Zur Hochwassersicherheit von Talsperren

Autor(en): **Biedermann, Rudolf**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **78 (1986)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **03.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-940855

Nutzungsbedingungen

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

Haftungsausschluss

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

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Zur Hochwassersicherheit von Talsperren

Rudolf Biedermann

Eine wichtige Voraussetzung zur bestmöglichen Gewährleistung der Sicherheit einer Stauanlage ist, dass sie für alle auftretenden Last- und Betriebsfälle ausreichend bemessen ist. Dazu gehört auch der ausserordentliche Lastfall Hochwasser, der gemäss der weltweiten Erfahrung die häufigste Ursache von Talsperrenbrüchen ist. Die Forderung nach ausreichender Hochwassersicherheit gilt es aber nicht nur im Rahmen der Projektierung zu beachten. Sie muss auch später immer wieder in Frage gestellt werden, weil keineswegs feststeht, dass die ursprünglichen Bemessungsannahmen unverändert gültig bleiben. Aufgrund neuer Erkenntnisse können Anpassungen der allgemeinen Bemessungskriterien oder der konstruktiven Gestaltung der Hochwasserentlastungsorgane notwendig werden. Es kann anlässlich der Projektierung auch das Bemessungshochwasser unterschätzt worden sein, weil keine ausreichend repräsentativen hydrologischen (oder meteorologischen) Daten zur Verfügung standen. Ferner kann sich die Bewirtschaftung der Stauhaltung im Verlauf der Zeit so geändert haben, dass die Voraussetzungen nicht mehr zutreffen, die der Bemessung zugrunde gelegt wurden. Dies gilt schliesslich auch, wenn die Hochwasserentlastungsorgane nachträglich verändert wurden, sei es durch Anheben der Überfallkante oder durch Sicherung von Saughebern gegen überraschendes Anspringen.

Es gibt also eine ganze Reihe von Gründen, die es rechtfertigen, die Hochwassersicherheit von Stauanlagen von Zeit zu Zeit zu überprüfen. In der Schweiz geschieht dies in jüngster Zeit sehr systematisch, und es wurden bereits in zahlreichen Fällen Mängel erkannt, und zwar vorwiegend bei älteren Anlagen sowie auf der Alpensüdseite, wo sich das Hochwassergeschehen offensichtlich verändert hat. Einige Beispiele werden beschrieben.

1. Einleitung

Stauanlagen sind Bauwerke mit einem hohen Schadenpotential im Bruchfall. Ihre Sicherheit muss deshalb sehr hoch sein. Dies kann bestmöglich gewährleistet werden, wenn

– die Talsperre für alle Last- und Betriebsfälle korrekt bemessen ist *(konstruktive Sicherheit),*

– die Talsperre und ihre Umgebung dauernd so überwacht werden, dass frühzeitig eine allfällige innere oder äussere Gefährdung erkannt wird *(Überwachung)* und schliesslich

– alle geeigneten Vorbereitungen getroffen sind, um eine erkannte Gefährdung bestmöglich beherrschen zu können *(Alarmkonzept).*

Die Gewährleistung der konstruktiven Sicherheit ist sicher primär eine Aufgabe der Projektierung. Es muss aber auch später dafür gesorgt sein, dass sie erhalten bleibt, und zwar einerseits durch korrekten Unterhalt und andererseits durch rechtzeitigen Umbau, falls sich aufgrund neuer Erkenntnisse zeigen sollte, dass Mängel bestehen. Die Überwachung der Anlage sollte deshalb so ausgestaltet sein, dass sie ausser der laufenden Kontrolle des Zustandes und Verhaltens auch eine periodische Überprüfung der konstruktiven Sicherheit einschliesst (Bild 1). Dabei ist vor allem den ausserordentlichen Last- und Betriebsfällen

– Hochwasser

– Erdbeben

– rasche Absenkung (als allfällige Sicherheitsmassnahme im Falle einer festgestellten Gefährdung)

besondere Aufmerksamkeit zu schenken, weil der Stand des Fachwissens diesbezüglich am ehesten fortschreitet.

Ist die Hochwasserentlastung einer Talsperre ungenügend leistungsfähig, wird sie durch zugeschwemmtes Holz (oder auf andere Weise) verstopft oder können bewegliche Organe, die zur Hochwasserableitung benötigt werden, nicht rechtzeitig geöffnet werden, kann der Wasserspiegel über die Krone ansteigen und ein unkontrolliertes Überströmen der Talsperre verursachen. Mag dies bei Betonstaumauern möglicherweise ohne (wesentlichen) Schaden ablaufen, ist bei Staudämmen die Katastrophe in der Regel unvermeidlich.

Eine ungenügende Hochwassersicherheit ist erfahrungsgemäss auch die häufigste Ursache von Talsperrenbrüchen, und es können hiefür nachfolgende Gründe massgebend sein:

– eine ungenügende Bemessung

– ungenügende oder nicht repräsentative hydrologische (oder meteorologische) Daten, die der Bemessung zugrunde liegen,

