

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 87 (1995)  
**Heft:** 7-8

**Artikel:** Sanierungs- und Erneuerungsarbeiten des Kraftwerkes Mörel  
**Autor:** Bremen, Roger / Tarchini, Renzo / Bartek, Paul  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940416>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 10.01.2025

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

# Sanierungs- und Erneuerungsarbeiten des Kraftwerkes Mörel

Roger Bremen, Renzo Tarchini, Paul Bartek

## 1. Einleitung

Das in den Kriegsjahren 1941–43 erbaute und als reines Laufkraftwerk ausgebildete Kraftwerk Mörel der Rhonewerke AG im Oberwallis nützt das Gefälle der Rhone zwischen der Einmündung des Fieschbaches und der Fassung des Kraftwerkes Massaboden unterhalb von Mörel. Von der auf 1000 m ü. M. liegenden Wasserfassung bei Fiesch wird das Wasser durch ein etwa 9,8 km langes Zuleitungsgerinne befördert und der Druckleitung zugeleitet. Mit einem Bruttogefälle von 263,50 m und einer Ausbaumassenergie von 24 m<sup>3</sup>/s erzeugen drei mit 18-MW-Francisturbinen ausgestattete Maschinengruppen im Mitteljahr insgesamt etwa 260 GWh. Bild 1 stellt einerseits die bestehende Anlage dar und gibt andererseits einen Eindruck über den Umfang der in der Folge beschriebenen Erneuerungsarbeiten.

Nach etwa 40 Betriebsjahren waren an der Betonauskleidung des Druckstollens streckenweise schwerwiegende Schäden zu beobachten, welche die Betriebssicherheit des Kraftwerkes ernsthaft in Frage stellten. Bis zu 25 cm tiefe Auskolkungen waren an der Stollensohle sichtbar sowie Risse und Abplatzungen am Gewölbe. Diese stellenweise schwerwiegenden Schäden traten hauptsächlich unterhalb von km 8,8 auf, innerhalb des mit Bauximent («Tonerdement» aus der Slowakei) ausgeführten Stollenabschnittes.

Die durchgeführten Untersuchungen zur Ermittlung der Schadensursachen erwiesen, dass die ausgeprägt schlechten mechanischen und chemischen Eigenschaften der mit Bauximent ausgeführten Betonauskleidung den chemischen Angriff des sulfatreichen Wassers wesentlich beschleunigt hat. Ausserdem konnte anhand statischer Untersuchungen erwiesen werden, dass die Schäden keineswegs auf den Bergdruck zurückzuführen waren.

Was die Druckleitung anbelangt, wurde anhand von statischen Berechnungen der Einfluss der zwischen 0,15 cm und 1,2 cm betragenden jährlichen Gleitbewegungen auf die Spannungsverteilung im Stahl ermittelt. Die durch die unregelmässigen Setzungen der Auflagesättel und Ankerblöcke verursachte Veränderung des statischen Systems der Druckleitung führte zu einer wesentlichen Erhöhung der Längsspannungen. Plastische Verformungen der Druckleitung konnten an verschiedenen Stützquerschnitten nachgewiesen werden.

Auch wenn der Zustand der Druckleitung nicht so problematisch erschien wie derjenige des Druckstollens, konnte die vor sich gehende graduelle Verminderung der Betriebssicherheit dieses Bauwerkes nicht mehr über Jahrzehnte verantwortet werden. Um die mit dem Energieausfall verbundenen Kosten möglichst gering zu halten, entschied sich der Kraftwerkeigentümer für eine gleichzeitige umfangreiche Sanierung oder, falls nötig, Erneuerung des Druckstollens und der Druckleitung.

