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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 49 (1957)

Heft: 7-9

Artikel: Niederschlags- und Abflussverhältnisse im Einzugsgebiet der Aare unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Speicherbecken

Autor: Walser, E. / Lanker, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920833

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: 19.02.2026

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

Niederschlags- und Abflußverhältnisse im Einzugsgebiet der Aare unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Speicherbecken

Dipl.-Ing. *E. Walser* und Dipl.-Ing. *E. Lanker*, Sektionschefs im Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern.

In einem früheren Aufsatz [1]* sind bereits die Niederschlags- und Abflußverhältnisse im Einzugsgebiet des Rheins oberhalb Basel betrachtet worden. Wir werden nachstehend speziell die Verhältnisse im Einzugsgebiet der Aare oberhalb Brugg behandeln (Abb. 1); dabei wollen wir vorerst dem früheren Gedanken folgen und hernach auf die im Zusammenhang mit der Wasserkraftnutzung stehenden Besonderheiten eintreten. Auf eine umfassende Darlegung müssen wir schon raumeshalber verzichten; wir begnügen uns mit einzelnen Beispielen. Wer sich eingehend orientieren will, findet ein großes Beobachtungsmaterial im Hydrographischen Jahrbuch der Schweiz [2].

A. Niederschlag und Abfluß

In bezug auf den Niederschlag stützen wir uns auf die Niederschlagskarte der Schweiz 1 : 500 000 mit den mittleren jährlichen Niederschlagshöhen der Jahresreihe 1901—1940, aufgestellt von H. Uttinger [3].

1. Die Planimetrierung dieser Karte ergab die in Tabelle 1 zusammengestellten mittleren Niederschlagshöhen verschiedener Teilgebiete. Die entsprechenden Gesamtniederschlagsmengen wurden berechnet auf Grund der in den Flächenstatistiken des Amtes für Wasserwirtschaft angegebenen Gebietsflächen, denen die Siegfriedkarte zugrunde liegt [4].

* Die in [ ] gesetzten Zahlen weisen auf die Ordnungsnummern des Literaturverzeichnisses am Schluß des Aufsatzes hin.

Aaregebiet oberhalb Brugg
Niederschlag im Durchschnitt der Jahresreihe 1901—1940

Tabelle 1

Einzugsgebiet	Fläche nach Flächenstatistik 1916 km²	Mittlere Niederschlagshöhe mm	Gesamter mittlerer Jahresniederschlag Mio m³
A. Aare bis Interlaken	1 140	2039	2 324
B. Aare von Interlaken bis Thun	1 350	1662	2 260
C. Saane bis Laupen	1 861	1532	2 851
D. Broye bis Sugiez	697	1097	765
E. Zihlkanal bis Zihlbrück, ohne Gebiet D	1 977	1302	2 574
F. Aare bis Brügg, ohne Gebiete A—E	1 292	1219	1 575
G. Emme bis Gerlafingen	940	1383	1 300
H. Aare bis Brugg, ohne Gebiete A—G	2 521	1152	2 904
Total Aare bis Brugg	11 778	1405	16 553

2. Für den Vergleich mit den an den Meßstationen des Amtes für Wasserwirtschaft gemessenen Abflußmengen ist es nötig, diese Werte umzurechnen auf die Jahresreihen, während denen dort Beobachtungen erfolgten. Wir haben uns auf die Einzugsgebiete von vier wichtigen Stationen beschränkt. In jedem dieser Einzugsgebiete wurde eine Anzahl Niederschlagsstationen so ausgewählt, daß sie einigermaßen über das ganze

Umrechnung der Niederschlagswerte 1901—1940 auf andere Jahresreihen

Tabelle 2

Einzugsgebiet	Anzahl berücksichtigter Niederschlagsstationen	Abflußperiode	Mittlerer Jahresniederschlag aller berücksichtigten Niederschlagsstationen		Verhältnis (2):(1)	Mittlerer Jahresniederschlag des Gebietes	
			1901—40 (1) mm	Abflußperiode (2) mm		1901—40 mm	Abflußperiode mm
I. Aare bis Thun	6	1930—55	1695	1677	0,989	1841	1820
II. Zihlkanal bis Zihlbrück	6	1920—55	1201	1164	0,969	1249	1220
III. Aare bis Brügg	14	1914—55	1511	1503	0,995	1485	1477
IV. Aare von Brügg bis Brugg	6	1916—55	1190	1145	0,962	1214	1168
V. Aare bis Brugg	20	1916—55	1414	1397	0,988	1405	1388

Abfluß in % des Niederschlags

Tabelle 3

Einzugsgebiet	Abflußperiode	Mittlerer Niederschlag der Abflußperiode mm	Mittlere Abflußmenge m³/s	Mittlere Jahresabflußhöhe mm	Abfluß in % des Niederschlags
I. Aare bis Thun	1930—55	1820	111	1407	77
II. Zihlkanal bis Zihlbrück	1920—55	1220	52,0	614	50
III. Aare bis Brügg	1914—55	1477	246	933	63
IV. Aare von Brügg bis Brugg	1916—55	1168	66,6	607	52
V. Aare bis Brugg	1916—55	1388	311	833	60

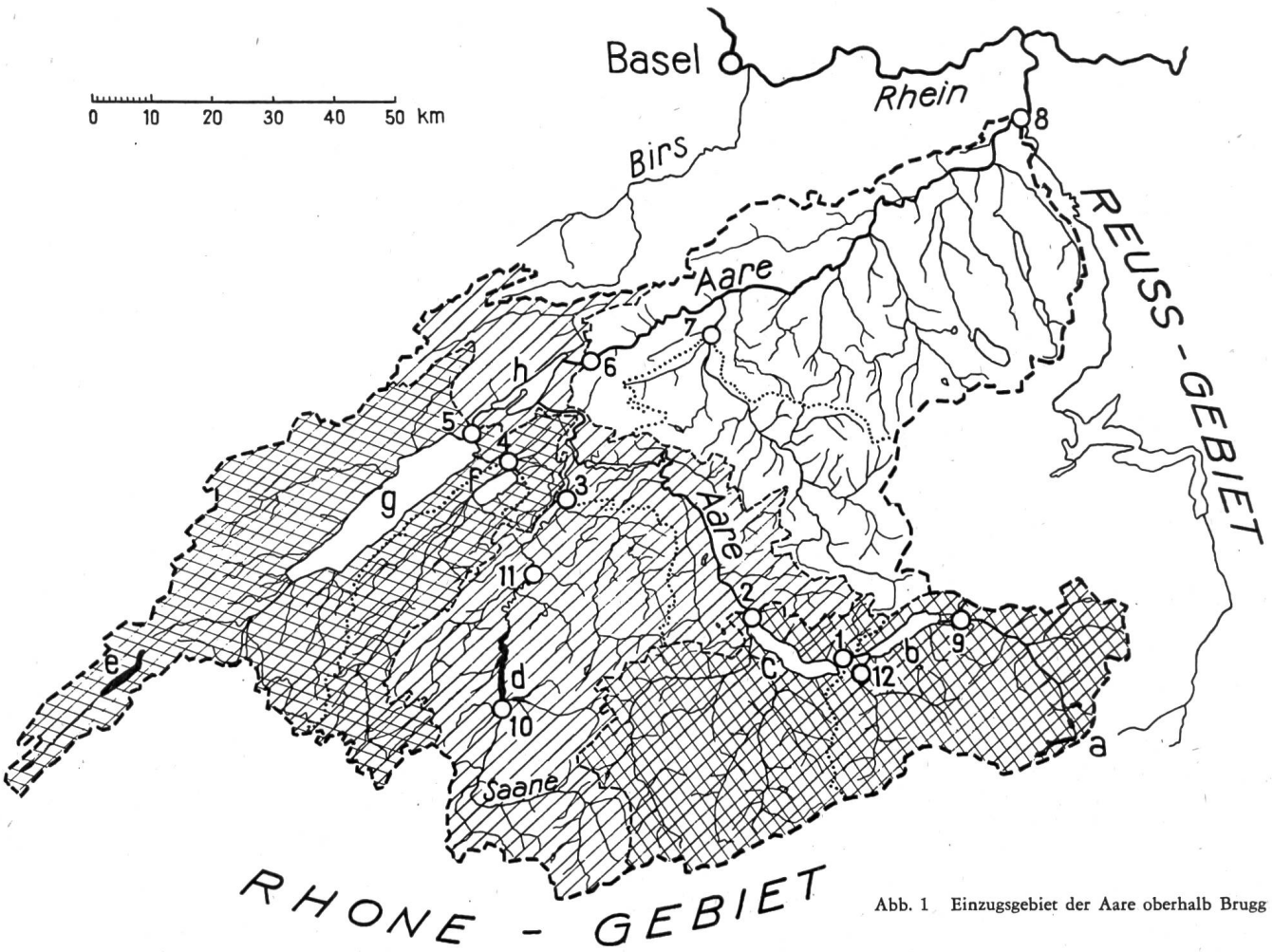


Abb. 1 Einzugsgebiet der Aare oberhalb Brugg

Wassermeßstationen:

1 Aare/Interlaken, 2 Aare/Thun, 3 Saane/Laupen, 4 Broyekanal/Sugiez, 5 Zihlkanal/Gampelen (Zihlbrück), 6 Aare/Brügg, 7 Emme/Gerlafingen, 8 Aare/Brugg, 9 Aare/Brienzwiler, 10 Saane/Broc, 11 Saane/Freiburg, 12 Lütschine/Gsteig

Seen:

a Speicherbecken im Oberhasli 204 Mio m³, b Brienzersee, c Thunersee, d Lac de Montsalvens und Greyerzersee (Rossens) 190 Mio m³, e Lac de Joux 37 Mio m³, f Murtensee, g Neuenburgersee, h Bielersee

Gebiet verteilt liegen und möglichst für 1901—1940 denselben Mittelwert ergeben wie die Planimetrierung der Karte. Wegen des nahezu vollständigen Fehlens von hochgelegenen und lückenlos beobachteten Stationen im Gebiet sind insbesondere für das Einzugsgebiet oberhalb Thun die Niederschlagswerte mit bedeutend größeren Toleranzen behaftet als die entsprechenden Abflußwerte. Das Verhältnis zwischen der Summe der Jahresniederschläge dieser Stationen in der einen Jahresreihe (z. B. 1930—1955) zur Summe für 1901—1940 wurde als für das betreffende Gebiet maßgebend angenommen.

3. Die Verteilung der Niederschläge über das Jahr ist für das Einzugsgebiet der Wassermeßstation Brügg und die Jahresreihe 1941—1955 auf Grund von neun dieser Vergleichsstationen ermittelt worden; die sich ergebenden monatlichen Niederschlagshöhen sind in Abb. 2 den entsprechenden Abflußhöhen gegenübergestellt. In Anbetracht der großen Zufälligkeit der Niederschlagswerte sind auch noch die Werte für die längere Jahresreihe 1901—1955 angegeben.

In der erwähnten früheren Arbeit [1] ist die Verteilung der Niederschläge auch noch getrennt nach einzelnen Höhenzonen untersucht worden, wobei sich zeigte, daß der Jahresverlauf sich mit der Höhenlage nur wenig verändert (Abb. 4 des erwähnten Aufsatzes).

Die Verteilung der Abflußmengen über das Jahr ist stark beeinflußt durch das Spiel der oberhalb gelegenen Seen und Stauseen. Um ein Bild über den Abfluß ohne diese ausgleichenden Vorgänge zu erhalten, haben wir in Abb. 2 auch die mittleren Monatsabflußmengen nach Eliminierung des Einflusses der Seen und Staubecken eingetragen.

4. Daß der ausgleichende Einfluß der Seen um so stärker ist, je kurzfristiger die betrachteten Abflußvorgänge sind, sei auch für das Aaregebiet an einigen Beispielen dargetan: Während z. B. am 26. Juni 1953 die Aare in Brienzwiler (Rest-Einzugsgebiet unterhalb der Oberhaslibecken = 379 km²) eine Abflußspitze von 210—240 m³/s aufwies, von denen nur rund 25 m³/s aus dem Gebiet oberhalb der Becken stammten — übrigens bereits gemildert durch eine natürliche teilweise Einstauung der Aareschlucht unterhalb Innertkirchen — betrug beim gleichen Hochwasser, ein Tag später, der größte Abfluß aus dem Brienzersee (Station Unterseen/Interlaken, Einzugsgebiet unterhalb der Oberhaslibecken = 965 km², also mehr als Verdoppelung des Einzugsgebietes) nur 218 m³/s. Die Wirkung der Seen ist indessen mit der Reduktion der Abflußspitzen nicht erschöpft, sie besteht auch in einer sich oft bedeutend auswirkenden Verzögerung des Hochwasserabflusses. So wurde z. B. beim Hochwasser im oberen

Aare- und Emmegebiet von Ende November 1944 (23. und später) am Thunerseeausfluß (Aare-Thun) der Höchstwert erst 24 Stunden nach demjenigen der Zuflüsse erreicht, am Bielerseeausfluß sogar erst 48 Stunden nach der Ankunft der Spitze der mit der Aare vereinigten Saane; die auf die Verzögerung allein zurückzuführende Verminderung der Spitze unterhalb der Emmemündung dürfte etwa 70 m³/s betragen haben.

In Thun betrug die absolut größte beobachtete Hochwasserspitze 390 m³/s (24./25. 11. 1944), während aus den Seestandsänderungen und Abflußmengen sich eine Zuflußspitze von etwa 690 m³/s ergibt (23. 11. 1944).

Noch augenfälliger sind diese Verminderungen bei den Jurarandseen. Für die größten neueren Hochwasser wurden folgende maximalen Werte ermittelt:

		Nov./Dez. 1944 m³/s	Nov. 1950 m³/s	Jan./Febr. 1955 m³/s
Berechneter Zufluß				
zum Murtensee	(290+)	430***	215**	175*
zum Neuenburgersee	(555*)	590**	675*	600*
zum Bielersee		1270**	1230***	1010*
zu allen drei Seen		1780**	1660**	1785*
Abfluß				
des Broyekanals		78	76	60**
des Zihlkanals minus Broyekanal		188+	175+	179+
der Aare in Brügg minus Zihlkanal		870*++	650**++	763**++
der Aare in Brügg		700	610	610

*** 3stündiges Mittel * 12stündiges Mittel
** 6stündiges Mittel + Tagesmittel
++ Dieser Wert ist größer als jener der Aare wegen des zeitweisen Rückfließens im Zihlkanal.

Wir verweisen auch auf den Aufsatz in der gleichen Nummer dieser Zeitschrift «Die Regulierung der Juraseen», Abb. 4.

Diese für die Unterlieger willkommene Funktion der Seen als Auffangbecken bringt bekanntlich für die Seeanwohner oft den Nachteil von zeitweiligen Überschwemmungen mit sich.

5. Interessant ist auch ein Vergleich der kurzzeitigen größten Niederschläge und Abflußmengen. So betrug z. B. beim Hochwasser 1950 der größte 24stündige Niederschlag im Einzugsgebiet des Zihlkanals (Mittel von 6 Stationen) 71 mm (11. 11. 1950); demgegenüber betrug der größte mittlere tägliche Abfluß im Zihlkanal 221 m³/s, was einer Abflußhöhe von 7,15 mm entspricht; diese Abflußmenge ist erst 30 Tage später aufgetreten. Für das dreitägige Mittel lauten die Werte 40 mm Niederschlag und 220 m³/s = 7,1 mm Abflußhöhe. Demgegenüber beträgt der langjährige mittlere Tagesniederschlag (1920—1955) 3,3 mm und die Abflußhöhe 1,65 mm. Nun wird allerdings die bloße Angabe der Niederschlagshöhen der wirklich freigesetzten Wassermengen gerade im Falle der Jurarandseen oft nicht gerecht, indem die Winterhochwasser nur zum Teil durch intensive Regenfälle, zum andern aber durch ein gleichzeitiges Abschmelzen größerer Schneemassen zustandekommen. Es müßten zu den gemessenen Niederschlagshöhen also noch die täglichen Abschmelzhöhen (Wasserwerte) addiert werden, um der ausgleichenden Wirkung von Boden, Bewuchs und Seen objektiv gerecht zu werden. Leider können wir die entsprechenden Zahlen nicht beifügen, da die Unterlagen hiefür fehlen.

6. Nicht weniger bedeutsam, jedoch schwieriger zu erfassen und darzustellen ist der Einfluß der Seen auf die Niederwasser und gerade die kurzzeitigen Extremwerte. Während z. B. für die drei Jurarandseen Ende Dezember 1953 Zuflußwerte (Tagesmittel, Verdunstung abgezogen) von bis rund 55 m³/s berechnet wurden, ist die Abflußmenge damals nicht unter 84 m³/s gesunken. Die Art der Berechnung aus Abflußmengen und Änderungen der Seestände bringt bei großen Seen allerdings einerseits relativ große Zufälligkeiten mit sich, und andererseits kann die Verdunstung an der Seeoberfläche in einem trockenen Herbst bei Wind für den Neuenburgersee über 10—20 m³/s ausmachen, also den ganzen Seezufluß beanspruchen.