– eine unzweckmässige Gestaltung der Hochwasserentlastung,

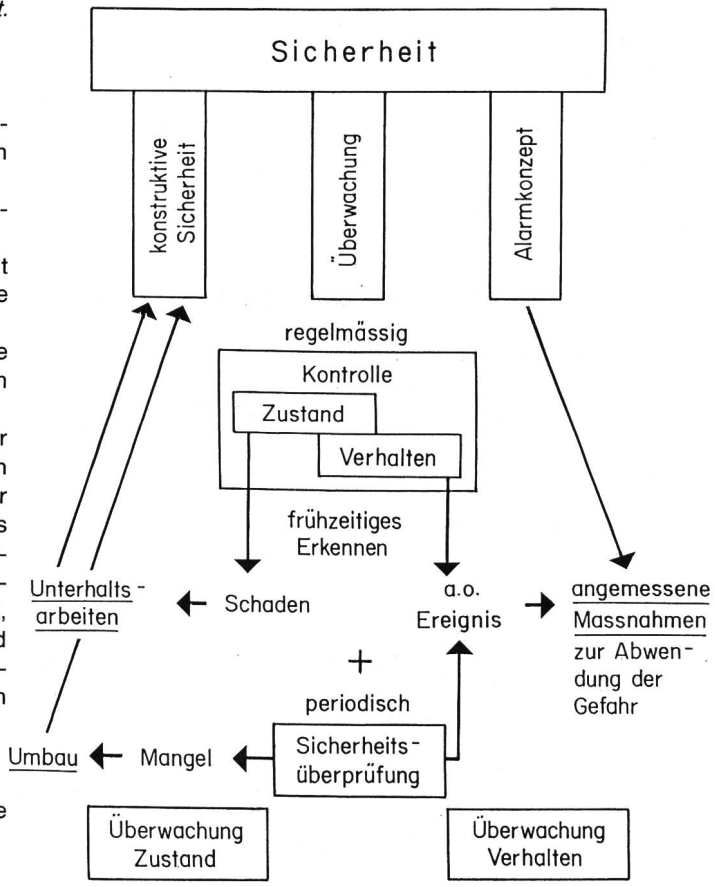
– eine gegenüber der ursprünglichen Planung veränderte Bewirtschaftung des Speichers oder

– eine nachträgliche Veränderung des Hochwasserentlastungsorgans bezüglich Geometrie oder Funktionsweise.

In der Folge sollen diese massgebenden Elemente näher betrachtet und anhand ausgewählter Beispiele gezeigt werden, wie eine ungenügende Hochwassersicherheit saniert werden kann.

Vorgängig sei aber noch darauf hingewiesen, dass selbst bei fachgerechter Bemessung und Gestaltung der Hochwasserentlastung Überraschungen nie ausgeschlossen werden können, sei es, dass ein grösserer Zufluss auftritt

Bild 1. Sicherheitskonzept für Talsperren und Aufgaben der Überwachung.



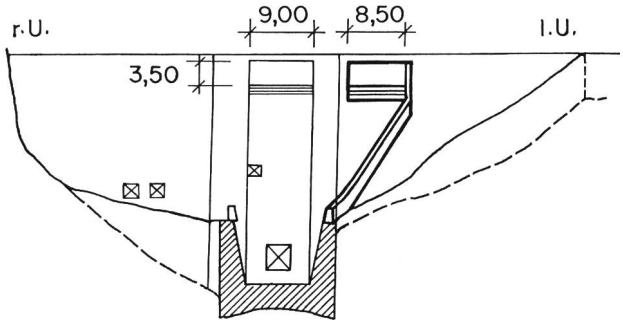


Bild 2. Staumauer Egschi (Safiental, GR). Der 1984 erstellte 8,5 m breite zusätzliche Hochwasserüberfall ist neben dem ursprünglichen, 9 m breiten Überfall angeordnet.

oder mehr bewegliche Organe ausfallen, als der Bemessung zugrunde gelegt wurde. Es ist deshalb wichtig, dass Talsperren im Falle kritischer Hochwasserereignisse vor Ort überwacht werden, damit nötigenfalls von Hand eingegriffen oder noch rechtzeitig eine Evakuation angeordnet werden kann. Der Überwachungsbeginn ist dabei individuell und wohlüberlegt festzulegen, weil der Zugang zur Talsperre während eines extremen Niederschlagsereignisses unter Umständen nicht rasch genug möglich ist (Strassenunterbrechung, kein Helikoptereinsatz).

2. Bemessungskonzept

Vor allem zu Beginn des modernen Talsperrenbaus Ende des 19. Jahrhunderts, aber auch noch während der ersten Dezennien des 20. Jahrhunderts, wurde der Bemessung der Hochwasserentlastungsorgane in der Regel das grösste bekannte Hochwasser zugrunde gelegt. Mangels besserer Kenntnisse des Phänomens Hochwasser konnte kaum anders vorgegangen werden. Erstaunlich ist schon eher, dass meistens keine zusätzlichen Sicherheiten eingeplant wurden. Vielfach wurde für das Bemessungshochwasser ein Wasserspiegelanstieg bis wenige Dezimeter unter die Krone zugelassen und in Fällen, wo die Hochwasserentlastung mit Schützen ausgerüstet ist, nicht in Rechnung gesetzt, dass diese möglicherweise nicht geöffnet werden können.

Unter dem Eindruck von Talsperrenbrüchen wurde im Verlauf der Zeit jedoch immer vorsichtiger bemessen. Insbesondere wurde schon bald einmal dem Zufallscharakter der Hochwasserereignisse Rechnung getragen, vorerst allerdings noch nicht in der heutigen konsequenten Art. Es standen anfänglich auch nur wenige und kurze Datenreihen zur Verfügung. Es kann deshalb nicht verwundern, wenn bei den heutigen hohen Anforderungen bezüglich der Hochwassersicherheit vor allem bei älteren Talsperren (zum Teil erhebliche) Mängel festgestellt werden.

In der Schweiz gelten heute nachfolgende Richtlinien, die, aufeinander abgestimmt, die erforderlichen Kriterien bezüglich

- Bemessungshochwasser
- Ausgangszustand
- Abflussbedingungen und
- Freibord

enthalten.

Für regelmässig bewirtschaftete Speicher wird der Bemessung das 1000jährliche Hochwasser zugrunde gelegt und vorausgesetzt, dass es auf den normal gefüllten Speicher auftreffe. Zur Wasserableitung können grundsätzlich alle verfügbaren Ablassorgane eingesetzt werden, also ausser dem eigentlichen Hochwasserorgan auch der Grundablass, allfällig vorhandene Zwischenablässe und Umleitungen sowie die Triebwasserleitung, letztere allerdings nur mit einer Kapazität, die der Schluckfähigkeit von n −1 Turbinen (oder Pumpen) entspricht. Von allen Ablässen mit beweglichen Verschlussorganen darf jedoch das leistungsfähigste, weil als blockiert angenommen, nicht in Rechnung gesetzt werden. Ferner darf die Triebwasserleitung nur dann einbezogen werden, wenn sichergestellt ist, dass sie auch während des Katastrophenhochwassers eingesetzt werden kann. Gehört der Speicher zu einem Kraftwerk oder Pumpwerk, ist dies nur dann zulässig, wenn das Maschinenhaus auch im Falle eines Katastrophenhochwassers nicht überflutet werden kann und wenn zwei unabhängige Hochspannungsleitungen für die Stromableitung respektive -zuleitung vorhanden sind. Der unter diesen Bedingungen resultierende Höchstwasserstand muss bei Staumauern um wenigstens 0,50 bis 1,00 m, bei Staudämmen um 1,50 bis 3,00 m oder mehr unter der Krone zurückbleiben (= reduziertes oder minimales Freibord; in der Folge abgekürzt als Freibord bezeichnet).

