Strömungsdynamik in Grundablassstollen von Talsperren

Autor(en): **Speerli, Jürg / Volkart, Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **85 (1994)**

Heft 16

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902583

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Eines der vom Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL) unterstützten Vorhaben ist das Forschungsprojekt «Grundablassstollen» der VAW. Dieses Projekt soll die möglichen Strömungsformen in einem Grundablassstollen aufzeigen und die Charakteristik der Luftzufuhr beschreiben. Die Wechselwirkungen zwischen der Wasser- und der Luftströmung werden analysiert. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden die Auswirkungen auf den Betrieb untersucht und Dimensionierungsformeln hergeleitet. So soll beispielsweise das Schluckvermögen eines Grundablassstollens bestimmt werden können und ob bei einer Staumauererhöhung der Grundablass limitierend sein könnte. Allenfalls kritische Abflusszustände werden aufgezeigt und können in den Betriebsvorschriften berücksichtigt werden.

Strömungsdynamik in Grundablassstollen von Talsperren

■ Jürg Speerli, Peter Volkart

Definition und Zweck des Grundablasses

Der Stauspiegel kann bei einem Stausee durch verschiedene Regelorgane wie Hochwasserentlastung, Betriebsauslass und Grundablass gesteuert werden, wobei der Grundablass das zuunterst gelegene Organ ist (Bild 1). Um einen Stausee zu entleeren, wird der Grundablass möglichst tief, das heisst in der Nähe des Grundes angeordnet. Mit der Hochwasserentlastung kann nur gerade der Hochwasserschutzraum reguliert werden. Eine weitergehende Wasserspiegelabsenkung kann mit dem Betriebsauslass, beispielsweise für ein Bewässerungs- oder Triebwassersystem, erfolgen; dauert aber infolge einer meist kleinen Abflusskapazität in der Regel lange. Eine totale Entleerung und/oder rasche Absenkung ist nur mit dem Grundablass möglich. Der Grundablass ist wie die Hochwasserentlastung ein Notorgan und wird im Normalfall nur periodisch bei der Funktionskontrolle betätigt. Gerade deshalb ist es wichtig, dass im Notfall, wenn man auf ein einwandfreies Funktionieren angewiesen ist, keine Störungen auftreten.

Gründe für eine Stauseeabsenkung sind etwa:

- periodische Spülungen des Speichers
- Vorabsenkung bei drohender Gefahr (Lawinen, Bergrutsch oder -sturz, Erdbeben, kriegerische Ereignisse)

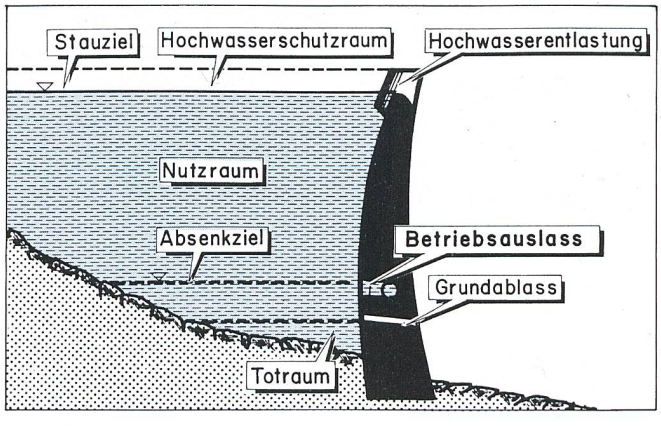

Bild 1 Möglichkeiten der Wasserspiegelregulierung bei einer Staumauer mit Hochwasserentlastung, Betriebsauslass und Grundablass

Adresse der Autoren:
Jürg Speerli, Projektingenieur VAW;
Dr. *Peter Volkart*, Projektleiter VAW,
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Eidgenössische Technische Hochschule, 8094 Zürich.

