Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 47 (1955)

Heft: 5-7

Artikel: Voraussage der globalen Sommerabflussmenge der Rhone bei Porte du Scex auf Grund von Winterniederschlag und Winterabfluss

Autor: Kasser, P. / Schweizer, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921948

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: 26.12.2025

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

Voraussage der globalen Sommerabflußmenge der Rhone bei Porte du Scex auf Grund von Winterniederschlag und Winterabfluß

Von *P. Kasser* und *W. Schweizer*, Abteilung für Hydrologie der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Zürich

DK 551.48

Ständig zunehmender Energiebedarf und sich dem Ende nähernder Ausbau unserer Wasserkräfte zwingen zu immer rationellerer Bewirtschaftung dieses landeseigenen Rohstoffes. Dazu ist die Kenntnis der im Sommer zu erwartenden Abflußmengen wesentlich. In der Aufstellung von Abflußprognosen ist seit einigen Jahren die «Electricité de France», für welche die vorliegende Studie ausgeführt wurde, bahnbrechend [2, 4].[1]

Die Voraussage stützt sich darauf, daß zwischen einer Größe S, welche die während des Winters im Einzugsgebiet gespeicherten Wasservorräte repräsentiert, und dem Sommerabfluß A_s eine stochastische Abhängigkeit besteht. Mit der statistischen Methode der Korrelationsrechnung lassen sich aus einer Beobachtungsreihe Beziehungen ableiten, die für jeden Wert von S den Sommerabfluß A_s liefern, und zwar für jeden beliebigen Wahrscheinlichkeitswert des Auftretens. Die Monate auf die sich Winterelement S und Abfluß A beziehen, wollen wir durch Indices angeben. Beispielsweise soll der Abfluß vom 1. April bis zum 30. September mit A_{4-9} bezeichnet werden. Als Bezugsperiode unserer Untersuchung der Rhoneabflüsse in Porte du Scex dienen die 20 Jahre (n = 20) von 1933/34 bis 1952/53, eine Zeit, in der nach Vollendung der Dixence (1935) keine größeren neuen Speicheranlagen das Abflußregime veränderten.

Der aus Niederschlag, Abfluß und Verdunstung abgeschätzte Jahresrhythmus der Reservenänderungen zeigt im Durchschnittsverhalten der Bezugsperiode ein ständiges Anwachsen der winterlichen Rücklage bis Ende April, wo der Höchstwert von über 400 mm erreicht wird (Abb. 1). Ist die Jahresbilanz ausgeglichen (stationär), gelangt diese gesamte Winterreserve im Sommer zum Abfluß. Auf Faktoren, welche das in der Regel nichtstationäre Verhalten verursachen, soll später eingegangen werden.

[1] [...] siehe Literaturverzeichnis.