Für Hochwasserrückhaltebecken gelten die gleichen Kriterien wie für den bewirtschafteten Speicher mit der Ausnahme, dass entsprechend der Zweckbestimmung des Beckens vom leeren Speicher ausgegangen wird.

Zusätzlich muss der Pannenfall berücksichtigt werden, bei dem das Hochwasser infolge einer vorherigen Verstopfung des Durchlasses auf ein normal gefülltes Becken auftrifft. Für diesen ungünstigeren (aber meistens massgebenden) Fall wird die Freibordbedingung gelockert, und zwar auf 50% des Wertes im Normalfall.

Das 1000jährliche Hochwasser wurde als Bemessungsbasis gewählt, weil dieses trotz beträchtlicher Unsicherheit (siehe Kapitel 3) noch einigermassen zuverlässig abgeschätzt werden kann. Die Ungenauigkeit der Hochwasserabschätzung und die Möglichkeit, dass ein grösseres Hochwasser als das Bemessungshochwasser auftreten könnte, werden mittels zusätzlicher Sicherheiten, das heisst mittels eines angemessenen Freibords sowie Einschränkungen bezüglich des Einsatzes von Ablassorganen abgedeckt. Das Zugeständnis, auch andere Organe als die Hochwasserentlastung für die Wasserableitung einbeziehen zu können, verlangt, dass diese Organe regelmässig auf ihre Funktionsbereitschaft überprüft werden, und zwar mit Wasserablass und bei (annähernd) vollem Speicher.

Beispiel

Die Hochwassersicherheit der 1949 erstellten und mit einer 50 m hohen Gewichtsmauer abgeschlossenen Stauhaltung Egschi (im Safiental, Graubünden; Stauinhalt 0,4 Mio m^3) wurde 1980 überprüft. Der Spitzenabfluss des 1000jährlichen Hochwassers wurde dabei auf 380 m^3/s geschätzt. Die Retentionswirkung des Speichers ist vernachlässigbar klein. Im ursprünglichen Zustand waren 5 Ablassorgane vorhanden, die unter Berücksichtigung des hier als noch gerade angemessen erachteten Freibords von 0,50 m nachfolgende Abflusskapazitäten aufwiesen:

– freier Überfall (über die Staumauer)	130 m^3/s
– Sommerregulierschütze	41 m^3/s
– Umleitstollen	75 m^3/s
– Grundablass	130 m^3/s
– Triebwasserleitung (2 Turbinen)	6 m^3/s
zusammen	382 m^3/s

Weil das leistungsfähigste der mit beweglichen Verschlüssen versehenen Ablassorgane unberücksichtigt bleiben muss, fällt der Grundablass aus der Rechnung. Ferner muss die Leistung der Triebwasserleitung auf die Hälfte reduziert werden. Es stand somit als «sichere Abflusskapazität» nur eine Leistung von 382−130−3 = 249 m^3/s zur Verfügung (was etwa dem 100jährlichen Hochwasser entspricht). Um

auch das 1000jährliche Hochwasser sicher beherrschen zu können, fehlten 380–249 = 131 m³/s. Die Anlage musste demzufolge mit einem zusätzlichen Ablassorgan von etwa 130 m³/s Leistung ergänzt werden: 1984 wurde ein zweiter freier Überfall erstellt (Bild 2).
Mit allen heute vorhandenen Ablassorganen (also einschliesslich des Grundablasses) und bei randvollem Speicher (das heisst unter völliger Ausschöpfung des Freibords) könnten 560 m³/s oder 147% des geschätzten 1000jährlichen Spitzenzuflusses abgeführt werden. Die Hochwassersicherheit ist somit heute ausreichend gewährleistet.

3. Hydrologische Grundlagen

Selbst wenn lange und für das Abflussgeschehen repräsentative Messreihen zur Verfügung stehen, ist bereits die Extrapolation auf das 1000jährliche (geschweige denn auf ein noch selteneres) Hochwasserereignis mit bedeutenden Unsicherheiten behaftet. Sie vergrössern sich ganz erheblich, wenn die Messreihen, wie dies früher der Fall war, kurz oder für das Hochwassergeschehen nicht repräsentativ sind. Eine periodische Überprüfung der Hochwassersicherheit ist also auch aus dieser Sicht angezeigt.
Ein extremes und deshalb instruktives Beispiel für beide Unzulänglichkeiten bildet die Melezza (im Centovalli, Tessin), wo 1950 bis 1952 die Stauanlage Palagnedra erstellt wurde (E = 137,7 km²). Für die Hochwasserbemessung standen, wie Bild 3 zeigt, nur 9 Beobachtungsjahre (1927 bis 1935) zur Verfügung, die nicht nur völlig ungenügend, sondern ganz offensichtlich auch nicht repräsentativ waren, und zwar auch dann nicht, wenn das Hochwasser von 1978 ausgeklammert wird, das auf spezielle Gegebenheiten zurückzuführen ist. Aufgrund der chronologischen Entwicklung der Spitzenabflüsse seit 1927 (Bild 3), historischer Hochwässer und übereinstimmender Feststellungen an anderen Fliessgewässern im Tessin darf heute mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass das Hochwassergeschehen auf der Alpensüdseite einem langfristigen zyklischen Regime unterworfen sein dürfte. Sein Einfluss nimmt von Westen nach Osten ab.
Stützt man sich, wie im Fall Palagnedra, für die Hochwasserabschätzung auf wenige und erst noch hochwasserschwache Jahre ab, kann das Hochwasser unter Umständen stark unterschätzt werden; das Bemessungshochwasser wird dann zu tief angesetzt. Dies geschah denn auch, indem der Bemessung eine Hochwasserspitze von 450 m³/s zugrunde gelegt wurde, während heute für das 1000jährliche Hochwasser ein Spitzenabfluss von wenigstens 1800 m³/s extrapoliert werden muss.