## 2. Sanierungs- und Erneuerungsprojekt

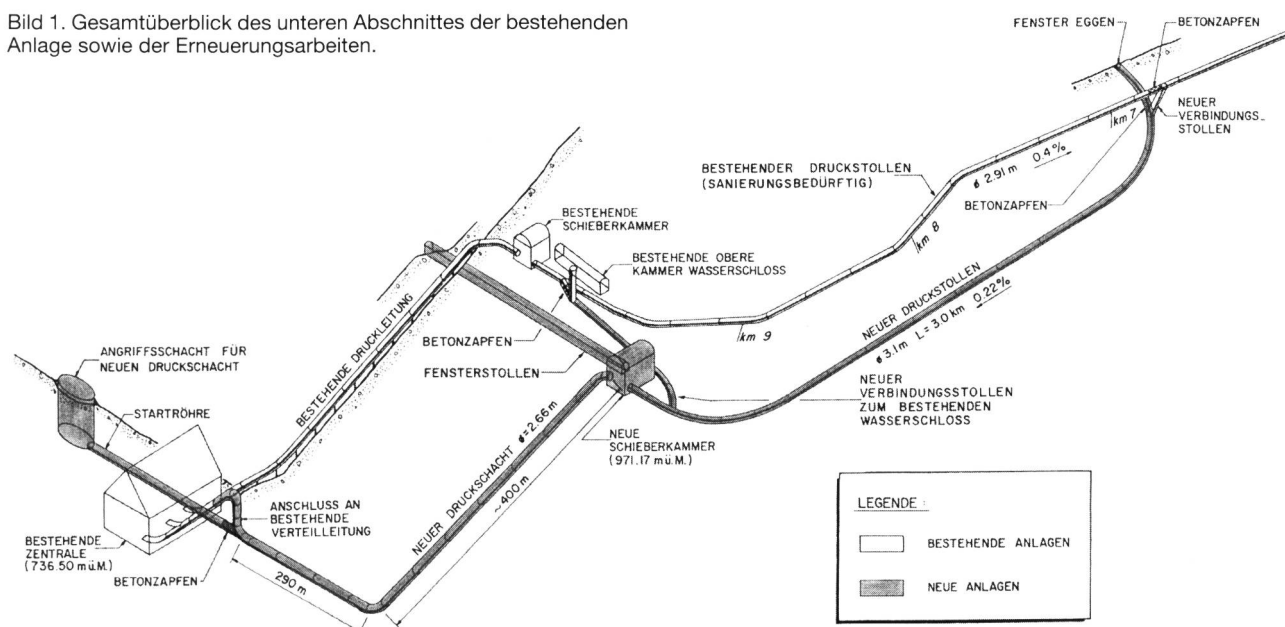
Mit monatlichen Ernergiausfallkosten von etwa 1,2 Mio Franken erwies sich die Dauer des Unterbruches des Kraftwerkes ausschlaggebend für die Erarbeitung der Sanierungsvorschläge.

Was den Druckstollen anbelangt, wurde eine Teilsanierung auf etwa 1,2 km Länge mit einem teilweisen oder vollständigen Neubau des Bauwerkes verglichen.

Nach einer eingehenden Variantenstudie wurde die Erneuerung des Druckstollens einer Sanierung vorgezogen, und zwar aufgrund folgender Überlegungen:

- Die Sanierung des Stollens mit Stahlpanzerung oder Spritzbeton wäre mit einem Minimalunterbruch des Kraftwerkbetriebes von etwa 8 Monaten verbunden gewesen, was die Gesamtkosten mit denjenigen eines Neubaus in etwa gleichstellte.
- Die bei einer Sanierung unvermeidliche Reduzierung des Stollendurchmessers von 3,0 m auf etwa 2,7 m hätte zu einem mittleren Druckverlust von etwa 2,5 m geführt, was einen andauernden Produktionsverlust von etwa 2,5 GWh/Jahr bedeutet hätte.

Bild 1. Gesamtüberblick des unteren Abschnittes der bestehenden Anlage sowie der Erneuerungsarbeiten.



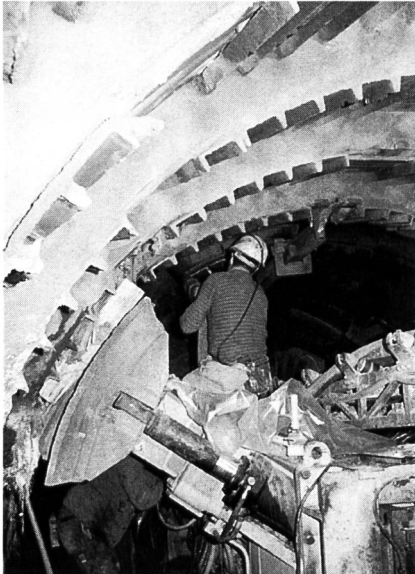


Bild 2. Profilanpassung bei der Durchfahrung der Triasformation durch Marciavantiverfahren.

– Trotz der technischen Durchführbarkeit der Stollensanierung wäre immerhin ein bedeutendes Risiko einer Kostenerhöhung aufgrund der Überschreitung der vorgesehenen Ausführungstermine möglich gewesen.

