

# Propriétés des alluvions récentes dans les retenues alpines

Autor(en): **Sinniger, Richard O. / De Cesare, Giovanni / Boillat, Jean-Louis**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **91 (1999)**

Heft 9-10

PDF erstellt am: **14.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940086>

## **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.

# Propriétés des alluvions récentes dans les retenues alpines

Richard O. Sinniger, Giovanni De Cesare, Jean-Louis Boillat

## 1. Introduction

La formation de dépôts dans un réservoir est le résultat de processus d'origine naturelle ou anthropogène qui se développent dans le réservoir même ou sur son bassin versant. Contrairement aux grands lacs naturels du Plateau, les retenues artificielles des régions alpines sont situées dans un relief marqué par de fortes pentes, ce qui peut se traduire par des apports solides et des taux d'accumulation importants. D'autre part, la taille et le mode d'exploitation des réservoirs conduisent à des temps de séjour de l'eau relativement courts ainsi qu'à de fortes variations du niveau d'eau.

Pour des raisons de sécurité d'exploitation, notamment pour garantir la capacité de fonctionnement des organes de vidange, mais aussi pour des raisons économiques, l'évacuation de sédiments des petits réservoirs et des bassins de compensation est périodiquement pratiquée par des opérations de purge ou par des moyens mécaniques. Pour des motifs impératifs, il est également procédé occasionnellement à la vidange totale du réservoir.

Lors d'une vidange totale, les dépôts de particules minérales fines, constitués entièrement sous l'eau, ne sont plus soumis à la poussée d'Archimède. Cela conduit à leur drainage partiel et à leur consolidation. Sitôt après l'abaissement du plan d'eau, même des couches sédimentaires récentes présentent des propriétés telles qu'elles permettent la circulation d'engins lourds et opposent une résistance non négligeable à leur extraction.

Lors de l'abaissement du plan d'eau dans des dépôts récents, il est également frappant d'observer la formation de talus de rupture ou d'excavation très raides, ce qui permet de conclure à une résistance au cisaillement nominale élevée, due en particulier à la cohésion.



Figure 1. Situation et photo de la retenue de Luzzzone au nord du Tessin.

La question qui se pose est de savoir si ces propriétés sont applicables aux sédiments récemment déposés en eau profonde et jamais soumis à une vidange complète. Afin de répondre à cette question, des investigations idoines ont été réalisées en 1994 par le Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) de l'EPF Lausanne, sur mandat des Forces Motrices de Blenio SA (OFIBLE).

## 2. Descriptif de la retenue de Luzzzone

### 2.1 Caractéristiques du réservoir

Le barrage de Luzzzone, propriété des Forces Motrices de Blenio SA, a été construit entre 1958 et 1963 à proximité de la localité d'Olivone dans la partie nord du Tessin (figure 1). Il s'agit d'un barrage voûte à double courbure, qui avait à l'origine une hauteur de 208 m, une longueur de couronnement de 530 m et une capacité de stockage de 87 mio m<sup>3</sup>.

Les principaux organes hydrauliques de la retenue sont la vidange de fond, une vidange intermédiaire, une prise d'eau dans le mur du barrage ainsi qu'un évacuateur de crues équipé de vannes.

Entre 1995 et 1998, le barrage a été surélevé de 17 m pour atteindre une hauteur maximale de 225 m. Le volume de la retenue a ainsi été augmenté de 20 Mio de m<sup>3</sup> pour atteindre 107 mio de m<sup>3</sup>. Cela permet un transfert saisonnier de production de quelque 60 GWh de l'été vers l'hiver.

Le bassin versant direct de la retenue est de 36,7 km<sup>2</sup>. Neuf prises d'eau et deux galeries permettent de collecter des apports estivaux supplémentaires et accroissent le bassin versant de la retenue à 107 km<sup>2</sup> au total.