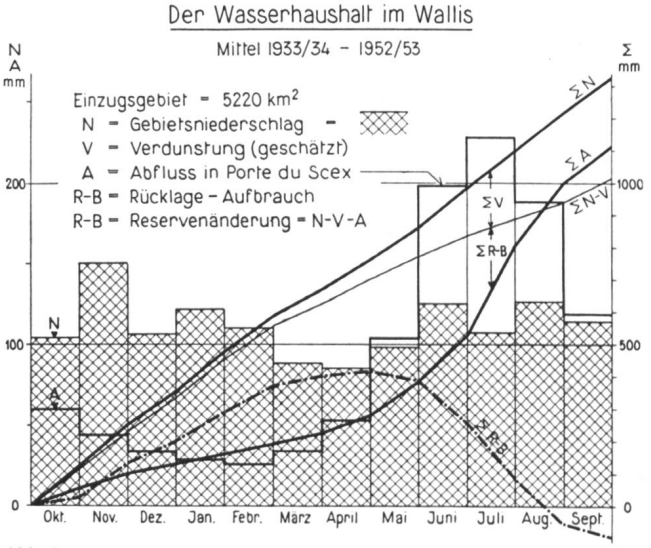

Abb. 1

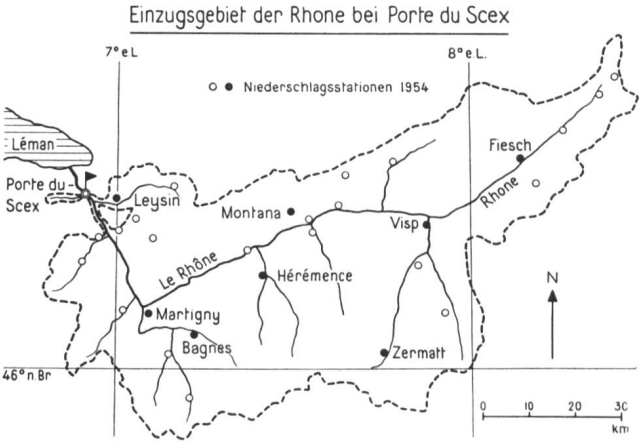

Abb. 2

Eine großartige landschaftliche Einheit mit klimatischer Eigenart bildend, erstreckt sich das Einzugsgebiet von Porte du Scex über alle Höhenstufen zwischen 4634 m und 373 m ü. M. Mehr als die Hälfte des Gesamtgebietes von 5220 km² liegt innerhalb der Grenzen von 1800 m und 3000 m ü. M., einer Zone, in welcher der Winterschnee im Sommer vollständig abgebaut wird, der Schmelzprozeß entsprechend dem zeitlichen Hinaufrücken der Nullgrad-Isotherme der Luft aber erst gegen Ende März oder im April einsetzt. Die klimatische Sonderstellung des Wallis kommt vor allem in den Niederschlagswerten zum Ausdruck. Die für unsere Untersuchungen gewählten Stationen (Abb. 2) weisen — soweit sie im abgeschlossenen, inneren Wallis liegen — Jahresmengen von unter 1000 mm auf. Oft zeigt sich bei einem Winter- oder Herbstmaximum deutlich eine Sommertrockenheit. Anders verhält sich die Gegend von Leysin, welche dank dem leichteren Zutritt ozeanischer Luftmassen sowohl bedeutend höhere Niederschläge als auch ein ausgesprochenes Sommermaximum wie die Gebiete der Nord- und Westschweiz besitzt. Für Leysin, aber auch für Zermatt und Hérémence sind die Niederschlagssummen im Sommer (N_{4-9}) höher als im Winter (N_{10-3}); für die meisten Stationen des inneren Wallis überwiegt mengenmäßig der Winterniederschlag (Abb. 1, Tab. 1). Unsere Bezugsperiode zeigt gewisse Abweichungen von den Durchschnittswerten der Jahre 1901/40; an Stelle der Maxima im November wurden in Fiesch, Visp und Zermatt solche im Oktober, in Montana, Bagnes und Martigny im Dezember gefunden. Außerdem waren allgemein die Niederschläge im Januar und Februar kleiner, im März, April und Juli dagegen größer [9, 11, 13].

Die in der Limnigraphenstation Porte du Scex gemessenen Abflußmengen der Rhone zeigen eindrücklich das Regime eines alpinen Gletscherflusses [10]. Allein in den Monaten April bis September (A_{4-9}) fließen 80% der Jahresmenge ab. Im Mittel von 20 Jahren steht einem Minimum von 26 mm (Februar) ein Maximum von 228 mm (Juli) gegenüber (Abb. 1, Tab. 2). Die Sommerabflüsse A_{4-9} variieren bei einem Mittelwert von 891 mm zwischen einem Minimum von 728 mm (Jahr

Tabelle 1

Mittlere Niederschlagssummen der Jahre 1933/34—1952/53 für acht Stationen des Rhonegebietes