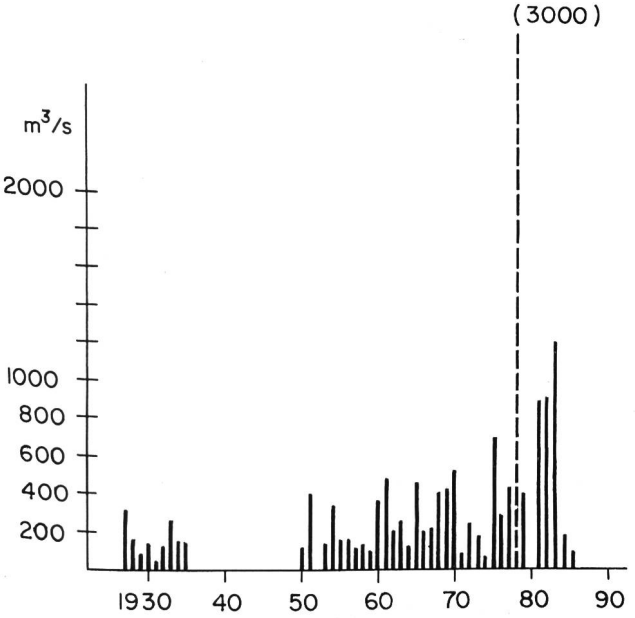


Bild 3. Grösste jährlich beobachtete Spitzenabflüsse der Melezza bei Palagnedra (Tessin).

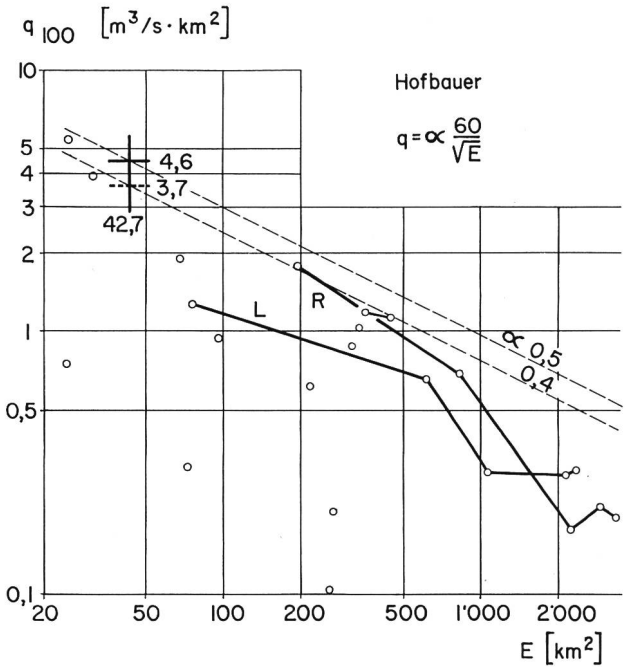


Bild 4. Statistisch ermittelte 100jährliche Spitzenabflüsse bei den Abflussmessstationen der Flussgebiete Reuss (R) und Limmat (L).
Schätzwerte für den Stausee Innertal der Kraftwerke Wägital (4,6 m³/s · km² wahrscheinlicher und 3,7 m³/s · km² tieferer Schätzwert).

Ähnliches gilt für die 1965 fertiggestellte Stauanlage Vogorno im Verzascatal (E = 233 km², Staumauer Contra), für die der 1000jährliche Spitzenabfluss gestützt auf die Datenreihe 1929 bis 1957 (= 28 Jahre) zu 1000 m³/s und 1983 neu zu 2000 m³/s geschätzt wurde.
Das Beispiel Palagnedra ist auch insofern lehrreich, als das Hochwasser vom 7. August 1978 belegt, dass jederzeit auch Überraschungen möglich sind. Der Spitzenabfluss von grössenordnungsmässig 3000 m³/s resultierte, weil infolge ausserordentlichen Holztriebs die Öffnungen der verschiedenen Brücken am Oberlauf der Melezza verstopft wurden, das Wasser sich dort staute, bis die Beanspruchung zu gross wurde, und alle Brücken – kaskadenartig – einstürzten.
Trotz umfangreicheren Datenmaterials ist auch heute die Abschätzung des 1000jährlichen Hochwassers an einer bestimmten Gewässerstelle mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, weil bereits die Basisdaten nicht sehr zuverlässig sind (Schätzwerte aufgrund extrapolierter P-Q-Beziehungen). Oft ist keine nahegelegene und damit repräsentative Abflussmessstation vorhanden, und Daten für kleinere Einzugsgebiete (E < 50 km²) fehlen weitgehend. Um eine ungünstige Kumulation dieser verschiedenen Fehlermöglichkeiten wenigstens teilweise zu vermeiden, empfiehlt es sich, für die Hochwasserabschätzung nicht nur eine einzige, sondern alle Messstationen eines grösseren Gebietes heranzuziehen, wobei den unterschiedlichen meteorologischen, hydrologischen und topographischen Gegebenheiten qualitativ Rechnung zu tragen ist. Am zweckmässigsten erfolgt dies mit Hilfe von Grafiken, wie sie in den Bildern 4 und 5 gezeigt sind. Die eingetragenen Punkte (Bild 4) respektive Linien (Bild 5) sind die Resultate der statistischen Auswertung einzelner Abflussmessstationen. Eine zusätzliche Hilfe können empirische Hochwasserformeln leisten (hier die Formel von *Hofbauer),* indem sie Extrapolationen