Was die Druckleitung anbelangt, erwies sich eine Teilsanierung der offengelegten Druckleitung auf die Dauer als fragwürdig. Anhand einer technischen und finanziellen Auswertung der möglichen Varianten zur langfristigen Instandstellung des Bauwerkes wurde der Neubau eines ge-



Bild 3. Übergangszone zwischen horizontalem und schrägem Abschnitt des Druckschachtes. Einbau der Vortriebsmaschine am Fuss des 80 % geneigten Druckschachtes.



Bild 4. Kippvorrichtung in der Schieberkammer für die Montage der Panzerrohre im schrägen Teil des Druckschachtes.

panzerten Druckstollens, wie in Bild 1 dargestellt, gegenüber dem Ersatz der offenen Druckleitung bevorzugt.

Der Zusammenschluss des Druckstollens und des Druckschachtes erfolgt in einer neuen Schieberkammer, welche etwa 220 m tief im Felsen zu liegen kommt. Oberhalb der Schieberkammer verbindet ein neuer Stollen den Druckstollen mit dem bestehenden Wasserschloss (Bild 1). Bei der Zentrale ist der neue Druckschacht etwa 300 m horizontal geführt und steigt anschliessend mit einer Neigung von 80 % bis zur Schieberkammer auf Kote 971,10 m ü. M.

Aufgrund einer Optimierung wurde der Stollendurchmesser von den bestehenden 3,0 m auf 3,1 m erhöht, was zu einem benötigten Bohrdurchmesser von 3,8 m führte, entsprechend einer Gesamtstärke der Felssicherung und der Betonauskleidung von 35 cm.

Was den Druckschacht anbelangt, ist der Innendurchmesser des Panzerrohres auf 2460 mm festgelegt worden, was etwa demjenigen der bestehenden Druckleitung entspricht. Die Stärke der Betonhinterfüllung beträgt etwa 40 cm, so dass der Bohrdurchmesser auf 3,35 m festgelegt wurde. Zusätzliche Einzelheiten über die bestehende Anlage sowie des Sanierungs- und Erneuerungskonzeptes sind in [1] enthalten.

### 3. Ausführung der Erneuerungsarbeiten

#### Der Druckstollen

Nach dem Ausbruch eines kurzen Zugangsstollens vom Portal Eggen, unterhalb der Kantonsstrasse Mörel-Bister, mit traditionellem Verfahren wurde der neue, etwa 3 km lange Druckstollen mit einer Wirth-Vortriebsmaschine von rund 3,8 m Bohrdurchmesser ausgeführt (Bild 1).

Höhenmässig liegt der neue Stollen in der Zone Eggen, etwa 18 m unterhalb des bestehenden Bauwerkes, und erreicht mit einer ansteigenden Neigung in Fliessrichtung von 0,22 % die Höhenlage des bestehenden Stollens in der Nähe der neuen Schieberkammer. Dieses «Gegengefälle» ergab sich aus dem Umstand, dass die Einrichtung einer Baustelle beim Wasserschloss äusserst schwierig und kostspielig gewesen wäre, während bei Eggen die Zugangs- und Platzverhältnisse günstiger erschienen.

In Anbetracht der prognostizierten begrenzten Stärke der Triasformation (etwa 100 m) entlang der vorgesehenen Linienführung des neuen Druckstollens wurde der maschi-

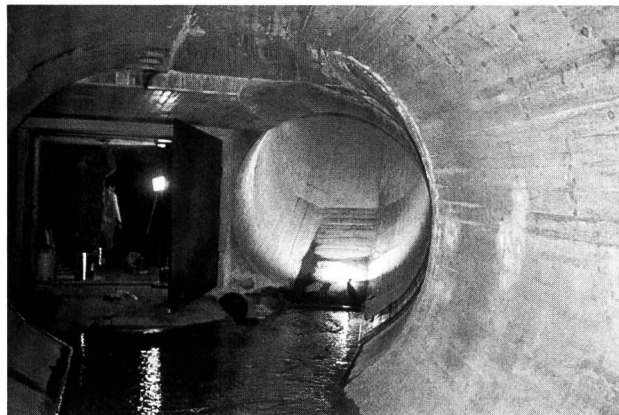
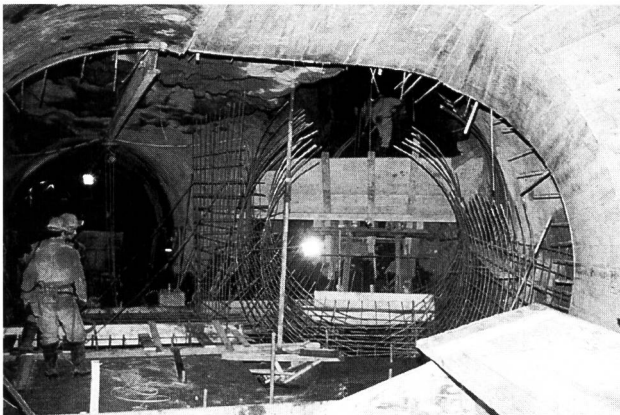


