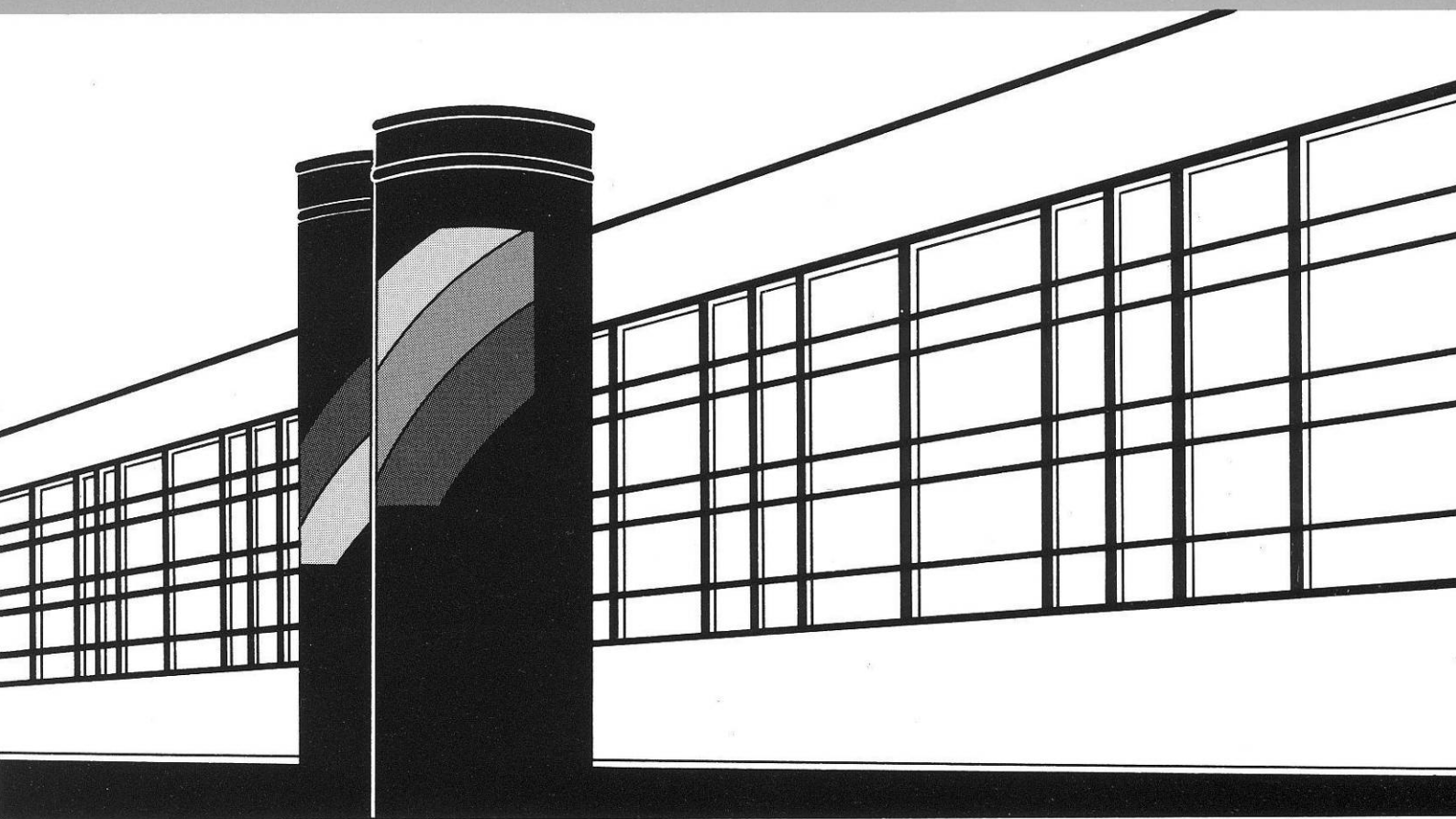


Institut für Wasserbau · Universität Stuttgart

Mitteilungen



Heft 193 K. Weber, E. Fenrich, T. Gebler
M. Kramer und M. Noack

12. Treffen junger WissenschaftlerInnen
an Wasserbauinstituten

Heft 193 12. Treffen junger
WissenschaftlerInnen
an Wasserbauinstituten

Herausgeber:
Karolin Weber
Eva Fenrich
Tobias Gebler
Matthias Kramer
Markus Noack

