

Geschiebestollen in der Schweiz; Abmessungen und Erfahrungen

Daniel VISCHER



Prof. Dr. Dr. h.c. Daniel Vischer

Kurzbiografie:

- Ordentlicher Professor für Wasserbau und Direktor der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich,
- in vielen Verbänden und Organisationen tätig u. a. Vizepräsident des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes,
- über 230 Publikationen.

1. Einleitung

Ein Fluß, der in einen Stausee mündet, lagert dort seine Sedimente ab. Das Geschiebe und die grössten Schwebstoffkörner bilden dabei ein Delta. Dieses wächst laufend in den Stausee hinein. Dort füllt es vor allem die obere Schicht des Stauraums auf und vermindert damit den Nutzraum. Zur Verhinderung dieser Verlandung kommen verschiedene Massnahmen infrage. Eine davon ist die Erstellung und der Betrieb eines Geschiebestollens. Dieser stellt nichts anderes dar als einen Bypass für das Geschiebe. Das heisst, er leitet das Geschiebe und die gröberen Feststoffe um den Stausee herum ins Unterwasser (Abb. 1). Dadurch verhindert er die Deltabilung. Den Eintrag und die Absetzung der feinen Sedimente aber vermag er höchstens zu dämpfen. Der Einlauf zu einem Geschiebestollen ist gewissermassen das Gegenteil einer Nutzwasserfassung: Er muss so gestaltet sein, dass er bei Hochwasser zumindest einen Teil des anfallenden Wassers mit dem gesamten Geschiebe aufnimmt. Bei Nieder- und Mittelwasser ist er jedoch geschlossen, so dass das Wasser unvermindert in den Stausee fliesst.

Ein solcher Geschiebestollen ist also nicht nur ein Bypass für das Geschiebe, sondern auch ein solcher für das Hochwasser. Er kann deshalb zur Hochwasserentlastung der Talsperre gezählt werden. Hinsichtlich seiner Ausgestaltung gleicht er aber mehr einem Grundablass, der zu Spülzwecken eingesetzt wird. Während des Betriebs besteht bei ihm die Gefahr der Verklauung, der Verstopfung und des Abschliffs. Zur Veranschaulichung werden nachstehend die 5 in der Schweiz bestehenden Geschiebestollen vorgestellt. Es handelt sich um die zwischen 1922 und 1986 erstellten Anlagen Pfaffensprung, Egschi, Runcahez, Palagnedra und Rempen. Sie wurden nach ähnlichen Gestaltungsgrundsätzen gebaut und haben sich im wesentlichen bewährt. Eine erste Übersicht vermittelt Tabelle 1. Dabei ist zu vermerken, dass es sich bei den zugehörigen Stauseen um verhältnismässig kleine Speicher handelt. Es sind Tages- und Wochenausgleichsbecken von 200'000 bis 4 Millionen m³ Nutzinhalt. Sie erhalten ihre Zuflüsse aus dem direkten Einzugsgebiet sowie – mit der Ausnahme von Egschi – aus einer oberliegenden Kraftwerksstufe und allenfalls aus Überleitungen von benachbarten Tälern. Das von den Geschiebestollen aufgenommene und abgeleitete Geschiebe stammt natürlich nur vom direkten Einzugsgebiet. Ein weiteres Charakteristikum besteht darin, dass alle Anlagen an Wildbächen liegen, wo die Geschiebestollen mit relativ grossem Gefälle gebaut werden konnten. Wenn man sich dieser Voraussetzungen bewusst ist, erlaubt der Vergleich der Abmessungen und der Betriebserfahrungen einige Verallgemeinerungen. Als Grundlage dienen vor allem die Berichte von Chervet/Vischer (1996) und Vischer/Hager/Casanova/Joos/Lier/Martini (1997).

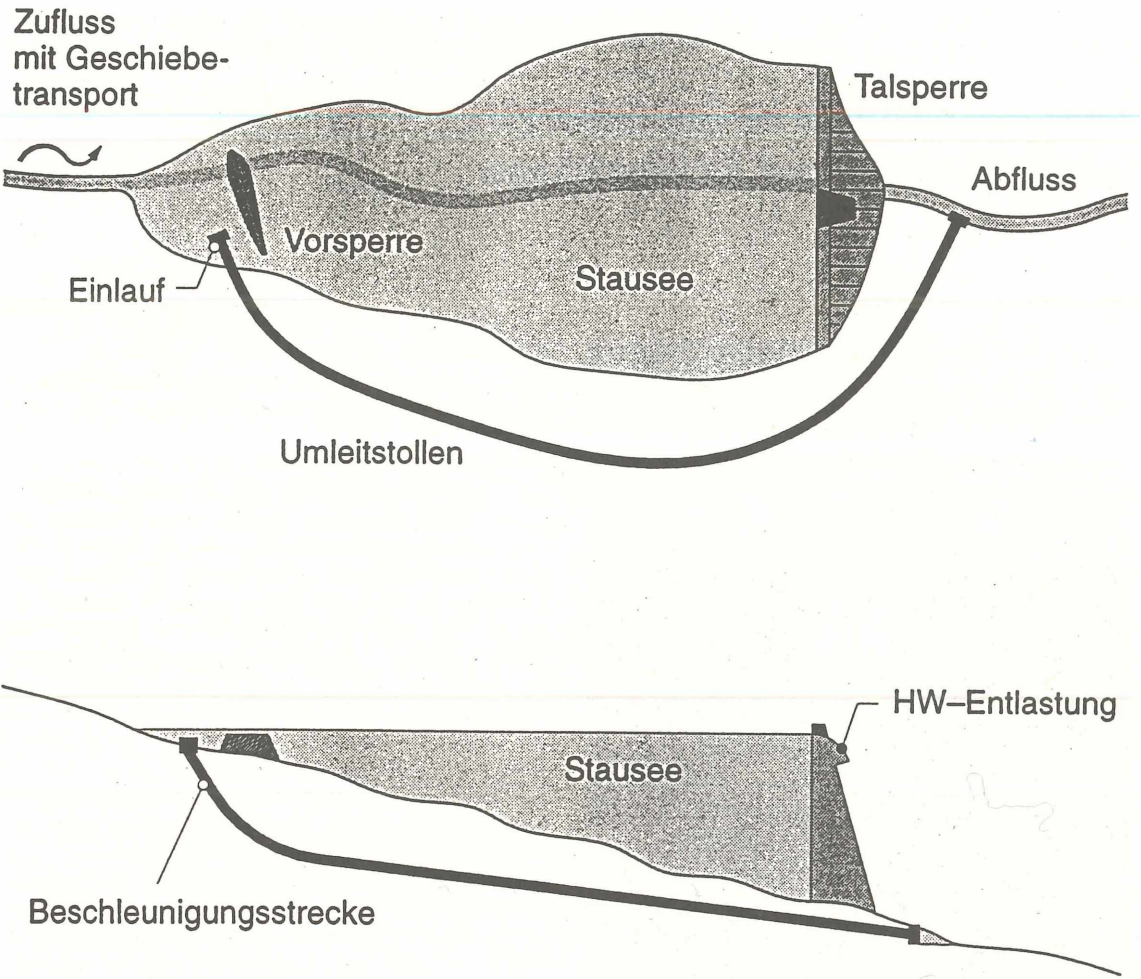


Abbildung 1
Prinzipische Skizze eines Geschiebestollens in Situation und Längsschnitt

Tabelle 1
Generelle Angaben über die 5 schweizerischen Geschiebestollen

Name der Anlage (Fluss)	Inbetriebnahme im Jahr (gehört zum Wasserkraftwerk)	Länge (davon als Beschleunigungs- strecke [m])	Gefälle der Flachstrecke (Max.Gefälle) [%]	Querschnitts- fläche (Form) [m ²]	Abflusskapazität (Regime) [m ³ /s]	Direktes Einzugsgebiet [km ²]
Pfaffensprung (Reuss)	1922 (Amsteg)	282 (25)	3 (35)	21 (Hufeisen)	220 (Freispiegel)	390
Egschi (Rabiusa)	1949 (Rabiusa Realta)	360 (20)	2.6 (21)	6.2 (Kreis)	~ 50 (Freispiegel) 70 (unter Druck bei Normalstau)	108
Runcahez (Somvixer-Rhein)	1962 (Vorderrhein)	572 (85)	1.4 (25)	15.2 (Torbogen)	110 (Freispiegel) 190(unter Druck)	50
Palagnedra (Melezza)	1978 (Maggia)	1760 (50)	2 (30)	30.2 (Kreis)	220 (Freispiegel) 250 (unter Druck)	140
Rempen (Wägitaler-Aa)	1986 (Wägital)	450 (22)	4 (25)	9.2 (Hufeisen)	80 (Freispiegel) 100 (unter Druck)	25

2. Anlage Pfaffensprung

2.1 Allgemeine Anordnung

Die Staumauer Pfaffensprung staut die Reuss zu einem Ausgleichsbecken von $170'000 \text{ m}^3$ Inhalt auf. Dieses Becken dient als Kopfspeicher für das 1922 in Betrieb genommene Kraftwerk Amsteg. Es wird mit dem Triebwasser des oberliegenden Kraftwerkes Wasser gespeist, sowie mit den direkten Zuflüssen aus der Reuss.

Infolge der begrenzten Kapazität des Kraftwerkes Amsteg wird ein wesentlicher Teil der reichlichen Sommerzuflüsse nicht benötigt. Deshalb wird dieser Teil am Stauschwanz des Ausgleichsbeckens gefasst und durch einen Umleitstollen ins Unterwasser geleitet. Damit wird auch das bei Hochwasser anfallende Geschiebe ins Unterwasser abgeben.

