Die Hochwasserretention der Salzkammergutseen

The Flood Storage of the Lakes of the "Salzkammergut"

H. Flögl und **H. Blaschke**, Linz, Österreich

Zusammenfassung

Die Salzkammergutseen bilden mit einer Seefläche von 124 km^2 das größte Seengebiet Österreichs. Neben ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung als Erholungsraum und Fremdenverkehrsgebiet haben die Seen wichtige wasserwirtschaftliche Funktionen, so z. B. als Trink- und Nutzwasserreservoirs für die unterliegenden Siedlungs- und Industrieräume und als Rückhaltebecken für Geschiebe und Schwebestoffe. Durch die ausgleichende Wirkung der Seen tritt nicht nur eine Wasserspeicherung für die Energiewirschaft, sondern auch eine bedeutende natürliche Hochwasserretention ein. In den letzten Jahren wurden am Abfluß des Traunsees ein Kraftwerk, am Attersee und am Mondsee selbsttätig gesteuerte Klauswehre gebaut.

Wie die Untersuchungen ergaben, ist aufgrund des Zielkonfliktes Oberlieger-Unterlieger eine wesentliche Verbesserung des natürlichen Hochwasserrückhaltes nicht zu erreichen. Mittels der neuen Klauswehre werden jedoch die Niedrig- und Mittelwasserstände und -abflüsse wesentlich verbessert.

Summary

The lakes of the "Salzkammergut" – Austria's largest lake district – have a total water surface of 124 km^2. Apart from their economic significance as recreation and tourist areas the lakes have important functions relating to water supply and distribution, for instance, as fresh water and industrial water reservoirs for the downstream settlement- and industrial areas, and as retention basins for boulder material and floating matter. Also, the lakes provide important balancing effects like water storage for the power economy or natural flood storage. Within the past few years a power station has been built at the catchment area of the Traunsee, and automatically controlled effluent weirs (in German: "Klauswehr") have been installed at the Attersee and Mondsee.

As the studies showed it is not possible to achieve an essential improvement of the natural flood storage because of the conflicting interests of the upstream and downstream settlements. However, the new effluent weirs significantly improve the low and mean water levels as well as the low and mean water discharges.

Die landschaftlich reizvollen Salzkammergutseen sind nicht allein für den Fremdenverkehr und als Erholungsraum, sondern auch wasserwirtschaftlich bedeutend für das Land. Mit einer Seefläche von 124 km^2 bilden diese im Einzugsgebiet der Traun liegenden Bergseen das größte Seengebiet Österreichs.

Früher lag die Bedeutung der Seen neben der Fischerei in der Schiffahrt und Flößerei sowie in der Kraftnutzung der unterliegenden Gewässer durch eine große Anzahl von Mühlen und kleinen Wasserkraftanlagen, die das durch die Seen ausgeglichene Wasserdargebot ausnützen. Im

Mittelpunkt stand die Salzschiffahrt und Flößerei auf der Traun und dem Traunsee [1], über den, wegen seiner steilen, fjordartigen Bergumrandung, bis 1859 der einzige Transportweg zu den Salzbergwerken am Hallstätter See sowie im Ischler und Ausseer Land führte.

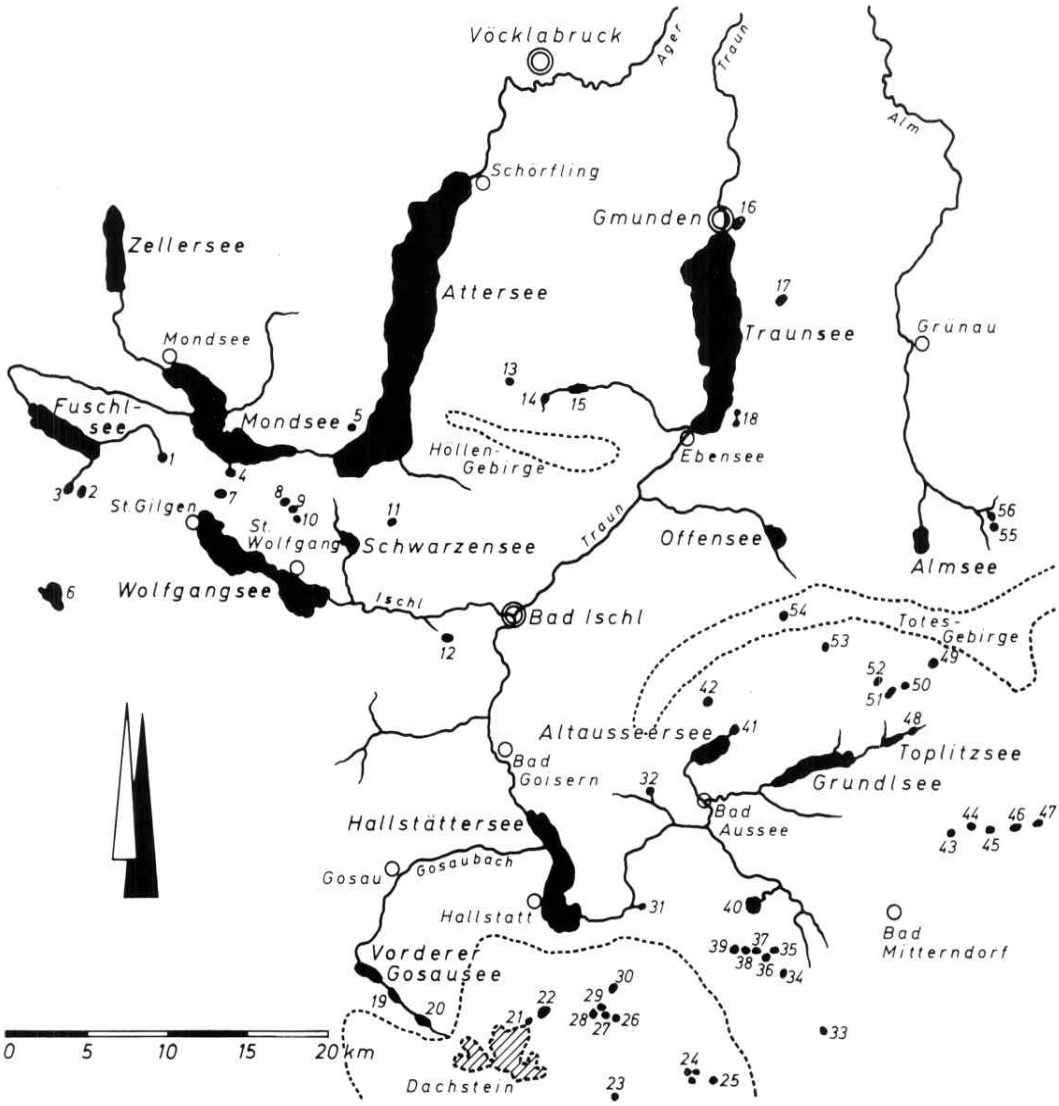

Abb. 1. Salzkammergutseen: 1 Eibensee, 2, 3 Kleiner, Großer Filblingsee, 4 Eglsee, 5 Egelsee, 6 Hintersee, 7 Krottensee, 8 Süßensee, 9 Mittersee, 10 Münichsee, 11 Hallewiessee, 12 Nussensee, 13 Aurachklause, 14, 15 Hinterer, Vorderer Langbathsee, 16 Krottensee, 17 Laudachsee, 18 Röthelseen, 19 Gosaulacke, 20 Hinterer Gosausee, 21 Kl. Oberer Eissee, 22 Gr. Unterer Eissee, 23 Silberkarsee, 24 Grafenberger Seen, 25 Ahornsee, 26 Hirzkarsee, 27, 28, 29 Mittlerer, Vorderer, Hinterer Hirzkarsee, 30 Däumelsee, 31 Koppenwinkellacke, 32 Sommersbergsee, 33 Miesbodensee, 34 Neubergsee, 35 Schmelzsee, 36 Schwarzensee, 37 Karsee, 38 Hinterer Finitzsee, 39 Finitzsee, 40 Ödensee, 41 Ostersee, 42 Augstsee, 43 Krallersee, 44 Groß-See, 45 Tauplitzsee, 46 Steirersee, 47 Schwarzensee, 48 Kammersee, 49 Elmsee, 50, 51 Kleiner, Großer Lahngangsee, 52 Dreibrüdersee, 53 Henarsee, 54 Wildensee, 55, 56 Großer, Kleiner Ödsee

Fig. 1. Lakes of the „Salzkammergut"

Die seit altersher bestehenden Klauswehre an den Salzkammergutseen, so am Hallstätter See und Traunsee, aber auch am Mondsee und Wolfgangsee, Almsee, Grundlsee und den Ausseer Seen, waren daher in erster Linie für eine Verbesserung des Niederwasserabflusses gebaut, um durch das Öffnen der „Klaustore" mit dem abgegebenen „Klauswasser" eine Verbesserung der Salzschiffahrt und Flößerei, in kleinerem Umfang aber auch eine günstigere Kraftnutzung zu ermöglichen. Um die Oberlieger nicht einer erhöhten Hochwassergefahr auszusetzen, weisen diese Klauswehre Staubretter und sonstige Öffnungen zur Hochwasserentlastung auf. Zur Regelung der zwangsläufig entstehenden Interessensgegensätze von Ober- und Unterliegern bestehen an allen Wehren Klausordnungen, nach denen der Betrieb der Wehre sowohl zur Regelung des Niederwasserabflusses, aber auch für die Hochwasserentlastung vorgeschrieben ist. Ein beeindruckendes Beispiel der Wasserbaukunst in der Wende vom Mittelalter zur Neuzeit stellt die 1511 unter Kaiser Maximilian erbaute und in ihrem einstmaligen Zustand bis heute erhaltene Klause am Hallstätter See dar, die aus der eigentlichen Klause und zur Flußbettstabilisierung aus dem 40 m abwärts befindlichen Gegenpolster besteht.

