einer Reihe von Jahren ein ähnliches Problem für den allmählichen Ausbau: Oft ist für eine Anzahl Jahre das Auskommen mit einem wesentlich geringeren Speicherinhalt zu erwarten und die spätere Notwendigkeit oder Wirtschaftlichkeit einer an sich möglichen grösseren Speicherung ist nicht selten wenigstens fraglich. Man hat sich da bisher bekanntlich damit geholfen, das Stauwerk in seinem unteren Teil von Anfang an so zu bauen, dass es die spätere Erhöhung ohne weiteres erträgt, wodurch aber wiederum für den ersten Ausbau bedeutende, sich schlecht lohnende, vielleicht für immer unnütze Kapitalinvestitionen entstehen. Demgegenüber ist es gewiss ein Problem der Ingenieurbaukunst, dessen Lösung grosse Verantwortung in sich schliesst, das sich aber doch vielleicht als in voller Sicherheit lösbar erweist und dessen baldige Lösung jedenfalls erwünscht ist: Stauwerke in sicherer Weise für einen höheren Aufbau ohne Betriebsstörung nachträglich verstärken zu können.

Die Ausbaugrösse von *Hochdruckwerken,* bei denen entsprechende *Akkumulierung* möglich ist, bestimmt sich rein durch die Verwendungsart. Werke für Allge-

meinzwecke, die für sich allein arbeiten und bei denen Akkumulierung bis zur Ausnützung der ganzen Jahreswasserarbeit oder eines bestimmten Teils derselben wirtschaftlich möglich ist, braucht man heute nicht mehr mit so grosser Ausbauleistung zu bauen wie früher. Musste man anfänglich mit nur etwa 2000 bis 2500 Stunden jährlicher ideeller Benützungsdauer der Maximalleistung rechnen, so wird man bei einigermassen geschickter Tarifpolitik heute schon 3500 bis 4000 Stunden erreichen, so dass man die nötige Ausbaugrösse rechnerisch erhält, indem man die verfügbare Jahres*arbeit* in kWh etwa durch *3500 h* dividiert; der Quotient liefert die Ausbauleistung in kW.

Weitere Grundsätze

für jeglichen zukünftigen hydro-elektrischen Kraftwerksbau werden sich etwa folgende ergeben:

1. *Sparsamkeit* wird mehr als bisher walten müssen. Sie darf aber selbstverständlich weder zu unsolider noch zu solcher Bauweise führen, bei der allzu grosse Rücksicht auf „billige Anlage" die *Bedienung* erschwert und damit verteuert. Hierin müssen wir gegenteils unsere bisherige schweizerische Praxis, die wir gewiss als gut bezeichnen dürfen, beibehalten. Denn gerade die Verteuerung der Löhne und die Arbeiterschwierigkeiten überhaupt müssen dazu führen, einmalige Kosten für Vereinfachung und bequemere Gestaltung der Bedienung nicht zu scheuen. Weiter dürfte unsere öffentliche Meinung auch fernerhin kaum mit aus Sparsamkeit *unschön* erstellten Bauten einverstanden sein. Man darf aber der heutigen Baukunst das Zeugnis geben, dass sie auch *einfache* Bauten schön zu gestalten versteht, und es darf erwartet werden, dass sie auf dem begangenen Wege, mit allerlei Zierat abzufahren, weiterschreite. Man darf vielleicht auch da und dort von einem gewissen Luxus in Ausstattung, Wahl des Materials und dergl. noch etwas mehr abgehen als man es in der reichen Vorkriegszeit tat, und sich daran gewöhnen, Baugebilde, welche ihren Zweck in einfacher Form zum Ausdruck bringen, nicht unbedingt als unschön zu taxieren. So wird man z. B. sogenannte Freiluftstationen für Höchstspannungsschalt- und Transformatorenanlagen, die in manchen Fällen doch erhebliche Ersparnisse erziehen lassen, nicht aus ästhetischen Gründen verpönen dürfen, und wir Elektriker werden die zweckmässige Gestaltung solcher und in der Bauweise „gemischter" Anlagen, wie überhaupt die möglichste Vereinfachung des elektrischen und maschinellen Teils weiterhin als wichtige Aufgabe für uns betrachten müssen.

2. *Vorsicht und Planmässigkeit* im weiteren Vorgehen. In diesem Punkte bin ich zwar nicht der Meinung, dass in den letzten Jahren bei uns dagegen namhaft gesündigt worden sei. Wir dürfen ruhig sagen, dass der Ausbau unserer hydroelektrischen Werke im allgemeinen in sehr guten Händen liegt. Das zeigt die weitgehende und erfolgreiche Versorgung des Landes mit elektrischer Energie, die im Auslande als mustergültig anerkannt ist. Wenn heute Ueberproduktion vorhanden ist, so ist die allgemeine Weltkrisis deren Ursache. Dass deren Eintritt an einzelnen Stellen vielleicht nicht rasch genug erkannt und dementsprechende Massnahmen nicht sofort getroffen wurden, mag richtig sein; es muss aber auch berücksichtigt werden, dass Entschlüsse auf diesem Gebiete, wie sie zur Zeit der Hochkonjunktur und des Kraftmangels gefasst und gerade auch von der öffentlichen Meinung begrüsst, ja verlangt wurden, nicht so leicht rückgängig zu machen sind. Vorsicht und Planmässigkeit sollen uns nun ganz besonders leiten, aber man darf die Zuversicht haben, dass Technik, Finanz und Behörden von selbst auf diesem Wege schreiten und dass die grossen, auf dem Gebiete tätigen Gemeinschaften und Unternehmungen in zweckmässiger *Verständigung* arbeiten werden. Zu Beunruhigung oder besonderen gesetzlichen Massnahmen liegt meines Erachtens kein Grund vor.