	Winter						Sommer						N_{10-9}	N_{10-3}	N_{4-9}
	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Jahr	Winter	Sommer
Fiesch	88	115	61	77	72	63	63	79	75	63	76	74	907	476	431
Visp	59	86	50	60	55	43	45	42	50	38	49	54	631	353	278
Zermatt	58	70	44	46	42	43	49	67	69	54	69	68	678	303	375
Montana	60	102	83	96	82	62	51	52	74	65	81	66	874	484	390
Hérémence	52	75	48	57	51	39	41	46	74	63	76	63	686	322	364
Bagnes	58	85	73	81	70	56	54	55	70	61	72	64	799	423	376
Martigny	51	85	71	72	64	47	41	44	67	59	72	64	738	390	348
Leysin	92	131	103	120	112	88	88	104	147	133	136	114	1367	646	721

Tabelle 2

Abflußhöhen der Rhone in Porte du Scex 1933/34—1952/53

	Abflußhöhen A					
	Mittelwert		Maximum		Minimum	
	mm	%	mm	Jahr	mm	Jahr
Oktober-März	226	20	306	1944/45	172	1943/44
April-Sept.	891	80	1047	1945	728	1949
Jahr	1117	100	1353	1944/45	907	1948/49

1949) und einem Höchstwert von 1047 mm (1945). Ihre Verteilung zwischen diesen Extremwerten ist in Abb. 4 dargestellt, worin die Sommerabflußmengen dieser 20 Jahre der Größe nach geordnet als Treppenlinie eingetragen sind; diese entspricht der Summenlinie der Häufigkeiten. Unter der Voraussetzung einer Gauß'schen Verteilung wurde durch die Treppe eine Kurve gelegt, welche durch die beiden Parameter Mittelwert und Streuung [2] vollständig bestimmt ist [4].

Um die Grundgleichungen für die Sommerabflußprognosen zu finden, korrelierten wir die Sommerabflußmengen zunächst mit dem arithmetischen Wintermittel von acht Niederschlagsstationen, später mit dem mittleren Gebiets-Winterniederschlag, vermindert um den Winterabfluß. Die zweite Methode führte, mit Ausnahme einiger Prognosen ab 1. Juli, zu besseren Resultaten als jene mit den Niederschlägen allein (Tab. 3). Die Auswahl der Niederschlagsstationen erfolgte in einer Vorstudie, in der für jede einzelne Station der Zusammenhang sowohl von Jahresniederschlag und Jahresabfluß (Korrelationskoeffizienten $0{,}66 < r < 0{,}88$), als auch von Niederschlag N_{10-3} und Abfluß A_{4-9} ($0{,}61 < r < 0{,}85$) geprüft wurde. Auch wurde der regionalen Verteilung Rechnung getragen (Abb. 2). Bei einer genügend großen Anzahl von Niederschlagsstationen verringert sich der Einfluß von Fehlmessungen und außergewöhnlichen Ereignissen, die für eine größere Umgebung nicht repräsentativ sind. Zudem verbessert eine geeignete Grup-

[2] Mittelwert $= A_o = \frac{1}{n} \sum A_s$

Streuung $= s_A = \sqrt{\frac{(A_s - A_o)^2}{n-1}}$

Tabelle 3

Korrelationskoeffizienten r für den Zusammenhang zwischen Winterreserve S und Sommerabfluß A_s der Rhone in Porte du Scex (1933/34—1952/53)