Tagungsband zur Veranstaltung
vom 11. bis 14. August 2010
an der Universität Stuttgart

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://www.d-nb.de> abrufbar

K. Weber, E. Fenrich, T. Gebler, M. Kramer und M. Noack (Hrsg.):
12. Treffen junger WissenschaftlerInnen an Wasserbauinstituten
von Karolin Weber et al. (Hrsg.), Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart.
Stuttgart: Inst. für Wasserbau, 2010

(Mitteilungen / Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart: H. 193)
ISBN 978-3-933761-97-2

Gegen Vervielfältigung und Übersetzung bestehen keine Einwände, es wird lediglich um Quellenangabe gebeten.

Herausgegeben 2010 vom Eigenverlag des Instituts für Wasserbau

VORWORT

Das JuWi-Treffen findet nun bereits zum 12. Mal statt und wird dieses Jahr vom Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft der Universität Stuttgart organisiert. Die Tagung vermittelt einen guten Einblick in die Forschungsarbeiten junger Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen im Tätigkeitsbereich Wasserbau, vornehmlich im deutschsprachigen Raum. Die Themenvielfalt dieses Tagungsbandes zeigt das breite Aufgabenspektrum der forschenden Wissenschaftler und spiegelt einmal mehr die Aktualität des Wasserbaus wieder. Inhaltlich reichen die Beiträge von numerischen und physikalischen Modellierungen bis hin zu energiewirtschaftlichen, verkehrstechnischen und ökologischen Untersuchungen.

Gerade die bei den JuWi-Treffen stets vorhandene ungezwungene Atmosphäre unter „Gleichgesinnten“ eignet sich nicht nur hervorragend zur Präsentation der eigenen Tätigkeiten, sondern bietet vor allem die Möglichkeit in vertieften Gesprächen Anregungen und Hilfestellungen, sowohl für weitere Projekte als auch für die Promotion, zu erlangen.

Neben der Tagung selbst befinden sich ein kulturelles Rahmenprogramm und eine gemeinsame Exkursion auf der Agenda des diesjährigen Juwi-Treffens. Diese führt uns zur Staustufe Iffezheim und zur Wehranlage Wieblingen, welche sich momentan im Sanierungszustand befindet.

Wir möchten uns ganz herzlich bei den Referenten für die hervorragenden Beiträge in diesem Tagungsband bedanken. Des Weiteren gilt unser Dank den Institutmitarbeitern und Hiwis, die bei der Organisation mitgewirkt haben und für den reibungslosen Ablauf der Veranstaltung sorgen.

Stuttgart, im August 2010 Karolin Weber,
Eva Fenrich,
Tobias Gebler,
Matthias Kramer,
Markus Noack

Wir danken folgenden Sponsoren für die Unterstützung des JuWi-Treffens 2010:



Inhaltsverzeichnis

1	HN-Modellierung einer Fließgewässereinleitung in den Süßen See	1
	Tobias Gierra	
2	Kombinierte 2D- und 3D-numerische Strömungssimulation anhand eines beispielhaften UW-Kanals	7
	Robert Klar und Roman Gabl	
3	3D-numerische Strömungssimulation von hydraulischen Rückstromdrosseln in Wasserschlössern	14
	Wolfgang Richter und Roman Gabl	
4	Sei mal konstruktiv	20
	Rupert Feldbacher	
5	Räumliches Tragverhalten von Schwergewichtsmauern	27
	Tobias Gebler, Silke Wieprecht und Walter Marx	
6	Hydraulische Untersuchungen an einem Bifurkator	34
	Wolfgang Dobler, Helmut Knoblauch und Gerald Zenz	
7	Überprüfung der Verklauungssicherheit von Brücken anhand eines physikalischen Modells	46
	Andreas Sendlhofer und Bernhard Gems	
8	Hydraulische Modellversuche Odertalsperre	54
	Holger Haufe	
9	Auflaufen von Impulswellen	60
	Helge Fuchs	
10	Development of a Physical Model for flood defense in the Bregenzer River	66
	Claudio Ravazzini	
11	Modellversuche zum Einfluss von Pumpspeichersequenzen auf Strömungsverhältnisse in einem quaderförmigen Becken	72
	Michael Müller, Luca Bremen und Anton J. Schleiss	
12	Modellversuch zur neuen Hochwasserentlastung des „Degerforsen dam“ in Schweden	79
	Valerie Neisch	
13	Zur Widerstandsfähigkeit von verzahnten Setzsteindeckwerken gegen Seegangsbelastung	84
	Fabian Gier	