Schiffahrt und Flößerei sind von den Nebenflüssen der österreichischen Donau verschwunden. An ihre Stelle in der Nutzung der Seen und des Seeabflusses tritt heute ein erhöhter Wasserbedarf der unterliegenden Siedlungs- und Industrieräume, der letztlich die Verbesserung des Niederwasserabflusses zu einem allgemein öffentlichen Anliegen werden läßt. Dies gilt in erster Linie für die Trinkwasserversorgung, die im oberösterreichischen Raum allerdings zunächst die wertvollen Grundwasservorkommen in den eiszeitlichen Schottermassen ausnützen wird, aber auch für die Wasserversorgung der Industriebetriebe und letztlich für eine geordnete Ableitung der gereinigten Abwässer [2]. Mit diesem Wechsel in der wasserwirtschaftlichen Nutzung der Seen und ihrer Abflüsse ist der 45,9 km^2 große Attersee mehr als der 24,5 km^2 große Traunsee in den Mittelpunkt wasserwirtschaftlicher Überlegungen gerückt, nachdem er sich, wegen des in der Masse noch sehr reinen Wassers, für eine Trinkwasserentnahme für den oberösterreichischen Zentralraum wesentlich besser eignet als der stark durchflossene Traunsee mit seiner Chloridbelastung durch die Salzindustrien. Der Traunsee hat daher eher der Energiewirtschaft der an der Traun liegenden und geplanten Kraftwerkskette zu dienen, während der Attersee insbesondere für die Wasserversorgung des unterhalb liegenden Vöcklabrucker Industrieraumes, des zweitgrößten Industrieraumes Oberösterreichs, beansprucht wird [3]. Alle Salzkammergutseen haben aber in erster Linie als Erholungsraum und Fremdenverkehrsgebiet eine volkswirtschaftlich bedeutende Aufgabe zu erfüllen (Abb. 1).

Die natürliche Hochwasserretention der Salzkammergutseen

Neben diesen Nutzungen durch die Volkswirtschaft dienen die Seen, meist unbeachtet, noch in zweifacher Hinsicht in einer außerordentlichen Weise dem Land: mit dem Rückhalt des Geschiebes und der Schwebstoffe, bedingt durch die großen Seebecken sowie die lange Durchflußdauer (Tab. 1), und mit der in ihrem Ausmaß meist unbekannten Hochwasserretention. Beides führt zu einer wesentlichen Verbesserung des Flußregimes in den unterliegenden Gewässern.

Die natürliche Hochwasserretention der Salzkammergutseen ist in der Tab. 2 durch das Volumen des Seelamelle infolge eines Hochwasseranstieges, ausgehend vom Mittelwasser 1961/75, für das 1- und 100jährliche Hochwasser sowie für verschiedene größere Hochwasserereignisse ersichtlich. Da die Beobachtungsreihen verschiedene Längen aufweisen, sind Vergleiche der charakteristischen Hochwasserstände der Seen untereinander nur bedingt möglich [4]. Bei den beobachteten katastrophalen Hochwässern an den Salzkammergutseen (Tab. 2) betrug der eingetretene Hochwasserrückhalt 219 Mio. m^3, was allerdings nur 2,5% des Gesamtvolumens der Seen von 8,74 Mrd. m^3 bedeutet. Der Hochwasseranstieg der Seen (Abb. 2) beträgt beim 100jährlichen Ereignis am Altausseer See das 2,5fache, am Hallstätter See das 2,6fache, am Attersee das 3,3fache, am Traunsee das 3,5fache und am Mondsee das 4fache des Anstieges bei einem einjährlichen Hochwasser.

Tabelle 1. *Hydrographische Angaben über die neun größten Salzkammergutseen*
Table 1. *Hydrological data of the nine largest lakes of the "Salzkammergut"*

	Höhe bei $MW_{61/75}$ m ü.A.	Einzugsgebiet E km²	Seefläche F km²	E/F	Seeinhalt hm³	Abfluß MQ m³/s	Durchflußdauer Jahre
Grundlsee	708,74	125,1	4,2	29,8	138	5,8	0,8
Altauss. See	711,56	54,5	2,1	26,0	72	4,0	0,6
Hallst. See	508,26	646,4	8,4	77,0	557	36,0	0,5
Wolfgangsee	538,21	124,8	13,5	9,2	619	5,1	3,9
Traunsee	422,49	1422,0	24,5	58,0	2302	70,0	1,0
Irrsee	553,11	27,5	3,5	7,9	510	1,3	1,3
Fuschlsee	663,39	29,5	2,7	10,9	100	1,2	2,6
Mondsee	480,83	247,2	14,2	17,4	510	8,9	1,8
Attersee	469,16	463,5	45,9	10,1	3934	17,5	7,2

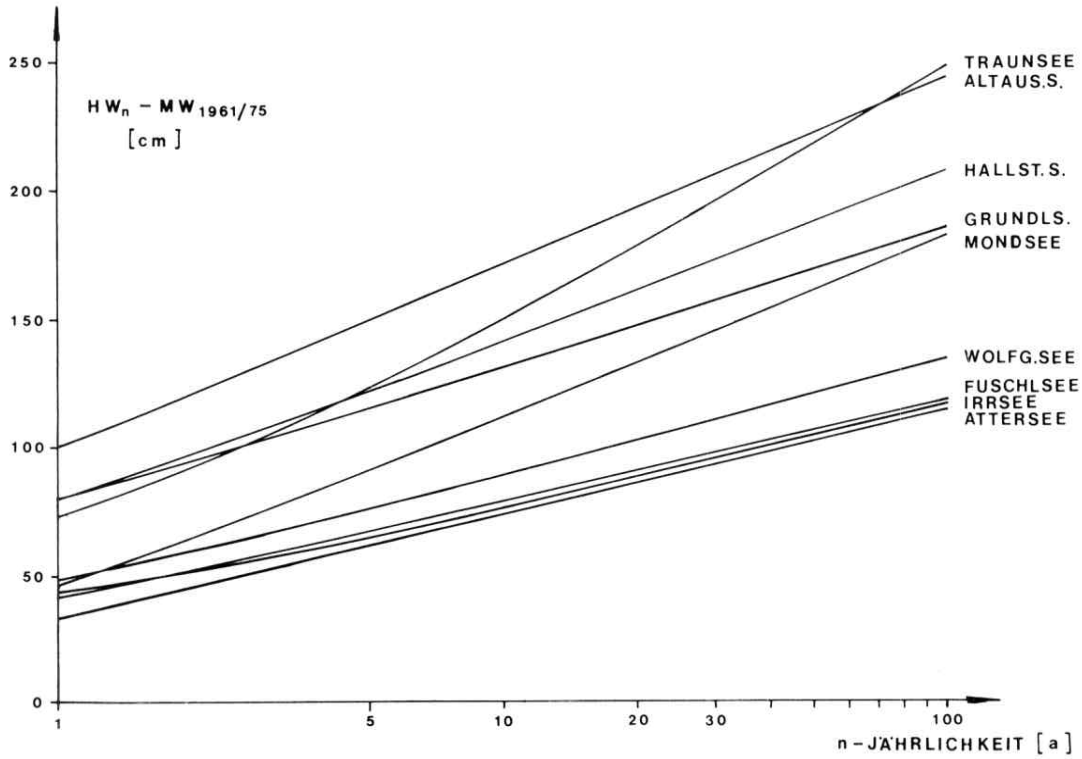

Abb. 2. Hochwasserstandshäufigkeiten $HW_n - MW_{1961/75}$

Fig. 2. Flood frequencies $HW_n - MW_{1961/75}$

Von den zur Feststellung der Abminderung der Hochwasserspitzen durch die einzelnen Seen sowie der Auswirkungen auf den Traununterlauf und die Donau untersuchten Hochwasserereignissen sind in Abb. 3 nur für das Hochwasserereignis 1920 die natürlichen Abflüsse den Abflüssen bei Ausschaltung der Hochwasserretention gegenübergestellt. Die Abflußdifferenzen wurden

