Ausführungskontrollen der Dämme des Ausgleichbeckens von Châtelard-Village

Autor(en): **Mottier, Jean-Louis**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **97 (1979)**

Heft 39

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85542

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

Ausführungskontrollen der Dämme des Ausgleichsbeckens von Châtelard-Village

von Jean-Louis Mottier, Baden

Einleitung

Das Ausgleichsbecken von *Châtelard-Village* ist eine *künstlich erstellte Anlage* mit einem *Nutzinhalt von 203 000 m³* bei einem Totalvolumen von annähernd 250 000 m³ (siehe Bild 3 und 5). Die Dichtigkeit wird durch eine Verkleidung aus Bitumenbeton von 9 cm Stärke auf dem Beckenboden und auf den Böschungen unterhalb der Kote 1101.00 m ü. M. erreicht. Oberhalb dieser Kote verringert sich die Belagsstärke kontinuierlich von 9 auf 6 cm. Die Belagsfläche beträgt rund 4500 m² auf dem Beckenboden und ungefähr 19 000 m² auf den Böschungen. Der östliche Teil der Anlage stützt sich auf eine Felswand von ca. 40 m Höhe, die mit einer Spritzbetonschicht von 5–6 cm Stärke abgedichtet wurde. Die grösste Wassertiefe im Becken beträgt 26 m, das Freibord misst bis zur Krone 1,50 m. Um Auftriebserscheinungen auf der Beckenverkleidung zu vermeiden, wurde das Becken mit einem Drainagesystem versehen. Es besteht aus mehreren getrennten Leitungssträngen, die in die Grundablasskammer führen, was eine ständige Kontrolle des Drainagewassers erlaubt. Im übrigen verfügt das Ausgleichsbecken über die üblichen Nebenanlagen, wie Hochwasserentlastung, gerechnet für eine Wassermenge von 23 m³/s, Grundablass, Einlaufbauwerk für das Zentralenwasser, Einlauf