14 Water and Energy – Challenges for the Future	92
Gabriele Harb und Gerald Zenz	
15 Hydrologisch-hydraulische Modellierung von alpinen Einzugsgebieten mit komplexen Kraftwerksanlagen	99
Martin Bieri und Anton J. Schleiss	
16 Untersuchung und Optimierung eines Dethridge Wheels zur simultanen Energiegewinnung und Durchfluss-messung	106
Matthias von Harten	
17 Untersuchungen an einer Wasserdruckmaschine: Nutzung von geringen Fallhöhen zur Energiegewinnung	107
Silke Schneider	
18 Ein Input-Output-Modell für die Nutzung von Gezeitenenergie am Severn Estuary	108
Eva Fenrich	
19 3D-numerische Berechnung des Geschiebetransports mit der Strömungssimulationssoftware FLOW-3D	116
Roland Covini, Robert Klar und Roman Gabl	
20 Erste Schritte zur Simulation der Qualität des hyporheischen Interstitials	122
Markus Noack und Silke Wieprecht	
21 3D-numerische Optimierung von Tosbecken und Unterwasserstrecke des Staubalkenwehrs Dagachhu	134
Regina Mayer und Roman Gabl	
22 Gewässerkreuzung in der Bergbaufolgelandschaft Goitzsche – Ermittlung und Bewertung technischer Lösungen	139
Sophia Stoebenau	
23 Konzeptionelle Entwicklung von Ansätzen für ein Lebensdauermanagement von Hafeninfrastrukturen	146
Nannina Horstmann	
24 Modellversuche zum Einsatz von Küstenschutzelementen mit Eisensilikat-Gestein als Betonzuschlag	153
Christine Hegemann, Mayumi Wilms und Torsten Schlurmann	
25 Versuche zur Überströmung geotextilbewehrter Deiche	160
Tobias Kubetzek	
26 Hydraulische Modellversuche zur Ermittlung mittlerer Überlaufmengen an Sturmflutschutzwänden und Deichen	166
Nils B. Kerpen und Karl-Friedrich Daemrich	

- 27 Modellversuche zur Geschiebetransportproblematik am
Fließgewässerkraftwerk an der Unteren Salzach** **173**
Barbara Brinkmeier
- 28 Optimierung von Einlaufbauwerken und Einrichtungen zur Spülung von
Sedimenten anhand physikalischer Modellversuche – Vergleich zweier
Fallstudien** **181**
Blandine Feneuil und Rumiana Engel
- 29 Messen aus Photos im wasserbaulichen Versuchswesen mit der
Software Monobild** **189**
Michael Mett

15 Hydrologisch-hydraulische Modellierung von alpinen Einzugsgebieten mit komplexen Kraftwerksanlagen

Martin Bieri und Anton J. Schleiss

Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH),
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

15.1 Kurzfassung

Die Simulation von Oberflächenabflüssen in alpinen Einzugsgebieten mit komplexen Wasserkraftanlagen wird durch ein speziell entwickeltes Programm Routing System ermöglicht, das sowohl eine hydrologische Modellierung als auch betriebliche Operationen von Wasserkraftwerken erlaubt. Das Modell ermöglicht den Betrieb eines komplexen Speicherkraftwerks und deren Auswirkungen auf das Flusssystem unter Berücksichtigung natürlicher und anthropogener Einflussgrößen zu simulieren. Die vorliegende Publikation beschreibt die Modellierung des Kraftwerks Oberhasli, eines der wohl komplexesten Speicherkraftsysteme in der Schweiz.

