

## **Teil D: Mögliche Massnahmen zur Minderung von Hochwasserspitzen**

## Inhaltsverzeichnis Teil D

1	Talsperren schützen ihre Unterlieger vor Hochwasser .....	69
2	Was können Kraftwerks- Speicherbecken ohne spezifische Bewirtschaftungs- Einschränkungen zum Hochwasserrückhalt beitragen? .....	70
2.1	Erfahrungen aus früheren Hochwasserereignissen in anderen Einzugsgebieten .....	70
2.2	Abschätzungen der Rückhaltewirkung der Kraftwerkspeicher für den Alpenrhein aufgrund von Analysen der Landeshydrologie ohne aktive Bewirtschaftung.....	73
2.3	Abschätzungen der Rückhaltewirkung der Kraftwerkspeicher für den Alpenrhein gemäss IRKA- Studie "Hydrologie Alpenrhein" .....	76
3	Schadenskosten von Hochwasserereignissen.....	77
3.1	Analyse der Unwetter in der Schweiz .....	77
3.2	Resultate der Studie "Schadenrisiken und Schutzmassnahmen im Alpenrheintal" .....	77
4	In welchem Umfang kann durch eine aktive Bewirtschaftung der Schutz gegenüber dem heutigen, passiven Schutz vergrössert werden? .....	79
5	Welche Kosten wären mit einem zusätzlichen aktiven Hochwasserschutz verbunden? ....	81
5.1	Freihaltung von Kraftwerkspeicher für den Hochwasserschutz .....	81
5.2	Neue Hochwasserrückhaltebecken, Erhöhung bestehender Talsperren.....	82
5.3	Weitere Alternativen.....	83
6	Schlussfolgerungen.....	84
7	Quellenverzeichniss .....	85

## 1 Talsperren schützen ihre Unterlieger vor Hochwasser

Talsperren galten immer als Bauten, die speziell zu überwachen und zu schützen sind, weil sie ein latentes Gefahrenpotential darstellen. Dass Talsperren auch das Gegenteil bewirken, nämlich die unterliegende Talschaft vor Gefahren schützen, ist weniger bekannt. Schon seit längerer Zeit wird zwar von den Kraftwerksgesellschaften auch auf die Bedeutung der Speicherbecken, insbesondere der Saisonspeicher, zur Reduktion der Hochwasserabflüsse und damit zum Schutz vor Hochwassern hingewiesen. Trotzdem spielt die Möglichkeit, diese Speicher aktiv für den Hochwasserschutz zu nutzen, in der Schweiz bisher nur eine untergeordnete Rolle.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über das Potential und die Kostenfolgen eines aktiven Beizugs bestehender Speicher zum Hochwasserschutz. Dabei wird auf folgende Fragen eingegangen:

- Wie gross ist der Effekt der Retentionswirkung von Kraftwerkspeichern ohne Einschränkung der Bewirtschaftung auf die in der Regel nicht unmittelbar unterhalb der Speicher, sondern weiter entfernt gelegenen, stärker besiedelten Gebiete?
- Mit welchem Schadenspotential bedingt durch Hochwasserereignisse muss im Alpenrheintal gerechnet werden?
- In welchem Umfang kann durch eine aktive Bewirtschaftung von vorhandenem Speicherraum der Schutz gegenüber dem heutigen, passiven Schutz vergrössert werden? Welche Kosten wären mit diesem zusätzlichen aktiven Hochwasserschutz verbunden?
- Wäre eine Alternative zu einer Verstärkung des Hochwasserschutzes durch aktive Bewirtschaftung von Kraftwerkspeichern, wie beispielsweise der Bau neuer Hochwasserrückhaltebecken, etc. wirtschaftlich günstiger?

Zur Beantwortung obiger Fragen wurden verschiedene Abschätzungen gemacht, um die Resultate früherer Studien durch Betrachtung aus zusätzlichen Blickwinkeln zu erhärten. Dabei wird insbesondere auch auf den Bericht "Hydrologie Alpenrhein" (6) verwiesen, zu dessen Resultaten der vorliegende Bericht eine Ergänzung darstellt.

Die Aussagen konzentrieren sich auf den Alpenrhein, im Speziellen auf das Gebiet oberhalb der amtlichen Messstelle Domat/Ems. Sie stützen sich unter anderem auch auf Erkenntnisse, welche im Wallis bei ähnlichen Überlegungen gefunden wurden.

## **2 Was können Kraftwerks- Speicherbecken ohne spezifische Bewirtschaftungs-Einschränkungen zum Hochwasserrückhalt beitragen?**

### **2.1 Erfahrungen aus früheren Hochwasserereignissen in anderen Einzugsgebieten**

1927 wurde das Bergell durch ein Hochwasser heimgesucht. Dabei waren schwere Schäden in den Dörfern sowie im raren Kulturland zu verzeichnen. Auch das Hochwasser vom Juli 1987 traf das Bergell. Es übertraf das Ereignis von 1927 sogar an Intensität. Trotzdem waren 1987 wesentlich geringere Schäden als 1927 zu verzeichnen. Der Grund liegt darin, dass das insgesamt 83,4 km<sup>2</sup> grosse Einzugsgebiet der Maira bei Vicosoprano durch die Staumauer Albigna (20,5 km<sup>2</sup>) und durch das Hochwasserrückhaltebecken Orden (zusätzliche 36,1 km<sup>2</sup>), welche zwischenzeitlich erstellt wurden, 1987 hochwassergeschützt war. Die Abschätzungen in (1) weisen aus, dass die Abflussspitze in Vicosoprano 1987 etwa 300 m<sup>3</sup>/s betrug und durch die beiden Staubecken um rund 150-200 m<sup>3</sup>/s, also um rund einen Drittel, reduziert wurde.

Das Hochwasserereignis vom August 1987 hätte im Reusstal bei Seedorf eine Abflussspitze von rund 850 m<sup>3</sup>/s zur Folge gehabt (2), wenn nicht die Seitendämme der Reuss überflutet worden wären und die Stauseen Lucendro und Göscheneralp kein Wasser zurückgehalten hätten. Eine entsprechende Überprüfung (2) ergab, dass der maximale Abfluss in Seedorf durch die beiden Speicher um rund 100-150 m<sup>3</sup>/s (15 %) gedämpft worden wäre, wenn keine Dammüberflutungen erfolgt wären.

