

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 75 (1983)
Heft: 5-6

Artikel: Massnahmen zur Verhinderung der Geschiebeablagerungen in den Ausläufen der Zentralen Tiefencastel
Autor: Peter, Walter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941263>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

zu einer massiven Unterbrechung der Kantonsstrasse. Auf rund 40 m rutschte die Strasse bei Scalate/Gordemo ins Tal und bedingte eine in die Millionen gehende Sanierung. Am 26. September wurde das Tessin erneut von sintflutartigen Regenfällen mit Sturmwinden heimgesucht. Camedo/Centovalli meldete an diesem Tag 335 mm Regen. Betroffen wurden vor allem das untere und mittlere Maggiatal sowie das Centovalli. (Im Dorf Villa Luganese richtete eine «Windhose» schwere Schäden an.)

Oktober: Milder Monat trotz wenig Sonne. Wiederum sorgte die Alpensüdseite für Schlagzeilen: Oberhalb Grono GR löste ein grosser Murgang mit 30 000 bis 40 000 m³ Material Schäden in der Grössenordnung von 4 Millionen Franken aus. 30 Personen mussten vorübergehend evakuiert werden. Trotz dem unermüdlichen Einsatz aller Feuerwehren von Misox dauerte es 3 Tage, bis eine Entschärfung der Lage eintrat.

Unaufhörliche Regenfälle brachten gegen Mitte Oktober Überschwemmungen in der Westschweiz. Eine Rutschung wurde am Col-de-la-Croix VD gemeldet. In Sembrancher VS geriet die mit Wasser vollgesättigte Erde erneut in Bewegung und bewirkte für mehrere Tage eine Sperrung der Strasse.

November: Ereignisloser Monat mit nur einer leichten Schadenmeldung. (Über den Föhnsturm Anfang November siehe Fussnote¹, Seite 115.)

Dezember: Milder und schneearmer Monat. Andauernde Regenfälle sorgten gegen Mitte des Monats für leichtere Überschwemmungen und Rutschungen in der Westschweiz. In der Klus SO wurde ein Fabrikareal durch Rutschungsmassen überführt, bei Dussnang TG geriet eine Waldpartie in Bewegung und im Val d'Anniviers VS wurde erneut eine Strasse verschüttet.

Zusammenfassend kann das Jahr 1982 bezüglich der untersuchten Wasser- und Rutschungsschäden als ein eher schadenarmes Jahr bezeichnet werden. Insbesondere die schweren Schäden treten stark zurück. Dagegen verursachten Naturereignisse anderer Art, wie Hagelschlag, Sturmwinde, nasser Sommer, grosse bis sehr grosse Schäden. Stark getroffen wurden die Land- und Forstwirtschaft.

Auffallend sind die seit Jahren wiederkehrenden Schäden in Siedlungsgebieten, indem Abläufe verstopfen oder das Schluckvermögen der Kanalisationen nicht genügt. Ein weiteres Problem stellen die ungenügend funktionierenden Bachdurchlässe dar. In vielen Fällen dürften sie zu klein bemessen oder/und dem Bachcharakter zu wenig angepasst sein. In beiden Bereichen dürfte es sich lohnen, die Ursachen zu ergründen, um Abhilfe zu schaffen.

Adresse der Verfasser: *Jürg Zeller* und *Gerhard Röthlisberger*, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf.

Massnahmen zur Verhinderung der Geschiebeablagerungen in den Ausläufen der Zentrale Tiefencastel

Walter Peter

Zusammenfassung

Die Flusssohle wird vor der Zentrale Tiefencastel mittels Blockwurf so umgestaltet, dass kleinere Abflüsse konzentriert an den Ausläufen vorbeigelenkt werden, was deren Verlandung verhindert. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Eichung des Modells, bei welcher der heutige Zustand reproduziert wird.

Résumé: Mesures de protection contre le colmatage des canaux de fuite de la centrale Tiefencastel

Le lit de la rivière est modifié par un enrochement de telle manière que les petits débits sont concentrés vers les sorties des canaux de fuites. Ceci empêche leur colmatage. On décrit le procédé d'étalonnage du modèle pour reproduire l'état actuel.