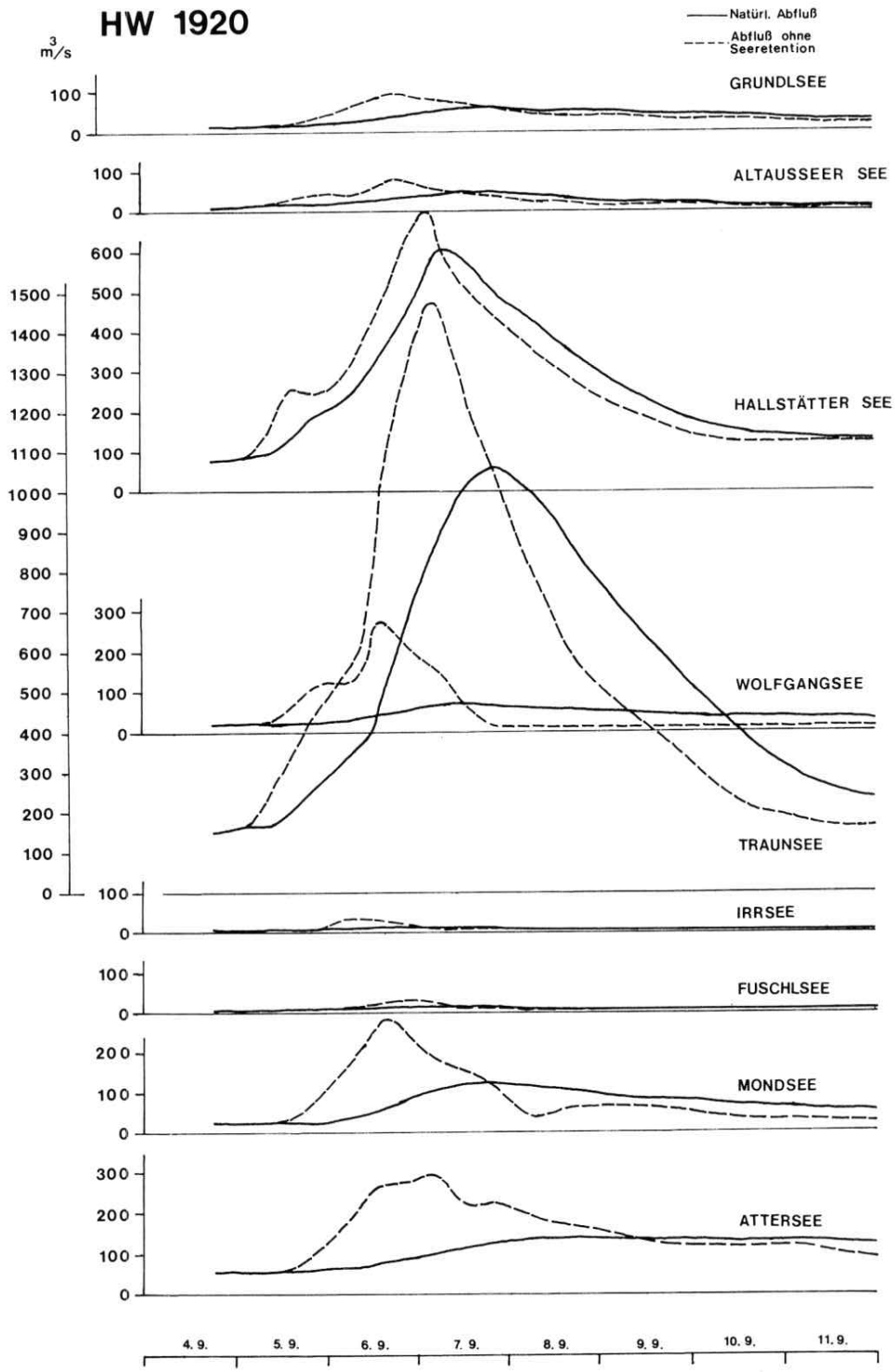

Abb. 3. Seeretention HW 1920

Fig. 3. Lake retention HW 1920

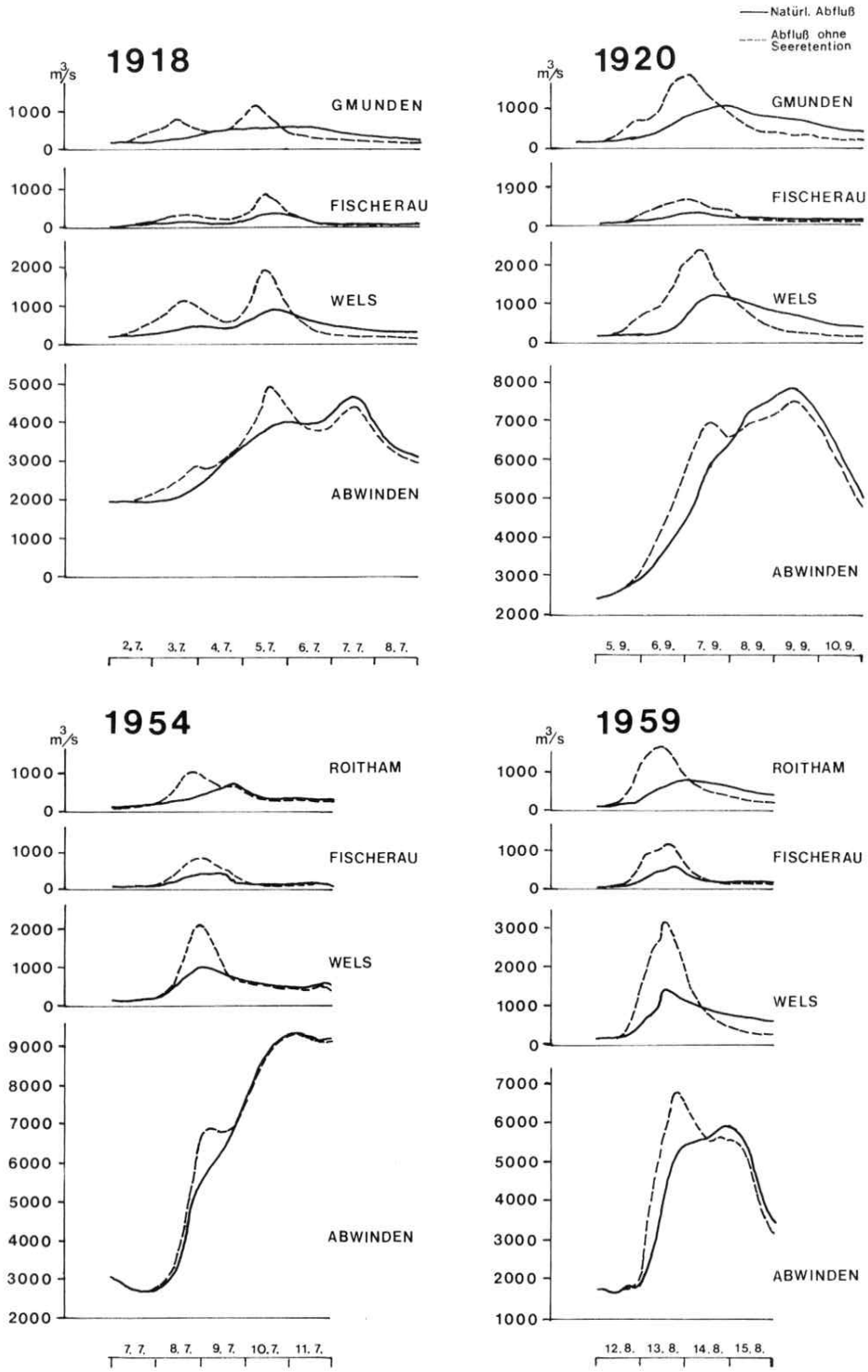

Abb. 4. Retentionswirkung im Unterlauf

Fig. 4. Downstream retention effects

Tabelle 2. *Hochwasserretention der Salzkammergutseen*
Table 2. *Flood storage of the lakes of the "Salzkammergut"*

See	$\Delta h = HW_n - MW_{61/75}$		Δh^5 Hochwasser						Rückhalt bei HHW	Mittl. Abminderung
	$n = 1$ m	100 m	1918 m	1920 m	1954 m	1959 m	1974 m	HHW m	hm^3	%
Grundlsee	0,78	1,84	0,88	1,55	0,41	0,88	0,21	1,94[1]	8,1	30
Altauss. See	1,00	2,42	1,06	1,91	0,68	1,40	0,21	2,34[1]	4,9	27
Hallst. See	0,79	2,06	1,20	2,17	0,82	1,60	0,13	2,17[3]	18,2	19
Wolfgangsee	0,47	1,32	0,89	1,50	0,90	1,16	0,46	1,50[3]	20,3	71
Traunsee	0,75	2,50	1,47	2,77	1,12	2,13	0,24	3,35[1]	82,1	30
Irrsee	0,43	1,16	0,78	0,50	0,69	0,58	0,56	0,69[4]	2,4	76
Fuschlsee	0,41	1,17	0,74	0,66	0,83	0,76	0,56	0,83[4]	2,2	60
Mondsee	0,47	1,82	1,06	1,50	1,00	1,30	0,99	2,28[2]	32,4	63
Attersee	0,34	1,14	0,75	0,72	0,63	0,79	0,45	1,05[2]	48,2	61

[1] 1897.
[2] 1899.
[3] 1920.
[4] 1954.
[5] Wasserspiegeldifferenz Hochwasserspitze – Ausgangswasserspiegel unmittelbar vor der Hauptwelle.
[6] Mittlere Abminderung (HW 1918, 1920, 1954, 1959, 1974): $(HQ_Z - HQ_A)/HQ_Z \cdot 100$.

Tabelle 3. *Abminderung der Hochwasserspitzen durch die natürliche Seeretention. Natürlicher und ohne Seeretention ( ) ermittelter Abfluß am Pegel*
Table 3. *Reduction of the flood peaks by natural lake storage. Natural discharge and discharge without lake storage ( ) at the gauging station*

Hochwasser	Ager		Traun		Donau
	Kammer m^3/s	Fischerau m^3/s	Gmunden (Roitham)	Wels m^3/s	Abwinden m^3/s
1918	90 (320)	380 (860)	595 (1140)	890 (1910)	4620 (4950)
1920	130 (350)	355 (700)	1075 (1840)	1220 (2420)	7920 (7500)
1954	110 (280)	455 (820)	750 (1030)	1070 (2150)	9330 (9280)
1959	130 (490)	600 (1150)	785 (1650)	1420 (3120)	5870 (6770)

sodann unter Berücksichtigung der jeweiligen Laufzeit mit den Ganglinien der Pegelstellen Gmunden (bzw. Roitham)/Traun, Fischerau/Ager, Wels/Traun sowie Abwinden/Donau überlagert. In Abb. 4 sind die erhaltenen Ganglinien des Abflusses ohne Seeretention für die Hochwasserereignisse 1918, 1920, 1954 und 1959 dem natürlichen Abfluß bei Seeretention gegenübergestellt. Die Verformung der HW-Wellen im Gerinne (fließende Retention) blieb hiebei unberücksichtigt. Da die extremen Hochwasserstände der Jahre 1897 und 1899 nicht an allen Seen aufgezeichnet wurden, konnten diese extremen Ereignisse nicht berücksichtigt werden.