Eine eingehendere Untersuchung der Abflussminderung durch die Speicherseen der Wasserkraftwerke wird für die Hochwasserereignisse im Wallis von 1987 und 1993 in (3) gegeben. Die Autoren kommen zum Schluss, dass die maximalen Abflussspitzen der Rhône in Sion 1987 von natürlicherweise 1045 m<sup>3</sup>/s (100%) um 270 m<sup>3</sup>/s auf 775 m<sup>3</sup>/s (74%), 1993 von natürlicherweise 1054 m<sup>3</sup>/s (100%) um 224 m<sup>3</sup>/s auf 830 m<sup>3</sup>/s (79%), reduziert worden sind. Auch während dem Hochwasser vom Oktober 2000, welches zu einem Zeitpunkt auftrat, als die Speicher noch relativ stark gefüllt waren, profitierte die Bevölkerung von einer Abflussminderung von 1035 m<sup>3</sup>/s auf 910 m<sup>3</sup>/s durch die Speicherseen im Wallis (4).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sowohl die bestehenden Speicher im Alpenraum, als auch die eigens zum Hochwasserschutz gebauten Hochwasserrückhaltebecken einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zum Hochwasserschutz leisten.

Die Retentionswirkung der Speicher im Rhonetal kann auch anhand der historischen Hochwasserabflussmessungen veranschaulicht werden. In Bild 1 sind die jährlichen Abflussspitzen respektive deren 5-jährlichen gleitenden Mittel der Rhône in Sion dargestellt. Man erkennt deutlich eine Abnahme ab der Mitte der 50er Jahre, d.h. nach Inbetriebnahme der Mehrheit der grossen Speicherseen.

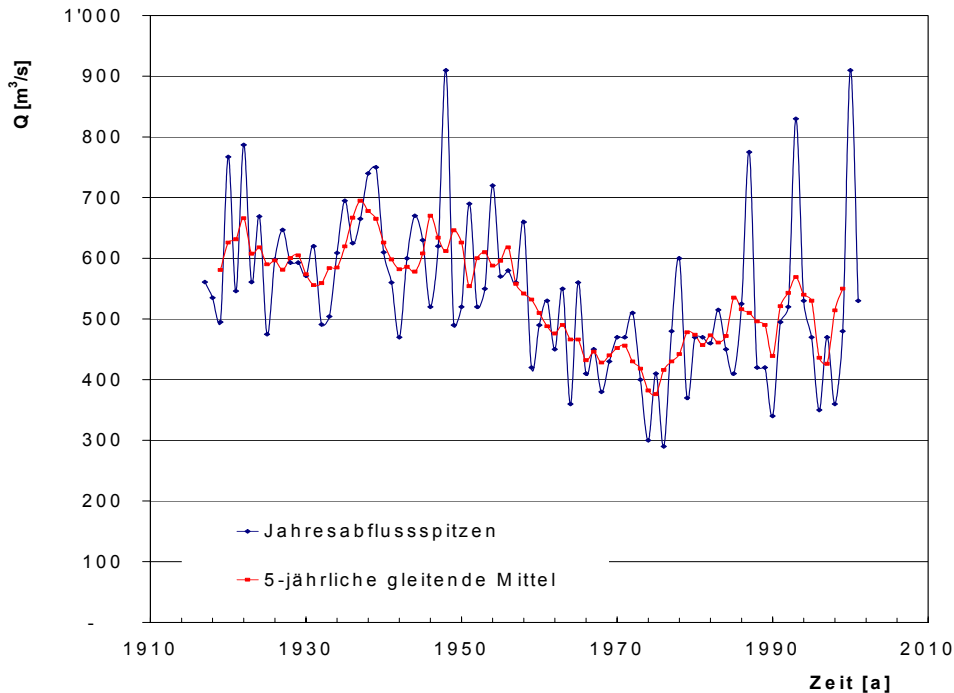


Bild 1: Jahresabflussspitzen (blau) und 5-jährliche gleitende Mittel (rot) der Rhone in Sion

Dass dieses Bild des Verlaufs der jährlichen Abflussspitzen nicht typisch ist für die Verhältnisse in der ganzen Schweiz, zeigt ein Vergleich mit den jährlichen Abflussspitzen der Julia in Tiefencastel, der Thur in Andelfingen oder der Sense in Thörishaus (Bild 2).

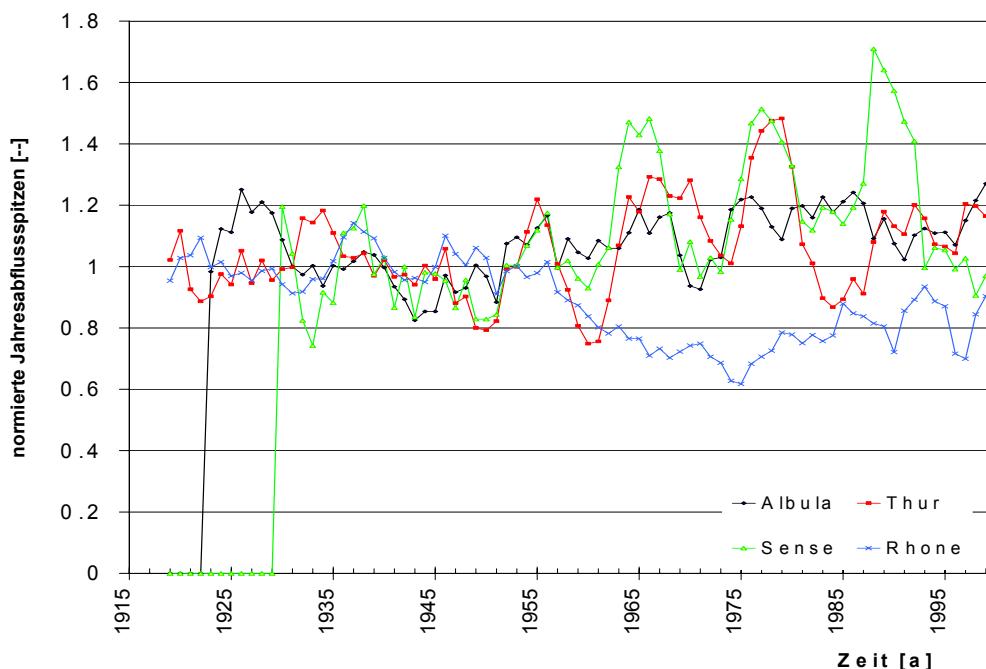


Bild 2: 5-jährliche gleitende Mittel der Jahreabflussspitzen an vier verschiedenen Messtellen von Thur (rot), Sense (grün), Albula (schwarz) und Rhone (blau), normiert mit den Mittelwerten vom Anfang der Messreihe bis 1950