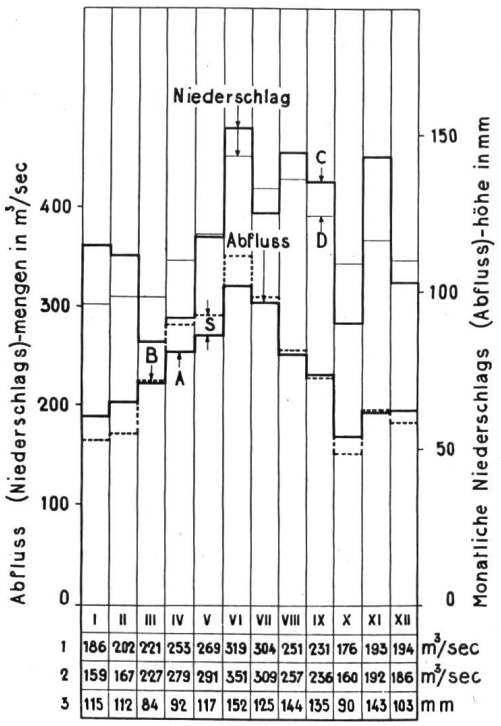


Abb. 2 Mittlere monatliche Niederschlags- und Abflußmengen für das Aaregebiet oberhalb Brügg, Jahresreihe 1941—55. Einfluß der Seen und Stauseen. — Zum Zwecke der Vergleichbarkeit der einzelnen Monatswerte untereinander sind die effektiven Monatshöhen des Niederschlages auf Einheitsmonate von 30,44 Tagen (365,24:12) umgerechnet worden; bei den pro Zeiteinheit angegebenen Abflußmengen ist diese Vergleichbarkeit ohnehin schon vorhanden.

A = 1: in Brügg tatsächlich aufgetretene Abflußmengen
S : Einfluß der Seen und Stauseen
B = 2: Abflußmengen in Brügg, wenn keine Seen und Stauseen vorhanden wären
C = 3: Niederschlagsmittel 1941—55
D : Niederschlagsmittel 1901—55

B. Einfluß der Speicherbecken auf die Wasserführung

Wir sehen drei verschiedene Wirkungen:

1. Hebung der Niederwasser mehrtägiger und größerer (jahreszeitlicher) Zeitabschnitte (Jahresspeicher).
2. Einfluß auf die Hochwasser
   a) Häufigkeit und Hochwasserfracht
   b) Geschwindigkeit des Ansteigens und zeitliche Verschiebung
3. Beeinflussung des kurzfristigen Abflußcharakters.

Diese für die Unterlieger teils günstigen, teils ungünstigen Erscheinungen werden nachstehend der Reihe nach an einigen Beispielen aufgezeigt. Dabei ist es meist so, daß neben dem gerade Darzulegenden auch andere Einflüsse sichtbar sind. Dies um so mehr als ein bestimmtes Werk verschiedene solcher Einflüsse

bewirken kann und mit Ausnahme der obersten Flußstrecken Einflüsse verschiedenartiger Werke sich superponieren. Von den durch Ableitungen zeitweise ganz oder nahezu trockengelegten Flußabschnitten wollen wir im Folgenden absehen. (Beispiel: Saane von Rossens bis Hauterive).

1. Hebung der Niederwasserabflußmengen mehrtägiger und größerer Zeitabschnitte.

Wir denken dabei an die Tages-Mittelwerte der Abflußmengen, welche für die Wasserkraftnutzung unterhalb der größeren Seen vor allem maßgebend sind, während die Tagesschwankungen der Wasserführung dort nur sekundäre Wichtigkeit haben. Am anschaulichsten zeigt sich diese Wirkung in der Veränderung der Jahresdauerkurve der Abflußmengen. Abb. 3 zeigt die Dauerkurven der Aare in *Brienzwiler* (vor der Mündung in den Brienzersee) und der Aare in Thun (nach dem Ausfluß aus dem Thunersee) vor und nach Vollausbau der Oberhasliwerke. Die Vergleichsperioden wurden folgendermaßen ausgewählt: Als für den heutigen Zustand repräsentativ standen nur die Jahre 1954 und 1955 zur Verfügung; denn das Becken Oberaar wurde im Sommer 1953 erstmals aufgestaut, und andererseits waren die Niederschlagsmengen nur bis 1955 greifbar. Aus Konsequenzgründen wurde der Vergleichszeitraum für den unbeeinflußten Abflußzustand ebenfalls zweijährig gewählt. Dabei wurden Jahresgruppen gesucht mit demselben mittleren Jahresniederschlag wie 1954—55 (Durchschnitt von vier Niederschlagsstationen des Einzugsgebietes von Brienzwiler 1638 mm). Dieser Anforderung entsprechen die Gruppen 1913—14 (1633 mm) und 1918—19 (1645 mm). Auch die mittleren Abflußmengen derselben Jahresgruppen sind untereinander nahezu gleich (33,9 m^3/s bzw. 33,1 bzw. 34,2). Den mittleren Jahresverlauf der Niederschläge für die drei Jahresgruppen zeigt Abb. 4 (Monatssummen). Wie nicht anders zu erwarten war, ist trotz Übereinstimmen der Jahresmittel die Verteilung auf die Monate keineswegs für alle drei Perioden dieselbe, insbesondere bestehen auch große Unterschiede zwischen 1913—14 und 1918 bis 1919. Die Dauerkurven der beiden letztgenannten Jahresgruppen für Brienzwiler zeigen nichtsdestoweniger eine überraschende Ähnlichkeit und stimmen im Niederwasserbereich miteinander nahezu überein; daß im Bereich der höheren Abflußmengen die Eigenheiten der einzelnen Jahre sich bemerkbar machen, war zu erwarten. Um so eindrücklicher ist die Hebung der Dauerkurve für 1954—55 im Niederwasserbereich, wo an über 205 Tagen die Tagesmittel um 5—13 m^3/s vergrößert wurden und nun z. B. während 95% des Jahres über 14 m^3/s liegen gegenüber 5 m^3/s vor Erstellung der Oberhaslispeicher. Demgegenüber liegt die Dauerkurve 1954—55 nur für 130 bzw. 150 Tage pro Jahr tiefer als die früheren; am ausgeprägtesten ist die Reduktion infolge der großen Speicher im Hochwasserbereich, wo z. B. $Q_{5\%}$ von 113 bzw. 119 auf 78 m^3/s zurückging. Auch für die Aare in *Thun* ist die Hebung der Niederwasser durch die Oberhaslispeicher relativ bedeutend, nämlich rund 35—40% während vier Monaten. Die entsprechende Reduktion zeigt sich hier eher bei den mittleren Wassermengen, während die Hochwasserspitzen nur wenig beeinflußt werden, was sich aus der relativen Kleinheit des Einzugsgebietes der Speicherbecken (7%) erklärt,

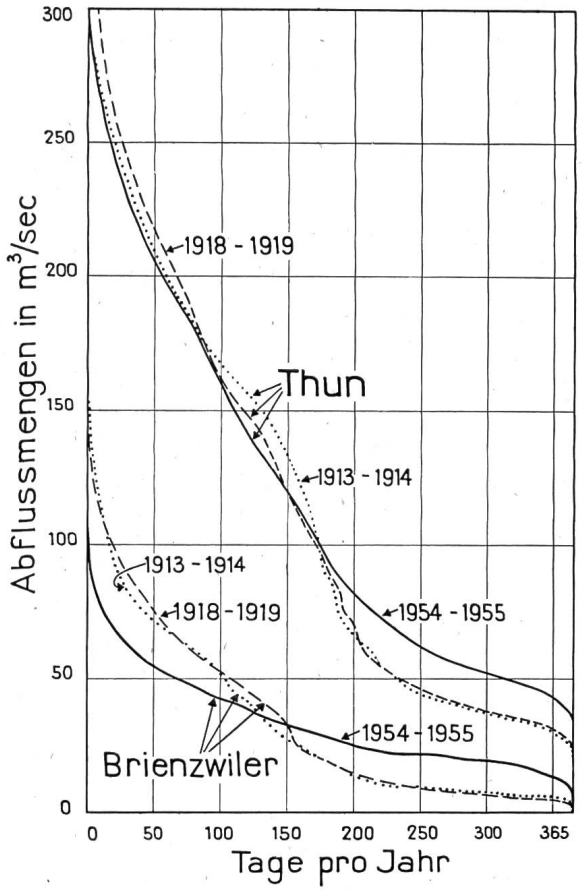


Abb. 3 Dauerkurven der Abflußmengen der Aare bei Brienzwiler und bei Thun vor und nach Inbetriebnahme der Oberhasliwerke.