Bild 5. Zusammenschlussbauwerk im Raum Eggen. Links: Armierungs- und Betonierungsarbeiten (11.11.1987). Rechts: Fertigstellung des Bauwerkes mit dem Einbau der Panzertüre (28.11.1987).

nelle Vortrieb bevorzugt, mit der Möglichkeit, diese ungünstige Formation mit einem konventionellen Verfahren und mit regelmässigen Vorsondierungen zu überwinden. In Wirklichkeit erwies sich die Triasformation wesentlich stärker als vorgesehen (etwa 400 m) und mit extrem ungünstigen geologischen Verhältnissen (stark verwitterter Gips, Anhydrit und Rauhwacke). Die Durchfahrung der schwierigen Triasformation erfolgte durch streckenweise Profil Anpassungen bis zu einem Durchmesser von 4,40 m und aufwendige Felssicherungsmaßnahmen mit Einbau von Marciavanti rund um den Bohrkopf der Maschine (Bild 2). Ausserdem waren teilweise Kunstharzinjektionen nötig, um die Vortriebsbrust zu stabilisieren.

Nach rund 2 km Ausbruch des Stollens brach die Hauptwelle der Vortriebsmaschine. Die sofortige Überprüfung möglicher Szenarien für das Weiterführen der Arbeiten liess den maschinellen Vortrieb für den restlichen Kilometer nach einem Unterbruch von rund 3 Monaten bestätigen. Während dieser Zeitspanne wurden Ergänzungsabbrüche in der Zone Eggen ausgeführt (Entleerungsstollen, unterer Teil des Verbindungsstollens zum bestehenden Druckstollen). Der maschinelle Vortrieb des neuen Druckstollens konnte nach rund 24 Monaten mit dem Ausbruch in der neuen Schieberkammer abgeschlossen werden.

Schliesslich wurde die Betonauskleidung des Stollens in zwei Betonierphasen (Sohle und restlicher Teil) fertiggestellt. In den Stollenabschnitten mit einem Sulfatgehalt des Bergwassers über 500 bis 600 mg/l wurde ausserdem eine Dichtungsfolie angebracht, um einem allfälligen chemischen Angriff des Auskleidungsbetons vorzubeugen.

### Der Druckschacht

Aufgrund der stellenweise ungünstigen geologischen Verhältnisse stellte die Ausführung des Druckschachtes ebenfalls aussergewöhnliche Anforderungen an Baufirma und Bauleitung.

Nach dem praktisch unproblematischen Ausbruch des ovalförmigen Angriffsschachtes (Bild 1) in der Nähe der Zentrale, der teilweise im Lockergestein (nach Konsolidierung mit Jetting-Kolonnen) und teilweise im Fels erfolgte, wurde die Startröhre des horizontalen Abschnittes des Druckschachtes bei fast beendetem Ausbruch durch einen unerwarteten schlammigen Rauhwacke-Einbruch teilweise gefüllt. Um die Stabilität der in Betrieb stehenden Zentrale sicherzustellen, musste der entstandene Hohlraum mit Beton und Zementinjektionen innert Kürze gefüllt werden. Nach einer gezielten Konsolidierung mit vertikalen Jetting-Kolonnen und der Sicherung der Vortriebsbrust konnte die Startröhre gereinigt und für die Aufnahme der

Vortriebsmaschine (Typ Wirth, Bohrdurchmesser 3,35 m) bereitgestellt werden. Der maschinelle Ausbruch des horizontalen Teils des Druckschachtes erfolgte ohne besondere Probleme.

Parallel zu den erwähnten Arbeiten im Bereich der Zentrale starteten die Ausbrucharbeiten des Fensterstollens zur neuen Schieberkammer. Der traditionell ausgebrochene Fensterstollen musste auf seiner ganzen Länge mit Einbaubögen und Verzugsblechen gesichert werden. Schliesslich wurde die angeschlossene Schieberkammer in Etappen ausgebrochen (zentraler Zugangsschacht, Kalotte, Strosse). Dieser Fensterstollen, dessen Zugang mit einer Seilbahn ausgestattet war, wurde hauptsächlich für die Zufuhr und Abfuhr von Baumaterialien und verschiedenen Einrichtungen benötigt.