Diese sind zusammen mit den jährlichen Abflussspitzen der Rhone dargestellt. Dabei wurden die Abflüsse mit dem Mittelwert der Messreihe von Beginn der Erhebungen bis 1950

normiert. Nur an der Rhone in Sion ist für die Jahre nach 1950 eine deutliche Reduktion der normierten Jahresabflussspitze unter den Wert 1 festzustellen, während bei den anderen, von Speicherbecken nicht beeinflussten Messstellen, nicht nur keine signifikante Minderung der Abflussspitzen beobachtet werden kann, sondern der normierte Wert in den Jahren nach 1950 grösser als 1 ist, also eine leicht steigende Tendenz aufweist.

Betrachtet man eine Lognormalverteilung (Verteilungsfunktion der Logarithmen) der jährlichen Abflussspitzen der Rhone in Sion vom Beginn der Messreihe bis 1950 und vergleicht diese mit einer analogen Verteilung für die Messreihe ab 1950, ergibt sich für ein 50- resp. 100-jährliches Hochwasserereignis eine Reduktion der Abflussspitze von rund 46m<sup>3</sup>/s respektive 30m<sup>3</sup>/s. Mit einer Extremalverteilung ergeben sich ähnliche Resultate von 46m<sup>3</sup>/s respektive 33m<sup>3</sup>/s (Tab. 1). Die Mittelwerte der zweiten Periode liegen deutlich tiefer als die entsprechenden Mittelwerte der ersten Periode.

		Log- Normalverteilung (m <sup>3</sup> /s)	Typ I Extremalverteilung (m <sup>3</sup> /s)
Q50	1917-1950	830	867
Q50	1951-2001	784	821
	<i>Unterschied</i>	46	46
Q100	1917-1950	866	922
Q100	1951-2001	836	889
	<i>Unterschied</i>	30	33

Tab. 1: Abflussspitzen der Rhone in Brig und ihre Wiederkehrzeiten für verschiedene Perioden (Bsp: Q50=Abflussspitze eines Hochwassers, wie es im Mittel alle 50 Jahre auftritt), vor und nach der Inbetriebnahme der grossen Speicherseen.

Die Analyse der Zahlen in Tabelle 1 zeigt auch, dass eine Abflussmenge, welche früher etwa einem 50-jährlichen Ereignis zugeordnet werden konnte, heute, mit Speicherretention, einem ungefähr 100-jährlichen Ereignis entspricht. Mit Speicherretention kann deshalb die Wiederkehrperiode für Ereignisse dieser Grössenordnung etwa verdoppelt werden.

Bei diesen Abschätzungen handelt es sich nicht um eine systematische Untersuchung, sondern nur um Hinweise auf ein Verhaltensmuster. Sie zeigen aber dennoch, dass tatsächlich ein grosses Potential an Abflussminderung auch in weiterer Entfernung der Speicher vorhanden ist, obwohl diese nicht aktiv für den Hochwasserschutz eingesetzt werden.

Beobachtungen und Analysen in verschiedenen Einzugsgebieten in den Alpen der Schweiz weisen auf eine Reduktion der Hochwasserabflussspitzen durch die Retentionswirkung von Kraftwerkspeichern zwischen 5% und 25% hin.

## 2.2 Abschätzungen der Rückhaltewirkung der Kraftwerkspeicher für den Alpenrhein aufgrund von Analysen der Landeshydrologie ohne aktive Bewirtschaftung

Im Folgenden sind Hochwasserereignisse betrachtet, welche sich auf den Alpenrhein unterhalb des Zusammenflusses von Vorder- und Hinterrhein auswirken. Es handelt sich dabei um grossräumige Ereignisse, welche nicht durch lokale Gewitter, sondern durch länger anhaltende Starkniederschläge ausgelöst werden.

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Einzugsgebiete und ihre Speicher im Alpenrhein unter Berücksichtigung der Speicher mit mehr als 1 Mio m<sup>3</sup> Nutzinhalt.

Messtation	Einzugsgebiet in km <sup>2</sup>	Saison-speicher	Speicher-volumen in Mio m <sup>3</sup>	direkte Ein-zugsgebiets-grösse in km <sup>2</sup>	%	Einzugsgebiet der Überleitun-gen in km <sup>2</sup>	%
Vorderrhein in Reichenau	1503	Curnera	40.8	21	1.4	40	2.7
		Nalps	44.5	19	1.3		
		Sta. Maria	67	23	1.5		
		Panix	7.3	28	1.9	19	1.3
		Zervreila	100	64	4.3	29	1.9
		Total	259.6	155	10.3	88	5.9
Hinterrhein in Reichenau	1700	Valle di Lei	197	47	2.8	64	3.8
		Sufers	18.3	194	11.4	130	7.6
		Bärenburg	1	53	3.1	20	1.2
		Marmorera	60	135	7.9	32	1.9
		Solis		143	8.4	(vorne eingerechnet)	
		Total	276.3	572	33.6	246	14.5
Rhein in Domat Ems	3229	Total KVR, KWI, KWZ, KHR, ewz	535.9	727	22.5	334	10.3
Rhein Bad Ragaz	4455	Davosersee	11	8	0.2		0
		Gigerwald	33.4	52	1.2	(nicht im Alpen-rheingebiet)	0
		Mapragg	2.7	62	1.4		0
		Total	583	849	19.1	334	7.5

Tabelle 2. Vergleich der Teileinzugsgebiete im Alpenrhein und ihre Beeinflussung durch grosse Speicherseen

Tabelle 2 zeigt, dass von den 3'229 km<sup>2</sup> Einzugsgebiet des Alpenrheins bei Domat Ems rund 727 km<sup>2</sup> oder 22.5 % durch Kraftwerkspeicher über einen Hochwasser- Rückhalt verfügen.