### 2.2 Apports de sédiments

Pour le suivi périodique de l'évolution temporelle du volume utile de même que pour l'éva-



luation de la sécurité d'exploitation des organes de vidange, un relevé bathymétrique du fond est réalisé périodiquement. Les dernières mesures ont été effectuées par les Entreprises Electriques Fribourgeoises (EEF) à partir d'un bateau spécialement équipé. L'analyse des données obtenues conduit aux volumes de sédiments suivants dans la retenue de Luzzzone:

- Apport total de sédiments, 1963-1994	$V_{tot}$ 1 200 000 [m <sup>3</sup> ]
- Apport annuel moyen	$V_a$ 38 000 [m <sup>3</sup> /an]
- Sédiments présents dans le lac, 1994	$V_{Sed}$ 900 000 [m <sup>3</sup> ]

La différence entre l'apport total et les sédiments présents s'explique par l'effet des opérations de purge.

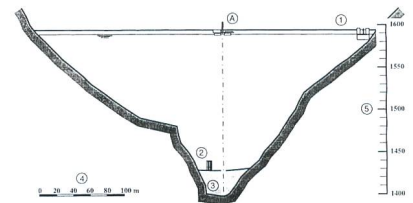


Figure 2. Profil en travers à proximité du barrage et représentation schématique du carottage effectué (A); l'épaisseur de la couche sédimentaire atteint environ 25 m à cet endroit.

- ① Barrage de Luzzzone avec l'évacuateur de crues en rive droite, ② Prise d'eau usinière, ③ Dépôts sédimentaires, ④ Echelle des distances horizontales, ⑤ Echelle des altitudes en m s. m.

Les levés bathymétriques montrent que le volume sédimenté annuellement dans la retenue est sujet à d'importantes fluctuations. Le volume annuel de pluie et sa distribution saisonnière de même que l'intensité des précipitations sont les principaux facteurs d'influence de l'apport sédimentaire (Beyer Portner, 1998).

Dans la retenue de Luzzzone, l'alluvionnement atteint actuellement une épaisseur de 18 m environ à proximité du barrage et dans le voisinage immédiat de la vidange de fond. Les ouvertures d'entrée de la prise d'eau usinière et de la vidange de fond sont ainsi directement concernées par l'augmentation des dépôts (figure 2).

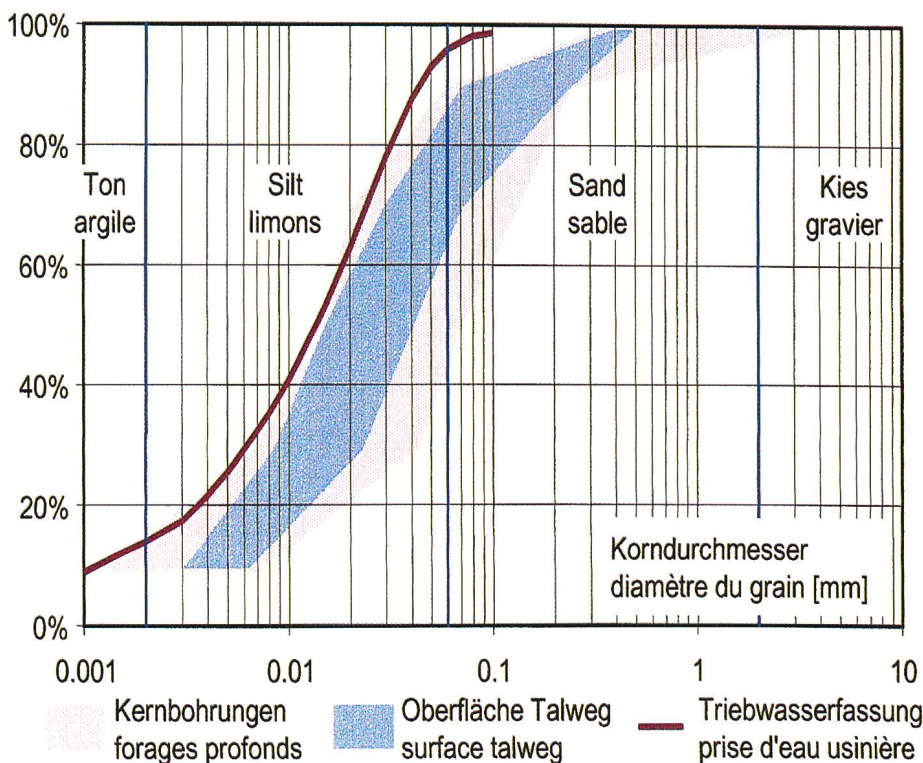


Figure 3. Domaine de distribution granulométrique des sédiments de la retenue, prélevés par carottage superficiel dans le talweg, par forage profond à proximité du barrage et par des plongeurs dans la couche superficielle devant la prise d'eau et au voisinage du barrage.