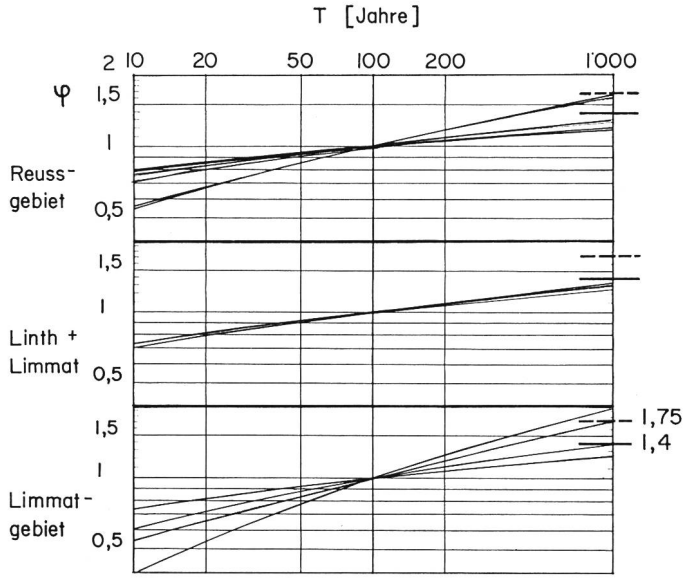


Bild 5. Statistisch ermittelte Verhältniszahlen $\varphi_T = HQ_T : HQ_{100}$ für Abflussmessstationen der Flussgebiete Reuss, Linth und Limmat. (——— Wahrscheinliche Schätzwerte, – – – – – noch vertretbare Schätzwerte für den Stausee Innertal der Kraftwerke Wägital.)

in den Bereich kleinerer Einzugsgebiete erleichtern.
Eine Abstützung der Hochwasserabschätzung auf Niederschläge ist noch ungenauer, weil nur örtliche Messwerte vorliegen und die Retentionswirkung des Bodens nicht zuverlässig abgeschätzt werden kann.

Beispiel

Für die 1922 bis 1924 erstellte zweistufige Kraftwerksanlage Wägital (Bild 6; im Einzugsgebiet der Limmat) wurde 1979/80 die Hochwassersicherheit der beiden Stauhaltungen Innertal (147 Mio m³) und Rempen (0,36 Mio m³) überprüft, und zwar unter Verwendung der Grafiken auf den Bildern 4 und 5. Für Innertal (E_1 = 42,7 km²) ergab die Beurteilung, dass q_{100} zwischen 3,7 und 4,6 m³/s · km² und φ_{1000} zwischen 1,4 und 1,75 liegen dürfte mit wahrscheinlichsten Werten von q_{100} = 3,7 m³/s · km² und φ = 1,75. Für den 1000jährlichen Spitzenabfluss resultierte damit

$$HQ_{1000} = \varphi \cdot q_{100} \cdot E = 1{,}75 \cdot 3{,}7 \cdot 42{,}7 = 275 \text{ m}^3/\text{s}$$

das heisst mehr als das Doppelte der ursprünglichen Annahme von 120 m³/s.
Zur Hochwasserableitung besass die 112 m hohe Gewichtsmauer Schräh einen mit 3 Hubschützen versehenen Überlauf, der bei einem Freibord von 1,50 m maximal 85 m³/s abzuführen vermochte. Als weitere Ablassorgane waren ein Grundablass (18 m³/s) und die Triebwasserleitung (30 m³/s) vorhanden. Weil auch der Grundablass als nicht ausreichend leistungsfähig beurteilt wurde und durch ein neues Organ von 54 m³/s Leistung ersetzt werden sollte, konnte für die notwendige Sanierung der Hochwassersicherheit davon ausgegangen werden, dass der Überlauf uneingeschränkt einsetzbar ist. Durch Reduktion des Freibords auf 0,85 m, hydraulische Verbesserungen des Überlaufs und Anpassung des Wehrreglements gelang es, die verschärften Zuflussbedingungen zu beherrschen, und zwar auch ohne Einsatz der Triebwasserleitung. Der Abfluss erreicht dabei maximal 105 m³/h. Können alle vier Turbinen eingesetzt werden (30 m³/s), steigt der Wasserspiegel im Stausee um 0,15 m weniger hoch an und über den Überfall fliessen in diesem Fall noch maximal 95 m³/s ab.
Für das Ausgleichsbecken Rempen setzt sich der Hochwasserzufluss aus dem Abfluss aus dem Stausee Innertal (maximal 125 m³/s) und dem Abflussaufkommen aus dem Zwischeneinzugsgebiet (E_2 = 22,3 km²) zusammen. Um diesen ermitteln zu können, wurde die empirische Hochwasserformel von *Hofbauer*

$$q = \alpha \frac{60}{\sqrt{E}} \text{ resp. } HQ = \alpha\, 60 \sqrt{E}$$

zu Hilfe genommen, nachdem sie anhand des bereits geschätzten und somit bekannten Spitzenabflusses aus dem Einzugsgebiet E_1 geeicht wurde

$$\alpha = \frac{HQ_{1000}}{60\sqrt{E_1}} = \frac{275}{60\sqrt{42{,}7}} = 0{,}7$$

Es resultierten damit nachfolgende Spitzenabflüsse

Gebiet $E_1 + E_2$	HQ_{1000} = 340 m³/s	(gerechnet)
Gebiet E_1	HQ_{1000} = 275 m³/s	(Ausgangswert)
Gebiet E_1	HQ_{1000} = 65 m³/s	(Differenz)

die für Niederschlagsverhältnisse gelten, bei denen vorwiegend das obere Teileinzugsgebiet E_1 überregnet wird (Fall 1). Es könnte aber auch vorwiegend das untere Teileinzugsgebiet E_2 schwergewichtig überregnet werden (Fall 2). Für diesen Fall ergaben sich folgende veränderte Werte

Gebiet $E_1 + E_2$	HQ_{1000} = 340 m³/s	(gerechnet)
Gebiet E_2	HQ_{1000} = 200 m³/s	(gerechnet)
Gebiet E_1	HQ_{1000} = 140 m³/s	(Differenz)

