

Eine einfache Methode zur Beurteilung der Produktionsverhältnisse von Wasserkraftwerken

Autor(en): **Degen, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **54 (1963)**

Heft 19

PDF erstellt am: **07.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916518>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Eine einfache Methode zur Beurteilung der Produktionsverhältnisse von Wasserkraftwerken

Von A. Degen, Bern

Es wird eine Methode entwickelt, um die in verschiedenen hydraulischen Werken erzeugten Energiemengen, unabhängig von der Grösse der Anlagen, auf eine einfache Art miteinander vergleichen zu können. Die Methode eignet sich ausserdem auch sehr gut für eine graphische Darstellung der Produktionsverhältnisse. Ferner wird noch auf die Zusammenhänge eingegangen, die mit der heute fast ausschliesslich angewendeten mittleren Produktion bestehen.

L'auteur expose une méthode simple permettant de comparer entre elles les productibilités de différents aménagements hydrauliques, indépendamment de l'importance de ces derniers. Cette méthode permet de représenter graphiquement les conditions de productibilité. L'article indique en outre les relations entre la nouvelle méthode et celle de la productibilité moyenne, presque exclusivement utilisée jusqu'ici.

1. Einleitung

Die Grösse der in einem Wasserkraftwerk erzeugbaren elektrischen Energiemengen ist vom Wasserzufluss abhängig. Dieser muss in einem Laufwerk normalerweise sofort verarbeitet werden, sonst geht das Wasser durch Überlauf verloren. Im Speicherwerk muss dagegen der Zufluss erst dann dem Staubecken entnommen werden, wenn der entsprechende Bedarf vorhanden ist. Die Wasserführung eines Flusses und der Zufluss zu einem Stausee sind nun zeitlich nicht konstant, sondern sie verändern sich in der Regel während längerer Zeitperioden ziemlich stark. Sie hängen beide in starkem Masse von den Niederschlagsverhältnissen ab. Um ein Wasserkraftwerk auch richtig auszunützen zu können, ist nicht nur die Kenntnis der langjährigen mittleren Produktionsmöglichkeit oder des mittleren Zuflusses zu einem Stausee von Interesse, sondern auch diejenige der entsprechenden Maximal- und Minimalwerte. Insbesondere gilt dies für die minimalen Produktionsverhältnisse, deren Kenntnis für die Aufstellung von Energiebilanzen von grosser Wichtigkeit ist. Die minimale Energieproduktion gibt dabei an, mit welchem Anfall an kWh man im ungünstigsten Falle noch rechnen kann. Dabei ist es durchaus möglich, dass Minimalwerte, die auf Grund von Beobachtungen während einer bestimmten Reihe von Jahren berechnet wurden, in einem späteren Zeitpunkt unterschritten werden können, wenn die Witterungsverhältnisse längere Zeit für die hydraulische Energieerzeugung ungünstig sind, wie dies beispielsweise bei verschiedenen Werken im Winterhalbjahr 1962/63 der Fall war.

Heute wird in der Regel bei einem Laufwerk mit mittleren Produktionsverhältnissen bzw. bei einem Stausee mit mittleren Zuflüssen gerechnet. Abweichungen vom Mittelwert nach oben oder nach unten werden dabei als positiv bzw. als negativ bezeichnet, ohne dass es dabei möglich ist, die genauen Grenzen gegenüber der minimalen und gegenüber der maximalen Produktion sofort zu erkennen.

2. Die Produktionsverhältnisse

Bei einem Flusskraftwerk muss zunächst der Wasserdurchfluss bestimmt werden. Dies ist in der Regel nur dann möglich, wenn im betreffenden Fluss eine geeignete Limnigraphenstation eingebaut ist. Aus den durchgeflossenen Wassermengen kann dann die entsprechende elektrische Energie berechnet werden. Dieser Weg ist etwas umständlich und in vielen Fällen gar nicht gangbar, wenn eine geeignete Limnigraphenstation fehlt. In diesem Falle kann man an Stelle des Wasserdurchflusses und der daraus berechneten elektrischen Energie die effektive Produktion des betreffenden Werkes nehmen, sofern gewisse Voraussetzungen erfüllt sind. So muss im betreffenden Laufwerk der gesamte Wasserzufluss verarbeitet worden sein, sofern dieser nicht grösser war als das Schluckvermögen sämtlicher vorhandener Turbinen. Wegen defekter Maschinengruppen darf am Stauwehr kein Überlauf aufgetreten sein.