Sommerabfluß A_s bis	vom	1. März	1. April	1. Mai	1. Juni	1. Juli
	Winterelement vom 1. Okt bis	28. Febr.	31. März	30. April	31. Mai	30. Juni
		= r				
30. Juni	N_w	0,74	0,79	0,74	0,67	—
	$1{,}6\ N_w - A_w$	0,76	0,84	0,79	0,74	—
31. Juli	N_w	0,80	0,86	0,84	0,80	0,75
	$1{,}6\ N_w - A_w$	0,82	0,90	0,88	0,86	0,74
31. Aug.	N_w	0,79	0,85	0,82	0,77	0,69
	$1{,}6\ N_w - A_w$	0,81	0,90	0,87	0,84	0,67
30. Sept.	N_w	0,81	0,86	0,84	0,78	0,64
	$1{,}6\ N_w - A_w$	0,83	0,90	0,88	0,84	0,63
31. Okt.	N_w	0,81	0,88	0,86	0,80	0,66
	$1{,}6\ N_w - A_w$	0,84	0,92	0,90	0,86	0,67

penbildung das Prognosenresultat, was sich mittels Korrelationskoeffizienten und Streuungen nachweisen läßt. Aus einer Bilanzbetrachtung folgt, daß das Gebietmittel des Niederschlags rund dem 1,6fachen arithmetischen Mittel der acht Vergleichsstationen entspricht.

Die Prognose vom 1. April 1955 sei anhand der Abbildungen 3, 4 und 5 erläutert: Der Punkteschwarm in Abb. 3 zeigt den Zusammenhang zwischen den Abflußhöhen A_{4-9} und den Wintervorräten S_{10-3}. Für ein gegebenes S gibt die durch den Nullpunkt führende Ausgleichsgerade (5/10) in der Ordinate den wahrscheinlichsten Wert der Abflußhöhe. Für die möglichen Abweichungen von dieser wahrscheinlichsten Abflußhöhe (Prognose) setzen wir wieder eine Gauß'sche Häufigkeitsverteilung voraus (Abb. 4). Die Streuung der Prognose (bezogene Streuung) ist bei genügend langen Beobachtungsreihen mit guter Annäherung durch den Ausdruck $s' = s_A \cdot \sqrt{1-r^2}$ gegeben.[3] Neben dem wahrscheinlichsten Wert (5/10) können nun auch ohne weiteres die mit anderen Wahrscheinlichkeiten zu erwartenden Abflußmengen bestimmt werden. In Abb. 3 geben die dünn gezogenen Geraden die Grenzwerte von 9/10 und 1/10; d. h. die Ordinate eines Punktes der untern Geraden zeigt den Abflußwert an, der im Durchschnittsverhalten in neun von zehn Jahren erreicht oder überschritten wird; bei der obern Geraden wird der Wert in einem von zehn Jahren erreicht oder überschritten.

In Abb. 4 sind neben den früher erwähnten Abflußhöhen der Bezugsperiode und der ihnen angepaßten Summenlinie (Gauß'sche Verteilung mit $A_0 = 891$ mm und $s_A = \pm 96$ mm) die berechneten wahrscheinlichsten Werte für die Abflußhöhen 1955 und zum Vergleich auch für das Minimaljahr 1949 aufgetragen. Aus den nunmehr bekannten Größen $\bar{A}$ und s' können die Summenlinien für die Prognosen konstruiert werden. Der wirkliche Abfluß von 1949 entspricht der untersten Treppenstufe.

Abb. 5 stellt die Meldung einer Voraussage dar. Die monatlichen Abflußhöhen sind ab 1. April summiert worden und für die Mittelwerte der zwanzigjährigen Periode als gestrichelte Linie eingezeichnet. Mit einer starken Linie finden wir die wahrscheinlichsten Werte der Prognose 1955 angegeben, während die Grenzen für 9/10 und 1/10 dünn ausgezogen worden sind. Die punktierte Linie gibt die Sommerabflußmengen des Minimaljahres 1949.

Nach dem Korrelationskoeffizient r von Sommerabfluß und Winterelement beurteilt (Tab. 3), sind alle Voraussagen, die zwischen dem 1. März und dem 1. Juni beginnen und bis frühestens 31. Juli, spätestens 31. Oktober dauern, bemerkenswert gut.