15.2 Abstract

The simulation of run-off in an alpine catchment area equipped with complex hydro-power schemes is presented by the help of an especially developed tool, called Routing System, which can combine hydrological modelling and operation of hydraulic elements. The model allows simulating the operating mode of complex storage hydro-power plants and its impacts on the downstream river system for different scenarios, taking into account natural and anthropogenic influences. The paper presents the modelling of the Oberhasli hydropower scheme, probably one of the most complex one in Switzerland.

15.3 Einleitung

Die alpinen Speicherkraftwerke sind in der Lage die unregelmässig anfallende Elektrizitätsproduktion aus erneuerbaren Quellen im europäischen Verbundnetz aufzuwerten. Durch den flexiblen Betrieb dieser Anlagen entstehen in den Flüssen unterhalb der Wasserrückgabe sogenannte Schwall- und Sunkerscheinungen. Das vorliegende Forschungsprojekt hat zum Ziel, eine allgemein anwendbare Methodologie zur Entschärfung der ökologischen negativen Auswirkungen zu erarbeiten. Umwelttechnische, wasserbauliche und wirtschaftliche Kriterien sind zu berücksichtigen.

Die Methodologie wird auf der Grundlage einer konkreten Fallstudie entwickelt. Die Kraftwerksanlage Oberhasli (KWO) im Kanton Bern in der Schweiz ist ein komplexer Vertreter eines typischen Speicherkraftwerks im alpinen Raum. Zur Modellierung des Einzugsgebietes wurde die Software *Routing System* verwendet (Dubois 2005).

Im Rahmen des Kalibrierungs- und Validierungsprozesses des Modells wurden das die Hochwasserereignisse 2005 und 1987 simuliert. Die Resultate entsprechen den angestrebten Qualitätskriterien und belegen die Möglichkeit von Abflusssimulationen in stark beeinflussten Einzugsgebieten.

15.4 Grundlagen

15.4.1 Einzugsgebiet der Aare oberhalb des Brienzersees

Das Einzugsgebiet der Aare oberhalb Brienzwiler erstreckt sich über 554 km². 2003 waren 21% der Fläche vergletschert. Dies führt zu einem glazialen Abflussregime mit einem mittleren Jahresabfluss von 35 m³/s. Die Aare entspringt dem Unter- und Oberaargletscher auf rund 2'000 m ü.M. und durchfließt die Speicherseen Oberaar, Grimsel und Räterichsboden, wo der Grossteil des Wassers gefasst und in den Kraftwerken *Grimsel*, *Handeck* und *Innertkirchen* je nach Bedarf turbiniert wird. Die Rückgabe des Aarewassers in Innertkirchen erzeugt darum künstliche Pegelschwankungen im Aareabschnitt zwischen Kraftwerk und der Aaremündung in den Brienzensee.