Summary: Features to protect the outlets of the Tiefencastel power house from gravel deposition

Gravel deposition in the power house outlets is prevented by landscaping the bed topography with blocks so that smaller discharges are diverted to form a concentrated flow across the outlets. Special attention is given to the model calibration by reproduction of the existing situation.

Einleitung

Die Kraftwerke Mittelbünden der Elektrizitätswerke der Stadt Zürich nutzen die Wasserkraft zwischen Julierpass und Domleschg. Das im Stausee Marmorera, in den Ausgleichsbecken Burvagn und Nisellas, am Heidsee sowie in weiteren Bachfassungen gefasste Wasser wird in den Zentralen Tinizong, Tiefencastel, Solis, Sils und Rothenbrunnen abgearbeitet. Die Zentrale Tiefencastel, mit einer installierten Leistung von 82 MW die grösste Einheit, liegt etwa einen Kilometer unterhalb der gleichnamigen Ortschaft unmittelbar an der Albula (Bild 1). Talwärts schliesst das Ausgleichsbecken Nisellas in der Schyn-Schlucht an. In diesem lagert sich das Geschiebe der Albula ab. Im Zusammenhang mit der Ausbeutung des anfallenden Geschiebes durch einen Kiesunternehmer tiefte sich die Albula vor der Zentrale Tiefencastel ein. Eine für den Betrieb der Zentrale wichtige Kühlwasserentnahme im unteren Auslauf (Ost) befand sich darauf bei Niederwasser über dem Wasserspiegel. Aus diesem Grund musste die Albula-sohle vor der Zentrale mit einer Schwelle gesichert werden. Seither werden die Ausläufe bei Hochwasser vom Fluss periodisch eingekiest.

Das nachfolgende Stauwehr Nisellas gehört zu den ältesten Anlagen der Kraftwerksgruppe. Es soll durch eine neue Staumauer Solis abgelöst werden. Diese soll die Albula zwei Meter höher aufstauen. Das bedeutet, dass bei maximalem Seestand und hohem Abfluss in der Albula die Stauwurzel des neuen Beckens Solis in den Bereich der Zentrale Tiefencastel zu liegen kommt. Die Gefahr, dass sich dort Geschiebe in den Ausläufen ablagert, steigt beträchtlich an. Das projektierende Ingenieurbüro für bauliche Anlagen der Industriellen Betriebe der Stadt Zürich (IBA) beauftragte deshalb die Versuchsanstalt für Wasser-

bau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich (VAW), Massnahmen zur Verhinderung der Ablagerungen im Modell zu studieren. Es bestanden zwei grundsätzlich verschiedene Projektideen: Nach Möglichkeit sollte der Albula-Abfluss mit Hilfe von Buhnen auf die linke Flussseite gelenkt werden. Die Konzentration des Abflusses sollte vor den Ausläufen die Schleppkraft lokal erhöhen und damit das Eindringen von Geschiebe verhindern. Als Alternative wurde ein Geschiebeumleitstollen ins Auge gefasst. Das Geschiebe würde oberhalb der Zentrale gefasst und in einem Stollen in tiefere Zonen des Stausees verfrachtet. Diese Lösung wäre mit wesentlich höheren Kosten verbunden, weshalb sie nur untersucht werden sollte, falls der erste Vorschlag nicht genügen würde.