Die Retentionsrechnung ergab zunächst die in Tab. 2 ersichtliche Abminderung (ΔHQ) des Abflusses (HQ_A) gegenüber dem Zufluß (HQ_Z). ΔHQ ist in Prozenten von HQ_Z dargestellt. Die Abminderung der Hochwasserabflußspitzen an den Seen ist beachtlich, sie erreicht am Irrsee $\frac{3}{4}$, am

Attersee ca. $\frac{6}{10}$ des Zuflusses. Wie Abb. 5 zeigt, besteht annähernd ein Zusammenhang zwischen dem spezifischen Einzugsgebiet der Seen ($E:F$) und der auf die Zuflußspitzen bezogenen Abminderung infolge Seeretention nach Tab. 2.

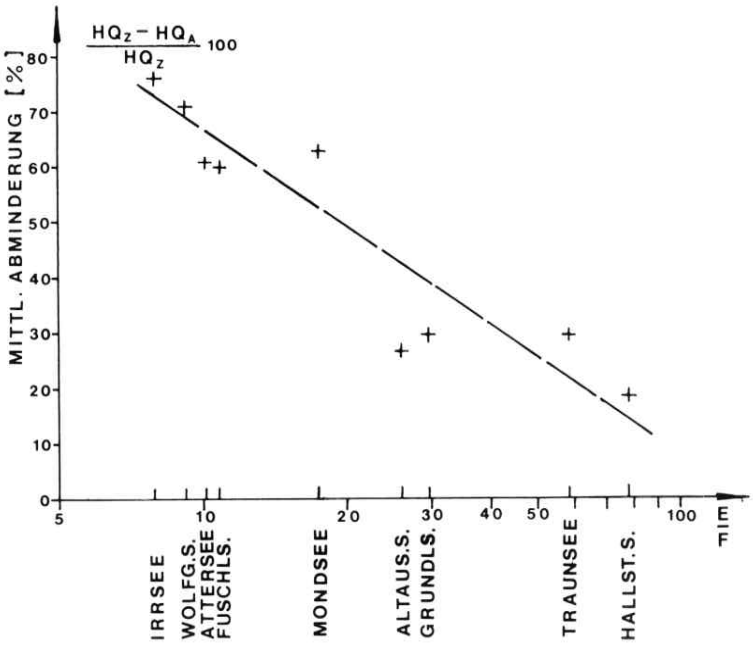

Abb. 5. Mittlere Abminderung der Hochwasserspitzen

Fig. 5. Mean decrease of flood peaks

Aber nicht nur an den Seeausflüssen, sondern auch in der unteren Ager und Traun treten bedeutende Abnahmen der Hochwasserabflüsse ein (Tab. 3). Während die Hochwasserspitzen an der Traun bei den Hochwässern der Jahre 1918, 1920 und 1954 sich um 1000 bis 1200 m^3/s, im Jahr 1959 sogar um 1700 m^3/s ermäßigten, wirkt sich die Retention der Salzkammergutseen an der Donau sehr unterschiedlich aus. So betrug die Abnahme der Hochwasserspitze im August 1959 an der Donau etwa 900 m^3/s, während sich bei dem Hochwasserereignis 1920 eine Zunahme von ca. 400 m^3/s einstellte, weil die Verzögerung der Scheitelwelle des Hochwassers in der Traun zu einer Überlagerung mit der Scheitelwelle der Donau führte.

Die Verbesserung der Hochwasserretention durch neue Klauswehre

Es ist naheliegend, eine Verbesserung der doch außerordentlich großen natürlichen Hochwasserretention der Salzkammergutseen durch den Bau von Klauswehren und durch neue Seeregulative herbeizuführen. Schon in den erwähnten alten Klausordnungen wurde die Betätigung von Staubrettern und sonstigen Öffnungen zur Hochwasserentlastung vorgeschrieben, wodurch allerdings, wie neuere Untersuchungen zeigen, kaum eine nennenswerte Verbesserung für den Ober- und den Unterlieger eintritt. Nach den Katastrophenhochwässern der Jahre 1897 und 1899 entstand eine Studie des k. k. hydrographischen Zentralbüros über eine Aktivierung der Hochwasserretention der Salzkammergutseen, doch konnten die Ergebnisse dieser Arbeit infolge der natürlichen Gegensätzlichkeiten der Anliegen von Ober- und Unterliegern nicht verwirklicht

werden; aus der Sicht des Wehrbaues der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg wurde von einer Änderung der bestehenden Seeklausordnungen und Klauswehre abgeraten.

Durch den Bruch des alten hölzernen Reindl-Riedl-Wehres am Mondsee und den damit verbundenen Bau neuer Klauswehre am Mondsee und Attersee, aber auch durch den Bau des Seekraftwerkes Gmunden der OKA, durch die Hochwasserregulierung der Traun bei Ischl und durch die schon 1959 geplante Trinkwasserentnahme aus dem Fuschlsee waren neuerdings die Möglichkeiten einer Hochwasserregulierung durch moderne Wehranlagen am Attersee, Mondsee, Traunsee, Hallstätter See und Fuschlsee zu untersuchen. Es zeigte sich, daß eine zusätzliche Hochwasserretention durch einen erhöhten Seeanstieg, der bei den in Tab. 2 ersichtlichen HHW im Mittel aller Seen 1,84 m betrug, nicht möglich ist, weil die Häuser der Seeuferanrainer meist schon von einem mittleren Hochwasser erreicht und bei großen Hochwässern überschwemmt werden. Wasserwirtschaftliche Maßnahmen zur Hochwasserregulierung dürfen aber keinesfalls den Fremdenverkehr, die wirtschaftliche Basis der Seeufergemeinden, benachteiligen, sondern müssen diesen soweit wie möglich fördern. Ebenso ist es undenkbar, die Hochwässer am See durch einen erhöhten Abfluß zugunsten der Uferanrainer zu vermindern, weil dadurch die Unterlieger den Hochwasserkatastrophen im erhöhten Ausmaß ausgesetzt würden [5]. Eine Vergrößerung einer Speicherlamelle durch eine Tieferlegung des natürlichen Seespiegels ist nur in einem sehr beschränkten Ausmaß möglich, weil die Bauten der Seeanrainer zum Mittelwasser orientiert sind, eine möglichst gleichmäßiger Seespiegel gewünscht wird und letztlich bei Trockenperioden die fehlende Seelamelle sowohl im Abfluß wie auch im Seestand ein häufiges und damit untragbares

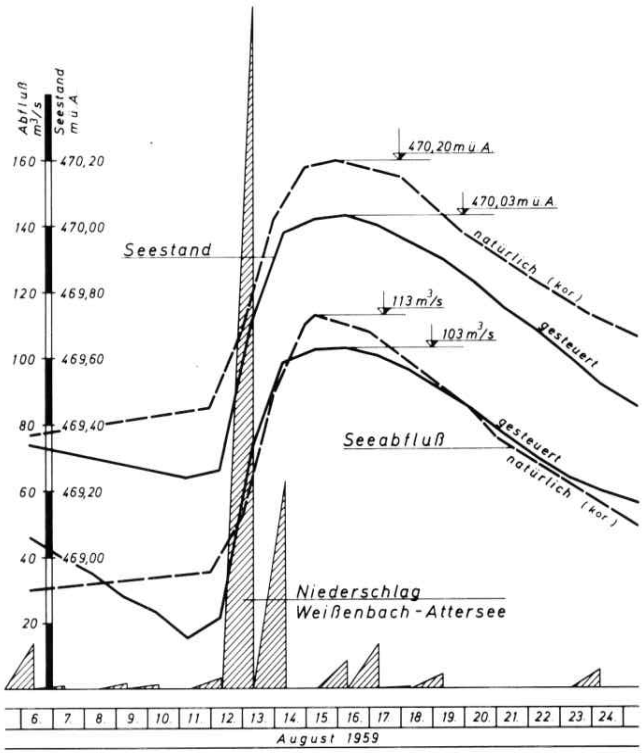

Abb. 6. Attersee-Klauswehr HW August 1959

Fig. 6. Attersee effluent weir HW August 1959

Niederwasser hervorrufen würde. Dies gilt auch für jahreszeitlich gebundene Vorabsenkungen, die noch dazu unwirksam sind, weil katastrophale Hochwässer zu allen Jahreszeiten auftreten können.

Eine Verbesserung der natürlichen Hochwasserretention läßt sich daher nur durch eine Absenkung des Sees unmittelbar vor einem Hochwasserereignis herbeiführen. Die Untersuchungen zeigen aber, daß dies einerseits durch die Kürze der Zeit vom Erkennen bis zum Eintritt des Hochwasserereignisses, andererseits durch die Beschränkung der Abflußsteigerung und von Abflußspitzen während der Vorabsenkung außerordentlich eingeengt ist, weil die Unterlieger an einen sehr gedämpften Hochwasserabfluß infolge der natürlichen Seeretention gewöhnt sind. Die Kappung der Spitzen von Katastrophenhochwässern kann nicht durch eine große Zahl kleinerer Hochwässer im Seeablauf erkauft werden. Darin liegt auch der wesentliche Unterschied zum künstlichen Kraftwerkstausee, dessen Unterlieger an die von Natur aus gegebenen großen Spitzenabflüsse gewöhnt sind, so daß bei den hier gegebenen relativ kleinen Seeflächen durch eine erhöhte Wasserabgabe in einer relativ kurzen Zeit ein entsprechender Speicherraum zum Auffangen von Hochwässern bereitgestellt werden kann. Dagegen zeigten die Untersuchungen an den Salzkammergutseen, daß im Regelfall der Abfluß während der Vorabsenkung den Zufluß nicht übersteigen soll. Die Vorabsenkung bleibt daher relativ gering, sie besteht eher darin, den Seespiegel am Beginn des Hochwassers möglichst gleich hoch oder nur ganz wenig steigend zu