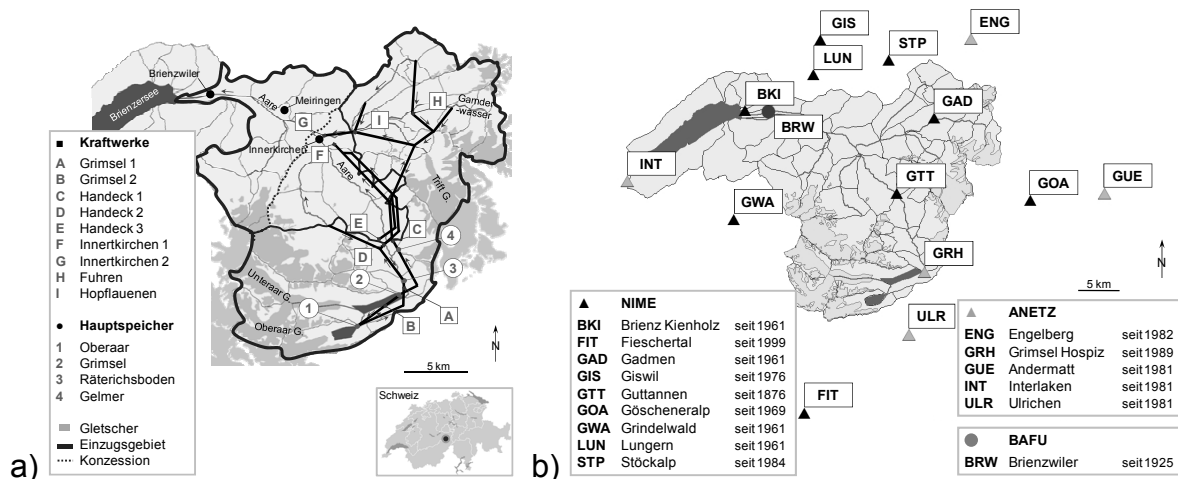


Abb. 15.1: Einzugsgebiet der Aare oberhalb des Brienzersees
a) Einzugsgebiet mit Kraftwerksanlagen
b) Meteorologische und hydrologische Messstationen

Bereits Ende des 19. Jahrhunderts wurde das Potential des Susten- und Grimselgebietes zur Energiegewinnung erkannt. Viel Niederschlag, Rückhalt durch Gletscher, grosse Speicherkapazitäten, solide Granitstrukturen und bemerkenswerte Fallhöhen auf kleinstem Raum bieten optimale Voraussetzungen. Die ersten Talsperren des Grimsel- und Gelmersees sowie das Kraftwerk *Handeck* wurden zwischen 1925 und 1932 er-

stellt und in Betrieb genommen. Seither wuchs der Kraftwerkskomplex stetig an und zählt heute neun mit Turbinen oder Pumpen bestückte Krafthäuser und acht Speicherseen (Abb. 1a). Für die Zukunft stehen mehrere Ausbauprojekte mit technischen, ökonomischen und ökologischen Auswirkungen an.

15.4.2 Statistische Grundlagen

Für die Eichung des Ausgangsmodells sind weitreichende statistische Angaben notwendig. Die meteorologischen Messwerte werden von *Meteo Schweiz* erhoben. Im und um das Quellgebiet der Aare liefern sechs Stationen (ANETZ) alle 10 Minuten Niederschlag und Temperatur, neun Stationen (NIME) jeweils lediglich den Niederschlag im Tagesmittel (Abb. 15.1 b).

Das *Bundesamt für Umwelt* (BAFU) erhebt die Pegel, Abfluss und Wassertemperatur der Aare in Brienzwiler, nahe der Mündung in den Brienzensee (Abb. 15.1 b). Abflüsse in einzelnen Teileinzugsgebieten können aus der Betriebsstatistik sowie aus den Pegelmessungen in den Speichern errechnet werden. Diese Datenreihen wurden von Kraftwerksbetreiber zur Verfügung gestellt.

15.5 Nachbildung des Einzugsgebietes

15.5.1 Modellierung mit Routing System

Zur Modellierung des Einzugsgebietes wurde die Software *Routing System* verwendet (García Hernández et al. 2007), die bereits für Echtzeithochwasservorhersagen im Wallis erfolgreich eingesetzt wurde (Jordan 2007). Dieses objektorientierte Simulationswerkzeug bildet sowohl hydrologische Prozesse wie Schnee- resp. Gletscherschmelze, Infiltration, Oberflächenabflüssen und dessen Rückhalt und Transport, als auch hydraulische Funktionsmechanismen nach. Die sechs hydraulischen Grundfunktionen – Abflusserzeugung, Transport, Rückhalt, Ableitung, Zusammenfluss und Regulierung – erlauben das gesamte natürliche als auch bewirtschaftete Einzugsgebiet zu modellieren. Eine Einteilung der Untereinzugsgebiete in Höhenbänder und die Berücksichtigung des höhenabhängigen Temperaturgradienten ermöglichen die Unterscheidung zwischen Fest- und Flüssigniederschlag. Für jedes Höhenband werden die meteorologischen Eingabegrößen aus den Datenreihen der im Einflussradius gelegenen Messstationen errechnet (Schaefli 2005).