Das Geschiebemodell

Zur Untersuchung des Geschiebeablagerungsproblems wurde ein Modell mit beweglicher Sohle erstellt. Während die umgebende Topographie im Massstab 1:40 mit Zementputz fixiert war, blieb das Flussbett ausgespart. Dieses wurde mit einer Kies-Sand-Mischung aufgefüllt, deren Korngrössen denjenigen in Natur proportional waren. Einzig die feinsten Bestandteile wurden im Modell nicht nachgebildet, weil Partikel kleiner als 0,1 mm kohäsiv sind. Der Geschiebenachschub bei Betrieb des Modells wurde durch eine Dosiermaschine sichergestellt, welche die dem Abfluss entsprechende Geschiebemenge im Einlauf zugab. Da bei einsetzendem Geschiebetrieb nur die feinen Bestandteile transportiert werden, wurde mit zwei verschiedenen Mischungen gearbeitet. Die Grundmischung wurde für hohe Abflüsse (grösser als $150 \text{ m}^3/\text{s}$) bei vollständig entwickeltem Geschiebetrieb verwendet, eine feinere Aussiebung für mittlere Abflüsse (80 bis $150 \text{ m}^3/\text{s}$). Für die kleineren Abflüsse genügte die Erosion aus der Sohle. Der Geschiebetrieb setzte nämlich schon bei $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ein, lokal schon früher. Die Beschickungsfunktion wurde im Modell empirisch bestimmt.

Die Geschiebeanalysen wurden im November 1980 durch die örtliche Bauleitung Sils des IBA durchgeführt. Es wurden an morphologisch unterschiedlichen Stellen drei Deckschicht- und sechs Unterschichtproben entnommen (Bild 2) und analysiert. Die einfache Mittelbildung der Unterschichtproben ergab eine Fuller-ähnliche Kurve, was erwartet wurde. Der maximale Korndurchmesser d_{max} war 25 cm, der mittlere d_m 7,5 cm. Das Mittel der Deckschichtproben ergab etwa die Kurve der Grenzdeckschicht, die sich nach Günter [1] aus der Unterschicht berechnen

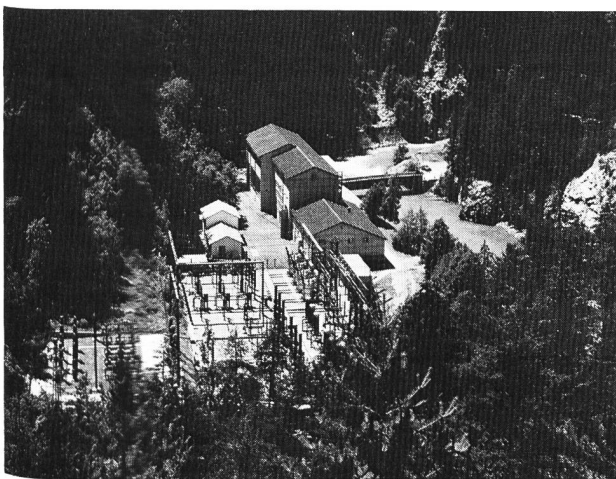


Bild 1. Gesamtansicht der Zentrale Tiefencastel mit Zubringerbrücke über die Albula. Im Vordergrund die 220-kV-Freiluftschaltanlage.



Bild 2. Entnahme einer Deckschichtprobe bei Niederwasser im November 1980. Die der Deckschicht angehörenden Steine werden durch Aufstreuen von Weisskalk identifiziert. Die angefrorenen Steine werden sodann mit Pickeln gelöst.



Bild 3. Naturaufnahme. Blick von der Zubringerbrücke flussaufwärts.

lässt. Die sorgfältige Entnahme und Analyse der Geschiebeproben wirkte sich sehr günstig auf die Durchführung der Versuche aus, wie noch zu sehen sein wird.

Die Eichung des Modells

Zuerst wurde versucht, im Modell den heutigen Zustand nachzubilden. Dabei wurden zwei Ziele verfolgt:

- Die Eignung der Geschiebemischung sollte anhand der Übereinstimmung zwischen Natur und Modell überprüft werden.
- Die Verlandung der Ausläufe sollte nachvollzogen werden, um die kritischen Abflusszustände zu ermitteln.