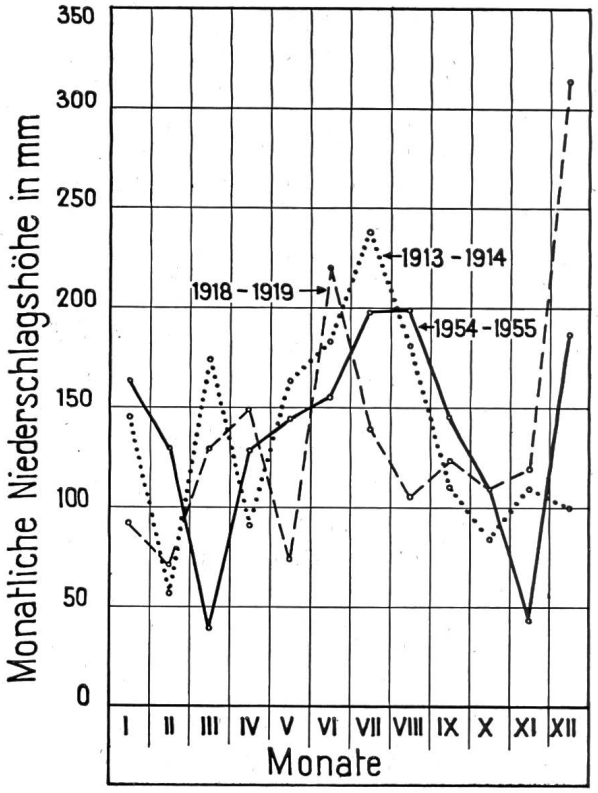


Abb. 4 Niederschlag im Einzugsgebiet der Aare oberhalb Brienzwiler. Mittel von 4 Stationen. Durchschnittliche Monatssummen für 3 verschiedene Jahresreihen.

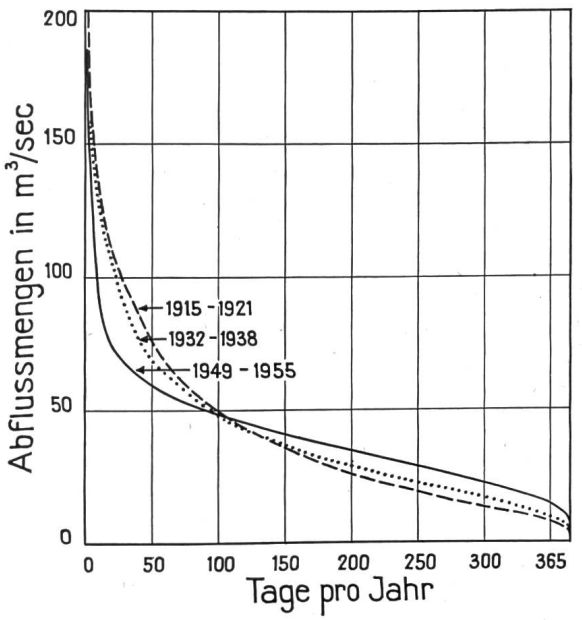


Abb. 5 Dauerkurven der Abflußmengen der Saane bei Freiburg vor und nach Inbetriebnahme der Staubecken Montsalvens und Rossens

sowie aus dem Umstand, daß die Hochwasser bei Thun größtenteils aus näher und tiefer gelegenen Teilen des Einzugsgebietes stammen. Daß die gewählten Jahresgruppen auch für Thun als Vergleichsgrundlage geeignet sind, haben wir einfachheitshalber nur an Hand der betreffenden Abflußmengenmittel nachgeprüft; sie betragen 112 m³/s für 1913—14, 113 für 1918—19 und 116 für 1954—55. Die Aufbesserung der Niederwasser in Thun ist allerdings zu einem Teil auf die seit dem Zweiten Weltkrieg intensivierte Niederwasserregulierung von Brienzer- und Thunersee zurückzuführen, deren heutiger Niederwasser-Regulierraum 81 Mio m³ beträgt.

Der Aare als alpines Gewässer mit ausgesprochener Winterspeichergruppe (Einzugsgebiet Brienzwiler 554 km², mittlere Höhe 2150 m ü. M., Vergletscherung 24,4%) seien in Abb. 5 die Dauerkurven der Saane in *Freiburg* vor und nach Inbetriebnahme der Becken Montsalvens (Staubeginn 1921) und Rossens (Staubeginn Mai 1948) gegenübergestellt; deren Einzugsgebiet gehört größtenteils zu den Voralpen. (Einzugsgebiet Freiburg 1269 km², mittlere Höhe 1240 m, Vergletscherung 0,5%). Die Auswahl der siebenjährigen älteren Jahresreihen erfolgte derart, daß deren mittlere Abflußmenge gleich derjenigen der sieben seit Inbetriebnahme von Rossens verfügbaren Jahre ist (Mittel 1949—1955 = 41,0 m³/s, 1915—1921 = 41,2, 1919—1925 = 41,0, 1928—1934 = 41,1, 1932—1938 = 41,1). Von diesen Jahresreihen sind diejenigen von 1919—1925 und 1928—1934 nicht dargestellt, weil sie mit denjenigen von 1915—1921 bzw. 1932—1938 praktisch zusammenfallen. Während also von 1921 bis 1925 aus dem Betrieb von Montsalvens offenbar noch keine Hebung der Niederwasser erfolgte, zeigt sie sich in der Kurve 1932—1938 bereits deutlich. Eine tiefgreifende Änderung brachte dagegen die Inbetriebnahme von Rossens, indem die Dauerkurve 1949—1955 im Bereich der Nieder- und Mittelwasser an 250 Tagen über der ursprünglichen liegt und anderseits die höheren Mittel- und mittleren Hochwasser ganz beträchtlich gesenkt wurden. Die Erhöhung der Niederwasser beträgt während 150 Tagen

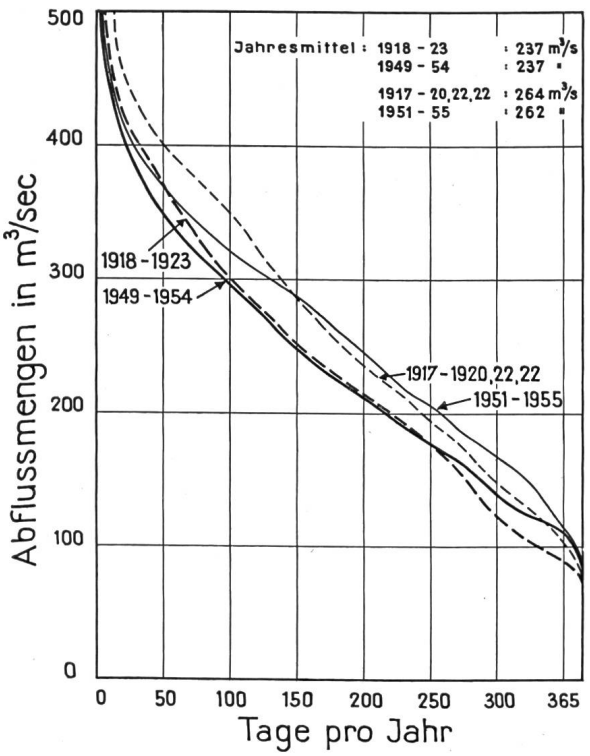


Abb. 6 Veränderung der Dauerkurven der Abflußmengen der Aare bei Brügg durch die Inbetriebnahme der Speicherbecken im Einzugsgebiet. Montsalvens (1921), Gelmer (1929), Grimsel (1932), Rossens (1948), Lac de Joux (Inbetriebnahme 1908 mit 30 Mio m³, erweitert 1947 auf 37 Mio m³), Räterichsboden (1950), Oberaar (1953)
Zunahme des Stauinhalts seit 1921 total 401 Mio. m³

7—10 m³/s, die an 95% der Tage überschrittene Wassermenge 14,5 gegenüber früher 8,5 m³/s; das an 5% der Tage überschrittene Hochwasser 75 m³/s gegenüber früher 115 m³/s.

Abb. 6 zeigt die Veränderung der Dauerkurven der Aare in *Brügg* (Einzugsgebiet 8317 km²). Indem hier wegen der großen Fläche der Jurarandseen (279,3 km² bei Mittelwasser gegenüber 78,1 km² für Brienzer- und Thunersee zusammen) die Art der Regulierung insbesondere die Niederwasserabflußmengen noch stärker beeinflußt, sollen nur Jahresreihen miteinander verglichen werden, in denen ähnliche Reglemente angewendet wurden. Anderseits ist der Einfluß des Beckens Rossens (180 Mio m³) gegenüber demjenigen von Räterichsboden und Oberaar (zusammen 85 Mio m³) so viel stärker, daß es vorzuziehen ist, möglichst die ganze seit Inbetriebnahme von Rossens verfügbare Jahresreihe zu berücksichtigen, auch wenn darin der Einfluß von Räterichsboden (Staubeginn 1. Juni 1950) und Oberaar (Staubeginn 1. Juli 1953) nur in sechs bzw. zweieinhalb Jahren enthalten ist. Indem das Reglement 1917 bzw. die verfeinerten Varianten 1917/39 und 1917/41 vom Sept. 1917 bis Sept. 1923 und dann vom September 1939 bis 30. 9. 1955 angewendet wurden, stellen wir den Vergleich auf die Jahresreihen 1918—1923 und 1949—1954 ab; die mittlere Abflußmenge jeder der beiden Jahresreihen beträgt 237 m³/s. Auch hier ist eine Hebung der Niederwasser-Abflußmengen festzustellen, die im Bereich hoher Abflüsse ihre Kompensation findet. Da die erste der obigen Jahresreihen das außergewöhnlich trockene Jahr 1921 mit umfaßt, wurden zur Bekräftigung noch zwei andere Jahresreihen gesucht und wie folgt ausgewählt: 1917—1920 und dazu mit doppelter Zählung das Jahr