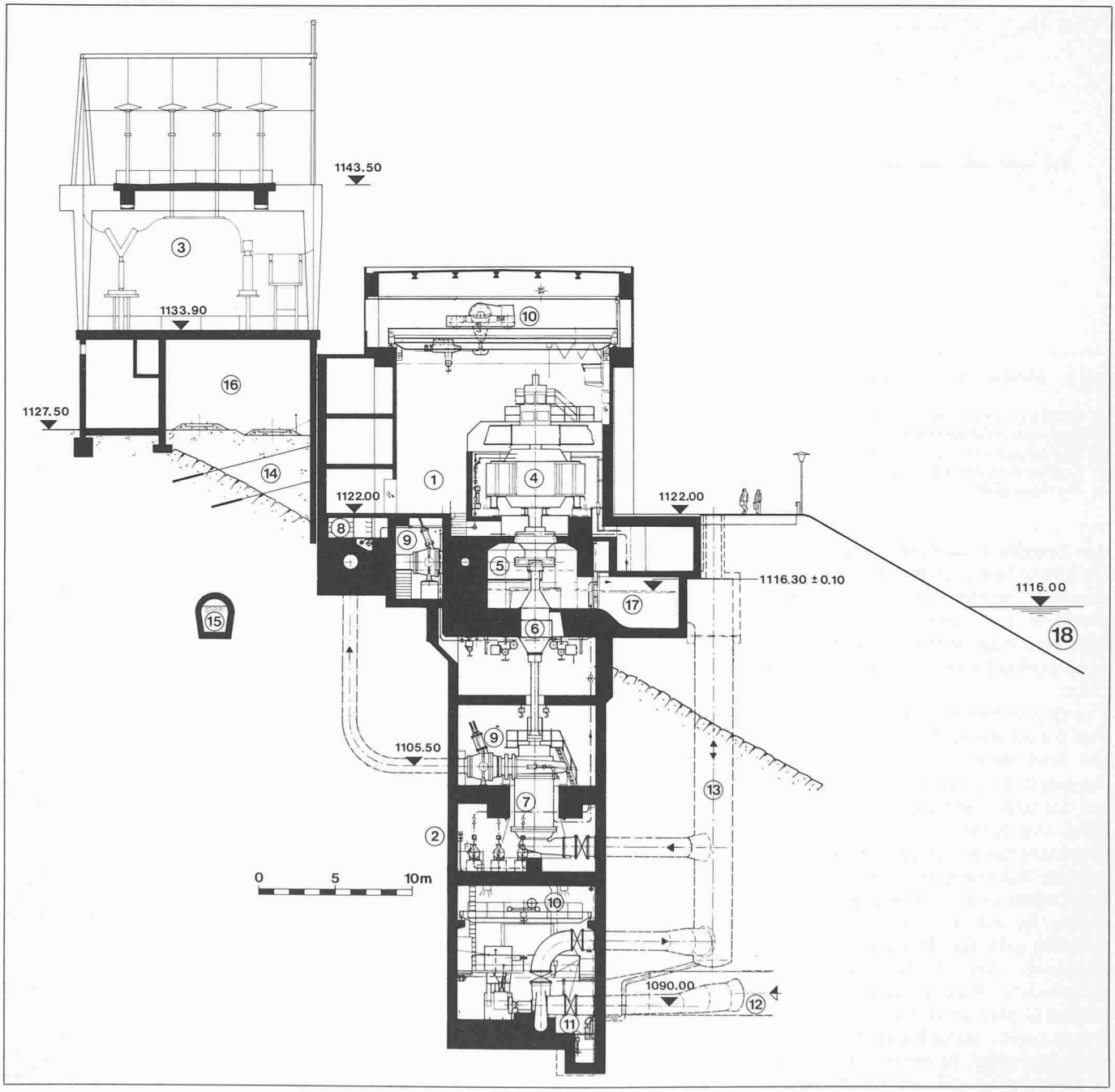

Bild 4. Zentrale Châtelard II. Vertikalschnitt

① *Maschinensaal*
② *Pumpenschacht*
③ *Freiluftschaltanlage 132 kV*
④ *Motorgenerator*
⑤ *Peltonturbine*
⑥ *Ausrückbare Zahnkupplung*
⑦ *Speicherpumpe*
⑧ *Verteilleitung*
⑨ *Kugelschieber*
⑩ *Maschinensaalkran*
⑪ *Zubringerpumpen*
⑫ *Zulaufstollen*
⑬ *Schacht*
⑭ *Verankerte Wand*
⑮ *Freispiegelstollen nach Les Marécottes*
⑯ *Martigny-Châtelard-Bahn*
⑰ *Turbinenunterwasserkanal*

und Zulaufstollen sowie Abfahrtsrampe zum Beckenboden und Hydrantennetz für die Beckenreinigung.

Herkunft und Einbau des Schüttungsmaterials

Die Beckendämme, mit einer maximalen Höhe von ungefähr 35 m über Fundamentfläche (Bild 5), werden grösstenteils mit felsigem Material granitischer und gneisischer Natur geschüttet, das von den Stollenausbrüchen und verschiedenen Baustellen des Wasserkraftwerkes Emosson stammt.
Das benötigte Materialvolumen für den Bau der Dämme betrug ungefähr 300 000 m³. Das Material wurde in Schichten von 60 cm Stärke aufgeschüttet und mit einer glatten Vibrationswalze (Typ Dynapac) von 40 kN (4 t) statischer Last, entsprechend 110 kN (11 t) dynamischer Belastung verdichtet. Einzelne Felsblöcke bis zu einem Druchmesser von 50 cm wurden in den Schüttungen toleriert.

Voruntersuchungen

Die Voruntersuchungen für den Bau des Ausgleichbeckens Châtelard-Village und der Zentrale Châtelard II umfassten eine eingehende geologische Studie und eine Sondierkampagne. Es wurden 16 Rotationsbohrungen von ∅ 146 mm bzw. 161 mm bis in Tiefen von 11,60 m - 40,30 m ausgeführt. Die in losem Material sowie in Fels total gebohrte Länge beträgt 315 m.
Ausserdem wurden die Felswand am östlichen Rande des Beckens sowie die Bergsturz-Zone hinter der Zentrale gründlich untersucht und geologisch detailliert aufgenommen.
Das *geotechnische Laboratorium der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne* (LEGEP) wurde mit der Entnahme von gestörten Proben aus den Sondierbohrungen sowie bei den verschiedenen Deponiestellen und mit der Durchführung der geotechnischen Laboruntersuchungen beauftragt. Die Laboruntersuchungen erstreckten sich auf folgende Punkte:

- *Untergrund des Beckens:* natürlicher Wassergehalt, Raumgewicht, spezifisches Gewicht des Feststoffanteils, Porenziffer, Sättigungsgrad, Kornverteilung, Scherfestigkeit und Zusammendruckbarkeit.
- *Schüttungsmaterial für den Dammkörper:* Kornverteilung, Verdichtungsversuche mit Bestimmung des optimalen Wassergehaltes nach Proctor und Triaxialversuche.