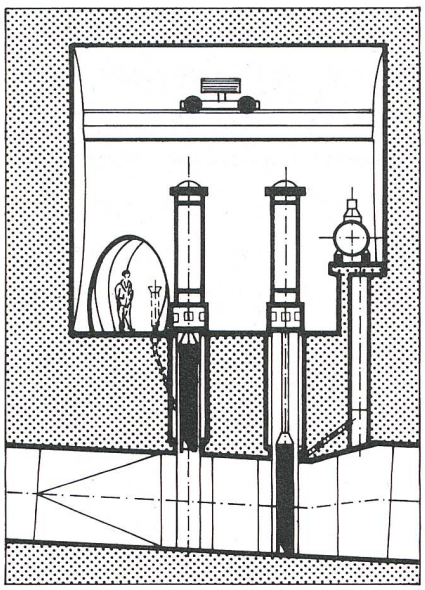

Bild 2 Typische Grundablass-Schützenkammer mit Revisions-, Regulierschütze und Belüftungsleitung

- Vorabsenkung, um für ein Gewitter ein Retentionsvolumen zu schaffen
- Revisions- und Inspektionsarbeiten auf der Wasserseite der Staumauer
- Anomalien (Risse, Setzungen, usw.) an der Staumauer und im Fundamentbereich

Elemente und Anordnung des Grundablasses

Der Grundablass besteht aus folgenden Elementen:

- Einlaufbauwerk mit Grobrechen
- Druckgerinne
- Schützenkammer mit Revisions- und Regulierschütze
- Belüftungsleitung
- Freispiegelgerinne (offen oder als Stollen) und
- Rückgabebauwerk ins Abflussgerinne oder Flussbett

Je nach Konzeption der Stauanlage führt der Grundablass entweder direkt wie in Bild 3 durch die Staumauer oder er wird in einem Stollen in einer Seitenflanke um die Staumauer herum geführt (Bild 4), wozu oftmals die ehemalige Bauumleitung verwendet wird.

Belüftungsprobleme bei Grundablässen

Bei hohen Talsperren bewirkt der grosse Wasserdruck, dass der austretende Wasserstrahl mit einer grossen Geschwindigkeit unter der Schütze hervorschiesst. Dieser schnell schiessende, hoch turbulente Abfluss nimmt dabei eine grosse Luftmenge auf, die von der Oberfläche her in den Wasserabfluss eingemischt wird. Gelangt der Wasserstrahl nach der Schütze direkt oder nur durch einen kurzen Stollen in die freie Atmosphäre, ist die Luftzuführung in der Regel kein Problem. Fliesst hingegen der Wasserstrahl in einen langen Stollen, kann sich im Bereich nach der Schütze ein Unterdruck einstellen, falls die Luft, welche in die Strömung eingetragen wird, nicht vollständig ersetzt wird. Um diese Unterdrücke

Die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie

Die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) wurde 1930 nach dem Willen und mit tatkräftiger Unterstützung von Bund, Kantonen und der Privatwirtschaft gegründet. Sie ist ein Institut der ETH Zürich, traditionell der Abteilung für Bauingenieurwesen verbunden und heute dem Departement für Bau und Umwelt zugeordnet.

Die VAW arbeitet mit verschiedenen Schwerpunkten an zum Teil selbst entwickelten Projekten sowie im Auftrage von Bund, Kantonen, Gemeinden, Ingenieurunternehmungen und der Industrie. Intensive internationale Forschungskontakte bilden ebenso Bestandteil der Aktivitäten wie der Transfer zur Lehre an der Hochschule.

Die Palette ausgeführter Untersuchungen der letzten Jahre reicht von Themen wie Talsperren, Schützenschwingungen über Fassungen und Notentlastungen an Seen und Flüssen bis hin zu Hochwasserschutz, Flussbau und Revitalisierungen an Fliessgewässern, Dichteströmungen in Seen und Grundwassermodellierung. Auch Staublawinen oder Studien über Gletscher und Bodenfrost, angelehnt an Fragen zur globalen Klimaentwicklung, gehören zum Forschungsgebiet der VAW.