In (5) sind Analysen der Hochwasser für verschiedene Messstationen der Schweiz publiziert, welche zum Teil anhand von Messreihen vor und nach der Inbetriebnahme der Speicherseen durchgeführt wurden. Diese Analysen ergeben einerseits einen Hinweis auf

die natürlich vorkommenden Hochwasser, aber auch auf die Hochwasser, wie sie seit Bestehen der Rückhaltewirkung durch die Speicher zu beobachten sind, ohne dass spezielle Bewirtschaftungsbeschränkungen zum Hochwasserschutz vorgenommen worden wären. Für den Alpenrhein sind auf der nachfolgenden Tabelle die statistischen Hochwasseranalysen für die Messstationen Illanz und Peiden Bad im Vorderrheingebiet, Andeer und Felsberg im Hinterrheingebiet und Bad Ragaz am vereinten Alpenrhein zusammengefasst.

Station	Einzugsgebiet in km <sup>2</sup>	Q50 in m <sup>3</sup> /s	Q100 in m <sup>3</sup> /s	Q200 in m <sup>3</sup> /s	Bemerkungen
Vorderrhein Illanz	776				
vor 1961		880	960	1030	
ab 1968		550	600	640	
Glener Peiden Bad	312				
vor 1956		400	440	475	
ab 1957		195	220	235	
Hinterrhein Andeer	503				
vor 1960		640	695	735	
ab 1974		465	500	540	
Rhein Felsberg	3249				
vor 1983		1890	2050	2200	z.T. ohne, z.T. mit KW
ab 1962		1360	1430	1510	
Rhein Bad Ragaz	4455				
1932-1983		1890	2020	2160	> als Rhein Felsberg!

Tab. 3. Hochwasseranalyse der Landeshydrologie von 1986



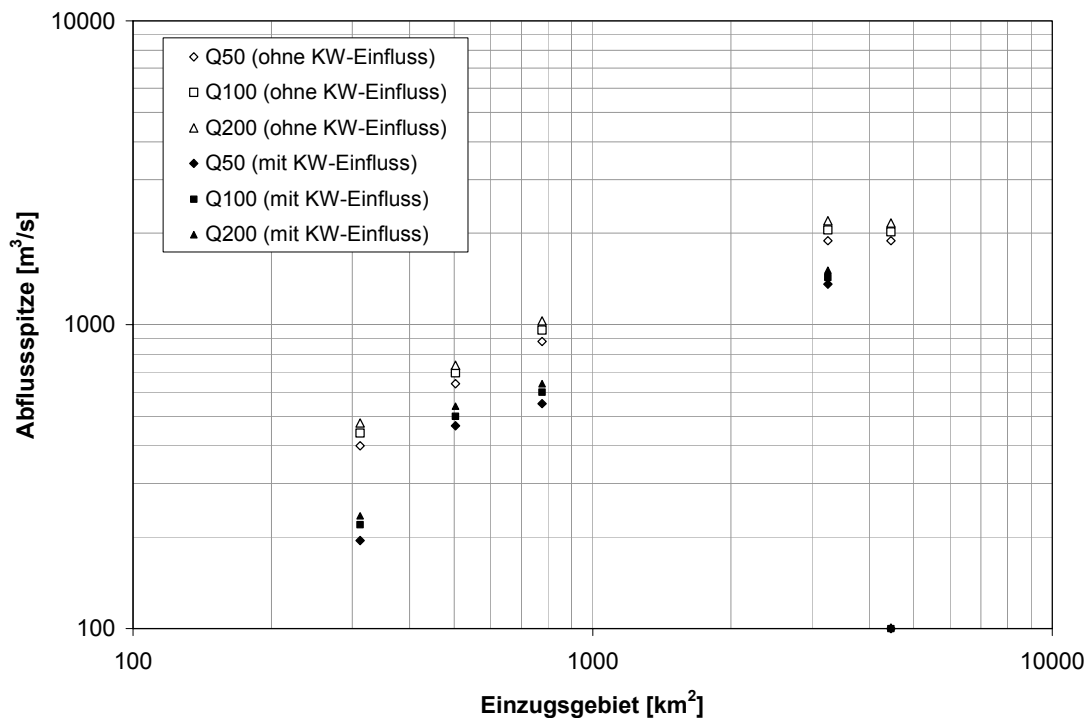


Bild 3. Grafische Darstellung der Frequenzanalysen der Landeshydrologie in doppelt logarithmischem Massstab (Dreieck = Q200, Quadrat = Q100, Rhombus = Q50, ausgefüllt = mit KW- Einfluss, leer = ohne KW- Einfluss)

Versucht man, eine lineare Interpolation der logarithmischen Abhängigkeit der Hochwasser-Abflussspitzen von der Einzugsgebietsgrösse zu definieren, erkennt man, dass die durch die Frequenzanalysen bestimmten Datenpunkte zum Teil stark von dieser Interpolationslinie abweichen. Gründe für diese Abweichungen sind unter anderem unterschiedliche Längen und Perioden der für die Frequenzanalyse benutzten Messreihen und mangelnde Messgenauigkeit der Abflussspitzen sowie die unterschiedlichen Auswirkungen der vorhandenen Speicher (Grösse, Anteil des beeinflussten Einzugsgebietsteils, etc.). Diese Abweichungen sind grösser als die Abweichungen zwischen dem 50-, 100 respektive 200-jährlichen Hochwasser für einen bestimmten Messpunkt.

Eine Näherungsformel für das 100- jährliche Hochwasser könnte etwa lauten:

$$Q_{100\text{ohne}} = 22 \cdot E^{0.55} \text{ ohne Einfluss von Kraftwerksspeichern}$$

respektive

$$Q_{100\text{mit}} = 11.9 \cdot E^{0.6} \text{ mit Beeinflussung durch Kraftwerksspeicher.}$$

Die Reduktion der Abflussspitze durch die Kraftwerksspeicher ergäbe dann für ein 100-jährliches Hochwasser

$$\Delta Q_{100} = Q_{100\text{ohne}} - Q_{100\text{mit}} = 22 \cdot E^{0.55} - 11.9 \cdot E^{0.6}$$

Daraus ergäben sich folgende Abminderungen durch die heute in Betrieb stehenden Speicher:

Station	Einzugsgebiet in km <sup>2</sup>	Q100 ohne KW in m <sup>3</sup> /s	Q100 mit KW in m <sup>3</sup> /s	$\Delta Q_{100}$ in m <sup>3</sup> /s	$\Delta Q_{100}$ in % des ursprünglichen Wertes
Rhein Felsberg	3249	1879	1522	$\approx 360$	19
Rhein Bad Ragaz	4455	2235	1840	395	17.7

Tab. 4. Der Einfluss der heute vorhandenen Speicher auf die Hochwasser- Abflussspitzen gemäss einer Analyse der Landeshydrologie

Die statistische Auswertung von Hochwasserereignissen im Gebiet des Alpenrheins vor und nach der Inbetriebnahme der Kraftwerkspeicher weist auf eine Reduktion der Abflussspitzen für 100- jährliche Hochwasser in der Grösse von bis zu 15%-20% hin.