Nach der Vorbereitung der Übergangszone zwischen dem horizontalen und dem schrägen Teil des Druckschachtes anhand traditioneller Ausweitung wurde die Vortriebsmaschine in der 80 % geneigten Startröhre eingebaut (Bild 3).

Der Vortrieb des rund 400 m langen, schrägen Teilstückes, der etwa 3,5 Monate dauerte, wurde durch gute geologische Verhältnisse und dementsprechend durch wenige Felssicherungsmaßnahmen charakterisiert. Diesbezüglich ist zu erwähnen, dass nach rund 120 m Ausbruch starke Wassereintritte auftraten (bis zu 110 l/s). Da dieser Wassereintritt einen dauernden Charakter aufwies, wurde kurzfristig entschieden, auf die Montage der vorgesehenen Transporteinrichtungen zu verzichten. Das frei nach unten fallende Ausbruchmaterial hinter der Maschine wurde durch eine starre Schutzkonstruktion am Fuss des geneigten Stollens aufgefangen.

Die ersten Elemente der Druckschachtpanzerung wurden im Übergangsbereich zwischen horizontalem und schrägem Teil des Druckschachtes montiert. Nach dem Einbringen der benötigten provisorischen Schutz- und Sicherheitsvorkehrungen in diesem Bereich wurden parallel die 10 m langen und 10 bis 22 mm dicken Panzerrohre im horizontalen und im schrägen Teil des Druckschachtes montiert. Die schrägliegenden Elemente wurden von der Schieberkammer aus mit einer Seilwinde und einer Kippvorrichtung in den Druckschacht hinuntergefahren (Bild 4).

### Zusammenschlüsse der bestehenden und neuen Bauwerke

Für die Ausführung aller Zusammenschlüsse der neuen Bauwerke mit den bestehenden Anlagen standen gemäss Terminplanung nur 2 Monate zur Verfügung. Die Abstimmung der gesamten Anlage wurde auch dazu benützt, um in den



Bauherr: Rhonewerke AG, CH-3965 Chippis  
Ingenieur: Lombardi AG Beratende Ingenieure, CH-6648 Minusio-  
Locarno.  
Beratender Geologe: *Odilo Schmid*, Brig

#### Druckstollen

- Bauarbeiten – Firmenkonsortium: Murer AG, Erstfeld; Ed. Züblin & Cie, Zürich; B. Fantoni, Brig.
- Dichtungsfolien und Injektionen: Guniperm SA

#### Druckschacht

- Baufirma: Kopp AG, Luzern
- Injektionen: Injectobohr (Injectosond), Locarno
- Panzerrohre: Giovanola SA, Monthey; Vevey SA (Hydro-Vevey), Vevey
- Lieferung der Drosselklappe: Von Roll AG

nicht erneuerten Stollenabschnitten sowie in der Zentrale Sanierungs- und Revisionsarbeiten vorzunehmen.

In Tag- und Nacharbeit wurden während dieser zwei Monate die Verbindungsstollen zwischen dem neuen und dem bestehenden Druckstollen sowie zum bestehenden Wasserschloss fertiggestellt (Bild 1). Der Zusammenschluss des Verbindungsstollens und des Fensterstollens im Raum Eggen ist in Bild 5 ersichtlich.

Gleichzeitig wurde die bestehende Verteilleitung unmittelbar von der Zentrale abgeschnitten und die Verbindung mit dem neuerstellten Druckschacht hergestellt.

Dank den mit der Bauleitung sehr genau programmierten Tätigkeiten und dem ausgezeichneten Einsatz und der Leistung aller Kader und aller Arbeitsequipen konnten die sehr eng angesetzten Termine eingehalten werden. Nach etwa dreijährigen Bauarbeiten mit nur zweimonatigem Betriebsunterbruch wurde somit das sanierte Kraftwerk Mörel im November 1987 wieder in Betrieb genommen.

## 4. Schlussbemerkungen

Trotz der Beihilfe von verschiedenen Untersuchungsmethoden erscheint es ausserordentlich schwierig, die Notwendigkeit und den optimalen Zeitpunkt für die Ausführung von Sanierungsarbeiten an Untertagebauten bestehender Kraftwerkanlagen zu bestimmen. Betriebstechnische Bedürfnisse ermöglichen es meistens nicht, das Ausmass der Schäden über Jahre zu verfolgen, und erschweren somit die Prognose deren zukünftiger Entwicklung.

