Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 76 (1958)
Heft: 35

Artikel: Zur Frage der Ausbauleistung schweizerischer Wasserkraftwerke
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-64031

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: 09.07.2025

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

Zur Frage der Ausbauleistung schweizerischer Wasserkraftwerke

DK 621.29:621.039

Die mit der Eingliederung von Atomkraftwerken in England sich ergebenden Probleme, die von *A. Kroms* hier ausführlich beleuchtet wurden, stellen sich in etwas veränderter Art in naher Zukunft auch für unser Land. Hierauf hat *F. Aemmer,* Direktor der Elektra Baselland, in seinem Bericht zum 11. Kongress der Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique (UNIPEDE) [1]) hingewiesen, der auszugsweise im «Bulletin SEV» vom 19. Juli 1958 veröffentlicht worden ist und in dem folgendes ausgeführt wird:

Der gegenwärtige Stand der Erzeugungsanlagen und der Verteilleitungen in der Schweiz ist durch die bisherige Entwicklung bedingt und dadurch gekennzeichnet, dass fast der gesamte Bedarf durch Wasserkraftwerke gedeckt wird, wobei rd. 55 % der Gesamtproduktion von Laufwerken erzeugt werden. Der Verbrauch konnte durch Boiler, Elektrokessel und andere Verbraucher, die geringerwertige Energie zu entsprechend niedrigen Tarifen beziehen, weitgehend den verfügbaren Erzeugungsmöglichkeiten angepasst werden. In den beiden letzten Jahrzehnten sind in vermehrtem Masse Speicherkraftwerke in den Hochalpen errichtet worden, um das Wasserangebot im Sommer auf den Winter zu verschieben und gleichzeitig grosse Leistungen für die Spitzendeckung einsetzen zu können. Diese Entwicklung wird konsequent weiter verfolgt. Sie erlaubt eine wirtschaftliche Nutzung grosser zusammenhängender Gebiete und ermöglicht, aus den gegebenen topographischen und hydrologischen Verhältnissen ein Höchstmass an Energie zu erzeugen. Aus Tabelle 1 geht die Erzeugung aller Anlagen hervor, die gegenwärtig in Betrieb stehen oder deren Verwirklichung auf Grund vorliegender Studien vorgesehen ist. Dieser Vollausbau wird bei der vorauszusehenden Bedarfsentwicklung in 10 bis 15 Jahren vollzogen sein müssen. Die Zahlen für das Sommerhalbjahr enthalten eine Speicherreserve von 0,9 TWh für den vorhergehenden Winter; diese ist nötig, weil die Schneeschmelze in mittleren Lagen oft erst sehr spät einsetzt, so dass die Laufwerke unter Wassermangel leiden und Speicherwerke einspringen müssen. Um diesen Betrag erhöht sich die Winterproduktion der Speicherwerke; sie wird also 11,6 TWh betragen müssen.

Nach erfolgtem Vollausbau der Wasserkräfte werden zur Deckung des zusätzlichen Bedarfs bei uns vor allem Kernenergiekraftwerke in das Versorgungssystem eingegliedert werden. Diese eignen sich, wie die Laufwerke an unseren Flüssen, vor allem zur Grundlastdeckung. Die in ihnen verfügbare Leistung ist aber konstant und nicht wie die der Laufwerke von der Witterung bzw. von der Wasserführung abhängig. Ein wesentlicher Unterschied besteht auch darin, dass die Laufwerke sehr billige Ueberschussenergie abgeben können, weil für den dazu benötigten Energieträger keine Kosten anzurechnen sind, während bei Kernkraftwerken für das Aufbereiten der Spaltstoffstäbe sich erhebliche Aufwendungen ergeben. Man wird daher die Laufwerke der jeweiligen Wasserführung entsprechend voll auslasten. Jedoch wird es bei zunehmendem Einsatz von Kernkraftwerken wirtschaftlich nicht mehr tragbar sein, elektrische Energie für Boiler, Elektrokessel und andere Verwendungszwecke zu den heute hiefür üblichen Preisen abzugeben. Für reine Heizaufgaben dürften daher Gas, Kohle und Oel vermehrte Bedeutung erlangen.

Eine sehr wesentliche Aenderung ergibt sich für die Speicherkraftwerke: Die Aufgabe des Ausgleichs der Energielieferung zwischen Sommer und Winter, die bisher im Zusammenwirken mit den Laufwerken im Vordergrund stand, tritt zunehmend mehr zurück gegenüber jener der Spitzendeckung. Nur Speicherkraftwerke vermögen diese Aufgabe ohne Verluste am Energieträger und mit hohem Wirkungsgrad auch bei kleinen Belastungen zu lösen. Dazu ist aber eine wesentliche Erhöhung der Ausbauleistung, also eine entsprechende Verringerung der Vollbetriebsstundenzahl pro Jahr erforderlich. Da dabei nur ein Teil der Anlagen zu erweitern sind, ergeben sich keine aussergewöhnlichen Kosten. Tatsächlich erweist sich diese Lösung billiger als die Bereitstellung zusätzlicher Leistung in Form von thermischen Kraftwerken.