### 2.3 Abschätzungen der Rückhaltewirkung der Kraftwerkspeicher für den Alpenrhein gemäss IRKA- Studie "Hydrologie Alpenrhein"

Die Studie "Hydrologie Alpenrhein" (6) , welche von der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Flussbau in Auftrag gegeben wurde, befasst sich ebenfalls mit dem Thema der Reduktion der Abflüsse durch Ausnutzung der Retentionswirkung der Speicher.

Im Folgenden werden einige Resultate aus dieser Studie zusammengefasst.

Station	Ereignis	Q ohne KW in m <sup>3</sup> /s	Q mit KW in m <sup>3</sup> /s	$\Delta Q$ in m <sup>3</sup> /s	$\Delta Q$ in % des ursprünglichen Wertes
Rhein Felsberg	1981	1345	1180	165	12
Rhein Bad Ragaz	1987	1590	1432	158	10
Rhein Felsberg	1981	1950	1415	435	22
Rhein Bad Ragaz	1987	2200	1750	450	20

Tab. 5. Der Einfluss der heute vorhandenen Speicher auf die Hochwasser- Abflussspitzen gemäss einer Modellierung mit einem N-A- Modell

Es wird geschätzt, dass sich die dämpfende Wirkung durch die vorhandenen Speicher mit rund 10- 25% auswirken kann, je nach Jahreszeit und Niederschlagsmuster.

Für den Alpenrhein wird aufgrund einer Frequenzanalyse der Abflussmessreihe Diepoldsau bei Domat/Ems als 100- jährliches Hochwasser ein Spitzenabfluss von 2250 m<sup>3</sup>/s, für Bad Ragaz ein solcher von 2550 m<sup>3</sup>/s angegeben. Diese Werte sind ohne Wirkung von Speicherbecken ermittelt. Sie liegen gut 10 % höher als die durch die Interpolation in Tabelle 4 angegebenen Abflussspitzen (die Messstelle Domat- Ems entspricht für diese Aussage etwa der Messstelle Felsberg). Als Genauigkeit der Angaben wird bei den hundertjährigen Hochwassern eine Abweichung von +/- 200 m<sup>3</sup>/s angegeben.

Im Rahmen dieser Genauigkeiten liefern die Ergebnisse der verschiedenen Analysen die gleichen Aussagen.

### 3 Schadenskosten von Hochwasserereignissen

#### 3.1 Analyse der Unwetter in der Schweiz

Die Sanierungskosten im Urnerland im Bereich Gurtellen in der Folge der Überschwemmungen vom August 1987 beliefen sich auf rund 19 Mio Fr. (7).

In (8) werden die möglichen Schäden einer Hochwasserkatastrophe, wie sie sich bereits 1922 im Seeztal zwischen Mels und dem Walensee ereignete, auf rund 60 Mio Fr. geschätzt. Um solche Schäden zu vermeiden, wurde ein Hochwasserschutzkonzept erarbeitet, welches zwar keinen Hochwasserrückhalt in entsprechenden Becken vorsieht, aber dennoch mit Gesamtkosten von rund 27 Mio Fr. rechnet.

Für die 25 Jahre von 1972 bis 1996 werden in (9) für die ganze Schweiz Schadenskosten aus Unwetterereignissen von rund Fr. 4'400.- pro Quadratkilometer und Jahr angegeben. Die Mehrzahl dieser Ereignisse sind Hochwasserereignisse. Dies entspricht rund 180 Mio Fr. pro Jahr. Am stärksten betroffen waren in der angegebenen Periode die Kantone Tessin mit 39 Mio Fr./Jahr, Wallis mit 36 Mio Fr./Jahr und Uri mit 28 Mio Fr./Jahr.

Allein diese wenigen und ebenfalls unsystematischen Angaben zeigen, dass ein beachtliches finanzielles Potential zur Schadensbekämpfung von Hochwassern vorhanden ist.

Rechnet man wiederum die mittleren Schadenskosten der Schweiz (9) auf das Einzugsgebiet des Alpenrheins bei Domat Ems und bei Bad Ragaz hoch, ergibt sich ein Schadenspotential gemäss Tabelle 6.

Station	Einzugsgebiet in km <sup>2</sup>	Schadenspotential in Mio Fr. pro Jahr	Bemerkungen
Rhein Felsberg	3249	14.3	Hochrechnung
Rhein Bad Ragaz	4455	19.6	Hochrechnung

Tab. 6. Das Hochwasser-Schadenspotential im Alpenrheingebiet

Das jährliche Schadenspotential im Alpenrheingebiet liegt aufgrund eines Vergleichs mit den Schäden in der ganzen Schweiz in der Grösse von 15 – 20 Mio Fr..

#### 3.2 Resultate der Studie "Schadenrisiken und Schutzmassnahmen im Alpenrheintal"

Für einen Dambruch auf der linken Seite bei Rhein-km 75 (Nähe Diepoldsau) wird in der Studie "Schadenrisiken und Schutzmassnahmen im Alpenrheintal" der Regierungskommission Alpenrhein (10) ein Schadenerwartungswert von 13 Mio Fr. angegeben. Dieser Schadenerwartungswert entspricht den Jahreskosten (Annuität) einer noch vertretbaren Investition zum Hochwasserschutz. Der Ausbau des Rheins oberhalb wird als besser beurteilt, so dass das Szenario Dambruch bei km 75 als massgebend angesehen wird.

Die Studie "Schadenrisiken und Schutzmassnahmen im Alpenrheintal" rechnet mit einem Schadenpotential von rund 13 Mio Fr. pro Jahr.
--

#### 4 In welchem Umfang kann durch eine aktive Bewirtschaftung der Schutz gegenüber dem heutigen, passiven Schutz vergrössert werden?

Die Bewirtschaftung der alpinen Kraftwerkspeicher erfolgt heute allein aufgrund der energiewirtschaftlichen Bedürfnisse (vgl. Bild 4).

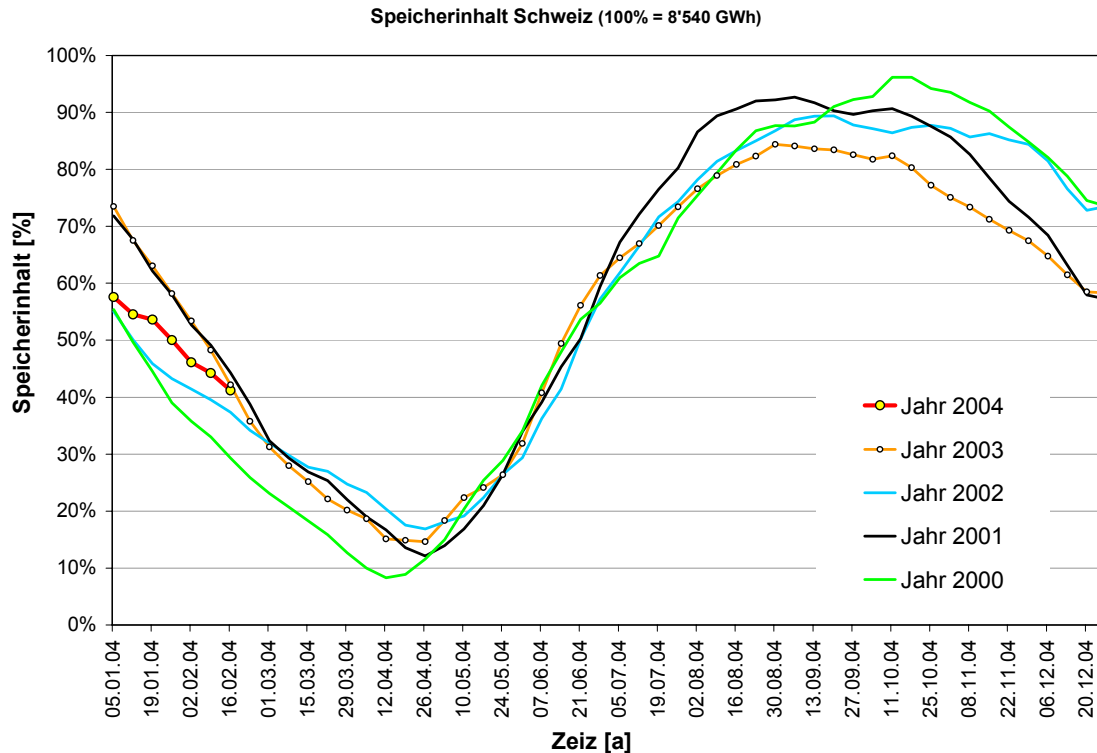


Bild 4. Füllungsverlauf der Kraftwerkspeicher in der Schweiz in den letzten 5 Jahren (2000-2004)

In der Regel werden die Speicher gegen Ende April entleert und füllen sich bis Ende September wieder auf.

Der maximale Füllungsgrad beträgt im Durchschnitt nur rund 90 %, das heisst, dass in den Speichern oberhalb Domat Ems, nämlich in Curnera, Nalps, Sta. Maria, Panix, Zervreila, Valle di Lei, Sufers, Bärenburg, Marmorera und Solis rund 55 Mio m<sup>3</sup> Freihaltvolumen für 727 km<sup>2</sup> direkt betroffenes Einzugsgebiet zur Retention zur Verfügung stehen. Dies entspricht einer Abflusshöhe von 74 mm, im Vergleich zu einem länger andauernden Starkniederschlagsereignis, welches eine Niederschlagshöhe von 150-300 mm erreichen kann.

Einem Füllungsgrad von 100% würde technisch nichts entgegenstehen. Die Anlagen sind so ausgerüstet, dass sie auch ganz gefüllt ein 1000-jährliches Hochwasser sicher ableiten können und ein 1,5 mal grösseres Hochwasser ohne grössere Schäden überstehen können. Die Anlagenbetreiber halten in der Regel aber ein gewisses Volumen frei, um auch im Herbst allfällige Hochwasserspitzen auffangen zu können.

Bis Ende Juli erreicht der Füllungsgrad etwa 80%, so dass für das ganze Jahr von Januar bis Ende Juli unter Annahme von mittleren Verhältnissen ein Rückhaltvolumen für rund 150

mm Niederschlag, also bereits genügend Volumen für ein extremes Ereignis, zur Verfügung steht.

Die bereits erwähnte Studie "Hydrologie Alpenrhein" (6) kommt zum Schluss: "Eine bedeutende Dämpfung der Abflussspitzen ist nur dann zu erwarten, wenn mehr als 10% des Nutzvolumens, d.h. 70 Mio m<sup>3</sup> (unter Berücksichtigung weiterer Speicherbecken unterhalb von Reichenau), zur Verfügung gestellt werden können". Ferner ergibt die darin aufgeführte Analyse historischer Hochwasser, dass extreme oder katastrophale Hochwasser am häufigsten in den Monaten Juli, August und September auftreten.

Zu beachten ist, dass zwar der Grossteil der Hochwasser durch Niederschläge von Süden, welche über den Alpenkamm das Einzugsgebiet des Alpenrheins erreichen, hervorgerufen werden, dass aber gewisse Ereignisse ihren Niederschlagsschwerpunkt im Norden des Einzugsgebietes haben. Die Retentionswirkung der alpenkammnahen Speicher ist nur wirksam, wenn der Schwerpunkt der Niederschläge in dieser Region liegt, also bei von Süden kommenden Niederschlagsereignissen.

Aus diesen Abschätzungen lässt sich schliessen, dass bis Ende Juli in der Regel genügend Speicherraum vorhanden ist, ohne dass am heutigen Betriebsregime etwas geändert werden müsste und dass die Wirkung der wie bisher allein aus Sicht Stromproduktion bewirtschafteten Speicher auch in den hochwasserkritischen Monaten August und September nicht vernachlässigbar, aber doch eingeschränkt ist.