Der Einlauf des 280 m langen Umleitstollens liegt in einer Art Vorbecken (Abb. 2). Die zugehörige Sperre hat gleichsam die Form eines überflutbaren Leitwerks. Der Regulierung dienen zwei Einlaufschützen von je 5 m Breite. Der Einlaufquerschnitt misst 66 m^2 und verjüngt sich längs einer Beschleunigungsstrecke auf 21 m^2 . Der Rest der Stollenstrecke weist also den Normalquerschnitt von

21 m^2 auf. Der Auslauf liegt in der Felswand einer Schlucht. Das Schluckvermögen der Anlage beträgt etwa $220 \text{ m}^3/\text{s}$, was einem zweijährlichen Hochwasser entspricht.

2.2 Hydraulische Gesichtspunkte

Der Umleitstollen arbeitet im Freilauf. In seiner unteren Strecke, also im Normalquerschnitt, herrscht schiessender Normalabfluss. Beim dort vorhandenen Gefälle von 3 % liegen die maximalen Abflussgeschwindigkeiten bei $12,5 \text{ m/s}$ (Abb. 3). Die Beschleunigungsstrecke ist 35 m lang und fällt um 6 m. Sie ist so bemessen, dass sich das mit etwa 6 m/s in den Einlauf fließende Reusswasser auf die erwähnten Abflussgeschwindigkeiten von $12,5 \text{ m/s}$ beschleunigen kann.

Mit diesem Dispositiv bleibt also die Geschiebetransportkapazität längs der gesamten Flachstrecke konstant. Setzt man eine einigermaßen glatte Betonsohle voraus, lässt sich diese Kapazität nach Pedrolì berechnen (Pedrolì 1963). Sie erreicht bei einem Abfluss von $220 \text{ m}^3/\text{s}$ rund $5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abb. 3). In Wirklichkeit mag weniger Geschiebe anfallen. Die Erfahrungen zeigen aber, dass bei Hochwasser Tausende von Kubikmetern an Gesteinsmaterial durch den Stollen gehen.

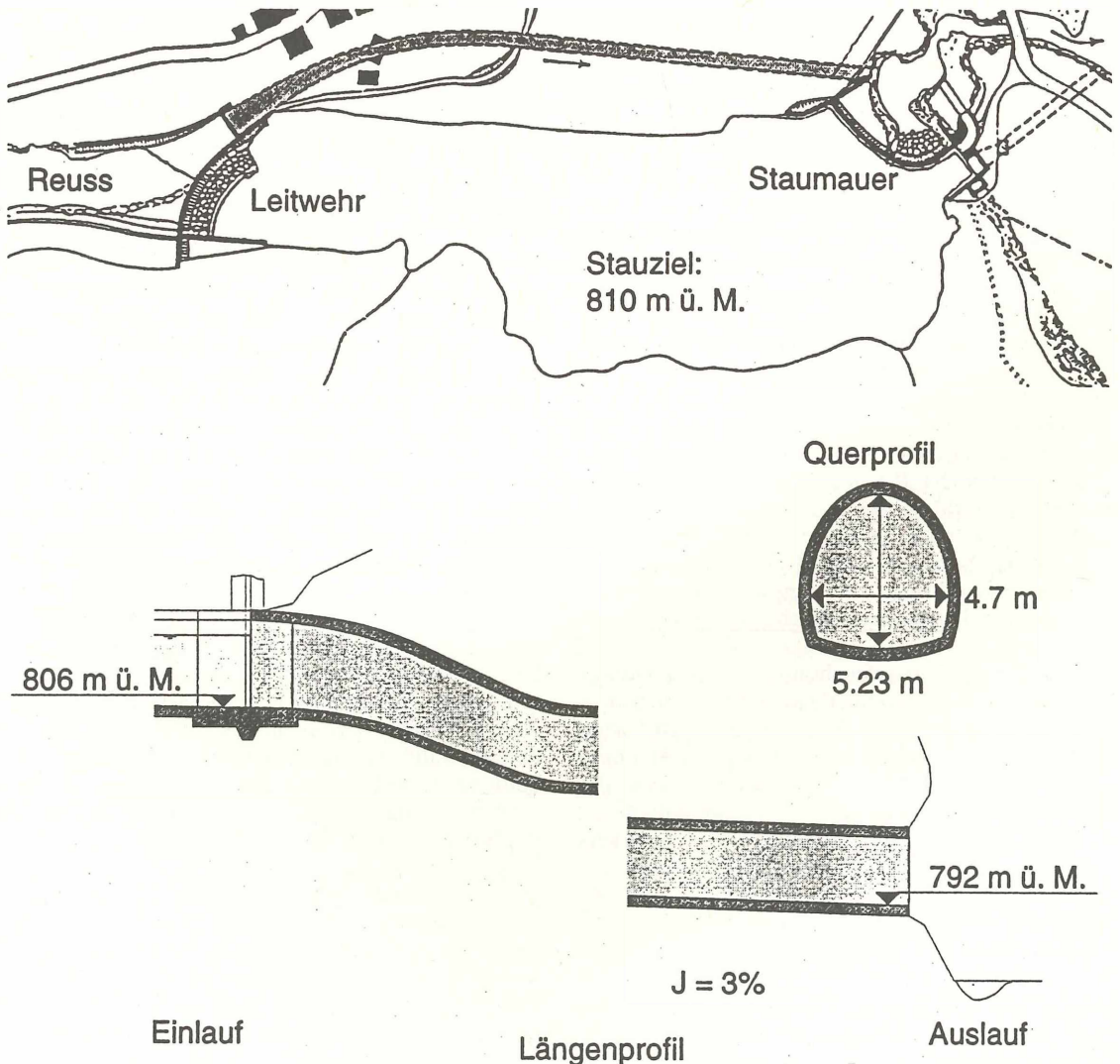


Abbildung 2

Anlage Pfaffensprung an der Reuss, Situation und Schnitte

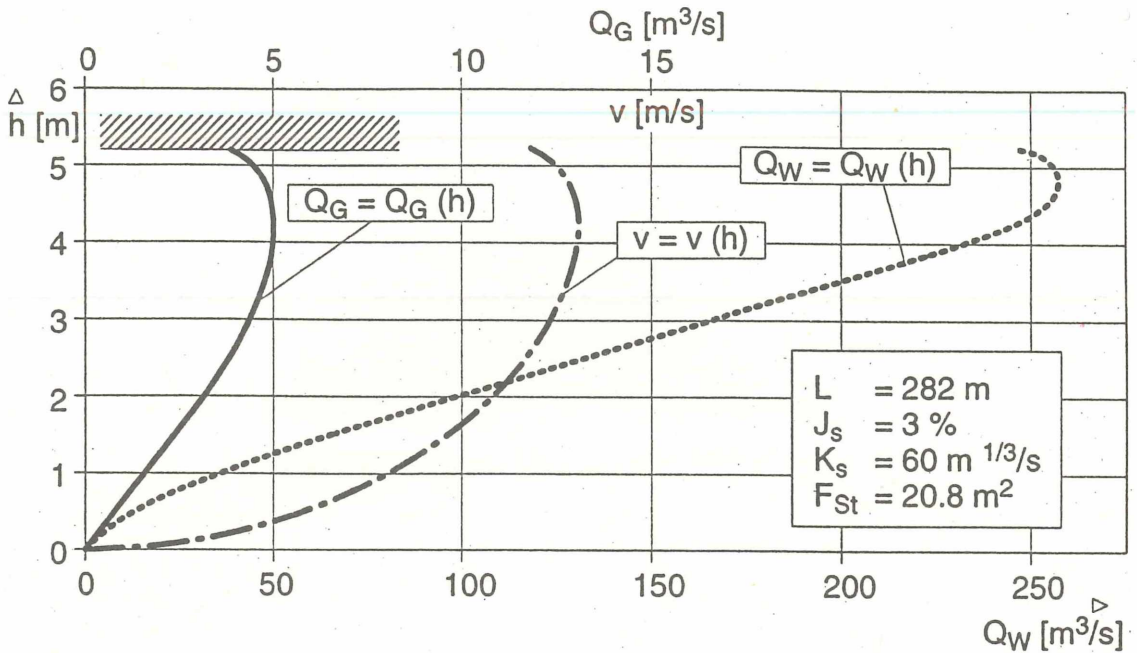


Abbildung 3

Anlage Pfaffensprung, berechnete Kurven für die Geschwindigkeit $v(h)$, den Abfluss $Q_W(h)$ und die Geschiebeführung $Q_G(h)$ bei Normalabfluss in der Flachstrecke des Geschiebestollens

Interessant ist noch ein Vergleich dieser Geschiebetransportkapazität mit jener des Zuflusses (Gefälle rund 3.5 %). Wie Abb. 4 zeigt, übersteigt die Transportkapazität des Stollens jene der Reuss erheblich. Beispielsweise ist beim Schluckvermögen von 220 m^3/s der Faktor mehr als zwei. Daher ist gewährleistet, dass die Spülwirkung des Stollens perfekt ist. Auf seiner Sohle bleibt also kein Geschiebe liegen. Das ist wichtig, weil sonst die Sohle nicht mehr glatt wäre, was die Geschiebetransportkapazität erheblich vermindern würde. Die erwähnte Formel von Pedroli käme dann jedenfalls nicht mehr zum Tragen.

Immerhin deutet die Differenz zwischen der errechneten Geschiebetransportkapazität des Stollens und jener der Reuss auf einen beträchtlichen Sicherheitszuschlag. In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, dass auch der Abschleiß eine Aufrauung der Sohle und damit eine Verminderung der Geschiebeführung bewirken kann. Der Sicherheitszuschlag ist also auch diesbezüglich zu verstehen.

Eine besondere Beanspruchung erfuhr die Anlage anlässlich des Extremhochwassers des Sommers 1987. In der Nacht vom 24. zum 25. August stieg der Reussabfluss beim Pfaffensprung auf 580 m^3/s (Jährlichkeit grösser als 100). Dabei wurde die Kapazität des Umleitstollens bei weitem überschritten, so dass sich ein Teil des Hochwassers in das Ausgleichsbecken ergoss. Die entsprechende Geschiebezufuhr dürfte etwa 100'000 m^3 betragen haben. Davon gelangten nur rund 15'000 m^3 ins Ausgleichsbecken, wo sie später mechanisch geräumt wurden. Der Rest floss durch den Umleitstollen. Über die anderen Schäden wird im nächsten Abschnitt berichtet. Der erwähnte Sicherheitszuschlag muss folglich auch solche Ausnahmefälle abdecken. Ihm ist es wohl zu verdanken, dass der Stollen während seiner fast 75-jährigen Betriebszeit nie verstopfte.