Aufgrund der zahlreichen, durchgeführten Versuche wurden die *Verdichtungskriterien des Dammschüttungsmaterials* bestimmt (Tabelle 1).

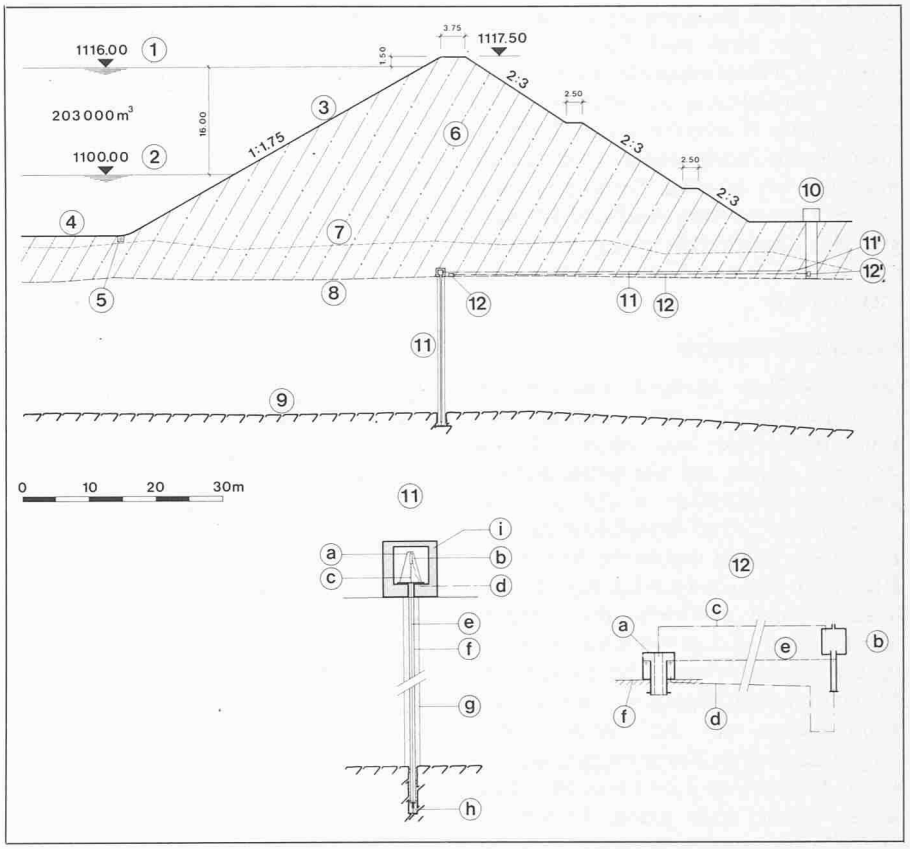

Bild 5. Ausgleichsbecken. Schnitt durch den Hauptdamm mit Setzungsmessgeräten

① *Max. Stauziel*
② *Min. Stauziel*
③ *Bitumenbetonbelag - Stärke 6 bis 9 cm*
④ *Bitumenbetonbelag - Stärke 9 cm*
⑤ *Drainagenetz*
⑥ *Dammkörper*
⑦ *Natürliches Terrain*
⑧ *Aushubfläche*
⑨ *Felsoberfläche*
⑩ *Messschacht*
⑪' *Telemac-Messstelle*
⑫' *LEGEP-Messstelle*
⑪ *Setzungsmessgerät Typ Telemac*
a) Gestell
b) Dynamometer
c) Geeichte Feder
d) Messkabel
e) Schwingende Saite
f) PVC-Rohr ∅ 160 mm
g) Bohrloch
h) Verankerungsstelle
⑫ *Setzungsmessgerät Typ LEGEP*
a) Mit dem Dammfundament verbundene Stelle
b) Messstelle
c) Luftleitung
d) Wasserleitung
e) Hydrostatischer Spiegel
f) Dammfundament