### 3. Prélèvement d'échantillons

#### 3.1 Par des plongeurs

En mai 1994, suite à des intempéries, un important apport de sédiments nécessita l'installation d'une pompe suceuse pour dégager l'entrée de la prise d'eau. A cette occasion, trois échantillons ont été prélevés, à l'amont immédiat de l'entrée de la prise d'eau, dans la couche de surface des dépôts et à des profondeurs de 0,75 et 1,50 m. Les prélèvements réalisés par des plongeurs sont à considérer comme totalement remaniés. La distribution granulométrique moyenne de ces trois échantillons très semblables est représentée sur la figure 3. Elle fait apparaître que les éléments les plus fins se trouvent à proximité du barrage et que leur distribution constitue l'enveloppe inférieure du domaine couvert par l'ensemble des analyses sédimentaires effectuées dans la retenue.

#### 3.2 Par carottage superficiel

En juin 1994, deux échantillons de sédiments ont été prélevés par des collaborateurs de l'EAWAG à l'aide de tubes plastiques lestés, de 63 mm de diamètre intérieur. Le premier, prélevé au voisinage du barrage, mesurait 38 cm, celui prélevé à proximité de la vidange de fond, 13 cm. Les autres tentatives d'échantillonnage échouèrent car les tubes se vidaient pendant leur remontée, malgré la fermeture d'un couvercle sur l'ouverture

supérieure du tube. Cette difficulté était surprenante car les sédiments offraient une grande résistance à la pénétration du tube, réduisant considérablement la profondeur de prélèvement. Le plus long des échantillons a été utilisé pour des analyses complémentaires dont seule la distribution granulométrique est restituée dans le présent contexte (figure 3).

#### 3.3 Par forage profond

Afin de pouvoir analyser la couche totale des sédiments, des sondages profonds ont été réalisés. Les travaux conduits à partir d'un ponton flottant (figure 4), avec un niveau du lac variable et une profondeur d'eau supérieure à 165 m, dans des sédiments présentant une résistance extrêmement faible

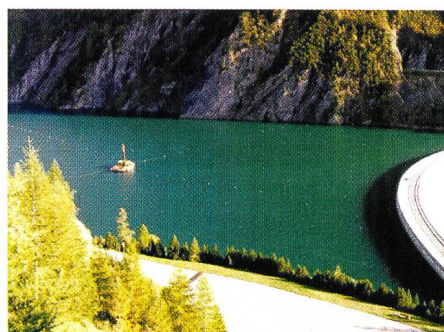


Figure 4. Plateforme de forage à l'emplacement © dans la retenue de Luzzzone avec ses quatre ancres par câble.

même en profondeur, nécessita de grandes compétences et la recherche de solutions innovatrices de la part de l'entreprise de sondages Stump SA. Trois forages de 21,4 m (A), 6,0 m (B) et 7,6 m (C) (figure 5) ont ainsi été réalisés en octobre 1994. Avec un instrument de prélèvement ouvert à son extrémité inférieure, la perte de matériaux était trop importante, raison pour laquelle une tête munie d'un clapet dut être installée. Cela permit de récupérer 31,5 des 35 m forés dont 14,85 m de carotte en tube et 15,65 m en vrac.

### 4. Caractéristiques des dépôts

Il convient ici de rappeler que les dépôts examinés ont été constitués entièrement sous l'eau et maintenus dans un état déjaugé jusqu'au moment de leur extraction. Pour autant qu'on puisse parler de consolidation, celle-ci n'a pu se produire que sous l'effet d'un poids propre réduit.