Aus der Literatur geht hervor, dass der zweijährliche Hochwasserabfluss für die Bankbildung massgebend ist. Das bedeutet, dass die Modellsohle nach dem Abfluss von $120 \text{ m}^3/\text{s}$ derjenigen in Natur entsprechen muss. Bild 4 ist nach einem solchen Ereignis aufgenommen (Modell). Der sichtbare Abfluss von $20 \text{ m}^3/\text{s}$ entspricht etwa demjenigen auf Bild 3 vom Naturzustand. Die Bilder zeigen, wie gut die Übereinstimmung mit der Natur im Modell erreicht werden konnte. Zusätzlich wurden im Modell Deckschichtanalysen durchgeführt, die ebenfalls gut mit den Proben in Natur übereinstimmten. Die Verlandung der Ausläufe der Zentrale ist auf Bild 5 ersichtlich. Während eine Bank in den Auslauf West hineinreicht, sind die Ausläufe Ost etwa einen Meter tief von grobem Flussgeschiebe eingekiest. Die Verlandungen waren beim Abfluss $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$ am extremsten. Mit zunehmender Wassermenge gingen sie leicht zurück. Sanierungsmassnahmen wurden in der Folge zuerst für $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$ entwickelt, bevor sie mit anderen Abflüssen getestet wurden.

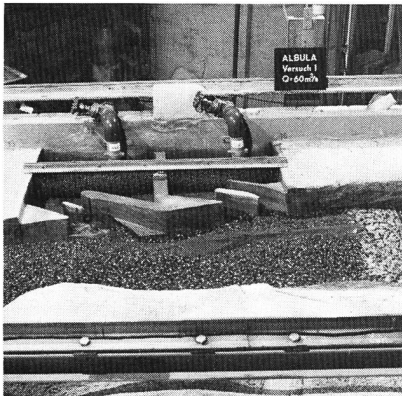


Bild 4. Eichversuch. Blick flussaufwärts.

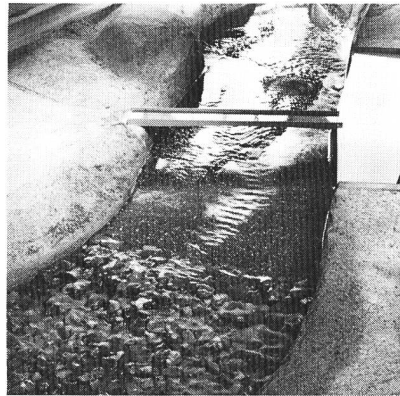


Bild 5. Eichversuch. Die Verlandung der Ausläufe der Zentrale Tiefencastel nach einem Hochwasser von $60 \text{ m}^3/\text{s}$.

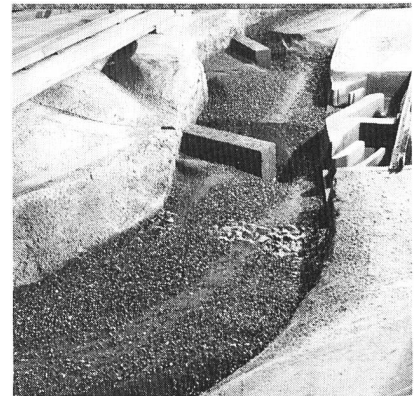


Bild 6. Erster Lösungsvorschlag. Mittels zweier Bühnen wird der Abfluss konzentriert an den Ausläufen vorbeigelenkt. An den Bühnenenden treten tiefe Kolke auf. Die vordere Bühne ist sogar unter-spült.

Versuchsergebnisse

Erster Lösungsvorschlag

Anfänglich wurde eine Lösung mit Bühnen gesucht, die als Spundwandkasten erstellt würden (Bild 6). Sie lenken Abflüsse bis $60 \text{ m}^3/\text{s}$ konzentriert an den Ausläufen vorbei, was diese weitgehend geschiebefrei hält. Bei grösseren Abflüssen sollen die Bühnen überströmt werden, damit das Hochwasserprofil möglichst gross bleibt. Diese Art von Bühnen sind ein starker Eingriff ins Flussregime, weshalb neben der guten Wirkung auch schwerwiegende Nachteile auftreten:

- In der Ablösungszone am vorderen Bühnenende tritt ein sehr tiefer Kolk auf, der eine noch tiefere Fundamentierung der Bühne erfordern würde.
- Bei Hochwasser wird die Bühne von geschiebefreiem Wasser überströmt, das an deren Unterwasserseite tief auskolkelt.
- Die hydraulisch günstigste Lage für eine Bühne wäre unter der Brücke, was aber zu grossen Schwierigkeiten beim Spunden führen würde.
- Die starke Einschürung und die folgenden grossen Erweiterungsverluste bewirken einen hohen Aufstau des Oberwassers.