Im Falle von Niederschlagsereignissen mit Schwerpunkt im Norden ist die Wirkung der alpinen Speicherbecken stark eingeschränkt.

## 5 Welche Kosten wären mit einem zusätzlichen aktiven Hochwasserschutz verbunden?

### 5.1 Freihaltung von Kraftwerkspeicher für den Hochwasserschutz

In der Schweiz existiert mit dem Kraftwerk Mattmark bisher ein einziger Präzedenzfall, in dem ein Kraftwerkspeicher nachträglich aktiv zum Hochwasserschutz beigezogen wurde. Die energiewirtschaftlichen Auswirkungen der Unterteilung des ursprünglich allein für den Kraftwerksbetrieb zur Verfügung stehenden Speichervolumens in einen Teil zur Stromproduktion und einen Teil zum Hochwasserschutz haben folgende prinzipiellen Auswirkungen (11):

- Es erfolgt eine Verlagerung der Stromproduktion vom Winter in den Sommer: Wasser, welches bedingt durch das fehlende Speichervolumen im Sommer nicht eingelagert werden kann, muss sofort turbinieren. Im Winter fehlt dieses Wasser entsprechend für die Stromproduktion.
- Die verfügbare Regelleistung wird reduziert: Im Sommer muss mehr Wasser als Laufwasser turbinieren werden. Dadurch sind die Turbinen stärker ausgelastet, es steht weniger Flexibilität zur Leistungsbereitstellung zur Verfügung. Umgekehrt führt das geringere Stauvolumen im Winter zu einer schnelleren Entleerung des Stausees, die volle Leistung steht damit ebenfalls nur kürzere Zeit zur Verfügung.
- Weitere Auswirkungen sind in der Regel weniger bedeutend.

Im Nachgang an ein erwartetes Hochwasserereignis, bei welchem der Kanton Wallis von den Kraftwerken Mattmark die Freihaltung von 3.5 Mio m<sup>3</sup> im Speicher Mattmark forderte, wurde von den Kraftwerken Mattmark der dadurch entstandene Schaden mit Fr. 700'000.- beziffert. Dies entspricht rund 0.2 Fr./m<sup>3</sup> Freihaltévolumen für ein Ereignis. Nimmt man an, dass diese Einschränkung alle Jahre verfügt würde und sich der Stauspiegel nie länger als bei diesem Ereignis beobachtet in der kritischen Zone befinden würde, folgt, dass der Betrag von Fr. 700'000.- als Jahresentschädigung eingesetzt werden müsste. Kapitalisiert entspricht dieser Jahresbetrag einer einmaligen Zahlung von rund 12 Mio Fr (40 Jahre Amortisationszeit bei 5% Zins). Anders ausgedrückt würde die Freihaltung von Speicherraum in einem Kraftwerkspeicher rund 3-3.5 Fr./m<sup>3</sup> kosten.

Die Entschädigung an den Kraftwerksbetreiber für die Inanspruchnahme von Speicherkapazität zu Hochwasserschutzzwecken kostet rund Fr. 3.- bis 3.50 Fr. pro m<sup>3</sup> Rückhalteraum.

Viel wirksamer als bestehenden Speicherraum eines Kraftwerks für den Hochwasserschutz freizuhalten, ist der Bau zusätzlicher Hochwasserrückhaltebecken, weil diese immer aktiv sind, während der Hochwasserschutzraum, welcher der Kraftwerksbewirtschaftung entzogen wird, nur dann einen Zusatznutzen ergibt, wenn er nicht ohnehin zur Verfügung stehen würde. Im Falle Mattmark wurde denn auch nicht die Lösung nach Abschnitt 5.1 gewählt, sondern es wurde oberhalb der konzidierten Füllkote zusätzliches Volumen für den Hochwasserschutz bereitgestellt. Das war dank einem sehr grosszügig bemessenen Freibord

ohne Dammerhöhung, allein durch den Bau einer Hochwasserentlastungsanlage relativ kostengünstig möglich.

Als Alternativen zur Schaffung von Hochwasser- Rückhaltevolumen auf Kosten von Speichervolumen für die Stromerzeugung bieten sich an:

## 5.2 Neue Hochwasserrückhaltebecken, Erhöhung bestehender Talsperren

Der Bau eines Hochwasserrückhaltebeckens in einem bisher nicht durch einen bestehenden Speicher beeinflussten Einzugsgebiet hat den Vorteil, dass dieses Hochwasserrückhaltebecken bei jedem Hochwasser wirksam wird, zusätzlich zu den allfällig ebenfalls vorhandenen Retentionsvolumen in den Kraftwerkspeichern.

Beispiele solcher Becken sind insbesondere aus dem Mittelland bekannt. Im Alpenraum ist etwa das Hochwasserrückhaltebecken Orden im Engadin zu nennen.

Sander und Häfliger (11) rechnen mit Investitionskosten bezogen auf das Rückhaltevolumen von 3.0-4.5 Fr./m<sup>3</sup>.

Aufgrund früherer Studien ist bei einer Bogenmauer in Beton (analog dem Hochwasserrückhaltebecken Orden) mit Anlagekosten von rund 300 Fr./m<sup>3</sup> Beton zu rechnen.

Talsperre	Typ	Betonvolumen Mio m <sup>3</sup>	Speichervolumen Mio m <sup>3</sup>	Verhältnis Speicher- /Betonvolumen	Kosten pro m <sup>3</sup> Rückhalteraum in Fr.
Mauvoisin	Bogen	2.1	204	97	3.1
Isola	Bogen-Gewicht	0.071	5.9	83	3.6
Gigerwald	Bogen	0.446	33.4	75	4.0
Zervreila	Bogen	0.65	100	154	2.0

Tab 7. Kosten für ein Hochwasserrückhaltebecken vom Typ Orden

Auch in "Externe Effekte der Wasserkraftnutzung in der Schweiz" (12) wird mit Kosten für die Schaffung von zusätzlichem Volumen in bestehenden Stauseen von rund 2-3 Fr. /m<sup>3</sup> gerechnet.

Eine grobe Schätzung der Anlagekosten aufgrund von Projekten in verschiedenen Kantonen im schweizerischen Mittelland ergibt einen Preis pro m<sup>3</sup> Rückhalteraum von Fr. 10.- bis Fr.15.-.