Naturbeobachtungen und -messungen, Modellversuche und Computersimulationen werden durch die Ingenieure und Naturwissenschafter der VAW vermehrt kombiniert und interdisziplinär eingesetzt. Dank dem Zugang zu modernsten Messsystemen und leistungsfähigen Computern ist dies möglich.

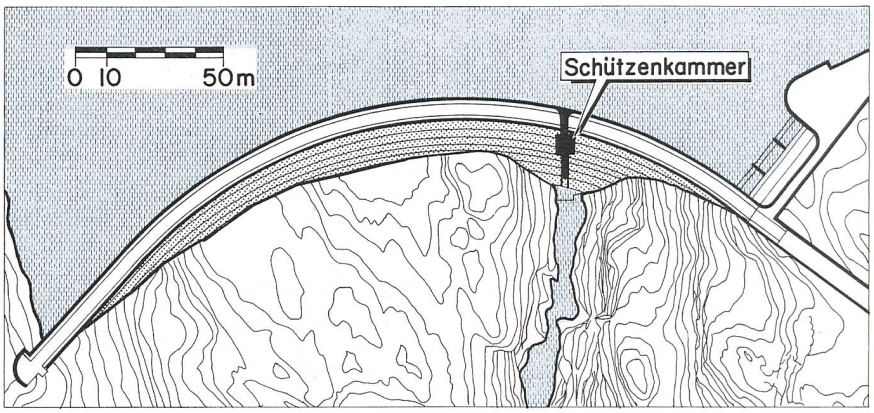

Bild 3 Anordnung des Grundablasses in der Staumauer am Beispiel einer doppelt gekrümmten Staumauer

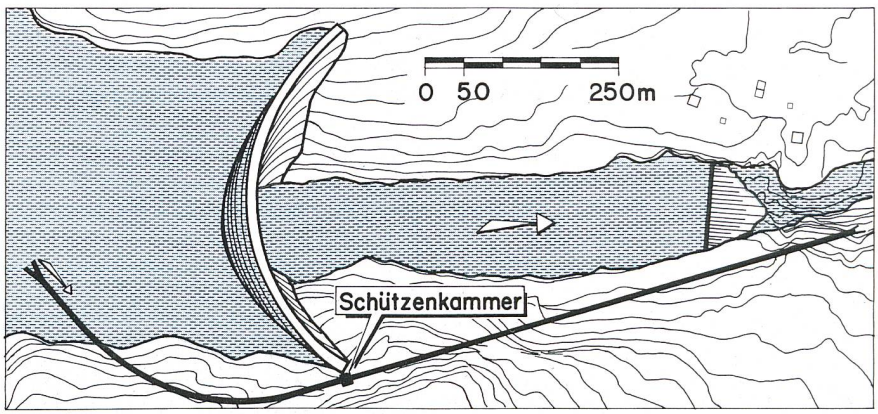

Bild 4 Anordnung des Grundablasses in einer Talflanke am Beispiel einer doppelt gekrümmten Staumauer

im Bereich nach den Schützen zu begrenzen, muss die eingetragene Luft über ein Belüftungssystem ersetzt werden.

Infolge der grossen Luftaufnahme hat das Wasser-Luft-Gemisch einen grösseren Abflussquerschnitt als ein reiner Wasserabfluss. Wird dies in der Projektierung ungenügend berücksichtigt, kann ein Stollen frühzeitig zuschlagen, wodurch die Luftzufuhr vom Stollenende her unterbunden wird. Allfällige Stosswellen können ebenfalls dazu führen, dass das Stollenprofil frühzeitig zuschlägt. Ein Zuschlagen des Abflussquerschnittes muss verhindert werden, da beim Übergang vom Freispiegel zum Druckabfluss und umgekehrt keine genau definierbaren Abflussbedingungen vorherrschen. Lufteinschlüsse unter Druck, Vibrationen und Pulsationen können die Folge sein, welche einen Stollen zusätzlich beanspruchen.