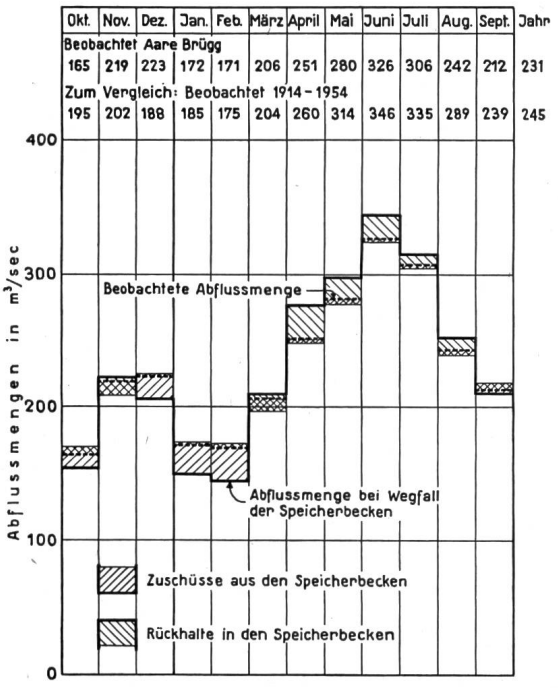


Abb. 7 Einfluß der Speicherbecken auf die Wasserführung der Aare bei Brügg für die Jahresreihe 1948/49—1953/54
Erläuterungen im Text

1922 (Mittel 264 m³/s) und 1951—1955 (Mittel 262 m³/s). Die Hebung der Niederwasser auf Kosten hoher Abflußmengen wird bestätigt, der beeinflußte Bereich ist hier sogar größer.

Ein auf anderem Wege gewonnenes Bild über die Wirkung der Speicherungen zeigt Abb. 7. Es sind im Durchschnitt einer Jahresreihe monatsweise dargestellt: die an der Aare in *Brügg* beobachtete Abflußmenge, dazu sind addiert die Abflußmengen, welche der Summe der im Laufe des betreffenden Monats in den Speichern zurückgehaltenen Wassermengen entsprechen, und vom erhaltenen Wert abgezogen die Abflußmengen, welche den aus den Speichern im Laufe des Monats abgegebenen Wassermengen entsprechen. Die resultierenden Werte stellen die Abflußmengen dar, welche aufgetreten wären, wenn die Speicher nicht vorhanden gewesen wären. Die berücksichtigte Jahresreihe wurde nicht auf das Jahr 1955 ausgedehnt, weil dessen außergewöhnlich große Winterabflußmengen das Mittel der ohnehin kurzen Reihe zu sehr beeinflußt hätten. Berücksichtigt sind außer den künstlichen Speichern auch der Lac de Joux (Nutzinhalt 37 Mio m³), dessen Wasserregime — von Hochwassern abgesehen — durch das Kraftwerk La Dernier mittels einer unterirdischen Fassung gesteuert wird; ein Teil der entsprechenden Retentionswirkung wäre allerdings genau genommen unter die natürliche Seeretention einzureihen. Aufspeicherung und Abgabe sind derart ermittelt, daß, von unbedeutenden Wasserstandsschwankungen abgesehen, welche sich bis Brügg kaum auszuwirken vermöchten, alle Kulminations- und Tiefpunkte der Beckenwasserstände erfaßt wurden. Es zeigte sich nämlich, daß oft Wasserabgabe aus den Oberhaslibecken mit Speicherung in Rossens zeitlich zusammenfällt und umgekehrt, weshalb Bilanzen auf Grund der Stände bloß am Monatsanfang und -ende ein zu geringes Ausmaß der Speicherwirkungen ergeben würden. So zeigt Abb. 7, daß regelmäßigen Zuschüssen im November vor allem der Oberhaslibecken von rund 11 m³/s in der Jahresreihe 1948/49—53/54 Speicherungen von rund 12 m³/s, herrührend von einigen in Rossens aufgefangenen Hochwassern, gegenüberstehen, so daß im Mittel für den November eine Reduktion der natürlichen Wasserführung resultiert. Dasselbe Bild zeigt der Monat März. Bei dieser Darstellung wurde der Fließzeit des Wassers, welche von Innertkirchen bis Hagneck weniger als einen Tag beträgt, keine Rechnung getragen und ferner angenommen, daß die Seeretention ausgeschaltet sei. Einige extreme Monatswerte sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4

Periode 1. 10. 1948 bis 30. 9. 1955	Abfluß in Brügg beobachtet m³/s	Speicherung in (—) Abgabe aus (+) Speicherbecken m³/s	Abfluß ohne Speicherbecken m³/s
Dezember 1948	122	+ 28	94
April 1949	198	— 38	236
Januar 1950	120	+ 24	96
Mai 1950	263	— 44	307
Februar 1951	242	+ 33	209
Februar 1952	217	+ 47	170
April 1952	353	— 40	393
Februar 1953	167	+ 43	124
Dezember 1953	98	+ 24	74
August 1954	283	— 46	329

Raumeshalber müssen wir darauf verzichten, die ganze Jahresreihe graphisch darzustellen. Daraus ginge hervor, daß ausnahmsweise (Dez. 1950, Dez. 1952, Febr. 1955) noch Speicherwasser abgegeben wird, wenn die Aarewerke bereits Überlauf aufweisen. Möglicherweise ließen sich die entsprechenden Leistungen auf Speicherwerke in andern Flußgebieten verschieben, bis im Aaregebiet eine restlose Ausnützung wieder möglich ist.

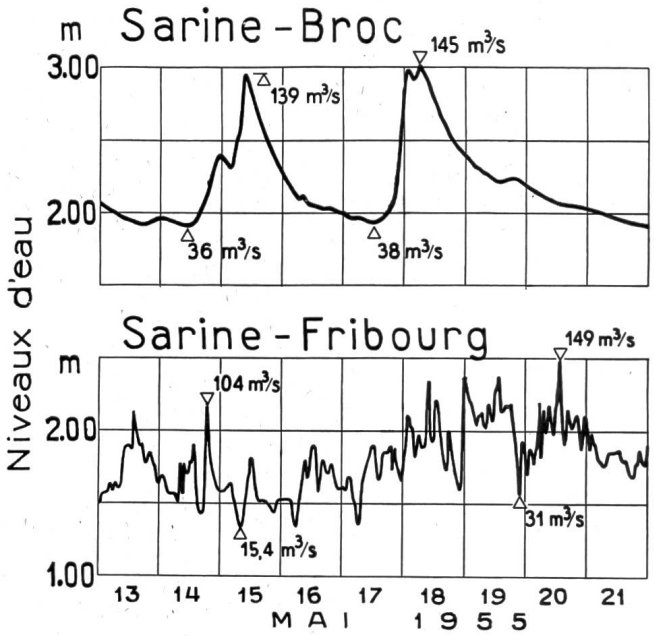


Abb. 8 Ganze oder teilweise Eliminierung von Hochwasseranschwellungen der Saane durch das Becken von Rossens
Veränderung des kurzzeitigen Abflußcharakters
Station Broc oberhalb des Beckens Rossens, Station Freiburg unterhalb desselben

2. Einfluß auf die Hochwasser

Wie aus den Dauerkurven für Thun und Freiburg (Abb. 3 und 5) ersichtlich ist, ist der Einfluß der hochgelegenen Becken im Oberhasli auf die untere Aare gering, bedeutend jedoch derjenige der voralpinen Becken der Saane. Während ersterer jedoch für den Oberlauf der Aare während des Sommers mit Sicherheit da ist, vor allem wegen der späten Beckenfüllung, kann bei letzterem eine Reduktion der Hochwasser nicht durchwegs erwartet werden. Da die voralpinen Becken wegen der bei Absenkungen verhältnismäßig großen Einbuße an Nutzgefälle nach einer Entnahme möglichst bald wieder in die Nähe des Stauziels gestaut werden, kann es gerade bei großen Hochwassern vorkommen, daß im Moment der Ankunft einer Hochwasserspitze der See bereits gefüllt ist. So haben z. B. detaillierte Nachrechnungen seinerzeit ergeben, daß das Hochwasser vom November/Dezember 1944 an den Jurarandseen nur unwesentlich kleiner gewesen wäre, wenn das Bekken Rossens damals bereits bestanden hätte, ferner daß der Abfluß der Saane vom 21. November bis 1. Dezember 1944, d. h. während der kritischen Zeit, gleich dem tatsächlich aufgetretenen gewesen wäre. Daher muß hier mit denselben Spitzenwerten der Hochwasser gerechnet werden wie vorher. Dies gilt insbesondere für alle Bauten in und am Unterwasser (HW-Dämme, Wehre usw.).