2.3 Abschleiß

Das durch den Umleitstollen Pfaffensprung transportierte Geschiebe besteht aus Granit und enthält viel Quarz. Dementsprechend ist der Abschleiß gross und erfordert immer wieder Reparaturen.

Weil der Umleitstollen wenig Überdeckung aufweist und zudem durch schlechtes Gestein führt, erhielt er von Anfang an ein starkes Betongewölbe. Dieses wurde zum Schutz gegen Abschleiß mit 0,5 m starken Granitblöcken verkleidet.

1935 vermochten zwei Hochwasser aber einige Granitblöcke auszubringen. Diese wurden anschliessend ergänzt. 1939 zerstörte ein Hochwasser von 390 m^3/s dann noch grössere Teile der Verkleidung und griff auch das Betongewölbe an. 1940 erfolgte gar ein Kollaps des Stollens. In der Folge verdoppelte man die Stärke des Betongewölbes an der Sohle und baute eine schwerere Granitverkleidung ein.

Weitere Schäden führten zu verschiedenen Versuchen mit neuartigem Verkleidungsmaterial. Anfangs der 60er Jahre wurde eine bestimmte Strecke mit 0,4 m Spezialbeton verkleidet. Die entsprechende Mischung bestand aus 400 kg/m^3 Lafarge-Zement und basaltischen Zuschlagstoffen. Die Verbindung zum Gewölbe war mit 22 mm starken Ankern gewährleistet. Zudem wurde der Beton noch mit einem Stahlnetz bewehrt. Nach anfänglich gutem Verhalten, wurde diese Verkleidung beim bereits erwähnten Ereignis von 1987 innerhalb weniger Stunden zerstört.

Heute ist der erste Drittel des Umleitstollens mit rechteckigen Schmelzbasaltplatten von 400 cm^2 Oberfläche und 5 cm Stärke ausgelegt. Diese Verkleidung hat sich in den zwei Jahren ihres Bestehens soweit gut bewährt. Nur 5 % der Platten zeigen kleinere Schäden. Doch waren die Platten bis jetzt noch keinen grösseren Hochwassern ausgesetzt.

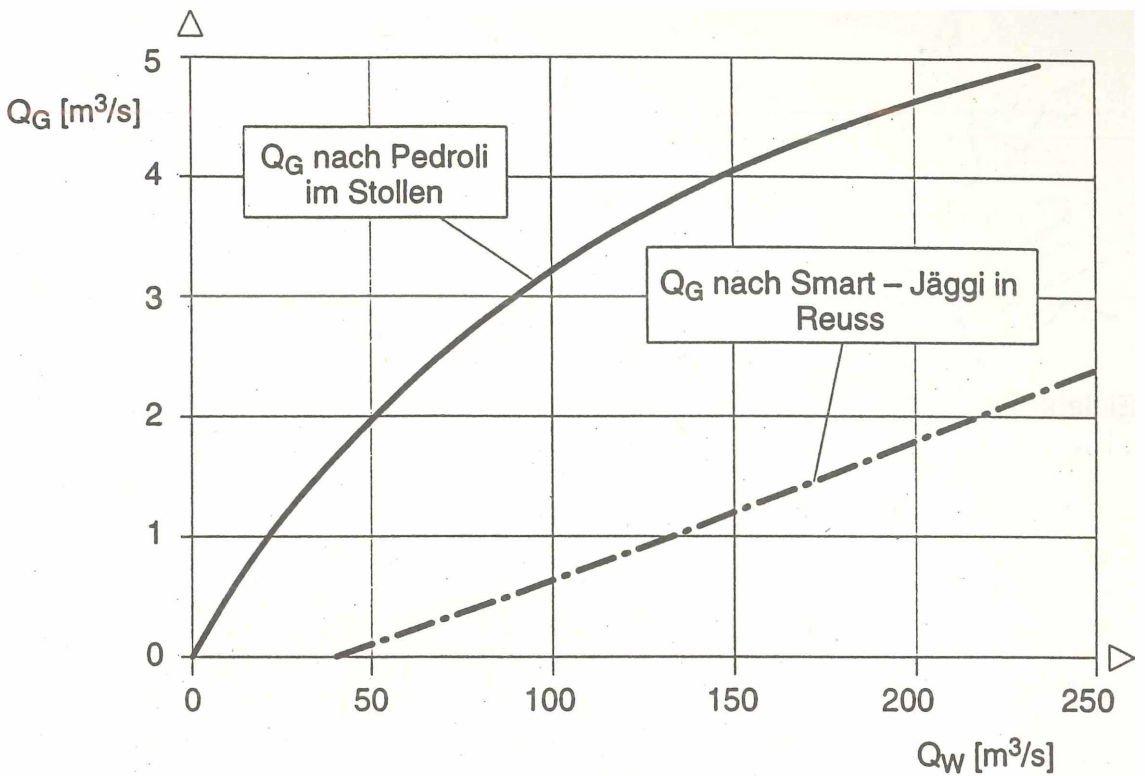


Abbildung 4

Anlage Pfaffensprung, Vergleich der gerechneten Geschiebefunktion im Geschiebestollen mit jener im oberliegenden Reussabschnitt

3. Anlage Egschi

3.1 Allgemeine Anordnung

In Egschi wird die Rabiusa mittels einer Gewichtsmauer aufgestaut. Das damit geschaffene Ausgleichsbecken weist heute ein Volumen von 260'000 m³ auf. Es gehört zum 1949 in Betrieb genommenen Kraftwerk Rabiusa-Realta und dient der Konzentration des Triebwassers auf die Werktag-Tagesstunden. Das Ausgleichsbecken ist bei Normalstau auf 1148 m ü.M. rund 350 m lang. In der Mitte wird es durch ein überflutbares Leitwerk unterteilt, das die Rabiusa bei Bedarf in den Umleitstollen leitet (Abb. 5). Die Lage des Leitwerks (Vorsperre) und des Einlaufs ergab sich vor allem durch den Konzentration des Triebwassers auf die Werktag-Tagesstunden. Das Ausgleichsbecken ist bei Normalstau auf 1148 m ü.M. rund 350 m lang. In der Mitte wird es durch ein überflutbares Leitwerk unterteilt, das die Rabiusa bei Bedarf in den Umleitstollen leitet (Abb. 5). Die Lage des Leitwerks (Vorsperre) und des Einlaufs ergab sich vor allem durch den Konzentration des Triebwassers auf die Werktag-Tagesstunden.

Der Umleitstollen ist 360 m lang und weist ein Kreisprofil von 6,2 m² Durchflussfläche, beziehungsweise 2,8 m Durchmesser auf. Der Einlauf wird durch zwei Tafelschützen von je 2,5 m Breite kontrolliert. Dann folgt eine kurze, steile Beschleunigungsstrecke und eine lange 2,6 % geneigte Flachstrecke. Bei Normalstau läuft der Stollen unter Druck und schluckt rund 70 m³/s. Im Freilauf schafft er etwa 50 m³/s.

Zu erwähnen ist noch, dass der Umleitstollen während des Staumauerbaus als Bauumleitung diente.

3.2 Der Betrieb

Die Anlage Egschi wurde verschiedentlich umgebaut. Eine wichtige Neuerung betraf die Ergänzung

des Einlaufs mit zwei Segmentschützen, die den weniger gut regulierbaren Tafelschützen vorgelagert sind. Das erlaubt heute folgenden Staubetrieb:

Im Winter sowie bei schwachen Zuflüssen im Sommer ist der Umleitstollen geschlossen. Dementsprechend fließt alles Rabiusa-Wasser in den untern Teil des Beckens, wo sich die Entnahme des Kraftwerks befindet. Bei stärkeren Zuflüssen wird der Durchfluss mit den Segmentschützen reguliert.

Tritt im Sommer ein Hochwasser auf, so wird das Becken zunächst auf Normalstau gefüllt. Bei weitersteigendem Spiegel springt die Hochwasserentlastung auf der Staumauer an. Gleichzeitig werden aber auch die Schützen des Umleitstollens geöffnet. Erreicht der Spiegel einen Überstau von 1,40 m, so sind diese Schützen vollständig offen und leiten 72 m³/s ab. Über die Hochwasserentlastung strömen dann 53 m³/s. Das ergibt zusammen 125 m³/s, was etwa einem 20-jährlichen Hochwasser entspricht. Auch beim 100- und 1000-jährlichen Hochwasser wird der Umleitstollen als Entlastungsorgan eingesetzt.

Durchschnittlich ist der Umleitstollen etwa an 10 Tagen pro Jahr in Betrieb.