Typologie der Strömungsvorgänge in einem Grundablassstollen

In einem Grundablassstollen können Belüftungsmechanismen auftreten, wie sie in Bild 5 aufgeführt sind.

Projekt «Strömungsdynamik in Grundablassstollen»

Das Projekt mit dem gleichnamigen Titel wird innerhalb der Abteilung Wasserbau der VAW abgewickelt. Jahrelange Untersuchungen zur Hydromechanik an Stauanlagen und Talsperren haben das notwendige Know-how über Strömungsvorgänge, Modellierung, Messung und Datenanalyse erbracht. Dazu gehören Naturmessungen der VAW an den Grundablässen der Staumauern Solis, Curnera und Panix oder an den Wehrschützen der Flusskraftwerke von Eglisau und Klingnau, ferner Versuche für

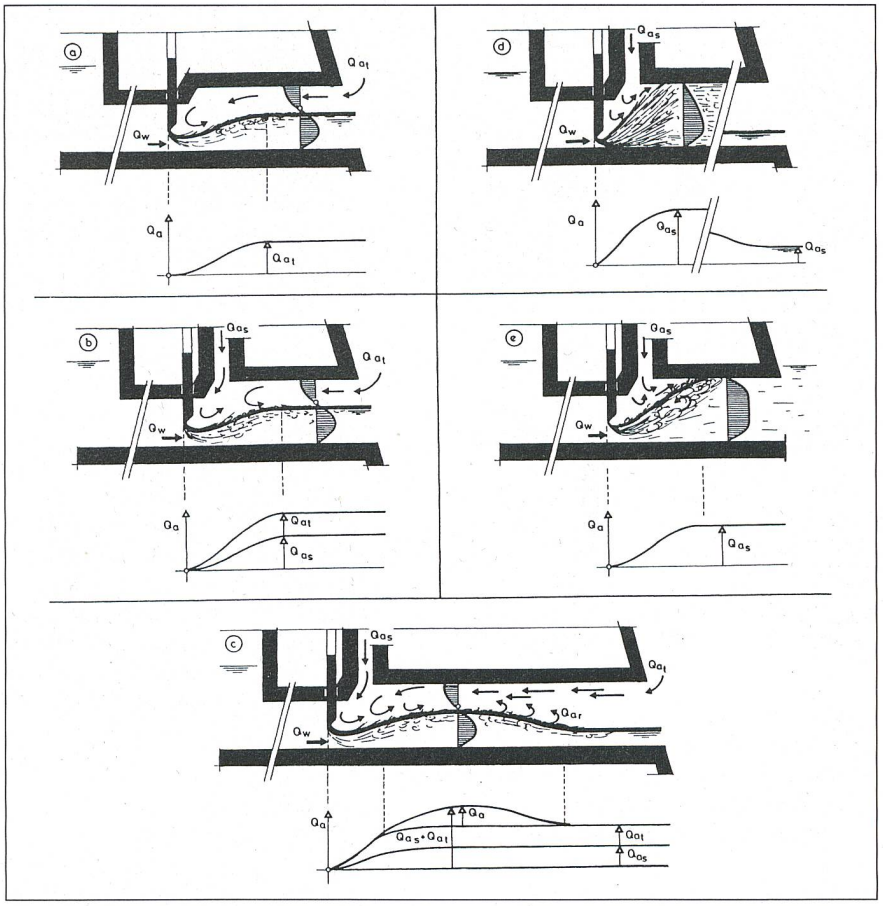

Bild 5 Abflussverhältnisse sowie Be- und Entlüftungsmechanismen in einem Grundablassstollen