Vier Grundmodelle erlauben die hydrologischen Mechanismen im Einzugsgebiet zu simulieren (García Hernández et al. 2007): Gletscher, Schnee, Infiltration (GR3) und Oberflächenabfluss (SWMM). Evapotranspiration kann in höheren alpinen Lagen vernachlässigt werden.

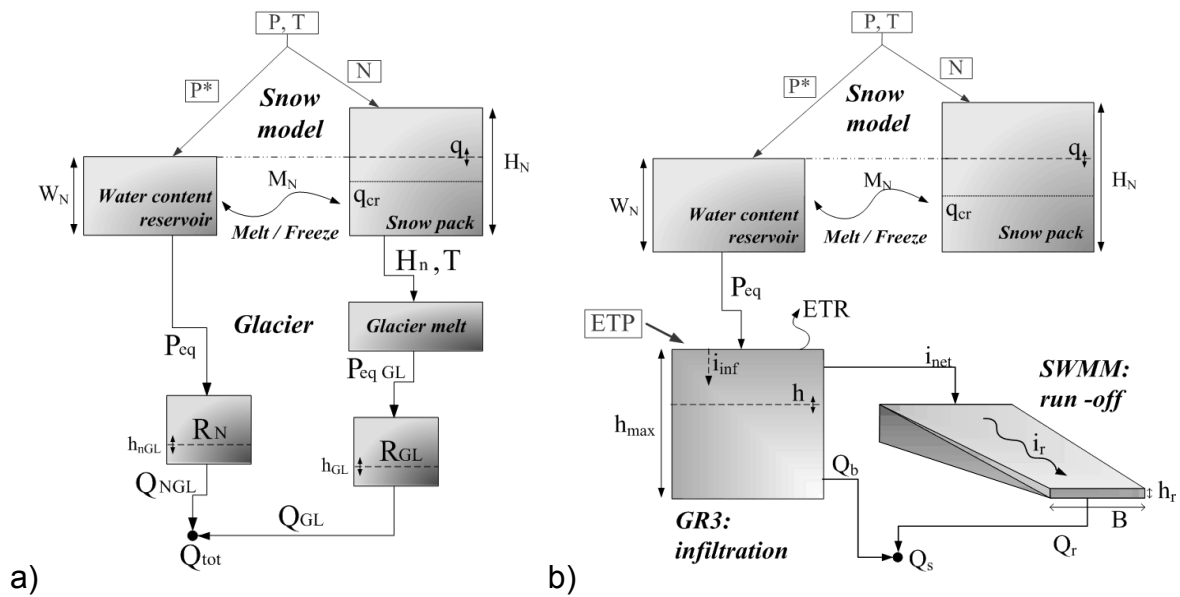


Abb. 15.2: Modellierung von Untereinzugsgebieten a) vergletschert; b) unvergletschert

Das vergletscherte Einzugsgebiet (Abb. 15.2 a) setzt sich aus zwei Modellen zusammen, wobei das eine den Schnee- und das andere den Gletscherhaushalt bestimmt. Das Schneemodell simuliert Veränderungen der Schneedecke, d.h. Zuwachs wie auch Abschmelzen, entsprechend der vorherrschenden Temperatur T sowie Niederschlägen P . Der daraus resultierende äquivalente Niederschlag P_{eq} wird im Gletschermodell mit der Schneehöhe H_N und der Umgebungstemperatur T eingegeben und initiiert Veränderungen im linearen Schneereservoir R_N und die ausfliessende Wassermenge Q_{NGL} . Das glaziale Submodell generiert einen Abfluss sobald die Schneedecke abgeschmolzen ist. $P_{eq\ GL}$ alimentiert das lineare Gletscherreservoir, woraus der glaziale Abfluss Q_{GL} resultiert.

Das unvergletscherte Einzugsgebiet (Abb. 2b) beinhaltet drei Modelle. Das Schneemodell ist dasselbe wie im vergletscherten Teil und produziert einen äquivalenten Niederschlag P_{eq} , welcher als Eingabe für das Infiltrationsmodell GR3 (Consuegra et al. 1998) verwendet wird. GR3 unterteilt diesen in einen Basisabfluss Q_{base} und einen Nettoniederschlag i_{net} . Letzterer dient als Eingangsgrösse im Modul SWMM (Metcalf 1971), das den Oberflächenabfluss Q_r generiert.