Tabelle 1. Verdichtungskriterien für das Dammschüttungsmaterial

Herkunft des Materials	Proctor-Optimum für die Feinfraktion der Probe ∅ < 7 mm			Proctor-Optimum für die ganze Probe			Feuchtraumgewicht der Schüttung 85° Lagerungsdichte
	γd t/m³	W %	γh t/m³	γd t/m³	W %	γh t/m³	γmin t/m³
A	1,97	10,4	2,20	–	–	–	2,10
B	2,10	10,0	2,31	2,33	4,5	2,43	2,10
C	2,07	7,6	2,23	2,32	4,0	2,41	2,10
D	1,94	11,6	2,16	2,28	5,0	2,39	2,10
E	2,10	10,0	2,31	2,33	4,5	2,43	2,10

γd = Trockenraumgewicht, γh = Feuchtraumgewicht, W = Wassergehalt

Die Verdichtungsversuche wurden mit Hilfe der *Standardenergie* auf die feinen Bestandteile von ∅ 7 mm der Proben ausgeführt. Um die Verdichtungscharakteristiken des ganzen Materials mit groben Elementen festzulegen, wurden die Korrekturen der Norm SNV 670 330 a angewandt.

Kontrollen während der Bauarbeiten

Die Kontrollen wurden auf der Baustelle während der Bauausführung durch das Personal der örtlichen Bauleitung oder durch das LEGEP ausgeführt. Sie

umfassten die Bestimmung der nötigen Anzahl der Hin- und Zurück-Durchgänge der Vibrationswalze (um die optimale Verdichtung zu erreichen) und die örtliche Kontrolle dieser Verdichtung durch *Feuchtraumgewichtsbestimmung;* ferner wurden *Setzungsmessungen* im Dammuntergrund und Messungen der Dammverformung anlässlich der ersten Beckenfüllung vorgenommen werden.

Versuchsschüttungen

Das zugeführte Material, das von vier Stollendeponien des Kraftwerkes Emosson sowie aus einer Moräne stammte, wurde auf Versuchsschüttungen von 10 m×20 m = 200 m², bzw. 7 m×30 m = 210 m² Oberfläche geprüft. Zu diesem Zweck wurde die Anzahl der Hin- und Zurück-Durchgänge der Vibrationswalze ermittelt, die benötigt wurden, um die gewünschte Verdichtung zu gewährleisten. Ein System von 24 steifen Metallplatten von 10 cm Kantenlänge, auf die Versuchsschüttung aufgelegt in Form eines quadratischen Netzes von 1,6×1,6 m Maschenweite, wurde nach jedem Durchgang der Vibrationswalze nivelliert. Die anfängliche Stärke der Versuchsschüttung betrug 60 cm, was der für die Ausführung der Dämme gewählten Schichtstärke entsprach.
Ausgeführt wurden neun Versuchsschüttungen mit den Materialien der fünf Deponien und mit Mischungen aus ihnen. Normalerweise wurden sechs bis acht Hin- und Zurück-Durchgänge benötigt, um die gewünschte Verdichtung zu erreichen.

Sandversuche

Sie bezwecken die *Kontrolle des Verdichtungsgrades* der eingebrachten und verdichteten Schüttungsschichten durch die Bestimmung des *Feuchtraumgewichtes*. Sie erfolgte mit der *Sandersatz-Methode* gemäss der Norm SNV 70 335. Die nötige Apparatur für die Durchführung der Versuche wurde vom LEGEP gestellt. Auf den 64 eingebrachten Schichten wurden 57 Versuche ausgeführt.

Isotopengerät

Die Durchführung der obenerwähnten Sand-Versuche benötigt viel Zeit; sie können deshalb nicht in grösserer Anzahl vorgenommen werden. Wir haben versuchsweise und zum Vergleich mit der Sandersatz-Methode ein Isotopengerät vom Typ C 75 der Firma «The Seaman Nuclear Corporation», Milwaukee, Wisc., USA verwendet, das uns vom LEGEP zur Verfügung gestellt wurde. Das Gerät (Bild 6) erlaubt die rasche Bestimmung des Feuchtraumgewichtes sowie des Wassergehaltes der verdichteten Schichten. Es handelt sich dabei um einen Apparat mit einer *Radium-Beryllium-Quelle.*

Auf der Baustelle wurden 937 Messungen mit diesem Gerät durchgeführt, was eine Frequenz in der Grössenordnung von 18–20 Messungen pro im Hauptdamm eingebrachte Schicht ergibt.