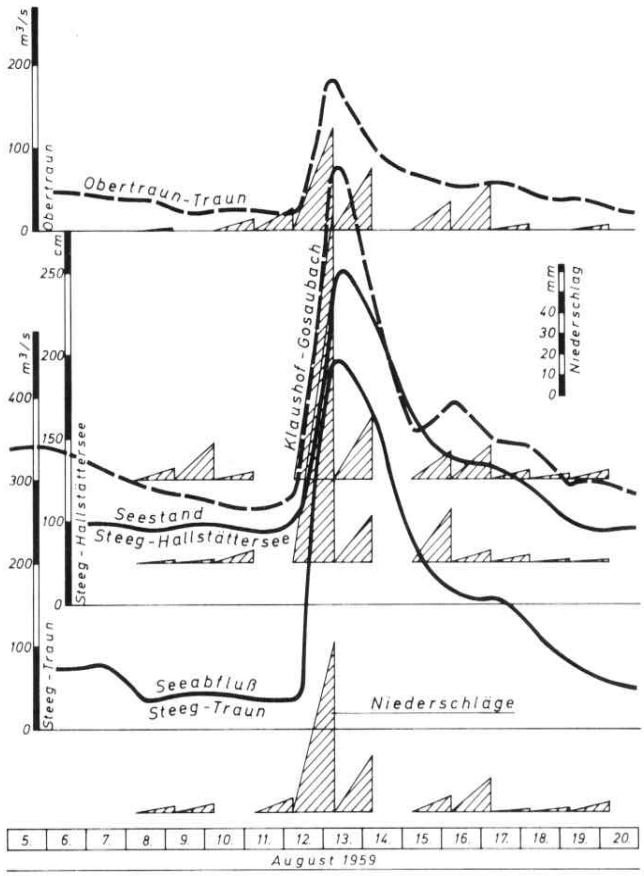

Abb. 7. Hallstätter See HW August 1959

Fig. 7. Lake "Hallstätter See" HW August 1959

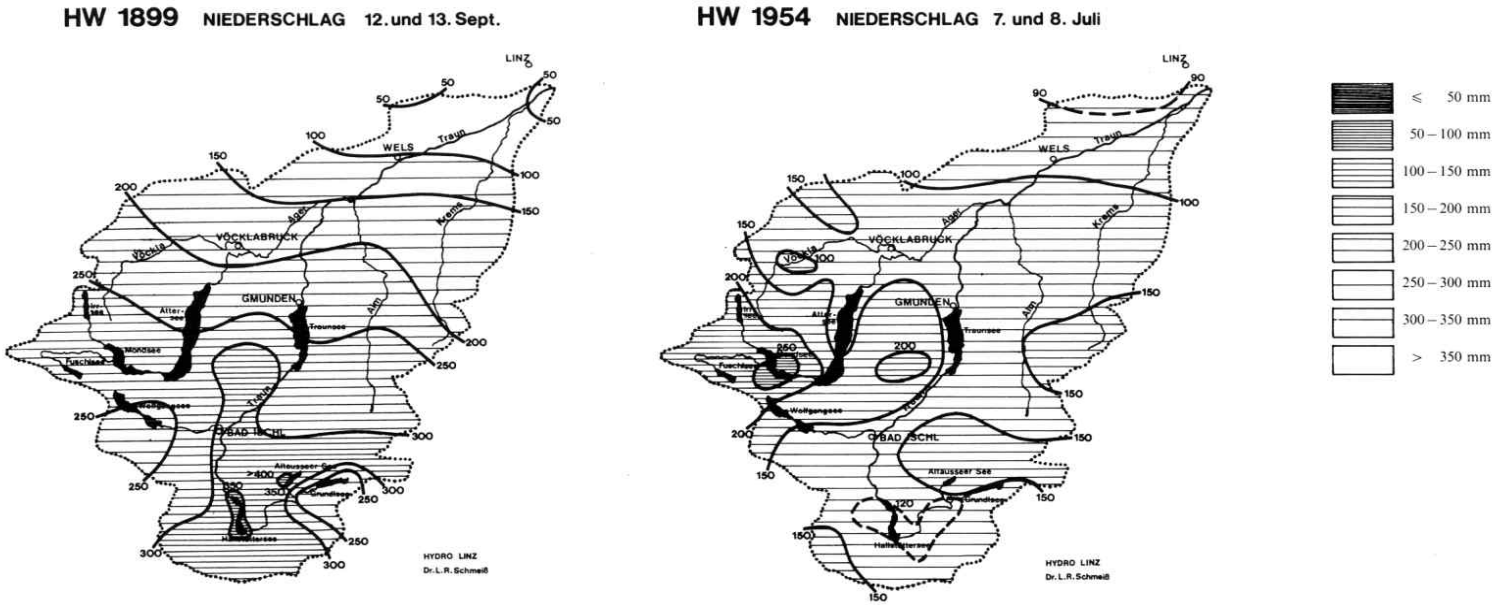

Abb. 8. Niederschlagsverteilung im Traungebiet HW 1899 und 1954
Fig. 8. Distribution of precipitation in the Traun region HW 1899 und 1954

belassen, um im weiteren, wenn dann der Abfluß nicht mehr gegenüber den früheren Verhältnissen gesteigert werden kann, eine möglichst tiefe Ausgangslage des Seespiegels für den Hochwasseranstieg zu erhalten.

Neben der Einschränkung der Vorabsenkung durch die Belange der Unterlieger ist die Zeitdauer vom Erkennen eines beginnenden Hochwasserereignisses bis zum Erreichen des maximalen Seestandes für das Ausmaß der Vorabsenkung und damit für die Hochwasserreduktion maßgebend. Das Zeitintervall zwischen dem Beginn des Hauptregens und dem maximalen Seestand beträgt aber an den meisten Salzkammergutseen nur einige Stunden bis einen Tag, am großen und daher sehr träg reagierenden Attersee zwei bis drei Tage (Abb. 6 und 7). Je größer aber die Seefläche auch im Verhältnis zum Einzugsgebiet ist, umso kleiner ist der natürliche Hochwasserabfluß und damit auch die Möglichkeit, durch eine Steigerung des Abflusses eine Vorabsenkung herbeizuführen. Deshalb konnte auch am Attersee in der zur Verfügung stehenden Zeit nur eine relative Vorabsenkung mit annähernd gleichbleibendem Seestand erreicht werden.

Auch bei Einbeziehung der modernen Elektronik für die Steuerung der Klauswehre ist die von den alten Klausmeistern praktizierte Vorabsenkung nach der Wetterlage bei unseren klimatischen Verhältnissen genauso unsicher und problematisch, wie dies bei der gefühlsmäßigen Beurteilung der Wetterlage der Fall war. Es bleiben somit als Kriterien für die Steuerung der Klauswehre nur der Niederschlag, die Zuflußänderung und die Seestandsänderung.

Um eine Verlängerung der Dauer der Vorabsenkung zu erreichen, wurde am Attersee zunächst eine Steuerung in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe untersucht, bei der bei einer