Die Modellierung des Aareinzugsgebietes oberhalb des Brienersees resultiert in 41 Untereinzugsgebieten, die in 96 vergletscherte und 243 unvergletscherte Höhenbänder aufgeteilt sind. Sämtliche relevanten Anlagen der Kraftwerke Oberhasli, wie Speicher, Pumpen, Turbinen und Hochwasserentlastungsanlage wurden im Modell nachgebildet.

15.5.2 Kalibrierung und Überprüfung

Für die Kalibrierung des Modells werden charakteristische Parameter der hydrologischen Submodelle angepasst, sodass für vorgegebene Wetter- und Betriebsdaten die gemessenen Abflüsse resultieren. Dabei werden acht Größen im Schnee-, Gletscher-, Infiltrations- und Oberflächenabflusstool (A_n , A_{GL} , K_N , K_{GL} für vergletscherte und A_n , h_{max} , k , K_s für unvergletscherte Höhenbänder) iterativ bestimmt.

Tab. 15.1: Kalibrierung (2005) und Überprüfung (1987) des Modells in Brienzwiler

		Kalibrierung (2005)	Überprüfung (1987)
Nash-Koeffizient	$\text{Nash} = 1 - \frac{\sum_{t=0}^n (Q_{obs}(t) - Q_{sim}(t))^2}{\sum_{t=0}^n (Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}})^2}$	0.98	0.90
Voluminaratio	$r_{vol} = \frac{V_{sim}}{V_{obs}} = \frac{\sum_{t=0}^n Q_{sim}(t)}{\sum_{t=0}^n Q_{obs}(t)}$	1.03	1.05
Spitzenabflussratio	$r_{peak} = \frac{Q_{sim \max}}{Q_{obs \max}}$	0.99	1.00

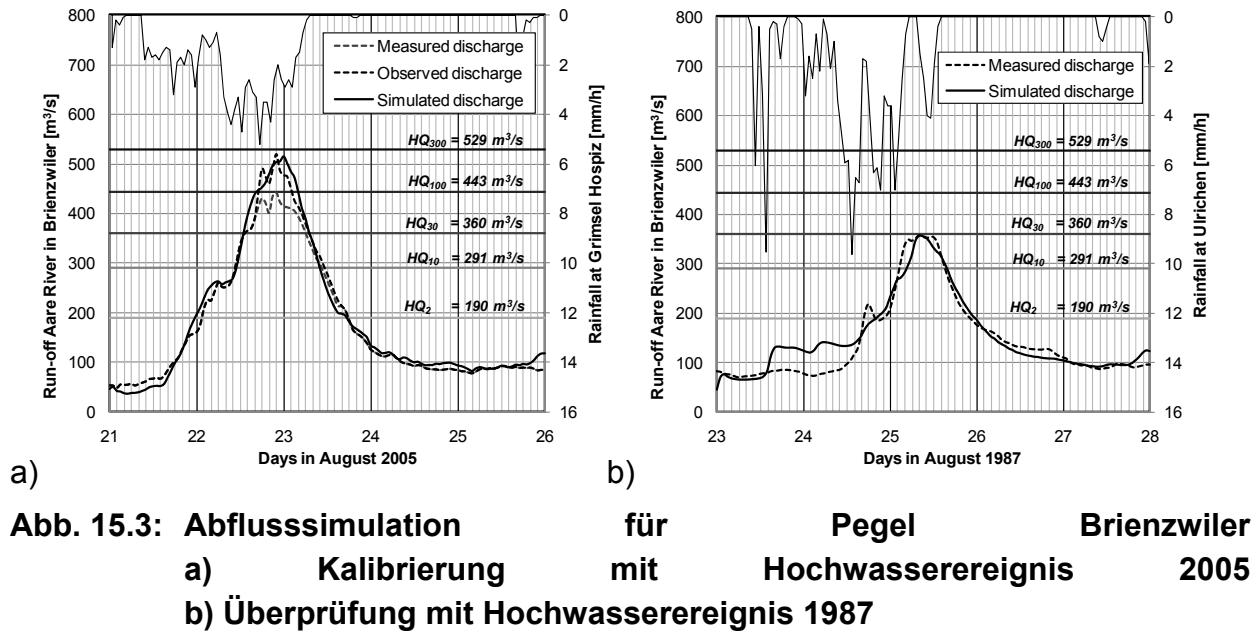
Die Qualität der Simulation wird mit drei charakteristischen Größen angegeben. So müssen die simulierten Volumina V_{sim} als auch Spitzenabflüsse $Q_{sim \max}$ mit den gemessenen V_{obs} resp. $Q_{obs \max}$ übereinstimmen, was sich in einer Voluminaratio r_{vol} resp. Spitzenabflussratio r_{peak} zwischen 0.9 und 1.1 niederschlagen soll. Der Nash-Koeffizient stellt die simulierten Abflüsse $Q_{sim}(t)$ den gemessenen $Q_{obs}(t)$ gegenüber. Je näher der Wert bei 1 liegt, desto besser stimmen die beiden Ganglinien überein. Für ein stark kontrolliertes Einzugsgebiet werden Werte über 0.8 angestrebt.