Vergleich der Isotopen- und der Sandersatz-Methoden

In 32 Fällen wurden die beiden Methoden direkt verglichen. Fünf im Kreuz in 50 cm Abstand angeordnete Punkte wurden zunächst mit dem Isotopengerät gemessen, wonach am gleichen Ort ein Sandversuch ausgeführt wurde.
Die durch die Sandersatz-Methode bestimmten Feuchtraumgewichte wurden mit den durch das Isotopengerät erhaltenen Mittelwerten verglichen (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2. Feuchtraumgewichte. Vergleich der Sandersatz- und Isotopenmethode

Herkunft des Materials	*Anzahl der Versuche*	*Isotopengerät*		*Sand-Versuche*
		$\gamma t/m^3$	*W%*	$\gamma t/m^3$
B	7	2,44	6,5	2,38
C	3	2,27	4,3	2,26
B + C	11	2,34	5,3	2,31
D	2	2,50	7,4	2,15
D + C	1	2,38	8,2	2,35
E + C	3	2,36	4,8	2,22
E	5	2,25	4,7	2,21
Mittel von 32 Versuchen		2,35	5,5	2,29

Es lässt sich eine *befriedigende Übereinstimmung* zwischen den mit beiden Methoden gemessenen Werte feststellen. Doch in einem Falle, d. h. bei den beiden Versuchen, die mit Moränen-Material ausgeführt wurden, sind die Unterschiede bedeutend grösser. Es scheint, dass die Isotopenmethode leicht höhere Werte ergibt als die Sandersatz-Methode.
Im grossen und ganzen kann behauptet werden, dass im Falle des Dammes von Châtelard-Village die Verwendung des Isotopengerätes erfolgreich war. Dieser tragbare Apparat erlaubt die rasche Durchführung bei geringen Kosten von einer beachtlichen Anzahl von Kontrollen des Feuchtraumgewichtes und des Wassergehaltes in verdichteten Schüttungen. Die Resultate können indessen verfälscht werden, wenn sich grobes Material unter den Messpunkten befindet, ein Umstand, der jedoch von der Prüfperson sofort bemerkt wird. Allgemein genügt eine Verschiebung der Messpunkte von 1–2 m, um diesen Nachteil zu beheben.

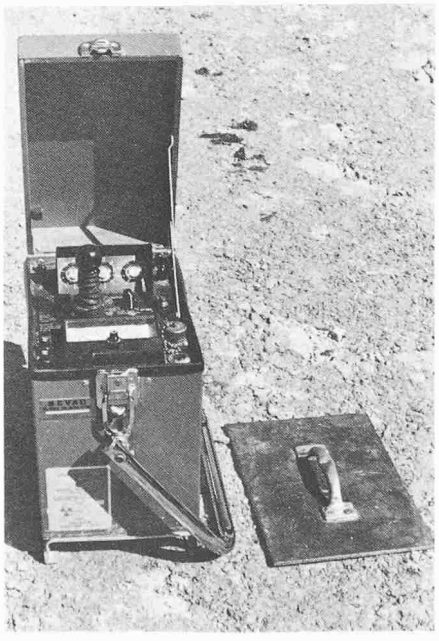

Bild 6. Isotopengerät zur Raumgewicht- und Wassergehalt-Bestimmung – Model Seaman C 75