Die vorgeschlagene Lösung

In der Folge wurde ein Lösungsvorschlag erarbeitet, der nur Blöcke und Geschiebe aus dem Fluss als Baumaterial vorsieht. Die Hauptströmung wird durch eine Ablenkibühne auf die linke Seite vor die Ausläufe gelenkt. Dort wird aus der Flusssohle eine Art einseitiges Doppelprofil geformt (Bild 7). Entlang den Ausläufen führt eine Niederwasserinne, die Abflüsse bis $60 \text{ m}^3/\text{s}$ aufnimmt (Bild 8). In der Rinne weist die Albula eine vergrösserte Transportkapazität auf.

Sie hat die Tendenz zu erodieren. Die Erosion wird durch den Blockwurf limitiert, mit dem die Rinne ausgekleidet ist. Auf der rechten Flussseite wird eine Terrasse aus Flussgeschiebe aufgeschüttet, deren Böschungen ebenfalls mit Blockwurf geschützt werden. Wenn der Abfluss die kritischen $60 \text{ m}^3/\text{s}$ übersteigt, fliesst geschiebefreies Wasser über die Terrasse ab. Das Geschiebe läuft nur durch die Niederwasserinne, weshalb sie in der Folge Geschieberinne genannt wird.

Im allgemeinen wird das Geschiebe problemlos durch die Geschieberinne transportiert. Bei sehr hohen Abflüssen jedoch geraten die Feinbestandteile in die Schwebel. Wenn die Turbinen der Zentrale nicht in Betrieb sind, können diese Schwebstoffe in die Sekundärwalzen geraten, welche in den Ausläufen entstehen. Dort werden sie dann vor allem in den rückwärtigen Teilen der Ausläufe abgesetzt. Ablagerungen von diesen Korngrössen werden jedoch bei Betrieb der Zentrale wieder ausgespült. Das Eindringen der Schwebstoffe kann zudem vermindert werden, wenn entlang der Ausläufe eine Blockreihe in die Geschieberinne versetzt wird.

Für die Blockwürfe werden zwei verschiedene Stärken verwendet, eine mit Durchmessern 60 bis 80 cm für wenig beanspruchte Teile und eine stärkere mit Durchmessern 90 bis 110 cm für stark beanspruchte Sohlenpartien. Letztere benötigt zusätzlich eine Filterschicht mit Durchmessern von 10 bis 40 cm, damit das hinterfüllte Flussgeschiebe nicht ausgespült wird. Der grössten Beanspruchung müssen die Blöcke an der Unterwasserseite von Terrasse und Geschieberinne standhalten. Jene Böschung wird deshalb auch sehr tief eingebunden.

Der Verzicht auf die starren Bühnen zugunsten des losen Blockwurfs hat für das untersuchte Objekt spezielle Vorteile. Um den Rückstau ins Oberwasser gering zu halten,

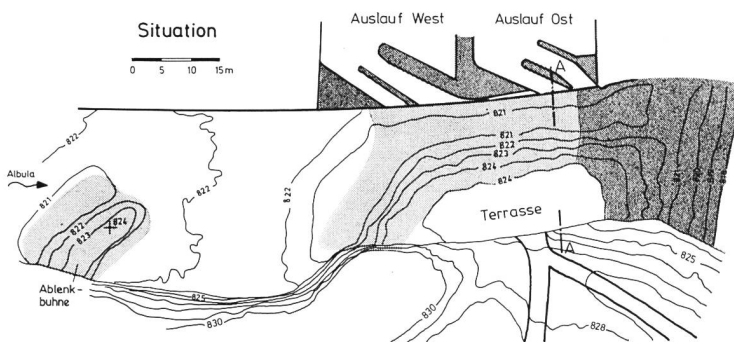
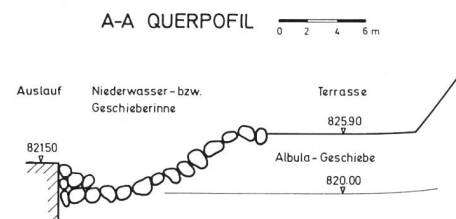