Aufgrund der normalerweise hohen Energieausfallkosten sollte der Dauer der Betriebsunterbrechung und dem Risiko einer Überschreitung der Termine eine besondere Aufmerksamkeit bei der Erarbeitung des Sanierungsprojektes gewidmet werden.

Selbst wenn die Ausbauwassermenge nicht erhöht werden darf, kann sich ein Neubau der beschädigten Bauwerke gegenüber einer mit höheren Risiken verbundene Sanierung als vorteilhaft erweisen.

Schliesslich muss noch erwähnt werden, dass aussergewöhnliche Naturereignisse während der Bauarbeiten (Überflutung der Rhone) an alle Beteiligten besondere Anforderungen gestellt haben.

Literatur: *P. F. Bertola, R. Bremen*; Erneuerung des Kraftwerkes Mörel. Symposium Betrieb, Erhaltung und Erneuerung von Talsperren und Hochdruckanlagen, Graz, September 1994, S. 273–284.

Adressen der Verfasser: Dr. Ing. *Roger Bremen*, Ing. *Renzo Tarchini*, Lombardi AG beratende Ingenieure, Via R. Simen 19, Postfach 1535, CH-6648 Minusio-Locarno, und Ing. *Paul Bartek*, Rhonewerke AG, CH-3965 Chippis.

# Le Centre de gestion hydraulique de Verbois

Raymond Cettou

## Résumé

*L'exploitation de la chaîne d'ouvrages hydroélectriques sur le Rhône genevois cherche d'une part à optimiser la production et d'autre part à assurer la sécurité et à respecter les contraintes liées à l'environnement. Elle est d'une complexité telle qu'un concept de conduite entièrement automatisée a été mis en place par les Services industriels de Genève. Le Centre de gestion hydraulique en constitue la clé de voûte. Il a pour mission d'assurer la télésurveillance et la téléconduite des ouvrages. L'article donne les principes de la conduite automatique et de la marche sur programme, décrit les différents systèmes informatiques du Centre de gestion hydraulique et présente les fonctions de régulation et les outils d'aide à l'opérateur qui y sont implantés.*

## Zusammenfassung: Leitstelle für die Wasserwirtschaft in Verbois

*Die Bewirtschaftung der Kraftwerkskette der Rhone auf Genfer Boden versucht einerseits die Produktion zu optimieren und andererseits die Sicherheit zu gewährleisten sowie auch die Einschränkungen zwecks Umweltschutz zu berücksichtigen. Sie ist von einer derartigen Vielseitigkeit, dass ein Konzept für einen vollautomatischen Betrieb eingeführt wurde. Die Leitstelle in Verbois bildet den Schlüsselpunkt davon. Sie hat zur Aufgabe, das Fernüberwachen und das Fernwirken der Kraftwerke zu sichern. Der Artikel erklärt das Prinzip des automatischen und programmierten Betriebes, beschreibt die verschiedenen Computersysteme und stellt die Art und Weise der Regulierungsfunktionen und die Softwarehilfsmittel für den Operator vor.*

## Introduction

Un important programme d'études et de réalisations a été entrepris par les Services industriels de Genève pour valoriser la production hydroélectrique locale. Les études menées, incluant la modélisation hydraulique de chacun des paliers du Rhône genevois, ont débouché sur la conception d'une conduite entièrement automatisée de l'ensemble de la chaîne de centrales. Les travaux exécutés ou encore en cours ont déjà permis l'automatisation intégrale de ces dernières. Dans ce contexte, la mise en place du Centre de gestion hydraulique constitue une étape essentielle pour l'exploitation optimale et sûre des ouvrages hydroélectriques du canton.

## Exploitation de la chaîne de centrales sur le Rhône genevois

### L'aménagement du Rhône genevois

Sur les 28 km de son parcours entre le lac Léman et la frontière franco-suisse, le Rhône subit une dénivellation de 41 m pour un débit moyen de 320 m<sup>3</sup>/s à Verbois. Des quatre paliers qu'il comporte, trois sont actuellement exploités (voir figure 1).

Le barrage de régularisation et usine hydroélectrique du Seujet, mis en service en 1994, assure avant tout la régularisation du niveau du lac Léman, l'évacuation des débits de crues et la maîtrise du débit du Rhône pour assurer