Das erwähnte Zusammenspiel zwischen der eigentlichen Hochwasserentlastung und dem Umleitstollen ermöglicht es, das Treibholz über die erstere weiterzuleiten. Auf diese Weise wird die Gefahr von Verklausungen des Einlaufs zum Umleitstollen vermindert. Ein aussergewöhnlicher Betriebsfall trat diesbezüglich am 10./11. August 1994 ein. Die Rabiusa führte Hochwasser und der 50 m flussaufwärts des Umleitstollens einmündende Seitenbach produzierte einen Murgang. Dabei wurden die Schützen des Einlaufs durch Blöcke bis zu 3 m³

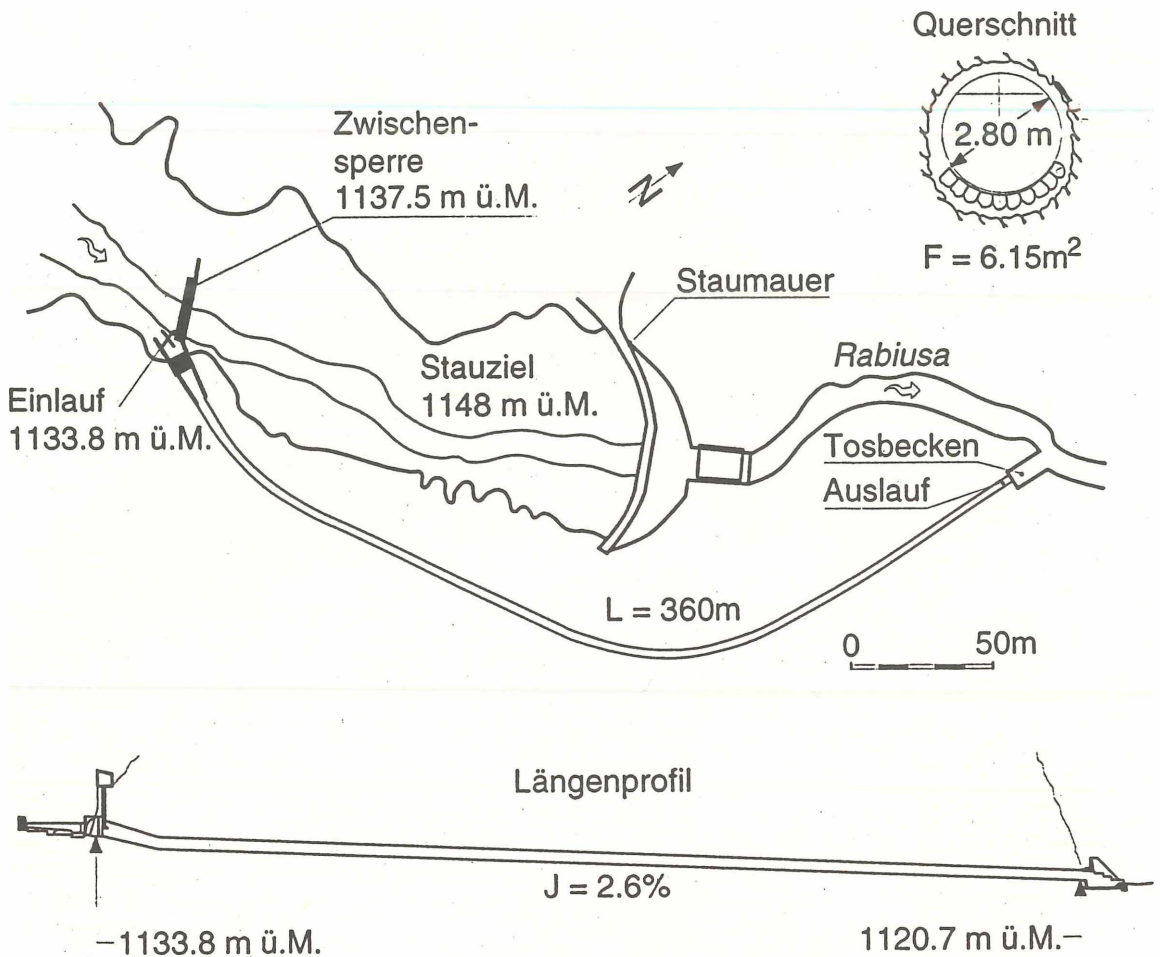


Abbildung 5

Anlage Egschi an der Rabiusa, Situation und Schnitte

Grösse und durch Holz blockiert. Folglich ergoss sich die Rabiusa mit ihrem Geschiebe ungehemmt und unvermindert in den unteren Teil des Ausgleichsbeckens. Zur Ergänzung der Hochwasserentlastung musste sofort der Grundablass geöffnet werden. Er erlitt in der Folge einige Abschleifschäden und wurde später repariert. Die Räumungsarbeiten im Einlaufbereich des Umleitstollens liessen sich während weniger Tage mit einem kleinen Bagger bewältigen.

3.3 Abschleif

Das bei Egschi anfallende Geschiebe besteht zur Hauptsache aus Bündnerschiefer, das heisst also aus Komponenten von Tonstein, Mergelstein, siltigem Kalk und allenfalls Serpentin. Quarz ist darin nur wenig oder gar nicht enthalten.

Am Anfang, also 1949, wurde der Stollen an der Sohle mit Quarzit-Blöcken verstärkt. Die Wände und der Scheitel waren mit einem 25 cm starken Spritzbetonring verkleidet. In den ersten Betriebsjahren hielten sich die Abschleifschäden in Grenzen. Dann nahmen sie zu und erforderten einigen Unterhalt. 1979/80 musste die Sohle vollständig erneuert werden. Diesmal wurden Quader aus Quarzporphyr (sogenannter Andeerer Granit) eingesetzt. Sie waren 30 cm stark und derart geschnitten, dass die Fugen klein ausfielen. Der Verguss erfolgte mit Basaltmörtel.

4. Anlage Runcahez

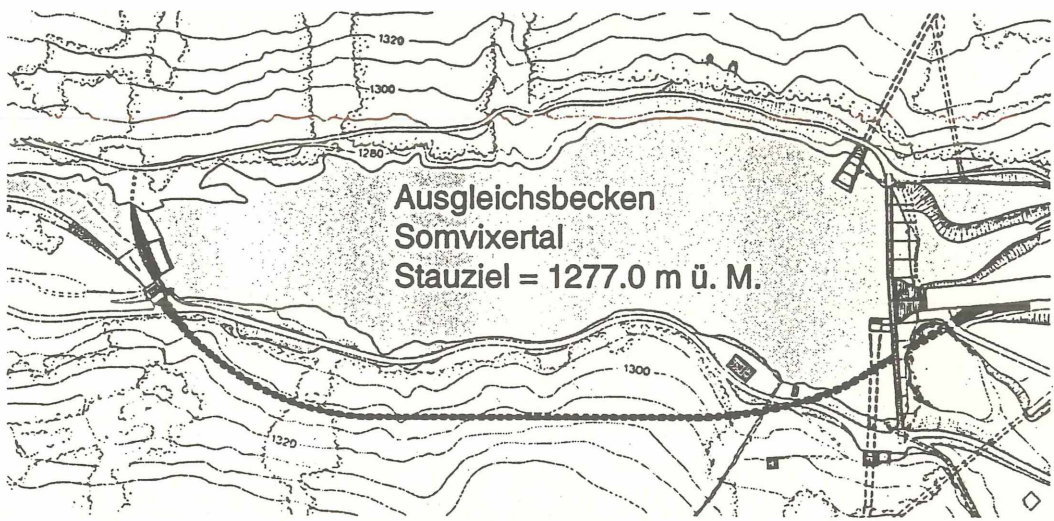
4.1 Allgemeine Anordnung

Das Ausgleichsbecken Runcahez gehört zu den 1962 in Betrieb genommenen Kraftwerken Vorderrhein. Es dient als Puffer zwischen den Stufen Sedrun und Tavanasa sowie dem Ausgleich der Zuflüsse aus dem Zwischeneinzugsgebiet. Der Stau wird durch eine Vollmauer erzeugt, das Nutzvolumen beträgt $436'000 \text{ m}^3$.

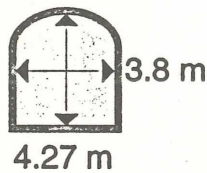
Das direkte Einzugsgebiet misst bloss 50 km^2 . Es ist aber steil, so dass viel Geschiebe anfällt. Um diesem den Eintritt in das Ausgleichsbecken zu verwehren, wird es am Stauschwanz gleichsam seitlich abgewiesen. Das gelingt durch ein Leitwerk und einen anschliessenden Umleitstollen (Abb. 6).

Der Umleitstollen weist eine Länge von 572 m auf. Sein Einlauf kann durch eine Drucksegment-schütze reguliert werden. Die anschliessende Beschleunigungsstrecke ist 79 m lang und bis zu 25 % geneigt. Dann folgt eine Flachstrecke mit 1,4 % Gefälle. Das entsprechende Torbogenprofil ist dort im Licht 3,80 m breit und 4,27 m hoch. Der Auslauf liegt unmittelbar flussabwärts der Staumauer.

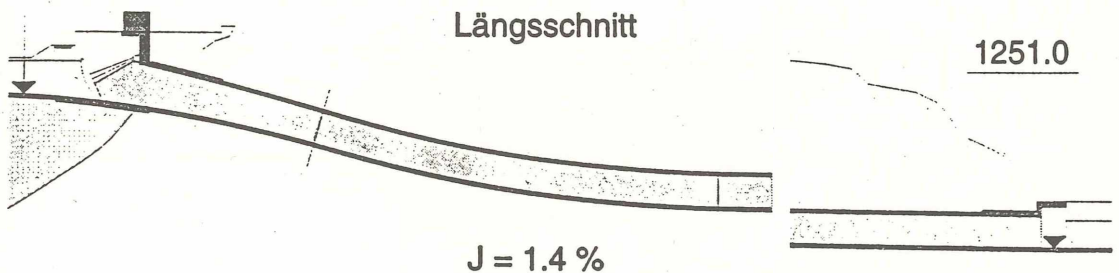
Der Umleitstollen wird dann geöffnet, wenn der Zufluss aus dem direkten Einzugsgebiet $30 \text{ m}^3/\text{s}$ übersteigt. Er nimmt sofort den ganzen Zufluss auf.



Querschnitt



1273.5



Einlauf

Auslauf

Abbildung 6

Anlage Runcahez am Somvixer Rhein, Situation und Schnitte

Seine Kapazität im Freilauf erreicht etwa $110 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abb. 7). Damit wird er auch als Organ der Hochwasserentlastung betrachtet und eingesetzt.