Setzungen des Dammuntergrundes

Der Untergrund des Ausgleichsbeckens setzt sich aus einer siltig-sandigen und kiesigen Moräne von guter Qualität zusammen, durchsetzt mit zahlreichen Blöcken. Diese Böden sind an der Oberfläche mit Material überdeckt, das durch den Bach auf dem Talgrund abgelagert wurde. Diese Ablagerung ist von schlechter Qualität und musste entfernt werden. Ihre Schichtstärke variierte von 1–5 m.
Für die Setzungskontrollen des Becken-Untergrundes während des Erstellens der Dämme wurden in der Talachse unter dem Hauptdamm zwei Setzungsmessgeräte installiert (Bild 5). Ein erstes Setzungsmessgerät vom Typ LEGEP (Bild 7), das nach dem Prinzip der kommunizierenden Gefässe arbeitet, lieferte das geotechnische Laboratorium der ETH Lausanne. Das Gerät, vorwiegend für Strassendämme konzipiert, musste für die Baustelle des Ausgleichsbeckens Châtelard-Village wegen der grossen Distanz zwischen Messzelle und Messstelle modifiziert werden. Aus Sicherheitsgründen wurde die LEGEP-Apparatur mit einem Setzungsmessgerät vom Typ Telemac (Bild 8) mit schwingender Saite ergänzt, deren unteres Ende im in ca. 20 m Tiefe gelegenen Fels verankert wurde.
Die beiden Messgeräte haben sehr gut funktioniert und einander ähnliche Resultate geliefert. Die gemessenen Setzungen erreichten 20 cm und überschritten leicht den rechnerisch ermittelten Wert. Jetzt arbeitet nur noch das LEGEP-Gerät. Das Setzungsmessgerät vom Typ Telemac ist ausser Betrieb,

weil die effektive Setzung des Untergrundes infolge Unterschätzung des Setzungsendwertes, den ursprünglich vorgesehenen Messbereich des Apparates überschritt.

Verformung des Dammkörpers

Auf *Setzungskontrollen im Dammkörper während der Bauzeit mit Setzungspegeln wurde verzichtet*, da sie ausserordentlich die Verdichtungsarbeiten und ebenso den Verkehr auf dem Damm stören. Ausserdem werden sie leicht verschoben und durch die Verdichtungsmaschinen beschädigt. Wir haben uns darauf beschränkt, an acht Fixpunkte auf der Dammkrone die Verschiebungen vor, während und nach der ersten Beckenfüllung in Höhe und Richtung mit geodätischen Methoden zu ermitteln. Dabei wurden keine ungewöhnlichen Bewegungen festgestellt.

Schlussfolgerungen

Das Errichten der Dämme des Ausgleichsbeckens Châtelard-Village war Gegenstand verschiedener geotechnischer Kontrollen. Sie umfassten, ausser einer Sondierkampagne und der vorgängigen geologischen und geotechnischen Untersuchungen, die Durchführung von Versuchsschüttungen zur Bestimmung der Anzahl Durchgänge der Vibrationswalze, sowie die Kontrolle des Verdichtungsgrades durch das Messen des Feuchtraumgewichtes nach der Sandersatz-Methode und mit einem Isotopengerät. Ein direkter Vergleich der letzten beiden Methoden ergab eine befriedigende Übereinstimmung der Resultate. Die Setzungen des Untergrundes des Hauptdammes wurden gleichzeitig mit einem Setzungsmessgerät vom Typ LEGEP nach dem Prinzip der kommunizierenden Gefässe *und* mit einer Apparatur vom Typ Telemac mit schwingender Saite gemessen. Endlich wurden die Verformungen des Dammkörpers im Zeitpunkt der Beckenfüllung mit geodätischen Methoden ermittelt.