a) Häufigkeit und Hochwasserfracht

Die Häufigkeit der Hochwasser und deren allfällige Beeinflussung durch Speicherbecken wurde zunächst mittels statistischer Verarbeitung der Hochwasser im Saanegebiet untersucht, wozu je eine Jahresreihe vor und nach Erstellung des Speichers Rossens herangezogen wurde. Zum Vergleich wurde die Untersuchung auch auf die unverändert gebliebenen Nachbargebiete der Sense und der Broye ausgedehnt. Es ergeben sich die Werte in Tabelle 5, welche untenstehend noch erläutert wird:

Hochwasserhäufigkeit der Saane, Sense und Broye, Jahresreihe 1949—1955 verglichen mit der Jahresreihe 1927—1948 **Tabelle 5**

Hochwasserspitze 1927—48 erreicht oder überschritten 22 Jahre	1949—55 erreicht oder überschritten. 7 Jahre			
	Saane		Sense	Broye
	Broc	Freiburg	Thörishaus	Payerne
1	2	3	4	5
1×	—	—	1×	2×
2×	4×	—	1×	2×
3×	4×	—	1×	2×
4×	4×	—	1×	6×
5×	4×	—	1×	7×
6×	6×	—	1×	8×
7×	8×	1×	1×	8×
8×	9×	1×	1×	8×
9×	9×	2×	1×	9×
10×	11×	2×	1×	9×
11×	11×	2×	1×	9×
12×	11×	2×	2×	9×

Jede Zeile der Tabelle 5 entspricht in bezug auf eine bestimmte Station einer Abflußmenge, und zwar die erste Zeile derjenigen, die in der Reihe 1927—1948 einmal überschritten wurde, die zweite Zeile der im gleichen Zeitraum zweimal überschrittenen usw. (Kolonne 1). Die 12. Zeile entspricht z. B. für Broc der Abflußmenge 195 m³/s, für Freiburg 460 m³/s, für Thörishaus 160 m³/s und für Payerne 148 m³/s. In den Kolonnen 2 bis 5 ist nun angegeben, wie oft die der betreffenden Zeile entsprechende Höchstabflußmenge in der Jahresreihe 1949—1955 erreicht oder überschritten wurde. Wären an Stelle der verwendeten zwei gleich lange Jahresreihen berücksichtigt worden, welche eine Zeit gleichartiger Verteilung der Hochwasser umfaßten, so wäre auch in den Kolonnen 2 bis 5 eine Zahlenfolge 1 bis 12 zu erwarten; wären die zwei sonst gleichwertigen Jahresreihen verschieden lang, so wären in den Kolonnen 2 bis 5 ausgeglichene Zahlenfolgen zu erwarten, deren Größtwert auf Zeile 12 sich entsprechend dem Verhältnis der Dauer der beiden Jahresreihen von 12 unterscheiden würde, im Falle der obigen Tabelle rund einen Drittel von 12, also 4 (Verhältnis 7 : 22) ausmachen würde. Für einen direkten Vergleich der Kolonnen 2 bis 5 mit Kolonne 1 wären die Zahlen der Kolonnen 2 bis 5 mit 22/7 oder rund 3 zu multiplizieren. Damit ergeben sich folgende Zahlen der Überschreitung der in den 22 Jahren von 1927 bis 1948 12mal überschrittenen Abflußmengen: Broc 35, Freiburg 6, Thörishaus 6, Payerne 28. Es ist nicht erstaunlich, daß in der Jahresreihe 1949—1955 die Werte auch bei den unbeeinflußten Stationen ganz unterschiedlich häufig sich wiederholten entsprechend dem hohen Zufälligkeitscharakter solch großer Abflußspitzen. Bei Thörishaus sind zudem vor allem sommerliche Gewitter maßgebend, bei Payerne winterliche Wärmeeinbrüche. Eine Korrelation zwischen der Häufigkeit in Freiburg und derjenigen in Thörishaus oder Payerne wäre offensichtlich nur wenig straff. Hingegen deutet folgende Tatsache auf eine Reduktion der Hochwasserhäufigkeit durch den Speicher Rossens hin: An der Station Broc (E = 639 km², oberhalb Rossens) sind von 1949—1955 elf Hochwasser der oben berücksichtigten Kategorie aufgetreten, in Freiburg (unterhalb Rossens, E = 1269 km²) dagegen nur zwei.

Als Beispiel für das vollständige oder teilweise Eliminieren von Hochwasserspitzen durch das Becken Rossens sind in Abb. 8 die Wasserstandsaufzeichnungen der Stationen Broc und Freiburg vom 13. bis 21. Mai 1955 einander gegenübergestellt. Während die Dauerkurve in Abb. 5 in bezug auf die höchsten Hochwasser wenig aussagt, da die Vergleichszeiträume zu kurz sind, zeigt sich darin doch bereits die Reduktion der gesamten Hochwasserfracht.

Nachstehend ein paar Angaben über die bei Hochwassern im Becken Rossens zurückgehaltenen Wassermengen:

HW November	1950:	45 Mio m³	
. . . . .			
HW August	1954:	41 Mio m³	
HW September	1954:	—	See war voll
HW Januar	1955:	54 Mio m³	
HW Februar	1955:	—	See war voll
HW Juni	1955:	—	See war voll
HW August-September	1955:	22 Mio m³	

So wenig auf diese Rückhaltung also gezählt werden kann, so hochwillkommen ist sie doch im Falle ihres Eintreffens. Wären z. B. beim Hochwasser Januar 1955 die obigen 54 Mio m³ vom 12. bis 15. Januar ebenfalls

dem Bielersee (Fläche 40—45 km²) zugeflossen, so wäre dessen höchster Stand 30 cm höher gewesen, trotz des entsprechenden Mehrabflusses und -rückflusses in den Neuenburgersee. Beim Hochwasser vom November 1950 wären dagegen der Bieler- sowohl als der Neuenburgersee nur um 5 cm höher angestiegen, weil die Rückhaltung in Rossens bereits 10 bzw. 14 Tage vor dem Erreichen des höchsten Seestandes erschöpft war.

b) Geschwindigkeit des Ansteigens und zeitliche Verschiebung

Indem bis zum Erreichen des Stauziels ein Speicherwerk kaum Wasser über das Turbinenwasser hinaus abgeben wird, von diesem Moment an aber alles zufließende Wasser weitergeben muß, sind plötzlich große Abflußänderungen denkbar. Abb. 9 zeigt den Verlauf der Wasserspiegel und Abflußmengen beim Hochwasser vom Januar 1955 ober- und unterhalb des Beckens Rossens. Während in Broc (E = 639 km²) der Anstieg am 11. Januar einsetzte, blieb in Freiburg (E = 1269 Quadratkilometer) das Ansteigen trotz den unterhalb Rossens mündenden Zuflüssen (Zwischeneinzugsgebiet 315 km²) vorerst in bescheidenen Grenzen. Bei Erreichen des Stauziels in Rossens am 14. Januar jedoch stieg in Freiburg innert 3½ Stunden der Abfluß um 320 m³/s.

Eine Rekonstruktion des Abflußvorganges beim Saane-Hochwasser vom November 1950, wie er sich eingestellt haben würde, wenn die Stauanlage Rossens damals noch nicht bestanden hätte, zeigte für die Flußstrecke abwärts des Werkes auch eine Steigerung der Anstiegsgeschwindigkeit des Wasserspiegels auf. Während die Rekonstruktion für Freiburg (Laupen) eine *mittlere* natürliche *Anstiegsgeschwindigkeit* von 20 (23) Zentimetern pro Stunde ergab, war effektiv eine solche von 27 (29) cm pro Stunde aufgetreten. Der vor Erstellung der Stauanlage beobachtete Höchstwert ist allerdings mit 40 (30) cm pro Stunde noch höher (8. Dezember 1944). Der früher innert einer Stunde beobachtete größte Anstieg von 1,02 (0,65) m ist hingegen im November 1950 erreicht bzw. überschritten worden. Es ist offensichtlich, daß diese Verhältnisse ganz von der Handhabung der Entlastungsorgane abhängen. Das Hochwasser 1950 gab den Entreprises Electriques Fribourgeoises Veranlassung, für den obersten Bereich der Stände im Becken Rossens ein Wehrreglement einzuführen, welches einen Bereich von 40 cm = 4 Mio m³ zur Spitzenbrechung einsetzt und die stündliche Abflußerhöhung begrenzt. Gleichzeitig wurde auch ein Hochwasser-Meldedienst an die Unterlieger organisiert. Im Gegensatz zum früher zitierten Beispiel des Hochwassers vom Nov./Dez. 1944, bei welchem der Speicher Rossens die Maximalabflußmenge unterhalb nicht reduziert hätte, wäre beim Hochwasser vom Nov. 1950 die natürliche Abflußspitze von Freiburg um rund 70 m³/s höher gewesen als die effektiv aufgetretene, welch letztere mit 520—600 m³/s angegeben wird. Für die Station Laupen (21 km weiter flußabwärts, Einzugsgebiet um 592 km² auf 1861 km² vergrößert) sind hingegen der rekonstruierte und der beobachtete Maximalwert gleich groß (850—1000 m³/s).