4.2 Hydraulische Gesichtspunkte

Berechnet man für die Flachstrecke den Normalabfluss, erhält man die Beziehungen von Abb. 7. Dieser Normalabfluss wird bei niedrigen Abflüssen schon 200 m nach dem Einlauf erreicht. Bei hohen Abflüssen stellt er sich aber praktisch erst im Auslauf ein. Abb. 8 zeigt die Entwicklung der Geschwindigkeiten längs des Stollens bei 10 und $100 \text{ m}^3/\text{s}$. An sich wäre es die Aufgabe der Beschleunigungsstrecke, den Abfluss auf den schiessenden Normalabfluss in der Flachstrecke zu beschleunigen. Sie wirkt aber zu stark. Bei $10 \text{ m}^3/\text{s}$ beschleunigt sie das Wasser auf 9 statt auf 5 m/s, bei $100 \text{ m}^3/\text{s}$ auf 16 statt auf 9 m/s. Diese Überbemessung ergab

sich aus bautechnischen Gründen, begünstigt aber den Abschliff.

4.3 Der Abschliff

Die mittlere jährliche Betriebsdauer des Umleitstollens liegt bei 100 Stunden (4 Tagen). Die Größenordnung der von ihm abgeleiteten jährlichen Geschiebefracht dürfte $100\,000 \text{ m}^3$ sein. Bis heute blieb noch nie Geschiebe im Umleitstollen liegen. Hingegen ergaben sich immer wieder Abschliffschäden.

Das Geschiebe besteht aus Gneis und Glimmerschiefer. Es enthält zum Teil viel Quarz und ist kaum gerundet. Das mittlere Korn misst 23 cm, das Maximalkorn 120 cm. Beim Abfluss durch den Umleitstollen schleift das Geschiebe nicht bloss der Sohle entlang, sondern springt bisweilen auf und übt damit Schläge aus.

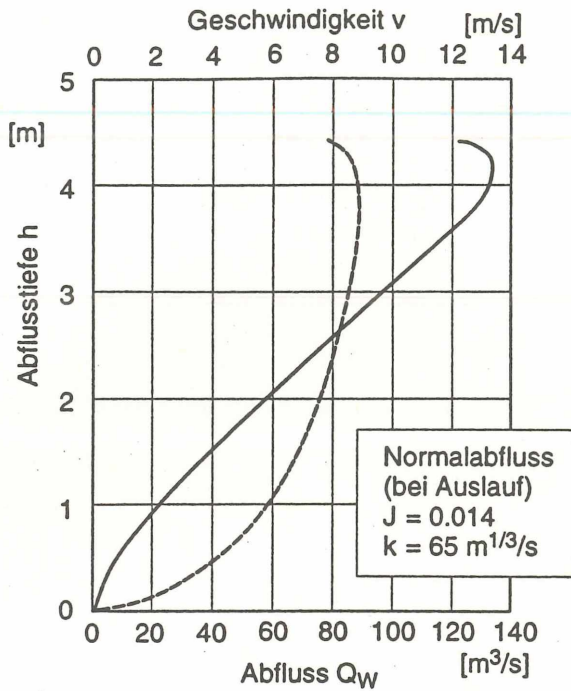


Abbildung 7

Anlage Runcahez, berechnete Kurven für die Geschwindigkeit $v(h)$ und für den Abfluss $Q_W(h)$ bei Normalabfluss auf der Flachstrecke des Geschiebestollens

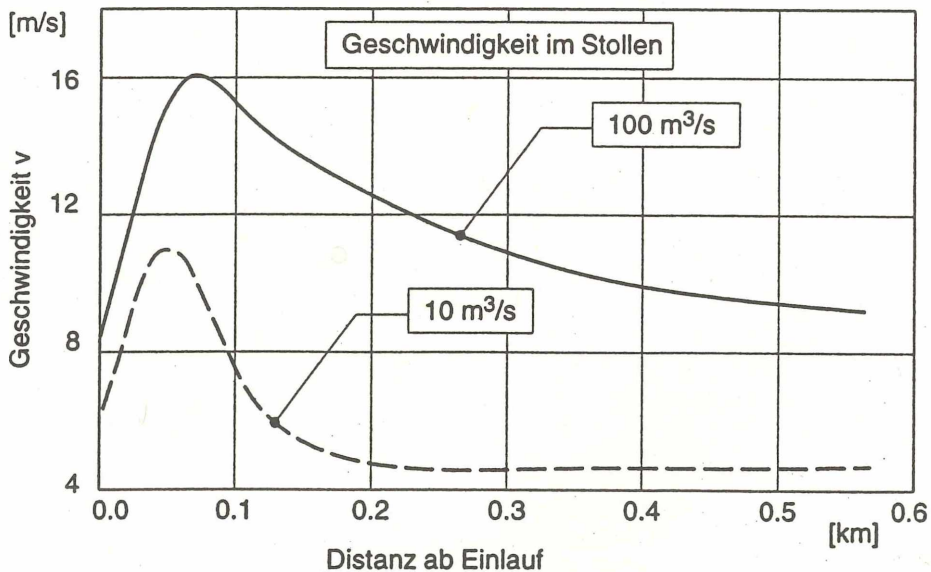


Abbildung 8

Anlage Runcahez, berechnete Geschwindigkeiten v längs des Geschiebestollens für zwei Abflüsse

Auf der Sohle des Umleitstollens wurde deshalb von Anfang an ein Spezialbeton eingebracht, der sich 15 Jahre lang recht gut hielt. Dann entwickelten sich jedoch – und das vor allem am Ende der Beschleunigungsstrecke – massive Erosionsschäden, die immer wieder Reparaturen verlangten. Eine besondere Beanspruchung brachte das ausserordentliche Hochwasser vom 18./19. Juli 1987. Es hinterliess in der Sohle gewaltige Grabensysteme

und verschiedene, sich über die ganze Sohlenbreite ausdehnende Kolklöcher. Diese reichten bis zu 3 m tief unter die ursprüngliche Sohle in den Felsen.

Nach einlässlichen Studien wurde die am meisten in Mitleidenschaft gezogene Beschleunigungsstrecke neu geschützt. Das heisst, die ersten 184 m des Stollens erhielten nach Auffüllen der Kolklöcher mit Beton eine Sohlenverkleidung von

Schmelzbasaltplatten. Diese weisen die Masse $20 \times 20 \times 5 \text{ cm}^3$ auf. Für die anschliessende Flachstrecke wurde noch keine definitive Lösung getroffen. Zur Zeit laufen dort auf 5 Strecken von je 10 m Länge Versuche mit unterschiedlichen Betonsorten. Es handelt sich um Mircrosilikatbeton, Walzbeton, Normalbeton (als Referenzversuch), Stahlfaserbeton und Polymerbeton. Die Mischungen wurden auf einer Ausgleichschicht von Normalbeton und in mindestens 25 cm Stärke eingebracht. Da sich bis jetzt keine wesentlichen Hochwasser ereigneten, stehen Erfahrungen und Auswertungen noch aus.

5. Anlage Palagnedra

5.1 Allgemeine Anordnung

Eine Bogengewichtsmauer staut die Melezza-schlucht bei Palagnedra zu einem Ausgleichsbecken von ursprünglich 4,8 Millionen m^3 Nutzinhalt auf. Das Becken dient als Puffer zwischen zwei Stufen der Maggia Kraftwerke. Es nimmt aber auch die Zuflüsse aus dem direkten Einzugsgebiet auf. Die Inbetriebnahme erfolgte 1953.

Das direkte Einzugsgebiet misst 140 km^2 . Es unterliegt einer bedeutenden Erosion. Dementsprechend ist der Sedimenteintrag ins Ausgleichsbecken gross. Schon 1968, also 15 Jahre nach der Inbetriebnahme, erreichten dort die Ablagerungen 1,4 Millionen m^3 , wovon 700'000 m^3 im Nutzraum. Mit einer schwimmenden Pumpanlage gelang es während 4 Jahren 500'000 m^3 davon wegzuschaffen. Die damit verbundenen Emissionsprobleme erzwangen dann aber eine andere Lösung:

1974 bis 78 erfolgte der Bau einer überflutbaren Vorsperre und eines Geschiebeumleitstollens (Abb. 9). Durch die Vorsperre wird das Becken zweigeteilt; der obere Teil bildet einen Auffangraum für das Geschiebe, der untere steht dem Kraftwerkbetrieb zur Verfügung. Der Stollen dient der Spülung des Auffangraums. Er ist 1,8 km lang. Sein Einlauf von rund 15 m Breite führt in die sich verjüngende Beschleunigungsstrecke. Diese ist 29,6 % geneigt und an ihrem unteren Ende mit einer Segment-schütze kontrollierbar. Die anschliessende Flachstrecke weist ein Hufeisenprofil von 30 m^2 Querschnitt, beziehungsweise 6,2 m Innendurchmesser auf. Das Gefälle beträgt 2 %. Der Auslauf ist 8 m über dem Melezzabett in einer Felswand angeordnet.

Die Anlage wurde auf einen Abfluss von $250 \text{ m}^3/\text{s}$ bemessen, was einem dreijährlichen Hochwasser entspricht. Sie geht jeweils in Betrieb, wenn die Melezza mehr als $20 \text{ m}^3/\text{s}$ bringt. Eine hydraulische Nachrechnung für $220 \text{ m}^3/\text{s}$ zeigt, dass der Normalabfluss in der Flachstrecke mit einer Geschwindigkeit von fast 9 m/s erfolgt. Die Beschleunigungsstrecke beschleunigt das Wasser aber auf etwa 14 m/s. Sie ist diesbezüglich also zu grosszügig dimensioniert. Beim Öffnen der Segment-schütze kann das Wasser gar mit 18 m/s in die Flachstrecke schiessen.

5.2 Abschleiß

Das anfallende Geschiebe besteht grösstenteils aus Gneis und ist recht quarzhaltig. Dementsprechend ist der Geschiebeumleitstollen einem starken

Abschleiß unterworfen. Der heikelste Teil ist die Beschleunigungsstrecke mit deren Übergang zur Flachstrecke.

Anfänglich war die Sohle der Beschleunigungsstrecke mit Basaltbeton verkleidet. Auf der stark geneigten Sohle haftete dieser aber zuwenig nachhaltig und wurde anlässlich einiger Spülungen zerstört. Ein Testversuch mit Schmelzbasaltplatten fiel negativ aus. Die Platten waren zwar sehr abriebfest, brachen aber infolge der starken Schläge seitens der Geschiebeblöcke. Die Einlaufstrecke erhielt darum eine Sohlenpanzerung mit besonders abriebfesten Stahlblechen. Diese sind offenbar imstande die Schläge federnd aufzunehmen.