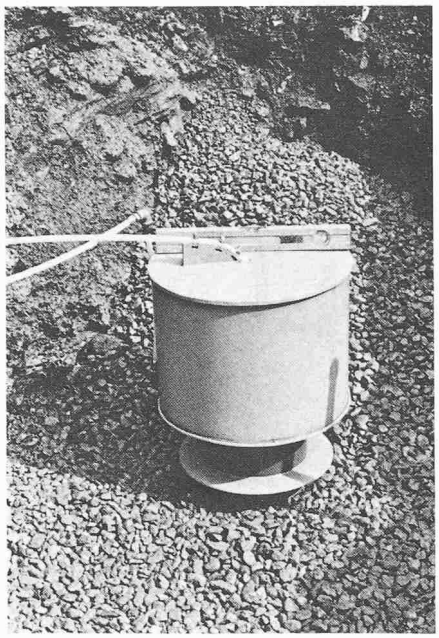

Bild 7. Setzungsmessgerät Typ LEGEP. Mit dem Dammfundament verbundene Zelle

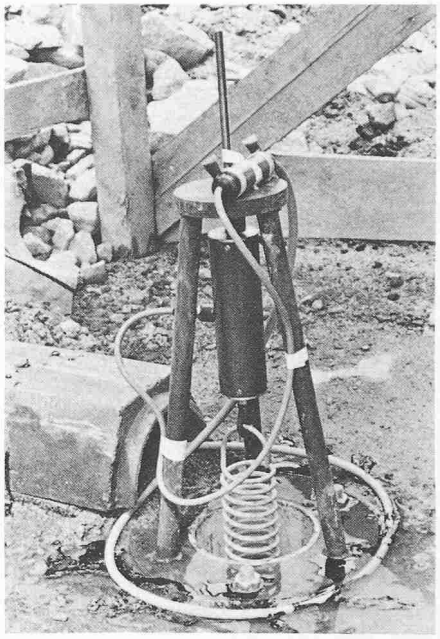

Bild 8. Setzungsmessgerät Typ Telemac. Oberes Gestell mit Dynamometer und geeichter Feder

Adresse des Verfassers: *J.-L. Mottier*, dipl. Ing. EPFL, c/o Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, 5401 Baden.

Die Zubringerpumpenanlage

von R. Linz, G. Leupin, R. Léchot und E. Hasler, Baden

Unter den interessanten Gesichtspunkten dieses neuen Pumpspeicher-Kraftwerkes sind die *besonderen Betriebsverhältnisse* und die *ungewöhnliche Antriebsart der Zubringerpumpen* zu erwähnen, die nämlich gleichzeitig eine Speicherpumpe von 31 MW und einen Freispiegelstollen für 8 m³/s mit Wasser aus dem Ausgleichsbecken speisen. Die Pumpen sind in der Lage, innerhalb eines weiten Förderhöhen- und Fördermengenbereiches zu arbeiten (H = 0,9 bis 19,4 m und Q = 3,0 bis 4,5 m³/s je Pumpe), was durch Drehzahländerung erzielt wird. Die *Antriebsmotoren*, mit einer Dauerleistung von je 1113 kW, sind *identisch mit den 16⅔-Hz-Einphasen-Wechselstrommotoren, die in einem Lokomotivtyp der SBB eingebaut sind*. Die *Drehzahl wird variiert durch Veränderung der Speisespannung der Motoren* unter Verwendung eines *Lokomotivtransformators mit Stufenschalter*. Diese technischen Besonderheiten sowie die Komplexität des hydraulischen Systems des Kraftwerkes haben das Konzept der Steuerung und Regelung der Anlage ganz wesentlich geprägt.

Konzept der Anlage

Vor dem Bau der neuen Pumpspeicherzentrale Châtelard II wurde das von den Peltonturbinen der alten Zentrale Châtelard I abfliessende Wasser durch einen *Freispiegelstollen* zum einige Kilometer entfernt liegenden *Ausgleichsbecken Les Marécottes* übergeleitet und von dort der *Zentrale Vernayaz* zugeführt. Gleichzeitig wurden dem Freispiegelstollen über einen Kanal weitere Zuflüsse zugeführt.

Nach dem Bau der neuen Zentrale werden sowohl dieser Stollen wie auch der Kanal weiter benutzt. Zusammen mit der neuen Zentrale wurde das Ausgleichsbecken Châtelard errichtet. Dieses hat die beim Turbinenbetrieb in den beiden Zentralen Châtelard I und II anfallende sowie die von der Bachwasserfassung zuströmende Wassermenge aufzunehmen, soweit diese Wassermengen nicht direkt zum Becken Les Marécottes übergeleitet werden. Der Zuflusskanal, der Turbinenunterwasserkanal der neuen Zentrale sowie der Freispiegelstollen nach Les Marécottes sind miteinander verbunden (Bild 3).

Die höchstmögliche Abflussmenge nach Les Marécottes beträgt 8 m³/s, der maximale Bachwasserzufluss 8 m³/s und die maximale gesamte Turbinenwassermenge in den Zentralen Châtelard I und II 16 m³/s. Die Abflussmenge nach Les Marécottes wird durch eine *Regulierschütze* aufgrund des Wasserbedarfs in der Zentrale Vernayaz gesteuert.

Das im Ausgleichsbecken Châtelard gespeicherte Wasser wird teils mit der Speicherpumpe der neuen Zentrale in den Stausee Emosson gepumpt, teils aber auch dem Ausgleichsbecken Les Marécottes zugeführt.

Weil beim Entleeren des Ausgleichsbekkens Châtelard der Wasserspiegel von