a schiessender Freispiegel-Abfluss in einem kurzen Stollen, Belüftung Q_{at} nur vom Stollenportal
b schiessender Freispiegel-Abfluss in einem kurzen Stollen, Belüftung durch das Belüftungssystem Q_{as} und vom Stollenportal Q_{at}
c schiessender Freispiegel-Abfluss in einem langen Stollen, Belüftung durch die Belüftungsleitung Q_{as} und vom Stollenportal Q_{at}, ein Teil der Luft wird aus dem Abfluss ausgeschieden und rezirkuliert Q_{ar}
d versprühter Abfluss, die Belüftung erfolgt nur durch die Belüftungsleitung Q_{as}
e Druckabfluss nach einem Wassersprung oder bei einem eingestauten Stollen, die Belüftung erfolgt nur durch die Belüftungsleitung Q_{as}

Schützenkammern von Talsperren in mehreren Ländern.

Ob nun ein möglichst direkter Durchlass durch eine Talsperre gewählt wird oder ob der Grundablassstollen in Form eines Umleitstollens seitlich um die Sperrstelle geleitet wird, immer müssen betrieblich sichere und regelbare Verschlüsse, sogenannte Schützen, angeordnet werden. Aus dieser klassischen Anordnung leitet sich nun auch direkt die Systematik für eine wissenschaftliche Untersuchung ab:

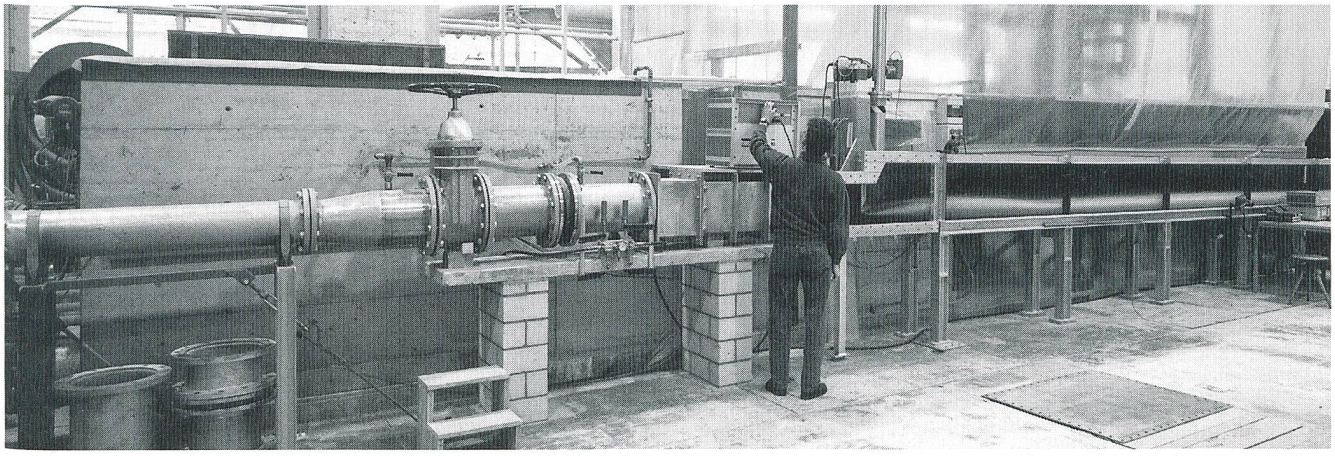

Bild 6 Gesamtansicht des Versuchsstandes «Grundablassstollen». Die Fliessrichtung des Wasser ist von links nach rechts. Der Übergang vom Druckabfluss zum Freispiegelabfluss erfolgt bei der Regulierschütze. Infolge der Luftaufnahme des Wasserstrahls nach der Regulierschütze ist der Abfluss gut als weisse Linie erkennbar (Gefälle 2%, Länge 21 m, Breite 0,30 m, Höhe 0,45 m)