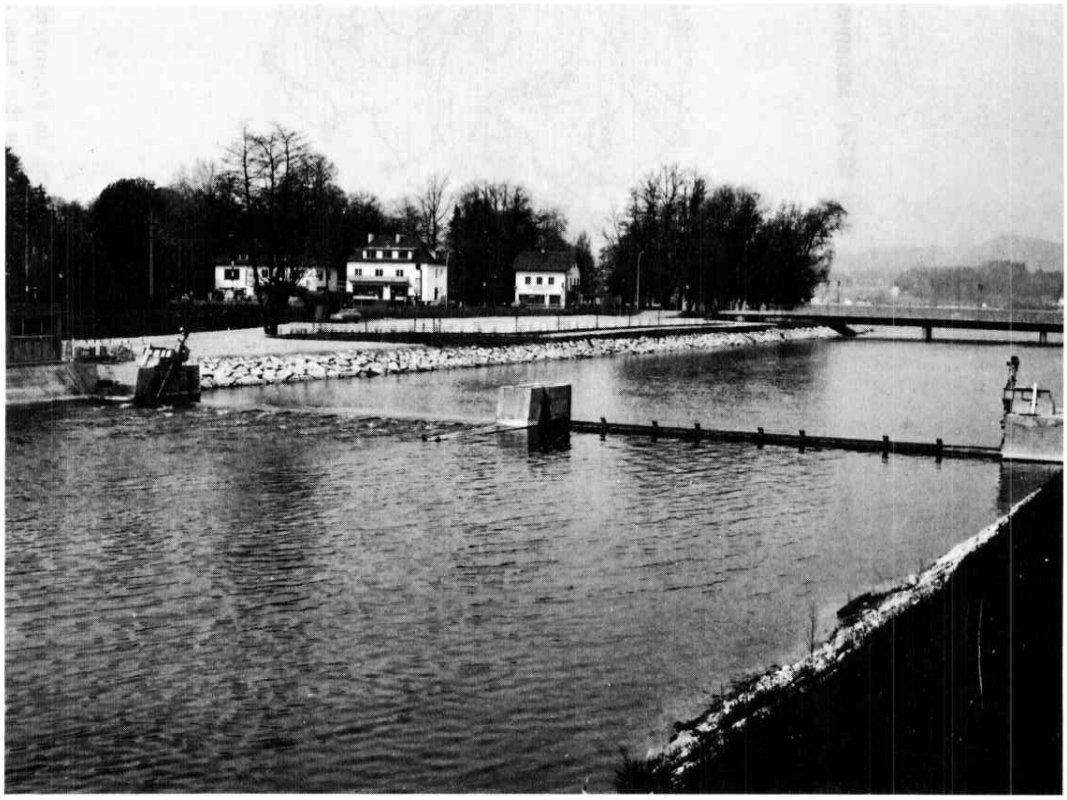

Abb. 9. Attersee – Klauswehr

Fig. 9. Attersee effluent weir

Regenhöhe von 30 mm innerhalb von 24 Stunden an der Beobachtungsstelle Weißenbach der Abfluß auf 50 m^3/s während 24 Stunden erhöht und bei weiteren Niederschlägen entsprechend beibehalten werden sollte. Da aber der Seeanstieg bereits kurzfristig mit den Niederschlägen einsetzt, ergab sich kein rechter Erfolg durch diese sehr komplizierte Steuerung, die noch dazu für die Unterlieger eine sehr häufige und unerträgliche schnelle Abflußzunahme zur Folge gehabt hätte. Um einer örtlich und zeitlich meist sehr unterschiedlichen Niederschlagsverteilung im Einzugsgebiet gerecht zu werden, wäre die Übertragung der Meßwerte von mehreren Niederschlagsmeßstellen und der Einsatz eines Prozeßrechners notwendig, wie dies z. B. bei der Vorabsenkung des Stausees Klaus der Ennskraftwerke AG angewendet wird [6]. Dies ist auch der Fall, wenn die Steuerung des Klauswehres nach ebenfalls sehr unterschiedlichen Hochwasserabflüssen der Zubringerbäche erfolgt. Die örtlich und zeitlich sehr unterschiedliche Niederschlagsverteilung (Abb. 8) führt zu einer unterschiedlichen Hochwasserführung der Zubringer. Da diese im Anstieg des Seespiegels integral erfaßt werden, ist die Steuerung der Klauswehre nach dem Seestand zumindest gleich gut, sie ist aber wesentlich einfacher, als dies bei einer elektronischen Summierung der einzelnen Zuflüsse der Fall wäre. Die Steuerung nach dem Seestand muß nur schon am Beginn eines Seeanstieges im Mittelwasserbereich erfolgen.

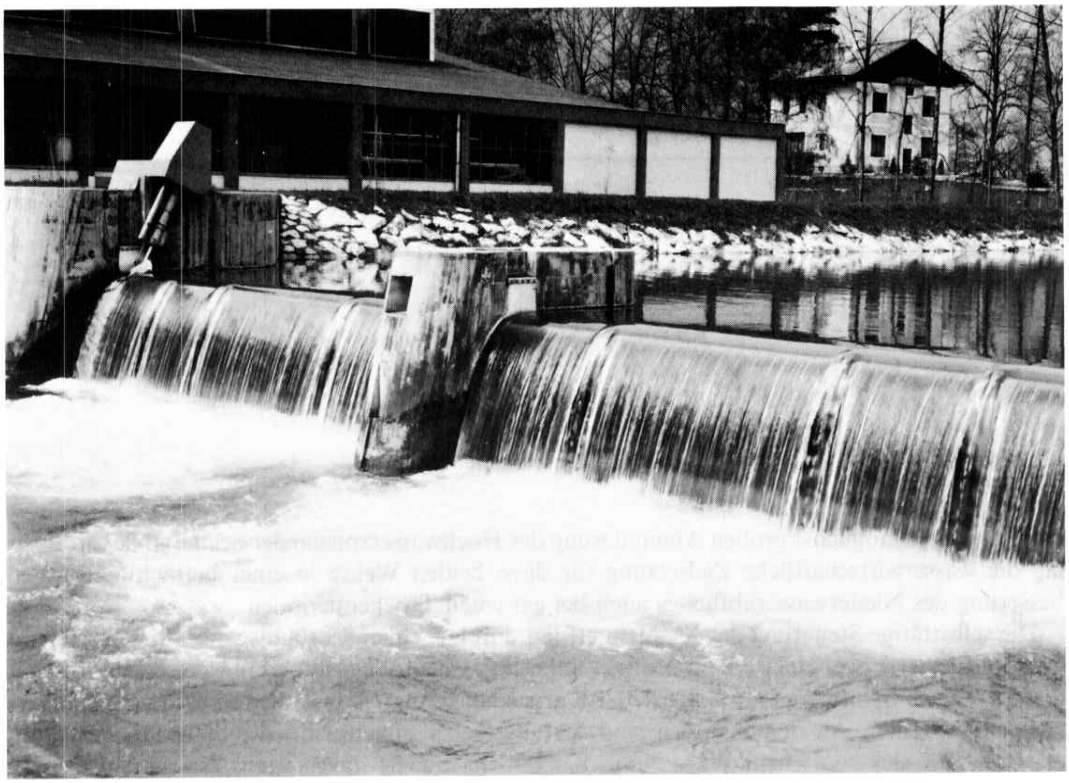

Abb. 10. Mondsee – Klauswehr

Fig. 10. Mondsee effluent weir

Auf Grund der durchgeführten Untersuchungen werden die Klauswehre am Attersee und Mondsee durch den Seestand gesteuert, was sich auch bei der Planung der Abflußregulierung für den Fuschlsee und den Hallstätter See am zweckmäßigsten erwies. Am Traunsee, dessen Regime

nahezu ausschließlich von der Traun bestimmt wird, erfolgt die Hochwasserentlastung in Abhängigkeit von der Wasserführung des Traunzuflusses.

Die neuen Klauswehre am Attersee und Mondsee

Die beiden von der Flußbauleitung Gmunden gebauten Klauswehre haben je zwei ölhydraulisch angetriebene, torsionssteife Klappen, deren Länge am Attersee 19 m, am Mondsee 10 m beträgt (Abb. 9, 10, 11).

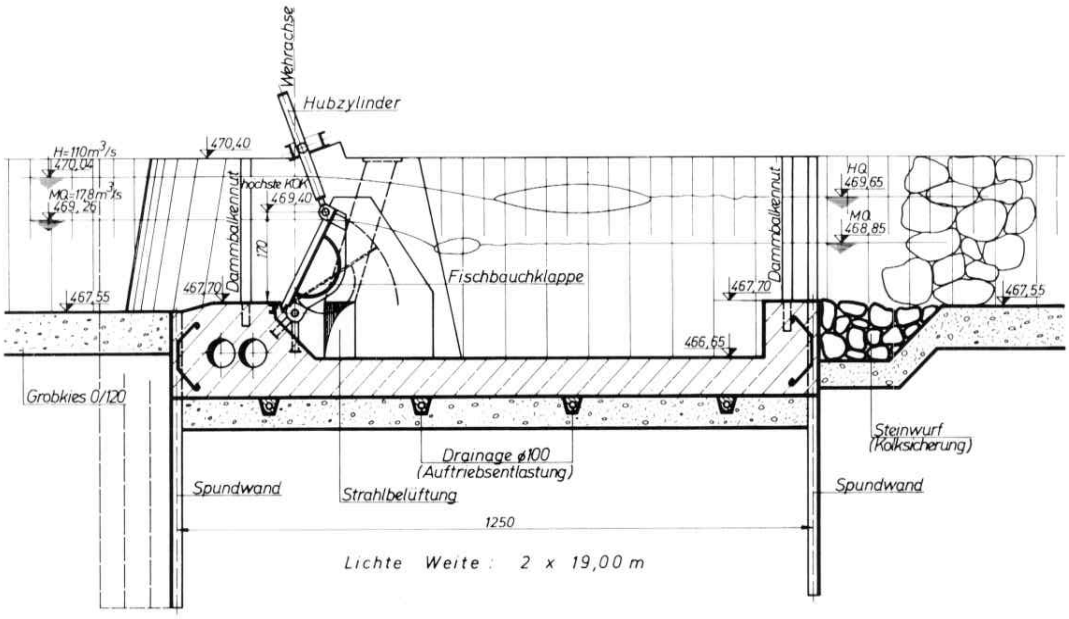

Abb. 11. Attersee – Klauswehr

Fig. 11. Attersee effluent weir

Neben einer möglichst großen Abminderung der Hochwasserspitzen der Seen und der Abflüsse lag die wasserwirtschaftliche Zielsetzung für diese beiden Wehre in einer beträchtlichen Verbesserung des Niederwasserabflusses auch bei extremen Trockenperioden.

Die selbsttätige Steuerung der Klappen erfolgt durch je einen Seestandsgeber für jede Klappe, dessen Meßwerte über einen Meßumformer auf elektrischem Weg zum Wehrhäuschen übertragen und dort nach Spannungswandlung dem „Kurvenzugrechner" sowie dem „Seestandsschreiber" zugeleitet werden. An den Klappen sind Stellungsgeber angebracht, die die Klappenstellung ebenfalls auf elektronischem Wege zum „Kurvenzugrechner" übertragen. Zur Einhaltung der neuen Konsumtionslinie Seestand-Seeabfluß (Abb. 12), die unter Berücksichtigung der bisherigen Konsumtionslinie und einer größtmöglichen Vorabsenkung nach Durchrechnung der Nieder- und Hochwasserperioden der Jahresreihe 1947/75 festgelegt wurde, ist zu jedem Seestand eine bestimmte Klappenstellung notwendig (Abb. 13). Hiebei muß natürlich das Wasserspiegelgefälle vom See bis zum Klauswehr und bei unvollkommenem Überfall die Höhe des Unterwasserspiegels berücksichtigt werden. Im „Kurvenzugrechner" wird nun der von der Klappe mit Hilfe des Klappenstellungsgebers übertragene Ist-Wert der Klappenstellung mit dem Soll-Wert der Klappenstellungslinie in Form einer Spannungsdifferenz verglichen. Bei einer Abweichung erhält

der Wehrklappenregler so lange Steuerimpulse, bis die Hydraulik eine Koinzidenz des Soll- und Ist-Wertes der Klappenstellung mit einer Genauigkeit von 0,5 cm herbeiführt. Diese neu entwickelte Klappensteuerung erforderte eine sehr sorgfältige Planung und Entwicklung der elektronischen Einrichtungen, um eine von Wellenbildung und den Seeseiches unbeeinflußte, genaue Seeregulierung zu erreichen.