Bild 7. Die vorgeschlagenen Einbauten in die Albula vor der Zentrale Tiefencastel.



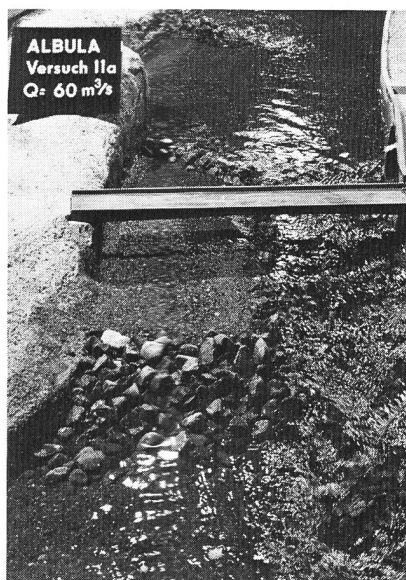


Bild 8, links. In der vorgeschlagenen Lösung fliesst bis $60 \text{ m}^3/\text{s}$ der ganze Albula-Abfluss durch die Geschieberinne ab. Der Unterwasserspiegel liegt zwei Meter unter dem Stauziel.

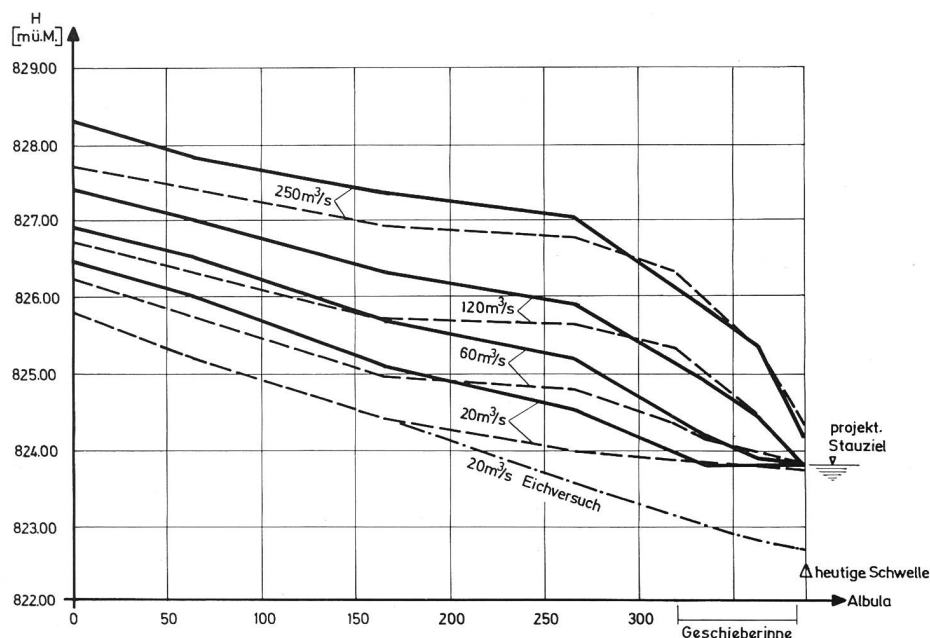


Bild 9, rechts. Wasserspiegelverlauf der Albula kurz- (—) und langfristig (---) nach Erstellen der vorgesehenen Einbauten.

wurde eine möglichst strömungsgünstige Ausbildung mit geringen Verlusten gesucht. Der Blockwurf hat die Eigenart, sich der Strömung anzupassen. Dadurch werden extreme Kolke verhütet, wie sie an den Bühnenenden entstanden.