Geht man von diesen Voraussetzungen aus, so kann bei einem Laufwerk mit der effektiv erzeugten elektrischen Energie, die auf Grund der Zählerablesungen eindeutig feststellbar ist, gerechnet werden. Kleinere Ausfälle von Maschinengruppen während kurzer Zeit zu Revisionszwecken spielen dabei praktisch keine grosse Rolle, wenn sie während längerer Perioden, z. B. im Verlaufe von 20 Jahren, nur vereinzelt auftreten und mit einem Überfall am Stauwehr verbunden sind. Man kann somit sagen, dass bei kleinen Wasserführungen eines Gewässers die Produktion eines Laufwerkes praktisch den abfliessenden Wassermengen proportional gesetzt werden kann. Hierbei werden in der Regel keine Verluste durch Überfall entstehen, da beim Defekt einer Gruppe das Wasser unter die übrigen noch im Betrieb befindlichen Einheiten verteilt werden kann. Mit zunehmender Wasserführung des Flusses ändern sich jedoch die Verhältnisse. Die Wahrscheinlichkeit, dass durch einen Überlauf am Stauwehr Wasser verloren geht, wird grösser, weil die restlichen Maschinengruppen nicht mehr in der Lage sind, das bei der ausgefallenen Einheit durchgeflossene

Wasser zusätzlich ebenfalls noch zu verarbeiten. Durch die Berücksichtigung der produzierten elektrischen Energie an Stelle der in den Wasserturbinen effektiv verarbeitbaren Wassermengen eines Flusses wird die mögliche Produktion unterschätzt. Eine auf dieser Basis durchgeführte Berechnung bewegt sich somit auf der sicheren Seite, da die effektive mögliche Erzeugung eher grösser sein wird als die aus den Ablesungen der Zähler sich ergebende Zahl.

Bei den Speicherwerken liegen etwas andere Verhältnisse vor. Der Zufluss zu einem Stausee wird zunächst aufgespeichert, soweit der Stauraum hierzu ausreicht. Er kann dann zu beliebigen Zeiten im Rahmen der verfügbaren Maschinenleistungen verarbeitet werden. Aus der Seeinhaltskurve, dem Verbrauch, aus eventuell vorhandenen Dotier- und Pumpwassermengen sowie aus dem Überlauf lässt sich der Zufluss während einer bestimmten Zeitperiode eindeutig berechnen. Die Verhältnisse liegen somit hier auf der Wasserseite viel eindeutiger als beim Laufwerk.

3. Der Grundgedanke der neuen Methode

In der Wärmelehre werden heute überall die Temperaturen in °C gemessen. Der Physiker Celsius (1701–1744) ist dabei vollkommen willkürlich vorgegangen, als er seine Temperaturskala zwischen 0 und 100°C geschaffen hat. Er bezeichnete dabei die Temperatur, bei der Wasser gefriert, mit 0°C, diejenige, bei der es verdampft, mit 100°C. Auf diese Art und Weise sind heute der Gefrier- bzw. der Siedepunkt von Wasser definiert. Mit der Anwendung der von Celsius geschaffenen Skala sind wir somit in der Lage, die Temperatur einer Wärmequelle zu messen. Dabei kann die von Celsius geschaffene Temperaturskala auch unter 0°C (Minustemperaturen) und über 100°C verwendet werden.

Dieser Gedanke lässt sich nun auch auf das Gebiet der Erzeugung von elektrischer Energie in Laufwerken resp. auf die Zuflüsse von Stauseen übertragen. Er gestattet es, für Laufwerke einen Produktionsfaktor bzw. für Speicherwerke einen Zuflussfaktor zu berechnen, der von der Grösse des Werkes unabhängig ist. Er ist ein Mass für die Produktions- bzw. die Zuflussverhältnisse. Die Kenntnis dieses Faktors bei mehreren Werken ermöglicht einen sofortigen Vergleich hinsichtlich ihrer Produktionen, ohne dass die absoluten Zahlenwerte, die nur zur Berechnung nötig sind, in Erscheinung treten.