Die Flachstrecke erhielt bloss eine normale Sohlenverkleidung aus Beton. Eine volle Verkleidung wurde nur dort eingebracht, wo es die Geologie erforderte. Von dieser Sohlenverkleidung war aber schon nach wenigen Spülungen nichts mehr zu sehen. In der Folge wurde der darunterliegende Fels zunehmend von einer Erosionsrinne durchzogen. Das grösste Kolkloch erreichte schliesslich eine Tiefe von 4,8 m. Die Bildung der Erosionsrinne wurde wahrscheinlich durch den Umstand begünstigt, dass der Stollen konventionell ausgebrochen und der umliegende Fels damit aufgelockert worden war. Heute hat sich dieser Erosionsprozess etwas beruhigt.

Eine Ausnahmesituation erfuhr die Anlage am 7. August 1978, also kurz nach ihrer Eröffnung. Damals ergoss sich ein aussergewöhnliches Hochwasser von schätzungsweise $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ in das Ausgleichsbecken, was zu einem Überschwappen der Stau-mauer und zur Verstopfung der Triebwasserentnahme führte. Der Geschiebeumleitstollen war von Anfang an voll in Betrieb. Doch wurde er dann auf polizeiliches Geheiss hin geschlossen, um die infolge von Überschwemmungen notwendigen Rettungsarbeiten flussabwärts (Losone, Locarno, Ascona) zu erleichtern. Später konnte er wegen Stromausfall leider nicht mehr geöffnet werden. Das hatte zur Folge, dass sich im Ausgleichsbecken rund 2 Millionen m^3 Sedimente absetzten. Dieses Material musste anschliessend während 4 1/2 Monaten durch die beiden Grundablässe der Stau-mauer weggespült werden.

Seither arbeitet der Geschiebeumleitstollen bei einigem Unterhalt zufriedenstellend.

6. Anlage Rempen

6.1 Allgemeine Anordnung

Das Ausgleichsbecken Rempen liegt zwischen den beiden Stufen der 1922 bis 1924 gebauten Kraftwerke Wägital. Es nimmt neben dem Triebwasser der oberen Stufe auch das Wasser des 25 km^2 messenden Zwischeneinzugsgebietes auf. Als Stauwerk dient eine Gewichtsmauer, die neben einer 5-teiligen Hochwasserentlastung zwei Grundablässe von je $90 \text{ m}^3/\text{s}$ Kapazität umfasst. Letztere dienen unter anderem der Freispülung des $480'000 \text{ m}^3$ grossen Beckens von Feinsedimenten.

Nach verschiedenen anderen Umbauten wurde am Stauschwanz des Beckens ein Leitwerk mit einem anschliessenden Umleitstollen erstellt und 1986 in Betrieb genommen. Der Zweck dieser Anlage (Abb. 10) ist ein dreifacher:

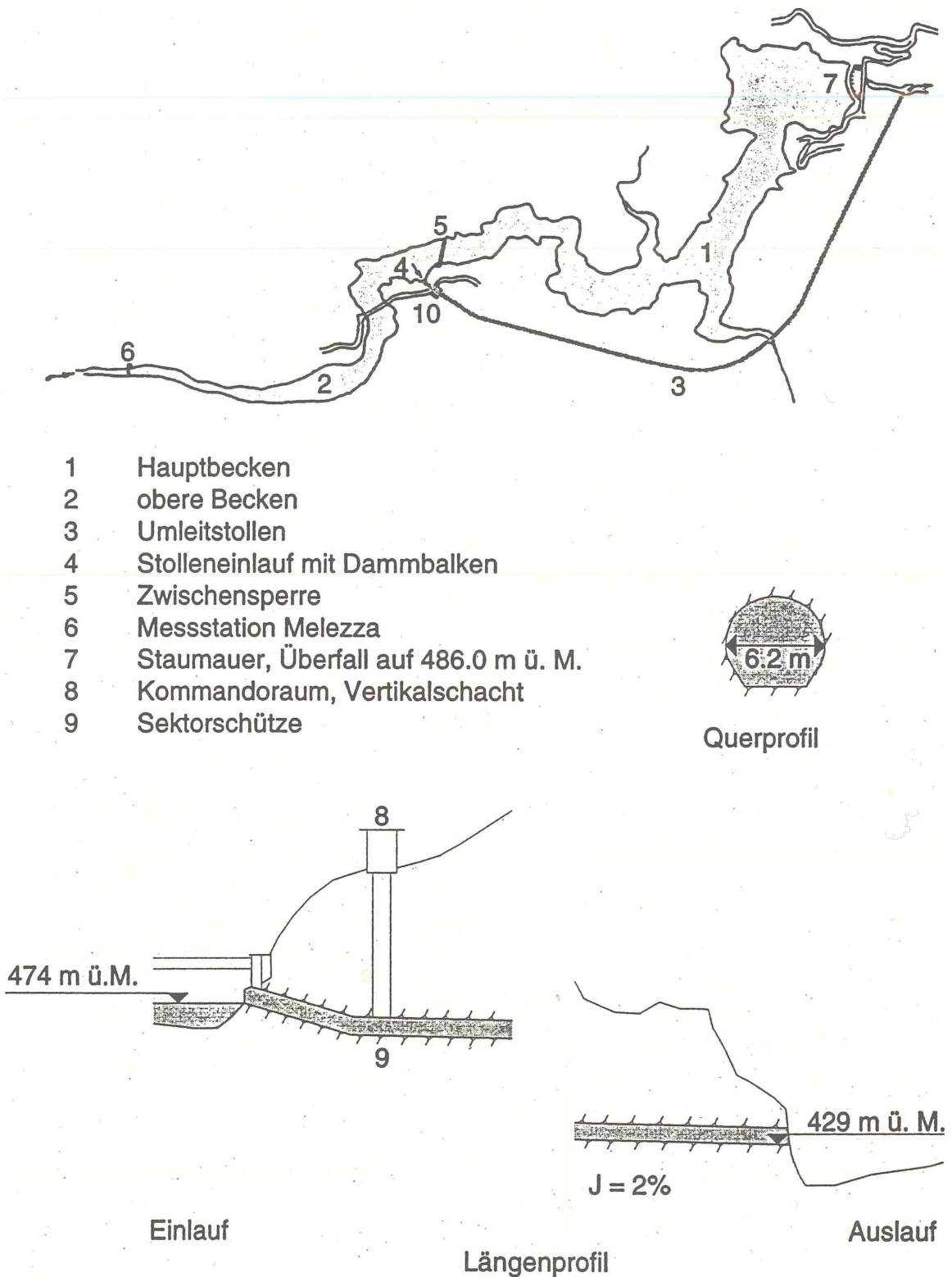


Abbildung 9

Anlage Palagnedra an der Meleza, Situation und Schnitte

- Sie stellt mit einem Schluckvermögen von 100 m³/s sicher, dass das 1000-jährliche Hochwasser von rund 280 m³/s selbst bei Ausfall einer der beiden Grundablässe abgeleitet werden kann.
- Sie vermindert die Verlandung des Ausgleichsbeckens, indem sie die groben Sedimente und im Hochwasserfall auch die feinen ins Unterwasser ableitet.

- Sie erlaubt bei Spülungen des Ausgleichsbeckens eine Verdünnung des durch die Grundablässe ins Unterwasser abgegebenen feinstoffreichen Wassers.

Der Umleitstollen ist 450 m lang. Sein Einlaufbauwerk enthält zwei Segmentschützen von je 2,80 m Breite. Die sich verjüngende Beschleunigungs-