Abflußprognosen sind immer möglich, wenn ein genügend enger Zusammenhang zwischen meteorologischer Vorgeschichte und den vorauszusagenden Abflußmengen besteht. Am ehesten ist diese Bedingung erfüllt, wenn die Sommerniederschläge verschwindend klein sind, wie etwa in Kalifornien, wo die Schneereserven des Hinterlandes im Frühjahr den Sommerabfluß und

[3] Die Formel müßte streng genommen lauten:

$$s' = s_A \cdot \sqrt{1-r^2} \cdot \sqrt{\frac{n-1}{n-2}},$$

weil die Grundreihe einen, die Regressionsgerade dagegen zwei Freiheitsgrade besitzt.

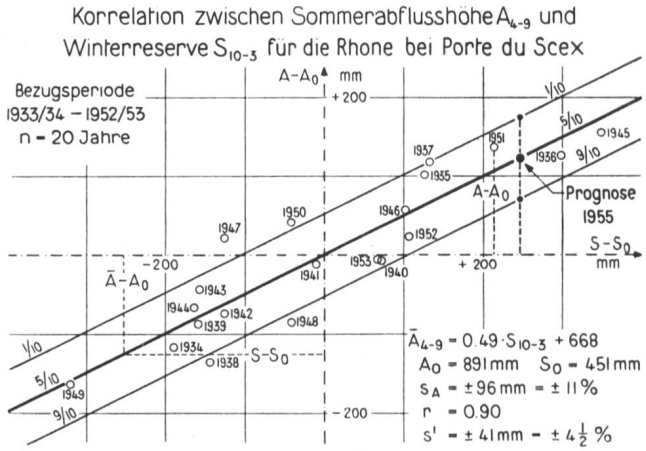

Abb. 3

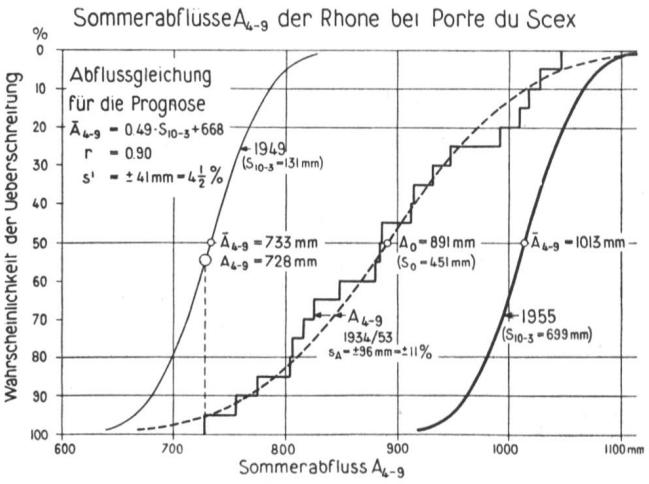

Abb. 4

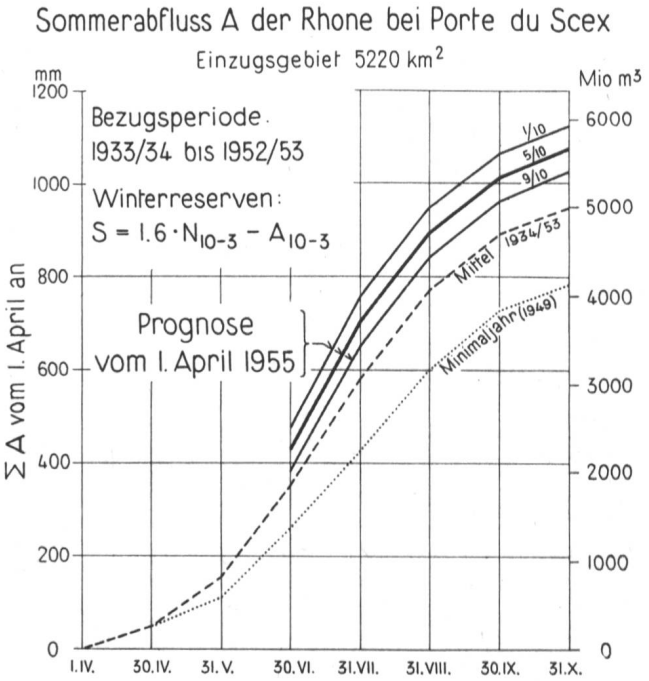

Abb. 5

die Bewässerungsmöglichkeiten ziemlich genau voraussehen lassen und damit eine zielbewußte Planung des Anbaues gestatten [1]. Aber selbst für den Rhein bei Rheinfelden, in dessen Einzugsgebiet die Sommerniederschläge überwiegen, wurden Korrelationskoeffizienten zwischen Winterniederschlag und Sommerabfluß um 0,8 gefunden, die wirksame Prognosen erwarten lassen. Da es sich hier infolge ausgedehnter Grundwasservorkommen um ein träges Niederschlags-Abflußsystem handelt, dürften die Voraussagen durch angemessene Berücksichtigung der Vorsommerniederschläge noch verbessert werden [5]. Die Erfahrungen der «Electricité de France» haben ferner bewiesen, daß sich in manchen Fällen auch für kleine Einzugsgebiete in der Größenordnung von nur 10 km² gute Prognosen aufstellen lassen [4]. Natürliche Grenzen sind uns durch die im Zeitpunkt der Prognosenausgabe noch unbekannte Entwicklung des Witterungsablaufs gesetzt. Auch der Gebietscharakter ist wesentlich. So dürften Voraussagen unsicher sein, wenn die prozentuale Vergletscherung ein gewisses Maß übersteigt.