En outre, pour la sécurité de fonctionnement des organes de sortie, c'est avant tout la stabilité des talus de sédiments proches qu'il faut considérer. C'est pourquoi la présente contribution s'intéresse principalement aux caractéristiques géotechniques

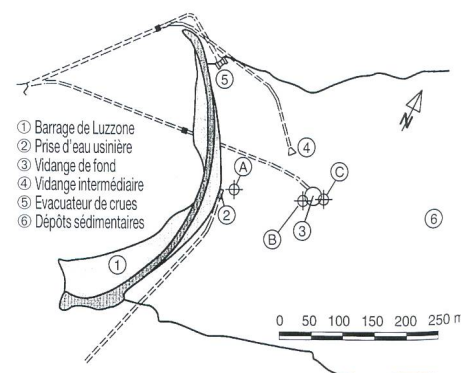


Figure 5. Emplacements des forages, A à proximité du barrage, B et C à l'amont et à l'aval du cône de dégage-ment de la vidange de fond.

des dépôts constitués. La totalité des six distributions granulométriques des matériaux extraits des forages A à C (figure 3) peut être assimilée à des limons de faible plasticité (ML selon la classification USCS). Pour six échantillons prélevés à des profondeurs entre 1 et 15 mètres, les valeurs moyennes suivantes ont été obtenues:

- Limite de liquidité	wL	37,1 ± 2,9 [%]
- Limite de plasticité	wP	27,5 ± 2,0 [%]
- Indice de plasticité	IP	9,6 ± 2,1 [%]

Sur quatre échantillons prélevés à des profondeurs entre 0 et 15 m, les valeurs moyennes suivantes ont été obtenues:

- Teneur en eau	w	53,6 ± 2,1 [%]
- Poids volumique apparent humide	$\gamma$	16,8 ± 0,5 [kN/m <sup>3</sup> ]
- Poids volumique des grains	$\gamma_s$	27,8 ± 0,5 [kN/m <sup>3</sup> ]
- Poids volumique apparent sec	$\gamma_d$	11,0 ± 0,5 [kN/m <sup>3</sup> ]

Il résulte de ces analyses que, lors de leur analyse au laboratoire, les échantillons présentaient encore un degré de saturation de 97 %. Le volume de vides était de 61 %, ce qui signifie que les dépôts sont constitués d'eau pour plus de la moitié de leur volume.

Pour des raisons techniques, les essais de cisaillement triaxiaux ont dû être réalisés sur des échantillons très peu consolidés, saturés et non drainés. Le poids volumique apparent sec, avec une valeur  $\gamma_d = 13 \text{ kN/m}^3$ , était de ce fait plus élevé que dans la réalité. En conséquence, l'angle de frottement effectif devrait être d'environ 3° inférieur.

Pour le dernier des quatre essais, la rupture a été produite avec une réduction de la contrainte latérale. Cette manière de faire visait à tester la contrainte de cisaillement du matériau en place après une rupture de talus. Etant donné que seul un échantillon a été testé en décompression, l'angle de frottement  $\varphi'$  a dû être déterminé à partir des trois autres échantillons. La cohésion élevée qui en résulte peut s'expliquer par la pression interstitielle négative qui a été réellement mesurée lors de la décompression latérale.