Hochwasserrückhaltebecken	Kosten pro m <sup>3</sup> Inhalt in Fr.	Bemerkung
Fohloch, Kanton Zürich	48	Angabe Internet
Eichmatt, Kanton Luzern	15	Projekt
Moos, Kanton Aargau	12	Projekt

Tab. 8. Kosten für Hochwasserrückhaltebecken im Mittelland

Die höheren Kosten bei kleineren Becken sind einerseits durch die ungünstigere topografische Lage und andererseits durch die kleineren Volumen bedingt.



Neuer Stauraum in den Alpen für den Hochwasserrückhalt kann durch Erhöhung bestehender Talsperren oder durch den Bau neuer Talsperren erfolgen. Dabei ist mit Kosten von rund Fr. 3.- pro m<sup>3</sup> Speichervolumen zu rechnen, wenn sehr günstige Sperrstellen gefunden werden.

Hochwasserrückhaltebecken im Mittelland sind 4 bis 5 mal teurer. Es ist mit Investitionskosten von Fr. 12 bis Fr.15.- pro m<sup>3</sup> zu rechnen.

### **5.3 Weitere Alternativen**

Eine weitere Alternative für die Inanspruchnahme von Speichervolumen der Kraftwerke für den Hochwasserschutz ist der Realersatz des entstandenen Produktionsausfalls durch den Bau eines neuen Speicherkraftwerks, einer Gasturbinenanlage oder einer zusätzlichen Pumpspeichieranlage. Die Abschätzungen für die Kosten in (11) zeigen, dass diese Alternativen wirtschaftlich kaum konkurrenzfähig sind.

## 6 Schlussfolgerungen

Die bestehenden Kraftwerkspeicher im Einzugsgebiet des Alpenrheins tragen bereits deutlich zum Hochwasserschutz bei. Abschätzungen aufgrund von verschiedenen Analysen ergeben ein Abminderungspotential der Abflussspitze von rund 10-20% für 100-jährliche Ereignisse.

Weitergehende Rückhaltungsmöglichkeiten können entweder durch Umnutzung bestehender Kraftwerksspeicher oder durch den Zubau von neuem Rückhalteraum realisiert werden.

Die Umnutzung bestehender Kraftwerksspeicher zu Mehrzweckspeichern mit Hochwasserschutzfunktion hat Ersatzleistungen bei den Kraftwerksbetreibern zur Folge. Diese liegen in einer Grössenordnung, welche den Investitionskosten für (günstigen) zusätzlichen Speicherraum entspricht (Fr. 3.- pro m<sup>3</sup> Rückhalteraum). Sie hat energiewirtschaftliche Nachteile, weil unter Umständen weniger Energie erzeugt wird, insbesondere aber, weil Regelleistung verloren geht. Ferner ist die Wirkung nur beschränkt, weil manche Hochwasser zu Zeiten auftreten, wo auch ohne spezielle Massnahmen freies Volumen in den Speichern zur Verfügung stehen würde.

Zu überprüfen ist der Bau von neuen Hochwasserrückhaltebecken oder die Vergrösserung von bestehenden Speichern durch Höherstau nach entsprechender Erhöhung der Talsperren. Neuer Speicherraum kann an günstigen Stellen im Alpenraum für rund Fr. 3.- pro m<sup>3</sup> Volumen und im Mittelland für rund Fr. 12.- bis Fr. 15.- erstellt werden.

Wenn die Hälfte aller Hochwasserschäden eliminiert werden könnten, stünde ein Investitionspotential von 7.5-10 Mio Fr. pro Jahr zur Verfügung. Kapitalisiert mit einem Zinssatz von 6% und einer Nutzungsdauer von 30 Jahren ergeben sich daraus einmalige Investitionskosten von rund 100-140 Mio. Fr.

Damit liessen sich bis zu 50 Millionen m<sup>3</sup> zusätzliches Hochwasserrückhaltevolumen finanzieren. Dieses Volumen entspricht etwa dem heutigen Volumen in Kraftwerksspeichern, welches auch in der ungünstigen Jahreszeit von Juli bis Oktober zur Verfügung steht und zu einer Reduktion der Hochwasser- Abflussspitzen von rund 10-20% führt.

## 7 Quellenverzeichnis

- (1) R. Bischof und J. Vichr, Die Hochwasserkatastrophe fand im Bergell nicht statt  
wasser, energie, luft, 11/12-1987
- (2) F. Naef und M. Jäggi, Das Hochwasser vom 24./25. August 1987 im Urner Reusstal  
wasser, energie, luft, 9-1990
- (3) R. Biedermann et al, Hochwasserschutz im Kanton Wallis, Speicherkraftwerke und  
Hochwasserschutz, wasser, energie, luft, 10-1996
- (4) Hochwasser 2000 – les crues 2000, Berichte des BWG, Serie Waser, Nr. 2, Bern  
2002
- (5) Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern, Mitteilung der Landeshydrologie  
und –geologie Nr. 7, Bern, 1986
- (6) Hydrologie Alpenrhein, Herausgeber Internationale Regierungskommission  
Alpenrhein, Projekgruppe Flussbau, Autoren Ingenieurbüro Heierli AG, Hunziker ,  
Zarn und Partner AG, Tergeso AG, 2004,
- (7) E. Philipp, Hochwasser 1987 der Reuss bei Gurtellen - Sicherheit für die Zukunft,  
Bauausführung - Bauprogramm – Baukosten, wasser, energie, luft, 5/6-1996
- (8) Gemeinden Mels, Flums, Walenstadt, Hochwasserschutz Seez - Schutzkonzept und  
generelles Projekt
- (9) G. Röhliberger, Hochwasser- Schadenskosten, wasser, energie, luft, 3/4-
- (10) Schadenrisiken und Schutzmassnahmen im Alpenrheintal, Herausgeber:  
Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projekgruppe Flussbau, Autoren  
IG Flussbau Alpenrhein, 2004
- (11) Wirtschaftliche Auswirkungen bei Nutzung von Kraftwerks- Saisonspeichern für den  
Hochwasserschutz, Bernhard Sander und Peter Häfliger, Wasser, Energie, Luft, Heft  
9/10, 2003, Baden
- (12) Externe Effekte der Wasserkraftnutzung in der Schweiz, Verbandsschrift Nr. 60,  
Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Baden, 1999