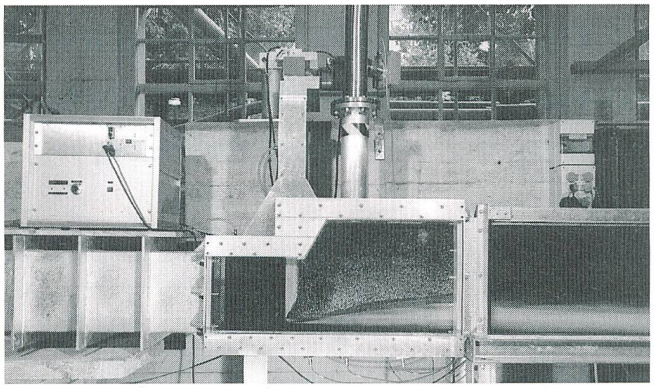

Bild 7 Detailaufnahme der Schützenkammer. Die Fliessrichtung des Wasser ist von links nach rechts. Das Wasser schiesst mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 m/s unter der Schütze hervor. Der Wasserstrahl weist eine hohe Turbulenz auf, wodurch Luft in den Wasserstrahl eingemischt wird. Die Belüftungsleitung ist rechts vom Schützenschacht zu sehen.

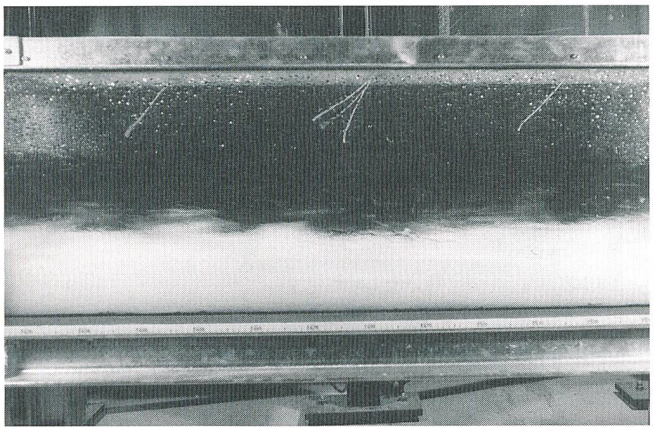

Bild 8 Wasser-Luft-Gemisch: Abfluss im Grundablassstollen (Schützenöffnung 50 mm, Wasserabfluss 170 l/s). Die Fäden weisen nach links, entgegen der Strömungsrichtung des Wasser-Luft-Gemisch-Abflusses (Fotos VAW)

Zone I: Zwischen Stausee und geschlossener oder teilgeöffneter Schütze ist der Stollen voll und steht unter meist hohem Wasserdruck von bis zu 300 Metern.

Zone II (Schützenbereich): Die Schützen regeln den Abfluss, indem sie unter extremer Umlagerung der Wasserkräfte einen Druckabfluss in eine Strömung mit freiem Wasserspiegel umwandeln. Diese ausgeprägte Änderung der Strömungsform und der Druckverhältnisse kann dazu führen, dass Schützen vibrieren oder verklemmen oder durch Materialabtrag beschädigt werden.

In der Zone III unterstrom der Schützen wird das Wasser stark versprüht und ein beträchtliches Mass an Luft eingetragen; die Frage ist nur: wo und wieviel? Denn davon kann es abhängen, ob der Stollen wieder vollschlägt, was die Funktion und Schluckfähigkeit des ganzen Grundablasses in Frage stellen könnte.

Eine wissenschaftliche Untersuchung sollte folglich zwingend das Zusammenspiel der Vorgänge aller drei Strömungsbereiche der Zonen I, II und III berücksichtigen.

In diesem Sinne besteht die Versuchsanlage im Labor der VAW aus einem druckvariablen Zulaufsystem, einer verstellbaren Schütze und einem anschliessenden langen Stollenabschnitt. Derart kann die Versprühung unter der Schütze erzwungen und ein Wasser-Luft-Gemisch erzeugt werden.