Die Aenderung der Aufgaben, die sich nach erfolgtem Vollausbau der Wasserkräfte für die Speicherkraftwerke ergeben werden, wirken sich, wie festgestellt wurde, in einer Erhöhung der Ausbauleistungen aus. Um sich über die Grössenordnung Rechenschaft geben zu können, hat man in Tabelle 2 die mutmassliche Verteilung der wahrscheinlichen Spitzenbelastung der Netze (Pos. 2) auf die drei Kraftwerkkategorien aufgeteilt (Pos. 3, 6 und 9) und zu den so erhaltenen Spitzenleistungen angemessene Reserven (Pos. 5, 8, 10) hinzugefügt, um welche die Speicherwerkleistung erhöht werden muss. Die Tabelle ist für jährliche Verbrauchszahlen an elektrischer Energie von 30 bis 60 TWh/J aufgestellt (Pos. 1). Die angegebenen Spitzenbelastungen der Netze beziehen sich auf die Verhältnisse an einem Winterwerktag, weil dieser für den Leistungsbedarf massgebend sein wird. In den Laufwerken steht die durchschnittliche Winterleistung (von 1100 MW) bei Trockenperioden nicht zur Verfügung, so dass hierfür bei den Speicherwerken eine Reserve (von 500 MW = etwa ¼ der Ausbauleistung der Laufwerke) vorgesehen werden muss. Bei der Festlegung der Leistungsreserve für Kernkraftwerke wurde mit einem Ausserbetriebsetzungsfaktor gerechnet, der anfänglich zu 50 %, später schrittweise bis 20 % abnehmend angenommen wurde. Bei den Speicherwerken ist eine Reserve von 5 % als genügend erachtet worden. Sie berücksichtigt nicht nur allfällige Betriebsunterbrechungen, sondern auch Ausfälle infolge Erschöpfung einzelner Speicherbecken gegen Winterende. Schliesslich hat man eine Gesamtreserve (von 400 MW) vorgesehen, um den Betriebsunterbrechungen in den Verteilnetzen zu begegnen. Ihr prozentualer Anteil an der Gesamtleistung darf mit zunehmendem Ausbau der Netze und entsprechender Erhöhung der Sicherheit kleiner angenommen werden.

Durch Addieren der Pos. 5, 8, 9, 10 und 14 erhält man die wünschbare Ausbauleistung der Speicherwerke (Pos. 17), die als theoretisch optimale Ausbauleistung bezeichnet werden kann. Die Erzeugungsmöglichkeit an Winterenergie bleibt unverändert 11,6 TWh. Entsprechend dem starken Ansteigen der Ausbauleistung fällt die Benützungsdauer im Winter stark ab. Heute weisen die Speicherwerke im Winter eine Benützungsdauer von 1700 h auf. Nimmt man für die noch zu erstellenden Speicherwerke diese Zahl zu 1860 h an, so genügt die entsprechende Ausbauleistung bis zu einem Jahresverbrauch von 50 TWh. Dieser dürfte schon in etwa 30 Jahren erreicht sein, also zu einem Zeitpunkt, da die heute im Bau befindlichen Werke nur einen kleinen Teil ihrer normalen Lebensdauer hinter sich haben werden.

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass die Ausbauleistungen der Speicherkraftwerke

[1]) Siehe Heft 31 lfd. Jg., S. 462.

Tabelle 2. Verteilung der Netzbelastung auf die drei Kraftwerk-Kategorien und günstigste Ausbauleistung der Speicherkraftwerke

1		Jahresverbrauch	TWh/Jahr	30	40	50	60
2		max. Netzbelastung	MW	4700	6300	8100	10100
3	Laufwerke	mittl. Leistung im Winter	MW	1100	1100	1100	1100
4	Laufwerke	id. bei min. Wasserführg.	MW	600	600	600	600
5	Laufwerke	erf. Ergänzungsleistung	MW	500	500	500	500
6	Kernkraftwerke	Ausbauleistung	MW	100	1250	2450	3700
7	Kernkraftwerke	Reserve	%	50	30	25	20
8	Kernkraftwerke	für Störungen	MW	50	380	610	7400
9	Speicherwerke	mittl. Spitzenlast im Winter	MW	3500	3950	4550	5300
10	Speicherwerke	Reserve (5 %)	MW	180	200	230	260
11	Speicherwerke	ges. Ausbauleistung	MW	4230	5030	5890	6800
12	Speicherwerke	jährl. Vollbetr.-Stunden	h	2740	2310	1970	1710
13	Netz	zus. Reserve für	%	8,5	6,4	5,0	4,0
14	Netz	Uebertragungsanlagen	MW	400	400	400	400
15		Totale Reserve 8 + 10 + 14	MW	630	980	1240	1400
16		id. in % der Netzbel. (Pos. 2)	%	13,4	15,6	15,3	13,8
17		theor. opt. Ausbauleistung der Speicherwerke	MW	4630	5430	6290	7200
18		Benützungsdauer für 11,6 TWh	h	2510	2140	1850	1610

Tabelle 1. Erzeugungsmöglichkeit und installierte Leistung schweizerischer Wasserkraftwerke nach erfolgtem Vollausbau

	Okt. - März TWh	April - Sept. TWh	Jahr TWh	Inst. Leistung MW
Laufwerke	5,3	8,1	13,4	2360
Speicherwerke	10,7	9,1 [1])	19,8	6340
Total	16,0	17,2 [1])	33,2	8700

[1]) Hievon sind 0,9 TWh Speicherenergie zur Deckung des Bedarfs im April bestimmt.

mit zunehmendem Jahresverbrauch sehr beträchtlich ansteigen müssen, um den Spitzenbedarf decken zu können. Es frägt sich, wie dieser Ausbau vorzunehmen ist. Da die erforderliche Leistung nur allmählich ansteigt, ist es wünschenswert, die zusätzlichen Kosten anfänglich möglichst gering zu halten, also nur jene Teile für die grosse Leistung auszubauen, die sich später nur schwer und mit grossen Kosten vergrössern lassen. Es sind dies vor allem die Stollen, die Wasserschlösser, die Fixpunkte der Druckleitungen und die Tiefbauten der Zentralen.

Bei einem grossen, mehrstufigen Speicherwerk, das gegenwärtig in den Alpen gebaut wird, sind die Erstellungskosten für eine Ausbauleistung von 420 MW (entsprechend 1800 Vollbetriebsstunden pro Jahr) und für eine solche von 630 MW (entsprechend 1200 h/J) berechnet worden. Sie betragen 525 bzw. 590 Mio Fr. Der Leistungssteigerung um 50 % steht demnach in diesem Fall eine Kostenvermehrung um nur 12 % gegenüber. Würde man nur die unbedingt nötigen Teile für die vergrösserte Leistung ausbauen, so ergäbe sich eine Kostenerhöhung von nur rd. 5 %. Noch etwas kleiner wäre die Zunahme der zusätzlichen Energiegestehungskosten, weil wegen geringeren Druckverlusten grössere Energiemengen erzeugt werden könnten und für den Unterhalt der baulichen Teile mit geringeren Sätzen gerechnet werden darf als bei den Maschinen.

In diesem Zusammenhang sind die relativen Erhöhungen der Baukosten von Speicherkraftwerkteilen in der Zeit von 1939 bis 1957 interessant. Sie betragen:

für Strassen und Wege	80 bis 90 %
für Stollen	30 bis 35 %
für Staumauern	70 bis 80 %
für Personalhäuser	100 bis 110 %
für Werkbauten	90 bis 100 %
für Maschinen und Anlagen	150 %
für Hochspannungsleitungen	80 bis 100 %
für ein ganzes Hochdruck-Laufwerk mit Wochenspeicher	70 bis 80 %
für ein grosses dreistufiges Speicherwerk mit Jahresausgleich	65 bis 70 %

Wie ersichtlich begünstigen die verhältnismässig niedrigen Kosten für Stollen und Werkbauten den sofortigen Ausbau dieser Teile für die volle Leistung, während alles übrige, vor allem die maschinellen und elektrischen Anlagen erst nach Massgabe des Bedarfs ergänzt werden sollen. Eine weitere Verbesserung im Sinne einer Anpassung an die in fernerer Zukunft zu erwartenden Bedürfnisse bedeutet das Erstellen von Tages- und Wochenspeicher, wo immer die topographischen und geologischen Verhältnisse es gestatten. Durch sie lässt sich der Betrieb elastischer gestalten und der Wirkungsgrad der Gesamtanlage verbessern.

Eine letzte Frage betrifft den Verbundbetrieb mit den Nachbarstaaten. Er drängt sich deshalb auf, weil die schweizerischen Elektrizitätswerke in trockenen Wintern den Bedarf nicht zu decken vermögen, während in wasserreichen Sommern Ueberschuss herrscht. Sehr gesucht ist vor allem die Leistungsreserve in unseren Speicherkraftwerken für die Spitzendeckung. Tatsächlich hat sich der Verbundbetrieb mit unseren Nachbarländern gut entwickelt. Die Erhöhung der verfügbaren Leistung in der Schweiz sollte eine weitere Verbesserung des Nutzeffektes dieses Austausches ermöglichen. Zugleich werden die grossen ausländischen Netze ihre thermisch zu erzeugenden Spitzenleistungen und ihre Betriebsreserven verringern können. Voraussichtlich werden dazu die Uebertragungsleistungen der Verbundnetze weiter erhöht werden müssen. Es darf aber nicht vergessen werden, dass Leistungsüberschüsse aus Speicherkraftwerken nur während beschränkter Zeit verfügbar sind. Der Austausch wird in wenigen Jahrzehnten wieder zurückgehen. Er wird nie mehr als einige Prozente des Bedarfs der einzelnen Länder ausmachen.

Einheiten und Einheitensysteme

DK 389.15

Der Wissenschaftliche Beirat des Vereins Deutscher Ingenieure hat sich, wie in «VDI-Z» 100 (1958) Nr. 23 (11. Aug.) S. 1100 dargetan wird, erneut mit der Frage der Einheiten und der Einheitensysteme befasst und die folgenden Empfehlungen beschlossen:

1. Die bisherigen Stellungnahmen, die in «Z-VDI» 92 (1950) Nr. 7, S. 161 veröffentlicht wurden und in denen der Gebrauch des technischen Massystems (Längen in m, Kräfte in kg, Zeiten in s) befürwortet wurden, sind aufzugeben.

2. Unter Kilogramm (kg) ist in Zukunft nur noch das Massenkilogramm zu verstehen. Der Krafteinheit im technischen Massystem ist eine andere Bezeichnung, z. B. Kilopond (kp) zu geben.

3. Das Internationale Einheitensystem mit den sechs Grundeinheiten Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampère, Grad Kelvin, Candela ist zu bevorzugen.

4. Es sind Grössengleichungen zu bevorzugen.

Hierzu ist folgendes zu bemerken:

Die Einheit der Kraft ist das Newton (N)

$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg\ m\ s^{-2}}$

Das Kilopond ist damit definiert durch die Gleichung:

$1\ \mathrm{kp} = 9{,}80665\ \mathrm{N}.$

Die Einheit der Arbeit ist das Joule (J)

$1\ \mathrm{J} = 1\ \mathrm{Nm}$

Als weitere Energie-Einheiten können verwendet werden:

die Kilowattstunde: $1\ \mathrm{kWh} = 3{,}6 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$

das Elektronenvolt: $1\mathrm{eV} = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J}$

die Kilokalorie (Internationale Tafel-Kilokalorie vom Jahre 1956): $1\ \mathrm{kcal}_{\mathrm{int.}} = 4186{,}8\ \mathrm{J}$

Die internationale Tafelkalorie ist durch die Gleichung definiert

$$860\ \mathrm{kcal}_{\mathrm{int.}} = 1\ \mathrm{kWh} = 3{,}6 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$$

Die im technischen Massystem verwendete Kilogrammkalorie ist die Wärmemenge, die nötig ist, um 1 kg Wasser (Gewicht!) bei 760 Torr von 14,5 auf 15,5° C zu erwärmen. Sie wird mit $\mathrm{kcal}_{15°}$ bezeichnet; für die Umrechnung dient die Gleichung

$$1\ \mathrm{kcal}_{15°} = 0{,}99968\ \mathrm{kal}_{\mathrm{int.}}$$

Die Einheit der Leistung ist das Watt (W)

$1\ \mathrm{W} = 1\ \mathrm{J/s}$

Die Einheit des Druckes ist das Newton pro Quadratmeter

$1\ \mathrm{N/m^2} = 1\ \mathrm{kg\ m^{-1}\ s^{-2}}$

Als weitere Druckeinheiten können verwendet werden:

das Bar: $1\ \mathrm{bar} = 10^5\ \mathrm{N/m^2}$

die techn. Atmosphäre: $1\ \mathrm{at} = 1\ \mathrm{kp/cm^2} = 98066{,}5\ \mathrm{N/m^2}$

die physik. Atmosphäre: $1\ \mathrm{atm} = 101\,325\ \mathrm{N/m^2}$

das Torr: 1 Torr =

$$\frac{1}{760}\ \mathrm{atm} = \left(\frac{101\,325}{760}\ \mathrm{N/m^2} = \simeq 133{,}2\ \mathrm{N/m^2}\right)$$

In der Mechanik werden hauptsächlich die Grundeinheiten m, kg, s gebraucht; man spricht daher vom MKS-System. In der Elektrotechnik verwendet man es unter der Bezeichnung MKSA-System. Dabei ist die Einheit der Stromstärke als Stärke desjenigen Gleichstromes definiert, der in zwei fadenförmigen, im Abstand von 1 m parallel zueinander verlaufenden Leitern fliesst und zwischen diesen eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ N