



Wien, September 2021

[www.waterresources.at](http://www.waterresources.at)

## **Endbericht zum Projekt**

### **Wirksamkeit Alpiner Kraftwerkspeicher für den Inn**

Jürgen Komma und Günter Blöschl

Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie

Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, 1040

Wien, September 2021

Im Auftrag des Amtes der Tiroler  
Landesregierung



## 1. Hintergrund und Kontext

In einem Vorgängerprojekt (Auswirkung Alpiner Retention auf die Hochwasserabflüsse des Inn, *AlpRetInn*; Blöschl et al., 2017) hatte die TU Wien mittels stochastischer hydrologischer Modellierung gezeigt, dass die Wirksamkeit kleiner alpiner Rückhaltebecken für die Reduktion der Hochwasserabflüsse am Inn gering ist. Bei Errichtung von 130 potentiellen Rückhaltebecken im alpinen Raum mit einem gesamten Volumen von 21,2 Millionen Kubikmetern könnte am Pegel Oberaudorf der Scheitel eines 100-jährlichen Hochwassers nur um ca. 1,7% reduziert werden. Die geringe Wirkung liegt vor allem daran, dass in Tirol der Niederschlag bei Hochwässern sehr uneinheitlich verteilt ist. Dadurch entstehen beim gleichen Ereignis in manchen Seitentälern große Hochwasserdurchflüsse, in anderen Tälern jedoch viel kleinere. Das bedeutet, dass die Becken in den Seitentälern selbst zwar eine große lokale Wirkung entfalten können, für den Inn jedoch immer nur ein kleiner Teil der Becken gleichzeitig wirksam ist, wodurch ihre gemeinsame Wirkung insgesamt sehr klein ausfällt.

In der gegenständlichen Studie wird die Auswirkung der Erweiterung zweier Kraftwerksanlagen im Kaunertal und im Kühtai auf die Hochwassersituation am Inn untersucht. Während im Vorgängerprojekt potentielle (derzeit nicht existierende) Anlagen untersucht wurden, handelt es sich bei dieser Studie um die aktuelle Erweiterung von bestehenden Speicherbauwerken und Beileitungssystemen.

## 2. Ziel des Forschungsprojektes

Das Ziel dieses Forschungsprojektes besteht darin, die Wirksamkeit von im Bau bzw. im UVP-Verfahren befindlichen Erweiterungen von Kraftwerksanlagen (Speicher und Bei- und Überleitungen) auf den T-jährlichen Hochwasserabfluss des Inn zu bestimmen, wobei konkret die Auswirkung der Erweiterungen der Kraftwerksgruppe Kaunertal und Kühtai untersucht werden. Die Jährlichkeit T wird in einem Bereich von 10 bis 1000 Jahren untersucht, einschließlich 100 Jahre (d.h. das HQ<sub>100</sub>). Die Wirksamkeit wird ausgedrückt als prozentmäßige Reduktion des T-jährlichen Hochwasserabflusses des Inn.

## 3. Daten

Für die Durchführung des Projektes wurden folgende Daten vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt:

- Genaue Standorte und Volumina der zusätzlichen Speicher, sowie weitere Kenngrößen soweit vorhanden
- Lage, Fläche und Ausbauwassermenge der zusätzlichen Wasserfassungen
- Hydrologische Daten (bereits aus Vorgängerprojekten vorhanden)

## 4. Methodische Vorgangsweise

Die Vorgangsweise folgt dem Vorgängerprojekt *AlpRetInn*, in dem sich die Methoden gut bewährt haben. Es werden Monte Carlo Simulationen mit einer Modellkette durchgeführt, die die folgenden Teilschritte umfasst:

- Stochastische Generierung von räumlichen verteilten Niederschlagszeitreihen
- Niederschlag-Abflussmodellierung zur Umlegung der Niederschläge auf Abflussbildung, Abflusskonzentration und Wellenablauf in den Teilgebieten
- Modellmäßige Implementierung der Rückhaltemaßnahmen
- Variantenstudien zur Bestimmung der Wirksamkeit der Kraftwerksprojekte auf den Hochwasserrückhalt am Inn

Die Modellkomponenten wurden bereits im Vorgängerprojekt *AlpRetInn* ausführlich getestet. In diesem Projekt wurden anstelle der 130 dezentralen Rückhaltebecken zusätzliche Speicher und Überleitungen im Kaunertal und Kühtai in die bestehende Modellstruktur implementiert. Alle anderen Modellkomponenten werden aus der Konfiguration der hydrologischen Modellkette des Projekts *AlpRetInn* übernommen.

### 4.1 Implementierung der Wasserfassungen im hydrologischen Modell:

Die Einzugsgebiete der Speicher Punt dal Gal (Livigno Stausee) und Ova Spin in der Schweiz, sowie der Speicher Kartell, Gepatsch, Längental, Finstertal, Schlegeis, Stillup, Zillergründl, Durlaßboden und Gmünd wurden im Projekt *AlpRetInn* ausgewiesen, und als nicht abflusswirksam betrachtet, d.h., die Speicher wurden als immer ausreichend groß angenommen, um das zufließende Wasser vollständig aufzunehmen. Weiters wurden in *AlpRetInn* Informationen über die Ausbauwassermengen und kritischen Durchflüsse von 55 Wasserfassungen im Modell berücksichtigt. Die gleichen Annahmen wurden in diesem Projekt getroffen (Variante Bestand). Ein Übersichtsplan der bestehenden Speicher und Wasserfassungen ist in Abbildung 1 dargestellt. Die vergrößerte Darstellung in Abbildung 1 zeigt die Bestands situation im Kaunertal und Kühtai, welche die Ausgangsbasis für die Retentionsbetrachtungen in diesem Projekt ist. Zusätzlich sind in Tabelle 4.1.1 die für die gegenständliche Studie relevanten Wasserfassungen aufgelistet. Dabei sind neben den Ausbauwassermengen  $Q_{AWM}$  auch die kritischen Durchflüsse  $Q_{krit}$  der Fassungen angegeben. Diese Durchflüsse sind für den Hochwasserfall maßgebend, da bei Erreichen dieses Wertes kein Wasser mehr eingezogen wird.

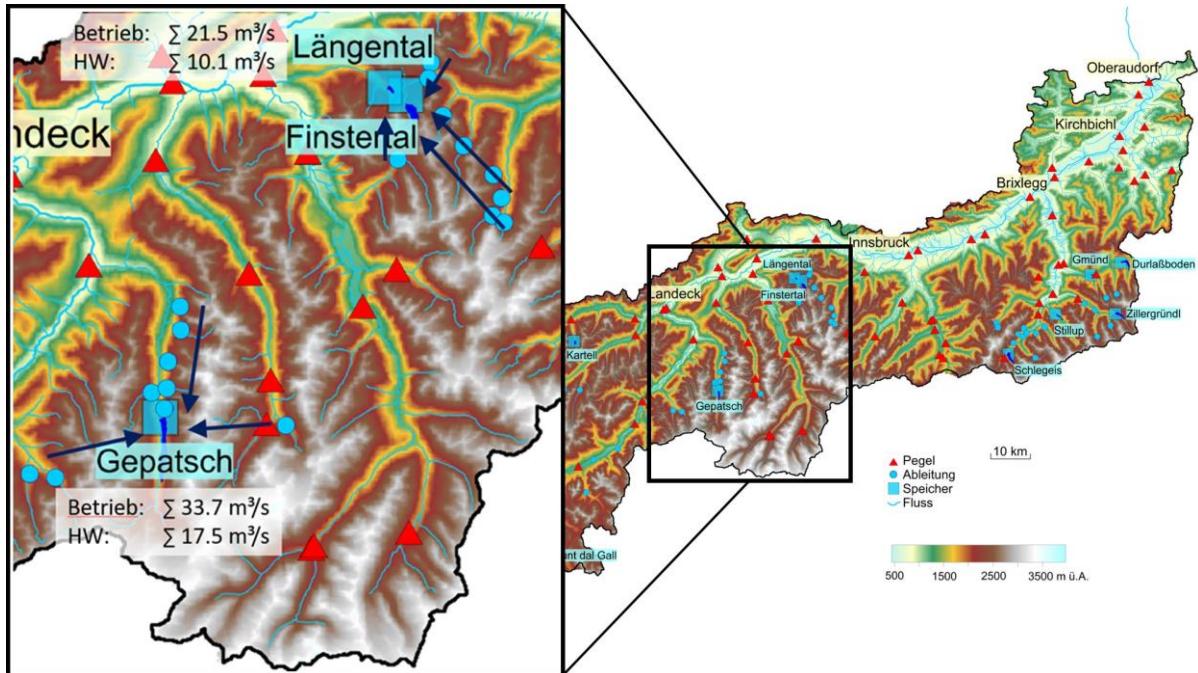


Abb. 4.1.1: Bestehenden Speicher und Wasserfassungen wie in *AlpRetInn* und in einer Variante des vorliegenden Projektes (Bestand) berücksichtigt. Zahlen geben die maximalen Durchflüsse der Wasserfassungen (Summe der  $Q_{AWM}$ ) an.

Tabelle 4.1.1: Zusammenschau der berücksichtigten Wasserfassungen und Speicher für das Projekt Ausbau Kraftwerk Kaunertal (Bestand).

Speicher	Fassung - Beileitung	$Q_{AWM}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{krit}$ [m <sup>3</sup> /s]
Speicher Gepatsch	Taschachbach	12.1	42.0
Speicher Gepatsch	Pitze / Pitzbach	5.4	10.0
Speicher Gepatsch	Verpeilbach	2.5	2.5
Speicher Gepatsch	Wazebach	1.4	1.4
Speicher Gepatsch	Madatschbach	0.8	0.8
Speicher Gepatsch	Fissladbach	2.3	2.3
Speicher Gepatsch	Gsallbach	0.8	0.8
Speicher Gepatsch	Nauderer Tscheybach	3.0	3.0
Speicher Gepatsch	Rostitzbach	1.0	1.0
Speicher Gepatsch	Radurschlbach	4.4	4.4
Speicher Längental	Alpeinerbach	5.0	10.5
Speicher Längental	Fernaubach	3.0	3.0
Speicher Längental	Beileitung Horlachbach - Ötztal	5.1	7.4
Speicher Längental	Kraspesbach	1.0	1.0
Speicher Längental	Lüsenerbäche	0.8	0.8
Speicher Längental	Schöntalbach	0.5	0.5
Speicher Längental	Beileitung Stockach- oder Zirmbach	1.0	1.0
Speicher Längental	Beileitung Klammbach	0.8	0.8
Speicher Längental	Moarler- und Schefalmbach	0.8	0.8
Speicher Längental	Gleirschbach	3.5	3.5

Für die bestehenden Wasserfassungen und Beileitungen liegen folgende Informationen vor:

- Lage und Name der Wasserfassung,
- Speicher, in den das Wasser geleitet wird,
- Ausbauwassermenge  $Q_{AWM}$  (m<sup>3</sup>/s) (maximale Entnahmemenge)
- kritischen Durchfluss  $Q_{krit}$  (m<sup>3</sup>/s) bei der die Wasserfassung abgekehrt wird.

Mit Ausname von 4 Wasserfassungen sind die  $Q_{AWM}$  und  $Q_{krit}$  identisch (siehe Tabelle 4.1.1). Im hydrologischen Modell wurden die Wasserfassungen wie in Abbildung 4.1.2 dargestellt implementiert.

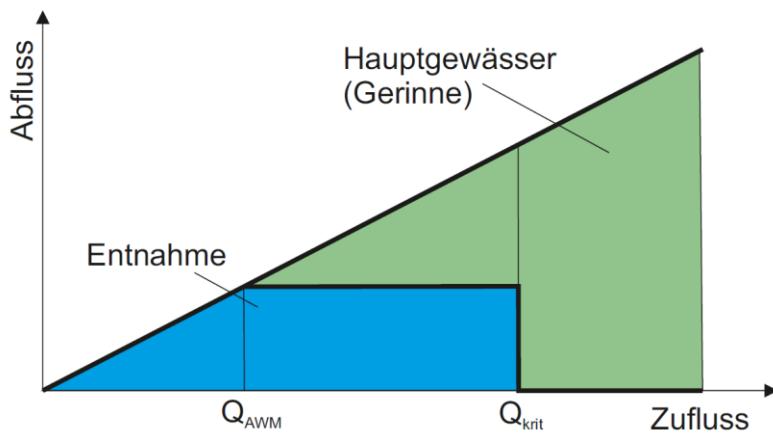


Abbildung 4.1.2: Funktionsprinzip der bestehenden Wasserfassungen

- Ist der Zufluss zur Wasserfassung kleiner als die Ausbauwassermenge, so wird bis auf die Restwassermenge das gesamte Wasser einzogen.

$$\begin{array}{lcl} \text{Falls } Q_{Zufluss} < Q_{AWM} & \rightarrow & Q_{Entnahme} = Q_{Zufluss} \\ & & Q_{Gerinne} = 0 \end{array}$$

- Ist der Zufluss größer als die Ausbauwassermenge aber kleiner als die kritische Entnahmemenge, so wird dem Gerinne die Ausbauwassermenge entnommen und der um diese Ausbauwassermenge verminderte Abfluss bleibt im Gerinne.

$$\begin{array}{lcl} \text{Falls } Q_{AWM} < Q_{Zufluss} < Q_{krit} & \rightarrow & Q_{Entnahme} = Q_{AWM} \\ & & Q_{Gerinne} = Q_{Zufluss} - Q_{AWM} \end{array}$$

- Ist der Zufluss größer als die kritische Entnahmemenge, gehen die Fassungen außer Betrieb. Dem Gerinne wird kein Wasser entnommen und die gesamte Wassermenge bleibt im Hauptgerinne.

$$\begin{array}{lcl} \text{Falls } Q_{krit} < Q_{Zufluss} & \rightarrow & Q_{Entnahme} = 0 \\ & & Q_{Gerinne} = Q_{Zufluss} \end{array}$$

Bei Wasserfassungen, für die  $Q_{AWM}$  und  $Q_{krit}$  identisch sind, entfällt der zweite Punkt und es wird entweder das gesamte Wasser eingezogen oder es verbleibt das gesamte Wasser im Hauptgerinne.

Die größte Kapazität hat dabei die Wasserfassung Taschach zum Speicher Gepatsch, bei der eine Ausbauwassermenge von  $12,1 \text{ m}^3/\text{s}$  bis zu einem Durchfluss von  $42,0 \text{ m}^3/\text{s}$  genutzt werden. Zusätzlich übersteigt die maximal entnehmbare Wassermenge die Ausbauwassermenge noch an drei kleineren Überleitungen zu den Speichern

Gepatsch und Längental um 2 bis 5 m<sup>3</sup>/s. Im Fall von starker Überregnung tragen große Teile der gefassten Einzugsgebiete nicht zur Abflussreduktion bei, weil über  $Q_{krit}$  kein Wassereinzug erfolgt. Für sämtliche Analysen in dieser Studie bleiben diese Annahmen unverändert.

### **- Erweiterung des bestehenden Modells**

Ausgehend von der bestehenden Modellversion (Bestand) erfolgt in gegenständlicher Studie die Adaptierung der relevanten Modellkomponenten entsprechend den geplanten bzw. im Bau befindlichen Erweiterungen der Kraftwerkssysteme Kaunertal und Kühtai. Im Folgenden wird beschrieben welche Anlagenteile hinzukommen und wie diese in das bestehende Modellierungssystem integriert wurden:

- Sowohl die bestehenden als auch alle neuen Bei- und Überleitungen werden im Modell abgebildet.
- Speicherbauwerke werden als voll wirksam angesetzt, d.h. das freies Volumen reicht aus, die Hochwasserwelle vollkommen aufzunehmen.
  - ACHTUNG: Diese Annahme hat zur Folge, dass hier vom Idealfall aus Sicht des Hochwasserschutzes ausgegangen wird, und die errechneten Simulationsergebnisse das theoretisch erreichbare Reduktionspotential beschreiben. In der Praxis kann sich, in Abhängigkeit von den tatsächlich freien Speichervolumina und dem Volumen der Zulaufwelle, die Reduktionswirkung im Einzelfall verringern.
- Die Reduktion der Hochwasserscheitel ergibt sich durch
  - die Wirkung der Bei- und Überleitungen und
  - den Rückhalt der neuen Speicher.
- Drei neue Szenarien werden berechnet
  - beide Projekte (Kaunertal, Kühtai) sind wirksam
  - nur Ausbau Kaunertal ist wirksam
  - nur Ausbau Kühtai ist wirksam

Im hydrologischen Modell wurden die neuen Wasserfassungen wie in Abbildung 4.1.3 dargestellt implementiert.

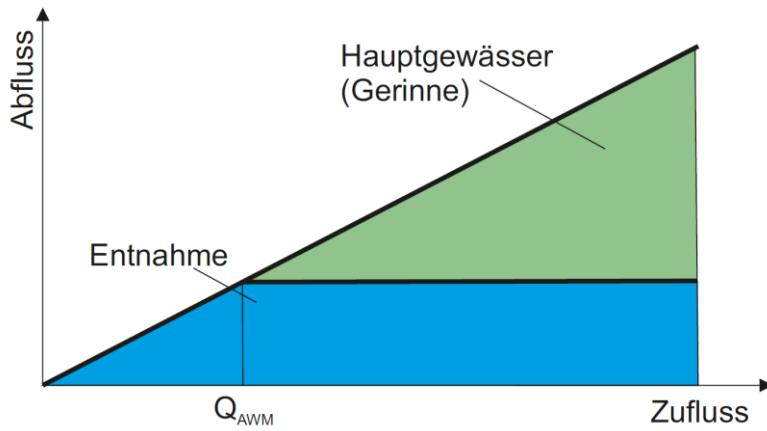


Abbildung 4.1.3: Funktionsprinzip der neuen Wasserfassungen

Somit kommt es an den Berechnungsknoten des hydrologischen Modells zu folgenden Fallunterscheidungen (analog zum bestehenden Modell *AlpRetInn*):

- 1.) Der simulierte Abfluss  $Q_{Zufluss}$  an der Wasserfassung ist kleiner (oder gleich) als die Ausbauwassermenge  $Q_{AWM}$  → der gesamte simulierte Abfluss  $Q_{Zufluss}$  wird eingezogen und dem ursprünglichen Fließweg entzogen.

$$\begin{aligned} \text{Falls } Q_{Zufluss} < Q_{AWM} \rightarrow Q_{Entnahme} &= Q_{Zufluss} \\ Q_{Gerinne} &= 0 \end{aligned}$$

- 2.) Der simulierte Abfluss  $Q_{Zufluss}$  an der Wasserfassung ist größer als die Ausbauwassermenge  $Q_{AWM}$ .

- die Ausbauwassermenge  $Q_{AWM}$  wird eingezogen und dem ursprünglichen Fließweg entzogen; die Überwassermenge  $Q_{Über}$  verbleibt im ursprünglichen Fließweg:

$$\begin{aligned} \text{Falls } Q_{Zufluss} > Q_{AWM} \rightarrow Q_{Entnahme} &= Q_{AWM} \\ \rightarrow Q_{Über} &= Q_{Zufluss} - Q_{AWM} \end{aligned}$$

Zusammenfassend kann die Wirkungsweise der abgeleiteten Gebietsteile wie folgt beschrieben werden:

- Scheitelreduktion entsprechend dem Flächenanteil bei gleichmäßiger Überregnung
- Zunahme der Reduktionswirkung bei stärkerer Überregnung (bis zum Erreichen von  $Q_{AWM}$ )

- Abnahme der Reduktionswirkung wenn Ausbauwassermenge überschritten wird ( $Q_{\text{über}}$  wird nicht zurückgehalten)

### **Ausbau Kraftwerk Kaunertal (AK)**

Zusätzlich zu den bestehenden Kraftwerkskomponenten werden ein neuerrichtetes Sperrenbauwerk im Platzertal sowie ein umfangreiches System an Wasserfassungen im hinteren Ötztal für zusätzliche Kraftwerke berücksichtigt. Folgende Kraftwerkskomponenten sind vorgesehen:

- Ein neuer Speicher im Platzertal
- Oberstufenkraftwerk Versetz
- Unterstufenkraftwerk Prutz 2
- Überleitungsstollen aus dem hinteren Ötztal
- Wasserfassungen (hinteres Ötztal)
- Speicher Gepatsch (bestehend): 140 Mio. m<sup>3</sup>
- Speicher Platzertal (neu): 42 Mio. m<sup>3</sup>

In Abbildung 4.1.3 ist ein Übersichtsplan zum Projekt Ausbau Kraftwerk Kaunertal der TIWAG dargestellt. Neben den bestehenden Wasserfassungen sind auch die geplanten Wasserfassungen samt zugehörigen Einzugsgebieten dargestellt (rot hinterlegte Flächen). Neben dem direkten Einzugsgebiet des neu errichteten Speichers Platzertal werden weiträumige Einzugsgebiete an der Venter und Gurgler Ache gefasst. Der neue Speicher im Platzertal wird über ein Stollensystem mit dem Speicher Gepatsch verbunden.

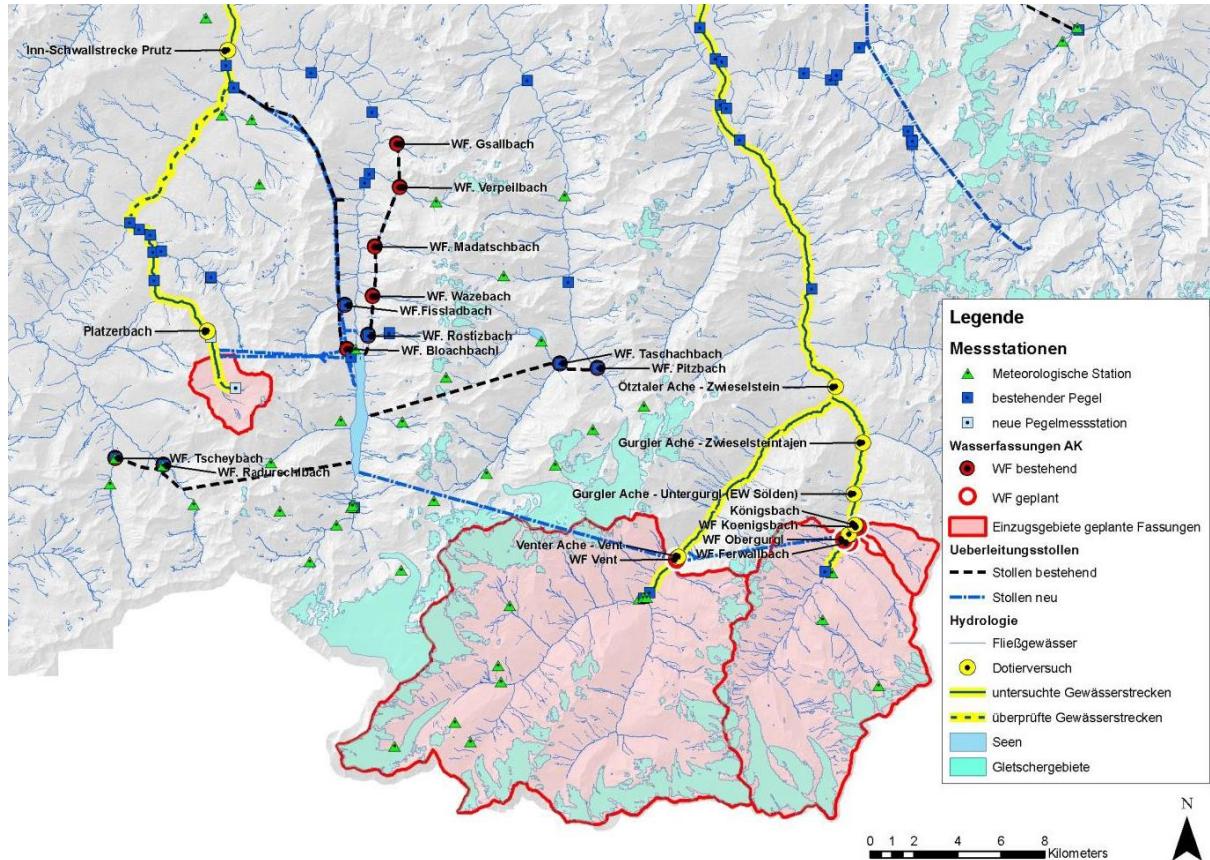


Abbildung 4.1.3: Übersichtsplan Ausbau Kraftwerk Kaunertal (Petraschek et al., 2012).



Abbildung 4.1.4: links: Projektgebiet; Mitte: Fotomontage Wasserfassung Gurgler Ache; rechts: Fotomontage Wasserfassung Venter Ache; aus Plörer et al. (2017)

Die Implementierung der Kraftwerkserweiterung im bestehenden Modell kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Das direkte Einzugsgebiet des neuerrichteten Speichers Platzertal mit einer Fläche von ca. 8,2 km<sup>2</sup> ist nicht abflusswirksam. Es gilt die Annahme, immer

ausreichend freies Speichervolumen für die Aufnahme der Hochwasserwelle vorhanden ist.

- Die Wasserfassung und die Überleitungsstollen an der Venter Ache mit einer gefassten Einzugsgebietsfläche von ca. 180 km<sup>2</sup> wird die Abfuhr einer maximalen Ausbauwassermenge  $Q_{AWM}$  von 50,0 m<sup>3</sup>/s gewährleisten. Es gilt die Annahme, dass dieses Einzugsgebiet nicht abflusswirksam ist, es sei denn die Durchflüsse in der Venter Ache überschreiten die Ausbauwassermenge.
- Die Wasserfassung und die Überleitungsstollen an der Gurgler Ache (inkl. Königs- und Verwallbach) mit einer gefassten Einzugsgebietsfläche von 91,5 km<sup>2</sup> sind hochwassersicher ausgeführt und gewährleisten auch im Hochwasserfall die Abfuhr einer maximalen Ausbauwassermenge von 31,3 m<sup>3</sup>/s. Es gilt die Annahme, dass dieses Einzugsgebiet nicht abflusswirksam ist, es sei denn die Durchflüsse in der Gurgler Ache (inkl. Königs- und Verwallbach) überschreiten die Ausbauwassermenge.

Tabelle 4.1.2: Zusammenschau der neugeplanten Wasserfassungen und Speicher für das Projekt Ausbau Kraftwerk Kaunertal

Speicher	Fassung - Beileitung	$A_E$ (km <sup>2</sup> )	$Q_{AWM}$ (m <sup>3</sup> /s)
Speicher Gepatsch	Königsbach	5.7	1.1
Speicher Gepatsch	Ferwallbach	6.1	1.2
Speicher Gepatsch	Gurgler Ache	79.7	29.0
Speicher Gepatsch	Venter Ache	180.0	50.0
Speicher Platzertal	Platzerbach (EZG Speicher)	8.2	0.0
$\Sigma$		279.7	81.3

Im Idealfall, aus Sicht des Hochwasserschutzes, wird im Vergleich zur Bestandssituation durch den Rückhalt in den Speichern Gepatsch und Platzertal also ein zusätzlicher Flächenanteil von ca. 280 km<sup>2</sup> abflussunwirksam. Damit kann die hochwasserrelevante Einzugsgebietsfläche, bezogen auf den Innpegel Oberaudorf, um etwa 3% reduziert werden. Die tatsächliche Auswirkung dieser Flächenreduktion auf die Reduktion der Hochwasserscheiteldurchflüsse am Inn hängt allerdings von mehreren ereignisbezogenen Faktoren ab. Bei gleichmäßiger Überregnung im gesamten Einzugsgebiet führt die Flächenreduktion von etwa 3% zu einer Scheitelreduktion im selben Ausmaß. Kommt es zu einer stärkeren Überregnung der gefassten Gebietsflächen, dann nimmt der Einfluss der Ableitung am Gesamtabfluss zu und es kommt zu deutlich höheren Scheitelreduktionswerten, welche durch die Ausbauwassermenge  $Q_{AWM}$  der Wasserfassungen begrenzt sind. Umgekehrt nimmt die Wirkung ab, wenn die gefassten Gebietsteile weniger stark überregnet werden als andere Einzugsgebiete.

## Speicherkraftwerk Kühtai (SK)

Zusätzlich zu den bestehenden Kraftwerkskomponenten wird ein neuerrichtetes Sperrenbauwerk im Kühtai (Speicher Kühtai 2) sowie ein umfangreiches System an Wasserfassungen im Stubaital und Oetztal für zusätzliche Kraftwerke berücksichtigt. Folgende Kraftwerkskomponenten sind vorgesehen:

- Kraftwerk Kühtai 2
- Speicher Kühtai
- Beileitungsstollen mit 6 Wasserfassungen
- Speicher Finstertal (bestehend): 60 Mio m<sup>3</sup>
- Speicher Längental (bestehend): 3 Mio m<sup>3</sup>
- Speicher Kühtai (neu): 31 Mio m<sup>3</sup>
- Einzugsgebiet Speicher Kühtai: 68 km<sup>2</sup>

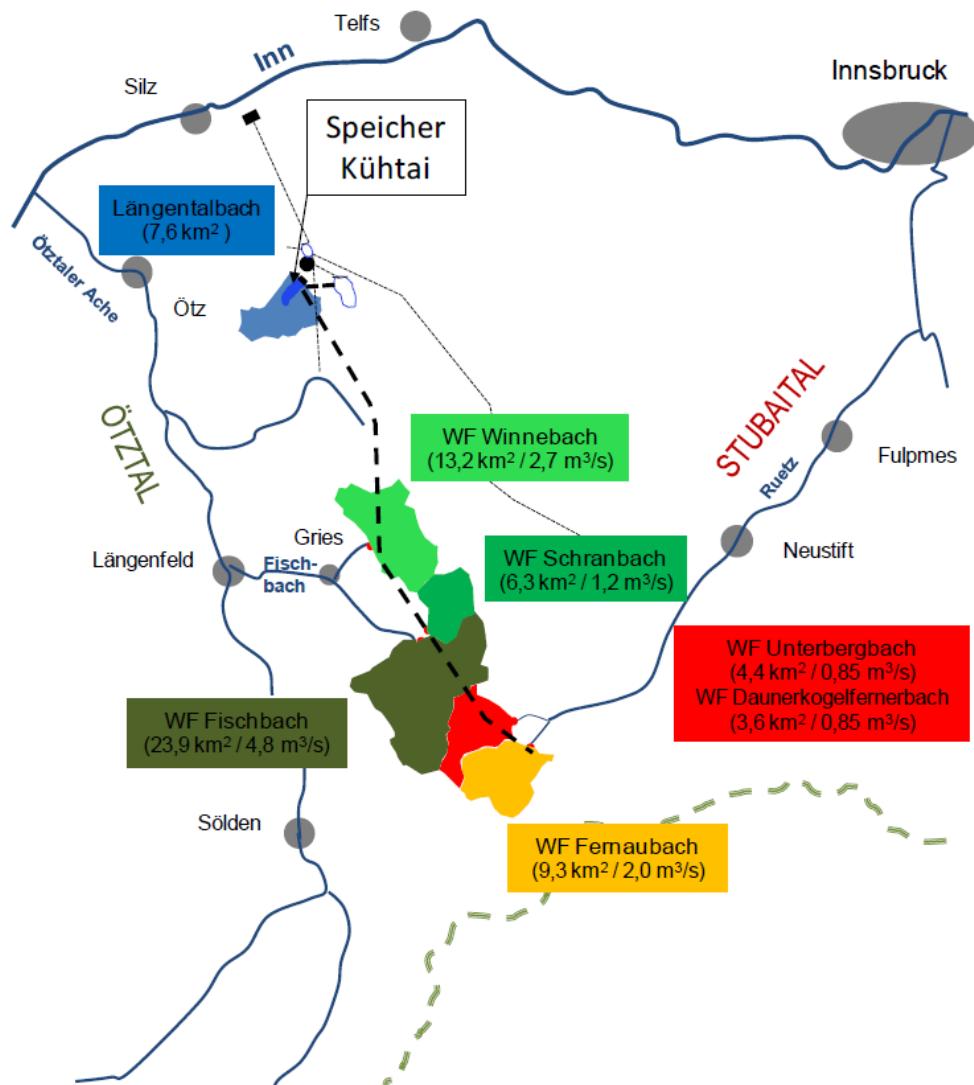


Abbildung 4.1.5: Übersichtsplan Ausbau Kraftwerk Kühtai (Aufleger, 2009)

Die Implementierung der Kraftwerkserweiterung im bestehenden Modell kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Das direkte Einzugsgebiet des neuerrichteten Speichers Kühtai 2 mit einer Fläche von ca. 7,6 km<sup>2</sup> ist nicht abflusswirksam. Es gilt die Annahme, dass immer ausreichend freies Speichervolumen vorhanden ist.
- Die Wasserfassung und die Überleitungsstollen am Fischbach (inkl. Winnebach und Schranbach) mit einer gefassten Einzugsgebietsfläche von ca. 43,4 km<sup>2</sup> sind auf eine maximale Ausbauwassermenge von insgesamt 8,7 m<sup>3</sup>/s ausgelegt.
- Die Wasserfassung und Überleitungsstollen aus dem Stubaital (Fernaubach, Unterbergbach und Daunkogelfernerbach) mit einer gefassten Einzugsgebietsfläche von ca. 17,3 km<sup>2</sup> sind auf eine maximale Ausbauwassermenge von 3,8 m<sup>3</sup>/s ausgelegt.

Tabelle 4.1.3: Zusammschau der neugeplanten Wasserfassungen und Speicher für das Projekt Ausbau Kraftwerk Kühtai

Speicher	Bei- und Überleitungen	A <sub>E</sub> (km <sup>2</sup> )	Q <sub>AWM</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Speicher Kühtai	EZG Speicher Kühtai	7.6	0.0
Speicher Kühtai	Fernaubach	9.3	2.0
Speicher Kühtai	Daunkogelfernerbach	3.6	0.9
Speicher Kühtai	Unterbergbach	4.4	0.9
Speicher Kühtai	Fischbach	23.9	4.8
Speicher Kühtai	Schranbach	6.3	1.2
Speicher Kühtai	Winnebach	13.2	2.7
$\Sigma$		68.3	12.4

Im Idealfall, aus Sicht des Hochwasserschutzes, wird im Vergleich zur Bestandssituation durch den Rückhalt in den Speichern Kühtai, Längental und Finstertal also ein zusätzlicher Flächenanteil von ca. 68,3 km<sup>2</sup> abflussunwirksam. Damit kann die hochwasserrelevante Einzugsgebietsfläche, bezogen auf den Innpegel Oberaudorf, um etwa 0,6% reduziert werden. Die tatsächliche Auswirkung dieser Flächenreduktion auf die Reduktion der Hochwasserscheiteldurchflüsse am Inn hängt allerdings von mehreren ereignisbezogenen Faktoren ab. Bei gleichmäßiger Überregnung im gesamten Einzugsgebiet führt die Flächenreduktion von etwa 0,6% zu einer Scheitelreduktion im selben Ausmaß. Kommt es zu einer stärkeren Überregnung der gefassten Gebietsflächen, dann nimmt der Einfluss der Ableitung am Gesamtabfluss zu und es kommt zu deutlich höheren Scheitelreduktionswerten, welche durch die Ausbauwassermenge Q<sub>AWM</sub> der Wasserfassungen begrenzt sind. Umgekehrt nimmt die

Wirkung ab, wenn die gefassten Gebietsteile weniger stark überregnet werden als andere Einzugsgebiete.

## 4.2 Bestimmung der Wirksamkeit

Zur Beurteilung der Wirksamkeit der beiden Kraftwerkserweiterungen werden nun die entwickelten Informationen und Modellteile zusammengeführt. Die grundsätzliche Vorgangsweise besteht darin, Monte Carlo Simulationen durchzuführen, zum einen für die Ist-Situation (Bestand), zum anderen für eine Situation nach vollständiger Umsetzung der beiden Projekte Erweiterung Kaunertal und Kühtai. Die normierte Differenz der Hochwasserabflüsse der beiden Szenarien entsprechend einem  $HQ_{100}$  ergibt sich dann zu

$$R = \frac{HQ_{100}^{Ist} - HQ_{100}^{KW_{ret}}}{HQ_{100}^{Ist}} \cdot 100$$

wobei  $R$  die prozentuelle Reduktion des Abflusses für das  $HQ_{100}$  am Inn ist und die HQ-Werte aus den Monte Carlo Simulationen bestimmt werden. In ähnlicher Weise wird für anderen Jährlichkeiten  $T$  vorgegangen. Außerdem werden die Simulationen für beobachtete Hochwässer (1985, 1987, 2005) durchgeführt und entsprechend ausgewertet.

Es werden die folgenden Zeiträume gerechnet:

- Hochwässer 1985, 1987 und 2005
- Stochastische Simulationen (10000 Jahre) zur Bestimmung der Hochwasserquantile (z.B.  $HQ_{100}$ )

Es werden die folgenden Rückhalteszenarien gerechnet:

- a) Bei- und Überleitungen zu KW Kaunertal und KW Kühtai wirksam
- b) Nur Bei- und Überleitungen zu KW Kaunertal wirksam
- c) Nur Bei- und Überleitungen zu KW Kühtai wirksam

Der Rückhalt der Speicher selbst (d.h. durch ihr direktes Einzugsgebiet) ist für alle Szenarien wirksam.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Beobachtete Hochwassereignisse

Im folgenden Abschnitt wird die Auswirkung der geplanten/umgesetzten Kraftwerkserweiterungen auf die Reduktion der Hochwasserscheitel am Inn für beobachtete Ereignisse 1985, 1987 und 2005 dargestellt. Als Bezugsbasis dienen dabei die Simulationen mit der bestehenden Modellkonfiguration aus dem Vorgängerprojekt *AlpRetInn*. Für jedes der analysierten Ereignisse wird die

potentiellen Reduktionswirkungen aller drei Rückhalteszenarien untersucht (siehe Tabelle 5.2.1). Als Beispiel sind in den Abbildungen 5.1.1, 5.1.2 und 5.1.3 die Simulationsergebnisse für das Rückhalteszenario a) graphisch dargestellt. Die drei oberen Teile der Abbildungen zeigen jeweils den zeitlichen Verlauf der simulierten Bei- und Überleitungsmengen sowie dem Rückhalt (Zufluss vom direkten Einzugsgebiet) der Speicher Platzertal, Kühtai und Gepatsch während der beobachteten Hochwassereignisse. Die strichlierten horizontalen Linien repräsentieren die jeweiligen Ausbauwassermengen  $Q_{AWM}$  der Bei- und Überleitungen zu den Speichern. Der Vergleich von beobachteten (schwarze Linien) und simulierten Abflüssen (blau – Bestand; rot – mit geplanten Kraftwerkserweiterungen) ist jeweils in den beiden unteren Teilabbildungen für die Pegel Innsbruck und Oberaudorf dargestellt.

Die Abfluss scheitel und die zeitliche Ereignisdynamik der Hochwässer 1987 und 2005 werden durch das hydrologische Niederschlag-Abfluss-Modell sehr gut beschrieben. Hier zeigt sich der Einfluss der räumlichen Zusammenwirkung der unterschiedlichen Regionen. So kommt es zum Beispiel am Pegel Innsbruck zu einer geringfügigen Überschätzung des beobachteten Abfluss scheitels, während sich die Situation für den Pegel Oberaudorf umkehrt. Die Abweichungen zwischen Simulation und Beobachtung, vor allem für das Hochwassereignis 1985, lassen sich auf die Qualität der Niederschlagsdaten (geringe Anzahl an verfügbaren kontinuierlichen und hochauflösten Messdaten), hydrologische und hydraulische Modellunsicherheiten (Wellenablauf) zurückführen. Hier kommt es an beiden Pegelstellen zu einer Überschätzung der beobachteten Abflussverhältnisse. Dieser Umstand deutet darauf hin, dass für dieses Ereignis der Gebietsniederschlag überschätzt wurde. In diesem Fall könnten die Unsicherheiten durch hydraulische Retentionseffekte (fehlendes Abflussvolumen in der nachlaufenden Welle) verstärkt worden sein. Generell sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich beim verwendeten hydrologischen Modell um ein kontinuierliches, räumlich verteiltes Konzeptmodell handelt, dessen Parameter nicht individuell für einzelne Hochwassereignisse angepasst werden sondern für die gesamte Simulationszeitspanne (1980 bis 2015) plausible und robuste Simulationsergebnisse liefert. Ein robustes und plausibles Modellverhalten für alle großen Hochwasser ist essentiell für plausible stochastische Simulationen, die eine Extrapolation auf extreme hydrometeorologischen Situationen beinhalten.

## Hochwasserereignis 1985

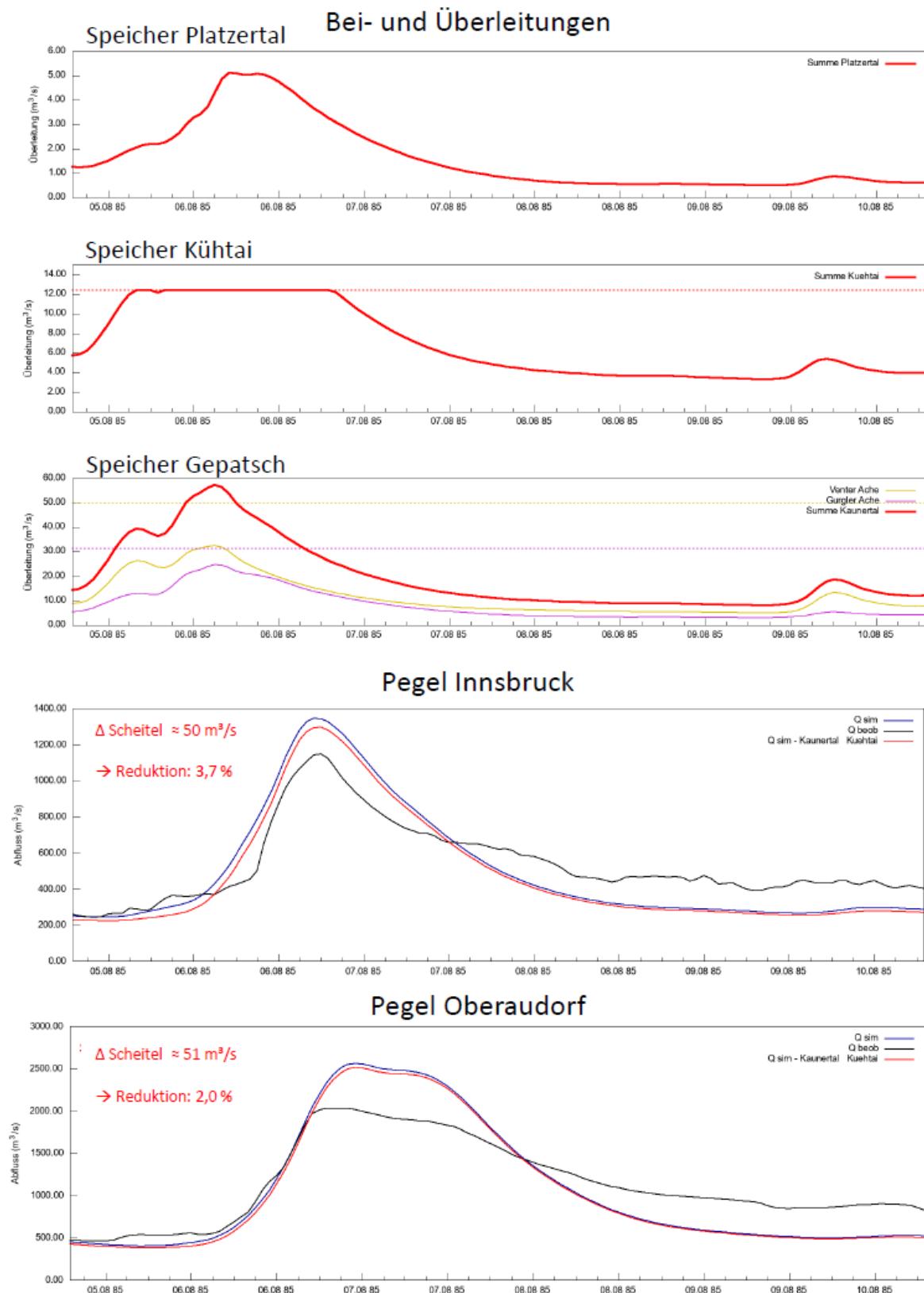


Abbildung 5.1.1: Simulierte und beobachtete Abflussganglinien an den Pegeln Innsbruck und Oberaudorf (unten); Bei- und Überleitungsmengen zu den Speichern Gepatsch, Kühtai und Platzertal (oben) für das Hochwasserereignis im August 1985 unter Berücksichtigung des Rückhalteszenarios a) (d.h. Kraftwerksausbau Kaunertal und Kühtai).

## Hochwasserereignisse 1987

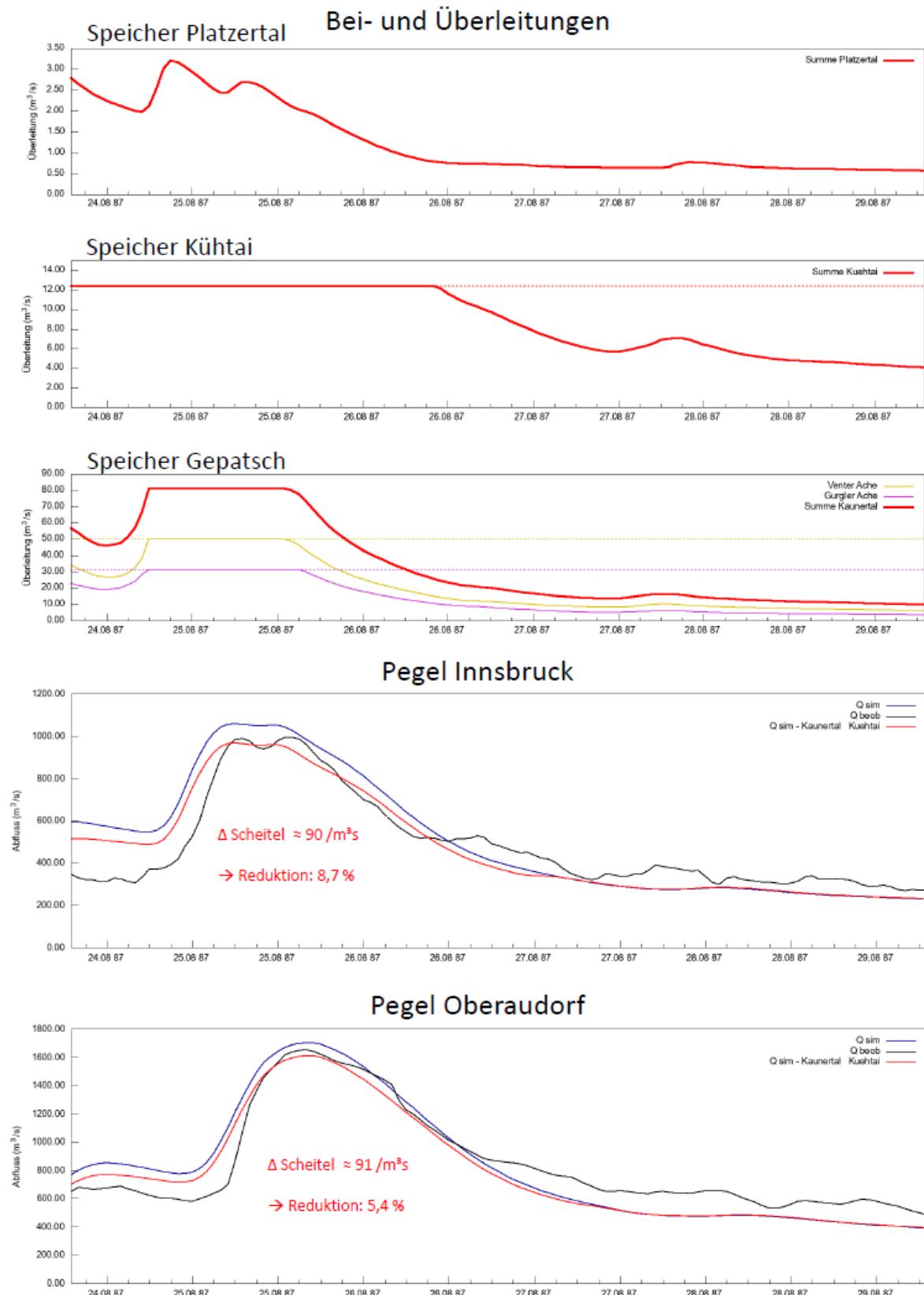


Abbildung 5.1.2: Simulierte und beobachtete Abflussganglinien an den Pegeln Innsbruck und Oberaudorf (unten); Bei- und Überleitungsmengen zu den Speichern Gepatsch, Kühtai und Platzertal (oben) für das Hochwasserereignis im August 1987 unter Berücksichtigung des Rückhalteszenarios a) (d.h. Kraftwerksausbau Kaunertal und Kühtai).

## Hochwasserereignis 2005

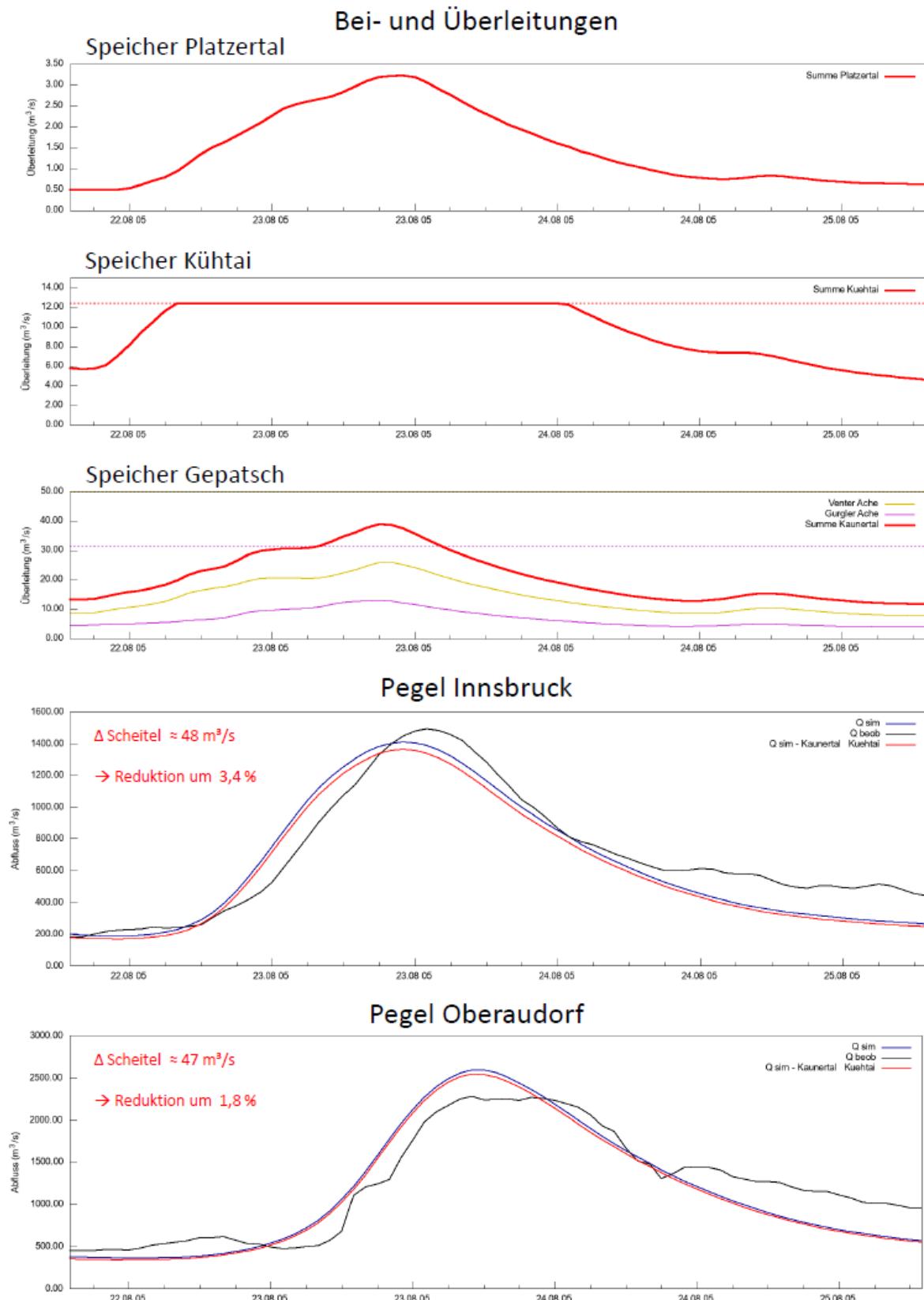


Abbildung 5.1.3: Simulierte und beobachtete Abflussganglinien an den Pegeln Innsbruck und Oberaudorf (unten); Bei- und Überleitungsmengen zu den Speichern Gepatsch, Kühtai und Platzertal (oben) für das Hochwasserereignis im August 2005 unter Berücksichtigung des Rückhalteszenarios a) (d.h. Kraftwerksausbau Kaunertal und Kühtai).

## 5.2 Scheitelreduktion - Beobachtete Hochwasserereignisse

Die simulierten Scheitelreduktionen für relevante Pegelmessstellen am Inn und der Ötztaler Ache sind in Tabelle 5.2.1 zusammengefasst. Die Reihenfolge der Pegel entspricht dabei der topologischen Struktur des Niederschlag-Abfluss-Modells. Die Auswahl der Pegel beschränkt sich auf jene Stellen, an denen relevante Auswirkungen der Rückhaltemaßnahmen zu erwarten sind. Neben den prozentuellen Scheitelreduktionen (%) sind auch die absoluten Werte ( $m^3/s$ ) für jedes der beobachteten Ereignisse angegeben. Um dabei die Auswirkung den beiden Projekten Erweiterung Kaunertal und Kühtai zuordnen zu können, sind die Ergebnisse für die Varianten a) bis c) angegeben.

Die größte relative Wirkung wird erwartungsgemäß an den Zubringern mit den größten Wasserfassungen erreicht, wobei die Ötztaler Ache hauptsächlich durch die Bei- und Überleitungen der Venter und Gurgler Ache zum Speicher Gepatsch entlastet wird. Je nach Überregnungssituation können hier Scheitelreduktionen bis zu 30% erreicht werden. Dieser Rückhalteeffekt ist aber lokal begrenzt und nimmt mit zunehmender Einzugsgebietsfläche rasch wieder ab. Das Ausmaß der Reduktion ist dabei von der Überregnungssituation abhängig. Fallen die Niederschläge schwerpunktmäßig in den Gebietsteilen mit relevanten Bei- und Überleitungen (z.B. Ereignis 1987) so kann das vorhandene Reduktionspotential voll ausgeschöpft werden. Werden diese Bereiche weniger stark überregnet, kann die maximale Kapazität der Bei- und Überleitung nicht erreicht werden und die Reduktionswirkung verringert sich. So werden für die beobachteten Ereignisse am Innpegel Oberaudorf prozentuelle Scheitelreduktionen zwischen 1,8% bis 5,4% simuliert (Abbildungen 5.1.1-5.1.3 und Tabelle 5.2.1). Das Reduktionspotential für das Innhochwasser im Jahr 1987 liegt mit 5,4% am oberen Ende des Spektrums. Der große Wert dürfte vor allem daran liegen, dass dieses Ereignis ein vergleichsweises kleines Volumen besaß (Tabelle 5.2.). An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass das Reduktionspotential generell auf der Annahme beruht, dass die Speicher ausreichend große Volumenreserven aufweisen um die Hochwasserwellen zur Gänze aufnehmen zu können.

Tabelle 5.2.1: Zusammenfassung der Scheitelreduktionen (prozentuell und absolut) der Hochwasserereignisse 1985, 1987 und 2005 für relevante Pegelmessstellen am Inn und an der Ötztaler Ache (für die drei Rückhalteszenarien).

PEGEL	FLUSS	Szenario	Scheitelreduktion					
			1985		1987		2005	
			%	m³/s	%	m³/s	%	m³/s
Tumpen	Oetztaler-Ache	a)	29.8	52	24.7	90	22.1	50
		b)	25.2	44	22.2	81	18.2	41
		c)	4.5	8	2.5	9	4.0	9
Magerbach	Inn	a)	3.9	50	8.6	90	3.7	48
		b)	3.3	41	7.7	81	3.1	39
		c)	0.7	9	0.9	9	0.7	9
Telfs	Inn	a)	3.8	50	8.6	90	3.6	48
		b)	3.1	41	7.7	81	2.9	39
		c)	0.7	9	0.9	9	0.7	9
Innsbruck	Inn	a)	3.7	50	8.5	90	3.4	48
		b)	3.0	41	7.6	81	2.8	39
		c)	0.6	9	0.9	9	0.6	9
Rotholz	Inn	a)	2.7	51	6.9	91	2.8	48
		b)	2.2	41	6.2	81	2.2	38
		c)	0.6	10	0.8	10	0.6	10
Brixlegg	Inn	a)	2.3	51	5.6	91	2.3	48
		b)	1.9	41	4.9	81	1.8	38
		c)	0.5	10	0.6	10	0.5	10
Kirchbichl	Inn	a)	2.1	51	5.4	91	2.0	48
		b)	1.7	41	4.8	81	1.6	38
		c)	0.4	10	0.6	10	0.4	10
Oberaudorf	Inn	a)	2.0	51	5.4	91	1.8	47
		b)	1.6	41	4.7	81	1.4	38
		c)	0.4	10	0.6	10	0.3	9

Tabelle 5.2.2: Scheiteldurchfluss und Wellenvolumen der drei Hochwasserereignisse am Pegel Oberaudorf am Inn.

Jahr	Scheiteldurchfluss (m³/s)	Volumen (Mio m³)
1985	2030	210
1987	1650	115
2005	2275	205

### 5.3 Stochastische Simulationen

Neben den detaillierten Untersuchungen von einzelnen beobachteten Hochwasserereignissen, wurde auch der Einfluss der Kraftwerkserweiterungen auf die hochwasserstatistischen Kenngrößen untersucht. Dabei ging es um die Auswirkung der Speicher und Bei- und Überleitungen auf die Hochwasserwahrscheinlichkeitskurven (Hochwasserquantile  $HQ_T$  vs. Jährlichkeit  $T$ ). Hierbei werden die abgeleiteten Hochwasserwahrscheinlichkeitskurven des Istzustandes (Bestand) mit jenen nach Umsetzung der Kraftwerksprojekte verglichen.

In beiden Fällen liegen den Ergebnissen stochastische Simulationen für eine Zeitperiode von 10 000 Jahren zu Grunde. Die verwendete Modellkette besteht aus einem Wettergenerator und einem nachgeschalteten hydrologischen Niederschlag-Abfluss-Modell (Blöschl et al. 2017). Die Modelleingangsgrößen aus dem Wettergenerator (stündliche Niederschlagsintensitäten und Lufttemperaturen) wurden dabei unverändert vom Vorgängerprojekt übernommen. Bei der Niederschlag-Abfluss-Modellierung wurden neben dem Istzustand drei unterschiedliche Rückhalteszenarien (siehe Abschnitt 4.2) simuliert.

Der Vergleich zwischen den Hochwasserwahrscheinlichkeitskurven mit und ohne Retentionswirkung durch die geplanten/umgesetzten Kraftwerkserweiterungen für drei ausgewählte Pegel am Inn und der Ötztaler Ache ist in den Abbildungen 5.3.1 bis 5.3.3 für das Rückhalteszenario a) – alle Bei- und Überleitungen aktiv – dargestellt. Die schwarzen Punkte zeigen die empirischen Jährlichkeiten für die Bestandssituation (ohne zusätzliche Speicher bzw. Überleitungen) und die blauen Punkte zeigen entsprechend die empirischen Jährlichkeiten für die Situation nach Umsetzung der Kraftwerkserweiterungen. Die Differenz der beiden Hochwasserwahrscheinlichkeitskurven kann als zu erwartende Scheitelreduktion für Hochwässer verschiedener Jährlichkeiten interpretiert werden.

Am Innpegel Oberaudorf kann für ein hundertjährliches Hochwasser  $HQ_{100}$  durch den Einfluss beider Kraftwerkserweiterungen (Abbildung 5.3.1) mit einer Reduktion des Hochwasserscheitels um  $81 \text{ m}^3/\text{s}$  gerechnet werden. Das entspricht einem Prozentsatz von 3.2% (Tabelle 5.3.1). Die erwartbare Scheitelreduktion in Innsbruck fällt mit  $82 \text{ m}^3/\text{s}$  betragsmäßig ähnlich aus. Dies kann hauptsächlich durch den geringen Einfluss der Rückhaltemaßnahmen auf die Zubringer zwischen Innsbruck und Oberaudorf erklärt werden. Generell verändert sich die zu erwartenden Scheitelreduktionen mit der Jährlichkeit wenig. Dies hängt mit den fixen maximalen Ausbauwassermengen der relevanten Bei- und Überleitungen zusammen.

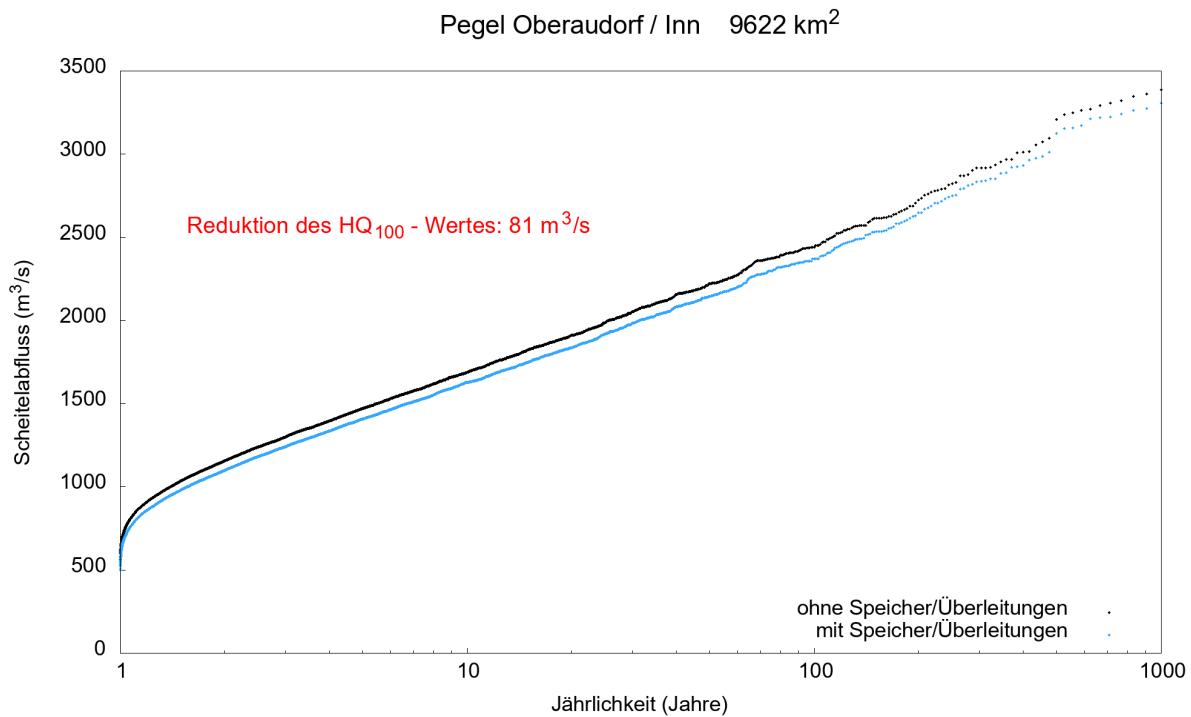


Abbildung 5.3.1: Hochwasserwahrscheinlichkeitskurven (schwarz: Bestand; blau: Rückhaltevariante a) (d.h. Kraftwerksausbau Kaunertal und Kühtai) für den Pegel Oberaudorf am Inn.

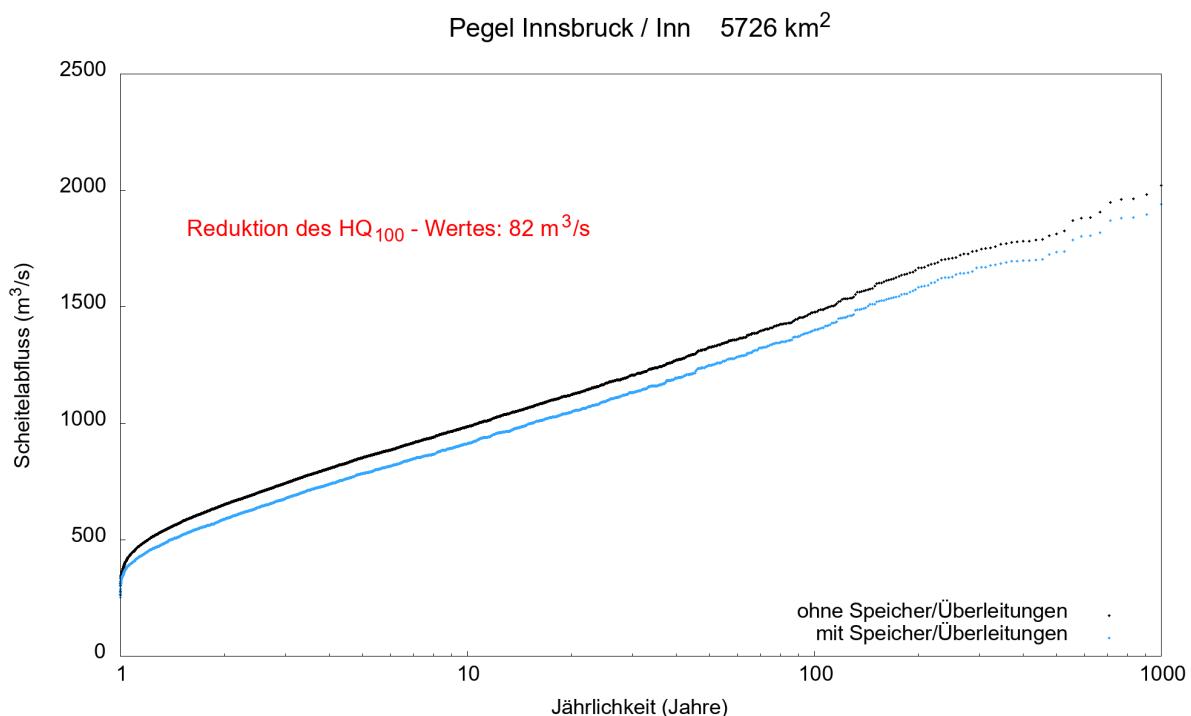


Abbildung 5.3.2: Hochwasserwahrscheinlichkeitskurven (schwarz: Bestand; blau: Rückhaltevariante a) (d.h. Kraftwerksausbau Kaunertal und Kühtai) für den Pegel Innsbruck am Inn.

Auch der lokale Einfluss der Kraftwerkserweiterungen auf die Hochwassersituation im Ötztal zeigt eine ähnliche Charakteristik. Die Hochwasserwahrscheinlichkeitskurven für den Pegel Tumpen an der Ötztaler Ache sind in Abbildung 5.3.3 dargestellt. Wie bei den Pegeln am Inn wurden auch hier die Jährlichkeiten mit und ohne Kraftwerkserweiterungen ermittelt. Hier zeigt sich, dass für ein hundertjährliches HW-Ereignis mit einer Scheitelreduktion von ca.  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  gerechnet werden kann. Die konstante Reduktionswirkung für unterschiedliche Jährlichkeiten kann darauf zurückgeführt werden, dass die Ausbauwassermengen auch bei Ereignissen mit höherer Auftretenswahrscheinlichkeit erreicht bzw. überschritten werden, weil für die maßgebliche Überregnungssituation am Pegel Tumpen im Regelfall auch mit starken Niederschlägen an der Venter und Gurgler Ache zu rechnen ist.

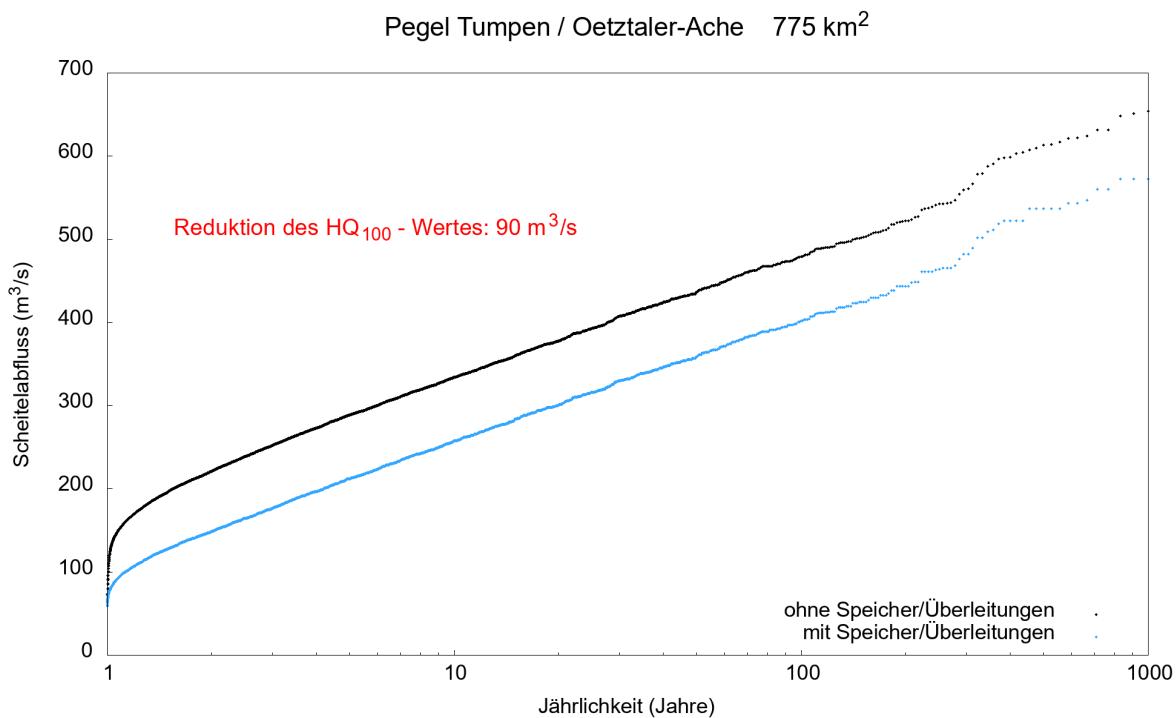


Abbildung 5.3.3: Hochwasserwahrscheinlichkeitskurven (schwarz: Bestand; blau: Rückhaltevariante a) (d.h. Kraftwerksausbau Kaunertal und Kühtai) für den Pegel Tumpen an der Oetztaler Ache.

Eine alternative Möglichkeit die Auswirkung der Kraftwerksausbauten auf die Hochwasserscheitel darzustellen, ist die Betrachtung von Scheitelreduktionen für konkrete Hochwasserereignisse der stochastischen Simulationen. In den Abbildungen 5.3.4 bis 5.3.6 sind für zwei Pegel am Inn (Oberaudorf und Innsbruck) und für den Pegel Tumpen an der Ötztaler Ache jeweils die prozentuellen Scheitelreduktionen als Funktion des Scheitelabflusses dargestellt. Jeder rote Punkt in den Darstellungen korrespondiert hier mit einem konkreten Jahreshöchstschwasser der stochastischen Simulationen. Die prozentuelle Scheitelreduktion ist gegen den Absolutwert des Scheitelabflusses in  $\text{m}^3/\text{s}$  aufgetragen. Generell ist in allen drei Darstellungen gut zu erkennen, dass die Scheitelreduktionen durch die Ausbauwassermengen der Bei- und

Überleitungen beschränkt sind. Mit zunehmenden Scheitelabflüssen nimmt die relative Scheitelreduktion in Prozent ab. Es ergibt sich somit eine obere Grenze von möglichen Scheitelreduktionen, welche durch die Fälle mit maximaler Wirkung der Bei- und Überleitungen definiert wird. Vor allem für die kleineren Ereignisse ergibt sich eine sehr große Bandbreite an möglichen Scheitelreduktionen. So sind in diesem Bereich, je nach vorherrschender Überregnungssituation, am Pegel Innsbruck bis zu 20% und am Pegel Oberaudorf bis zu 10% Scheitelreduktion möglich. Häufig stellt sich eine sehr geringe oder gar keine Reduktionswirkung ein. In diesen Fällen entstehen die größten Abflüsse durch die stärkere Überregung in Gebietsteilen, die nicht durch das Bei- und Überleitungssystem der Kraftwerkserweiterungen beeinflusst sind. An den Innpegeln Innsbruck (Abbildung 5.3.5) und Oberaudorf (Abbildung 5.3.4) verringert sich die Anzahl dieser Fälle mit zunehmenden Abflussscheiteln deutlich, da diese Extremereignisse zunehmend durch großräumige Überregnungssituationen ausgelöst werden und somit auch die Bei- und Überleitungen aktiviert werden. Noch deutlicher stellt sich diese Situation am Pegel Tumpen an der Ötztaler Ache dar (Abbildung 5.3.6). Hier tritt ab einem Scheiteldurchfluss von ca. 300 m<sup>3</sup>/s (Größenordnung eines HQ<sub>10</sub>) immer die volle Retentionswirkung durch die Bei- und Überleitungen auf. Für kleinere Hochwasserereignisse können relative Scheitelreduktionen von bis zu 55% auftreten, während es in wenigen Fällen auch zu geringeren Reduktionen, unterhalb von 10%, kommt.

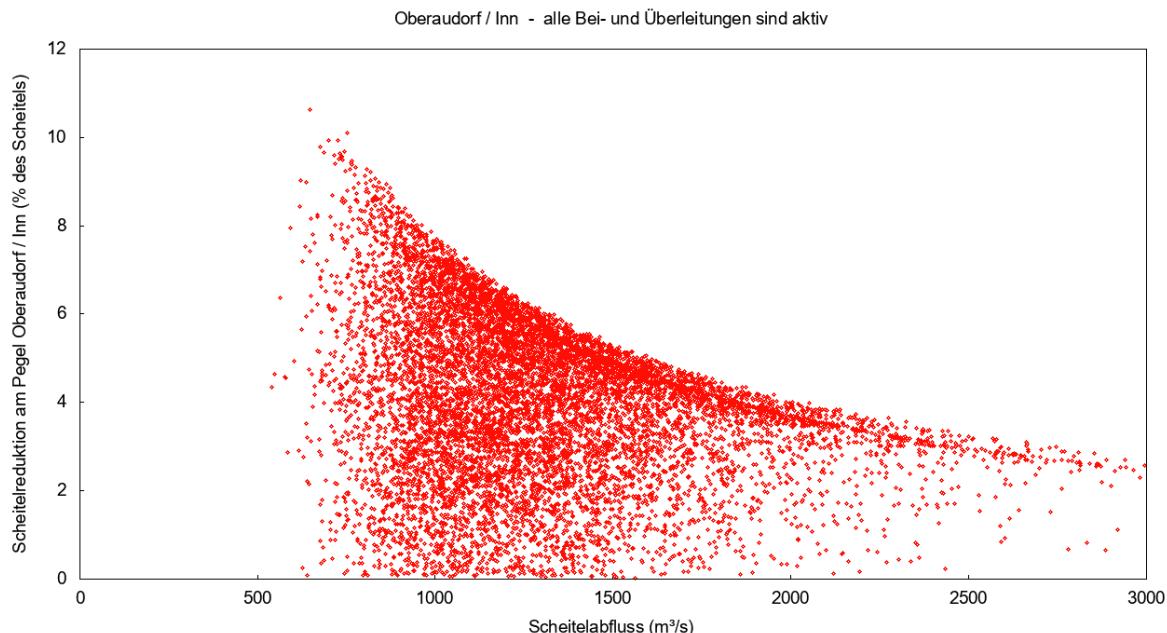


Abbildung 5.3.4: Relative Scheitelreduktionen in Abhängigkeit des Scheitelabflusses am Pegel Oberaudorf (Bestand). Jeder rote Punkt repräsentiert ein Jahreshöchsthochwasser der stochastischen Simulationen. Rückhaltevariante a) (d.h. Kraftwerksausbau Kaunertal und Kühtai).

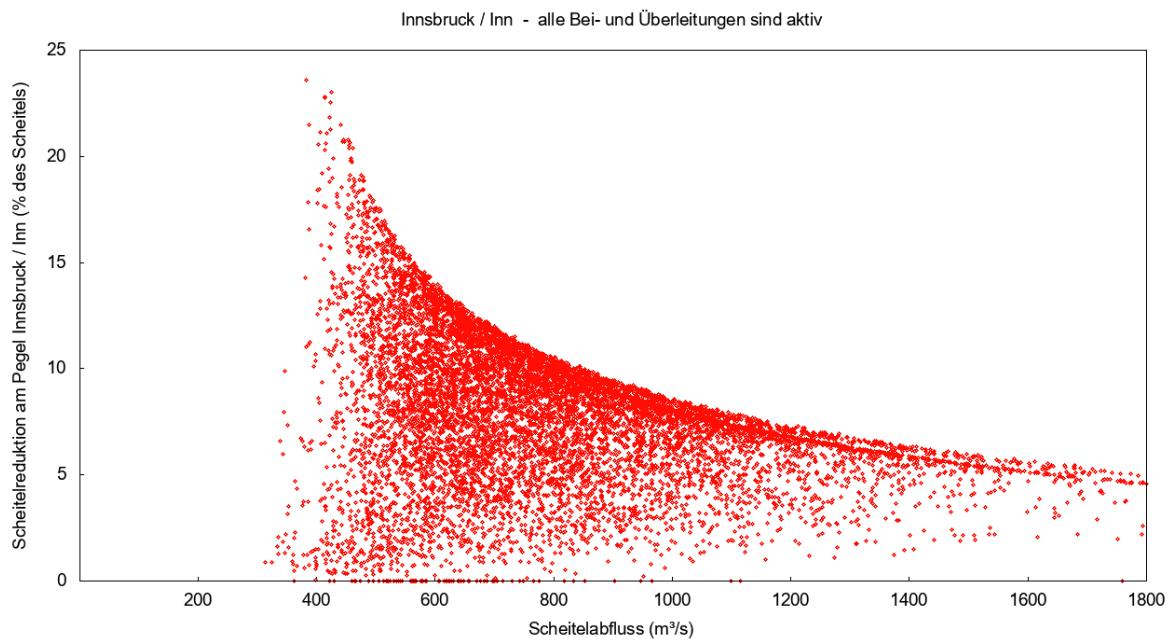


Abbildung 5.3.5: Relative Scheitelreduktionen in Abhängigkeit des Scheitelabflusses am Pegel Innsbruck (Bestand). Jeder rote Punkt repräsentiert ein Jahreshochstthochwasser der stochastischen Simulationen. Rückhaltevariante a) (d.h. Kraftwerksausbau Kaunertal und Kühtai).

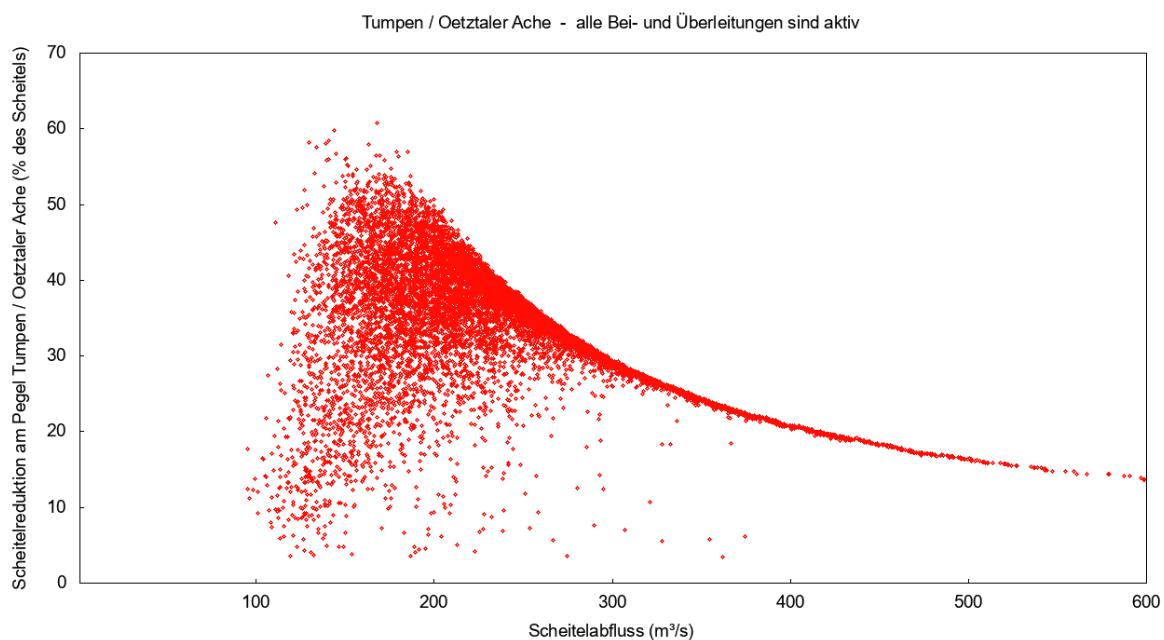


Abbildung 5.3.6: Relative Scheitelreduktionen in Abhängigkeit des Scheitelabflusses am Pegel Tumpen (Bestand). Jeder rote Punkt repräsentiert ein Jahreshochstthochwasser der stochastischen Simulationen. Rückhaltevariante a) (d.h. Kraftwerksausbau Kaunertal und Kühtai).

Die Ergebnisse der stochastischen Simulationen für die drei Rückhalteszenarien (siehe Abschnitt 4.2) und die relevanten Abflusspegel am Inn und an der Ötztaler Ache sind in Tabelle 5.3.1 zusammengefasst. Hier sind die Scheitelreduktionen für ein  $HQ_{100}$  absolut in  $m^3/s$  und relativ zur Bestands situationen ohne Kraftwerkserweiterungen in Prozent für alle drei Rückhaltevarianten angegeben. Sehr deutlich wird, dass die relative Scheitelreduktion mit zunehmender Einzugsgebietsfläche, also zum Pegel Oberaudorf hin, stetig abnimmt. An der Ötztaler Ache kann man für größere Hochwässer im Mittel mit einer Reduktion des Hochwasserscheitels um ca.  $90 m^3/s$  (19%) rechnen. An den Innpegeln zeigt sich die Auswirkung der Kraftwerkserweiterungen erst ab der Einmündung der Ötztaler Ache (Pegel Magerbach). Dementsprechend kann am Inn für das Rückhalteszenario a) für ein hundertjährliches Hochwasser  $HQ_{100}$  mit einer Größenordnung der Scheitelreduktionen von 81 bis  $82 m^3/s$  gerechnet werden. Die relative Scheitelreduktion verringert sich somit mit zunehmender Einzugsgebietsfläche von 6,5% am Pegel Magerbach auf 3,2% am Pegel Oberaudorf. Der Hauptanteil am Reduktionspotential entfällt dabei erwartungsgemäß auf die Kraftwerkserweiterung im Kaunertal (Szenario b) mit Bei- und Überleitungen an der Gurgler und Venter Ache. Hier können entlang des Inn Scheitelreduktionen zwischen 74 und  $72 m^3/s$  erzielt werden. Die Wirkung der Kraftwerkserweiterung Kühtai (Szenario c) wirkt sich mit Reduktionen zwischen 8 und  $10 m^3/s$  an den Innpegeln weniger stark aus. Für den Pegel Oberaudorf am Inn lässt sich aus den stochastischen Simulationen eine Reduktion des  $HQ_{100}$  Wertes um 3.2 % oder  $81 m^3/s$  angeben. Der Hauptanteil der Reduktionswirkung kann dabei wieder der Kraftwerkserweiterung im Kaunertal zugeschrieben werden (2.8% oder  $72 m^3/s$ ). Die Erweiterung Kühtai hat mit einer Reduktion von 0.4% oder  $9 m^3/s$  nur eine untergeordnete Bedeutung für den Pegel Oberaudorf. An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass es sich bei diesen Werten um potentielle Reduktionen handelt, also die maximal mögliche Rückhaltewirkung durch die Kraftwerksprojekte beschrieben wird. Die potentielle Reduktion kann nur angesetzt werden, wenn ausreichend freie Speichervolumina zu Ereignisbeginn sichergestellt werden können, um die Hochwasserwellen zur Gänze aufnehmen zu können. Sonst kann nur mit geringeren Scheitelreduktionswerten gerechnet werden.

Tabelle 5.3.1: Prozentuelle Reduktion des  $HQ_{100}$  Hochwasserabflusses für relevante Pegelmessstellen am Inn und an der Ötztaler Ache für die drei Rückhaltevarianten.

PEGEL	FLUSS	Reduktion $HQ_{100}$		
		Variante a)	Variante b)	Variante c)
		%	%	%
Tumpen	Oetztaler-Ache	19.2	17.5	1.7
Magerbach	Inn	6.5	5.9	0.6
Telfs	Inn	6.1	5.5	0.6
Innsbruck	Inn	5.5	4.9	0.5
Rotholz	Inn	4.2	3.7	0.5
Brixlegg	Inn	3.4	3.0	0.4
Kirchbichl	Inn	3.3	2.9	0.4
Oberaudorf	Inn	3.2	2.8	0.4

## 6 Zusammenfassung

Bei dem gegenständlichen Projekt wird die Auswirkung der Erweiterung der Kraftwerksgruppen Kaunertal und Kühtai auf die Hochwassersituation am Inn untersucht. Die Wirksamkeit der Speicher und der Bei- und Überleitungen bezüglich der Reduktion des T-jährlichen Hochwasserabflusses am Inn wird bestimmt. Die folgende Vorgangsweise wird gewählt:

- Sowohl die bestehenden als auch alle neuen Bei- und Überleitungen werden im Modell abgebildet.
- Speicherbauwerke werden als voll wirksam angesetzt, d.h. das freies Volumen reicht aus, die Hochwasserwelle vollkommen aufzunehmen.
  - ACHTUNG: Diese Annahme hat zur Folge, dass hier vom Idealfall aus Sicht des Hochwasserschutzes ausgegangen wird, und die errechneten Simulationsergebnisse das theoretisch erreichbare Reduktionspotential beschreiben. In der Praxis wird sich, in Abhängigkeit von den tatsächlich freien Speichervolumina und dem Volumen der Zulaufwelle, die Reduktionswirkung im Einzelfall verringern.
- Die Reduktion der Hochwasserscheitel ergibt sich durch
  - die Wirkung der Bei- und Überleitungen und
  - den Rückhalt der neuen Speicher

Um die Wirkung der beiden Erweiterungsprojekte auch getrennt beurteilen zu können wurden folgende Szenarien untersucht:

- a) Bei- und Überleitungen zu KW Kaunertal und KW Kühtai wirksam
- b) Nur Bei- und Überleitungen zu KW Kaunertal wirksam
- c) Nur Bei- und Überleitungen zu KW Kühtai wirksam

Der Rückhalt der bestehenden Speicher selbst (d.h. durch ihr direktes Einzugsgebiet) ist für alle Szenarien wirksam.

Die Quantifizierung der Reduktionswirkungen wurde einerseits für drei beobachtete Hochwasserereignisse (1985, 1987 und 2005) und andererseits auf Basis stochastischer Niederschlag-Abfluss-Simulationen durchgeführt. Die Analyse der beobachteten Ereignisse zeigt, dass durch die Kraftwerkserweiterungen am Inn Scheitelreduktionen von 1,8% bis 5,4% erreicht werden können. Das Ausmaß der Reduktion ist dabei von der Überregnungssituation abhängig. Fallen die Niederschläge schwerpunktmäßig in den Gebietsteilen mit relevanten Bei- und Überleitungen (z.B.: Ereignis 1987) so kann das vorhandene Reduktionspotential voll ausgeschöpft werden. Werden diese Bereiche weniger stark überregnet, wird die maximale Kapazität der Bei- und Überleitung nicht erreicht und die Reduktionswirkung verringert sich bemerkbar (Hochwasserereignisse 1985 und 2005). Der Hauptanteil der Reduktionswirkung ergibt sich dabei durch den Ausbau im Kaunertal.

In einem zweiten Schritt wurde die Auswirkung der Kraftwerkserweiterungen auf die Hochwasserwahrscheinlichkeitskurven an relevanten Pegeln entlang des Inn untersucht. Dafür wurden mittels stochastischer Niederschlag-Abfluss-Simulation (Blöschl et al., 2017) die Hochwasserwahrscheinlichkeiten für diese Pegel abgeleitet. Als Eingangsdaten für das hydrologische Modell dienten stochastisch simulierte Niederschlags- und Temperaturzeitreihen mit einer Reihenlänge von 10000 Jahren. Die Auswertung der Simulationsergebnisse zeigt, dass am Inn für Abflussereignisse in der Größenordnung eines hundertjährlichen Hochwassers mit einer Scheitelreduktion von ca. 81 m<sup>3</sup>/s am Inn in Oberaudorf gerechnet werden kann. Die Reduktionswirkung am Inn (81 m<sup>3</sup>/s bis 82 m<sup>3</sup>/s) ändert sich ab der Einmündung der Ötztaler Ache (Pegel Magerbach) bis zum Pegel Oberaudorf nur geringfügig. Auch hier kann der Hauptanteil der Reduktionswirkung der Kraftwerkserweiterung Kaunertal mit den Bei- und Überleitungen an Venter und Gurgler Ache zugeordnet werden. Ausgedrückt in relativen Scheitelreduktionen ergeben sich somit für die Innpegel relative Scheitelabminderungen zwischen 6,5% (Pegel Magerbach) und 3,2% (Pegel Oberaudorf). Diese Werte stellen aufgrund der zugrundeliegenden Annahmen (unbeschränkte Speichervolumina) die theoretische Obergrenze der Reduktionswirkung dar. In der Praxis ist damit zu rechnen, dass sich das Ausmaß der Reduktionswirkung entsprechend der saisonalen Speicherbewirtschaftung verringert.

## **Literaturverzeichnis**

Aufleger M. (2009) Gutachten zum öffentlichen Interesse aus der Sicht des Hochwasserschutzes für das Projekt „Speicherkraftwerk Kühtai“ im Auftrag der Tiroler Wasserkraft AG (TIWAG). Universität Innsbruck, Innsbruck.

Blöschl G., Komma J., Nester T., Salinas J., Tong R. Und Viglione A. (2017): Endbericht für das Projekt „Auswirkung Alpiner Retention auf die Hochwasserabflüsse des Inn.“ im Auftrag des Amtes der Tiroler Landesregierung und der Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Tirol. Technische Universität Wien, Wien.

Petraschek A. und Grebner D. (2012) Gutachten zum öffentlichen Interesse aus der Sicht des Hochwasserschutzes für das Projekt „Ausbau Kraftwerk Kaunertal“ im Auftrag der Tiroler Wasserkraft AG (TIWAG). Schweiz.

Plörer M., Neuner J., Achleitner S., Aufleger M. (2017): Kombinative Betrachtung von Naturmessung, physikalischer und numerischer Modellierung des Geschiebetransports an großen alpinen Wasserfassungen. Österr Wasser- und Abfallw., 2017, 69.

Rogger, M., Kohl, B., Pirkl, H., Hofer, M., Kirnbauer, R., Merz, R., Komma, J., Viglione, A., und Bloeschl, G. (2011). HOWATI - HochWasser Tirol - Ein Beitrag zur Harmonisierung von Bemessungshochwässern in Österreich. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 63(7-8):153-161.