4. Die rechnerischen Grundlagen

In diesem Abschnitt werden folgende Symbole verwendet:

$A...F$ = Koeffizienten

W = Energieproduktion in GWh

W_{min} = minimale Energieproduktion in GWh

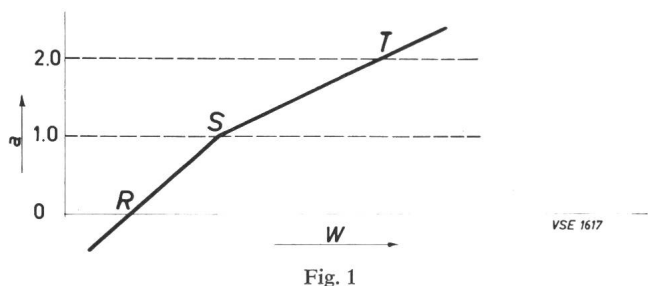


Fig. 1

Produktionsfaktor eines Laufwerkes bzw. Zuflussfaktor eines Speicherwerkes in Funktion der Energieproduktion

Definierte Punkte RST durch einen Linienzug verbunden

- W_m = mittlere Energieproduktion in GWh
- W_{max} = maximale Energieproduktion in GWh
- a = Produktionsfaktor (Laufwerk) bzw. Zuflussfaktor (Speicherwerk)
- n, x, y = Anzahl Jahre

Um nun die minimale, die mittlere oder die maximale Energieproduktion durch eine neutrale Zahl charakterisieren zu können, werden sowohl für Laufwerke als auch für Speicherwerke die in der Tabelle I angegebenen Annahmen getroffen.

Tabelle I

$a < 0$	Wasserführung bzw. Zufluss kleiner als der bisherige Minimalwert
$a = 0$	Minimale Wasserführung bzw. minimaler Zufluss
$0 < a < 1,0$	Wasserführung bzw. Zufluss zwischen minimalem und mittlerem Wert
$a = 1,0$	Mittlere Wasserführung bzw. mittlerer Zufluss
$1,0 < a < 2,0$	Wasserführung bzw. Zufluss zwischen mittlerem und maximalem Wert
$a = 2,0$	Maximale Wasserführung bzw. maximaler Zufluss
$a > 2,0$	Wasserführung bzw. Zufluss grösser als der bisherige Maximalwert

Bei angenommenem linearem Zusammenhang zwischen a und W können wir für das Gebiet unterhalb der mittleren Wasserführung folgende Gleichung schreiben

$$a = A \cdot W + B \quad (1)$$

Zur Berechnung von A und B stehen uns folgende beiden Punkte zur Verfügung

$$a = 0 \quad W = W_{min}$$

$$a = 1,0 \quad W = W_m$$

Durch Einsetzen in Gleichung (1) findet man dann

$$A = \frac{1}{W_m - W_{min}} \quad (2)$$

$$B = \frac{-W_{min}}{W_m - W_{min}} \quad (3)$$

Für das Gebiet oberhalb der mittleren Wasserführung kann man schreiben

$$a = C \cdot W + D \quad (4)$$

Zur Berechnung von C und D stehen uns die beiden Punkte zur Verfügung

$$a = 1,0 \quad W = W_m$$

$$a = 2,0 \quad W = W_{max}$$

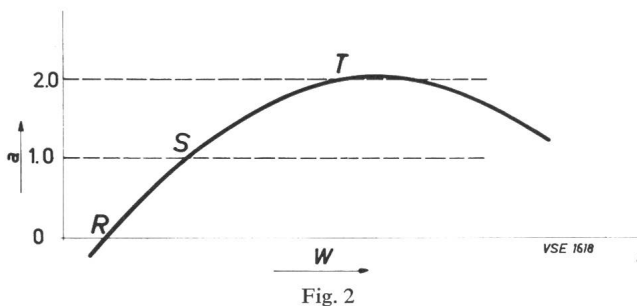


Fig. 2

Produktionsfaktor eines Laufwerkes bzw. Zuflussfaktor eines Speicherwerkes in Funktion der Energieproduktion