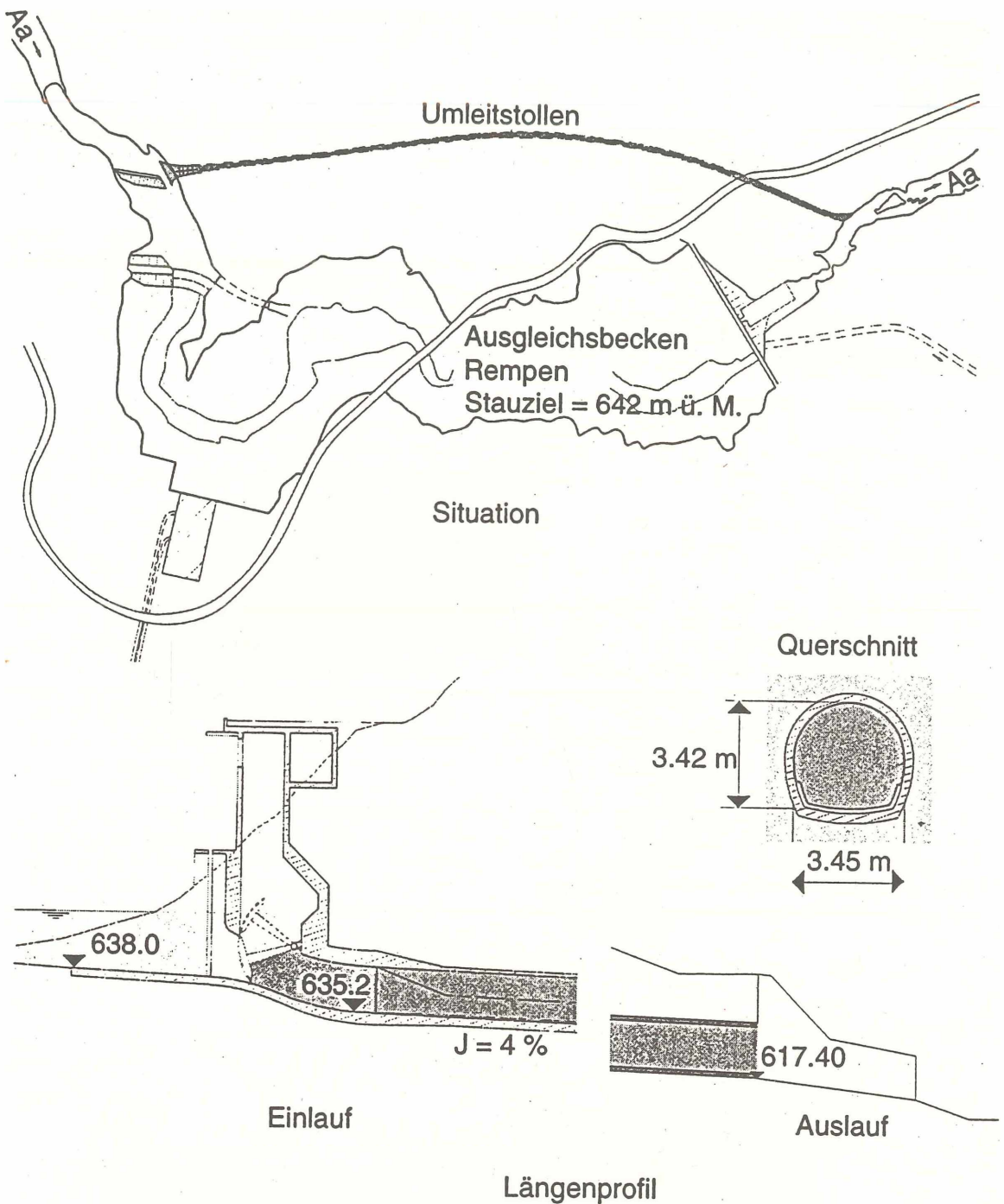


Abbildung 10

Anlage Rempen an der Wägitale Aa, Situation und Schnitte

strecke ist nur kurz und geht bald in die Flachstrecke über. Diese ist um 4 % geneigt. Ihr Hufeisenprofil hat eine lichte Breite von 3,5 m und eine lichte Höhe von 3,25 m, was einem Durchflussquerschnitt von $9,2 \text{ m}^2$ entspricht. Der Auslauf liegt 3 m über dem Flussbett.

Der Umleitstollen ist durchgehend verkleidet. Im Einlaufbereich und in der Beschleunigungsstrecke ist die Sohle mit Schmelzbasaltplatten ausgelegt. Im Bereich der Flachstrecke begnügte man sich mit einem Sohlenschutz aus Basaltbeton.

6.2 Hydraulische Verhältnisse und Abschleiß

Bis zu einem Abfluss von $80 \text{ m}^3/\text{s}$ wird der Umleitstollen im Freilauf durchflossen. Dann schlägt er insbesondere in seinem oberen Bereich zu. Bei $80 \text{ m}^3/\text{s}$ beschleunigt sich das Wasser von 5,3 m/s im Schützenquerschnitt auf 9 m/s am Anfang der Flachstrecke sowie auf 14 m/s am Auslauf. Diese Fließgeschwindigkeiten sind niedriger als der Normalabfluss. Das bedingt zwar ein größeres Stollenprofil, wirkt sich aber auf den Abschleiß günstig aus.

Die Sedimente bestehen aus Gesteinen (Flysch, Kalk, Nagelfluh), die im Durchschnitt nur wenig Quarz enthalten. In den 10 Betriebsjahren seit 1986 hat sich noch kaum ein Abschleiß bemerkbar gemacht. Die Schmelzbasaltplatten hielten stand. Im Basaltbeton bildeten sich bloss kleine Erosionsrillen aus, die noch keine Reparaturen erheischten. Doch ist zu sagen, dass der Stollen bis jetzt nur wenige Stunden pro Jahr in Betrieb war und das hauptsächlich wegen dem dritten, in Abschnitt 6.1 genannten Zweck.

6.3 Spülbetrieb

In gewissen Fällen ist es wichtig, das Vorbecken mit möglichst wenig Wasser freizuspülen. Um die entsprechenden Verhältnisse abzuklären, wurden in der Projektierungsphase hydraulische Modellversuche durchgeführt. Dabei wurden nur das Vorbecken und der Einlauf des Umleitstollens nachgebildet.

Die Spülversuche im Modell ergaben unter anderem die Spülwirkung in Funktion des Spülwasserabflusses und der Spülzeit. Diese Spülwirkung ist ja massgebend für die Geschiebezufuhr zum Stollen. Abb. 11 hält die Ergebnisse für die ersten 20 Minuten der Spülung fest (Kurve 1), sowie für die Zeit von der 60. bis zur 80. Minute (Kurve 2). Die Spülabflüsse wurden mit 2 bis 12 m³/s bewusst niedrig angesetzt.

Anschliessend wurde die Transportkapazität des Stollens gerechnet und zwar einmal nach Pedroli (1963) für glatte Betonsohle (Kurve 3) und einmal nach Smart/Jaeggi (1983) für eine mit Geschiebe bedeckte Sohle (Kurve 4).

Der Vergleich der Kurven 1 und 3 zeigt, dass die Geschiebezufuhr bei Beginn der Spülung fast doppelt so gross ist wie das Transportvermögen des

Stollens. Folglich muss dann mit Ablagerungen auf der Stollensohle gerechnet werden. Entsprechend fällt das Transportvermögen auf die Kurve 2 ab. Der Schnittpunkt der Kurven 2 und 4 liegt etwa bei einem Spülwasserabfluss von 6 m³/s. Bei kleineren Abflüssen werden sich dementsprechend die Ablagerungen weiterhin vermehren, bei grösseren verringern. Aufgrund dieser Überlegungen wurde gefolgert, dass sich während der Anfangsphase einer Spülung mehrere 100 m³ Geschiebe im Stollen ablagern können. Sie werden aber bald wieder abgetragen, sobald die Geschiebezufuhr nachlässt.

7. Schlussfolgerungen

Abschliessend werden die Erfahrungen mit den 5 schweizerischen Geschiebestollen kurz zusammengefasst. Dann werden einige wichtige Bemessungsregeln festgehalten.

7.1 Erfahrungen

Der älteste der 5 schweizerischen Geschiebestollen ist seit 74 Jahren in Betrieb, der jüngste seit 10 Jahren. Nach Ansicht der Betreiber haben sich alle 5 Anlagen bewährt, das heisst sie haben einen Großteil des anfallenden Geschiebes und viele andere Sedimente aufgenommen und umgeleitet. Dadurch konnte die Verlandung der von ihnen geschützten Ausgleichsbecken mit Geschiebe verhindert oder vermindert werden.

Über Ausnahmesituationen und ihre Folgen berichten die Abschnitte 2 bis 5. Interessant ist festzustellen, dass es nirgends reine Verklausungen gab, obwohl alle Einzugsgebiete Wald tragen. Auch trat nur eine einzige Verstopfung auf und zwar bei

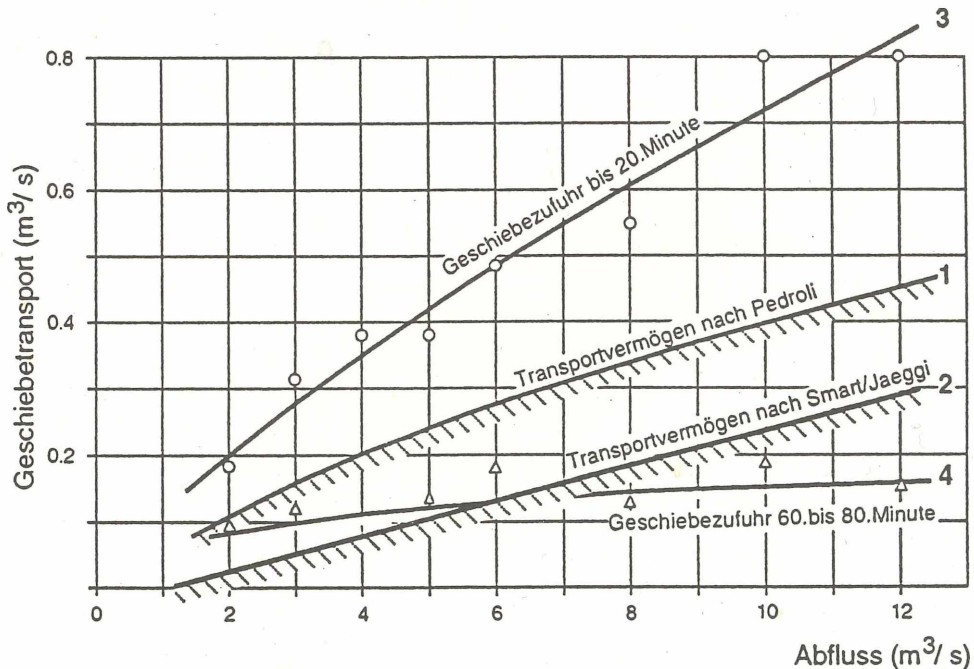


Abbildung 11

Anlage Rempfen, Vergleich der im Modellversuch gemessenen Geschiebezufuhr mit dem berechneten Transportvermögen des Geschiebestollens bei glatter Sohle (Pedroli) und bei geschiebebedeckter Sohle (Smart/Jaeggi)

Egschi, wo ein Murgang den Stolleneinlauf erreichte. Von der Anlage Pfaffensprung wird aber ein Kollaps des Stollens gemeldet, der offenbar eine Folge des Abschliffs war. Die meisten Sorgen bereitete tatsächlich der Abschleiß. Er verursachte immer wieder Unterhaltsarbeiten. Stellt man die Einflussgrößen zusammen, ergibt sich folgendes Bild:

- Der Abschleiß nimmt zu mit der
- Betriebsdauer
 - Abflussgeschwindigkeit
 - Geschiebemenge
 - Geschiebequalität hinsichtlich Grösse der Blöcke,
 - Kantigkeit, Härte (Quarzgehalt)

Tabelle 2 erlaubt diesbezüglich einige Vergleiche.

Zum Schutz der Sohle gegen Beschädigungen durch Abschleiß und Schläge wurden Verkleidungen mit Spezialbeton, Naturstein, Schmelzbasalt und Stahl verwendet. Die wirksamsten Materialien erwiesen sich meist als die teuersten. Weitere Verallgemeinerungen sind zur Zeit nicht möglich. In Runcahez laufen gegenwärtig noch Versuche mit erfolgversprechenden Betonrezepturen.