3. Beeinflussung des kurzfristigen Abflußcharakters

Diese sei an einigen charakteristischen Limnigraphenaufzeichnungen dargetan.

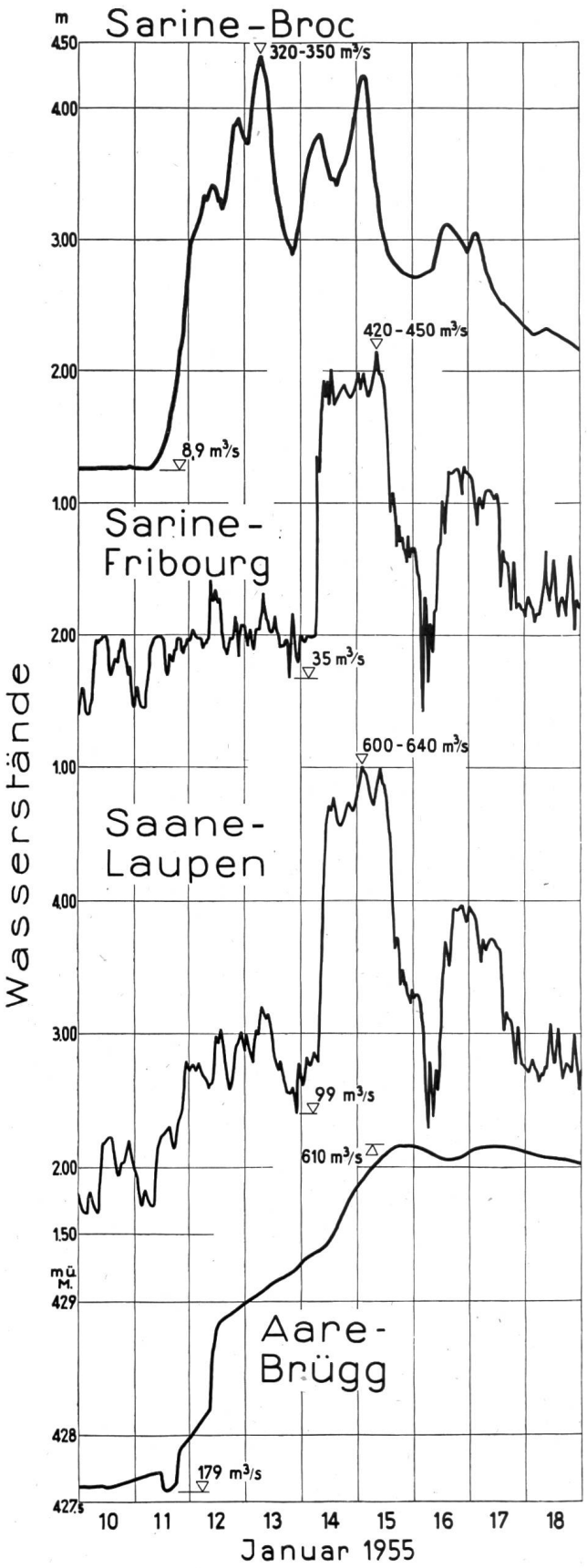


Abb. 9 Verlauf der Wasserstände an 3 Stationen des Saanegebietes und an der Aare bei Brügg beim Januarhochwasser 1955. Teilweiser Rückhalt des in Broc am 11. einsetzenden Hochwassers durch das Staubecken Rossens bis zum 14. Sehr große Anstiegsgeschwindigkeit des Wasserspiegels an den Stationen Freiburg und Laupen, unterhalb Rossens. Ausgleichende Wirkung der Jurarandseen.

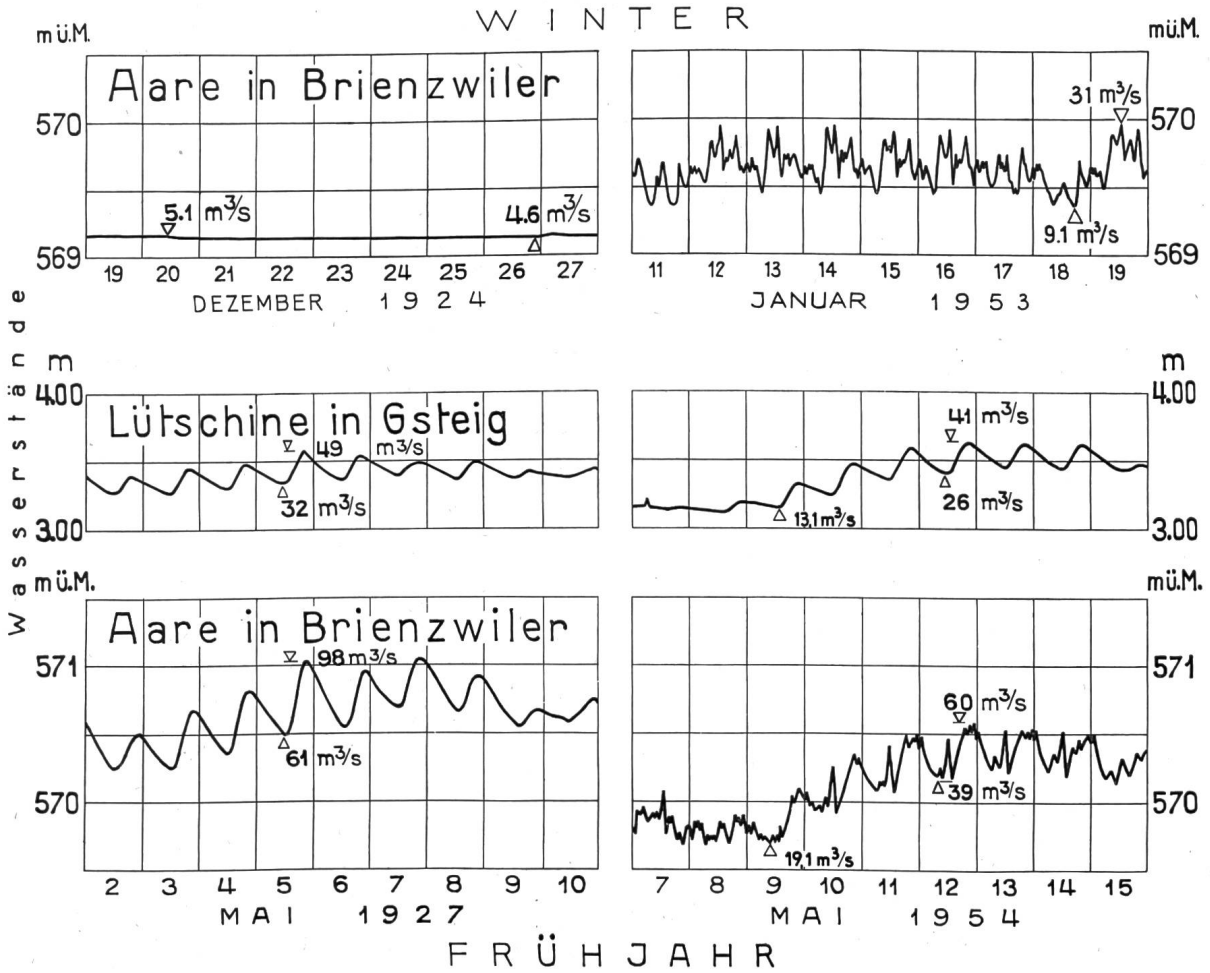


Abb. 10 (oben) Veränderung des kurzzeitigen Abflußcharakters der Aare in Brienzwiler durch die Oberhasliwerke. Oben während starker Frostperiode, unten während Schneeschmelze. Hebung der Tagesmittel im Winter, Verkleinerung im Sommer. Zum Vergleich Lütschine in Gsteig (unbeeinflußt). 11. und 18. Januar 1953 und 9. Mai 1954: Sonntage.

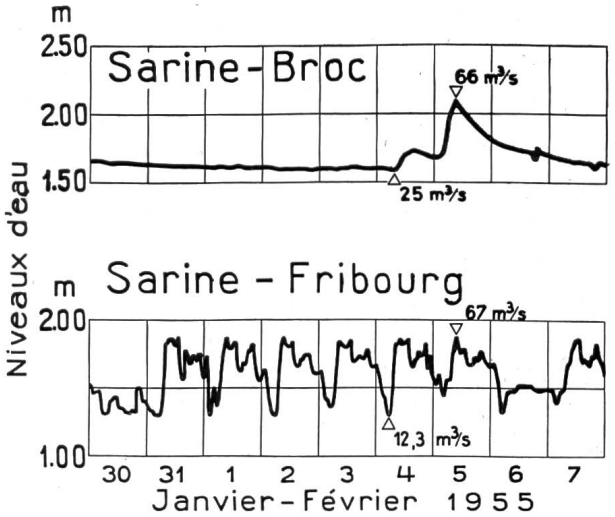


Abb. 11 Veränderung des kurzzeitigen Abflußcharakters. Broc natürlicher Abfluß, Freiburg durch Akkumulierwerk beeinflußt. 30. Januar und 6. Februar: Sonntage.