15.6 Resultate und Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Kalibrierungs- und Validierungsprozesses des Modells wurden die Hochwasserereignisse 2005 (Abb. 15.3 a) und 1987 (Abb. 15.3 b) simuliert. Die Resultate entsprechen den angestrebten Qualitätskriterien (Tab. 15.1) und zeigen, dass das Modell in der Lage ist, Abflüsse im stark bewirtschafteten Einzugsgebiet der Aare zu simulieren. So konnte z.B. der Beitrag des Kraftwerks zur Reduktion der Hochwasserspitzen im Jahr 2005 errechnet werden (Bieri et al. 2010).

Das Modell bietet somit eine ausgezeichnete Ausgangslage zur Weiterentwicklung im Bereich von Normalabflüssen und zur Evaluation diverser Szenarien. Natürliche und anthropogene Einflüsse auf Schwall/Sunk sowie Restwasser sollen untersucht werden. Systematische Simulationen verschiedener Szenarien sollen den Einfluss der hydrolo-

gischen Zusammensetzung des Einzugsgebietes, des Ausbaugrads und des Klimas auf den Betrieb und die daraus resultierenden Abflüsse in den Fließgewässern evaluieren.



15.7 Verdankung

Das vorliegende Forschungsprojekt (9676.1 PFIW-IW) wird von der Förderagentur für *Innovation des Bundes* (KTI) und den *Kraftwerken Oberhasli AG* (KWO) finanziert. Die Autoren danken allen Partnern für ihr Engagement.

15.8 Literatur

Bieri, M., Schleiss, A.J., Fankhauser, A. 2010. Modelling and simulation of floods in alpine catchments equipped with complex hydropower schemes. River Flow 2010, Braunschweig, Deutschland.

Dubois, J. 2005. Simulation des systèmes hydrauliques et hydrologiques complexe : Routing System II. Communication 21 du Laboratoire de Constructions Hydrauliques. EPFL, Lausanne, Schweiz.

García Hernández, J., Jordan, F., Dubois, J., Boillat, J.-L., Schleiss, A.J. 2007. Routing System II: Flow modelling in hydraulic systems. Communication 32 du Laboratoire de Constructions Hydrauliques, EPFL, Lausanne, Schweiz.

Jordan, F., García Hernández, J., Dubois, J., Boillat, J.-L. 2008. MINERVE: Modélisation des intempéries de nature extrême du Rhône valaisan et de leurs effets. Communication 38 du Laboratoire de Constructions Hydrauliques, EPFL, Lausanne, Schweiz.

- Metcalf, E. 1971. Storm water management model - Final report, in Water Pollution Control Research Series 11024 DOC 07/71. US EPA: Washington DC, USA.
- Schaefli, B. 2005. A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments. Hydrology and earth system sciences 9 (1-2), 95-109.