7.2 Bemessungsregeln

Wenn es darum geht, einen Stausee mit einem Geschiebestollen vor dem Geschiebe zu schützen, ergeben sich folgende Bemessungsregeln:

1. Der Stollen muss bei einem Hochwasser möglichst alles Geschiebe ableiten. Zur Jährlichkeit des hierfür zu berücksichtigenden Hochwassers kann man verschiedene Überlegungen anstellen. Bei hohen Werten wird die Anlage teuer, dafür der Schutz des Stausees besser. Wie der Fall Palagnedra zeigt, vermag ein seltenes Hochwasser eine Geschiebefracht zu bringen, die jene von kleineren Ereignissen um eine Größenordnung übertrifft. Wenn gerade dann der Stollen nicht genügt, wird sehr viel Material in den Stausee getragen.

2. Es ist naheliegend und empfiehlt sich, den Stollen auch als Teil der Hochwasserentlastung zu betrachten. Er unterliegt dann selbstverständlich der üblichen (n-1)-Regel für regulierte Auslässe.
3. Das Geschiebetransportvermögen des Stollens muss grösser als die Geschiebezufuhr sein, da sonst Verstopfungsgefahr besteht. Dabei ist zu beachten, dass das Geschiebetransportvermögen bei einer glatten Sohle grösser ist (rund Faktor 2) als bei einer rauhen. Falls sich das Geschiebe auf der Sohle absetzen kann oder sich dort grössere Schäden (Abschleiß, Schläge) einstellen, ist die Voraussetzung der Glattheit jedoch nicht gegeben. Das Geschiebetransportvermögen sollte längs des Stollens gleich bleiben oder zunehmen. Eine Abnahme könnte Ablagerungen im Stollen verursachen.
4. Steile Stollen haben ein grosses Geschiebetransportvermögen, werden aber auch schnell durchflossen. Hohe Geschwindigkeiten begünstigen zwangsläufig den Abschleiß und sind darum nicht erwünscht. Die Wahl des Stollenquerschnitts und des -gefälles ergibt sich deshalb aus einem Kompromiss: Möglichst grosses Transportvermögen (auf jeden Fall ein genügendes) bei möglichst niedrigen Geschwindigkeiten!
5. Bei schiessenden Abflüssen ist die Entstehung störender, stehender Wellen möglich. In stark schiessenden Bereichen sind darum Einbauten (Pfeiler, Schütznischen) zu vermeiden; ebenso ist eine gestreckte Führung des Stollens anzustreben.
6. Die Anlage soll so konstruiert sein, dass sie vom Einlauf bis zum Auslauf keine Hindernisse enthält, wo sich Baumstämme verfangen können. Es geht um die Vorbeugung der Verklausung. Grosse Aufmerksamkeit muss dem aktiven Schutz der Anlage vor Abschleiß und Schlägen gewidmet werden. Das bedingt unter anderen den Einbau einer resistenten Sohle. Der Schutzgrad richtet sich nach den Einflussgrößen (siehe Abschnitt 7.1).
7. Der Auslauf sollte nicht eingestaut werden. Wo genügend Gefälle zur Verfügung steht, emp-

Tabelle 2

Einflussgrößen für den Abschleiß in den 5 schweizerischen Geschiebestollen

Name der Anlage	Abflusskapazität im Freilauf [m³/s]	Normalabfluss Geschwindigkeit in Flachstrecke [m/s]	Geschwind. vor und nach Beschleunigungsstrecke [m/s]	Korndurchmesser d _m (d ₉₀) [m]	Art des Geschiebes	Quarzgehalt	Betriebsdauer [Tage/Jahr]	Abrasions-schäden
Pfaffensprung	220	~ 12	6÷ 12	0.25 (2.70)	Granit	gross	~ 200	bedeutend
Egschi	50	9	4÷ 10	0.1 (0.3)	Bündner-schiefer	klein	10	mittel
Runcahez	110	9	5÷ 16	0.23 (0.5)	Gneise	gross	4	gross
Palagnedra	110	9	5÷ 14	0.074 (0.16)	Gneise	gross	2÷ 5 (Schätzung)	gross
Rempen	80	~ 14	5÷ 9	0.06 (0.2)	Flysch Kalk Nagelfluh	klein	~1÷ 5	fast keine

fiehl es sich, den Auslauf möglichst hoch über dem Vorfluter anzuordnen. Damit der Auslauf nicht eingeschottet wird, muss das Geschiebetransportvermögen des Vorfluters grösser oder gleich der Geschiebezufuhr in den Stollen sein. Auf diese Bedingung ist insbesondere auch das am Auslauf allfällig notwendige Tosbecken auszurichten.

8. Zusammenfassung

Es werden 5 Geschiebestollen beschrieben, die in den Jahren 1922 bis 1986 in der Schweiz in Betrieb genommen wurden. Das Augenmerk gilt dabei der allgemeinen Anordnung und der hydraulischen Bemessung sowie den Betriebserfahrungen. Am meisten Unterhaltsarbeiten verursachte bis jetzt die Erosion der Stollensohle. Die entsprechenden Kolklöcher waren in einigen Fällen mehrere Meter tief. Darum werden hier die Einflussgrössen der Erosion beleuchtet sowie Hinweise auf die Wirksamkeit entsprechender Schutzverkleidungen vermittelt. Zusammenfassend folgt eine Liste der wichtigsten Bemessungsregeln für die Projektierung solcher Stollen.

Literatur

CHERVET A., VISCHER D. (1996):

Geschiebe-Umleitstollen bei Stauseen; Möglichkeiten und Grenzen. In Verlandung von Stauseen und Stauhaltungen. Internationale Fachtagung 28./29. März 1996 in Zürich, Mitteilung Nr. 143 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.

FAVERO R. (1979):

Verbesserung und Automation von Wasserfassungen im Safiental (u. a. Egschi). In Umbau und Erweiterung von Wasserkraftanlagen. Internationale Fachtagung 28. Februar/3. März 1979 in Zürich, Mitteilung Nr. 33 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.

HUBER A. (1981):

Modellversuche zur Spülung von Auflandungen im Bereich der Stauwurzel des Ausgleichsbeckens Rempen der AG Kraftwerke Wägital. In Verlandung von Flusstauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum. Internationale Fachtagung 22./23. Oktober 1981 in Zürich, Mitteilung Nr. 53 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich.

LIER P. (1995):

Erweiterung einer Hochwasserentlastungsanlage und Sanierung eines Geschiebeumleitungsstollens (Runcahez). In Betrieb, Erhaltung und Erneuerung von Talsperren und Hochdruckanlagen, Symposiums-Beitrag, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft Nr. 15 der Universität Graz.

MARTINI O. (1981):

Die Hochwasserkatastrophe 1978 am Ausgleichsbecken Palagnedra; Verlandung und Spülprobleme. In Verlandung von Flusstauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum. Internationale Fachtagung 22./23. Oktober 1981 in Zürich, Mitteilung Nr. 53 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.

MEIER W. (1995):

Umleitstollen zur Verhinderung von Staubeckenablagerungen. Beispiel Stausee Egschi; spezielle Anordnung, Erfahrungen. Bericht der Kraftwerke Zervreila AG, Vals (nicht veröffentlicht).

PEDROLI R. (1963):

Geschiebetransport in Kanälen auf fester und glatter Sohle. Mitteilung Nr. 43 des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft, Bern.

SMART G.M., JAGGI M. (1983):

Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Mitteilung Nr. 64 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.

TRUCCO G. (1981):

Sanierungsarbeiten der Staumauer Palagnedra nach dem Hochwasser 1978. In Verlandungen von Flusstauhaltungen und Sepeicherseen im Alpenraum. Internationale Fachtagung 22./23. Oktober 1981 in Zürich, Mitteilung Nr. 53 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.

VISCHER D., HAGER W.H., CASANOVA C., JOOS B., LIER P., MARTINI O. (1997):

'Bypass tunnels to prevent reservoir sedimentation; in International Commission on Large Dams, Proceedings of the 19th Congress on Large Dams in Florence 1997, Question 74, Report 37 (im Druck).

VAW (1964):

Gutachten über die Änderung des Flussregimes der Rabiusa durch die Inbetriebnahme der Kraftwerke Zervreila. VAW Nr. 482/1 (nicht veröffentlicht).

— (1975):

Bericht betreffend die Modellversuche über den Geschiebeauffang und die Spülung des oberen Abschnittes des Ausgleichbeckens Palagnedra im Auftrag der Maggia Kraftwerke AG (nicht veröffentlicht).

— (1981):

Geschiebeumleitstollen Rempen, Bericht über die Modellversuche im Auftrag der Kraftwerke Wägital, Siebnen, VAW Nr. 778 (nicht veröffentlicht).

— (1984):

Umleitstollen Rempen; Bericht über die Berechnung der Stollenkapazität und des Geschiebetransportvermögens im Auftrag der Kraftwerke Wägital, Siebnen, VAW-Nr. 778/2 (nicht veröffentlicht).

— (1989):

Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Erneuerung des Kraftwerkes Amsteg, Teilbereich Hydrologie und Wasserbau, im Auftrag der Sigmaphan, Bern, VAW Nr. 4000/1 (nicht veröffentlicht).

— (1996):

Rabiusa; Bericht über die Untersuchungen der Auflandungsproblematik zwischen Grafa und Egschi mit Hilfe einer numerischen Simulation im Auftrag der Gemeinde Safien, VAW Nr. 4091 (nicht veröffentlicht).

Anschrift des Verfassers:

Direktor

Prof. Dr. Dr. h.c. Daniel Vischer
ETH-Versuchsanstalt für Wasserbau
Gloriastraße 37/39
CH-8092 Zürich

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [4_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Vischer Daniel

Artikel/Article: [Geschiebestollen in der Schweiz; Abmessungen und Erfahrungen 113-126](#)