Ein weiterer Vorteil liegt in der Hochwassersicherheit. Die Einbauten sind auf ein Höchsthochwasser von $250 \text{ m}^3/\text{s}$ dimensioniert, während das HHQ für die nachfolgende Staumauer Solis auf $600 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt wurde. Werden die $250 \text{ m}^3/\text{s}$ überschritten, so hält der Blockwurf der Belastung nicht mehr stand. Ausgehend von der schwächsten Stelle, wird er sukzessive wegerodiert und in den Stausee Solis verfrachtet. Es gibt also keinen plötzlichen Kollaps, bei dem das Lichttraumprofil der Brücke nicht mehr genügen könnte, was zum Einsturz der Brücke oder zur Überschwemmung der Zentrale führen würde.

Als Nachteil sind hingegen die langfristigen morphologischen Veränderungen flussaufwärts zu werten. Der Wunsch nach verstärkter Erosionskraft vor den Ausläufen bedingt ein steileres Energieliniengefälle in diesem Bereich des Flusses. Das bedeutet aber Aufstau oberhalb der Einbauten und das wiederum Auflandung der Sohle flussaufwärts. Auf Bild 9 sind die Auswirkungen kurz- und langfristig ersichtlich. Anfänglich wird ein hoher Rückstau erzeugt, der sich mit zunehmender Auflandung der Sohle wieder etwas abbaut. Die Auflandungen finden nur bei sehr hohen Abflüssen (mehr als $100 \text{ m}^3/\text{s}$) statt, wenn die Transportkapazität der Geschieberinne kleiner ist als diejenige der ungestörten Albula, weil ein Teil des Abflusses geschiefbefrei über die Terrasse abfliesst. Dann bleiben vor allem die größten Korngrößen im Oberwasser liegen. Die Geschieberinne wirkt also gewissermassen als Fraktionierung für die Ablagerungen im Stausee.

Die langfristige Wirkung der Einbauten hängt von der Bewirtschaftung des Stausees Solis und der Kiesausbeutung ab. Erreicht nämlich der Seespiegel das Stauziel, so wird das Geschiebe gleich anschliessend an die Geschieberinne abgelagert. Es bildet sich ein Delta, das bei zunehmender Grösse zu Rückstau und Auflandung in der Geschieberinne führt. Dieses Delta muss deshalb verhindert werden, sei es durch Baggerung, sei es, dass der Seespie-

gel so weit abgesenkt wird, dass das Material weiter flussabwärts in die Tiefe verlagert wird.

Schlussfolgerungen

Für den Geschiebetransport braucht es Energie bzw. ein steiles Energieliniengefälle. Dieses ist in der Albula bei Tiefencastel vorhanden, nicht aber im See. Nach Aufstau des Stausees Solis liegt die Zentrale Tiefencastel genau im Übergang von der Steil- in die Flachstrecke, dort, wo in der Wildbachverbauung jeweils die Kiessammler angeordnet sind. Unter diesen Umständen hätte vermutlich auch der Geschiebeumleitstollen nur bei tiefem Seestand funktioniert. Mit den vorgeschlagenen Einbauten können bei den erwarteten Spiegelschwankungen die anfallenden Kiesmengen grösstenteils an der Zentrale vorbeitransportiert werden. Die gefundene Lösung ist kostengünstig und wird den Anforderungen der Wasserwirtschaft, aber auch des Landschafts- und Naturschutzes gerecht. Sie unterliegt aber gewissen Einschränkungen und ist nicht ohne weiteres übertragbar. Sie ist eine den Gegebenheiten angepasste Ingenieurlösung.

Literatur

- [1] A. Günter: Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubspannungsschwankungen. VAW-Mitteilung Nr. 3.

Adresse des Verfassers: Walter Peter, dipl. Ing. ETHZ, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich (VAW), Gloriastrasse 37/39, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.