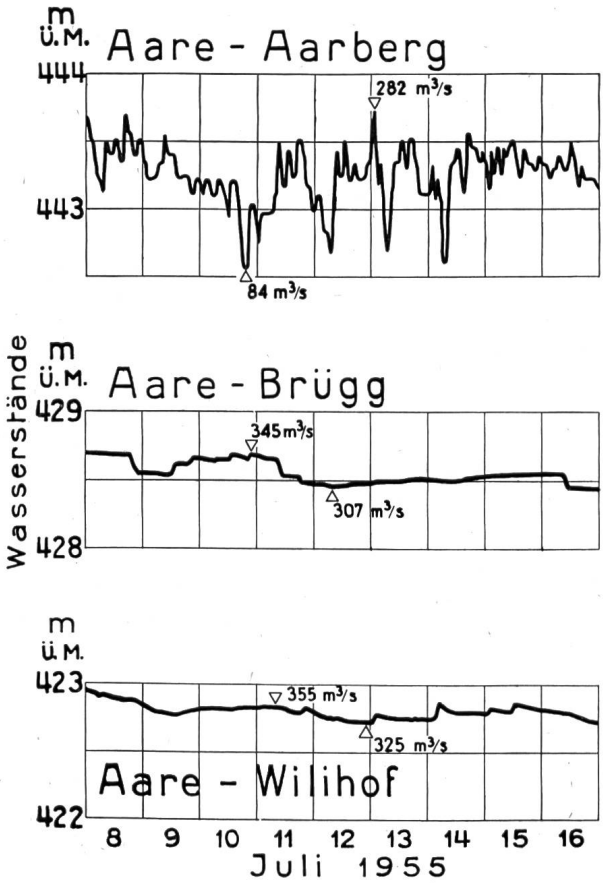


Abb. 12 (rechts) Ausgleichende Wirkung des Bielersees. Wasserführung der Aare bei Aarberg (beeinflußt durch Akkumulierwerke), bei Brügg (unterhalb des regulierten Bielersees) und bei Willihof (32 km flußabwärts, oberhalb der ersten Kraftstufe nach dem Bielersee). 10. Juli: Sonntag.

Abb. 10 zeigt den Verlauf der Wasserstände in *Brienzwiler* vor und nach Erstellen der Oberhasliwerke über eine ganze Woche, und zwar im tiefen Winter (Dezember 1924 bzw. Januar 1953) und während der Schneeschmelze (Mai 1927 bzw. Mai 1954). Zum Beweis dafür, daß bei den letztgenannten Zeitabschnitten ähnliche Abflußbedingungen herrschten, sind auch die entsprechenden Aufzeichnungen an einem Gewässer wiedergegeben, welches unterdessen keine Veränderungen erfahren hat, nämlich der Lütschine in Gsteig. An dieser bestehen zwar Laufwerke; deren Ausbau liegt aber unter der damaligen Abflußmenge.

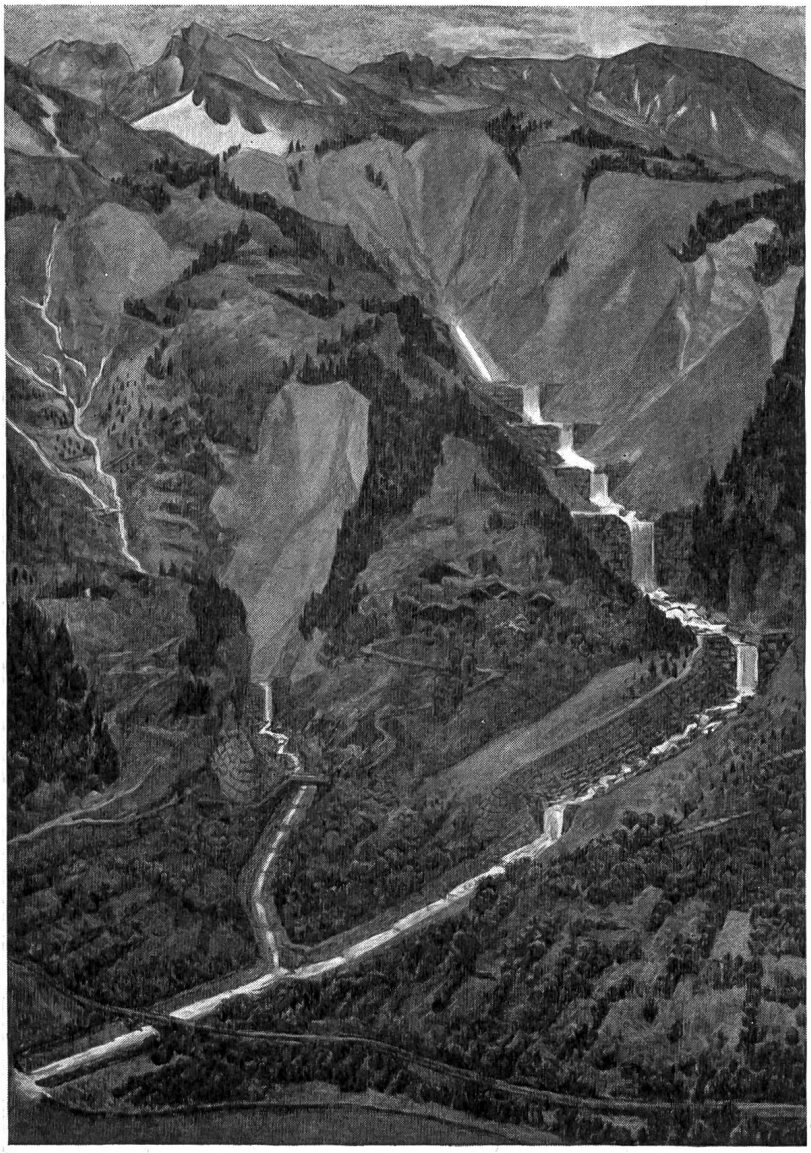
Sowohl das Bild der Winter- als der Frühjahrswoche spiegeln deutlich die Belastungsschwankungen im Energieversorgungsnetz.

Abb. 8 und 11 zeigen die Wirkung des Kraftwerkes Rossens auf die Wasserführung der Saane.

Obwohl die Schwankungen aus dem Speicherbetrieb sich flußabwärts verflachen, können sie sich doch für untenliegende Kraftwerke nachteilig auswirken, vor allem wegen der flußabwärts zunehmenden zeitlichen Verschiebung. Deshalb erfüllen die natürlichen Seen auch in dieser Hinsicht eine sehr nützliche Funktion, deren Bedeutung mit steigendem Ausbau der Wasserkräfte noch zunehmen dürfte, nämlich als Ausgleichsorgane für diese kurzfristigen Schwankungen zu dienen. Ein sprechendes Beispiel hiefür bildet der Bielersee, dessen Einfluß in Abb. 12 zum Ausdruck kommt.

Literatur:

1. *E. Walser:* Die Niederschlags- und Abflußverhältnisse im Einzugsgebiet des Rheins oberhalb Basel. «Wasser- und Energiewirtschaft», Zürich, Nrn. 5—7, 1954.
2. *Eidg. Amt für Wasserwirtschaft:* Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz. Erscheint jährlich seit 1917, in Bern.
3. *Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt:* Die Niederschlagsmengen in der Schweiz 1901 bis 1940, von H. Uttinger, mit Niederschlagskarte der Schweiz 1 : 500 000, herausgegeben vom Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband, Zürich, 1949.
4. *Eidg. Amt für Wasserwirtschaft:* Die Wasserkräfte der Schweiz, I. Teil: Die Wasserverhältnisse, A. Die Flächeninhalte der Einzugsgebiete, Bern, 1916.
5. *G. Spillmann:* Der natürliche Wasserhaushalt im Aaregebiet. «Wasserkraft und Wasserwirtschaft», München und Berlin, Nr. 3, 1935.
6. *Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt:* Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den meteorologischen und Regenmeßstationen in der Schweiz, erscheinen jährlich seit 1929; früher: Schweizerische Meteorologische Beobachtungen, Zürich.



Wildbachverbauungen, vom Maler gesehen

Victor Surbek:
Wildbachverbauung

(Bild Nr. 20 des Schweizerischen Schulwandbilderwerkes, herausgegeben von der Kommission für interkantonale Schulfragen des Schweizerischen Lehrervereins — Vertriebsstelle E. Ingold & Co., Herzogenbuchsee)