

# Hochwasserschutz durch Hochwasserrückhalt

## Analyse der Rückhaltewirkung von Gebirgs- speicheranlagen im Raum Tirol

von Friedrich Schöberl

### 1 Einleitung

Die jüngsten Extremhochwässer 2002 und 2005 in Österreich ließen teilweise Zweifel an der bisher verfolgten Schutzpolitik aufkommen und regten gleichzeitig Diskussionen über eine Neuausrichtung der Schutzstrategien an. Hochwasserschutz an Fließgewässern kann grundsätzlich durch drei Arten von Maßnahmen erreicht werden, nämlich durch Eingriffe zur Erhöhung der Abflusskapazität des Gewässers (regulierungstechnische Eingriffe), durch Maßnahmen zur Dämpfung von Hochwasserwellen mittels Wasserrückhalt in Seen bzw. Staubecken sowie durch Maßnahmen zur Herabsetzung der Vulnerabilität in vom Hochwasser tangierten Gebieten (Raumplanung und Objektschutz), z.B. Vischer et al (1994). Von allen Möglichkeiten haben Flussregulierungen die am weitesten zurückreichende Tradition, während die beiden anderen Maßnahmenkategorien erst in den letzten Jahrzehnten die ihnen zustehende Beachtung fanden, sich dafür aber immer mehr als unverzichtbare Bausteine eines modernen und integralen Hochwasserschutzes entwickeln, z.B. Schöberl (1994).

Besonders in den alpinen Randlagen fand in den letzten Jahrzehnten verbreitet ein Ausbau von Hochwasserrückhaltebecken statt. Im zentralalpinen Raum kam es parallel zur Errichtung großer Wasserkraftspeicheranlagen, die als Nebenprodukt ihres Speicherbetriebes eine ähnliche Funktion zu Hochwasserrückhaltebecken übernehmen konnten. Der positive Rückhaltebeitrag der Jahresspeicher im Kauner-, Sellraintal sowie im Zillertal konnte durch entsprechende Analysen von Extremhochwässern 1987 bzw. 2005 zweifelsfrei nachgewiesen werden, Tschada und Moschen (1988), Gmeinhardt (1988), Hofer (2005).

In Bezug auf aktuelle Überlegungen zum Bau weiterer Speicherräume in Tirol, siehe Abb. 1, rückt unter anderem auch die Frage in den Vordergrund, welchen Beitrag derartige Speicher zur Reduzierung von Hochwasserwellen in den jeweiligen Einzugsgebieten tatsächlich leisten können.



*Die Forschungsinteressen des seit 2003 am Institut tätigen Ao.Univ.-Prof. DI.Dr. Friedrich Schöberl betreffen schwerpunktmäßig die Bereiche Naturgefahrenprozesse, Wasser- und Sedimenthaushalt sowie wasserwirtschaftliche Fragestellungen*

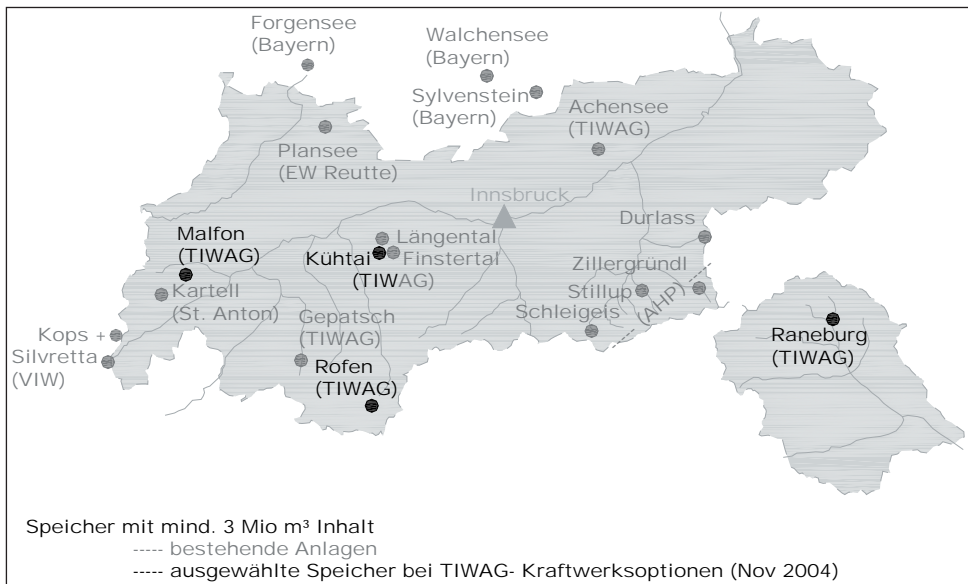


Abb. 1: Übersichtsplan mit bestehenden und in Vorplanung befindlichen Jahresspeichern in Tirol und im unmittelbar angrenzenden Nachbargebiet nach Schöberl/Hofer (2006).

Im vorliegenden Beitrag wird versucht, die Wirkung des Hochwasserrückhaltes von Speicheranlagen für den Tiroler Raum zu quantifizieren. Für diese Aufgabe müssen zunächst die generellen Zuflussbedingungen und die betrieblichen Möglichkeiten unter Beachtung der maßgeblichen Extremszenarien abgeklärt werden.

Eine generelle Beurteilung des Speicherverhaltens im Hochwasserfalle setzt weiters die Kategorisierung der Speicheranlagen voraus. Die Form und die Größe von Speicherräumen ist grundsätzlich von speziellen örtlichen Bedingungen abhängig. Für den Tiroler Raum können aus übergeordneter Sicht jedoch unabhängig von allen individuellen Ausprägungen drei maßgebliche Haupttypen von Speicherräumen identifiziert werden, welche eine jeweils ähnliche Grundkonstellation widerspiegeln. Bezüglich der Randbedingungen lassen sich dabei folgende Varianten unterscheiden:

- a) Typ A: hoch liegende Jahresspeicher in stärker vergletscherten Einzugsgebieten,
- b) Typ B: etwas tiefer liegende Jahresspeicher in geringer vergletscherten bis unvergletscherten Gebieten sowie
- c) Typ C: Ausgleichsspeicher in mittleren Höhenlagen

Die erstrebte Reduzierung des Scheitels einer Hochwasserwelle kann bei Stauseen durch zwei Effekte erreicht werden, welche sich in der Praxis oft überlagern. In vielen Betrachtungen wird der Differenzierung zwischen Auffang- und hydraulischer Reten-

tionswirkung nicht genügend Rechnung getragen und führt in letzter Konsequenz auch zu Missverständnissen und falschen Schlussfolgerungen. Es sind zu unterscheiden:

- das Auffangen einer Hochwasserwelle durch Auffüllung eines noch freien oder dafür freigehaltenen Stauraumvolumens und
- die hydraulische Retentionswirkung, die nach Auffüllung des Nutzspeicherraums beim Anspringen der Hochwasserentlastungsanlage zum Tragen kommt. Bei diesem Retentionsvorgang gelangt Wasser in das Gerinne unterhalb der Talsperre. Die über die Entlastungsanlage abgegebene Welle ist jedoch gegenüber der ursprünglichen Hochwasserspitze gedämpft.

Das Ausmaß der Dämpfung bzw. die damit verbundene Reduzierung der natürlichen Hochwasserspitze wird einerseits von der Größe des Stauraumes und der sich beim Wellendurchgang einstellenden Überfallshöhe, andererseits auch von der Größe und Form der zu erwartenden Hochwasserwelle beeinflusst. Zur Beurteilung der Rückhalteteffekte sind demnach Kenngrößen des Speicherraumes sowie des Hochwasserregimes von entscheidender Bedeutung.

## 2 Maßgebliche Rahmenbedingungen

Generelle Aussagen über das Hochwasserverhalten von Speicheranlagen können nur dann abgeleitet werden, wenn es unabhängig von der jeweiligen Größenkonstellation gelingt, die strukturellen Gemeinsamkeiten der ablaufenden Prozesse aufzudecken. Zum Kenntlichmachen dieser Ähnlichkeiten ist es zweckmäßig, alle relevanten Größen und Beziehungen in Relativgrößen bzw. in Relativbeziehungen umzuwandeln. Dies gilt sowohl für die Hochwasserkenngößen als auch für die Charakteristika der Speicherräume. In Bezug auf die weitergehenden Analysen werden im Folgenden sowohl die hochwasserhydrologischen als auch die speicherspezifischen Grundlagen kurz dargestellt.

### 2.1 Hochwasserhydrologie

Die Beurteilung des Verhaltens von Stauseen während des Ablaufes von Hochwässern ist auf die Kenntnis der spezifischen Abflussbedingungen angewiesen. Die Abflusscharakteristika im Tiroler Alpenraum können durch ein umfangreiches Messstellennetz des Hydrographischen Dienstes, das durch eine erhebliche Anzahl zusätzlicher, meist von EVUs betreuter Messstellen erweitert ist, für praktische Zwecke gut beschrieben werden. Auf Grund der zur Verfügung stehenden Jahresreihen kann nicht nur das mittlere Abflussverhalten, sondern auch das Hochwassergeschehen zutreffend genau erfasst werden.

Eine umfangreiche Analyse der Hochwassersituation unter Anwendung hydrologischer Regionalisierungsansätze wurde von Merz/Blöschl (2003) ausgearbeitet. Auf 100 km<sup>2</sup> Gebietsgröße normierte mittlere Jahreshochwasserspendsen MH<sub>q</sub> erreichen

demnach im Tiroler Raum Größen zwischen 0,15 und 0,8 m<sup>3</sup>/s,km<sup>2</sup>. Die höchsten Werte werden in hoch liegenden und stark vergletscherten Gebieten Osttirols sowie am Alpenhauptkamm angetroffen. Im Mittel liegen die Spenden bei 0.3 bis 0.4 m<sup>3</sup>/s,km<sup>2</sup>. Angaben zum mittleren Jahreshochwasser können auch dem Hydrologischen Atlas entnommen werden.

Einen wichtigen Beitrag zur Analyse liefern Angaben zur Saisonalität der Abflüsse. Merz/Blöschl (2003) verwenden in ihrer Studie als Kriterium für Monatsabflüsse die Größe des Pardè-Koeffizienten der abflussreichsten Doppelmonate (Pk-Werte). Für den Tiroler Raum lassen sich demnach 2 Bereiche unterscheiden: das Drau-Iselgebiet sowie die Zone zwischen Stubai- und Kaunertal mit Pk-Werten von über 2 in den Monaten Juli-August. Im übrigen Raum fallen die höchsten mittleren Monatsabflüsse in die Monate Mai/Juni. Noch einheitlicher verhält sich der Alpenraum bezüglich des Auftretens der höchsten Jahresabflüsse. Bei allen südlich des Inn gelegenen Gebieten sind die Höchstwerte vornehmlich in den Monaten Juli/August zu erwarten. Als Maß für die Variabilität des Auftretenszeitpunkts kann nach Merz/Blöschl der Parameter R herangezogen werden, wobei R = 1 den hypothetischen Fall beschreibt, wenn Hochwässer immer am gleichen Tag im Jahresablauf auftreten würden. Die R-Werte im Tiroler Raum fallen in die Gruppe der höchsten Intensitätsklasse zwischen 0,7 und 1. Allein dieses Ergebnis hat große Bedeutung für die Einschätzung des kritischen Zeitpunktes des Hochwasseraufkommens während der Speicherfüllvorgänge im Sommerhalbjahr.

In Ergänzung zu den regionalen Untersuchungsdaten wurden vom Autor Hochwasserwerte von 10 ausgesuchten Pegeln in erweiterter Form analysiert und dabei darauf geachtet, Gebiete verschiedener Größe, Höhenlage und Vergletscherung zu erfassen. Für diese Pegelstellen wurden nicht nur die Jahreshöchstwerte, sondern auch die jeweiligen Monatshöchstwerte der Monate Juni bis Oktober hochwasserstatistisch nach dem Verfahren von Gumbel ausgewertet. Von Bedeutung ist das Ergebnis, dass die Wahrscheinlichkeitswerte der aus der gesamten Jahresreihe gewonnenen Hochwässer Hüllgrößen für die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Monatswerte bilden, Schöberl (2005). Da die Hochwasserspitzen der Monatsreihen grundsätzlich jene der Jahresreihen gleicher Jährlichkeit unterschreiten, kann daher in erster Näherung allein durch die Verwendung der Jahresreihen, das Auftreten der ungünstigsten Abflussspitzen erfasst werden. Werden die Hochwasserwerte unterschiedlicher Jährlichkeit als Vielfaches des mittleren Jahreshochwassers MHQ ausgedrückt, so können die Aussagen in eine von der Gebietsgröße unabhängige Form gebracht werden. Die auffallende Ähnlichkeit der Relationen ermöglicht dabei die approximative Verwendung von für alle Gebiete einheitlichen Vergleichszahlen.

In Übereinstimmung mit der Regionaluntersuchung von Merz-Blöschl, ergibt die vorliegende Auswertung, dass die Jahreshöchstwerte des Abflusses in den hochgelegenen Einzugsgebieten des Alpenhauptkammes einheitlich im Monat August auftreten,

bei den tiefer liegenden und unvergletscherten Gebieten im Juli, bei den Pegeln im Draugebiet teilweise auch im Juni, sowie im September.

Im Hinblick auf Aussagen über die Beeinflussung der Hochwasserentwicklung in den Tälern unterhalb der Speicheranlagen können die ermittelten mittleren Hochwasserspenden in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße  $E$  weitere wichtige Informationen liefern. Das in Abb. 2 dargestellte Diagramm lässt verschiedene Kategorien des Spendenverlaufes erkennen. Räume mit stark vergletscherten Gebietsanteilen wie Ötz-, Stubai- und Iseltal können durch ein Entwicklungsband mit relativ hohen Spendenwerten beschrieben werden. Etwas geringere Spenden weist der Einzugsbereich der Sanna und das schon von Ableitungen betroffene Restgebiet im Pitztal auf. Zu einer dritten Grobkategorie lassen sich: der Einzugsbereich der Sill, die Resteinzugsgebiete der Melach sowie die Region Villgratenbach-Drau zusammenfassen.

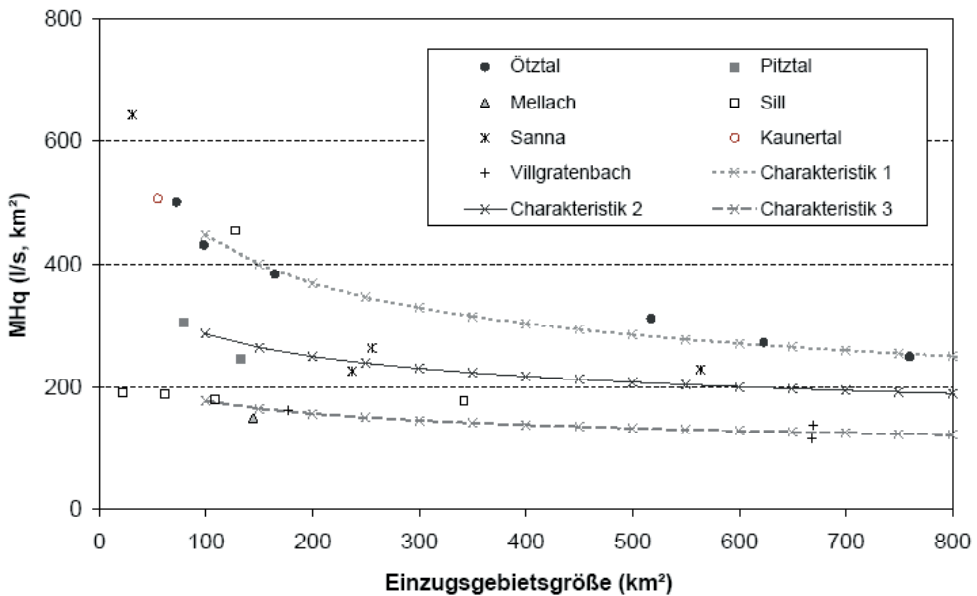


Abb. 2: Mittlere Hochwasserabflussspenden  $MHq$  für verschiedene Tiroler Talräume in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße

Neben den Scheitelwerten des Hochwassers kommt im Hinblick auf den Wasserrückhalt in Speichern der Form der Wellen eine große Relevanz zu. Bezüglich der zeitlichen Charakterisierung von Hochwasserwellen stehen dabei zwei Zeitparameter im Vordergrund:

- a) die Anlaufzeit der Welle  $t_0$  (Zeitdauer bis zum Erreichen des Scheitelwertes)
- b) die Gesamtdauer der Welle  $t_{\text{gesamt}}$  (Zeitdauer bis zum Wiedererreichen des Ausgangswertes).

Bei kleinen Einzugsgebieten und konvektiven Niederschlagsereignissen sind Anstiegszeiten in der Größenordnung der Konzentrationszeit zu erwarten. Im Vergleich dazu kann die Anstiegsphase bei Hochwässern, die durch großräumige advective Niederschlagskonstellationen verursacht werden auffallend länger andauern. Dies kann an Hand der Analyse des oben angeführten bis zum Jahre 2000 reichenden Pegeldatensatzes aufgezeigt werden. Bezogen auf die Periode 1970-2000 wurden die Wellen der Hochwasserereignisse der Jahre 1985, 1987 und 1991 ausgewertet und die Anstiegszeiten und Gesamtdauern ermittelt, siehe Tab. 1.

Zeitparameter von Hochwasserwellen							
		1985		1987		1991	
Pegel	E (km <sup>2</sup> )	t <sub>0</sub> (h)	t <sub>gesamt</sub> (h)	t <sub>0</sub> (h)	t <sub>gesamt</sub> (h)	t <sub>0</sub> (h)	t <sub>gesamt</sub> (h)
Eggeberg	35,2			7,0	100,0	28,5	65,0
Gepatschalm	55,0	19,5	70,0	10,0	40,0	23,0	100,0
Moos	96,8	13,0	45,0	14,5	30,0		
Huben	517,0	23,0	90,0	12,0	55,0	30,0	60,0
M. Tauernhau	59,9	20,0	35,0	32,0	65,0	26,0	40,0
Mühlen	61,5	11,5	65,0	14,5	96,0		
Obergurgl	72,5	24,0	80,0	15,0	35,0	19,0	55,0
Jodok	108,8	24,0	95,0	11,0	60,0		
Vent	164,7	21,0	30,0	12,0	40,0	16,0	40,0
Zwenebach	268,6	25,0	105,0	9,0	120,0	29,0	60,0
Einzugsgebietsgrößenbezogene Wellenparameter							
		1985		1987		1991	
Pegel	E (km <sup>2</sup> )	t <sub>0</sub> <sup>*</sup> (h)	t <sub>gesamt</sub> <sup>*</sup> (h)	t <sub>0</sub> <sup>*</sup> (h)	t <sub>gesamt</sub> <sup>*</sup> (h)	t <sub>0</sub> <sup>*</sup> (h)	t <sub>gesamt</sub> <sup>*</sup> (h)
Eggeberg	35,2			2,0	28,8	8,2	18,7
Gepatschalm	55,0	4,8	17,2	2,5	9,8	5,7	24,6
Moos	96,8	2,6	9,1	2,9	6,1		
Huben	517,0	2,6	10,1	1,3	6,2	3,4	6,7
M. Tauernhau	59,9	4,8	8,4	7,6	15,5	6,2	9,5
Mühlen	61,5	2,7	15,4	3,4	22,7		
Obergurgl	72,5	5,4	17,9	3,3	7,8	4,2	12,3
Jodok	108,8	4,6	18,4	2,1	11,6		
Vent	164,7	3,5	5,0	2,0	6,7	2,7	6,7
Zwenebach	268,6	3,5	14,8	1,3	16,9	4,1	8,5

Tab. 1: Kenngrößen von extremen Hochwasserwellen, ausgewertet für verschiedene Pegelstellen

Die so gewonnenen Anstiegszeiten übersteigen deutlich die rein topographisch bedingten Konzentrationszeiten. Um dem Einfluss der Gebietsfläche Rechnung zu tragen, wurden die Zeitparameter t<sub>0</sub> und t<sub>gesamt</sub> auf eine Vergleichsgebietsfläche von 100 km<sup>2</sup> normiert. Die normierten Werte sind ebenfalls in Tabelle 1 aufgelistet. Damit liegen die Voraussetzungen vor, die maßgebenden mittleren Anstiegs- und Gesamtzeiten für die Einzugsgebiete der 3 Speichertypen abzuleiten, siehe Tab. 2.

Die Abschätzung der Wellenvolumina wird gemäß dem Leitfaden „Zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren“ vorgenommen, Gutknecht et al (2003), und damit nach ABB. 3 in der Phase  $t_{o^*}$  (h) von einem linearen Anstieg des Abflusses bis zum Wellenscheitel und in der anschließenden Phase  $t_{1^*}$  (h) =  $t_{gesamt^*} - t_{o^*}$  von einem exponentiellen Abfall bis zum ursprünglichen Basisabfluss ausgegangen. Mittels der aus der Extremwertbestimmung bekannten Hochwasserscheitelgrößen für 2-jährliche Ereignisse werden unter Variation der Anstiegs- und Abfallzeiten  $t_{1^*}/t_{o^*}$  die Hochwasservolumina in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße E und der Hochwasserjährlichkeit berechnet. Als Basisabflussgröße dient jeweils ein Wert von 0.2.MHq.

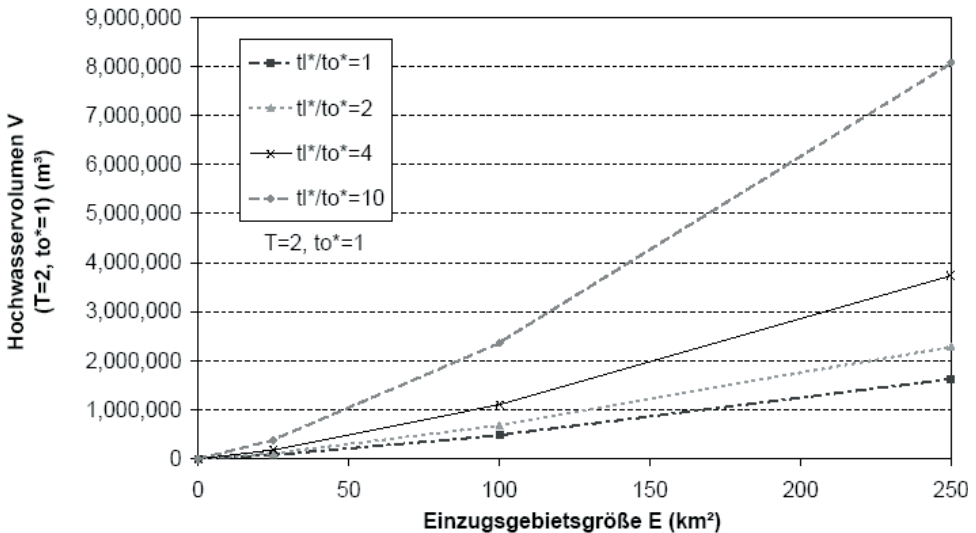


Abb. 3: 2-jährliche Hochwasservolumina in Abhängigkeit von Wellenformparametern und der Größe des Speichereinzugsgebietes

In Abb. 4 sind die ermittelten Hochwasservolumina für beliebige Hochwasserjährlichkeiten T mittels Relativgrößen dargestellt.  $T_0$  bedeutet das als Referenzgröße verwendete Wiederkehrintervall von 2 Jahren und  $V_{T_0}$  kennzeichnet das zugehörige Hochwasservolumen. Die Auswertung für eine Bandbreite speicherspezifischer Einzugsgebiete (A bis C) lässt erkennen, dass die relativen Volumina unterschiedlicher Hochwässer näherungsweise unabhängig vom Speichertyp durch eine Log-Funktion beschrieben werden können, ABB.5. So entspricht das Volumen eines hundertjährigen Hochwassers etwa dem 2-fachen Wert eines 2-jährlichen Ereignisses, ein 1000-jährliches Hochwasservolumen in erster Näherung etwa dem 2.5-fachen Wert eines 2-jährlichen.

Kennt man die zum ungünstigsten Zeitpunkt im Jahr anfallenden Hochwasservolumina, so kann im nächsten Schritt gemäß Punkt 2.2 der jeweils zum Auffangen zur Verfügung stehende Freiraum ermittelt werden.

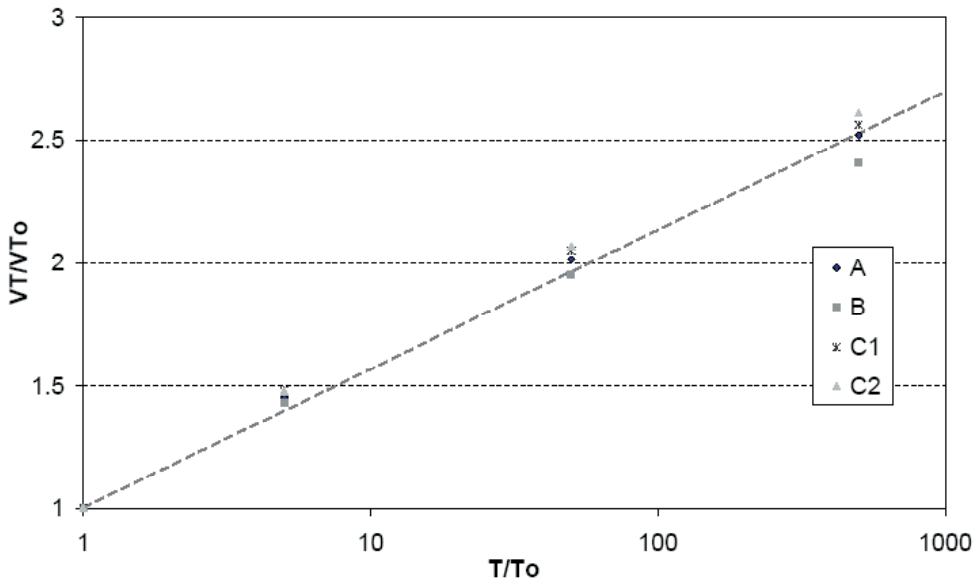


Abb. 4: Relative Hochwasserwellenvolumina in Abhängigkeit von der relativen durchschnittlichen Wiederkehrperiode  $T/T_0$

## 2.2 Stauraumcharakteristika

Von zentraler Bedeutung für die Beurteilung der hydraulischen Dämpfungseigenschaften ist die Kenntnis der Beziehung zwischen Stauhöhe und Nutzvolumen eines Stauesees. Zieht man entsprechende Kenndaten von bestehenden Großspeichern wie Gepatsch, Finstertal und Längental sowie von den projektierten Anlagen heran, so kann der gesuchte Zusammenhang in erster Näherung durch ein quadratisches Polynom in der Form

$$\frac{V}{VN} = a \cdot \left(\frac{H}{HN}\right) + b \cdot \left(\frac{H}{HN}\right)^2$$

beschrieben werden, wobei  $H$  (m) die aktuelle Stauhöhe,  $HN$  (m) die maximale Nutzstauhöhe,  $V$  (m<sup>3</sup>) das aktuelle Stauvolumen,  $VN$  (m<sup>3</sup>) das Nutzstauvolumen bedeuten. Die Koeffizienten  $a$  und  $b$  stellen anlagenspezifische Konstanten dar, die entsprechend anzueichen sind. Für die drei vorgewählten Speicherkategorien lassen sich damit generalisierte Zusammenhänge ableiten, die für die Speichertypen ebenfalls in Tab. 2 zusammengestellt sind.

Hinsichtlich der Füllungscharakteristik ist klar zwischen Jahresspeichern und Kurzzeitspeichern zu unterscheiden. Jahresspeicher sind durch einen jährlichen Zyklus der Füllung zwischen Mai und September und einer Abstauphase zwischen Oktober und Ende April gekennzeichnet. Demgegenüber weisen Kurzzeitspeicher mit Tages- und Wochenausgleich permanente Schwankungen des Stauspiegels ohne saisonale Effekte auf.



Speicherkategorie	VN	HN	a	b	E	E Beileitung	to*	tl*
	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	(m)	(-)	(-)	(km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> )	(h)	(h)
A 1 (größeres E)	120	115	0,11	0,89	75	200	4,4	7,6
A 2 (kleineres E)	60	100	0,05	0,95	20	100	4,4	7,6
B	15	85	-0,05	1,05	20	20	3,2	12,8
C 1 (größeres E)	4	40	-0,05	1,05	400	0	2,6	5,2
C 2 (mittleres E)	4	40	-0,05	1,05	100	0	6,0	6,0

Tab. 2: Stauraum- und hochwasserspezifische Kenngrößen für die untersuchten Speichertypen

Die generelle Verlaufcharakteristik für Jahresspeicher konnte an Hand der Ganglinien der Füllstände für die Speicher Gepatsch und Finstertal zwischen dem Jahr der Inbetriebnahme bis zum Jahr 2004 ausgewertet werden. Die Füllstandsganglinien beider Speicher zeigen ein sehr ähnliches mittleres Verhalten. Das etwas tiefere Füllniveau des Speichers Finstertal ist durch seine spezifischen Anlagenverhältnisse bestimmt. Im Vergleich zum Speicher Gepatsch besitzt der Stauraum Finstertal nur ein geringes eigenes Einzugsgebiet und erhält sein Wasser vorwiegend durch Pumpförderung aus dem tiefer gelegenen Ausgleichsbecken Längental. Der Speicher Gepatsch entspricht hingegen der Anordnung eines klassischen Jahresspeichers mit größerem direktem Beileitungssystem. ABB. 5 zeigt exemplarisch die für den Speicher Gepatsch ausgewerteten Ganglinien des relativen Füllstandes auf. Da hinsichtlich des Stauseeüberlaufes nur der Zeitbereich nahe der Vollfüllung von Interesse ist, kann sich die Analyse ausschließlich auf die Periode Juni bis Mitte November konzentrieren. Vor allem für

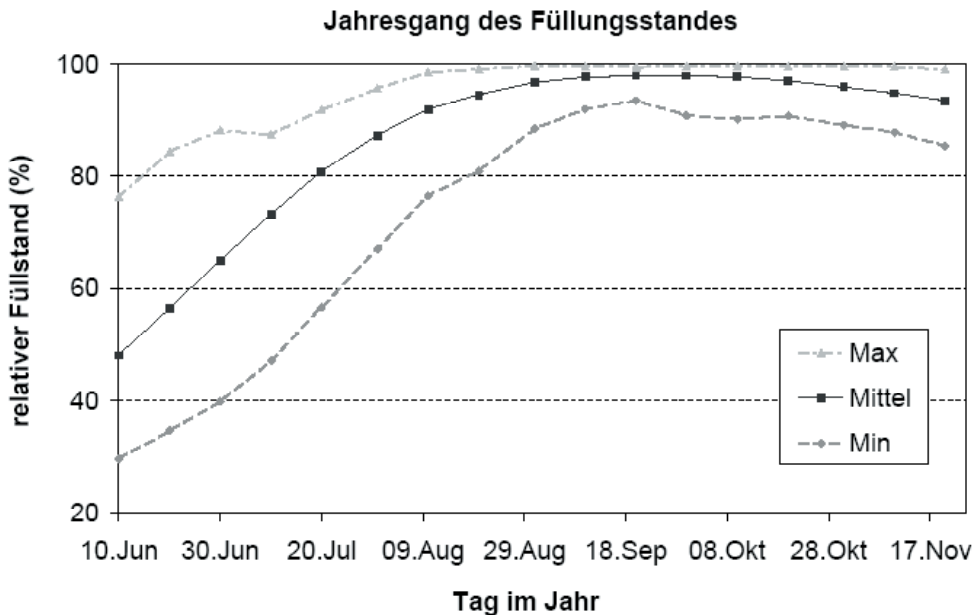


Abb. 5: Typische Füllstandsganglinien von Jahresspeichern, Beispiel Gepatsch

Bemessungsüberlegungen ist es zielführend, die Füllungscharakteristik im Hinblick auf verschiedene Auftretens-konstellationen zu durchleuchten, Schöberl/Hofer (2006). Für die im Folgenden angestrebte Abschätzung der durchschnittlich zu erwartenden Rückhaltewirkung stellt jedoch die in Abb. 5 dargestellte mittlere Füllungsganglinie eine adäquate Bezugsbasis dar.

Da den klassifizierten Speichertypen nach Tab. 2 bestimmte Einzugsgebietsgrößen sowie Nutzvolumina zugeordnet sind, wird es in Abhängigkeit der Nutzraumvolumina nach Abb. 6 möglich, für verschiedene Füllungsgrade der Speicher die Freiraumvolumina zum Auffangen der Hochwasserwellen auf direktem Weg auszuwerten.

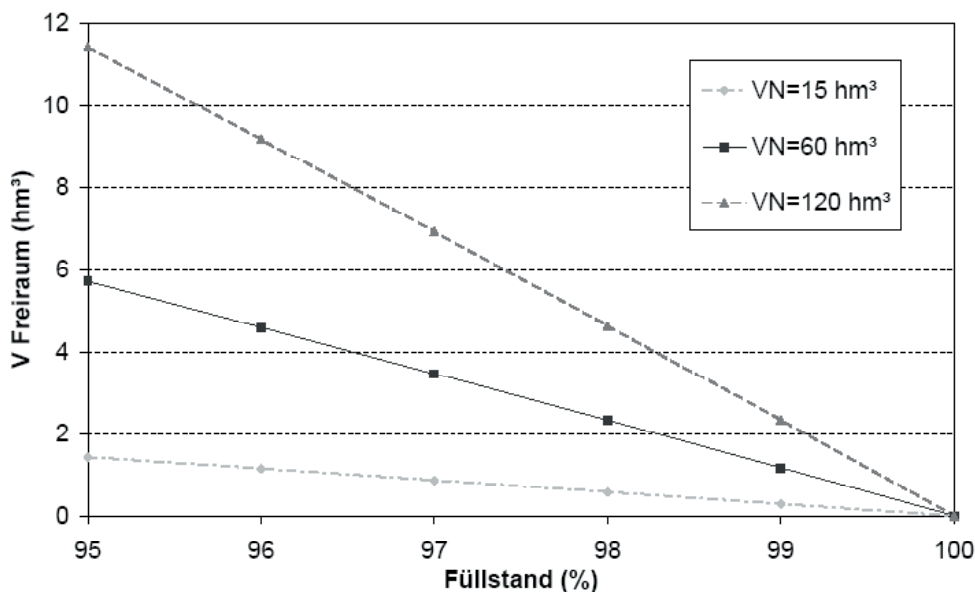


Abb. 6: Freiraumvolumina in Abhängigkeit vom Füllstand und dem Speichernutzvolumen VN

Wird in erster Approximation den in der kritischen Zeitphase auftretenden Jahreshochwässern ein Füllzustand von 98,5 % zugeordnet, ergeben sich daraus in Abhängigkeit vom Nutzvolumen der Speicher für die Kategorie A1 Freivolumina in der Größe von 3,5 Mio m<sup>3</sup> bzw. im Falle von Speichern des Typs A2 1,7 Mio m<sup>3</sup> und für die Kategorie B Freiraumvolumina von ca. 0,45 Mio m<sup>3</sup>. Anders sieht es für die Kategorie C aus, welche die Kurzzeitspeicher kennzeichnet. Für diese ist im Gegensatz zu den Jahresspeichern nach Punkt 2.2 die Vollfüllung bestimmend, womit operationell praktisch kein wirksamer Reserveraum zur Verfügung steht.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, neben den sich bei Jahresspeichern betriebstechnisch ergebenden Freiräumen, darüber hinaus gesonderte, nur dem Hochwasserrückhalt vorbehaltene Reserveräume vorzusehen. Da hierfür eine Erhöhung

der jeweiligen Talsperre erforderlich ist, muss eine Optimierung über Kosten – Wirksamkeitsanalysen erfolgen. Die Umsetzung derartiger Vorsorgemaßnahmen erscheint im Rahmen von zukunftsorientierten, regionalen Schutzüberlegungen aber durchaus prüfenswert.

### 3 Ergebnisse

Bei extremeren Hochwässern, deren Volumen das nutzbare Freiraumvolumen des Speichers übersteigt, kommt im Vergleich zur Auffangwirkung verstärkt die hydraulische Retention zum Tragen. Der Effekt der hydraulischen Retention kann durch simultane Anwendung hydromechanischer Gleichungen in Form der instationären Kontinuitätsbeziehung sowie der Ausflussgleichung für den Speicherauslauf modelliert werden, siehe z.B. Schröder (1994). Für die vorliegenden Berechnungen sind die detaillierten Grundlagen in Schöberl (2005) aufbereitet.

Die Durchrechnung der Retentionswirkung erfolgte für 100-jährliche Hochwasserwellen, ausgehend von den unter Punkt 2.1 ermittelten Hochwasserkenngößen für variierende Einzugsgebietsgrößen und Speicherkategorien. Bekanntlich dient die Größe eines 100-jährlichen Hochwassers im Schutzwasserbau in der Regel zur Festlegung der angestrebten Ausbaugrenze von Regulierungsbauten im Bereich von Siedlungsgebieten und stellt somit eine geeignete Beurteilungsgröße dar.

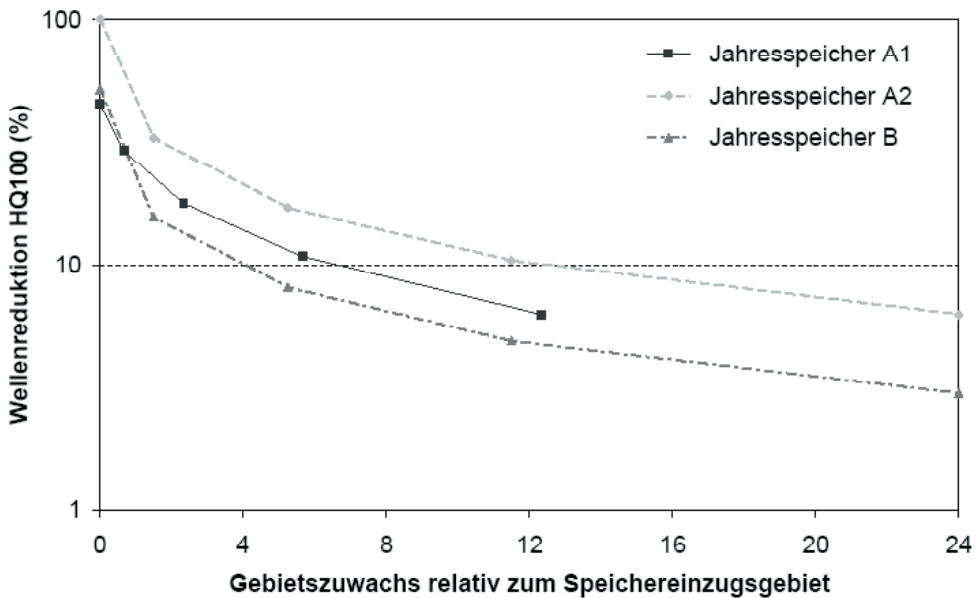


Abb. 7: Wellenscheitelreduktion bei Jahresspeichern in Abhängigkeit vom Gebietszuwachs relativ zum Speichereinzugsgebiet

In der Abb. 7 sind die Ergebnisse für das Retentionsverhalten der Jahresspeicher sowohl für die Sperrenstellen als auch in Abhängigkeit vom Gebietszuwachs flussabwärts der Sperren zusammengefasst.

Speicher der Gruppe A mit kleinem Einzugsgebiet (A2) können eine  $HQ_{100}$ -Welle vollständig abfangen, Speicher der Kategorie A1 und B vermögen die Welle an der Sperrenstelle im Mittel ca. zu 50 % reduzieren. Die erreichbare Dämpfung der Hochwasserspitze muss zwangsläufig mit der Entfernung von der Sperre abnehmen, da sich auf dem weiteren Fließweg auch das vom Speicher nicht kontrollierte Einzugsgebiet vergrößert. Die Wirkung wurde unter Berücksichtigung des Spendenverlaufes nach ABB. 2 für die typischen Einzugsgebiete der Speicherkategorien abgeschätzt. Da einige Talräume wie das Ötztal Gebietsgrößen bis ca. 1000 km<sup>2</sup> erreichen, wurden auch die Berechnungen teilweise bis zu dieser Größenordnung ausgedehnt.

Im Fall der Jahresspeicherkategorie A2 mit totalem Rückhalt eines  $HQ_{100}$  an der Sperrenstelle wird bei einer Verfünffachung der Gesamtgebietsgröße noch eine Reduktion der Hochwasserspitze in der Größenordnung von grob 20% bei einer Verzehnfachung des Gebietes eine Reduktion von über 10 % erreicht, Für Speicher der Kategorien A1 und B halbiert sich im Mittel der entsprechende Dämpfungseffekt In diesen Angaben ist eine mögliche zusätzliche Wellenreduktion durch den Einsatz von Turbinen nicht enthalten.

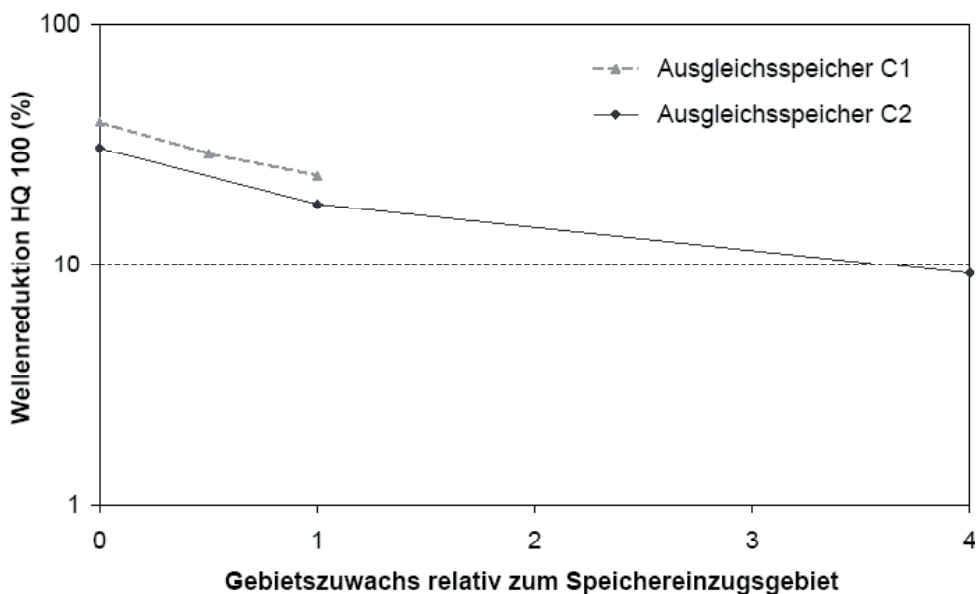


Abb. 8: Wellenscheitelreduktion bei Ausgleichsspeichern bei Pump- oder Turbinenbetrieb in Abhängigkeit vom Gebietszuwachs relativ zum Speichereinzugsgebiet

Im Vergleich zu Abb. 7 vermittelt Abb. 8 die Bedingungen wie sie für Kurzzeitspeicher der Gruppe C gelten. Diese stauen das Wasser aus bereits relativ großen direkten Einzugsgebieten auf und müssen dementsprechend große Hochwasserspitzen und Hochwasserfrachten beherrschen. Infolge der zur Hochwasserwelle vergleichsweise kleinen Speicherfläche ist die rein hydraulische Retentionswirkung vernachlässigbar gering.

Eine Reduktion von Hochwasserwellen kann in diesen Fällen nur durch das Zuschalten von Turbinen und bei kombinierten Systemen durch das Pumpen in höher liegende Jahresspeicher erreicht werden. Bei Pump- oder alternativ durch Turbinenbetrieb wird das  $HQ_{100}$  an der Sperrenstelle bis zu einer Größe zwischen 30 bis 40 % reduziert. Da diese Speicher grundsätzlich in Nähe oder am Beginn des eigentlichen Haupttales situiert werden, kann unter diesen Bedingungen unmittelbar ein Entlastungseffekt für den anschließenden Talbereich spürbar werden. Unterhalb der Sperre ist z.B. bei einem Gebietszuwachs in der doppelten Größe des Speichereinzugsgebietes mit einer Wellendämpfung von ca. 15 % der natürlich auftretenden Wellenspitze, bei Vervierfachung des Gebietszuwachses noch mit ca. 10 % zu rechnen. Bezüglich der Zuschaltung von Turbinen ist unabhängig vom Speichertyp jedoch zu beachten, dass dieser Einsatz individuell auf die Hochwasserwellenentwicklung in den Haupttälern abzustimmen und daher nur schwer generell angebar ist. Die dafür heute zur Verfügung stehenden Methoden der Hochwasserprognose lassen dabei eine gezielte Optimierung des Betriebes im Einklang mit den Erfordernissen des Gesamtgebietes zu, Schöberl et al (2003), Kirnbauer et al (2006), Leonhardt et al (2006).

#### 4 Zusammenfassung

Bei der Abschätzung der Rückhaltewirkung von Speicheranlagen ist eine Vielzahl von Einzelfaktoren zu berücksichtigen. Die in der Arbeit vorgestellte Methode basiert einerseits auf der Klassifizierung der maßgeblichen Einflussgrößen, der Ableitung von wahrscheinlichen Auftretenscharakteristika und von approximativen Beziehungen für die zu erwartenden Wellenformen und Nutzvolumina. Auf Grund der aufgezeigten Zusammenhänge können sowohl die Auffangwirkungen als auch die hydraulische Retentionswirkungen quantifiziert und generelle Größenordnungen für verschiedene Speichertypen mit unterschiedlichen Einzugsgebietsgrößen angegeben werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Retentionsvermögen der Speicher eine im Ernstfall wirksame Entschärfung des natürlichen Hochwassergeschehens in den von Speichern betroffenen Einzugsgebieten ermöglicht. Dieser Sachverhalt wird auch durch die positiven Erfahrungen bei bestehenden Anlagen während Extremhochwässern der letzten Dekaden eindrücklich unter Beweis gestellt. Aus der Sicht eines integrativen Schutzmanagements sollten daher Maßnahmen zum Speicherrückhalt, infolge ihres Beitrages zur Schadensreduzierung von Extremereignissen, ein entsprechender Stellenwert eingeräumt werden.

*Literatur*

- Gmeinhart W. (1988): „Die Hochgebirgstaueisen der Tauernkraftwerke AG als Hochwasserschutzbauten“ ÖZE Jahrgang 41, Heft 8
- Gutknecht D., Blöschl G., Reszler Ch., Merz R. (2003): „Leitfaden zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren – Entwurf“, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie TU Wien
- Hofer B. (2005): Dämpfende Auswirkungen der Speicherkraftwerksanlagen auf den Hochwasserabfluss am Inn - Untersuchungen der Ereignisse vom August 2005 und Juli 1987“, 7. Geoforum Umhausen.
- Leonhardt G., S. Senfter, F. Schöberl, H. Schönlaub (2006): „Ein hybrider Ansatz zur adäquaten Berücksichtigung des Betriebs von Wehr- und Kraftwerksanlagen im Rahmen des Hochwasservorhersagemodells Inn“, Wasserbaukolloquium 2006: „Strömungssimulation im Wasserbau“, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 32
- Kirnbauer R., H. Schönlaub (2006): „Vorhersage für den Inn“, ÖWAV Seminar: „Hochwasservorhersage, Erfahrungen, Entwicklungen & Realität“, Wiener Mitteilungen Band 199, Wien
- Merz R., Blöschl G.: „Regionale Verteilung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten in Österreich“, Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Heft Nr. 82, Wien 2003
- Merz R., Blöschl G.: „Saisonalität hydrologischer Größen in Österreich“, Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes Nr. 82, Hydrographisches Zentralbüro,
- ÖWWV-Arbeitsausschuss Wasserkraftnutzung im Gebirge: „Umweltbeziehungen der Wasserkraftnutzung im Gebirge, Teil 2, Talsperren und Speicher“, Schriftenreihe des Österr. Wasserwirtschaftsverbandes, Heft 87, Wien 1992
- Schöberl F., H. Schönlaub: Efforts towards an improved management of floods and natural hazards by linked research cooperation in Austria, Proceedings of the XXX IAHR Congress, Theme E, 2002
- Schöberl F.: „Hochwasserrückhalt durch Hochgebirgsspeicher, Studie im Auftrag der Tiroler Wasserkraft AG, Innsbruck, unveröffentlicht, 2005
- Schöberl F., B. Hofer (2006): „Hochwasserrückhaltevermögen von Jahresspeichern in Abhängigkeit von der Füllungswahrscheinlichkeit“, Wasserbausymposium: „Stauhaltungen und Speicher - Von der Tradition zur Moderne“, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz, Band 46/1
- Schröder R.: Technische Hydraulik, Kompendium für den Wasserbau, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, Berlin, 1994
- Tiroler Wasserkraft AG: „Optionenbericht über mögliche Standorte künftiger Wasserkraftnutzung in Tirol“, Eigenverlag, November 2004
- Tschada H., Moschen H.: „Die Hochwasserschutzfunktion der Speicherkraftwerke der Tiwag“, ÖZE Jahrgang 41, Heft 8, 1988
- Vischer D., Hager W.: Hochwasserrückhaltebecken, vdf-Verlag, 1992