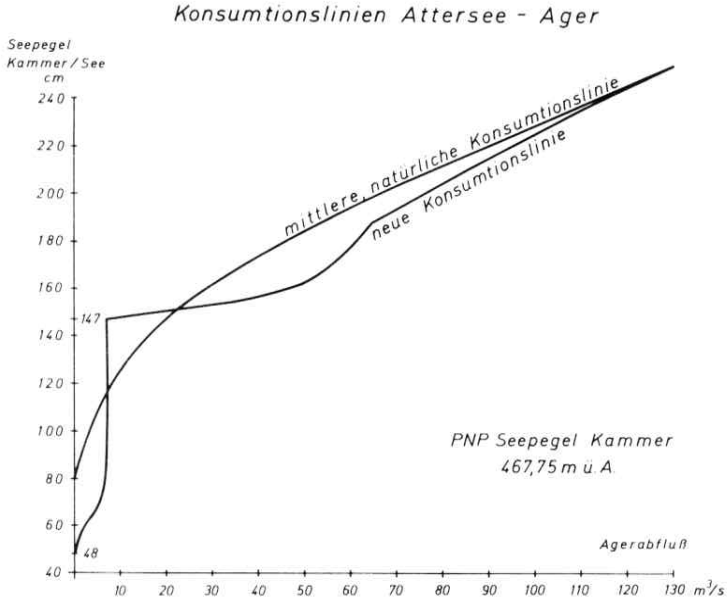

Abb. 12. Attersee – Klauswehr, Konsumtionslinie

Fig. 12. Attersee effluent weir, line of consumption

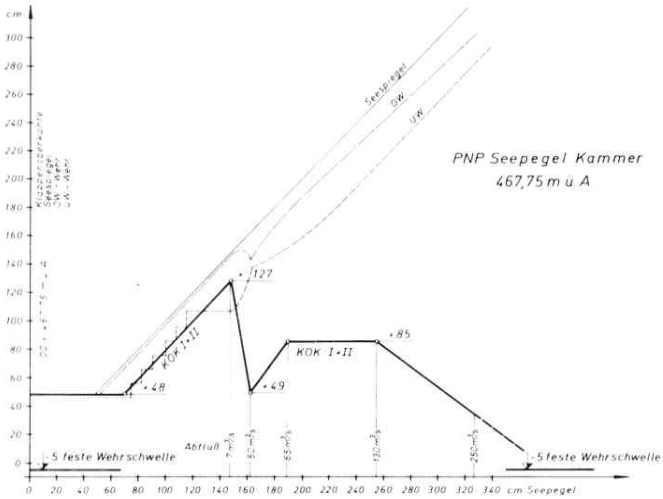

Abb. 13. Attersee-Klauswehr, Klappenstellungslinien

Fig. 13. Attersee effluent weir, line of trap positions

Die Klappenlängen wurden so bemessen, daß am Mondsee eine, am Attersee zwei festbleibende Wehrklappenstellungen genügen, um den Abfluß nach der natürlichen mittleren Konsumtionslinie herbeizuführen. Die Beweglichkeit der Klappen dient daher nahezu ausschließlich der Vorabsenkung zur Abminderung von Hochwasserspitzen und der Niederwasserdotierung.

Die Vorabsenkung der Seen beginnt schon im Niederwasserbereich bei einem Zufluß zum Attersee von 7 m^3/s ($MQ = 17{,}5$ m^3/s), zum Mondsee von 3 m^3/s ($MQ = 8{,}9$ m^3/s), indem ein Anstieg des Sees durch eine Erhöhung des Abflusses hintangehalten wird. Zur besseren Steuerung der Wehrklappen muß ein geringfügiger Anstieg des Seespiegels in Kauf genommen werden, der aber auch für die Unterlieger eine erwünschte Dämpfung der hervorgerufenen Abflußsteigerung ergibt. Die Vorabsenkung erfolgt am Attersee bei einem Abfluß zwischen 7 und 50 m^3/s und der steuerungsbedingten Spiegelhebung von 15 cm, am Mondsee bei einem Abfluß zwischen 3 und 23,9 m^3/s.

Tabelle 4. *Auswirkungen des Attersee-Klauswehres auf Seestand und Abfluß*
Table 4. *Effects of the effluent weir "Attersee" on lake level and discharge*

Hochwasser	Seestand über MW		See-Abfluß		See-zufluß	Abfluß Pegel Schalchham	
	natürlich cm	Klauswehr cm	natürlich m^3/s	Klauswehr m^3/s	m^3/s	natürlich m^3/s	Klauswehr m^3/s
Juli 1954	89	85	96	92	193	410	410
August 1959	98	91	108	99	290	490	483
Dez. 1974	75	70	79	76	145	330	321
Juli 1975	63	60	65	65	194	425	437

Die Auswirkung der Vorabsenkung auf den maximalen Hochwasserstand im See und den Abfluß wird sehr wesentlich vom Verlauf des Hochwassers bestimmt. Sie wird gegenüber dem natürlichen Seestand umso größer, je flacher der Zufluß ansteigt. Die mit dem neuen Seeregulativ untersuchten Hochwässer der Jahresreihe 1947/75 ergaben, wie auch in Tab. 4 für die beiden größten und beiden letzten Hochwässer ersichtlich ist, nur eine beschränkte Abminderung der Hochwasserspitzen des Seestandes und Abflusses, wobei nach der Einmündung der Vöckla (Pegel Schalchham) keine ungünstige Überlagerung der verzögerten Agerwelle eintrat. Für die Seeuferanrainer bringt das neue Seeregulativ neben der, wenn auch geringfügigen, Abminderung der Hochwasserspitzen einen nahezu während des ganzen Jahres gleichmäßigen Seestand in Höhe des Sommer-Mittelwasserspiegels, für die Unterlieger neben der Reduktion der Hochwasserspitzen einen am Attersee von 2 auf 7 m^3/s wesentlich erhöhten und gleichmäßigen Niederwasserabfluß.

Die geplante Abflußregulierung am Fuschlsee durch feste Wehre

Die im Jahr 1959 im Zusammenhang mit der Trinkwasserentnahme für die Stadt Salzburg geplante Abflußregulierung des Fuschlsees sah zwei feste Wehre vor, da damals eine elektronische Steuerung noch nicht möglich war. Nach dem Projekt ermöglicht der überlange Wehrrücken des oberliegenden Mittelwasserwehres einen genügenden Überfall für die Vorabsenkung ohne einen wesentlichen Anstieg des Sees, während das unterliegende Hochwasserwehr bei steigendem Abfluß das Mittelwasserwehr einstaut, den Seespiegel anhebt und dadurch die gewünschte Hochwasserretention am See herbeiführt. Durch eine geeignete stufenweise Ausbildung des Wehrrückens kann eine Überstimmung der Konsumtionslinie des Wehres mit der natürlichen Konsumtionsführe im Hochwasserbereich erreicht werden. Allerdings ist die Abflußregulierung

mit zwei festen Wehren nur für sehr kleine Abflußmengen (Fuschlsee $MQ = 1{,}2\ m^3/s$) geeignet und kann auch nicht so exakt durchgeführt werden wie mittels elektronisch gesteuerter Wehrklappen.

Hochwasserregulativ am Hallstätter See

Da sich bereits der Beginn stärkerer Niederschläge in einer Zunahme des Seestandes bemerkbar macht, war es auch am Hallstätter See am sinnvollsten, das Seeregulativ von der Höhe des Seespiegels abhängig zu machen. Bei allen untersuchten Varianten für ein neues Seeregulativ wird der Seespiegel bis zu einem Abfluß von 185 m^3/s – der etwa dem HQ_1 entspricht – annähernd in gleicher Höhe gehalten; erst bei zunehmendem Zufluß werden die Wehrklappen so gehoben, daß die natürliche Konsumtionslinie bei Variante A bei einem Abfluß von 185 m^3/s, bei Variante B von 250 m^3/s und bei Variante C von 370 m^3/s erreicht wird. Die analogen Varianten D – F setzten eine ständige, nicht realisierbare Absenkung des Sees um 50 cm voraus. Durch die Gleichhaltung der Seespiegelhöhe bis zu einem Zufluß von 185 m^3/s wird gegenüber den derzeitigen natürlichen Verhältnissen eine zusätzliche Retentionslamelle von 80 cm Höhe herbeigeführt, die allerdings den KHW-Anstieg im See nur um 5% verringert und nur eine geringe Abminderung der Abflußspitze von 450 m^3/s um etwa 30 m^3/s erlaubt.

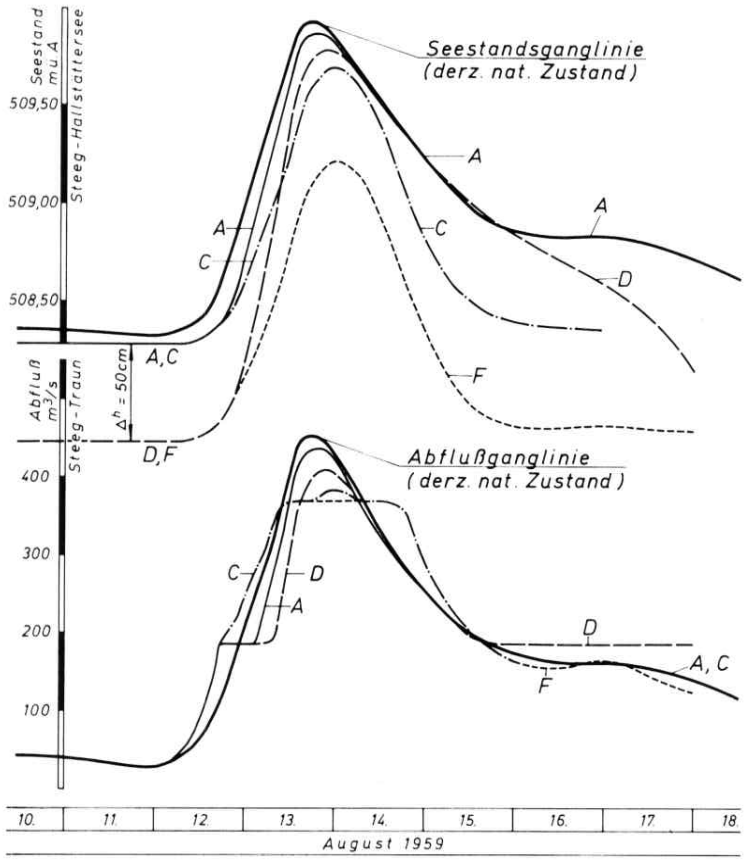

Abb. 14. Hallstätter See, Hochwasser 1959 für verschiedene Varianten eines neuen Seeregulativs

Fig. 14. Hallstätter See, flood level 1959 for different versions of a new lake regulating device

Die Veränderung im Abfluß bis 200 m^3/s bleibt für die Unterlieger noch in tragbaren Grenzen. Auch diese Untersuchung (Abb. 14) zeigt, daß eine Erhöhung der natürlichen Hochwasserretention an den Salzkammergutseen Einsparungen bei der Hochwasserregulierung der abfließenden Gewässer kaum ermöglicht.