Im Fall 1 fliessen aus dem Stausee Innertal 125 m³/s ab, im zweiten Fall 70 m³/s. Für den Zufluss zum Ausgleichsbekken Rempen resultierten somit

Fall 1 HQ_{1000} = 125 + 65 = 190 m³/s
Fall 2 HQ_{1000} = 70 + 200 = 270 m³/s

Der Fall 2 ist somit massgebend. Weil die Retentionswirkung des Ausgleichsbeckens Rempen vernachlässigbar klein ist, müssen dort die ganzen 270 m³/s sicher abgeführt werden können.
Die 32 m hohe Gewichtsmauer Rempen besass im ursprünglichen Zustand 8 Ablassorgane mit nachfolgenden Abflussleistungen bei einem Freibord von 1,30 m.
Gemäss Bemessungskonzept fällt die Leistung eines Grundablasses und einer Turbine aus der Rechnung, so dass eine «sichere Abflusskapazität» von 278–90–8 =

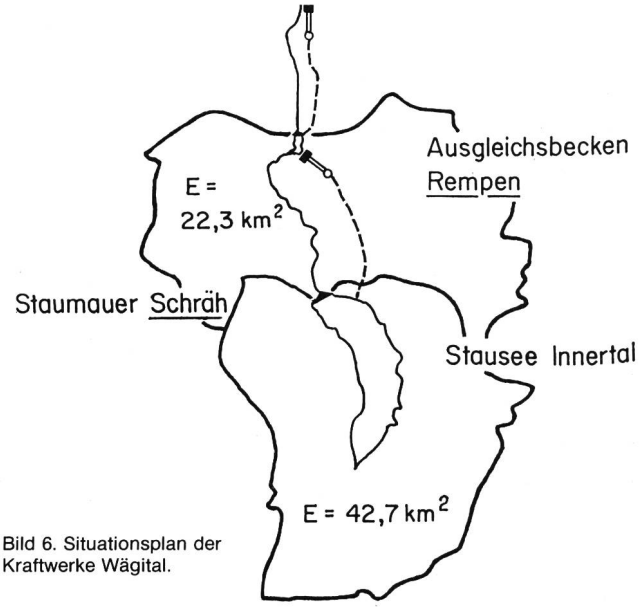
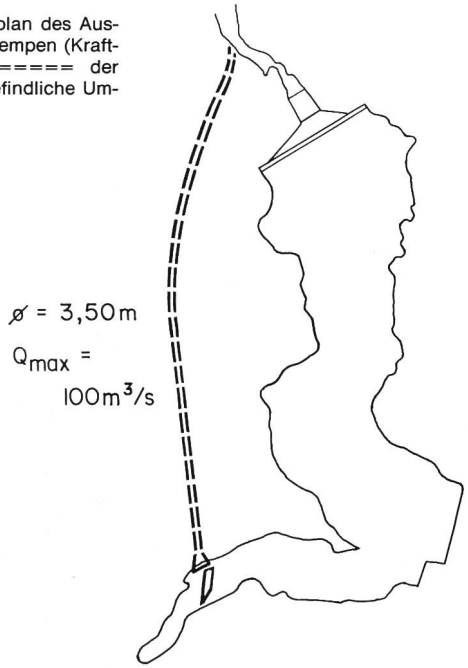


Bild 6. Situationsplan der Kraftwerke Wägital.

Bild 7. Situationsplan des Ausgleichsbeckens Rempen (Kraftwerke Wägital) ===== der derzeit im Bau befindliche Umleitstollen.



2 Saugheber (je 18 m³/s)	36 m³/s
2 Saugheber (je 12 m³/s)	24 m³/s
1 Überfall mit Klappe	6 m³/s
2 Grundablässe (je 90 m³/s)	180 m³/s
Triebwasserleitung (4 Turbinen)	32 m³/s
	278 m³/s

180 m³/s zur Verfügung stand (was etwa dem 100jährlichen Hochwasser entspricht). Es fehlte somit eine Abflusskapazität von 270–180 = 90 m³/s. Deshalb ist ein Umleitstollen von 100 m³/s Abflussvermögen im Bau (Bild 7). Das Hochwasser tritt im Bereich der Stauwurzel in diesen Stollen ein; damit kann gleichzeitig einer Verlandung entgegengewirkt werden.

4. Gestaltungsprinzipien

Es sind unter Umständen auch schwerwiegende konstruktive Mängel möglich, und zwar dann, wenn
- der Holz- und Geschwemmselführung des Gewässers,
- einer allfälligen Vereisung der Hochwasserentlastung,
- dem Kolkschutz oder
- der Kavitationswirkung schiessender Abflüsse nicht ausreichend Rechnung getragen wird.

Auf Kavitation und Kolkschutz wird hier nicht näher eingetreten. Es sind in der Schweiz diesbezüglich kaum grössere Schäden festgestellt worden.

Probleme im Zusammenhang mit Eisbildung sind bisher in einem einzigen Fall bekanntgeworden, und zwar bei der auf 1940 m Höhe gelegenen Stauhaltung Zöt (im oberen Bavonatal, Tessin). Sie besitzt als Hochwasserentlastungsorgan einen Entnahmeturm, dessen Schacht (D = 2,00 m) zuerst senkrecht und dann unter etwa 45° schräg verläuft. Im Bereich der Krümmung wurde Ende August 1983 ein etwa 10 m langer Eispfropfen entdeckt, der im Verlauf des Sommers kaum mehr abgeschmolzen wäre und möglicherweise mehr als ein Jahr alt war. Eine konstruktive Änderung der Hochwasserentlastung wurde jedoch nicht als notwendig erachtet, weil mit einer Kontrolle im Frühling das Eis rechtzeitig erkannt und dann auch entfernt werden kann.