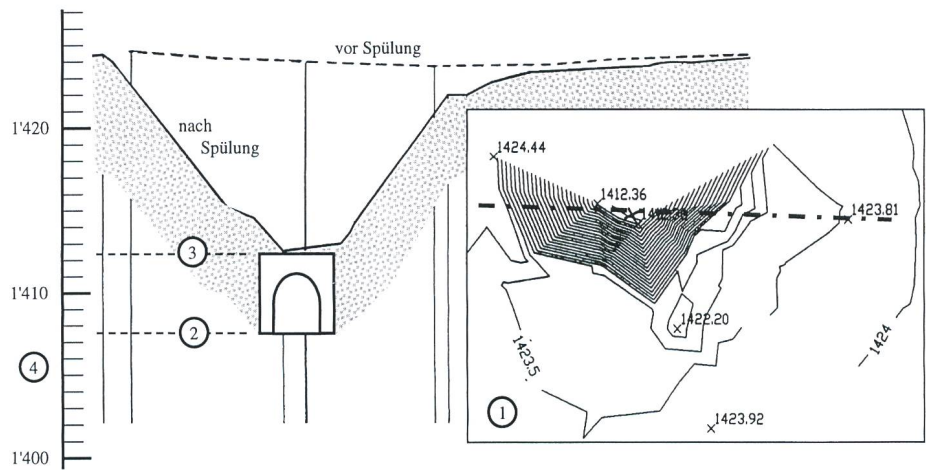
Les valeurs moyennes résultant des essais triaxiaux sont indiquées en bas de la page.

Les valeurs moyennes résultant des essais triaxiaux en compression proviennent de trois échantillons prélevés à des profondeurs entre 0 et 20 m. La cohésion obtenue par l'essai triaxial en décompression provient d'un échantillon prélevé à une profondeur de 20 m.

## 5. Analyses de stabilité

Lorsqu'un cône se forme à l'entrée de la vidange de fond suite à une opération de purge, ses parois peuvent devenir instables au cours du temps, consécutivement par exemple à l'augmentation de la couche de sédiments. Pour des hauteurs de dépôts importantes, comme à Luzzone où la couche de sédiments atteint plus de 18 m, des quantités de matériaux peuvent ainsi être mises en mouvement en direction de l'organe de vidange.

Caractéristiques des dépôts	Compression	Décompression
Angle de frottement, $\varphi'$ [°]	32	32
Cohésion, $c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	11	55



**Figure 6. Bathymétrie de la zone d'entrée de la vidange de fond mesurée par échodosage avant et après la purge du 4 juin 1992. ① Situation avec courbes de niveaux équidistantes de 0,50 m et axe de coupe verticale, ② Seuil d'entrée de la vidange de fond, 1407,70 m s.m., ③ Cote supérieure de la dalle à l'entrée de la galerie, 1412,30 m s.m., ④ Echelle des altitudes en m s.m.**

Deux questions se posent alors:

- Quelles pentes peuvent atteindre les parois du cône?
- Les sédiments éboulés peuvent-ils être évacués par une nouvelle purge de la vidange de fond?

Pour répondre à la première question, les mesures bathymétriques effectuées à Luzzone (figure 6) ainsi que les volumes de sédiments évacués lors des purges ont été analysés. Il a été admis qu'un demi tronçon de cône de diamètre de base égal à 6 m et d'une hauteur de 18 m se forme devant l'entrée de la vidange de fond. Pour les volumes connus, l'angle d'ouverture correspondant à l'angle du talus a ainsi pu être calculé.

Les résultats montrent que, selon les volumes évacués, des parois de pentes très différentes peuvent se produire à l'intérieur du cône, en fonction de la cohésion régnant sur le moment. Si cette dernière se réduit à des valeurs très faibles, les talus correspondent environ à l'angle de frottement des sédiments qui, dans le cas présent, se situe aux environs de 30°. Cet état est atteint à Luzzone lorsque les purges sont répétées à un intervalle de 10 à 20 jours.

L'expérience a également montré que les sédiments fraîchement déposés dans le cône ou ceux qui ont glissé sur ses parois peuvent être évacués totalement par une opération de purge, même si le cône peut être presque entièrement comblé dans les cas extrêmes. En fait, sous l'influence de faibles perturbations, les sédiments saturés d'eau se comportent pratiquement comme un fluide.

Toutefois, lorsque les sédiments sont consolidés par drainage, ils peuvent se solidifier de manière importante. Par exemple, lorsque des fuites se produisent à travers une vanne non parfaitement étanche, un bouchon de sédiments peut se former derrière celle-ci. Ce phénomène, déjà observé en réalité, peut dans certaines circonstances contrarier la purge. Des courants de turbidité peuvent également être déclenchés par effondrement des dépôts sous l'effet de l'abaissement du plan d'eau au cours d'une purge. De grandes quantités de sédiments sont alors apportées directement vers la vidange de fond.

## 6. Conclusions

A la question, concernant les propriétés de sédiments récents des lacs d'accumulation qui ne peuvent être évacués par les opérations de purge sans vidange totale, il peut être répondu comme suit:

- Les formations sédimentaires du domaine sable-limons conservent une densité extrêmement faible, même dans des couches d'épaisseur supérieure à 10 m.
- Même après plusieurs années, plus de la moitié du volume des dépôts reste constituée d'eau.
- La plus faible pente de talus des cônes dégagés à l'entrée des ouvrages de vidange est approximativement égale à la pente de frottement des matériaux sédimentaires.
- En relation avec la cohésion qui peut varier en fonction du temps, des pentes plus raides peuvent également s'établir.
- Les sédiments effondrés dans le cône ou fraîchement décaantés peuvent être purgés sans problème.
- Lorsque des sédiments parviennent jusqu'à l'organe de fermeture, il convient de s'assurer que ce dernier est parfaitement

étanche. Dans le cas contraire, le danger existe que les sédiments drainés se consolident derrière la vanne et conduisent à la formation de bouchons.

#### Remerciements

Les travaux présentés ici ont été réalisés dans le cadre du projet «Alluvionnement des retenues» traité par le LCH et soutenu par le fonds d'études et de projets de la Société suisse des électriciens (PSEL) (Sinniger, Boillat et al., 1997). L'étude complémentaire concernant les écoulements de turbidité dans les retenues a fait l'objet d'un travail de doctorat (De Cesare, 1998). Dans ce contexte, il convient de mentionner le précieux soutien de l'EAWAG ainsi que des Forces Motrices de Blenio

SA pour le compte desquelles les investigations ont été effectuées. Nous tenons à remercier tous ces organismes et leurs collaborateurs qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

#### Bibliographie

*Beyer Portner N.* (1998): Erosion des bassins versants alpins par ruissellement de surface. Thèse EPFL n° 1815 et Communication du Laboratoire de constructions hydrauliques LCH n° 6.  
*De Cesare G.* (1998): Alluvionnement des retenues par courants de turbidité. Thèse EPFL n° 1820 et Communication du Laboratoire de constructions hydrauliques LCH n° 7.  
*Sinniger R., Boillat J.-L., Beyer Portner N., De Cesare G.* (1997): Alluvionnement des retenues,

Rapport final PSEL n° 31/Rapport EPFL-LCH n° 15/97.

*Sinniger R., Boillat J.-L.* (1995): Barrage de Luzzone – Analyse de la stabilité des dépôts, Rapport EPFL-LCH n° 6/95.

#### Adresses des auteurs

Prof. *Richard O. Sinniger*, dipl. Bauing. ETH, Sonnenbergstrasse 36, CH-8708 Männedorf.

Dr. sc. techn. *Giovanni De Cesare*, dipl. Bauing. EPF.

Dr. sc. techn. *Jean-Louis Boillat*, dipl. Bauing. ETH.

Laboratoire de constructions hydrauliques – LCH, EPFL, CH-1015 Lausanne.

<http://lchwww.epfl.ch>, E-Mail: [secretariat.lch@epfl.ch](mailto:secretariat.lch@epfl.ch)

# Sanierung des Hochwasser-Entlastungsstollens der Langete

■ Hochwasserschutzverband unteres Langetental

Normalerweise ist das Flüsschen, das vom Napfgebiet her Richtung Aare fliesst, ein recht harmloses Gewässer. Wer allerdings die Langete jemals als reissende Flut erlebt hat, der begreift, warum die Menschen zwischen Huttwil und Roggwil nach heftigen Gewittern, bei anhaltendem Regen oder auch während der Schneeschmelze das Wettergeschehen besonders aufmerksam verfolgen. Zu diesen Zeiten können im Einzugsgebiet der Langete so grosse Wassermassen zusammenströmen, dass der Unterlauf die Fluten nicht mehr fassen kann. Dann muss der Langete ein zusätzlicher Abfluss zugestanden werden.

Lange Zeit gab es nur einen Ausweg: einen Notablass mitten durch das Stadtzentrum von Langenthal. Sobald das grosse Wasser kam, wurde ein Teil der Fluten durch die Geschäftsstrassen und unter dem Bahnhof hindurch in den nahen Unterhardwald abgeleitet. Der zeitweilige Bach hatte durchaus vergnügliche Seiten. Doch für viele war er auch ein grosses Ärgernis, das den Verkehrsfluss behinderte und jedesmal viel Arbeit machte. Denn es gab Jahre, da mussten gleich mehrmals die massgeschneiderten Holzstege montiert werden, damit wenigstens die Fussgänger die überfluteten Gassen überqueren konnten.

Bei den meisten Hochwassern genügte dieser einzigartige Notablass, und die entsprechenden Vorkehrungen waren Routine. Doch ab und zu zeigte die Langete ihr

wahres Gesicht und schwoll zu einem reisenden Strom an, der sich nicht mehr in Schranken halten liess. Dann waren – wie die katastrophale Überschwemmung im Sommer 1975 zeigte – selbst die hohen Trottoirs im Zentrum Langenthals nicht mehr hoch genug. Diese schlimme Erfahrung brachte neuen Schwung in die Diskussionen über den Hochwasserschutz im unteren Langetental und beschleunigte die Ausarbeitung eines Hochwasser-Schutzkonzepts, dem die im Hochwasserschutzverband unteres Langetental zusammengeschlossenen Gemeinden, Leimiswil, Madiswil, Lotzwil, Langenthal, Aarwangen und Roggwil zustimmen konnten. Das zentrale Element dieses Konzepts war der Bau eines Hochwasser-Entlastungsstollens. Damit ist es nach langem Ringen um eine angemessene Lösung schliesslich gelungen, der immer wieder gefährlich ansteigenden Langete einen weiteren Ausweg zu geben.

## Schöne Bescherung

Am 11. Dezember 1991 war das Bauwerk – abgesehen von einigen Umgebungsarbeiten – vollendet, und bereits wenige Tage später nahm die Spitze eines mittleren Hochwassers diesen neuen Weg. Damit schien der Entlastungsstollen seine Bewährungsprobe bestanden zu haben, und an der offiziellen Übergabefeier am 5. Juni 1992 fand das «Jahrhundertbauwerk» von allen Anwesenden denn

auch nur lobende Worte. Die Freude war allerdings nicht von Dauer. Nachdem in den folgenden Jahren insgesamt 24 Entlastungen keine wirklichen Probleme bereiteten, gab es an Weihnachten 1995 eine unerwartete Bescherung.

Nach tagelangen Regenfällen schwoll damals die Langete so stark an, dass ihr Abfluss oberhalb des Einlaufbauwerks Spitzenwerte von mehr als 50 m<sup>3</sup>/s erreichte. Davon wurden am 25. Dezember bis zu 40 m<sup>3</sup>/s durch den Entlastungsstollen abgeleitet – so viel wie nie zuvor. Ein Notablass durch Langenthal oder gar Überschwemmungen im unteren Langetental konnten dadurch erfolgreich vermieden werden. Doch der Euphorie folgte bald die Ernüchterung. Einzelne Bauteile im untersten Stollenabschnitt hielten den auftretenden hydrodynamischen Kräften und den dadurch verursachten Vibrationen nicht stand.

Teure Nachbesserungen sind nötig geworden, damit der Entlastungsstollen wieder mit seiner gesamten Aufnahmekapazität zur Verfügung stehen kann. Etappenweise werden seit Januar 1998 alle Firsttübbinge mit Zement statt wie ursprünglich mit Blähton hinterfüllt, und auch am Einlaufbauwerk sind Anpassungen nötig, um die Strömungsverhältnisse nachhaltig zu verbessern. Das letzte Kapitel im Kampf gegen die Fluten der Langete ist somit noch nicht ganz abgeschlossen.