Hochwasserretention am Traunsee

Am Traunsee ist durch das neue Seeregulativ des Seekraftwerkes der OKA keine entscheidende Verbesserung des Hochwasserabflusses möglich gewesen. Der Hochwasseranstieg des Sees wird bis zu einem Abfluß von 400 m^3/s – was etwa dem HQ_2 entspricht – durch eine erhöhte Wasserabgabe nur wenig vermindert, da der Gradient des Abflußanstieges mit 80 m^3/s je Stunde wegen der Unterlieger begrenzt werden mußte. Zur besseren wirtschaftlichen Nutzung kann der See im Sommer bis 20 cm, ansonsten bis 30 cm und vor der Schneeschmelze bis 45 cm unter dem Mittelwasserstand – der bei entsprechendem Zufluß auf $\pm$ 10 cm einzuhalten ist – abgesenkt werden. Durch diese, vom Kraftwerksbetrieb abhängige Absenkung des Seespiegels kann noch eine zusätzliche Verminderung der Hochwasserspitzen im Seestand und Seeabfluß erreicht werden.

Vergleich mit den alpinen Speichern der Energiewirtschaft

Um das Ausmaß der natürlichen und künstlichen Hochwasserretention der Salzkammergutseen besser beurteilen zu können, wurde in Tab. 5 das Stauvolumen der von der Energiewirtschaft errichteten Speicher ersichtlich gemacht [7]. Die natürliche Hochwasserretention der Salzkammergutseen von 219 Mio. m^3 während der beobachteten Katastrophenhochwässer ist wohl wesentlich kleiner als der Gesamtspeicherinhalt von 1,4 Mrd. m^3 im Einzugsgebiet der Donau bis Wien, doch ist dieser Speicherraum nur beschränkt für den Hochwasserrückhalt wirksam. Die Verminderung des KHW-Abflusses der Donau bei Wien durch die Kraftwerksspeicher wird in der Größenordnung auf 500 – 600 m^3/s geschätzt [8], wobei dieser Wert sehr wesentlich von der

Tabelle 5. *Kraftwerksspeicher im Einzugsgebiet österreichischer Flüsse*
Table 5. *Reservoirs of power stations in the catchment area of Austrian rivers*

Flußgebiete	Stausee			Gesamt	Einzugsgebiet	E_s/E_F
	Einzugsgebiet km^2	Zahl	Speicherinhalt von/bis Mio. m^3	Mio. m^3		%
Inn Pegel Kufstein	9 505	7	6,5/164	565*	686	7,2
Salzach	6 734	8	4,8/ 85,4	265	335	4,9
Bayrische Donau	50 500	6	22,0/149	402	3011	6,0
Enns	6 080	2	10,6/ 15	26	538	8,8
Traun	4 277	1	25	25	34	0,8
Kamp/Ranna	1 933	3	2,2/ 51	73	1106	57,2
Donau Wien-Reichsbr.	101 731	27	2,2/164	1356	5710	5,6
Ill Pegel Gising	1 281	5	5,3/ 78,3	179	121	9,4
Mur Pegel Spielfeld	9 480	3	3,0/ 7,2	16	233	2,5
Drau Staatsgrenze*	12 058	12	2,5/204	285	342	2,8
Summe		47	2,2/204	1836	6406	

* Einschließlich des Schweizer Speichers Livignio (164,0 hm^3/295 km^2) und Ova Spin (6,5 hm^3/10 km^2).

Regenverteilung im gesamten Einzugsgebiet abhängt. Der maximale Abfluß des Inn am Pegel Kirchbichl ($E = 9\,313{,}3$ km^2) wird durch die oberliegenden Speicher im Juni und Juli um ca. 12% oder 73,6 m^3/s vermindert, wobei allerdings diese Speicher nur einen Flächenanteil von 6% am Gesamteinzugsgebiet haben. Dem gegenüber beträgt die Abminderung der Hochwasserspitze der unteren Traun infolge der Hochwasserretention der oberliegenden Salzkammergutseen bei großen Hochwässern mehr als 1000 m^3/s, bei dem Katastrophenhochwasser 1959 sogar 1700 m^3/s.

Die einzige große Speichermöglichkeit für eine künstliche Hochwasserretention im Einzugsgebiet der Donau war an der Enns mit dem geplanten Speicher Kastenreith (400 Mio. m^3 Nutzinhalt, davon 100 Mio. m^3 Hochwasserspeicherraum) gegeben, der bei einem Einzugsgebiet von 4400 km^2 eine Reduktion des HQ_{1899} mit 120jährlicher Wahrscheinlichkeit um 600 bis 700 m^3/s oder $\frac{1}{3}$ der Hochwasserspitze herbeigeführt hätte [9]. Aber auch dieser Hochwasserspeicher wirkt sich auf den Hochwasserabfluß wesentlich weniger als die Hochwasserretention der Salzkammergutseen aus. Als weiteres Beispiel wird noch auf die 1975 an der Steyr fertiggestellte Talsperre Klaus der Ennskraftwerke AG mit einem Hochwasserretentionsraum von 8,6 Mio. m^3 hingewiesen, bei der bei Einsatz eines sehr leistungsfähigen Grundablasses wegen der sehr steilen Hochwasserwellen kurzer Dauer eine Abminderung der Hochwasserspitzenabflüsse bis etwa 160 m^3/s errechnet wurde.

Zusammenfassend haben die Untersuchungen gezeigt, daß der natürliche Hochwasserrückhalt der Salzkammergutseen auf die unterliegenden Flüsse Ager und Traun außerordentlich groß ist und bei Katastrophenhochwässern die Abflußspitze auf weniger als die Hälfte abmindert. Auf die Katastrophenhochwässer der Donau wird die Auswirkung wesentlich von der Niederschlagsverteilung und damit von der zeitlichen Zuordnung der Scheiteldurchflüsse bestimmt; sie schwankt bei den untersuchten Ereignissen zwischen einer Abnahme von 900 m^3/s und einer Zunahme von 400 m^3/s. Dagegen kann eine wesentliche Verbesserung der natürlichen Hochwasserretention in den Salzkammergutseen durch neue Seeregulative nicht herbeigeführt werden, wenn deren Auswirkung im Mittel auch größer sein dürfte als bei der Sperre Klaus.

Andererseits ist es aber durch eine Verbesserung der Speicherwirtschaft an diesen Seen möglich, den Niederwasserabfluß in den unterliegenden Gewässern wesentlich zu verbessern, ohne daß dadurch die Unterlieger und Seeanrainer benachteiligt werden. Die neuen Klauswehre an den Seen bilden schon aus diesem Grund einen sehr wesentlichen Beitrag zur Wasserwirtschaft im voralpinen Gewässerbereich.

Literatur

[1] Neweklowsky, E.: Die Schiffahrt und Flößerei im Raum der oberen Donau, Bd. 1 und 3. Oberösterreichischer Landesverlag 1952 und 1964.

[2] Flögl, H.: Wasserwirtschaftliche Planungen im Traun-Ager-Tal, ÖWW **23**, H. 1/2 (1971).

[3] Paplham, H. und Flögl, H.: Über die wasserwirtschaftliche Nutzung der Salzkammergutseen. ÖWW **29**, H. 7/8 (1977).

[4] Blaschke, H.: Erarbeitung hydrographischer Grunddaten. Wiener Mitteilungen, **14**, Wien 1973.

[5] Spreafico, M.: Verfahren zur optimalen Regulierung natürlicher Seen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich. Nr. 25, 1977.

[6] Kresser, W., Gutknecht, D.: Ein Verfahren zur Vorhersage der Hochwasserabflüsse der Steyr. ÖWW **26**, H. 11/12 (1974).

[7] Partl, R.: Statistik 1977 der großen Talsperren und Flußstauwerke Österreichs. „Die Talsperren Österreichs", H. 24, 1977.

[8] Kresser, W.: Die Änderung des Hochwasserabflusses der Donau bei Wien durch die Wasserbauten am Strom und im Einzugsgebiet. V. Konferenz der Donauländer für hydrologische Vorhersagen, Belgrad 1970.

[9] Oberleitner, P., Platzl, M.: Der Hochwasserrückhalt des geplanten Speicherkraftwerkes Kastenreith an der Enns. ÖIZ 7, H. 4 (1963).

Baurat h. c. Dipl.-Ingl. Dr. techn. Helmut Flögl
Ingenieurkonsulent für Bauwesen
Stockhofstraße 32
A-4020 Linz, Österreich

ROBR Dipl.-Ing. Hans Blaschke
Amt der O.Ö. Landesregierung
Hydrographischer Dienst
Kärntnerstraße 12
A-4020 Linz, Österreich