Besonders schwerwiegend kann sich Geschwemmsel und insbesondere Holz (entwurzelte Bäume oder Holz von überfluteten Sägereien) auf die Hochwassersicherheit auswirken, wenn dadurch die Hochwasserentlastung verstopft wird. Diese Gefahr besteht
- bei Überfällen, wenn die Breite der einzelnen Öffnungen weniger als etwa 10 m beträgt,
- bei seitlich angeordneten Entlastungsrinnen, wenn Pfeiler in ungenügendem Abstand auf die Überfallkante aufgesetzt sind (zum Beispiel zur Abstützung einer Überdeckung) oder das anschliessende Vorflutgerinne eine brüske Querschnittsveränderung (zum Beispiel beim Übergang in einen Stollen) oder eine starke Krümmung aufweist,
- bei Entlastungstürmen, wenn der Übergang zwischen Schacht und Stollen stark gekrümmt ist oder ein Rechen direkt auf die Überfallkante aufgesetzt ist.

Engmaschige Rechen vor dem Einlauf einer Hochwasserentlastung (zum Beispiel als Personenschutz angeordnet) sind in jedem Fall gefährlich, weil sie ausser durch Holz auch durch Gras, Blätter usw. verstopft werden können.

Beispiel

Einen besonders extremen Fall erlebten wir 1978 bei der Stauanlage Palagnedra (siehe Kapitel 3), wo anlässlich des grössten bisher aufgetretenen Hochwassers (grössenordnungsmässig 3000 m³/s Spitzenabfluss) dem Becken etwa 25 000 m³/s Holz zuflossen. Weil über die 72 m hohe Bogengewichtsmauer eine Strasse führte und diese im Bereich des freien Überfalls auf Pfeiler abgestützt war (Bild 8 oben), staute sich bei den 5 × 3 m grossen Öffnungen das angeschwemmte Holz. Die Abflusskapazität der ohnehin unterdimensionierten Hochwasserentlastung wurde dadurch ganz erheblich beeinträchtigt. Als Folge stieg der Wasserspiegel um etwa 3 m über die Krone an und überströmte nicht nur die Staumauer, sondern, was besonders kritisch war, auch eine seitlich angeordnete, 45 m hohe und 3 m starke Dichtungswand, die ein epigenetisches Tal abschliesst und luftseitig durch eine Anschüttung gestützt wird. Zum Glück endete das Überströmen und damit die Erosion des Stützkörpers, bevor die Dichtungswand ihre Stabilität verlor.

Zur Sanierung der Hochwassersicherheit wurden die Strasse 60 m flussabwärts verlegt, die Pfeiler auf dem Überlauf entfernt und durch Erhöhung der Staumauer und der Dichtungswand um 4 m die Abflusskapazität von ursprünglich 450 m³/s (Freibord 1,00 m) auf 2200 m³/s (Freibord 1,75 m) erhöht (Bild 8 unten). Weil alle am Oberlauf neu erstellten Brücken jetzt grosse Öffnungen besitzen, dürfte sich das Ereignis von 1978 nicht mehr wiederholen. Immerhin vermöchte die umgebaute Hochwasserentlastung auch den damals aufgetretenen Spitzenabfluss von rund 3000 m³/s noch mit einem verbleibenden Freibord von 0,50 m abzuführen.

5. Veränderte Beckenbewirtschaftung

Anlässlich der Projektierung einer Stauanlage wird die Hochwassersicherheit unter Berücksichtigung der geplanten Bewirtschaftung des Speichers bemessen. Wird diese

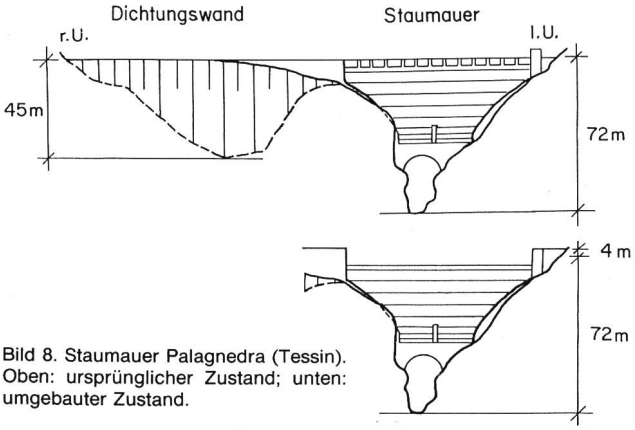


Bild 8. Staumauer Palagnedra (Tessin). Oben: ursprünglicher Zustand; unten: umgebauter Zustand.

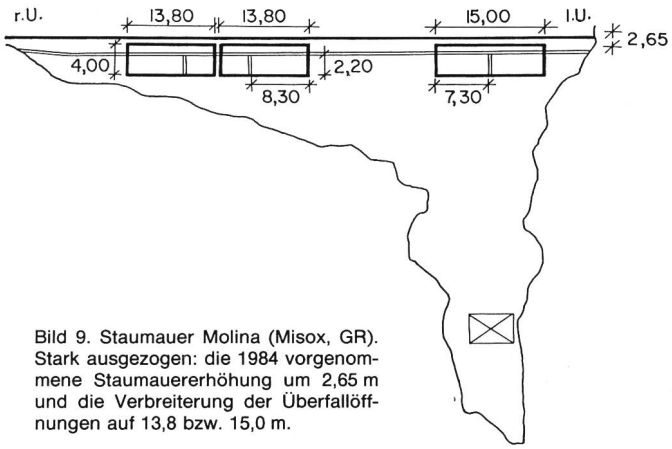


Bild 9. Staumauer Molina (Misox, GR). Stark ausgezogen: die 1984 vorgenommene Staumauererhöhung um 2,65 m und die Verbreiterung der Überfallöffnungen auf 13,8 bzw. 15,0 m.

(entscheidend) geändert, gelten die ursprünglichen Annahmen nicht mehr. Zwangsläufig wird auch die Hochwassersicherheit verändert, und zwar möglicherweise in ungünstigem Sinn.

Beispiel

Für die 1951 erstellte und von einer 52 m hohen Gewichtsmauer abgeschlossenen Stauanlage Molina (im Calancatal, Misox/Graubünden – also auf der Alpensüdseite) war wegen des bedeutenden Geschiebetriebes eingeplant, das Becken nur im Winterhalbjahr zu nutzen. Folgerichtig wurde am Stauende eine klassische Laufwasserfassung erstellt (Sommerfassung) und der Grundablass so gross dimensioniert, dass die Sommerhochwasser ohne Einstau abgeführt werden können (Öffnung 6 × 4 m, Q_{max} = 550 m³/s).

Für den Winterbetrieb wurden im Zentralbereich sowie am rechten Ende der Sperre je ein Hochwasserüberfall angeordnet, die bei einem Freibord von 0,80 m zusammen 250 m³/s Wasser abführen konnten. Bereits nach wenigen Jahren wurde der Betrieb geändert und eine ganzjährige Bewirtschaftung eingeführt.

Die Überprüfung der Hochwassersicherheit im Jahre 1981 ergab einen 1000jährlichen Spitzenabfluss von 600 m³/s. Der Grundablass war also für den ursprünglichen Betriebszustand korrekt bemessen. Beim heutigen ganzjährigen Betrieb muss er wegen des «Prinzips n–1» jedoch aus der Rechnung ausgeklammert werden, so dass nurmehr eine «sichere Abflusskapazität» von 250 m³/s zur Verfügung stand. Durch Erhöhung der Staumauer um 2,55 m im Jahre 1984 wurde die Leistung der beiden Überfälle auf die erforderlichen 600 m³/s vergrössert (Bild 9). Gleichzeitig wurden die Abflussöffnungen von ursprünglich 7,30/8,30 m auf 13,80/15,00 m verbreitert, weil im Hochwasserfall mit der Zufuhr von Holz gerechnet werden muss.

6. Änderung der Hochwasserentlastung

Die Hochwassersicherheit kann auch dadurch beeinträchtigt werden, dass aus bestimmten Gründen Veränderungen an den Hochwasserentlastungsorganen vorgenommen werden. Solche Fälle liegen vor, wenn zur Vergrösserung des Nutzvolumens Staubalken auf Hochwasserüberfälle aufgesetzt werden oder zum Schutz von Personen Saugheber durch Abdecken der Entlüftung am Anspringen gehindert werden. Es wird in beiden Fällen kaum eine andere Lösung geben, als den ursprünglichen Zustand wieder herzustellen.

Adresse des Verfassers: Dr. *Rudolf Biedermann,* Beauftragter für die Sicherheit der Talsperren, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Postfach 2743, CH-3001 Bern.

Schriftliche Fassung eines Vortrages, gehalten an der Tagung «Sanierung von Wasserbauten» vom 12. bis 14. März 1986 in München.

Brauchen wir einen Bundesbeschluss über den Vorbehalt künftiger Restwassermengen?

Stellungnahme des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes an das Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement im Vernehmlassungsverfahren zu einem Entwurf eines Bundesbeschlusses über den Vorbehalt künftiger Restwassermengen (Ende Juni 1986)

Gestützt auf die am 21. Juni 1985 in ein Postulat umgewandelte Motion *Loretan* vom 15. Dezember 1983 schlägt der Bundesrat vor, einen Vorbehalt der zukünftigen Restwasserregelung gemäss der Bundeskompetenz zur Sicherung angemessener Restwassermengen (BV Art. 24bis) in einem Bundesbeschluss zu dekretieren.

Wie wir nachstehend näher ausführen, stünde der vorgeschlagene Bundesbeschluss im Widerspruch zur Verfassung; er griffe in die Gewässerhoheit der Kantone ein, da er eine Verleihung von Wasserrechtskonzessionen für Neubauten, aber ganz besonders auch für bestehende Anlagen de facto verunmöglichen würde. Mit diesem Beschluss würde auch die in der Motion *Bundi* vom 21. Juni 1979 verlangte technische Erneuerung der Wasserkraftwerke stark behindert und in vielen Fällen unzumutbar verzögert. Diese Motion zeigt, dass der Erneuerung der Wasserkraftanlagen und der Bewahrung der Produktionsmöglichkeiten als Ganzes grosses Gewicht beizumessen ist. In der Beurteilung der Angemessenheit allfälliger Restwassermengen hat auch zum Ausdruck zu kommen, dass jede Restwasserdotation die Elektrizitätsproduktion eines Werkes vermindert. Diese Verminderung muss durch anderweitige Bereitstellung (wo? wie?) oder durch Einsparungen (wo? wie?) kompensiert werden. Ebenfalls zu berücksichtigen ist dabei, dass jede Bereitstellung von Energie mit Umweltbelastungen verbunden ist.

Die Sicherung der *angemessenen Restwassermengen* (Art. 24bis BV) bleibt – solange die Gesetzgebungskompetenz durch den Bund noch nicht wahrgenommen wird – Sache der Kantone. Diese sind sich ihrer Verantwortung wohl bewusst und verfügen in ihren Konzessionen auch heute schon angemessene Restwassermengen.

Im einzelnen möchten wir unsere Stellungnahme wie folgt präzisieren:

1. Verfassungsrechtliche Bedenken

a) Eingriff in die Gewässerhoheit der Kantone

Wie der Bericht zum vorgeschlagenen Bundesbeschluss auf Seite 3 ausführt, hatte der Bundesrat gegen die Motion Loretan verfassungsrechtliche Bedenken geäussert. Der Bundesrat hatte in seiner Stellungnahme zu Recht festgestellt, dass die Motion im Ergebnis einen faktischen Konzessionsstopp bewirken und deshalb in die verfassungsmässig garantierte Gewässerhoheit der Kantone eingreifen würde. Das EVED glaubt nun offenbar, mit seinem Vorschlag den vom Bundesrat geäusserten Bedenken Rechnung getragen zu haben. Dies ist jedoch keineswegs der Fall. Wie der begleitende Bericht auf Seite 5 selbst feststellt, bedeutet der Vorbehalt der künftigen Restwassergesetzgebung, dass bezüglich der Nutzwassermenge kein wohlerworbenes Recht begründet und somit das Ausmass der Gewässernutzung nach dem Inkrafttreten der Restwasserbestimmungen dem neuen Recht entschädigungslos angepasst werden kann.