Analysen aus einem andern VAW-Projekt verdichten die Vermutung, dass für Zone I nicht nur die Lage des Seespiegels ausschlaggebend ist, sondern Form und vor allem Länge des Druckstollenabschnittes Auswirkungen auf die Druckschwankungen im Schützenbereich haben. Es ist jedoch noch zu früh, verlässliche Zahlen zu nennen.

Über die Wasser-Luft-Gemischströmung in Zone III kann zurzeit folgendes gesagt werden: Unabhängig von der Grösse der Belüftungsleitung findet immer eine der Hauptströmung entgegengesetzte Luftströmung an der Stollendecke statt. Diese ist auch durch die Schützen beeinflusst. Der Lufteintrag in die Wasserströmung ist bei kleinen Schützenöffnungen besonders gross. Bei eher knapper Luftzufuhr durch die Belüftungsleitungen steigt die Versprühtendenz zu Beginn der Zone III. Es hat sich herausgestellt, dass bereits ohne die Erfahrungen der Naturmessungen die Schluckfähigkeit der Grundablassstollen in Zone III bei freiem Abfluss allgemein eher überschätzt wird. Es wird nun auch Gegenstand der bevorstehenden Forschungsarbeiten sein, Aussagen für leicht zuschlagende Strömung zu machen.

Es hat sich gezeigt, dass dank neuester Mess- und Auswertetechnik eine Untersuchung in verkleinertem Massstab möglich ist. Die Probleme bei der Modellierung von Wasser-Luft-Gemischen dürfen aber nicht bagatellisiert werden. Hier kann die VAW auch jahrelange Erfahrung auf dem Gebiet der Zweiphasenströmung einfliessen lassen.

Die Zusammenarbeit mit dem PSEL hat sich bereits nach kurzer Zeit als fruchtbar erwiesen. Versuchsanlage und Fortgang der Arbeiten entsprechen dem geplanten Stand. Ein weiterer glücklicher Umstand besteht darin, dass die ETH kürzlich die Beschaffung eines modernsten Lasermesssystems ermöglicht hat.

Projet de recherche «Galeries de vidange de fond»

(soutenu par le Fonds pour projets et études de l'économie électrique PSEL)

La vidange de fond en tant qu'organe de sécurité et de régulation a déjà fait l'objet de nombreuses études. Ces dernières ont toutefois porté avant tout sur les vannes, le système d'aération, l'entrée et la demande d'air de l'écoulement d'eau. Si, après avoir franchi les vannes, le courant d'eau jaillit dans l'atmosphère ou si les galeries souterraines sont très courtes, il est possible de bien dimensionner le système de vidange de fond. Si, par contre, la galerie souterraine est longue, des connaissances supplémentaires sur les écoulements d'air et d'eau et leurs interactions dans cette même galerie seront nécessaires. Une étude exhaustive systématique de tels processus d'écoulement dans des galeries n'existe pas; il en est de même pour des formules de dimensionnement correspondantes. Des enregistrements vidéo ont montré que certains écoulements ont jusqu'à présent été considérablement sous-estimés. Ils feront donc l'objet d'une étude en pratique et sur modèle. Le projet de recherche «Galeries de vidange de fond» permettra de mettre en évidence les formes d'écoulement possibles dans une galerie de vidange et de décrire les caractéristiques du système d'aération. Il étudiera les interactions des écoulements eau/air. Ces connaissances permettront d'analyser les conséquences pour l'exploitation et d'en tirer des formules pour le dimensionnement. Grâce à ces formules, il sera possible de déterminer le débit de dimensionnement d'une galerie de vidange de fond et de savoir si une surélévation du barrage pourrait être limitée par la vidange de fond. D'éventuels écoulements critiques seront mis en évidence et pourront être pris en compte dans les instructions d'exploitation.