Außer dem niederschlags- und temperaturbedingten jährlichen Aufbau und Abbau der Wasserreserven beeinflussen auch andere Vorratsänderungen die Sommerabflüsse, weshalb auch die Bedeutung von Seen, Gletschern und Reserven im Boden zu prüfen ist. Während die Schwankungen der Bodenreserven im Hinblick auf die Voraussage der Sommerabflüsse im Wallis kaum ins Gewicht fallen dürften, spielen die Gletscherschwankungen bei einer Vergletscherung von 17,9% (Siegfriedatlas), bzw. 16,2% (Landeskarte) eine wichtige Rolle. In unserer Bezugsperiode von 1933/34 bis 1952/53 lieferte der Raubbau an den Gletschern im Jahresmittel nahezu 100 mm oder ungefähr 11% des Sommerabflusses. Während dieser Betrag im Schwundjahr 1946/47 allein sogar den vierfachen Wert erreichte, wurden 1939/40 dagegen, bedingt durch große Niederschläge und einen kühlen Sommer, rund 150 mm zurückgelegt [6, 7, 8]. Welch entscheidende Rolle das Verhalten der Gletscher in Einzelfällen zu spielen vermag, zeigt der Versuch, die globalen Abflußmengen vom 1. Juli bis zum 30. September vorauszusagen. Werden für unsere 20jährige Periode die näherungsweise bekannten jährlichen Massenänderungen der Gletscher in die Rechnung einbezogen, so schnellt der Korrelationskoeffizient von 0,63 (Tab. 3) auf 0,91 hinauf.

Während die Vorratsänderungen in den natürlichen Seen des Wallis so klein sind, daß sie nicht in unsere Rechnung einbezogen werden müssen, und selbst gelegentliche Katastrophenausbrüche nur für die Flutwellen von Bedeutung sind, spielen die durch Wasserableitungen in Nachbargebiete und künstliche Speicherung bedingten Regimeänderungen eine immer größere Rolle. In unserer Bezugsperiode bis 1953 wurden gegen 20 mm oder rund 2% des Sommerabflusses A_{4-9} für die Ausnützung im Winter zurückgehalten, 1960 werden es voraussichtlich bereits um 100 mm oder ungefähr 11% sein.