Definierte Punkte RST durch eine Parabel verbunden

Durch Einsetzen in Gleichung (4) findet man dann

$$C = \frac{1}{W_{max} - W_m} \quad (5)$$

$$D = \frac{W_{max} - 2 \cdot W_m}{W_{max} - W_m} \quad (6)$$

Wenn nun für eine bestimmte Zeitperiode, z. B. einen Monat, während n Jahre die Energieproduktionen W_1 bis W_n bekannt sind, so kann man diese ihrer Grösse nach ordnen, wie dies die nachfolgende Darstellung zeigt

$$W_1 < W_2 < W_3 < W_4 < W_5 < \dots < W_{n-1} < W_n \quad (7)$$

Als minimalen Wert kann man nun W_1 und als maximalen W_n in die Rechnung einführen, während der Mittelwert gegeben ist durch

$$W_m = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + \dots + W_n}{n} \quad (8)$$

Will man im Hinblick darauf, dass ein einzelnes Jahr ausnahmsweise sehr günstige oder auch sehr schlechte Wasserhältnisse aufweisen kann, einen derartigen Ausnahmefall nicht mit seinem vollen Gewicht berücksichtigen, so kann man zur Bestimmung von W_{min} und von W_{max} auch das arithmetische Mittel einer Anzahl Jahre nehmen. Für die minimale Produktionsmöglichkeit folgt dann

$$W_{min} = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_x}{x} \quad (9)$$

wobei für x ein Wert angenommen werden muss, der kleiner als n ist. Analog kann man für die maximale Produktion schreiben

$$W_{max} = \frac{W_n + W_{n-1} + W_{n-2} + \dots + W_{n+1-y}}{y} \quad (10)$$

Analog wie bei Gleichung (9) muss auch in diesem Falle y kleiner als n sein. Je mehr x und y sich dem Werte n nähern, desto kleiner fallen die Abweichungen zwischen der minimalen und der mittleren bzw. der maximalen und der mittleren Produktion aus.

5. Andere Berechnungsgrundlagen

Im vorangehenden Abschnitt ist das ganze Gebiet nicht mit Hilfe einer einfachen in ihrem ganzen Bereich geometrisch erfassbaren Kurve dargestellt worden. Es wurde vielmehr ein gebrochener Linienzug angewendet, der aus zwei sich im Punkte $a = 1,0$ schneidenden Geraden besteht (siehe Fig. 1). Rechnerisch wäre es nun einfacher, wenn man das ganze Gebiet, wie es in Tabelle I definiert ist, durch eine einfache, geometrisch leicht erfassbare Kurve darstellen könnte. Da die drei Punkte für $a = 0$, $a = 1,0$ und $a = 2,0$ zum vornherein festliegen, wäre es denkbar, daraus die Koeffizienten einer Parabel zweiten Grades zu bestimmen. Doch zeigt es sich bald, dass dieser Weg nicht zum Ziele führen kann. Rechnet man nämlich die drei Koeffizienten in einem konkreten Falle aus und zeichnet dann die Kurve auf, so erhält man das Bild in Fig. 2. Es geht daraus hervor, dass wegen des sich ergebenden Maximums der gleiche Wert von a zwei verschiedenen Energiemengen entsprechen kann. Dies erlaubt jedoch keine eindeutige Berechnung des Produktions- bzw. des Zuflussfaktors.

Es kann nun vorkommen, dass unter bestimmten Voraussetzungen der Linienzug R, S, T (siehe Fig. 1) durch eine Gerade ersetzt werden kann. Aus Fig. 3 geht dann hervor, dass sich das Berechnungsverfahren in diesem Falle stark ver-

einfachen lässt, da an Stelle von 4 Koeffizienten A, B, C und D [Gleichungen (2), (3), (5) und (6)] nur noch 2 nötig sind. Bezeichnet man diese mit E und mit F , so folgt nun aus Fig. 3

$$a = E \cdot W + F \quad (11)$$

Zur Berechnung von E und F stehen die beiden folgenden Punkte zur Verfügung

$$a = 0 \quad W = W_{min}$$

$$a = 2,0 \quad W = W_{max}$$

Die Auswertung ergibt dann

$$E = \frac{2}{W_{max} - W_{min}} \quad (12)$$

$$F = \frac{-2 \cdot W_{min}}{W_{max} - W_{min}} \quad (13)$$

Ferner lassen sich aus Fig. 3 noch folgende beiden Verhältnisse berechnen

$$r = \frac{W_m}{W_{min}} = \frac{W_{min} + W_0}{W_{min}} \quad (14)$$

$$s = \frac{W_{max}}{W_{min}} = \frac{W_{min} + 2 \cdot W_0}{W_{min}} \quad (15)$$

Rechnet man nun aus Gleichung (14) den Wert von W_0 aus und setzt ihn in Gleichung (15) ein, so findet man schliesslich die Beziehung

$$s = 2 \cdot r - 1 \quad (16)$$

Wenn in einem bestimmten Falle Gleichung (16) erfüllt ist, so geht der gebrochene Linienzug R, S, T in Fig. 1 in eine Gerade über. Durch Ermittlung der Werte r und s mit Hilfe der Gleichungen (14) und (15) lässt sich dann leicht feststellen, ob ein gebrochener Linienzug oder eine durchlaufende Gerade vorliegt.

6. Zusammenhang mit der heute gebräuchlichen Darstellungsart

Heute geht man bei der Darstellung der Produktionsverhältnisse normalerweise von der mittleren Erzeugung aus. Dabei wird angegeben, um wieviele Prozent die mittlere Wasserführung während einer bestimmten Zeit unter- (negatives Vorzeichen) oder überschritten (positives Vorzeichen) wurde. Bedeuten nun Q die festgestellte mittlere Abflussmenge bei einem Laufwerk oder den mittleren Zufluss zu einem Speicherbecken während einer bestimmten Zeit in m^3/sec und Q_m den zugehörigen langjährigen Mittelwert für diese Periode, so ergibt sich die Abweichung zu

$$d' = \frac{Q - Q_m}{Q_m} \quad (17)$$

In analoger Weise kann man für die erzeugte elektrische Energie die Beziehung aufstellen

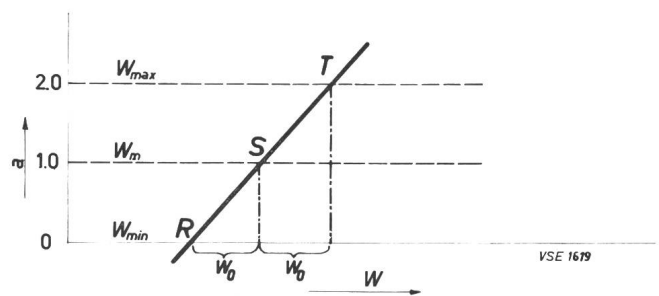


Fig. 3

Produktionsfaktor eines Laufwerkes bzw. Zuflussfaktor eines Speicherwerkes in Funktion der Energieproduktion

Definierte Punkte RST durch eine Gerade verbunden

$$d = \frac{W - W_m}{W_m} \quad (18)$$

Theoretisch sollten dabei beim Laufwerk die Werte d und d' übereinstimmen. Wie gross diese Übereinstimmung praktisch sein kann, wird später noch an einem Beispiel gezeigt.

Für das Gebiet unterhalb der mittleren Produktionsverhältnisse folgt nun aus den Gleichungen (1) bis (3)

$$a = \frac{W - W_{min}}{W_m - W_{min}} \quad (19)$$

Eliminiert man nun aus den beiden Gleichungen (18) und (19) die Grösse W und berücksichtigt ferner die Beziehung (14), so findet man schliesslich die Relation

$$d = \frac{(r - 1) \cdot (a - 1)}{r} \quad (20)$$

Für das Gebiet oberhalb der mittleren Produktionsverhältnisse folgt aus den Gleichungen (4) bis (6)

$$a = \frac{W + W_{max} - 2 \cdot W_m}{W_{max} - W_m} \quad (21)$$

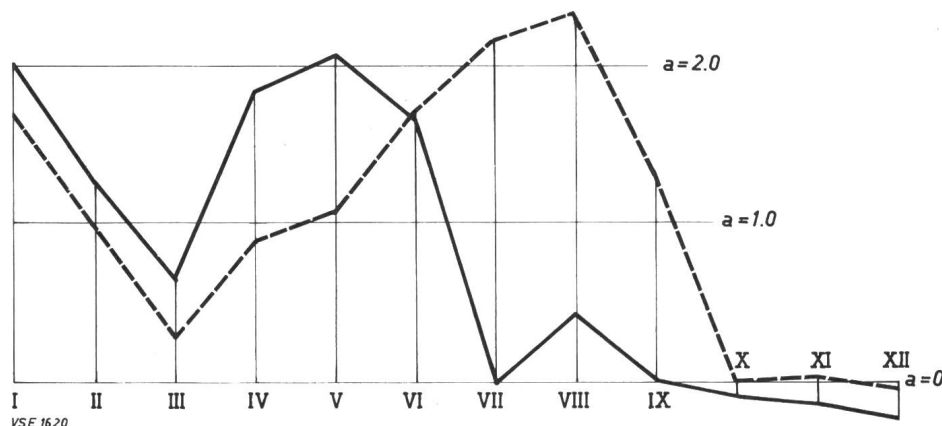
Aus den Gleichungen (14), (15), (18) und (21) findet man schliesslich die Relation

$$d = \frac{(s - r) \cdot (a - 1)}{r} \quad (22)$$

7. Anwendungsbeispiele

In der folgenden Figur 4 sind die Produktionsfaktoren für das Kraftwerk Vernayaz ohne Berücksichtigung des Wassers aus dem Kraftwerk Barberine sowie für den Anteil der SBB am Gemeinschaftswerk Ruppertswil-Auenstein graphisch dargestellt. Die Berechnungen fassen auf den in diesem Aufsatz abgeleiteten Beziehungen sowie auf den effektiv in den beiden Anlagen in den einzelnen Monaten des Jahres 1962 erzeugten Energiemengen.

In der nachfolgenden Tabelle II werden nun die in diesem Aufsatz neu entwickelte Methode (Produktionsfaktor) und das bisher allgemein angewendete System (mittlere Wasserführung oder mittlere Energieproduktion) miteinander verglichen. Die angegebenen Zahlenwerte beziehen sich auf das Gemeinschaftskraftwerk Ruppertswil-Auenstein; sie gelten für das Jahr 1961. Die Produktionsmöglichkeit und die Abweichung d' wurden mit Hilfe der Abflussmengen der Aare in Brugg berechnet. Die für diese Berechnungen notwendigen Abflussmengen der Aare wurden den verschiedenen hydrographischen Jahrbüchern des *Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft* entnommen.



VSE 1620

Tabelle II

Monat	Aare in Brugg		Neue Berechnung	
	Mittlere Abflussmenge 1961 q	Berechnete Abweichung pro 1961 [Gl. (17)] gegenüber der Periode 1946-1960 d'	Produktionsfaktor bezogen auf die Periode 1946-1960 für das Jahr 1961 a	Abweichung vom Mittelwert, berechnet nach den Gleichungen (20) und (22) d
	m ³ /sec	%		%
Januar	204	-24,5	+0,66	-16,8
Februar	405	+43,2	+1,98	+44,5
März	248	-17,9	+0,43	-20,0
April	296	0	+0,89	-3,1
Mai	333	+5,0	+1,12	+4,0
Juni	347	-5,2	+1,20	+7,1
Juli	378	+1,3	+1,34	+11,4
August	377	+15,0	+1,49	+16,9
September	212	-29,6	+0,40	-27,9
Oktober	153	-35,7	+0,18	-44,0
November	151	-38,2	+0,25	-47,3
Dezember	286	+18,2	+1,38	+32,8

Aus Tabelle II ergibt sich, dass die Übereinstimmung der Werte d' (Wasserführung der Aare in Brugg) und d (Produktion des Gemeinschaftskraftwerkes Ruppertswil-Auenstein) im allgemeinen als gut bezeichnet werden kann. In der nachfolgenden Tabelle III sind noch die Häufigkeiten der aufgetretenen Abweichungen während der 12 Monate des Jahres 1961 dargestellt

Tabelle III

Abweichungen der Kolonnen für d' und für d in Tabelle II	Anzahl Monate	Minimum	Maximum
0 bis 5 %	6	1,0%	3,1 %
5 bis 10 %	3	7,7%	9,1 %
10 % und mehr	3	10,1%	14,4%

8. Das Zusammenarbeiten mehrerer Wasserkraftwerke

In den vorangehenden Ausführungen wurde gezeigt, wie der Produktionsfaktor eines Laufwerkes bestimmt werden kann. Genau die gleichen Ausführungen gelten nun auch für den Zufussfaktor eines Speicherwerkes. Nun ist aber noch der Fall denkbar, dass der Produktionsfaktor für eine Kombination mehrerer Werke bestimmt werden muss. Dabei kann es sich um eine Kombination von Laufwerken, von Speicher-

Fig. 4

Produktionsfaktoren von zwei Laufwerken in den einzelnen Monaten des Jahres 1962

- Gemeinschaftskraftwerke Ruppertswil-Auenstein
- - - - - Kraftwerke Vernayaz (Laufwerk)
- $a = 0$ minimale Wasserführung
- $a = 1,0$ mittlere Wasserführung
- $a = 2,0$ maximale Wasserführung

werken oder auch von beiden Werktypen handeln. Hier bestehen nun, ganz unabhängig von der Art der zu kombinierenden Werke, folgende Möglichkeiten:

Variante 1:

Man berechnet den kombinierten Produktions- oder Zuflussfaktor einer Reihe von Werken als arithmetisches Mittel der für die einzelnen Anlagen bestimmten Werte. Dieses Verfahren ist nur dann anwendbar, wenn es sich in allen Fällen um Werke von ungefähr gleicher Grösse handelt. Ist dies nicht der Fall, so täuscht das Ergebnis, weil alle Anlagen, unbekümmert um ihre Grösse, mit dem gleichen Gewicht in die Rechnung eingesetzt werden.

Variante 2:

In diesem Falle gelangt das gewogene Mittel zur Anwendung. Es werden nicht nur die Produktions- bzw. die Zuflussfaktoren der einzelnen Werke berücksichtigt, sondern gleichzeitig auch noch die Grösse der effektiven Erzeugung beim Laufwerk bzw. der Wert des Zuflusses beim Speicherwerk. Die grösseren Werke werden damit entsprechend ihrem Anteil an der gesamten Produktion stärker berücksichtigt als bei Variante 1. Bezeichnet man nun mit den Indices 1, 2, 3 usw. die einzelnen Werke, so gilt für eine Kombination mehrerer Werke die Beziehung

$$a_{komb} = \frac{a_1 \cdot W_1 + a_2 \cdot W_2 + a_3 \cdot W_3 + \dots}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots} \quad (2.3)$$

Variante 3

Hier geht man so vor, dass man die zu kombinierenden Anlagen als ein einziges Werk auffasst. Für eine bestimmte Zeitperiode, z. B. einen Monat, belaufen sich bei p zu kombinierenden Werken die zugehörigen Produktionen oder Zuflüsse auf

$W_1, W_2, W_3, \dots W_p$. Man bildet nun die Summe dieser p -Werte während der in Betracht kommenden Periode von n Jahren. Dann lassen sich mit Hilfe der Gleichungen (8) bis (10) die für die Kombination der p -Werke massgebenden Werte von W_{min} , W_m und W_{max} berechnen, wobei für $W_1, W_2, W_3, \dots W_p$ die Summe der Einzelwerte der p verschiedenen Werke einzusetzen ist. Diese Variante liefert die genauesten Werte. Sie benötigt jedoch einen relativ grossen Zeitaufwand. Bei $p = 5$ Werken und einer Bezugsperiode von $n = 20$ Jahren müssen pro Monat $5 \times 20 = 100$ Zahlen, bzw. für alle 12 Monate eines Jahres 1200 Zahlen addiert werden, bevor mit der Berechnung von W_{min} , W_m und W_{max} begonnen werden kann.

In der nachfolgenden Tabelle IV wird nun der kombinierte Produktionsfaktor für die Monate Juni und Juli 1962 angeführt, berechnet nach den drei erwähnten Varianten für das Kraftwerk Vernayaz der SBB und das Gemeinschaftskraftwerk Rapperswil-Auenstein. Gemäss Fig. 4 liegen in diesen beiden Monaten die Produktionsfaktoren der beiden Werke im Juni am nächsten beieinander und im Juli am weitesten auseinander.

Tabelle IV

Monat	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Juni 1962	+ 1,67	+ 1,57	+ 1,63
Juli 1962	+ 1,07	+ 1,68	+ 1,50

Adresse des Autors:
A. Degen, Sektionschef der Abteilung Kraftwerke der Generaldirektion der SBB, Bern.

Verbandsmitteilungen

Nächste Kontrolleurprüfung

Die nächste Prüfung von Kontrolleuren findet, wenn genügend Anmeldungen vorliegen, vom 6. bis 8. November 1963 statt.

Interessenten wollen sich beim Eidg. Starkstrominspektorat, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, bis spätestens 15. Oktober 1963 anmelden.

Dieser Anmeldung sind gemäss Art. 4 des Reglementes über die Prüfung von Kontrolleuren für elektrische Hausinstallationen beizufügen:

- das Leumundszeugnis*
- ein vom Bewerber verfasster Lebenslauf*
- das Lehrabschlusszeugnis*
- die Ausweise über die Tätigkeit im Hausinstallationsfach*

Die Prüfung findet in Zürich, Seefeldstrasse 301, statt. Reglemente sowie Anmeldeformulare können beim Eidg. Starkstrominspektorat in Zürich bezogen werden (Preis des Reglementes 50 Rp.). Wir machen besonders darauf aufmerksam, dass Kandidaten, die sich dieser Prüfung unterziehen wollen, gut vorbereitet sein müssen.

*Eidg. Starkstrominspektorat
Kontrolleurprüfungskommission*

Wirtschaftliche Mitteilungen

Die Energieversorgung der Schweizerischen Bundesbahnen

Kurzer Überblick über die Energieversorgung der Bundesbahnen, nach den Ausführungen von Generaldirektor dipl. Ing. O. Wicher, Vorsteher des Bau- und Betriebsdepartementes der SBB, anlässlich einer Pressekonferenz im Juli 1963.

Das elektrische Netz der SBB, ein *Einphasenwechselstromnetz* von $16\frac{2}{3}$ Hz, umfasst nicht nur die bahneigenen Produktionsanlagen, sondern es steht auch auf verschiedene Arten mit dem 50 Hz Netz der Allgemeinversorgung in der Schweiz einerseits und mit dem $16\frac{2}{3}$ Hz Netz der Deutschen Bundesbahnen andererseits in Verbindung.

Die SBB verfügen über folgende eigene Anlagen:

- Speicherwerk Ritom und Barberine
- Laufwerk Amsteg, Vernayaz und Massaboden
- Ferner sind sie als Partner an folgenden Anlagen beteiligt:
- Speicherwerk Etzel und Göschenen
- Laufwerke Rapperswil-Auenstein und Andermatt-Göschenen

Die Verbindungen mit anderen Versorgungsnetzen sind mannigfaltig:

- In Partnerwerken kann Energie in Form von Wasser zugekauft oder abgegeben werden.
- In Kraftwerken der Allgemeinversorgung sind Einphasengeneratoren aufgestellt, die Bahnstrom zur Abgabe an die SBB erzeugen können; es sind die Kraftwerke Miéville, Varzo, Spiez, Gösgen und Külbis.