Die Voraussage der Sommerabflußmengen in Abhängigkeit ihrer Wahrscheinlichkeit erlaubt eine Planung nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten, unter Einhaltung des durch ein Sicherheitsmaß bestimmten Risikos. Wird beispielsweise verlangt, daß mit 90% Wahrscheinlichkeit das Stauziel in einem Speicherbecken bis Ende September erreicht werden soll (Abb. 4), so gibt die Prognose frühzeitig Aufschluß, in welchem Ausmaß hochwertige Sommerenergie produziert werden darf und gegebenenfalls Wasser gepumpt werden muß. Auch für die Produktion in Laufwerken und für Seeregulierungen (Rhone für Genfersee, Aare für Juraseen, Rhein für Bodensee und Ijsselmeer [12], sind Prognosen wichtig. Die Voraussagen gewinnen noch dadurch, daß sie sich während des Sommers von Monat zu Monat mit Hilfe der letzten meteorologischen Daten verbessern lassen. Wenn schon die Aussagen über Sommerabflußmengen eines einzelnen Teilgebietes von praktischer Bedeutung sind, würden sie, bedingt durch die Verbundwirtschaft, für eine größere Anzahl von Einzugsgebieten Möglichkeiten für eine Gesamtplanung erschließen.

Langjährige meteorologische Beobachtungen [1] und Abflußmessungen [3] sind in unserem Land vorhanden und liefern die Grundlagen für Abflußprognosen. Immer mehr Ableitungen in Nachbargebiete und künstliche Retentionen ändern das Abflußregime und bedrohen den Wert der statistischen Unterlagen. Deshalb ist die möglichst vollständige und genaue Erfassung dieser wirtschaftlich notwendigen Eingriffe in die Natur ein Anliegen des Hydrologen, der sowohl in wissenschaftlicher Beziehung als auch im Interesse der Wirtschaft unsern Wasserhaushalt studiert. Den Abflußmessungen sollte unbedingt, vor allem bei der Erstellung neuer Werke und auch nach Vollendung der Bauten, die notwendige Aufmerksamkeit geschenkt werden. Erste Schritte zur Ausgabe von Abflußprognosen sind getan. Die folgenden dürften zu vermehrter Anwendung im Dienste der Wasserwirtschaft führen.

Literatur

[1] *Church, J. E.:* Standardizing method of snow cover measurment. AIH [4], Oslo 1948.

[2] *Coutagne, A:* Initiation mathématique à l'hydrologie fluviale. Houille blanche 1952.

[3] *Eidg. Amt für Wasserwirtschaft:* Hydrograph. Jahrbücher

[4] *Ferry et Lugiez:* Prévision d'apports pendant la période de fusion des réserves nivales. AIH, Bruxelles 1951.

[5] *Hoeck, E.:* La prévision du débit estival de quelques rivières suisses. AIH, Bruxelles 1951.

[6] *Kasser und Haefeli:* Glaziologische Beobachtungen am Großen Aletschgletscher. Schweiz. Bauzeitung 1952.

[7] *Kasser, P.:* Ablation und Schwund am Großen Aletschgletscher. Verh. d. Schweiz. Naturforsch. Gesellschaft, Lugano 1953.

[8] — Sur le bilan hydrologique des bassins glaciaires. AIH, Rome 1954.

[9] *Maurer, Billwiller und Hess:* Das Klima der Schweiz. Frauenfeld 1909.

[10] *Pardé, M:* Le régime du Rhône. Grenoble 1924.

[11] *Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt:* Annalen Zürich.

[12] *Thijsse J. Th.:* Prévision du débit du Rhin. AIH, Oslo 1948.

[13] *Uttinger, H.:* Niederschlagsmengen in der Schweiz 1901/1940. MZA und Schweiz. Wasserwirtschaftsverb. Zürich 1949.

[4] AIH: Procès-verbaux des séances des assemblées générales de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale.