

FEW BAUMESSTECHNIK

Bericht 1 1965

Großanwendung von Glötzl-Ventilgebern beim Staudamm Gepatsch

Large Scale Application of Gloetzl Type Hydraulic Stress Cells at the Gepatsch Rockfill Dam Austria

Verfasser Dipl.-Ing., Dr. techn. Walter Schober – Tiroler Wasserkraftwerke AG, Innsbruck

In den Jahren 1961 bis 65 wurde im Westen Österreichs das „Kaunertalkraftwerk“ der Tiroler Wasserkraftwerke AG (TIWAG) errichtet. Es zählt mit einer Höchstleistung von 385 MW und einem jährlichen Arbeitsvermögen von 570 Mio kWh zu den größten Speicherkraftwerken in den Ostalpen.

Das Hauptstück der Anlage bildet der im hinteren Kaunertal auf Kote 1700 gelegene, 153 m hohe Steinschüttdamm Gepatsch, durch dessen Stau ein Speicherraum von 140 Mio m³ für die Verlagerung des Sommerabflusses in den Winter nutzbar gemacht wird. Das Volumen des Dammes beträgt 7,1 Mio m³, die Kronenlänge 600 m.

Zur Zeit der Fertigstellung wurde der Steinschüttdamm Gepatsch in der Höhe nur von wenigen Dämmen übertroffen. In Europa wird er nur vom Staudamm Göschenealp in der Schweiz erreicht, während er im Inland nahezu die 4-fache Höhe des bisher höchsten Dammes am Freibach in Kärnten aufweist.

Diese außergewöhnlichen Abmessungen und die teilweise Einführung neuer Bauweisen veranlaßten die TIWAG, der Planung von Meßeinrichtungen zum Nachweis der tatsächlichen Standsicherheit besondere Sorgfalt zu widmen.

Der Aufbau des Staudammes Gepatsch

Der Bau eines Staudammes ist vorwiegend von den lokalen Materialvorkommen abhängig. In Gepatsch boten sich als Dichtungsmaterial Hangschutt und Moränen, als Filter halbdurchlässige Bachablagerungen und für die Stützkörper aus den Felswänden steinbruchmäßig zu gewinnendes Grobmaterial an. Dies ergab günstige Voraussetzungen für die Errichtung eines Zonendammes.

Wie aus der Abb. A, Querschnitt 1, ersichtlich, wurden die Dichtungszonen 1 und 1a im Zentrum des Dammes angeordnet. Zur Vergrößerung der Dichtheit und zur Homogenisierung mußte das Grobkorn größer 80 mm aus dem

The Kauner valley power plant was constructed by the Tyrolean Hydro Power Co. (TIWAG) during the period 1961 to 1965. It belongs among the most important water power plants in the eastern Alps because of its 385 MW maximum capacity and annual energy output of 570 million kWh.

The primary feature of the Kauner valley development is the Gepatsch rockfill dam, located at an altitude of 1700 m a.s.l. The 153 m high dam creates a reservoir with a total storage capacity of 140 million m³ and permits discharge of the summer run-off during the winter. The embankment volume of the dam amounts to 7.1 million m³, and its crest is 600 m long.

The Gepatsch rockfill dam was exceeded in height by only a few dams at the time of its completion. In Europe, its height is equalled by the Göschenealp dam in Switzerland and in Austria, it is almost four times as high as the Freibach dam in Carinthia, which was the highest existing Austrian dam.

These unusual dimensions and the introduction of some new construction methods, caused TIWAG to exercise special care in planning the measuring equipment installation for the dam's stability analysis.

Design of the Gepatsch Rockfill Dam

The construction of an embankment dam depends primarily on the local availability of fill materials. In the Gepatsch area, talus material and boulder clay were available for the impervious fill, medium permeability river deposits for the transition fill, and quarried material for the dam facing. This geological situation provided favorable conditions for construction of a zoned dam.

As can be seen from cross-section A, figure 1, the impervious zones 1a and 1 are located in the center of the dam. The coarse aggregates, larger than 80 mm were screened

Hangmaterial abgesiebt werden. Eine Trocknungsanlage erlaubte es, den Wassergehalt des teilweise zu feuchten Materials auf den für den Einbau günstigsten zu senken. Durch Zumischung von 10 kg Bentonit je t Material konnte für die Zone 1a noch eine weitere Verringerung der Durchlässigkeit von 5×10^{-9} m/s in Zone 1 auf 5×10^{-10} m/s bewirkt werden.

out of the talus material to improve impermeability and for homogenizing effects. A drying plant reduced the water content of the material, which was often too moist, to the optimum value for placement. The admixture of 10 kg of bentonite per ton of fill material, made further reduction of permeability possible, from 5×10^{-9} m/s for zone 1 to 5×10^{-10} m/s for zone 1a.

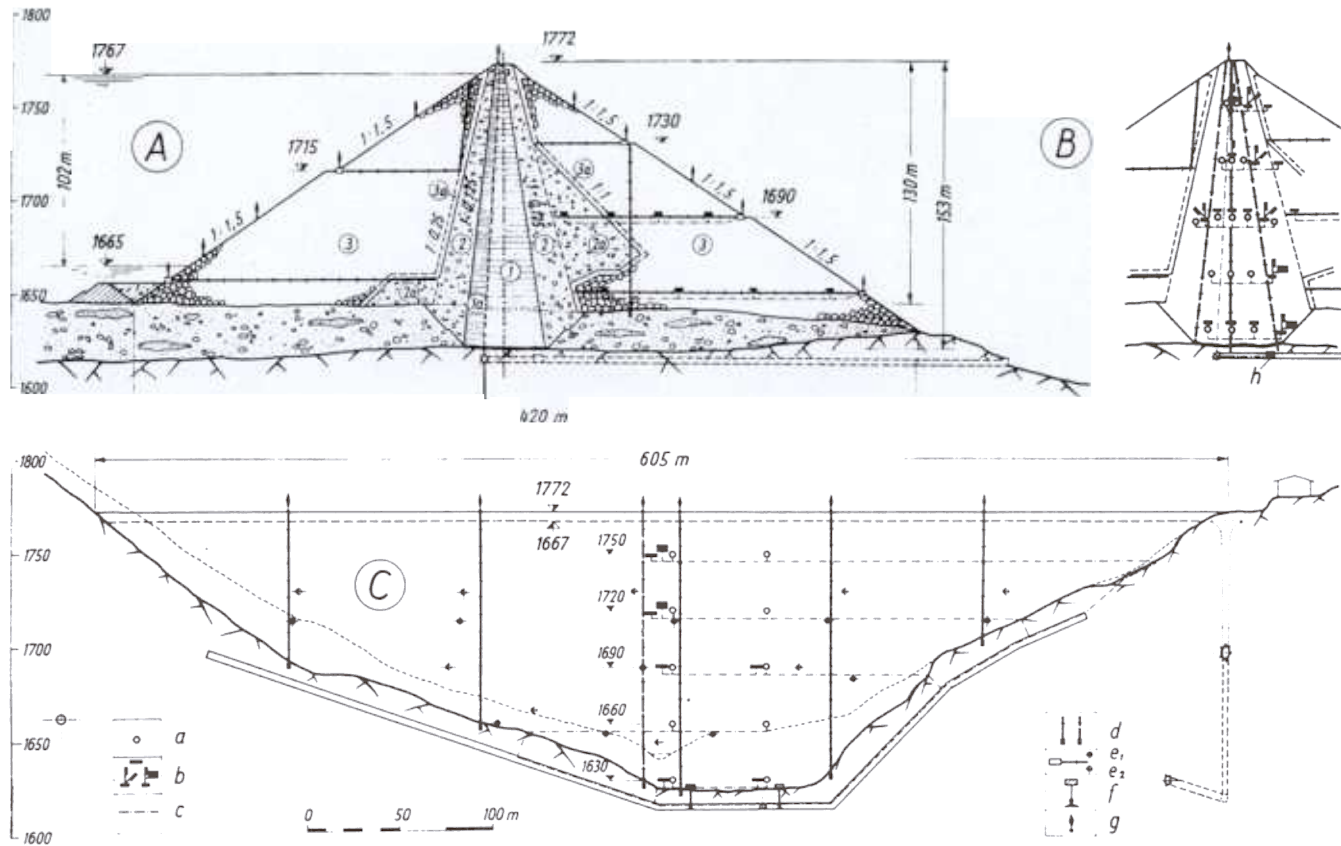


Abb. 1 aus [2] *)

- A Damm-Hauptschnitt mit Meßeinrichtungen für Zone (3)
- B Meßeinrichtungen für Zonen (1) und (2)
- C Talquerschnitt in Dammschse

Dammzonen

- (1) Dichtungskern (Hangschutt und Moräne)
- (1a) Dichtungskern (wie bei (1) jedoch mit 1 % Bentonit)
- (2) Übergangszone (Bachablagerungen)
- (2a) Erweiterung der Übergangszone
- (3) Stützkörperzone (Steinbruchmaterial und Überkorn)
- (3a) Stützkörper-Übergangszone (Mischung aus Steinbruchmaterial und Bachablagerungen)

Meßeinrichtungen

- a) Porenwasserdruckgeber — System Glötzl
- b) Erddruckgeber in verschiedenen Lagen — System Glötzl
- c) Meßleitungen
- d) Aufrecht stehender Pegel zur Messung der Setzungen und Horizontalverschiebungen
- e) Liegender Pegel zur Messung der Setzungen und Horizontalverschiebungen mit Meßkammer
 - e1) wasserseitiger,
 - e2) luftseitiger Pegel
- f) Pegel zur Messung der Felszusammendrückung
- g) Fixpunkt zur Messung der Oberflächenverformungen
- h) Zentrale Meßkammer mit Pumpe für Druckmessungen nach System Glötzl

Fig. 1 see [2] *)

- A Main section of the dam with measuring equipment for zone 3
- B Measuring equipment for zones (1) and (2)
- C Valley profile along dam axis

Dam Zones

- (1) Impervious core (talus material and boulder clay)
- (1a) Impervious core as per (1) but with 1 % bentonite
- (2) Transition zones (river deposits)
- (2a) Extension of the transition zones
- (3) Shell zones (quarry run and oversize)
- (3a) Shell zone transitions (mixture of quarry-run and river deposits)

Measuring Equipment

- a) Pore water pressure cell of the Gloetzi type
- b) Soil pressure cell of the Gloetzi type (placed horizontally and in 3 directions)
- c) Instrument tubing
- d) Upright tube for measuring settlements and horizontal displacements
- e) Horizontal tube for measuring settlements and horizontal displacements and measuring chamber
 - e1) Measuring tube on the upstream side
 - e2) Measuring tube on the downstream side
- f) Fixed point for measuring rock surface settlements
- g) Fixed point for geodetic measurements of settlements and horizontal displacements
- h) Central measuring station with pump and pressure gauges required for the Gloetzi system

Die Kernzonen sind an der Luft- und Wasserseite etwa symmetrisch zur Dammschse durch breite Übergangszonen (2) vor innerer Erosion geschützt. Für diese wurden ohne

The core zones are protected against internal erosion by broad transition zones (2) arranged symmetrically about the dam axis on the downstream and upstream sides. The

besondere Maßnahmen die gemischtkörnig aufgebauten Bachablagerungen im Stauraum verwendet. Luftseitig erwies es sich als vorteilhaft, eine Knappheit an Stützkörpermaterial durch Verbreiterung der Übergangszone (2) um die Zone (2a) zu beheben.

In die Stützkörperzonen (3) kamen harter Augengneisbruch und Überkorn von der Kernmaterialsortierung zum Einbau, während den Übergang zu den Filterzonen — Zonen 3a — eine mit Schubraupen am Damm ausgeführte Mischung von Steinbruchmaterial und Kies herstellen.

Die Korngrößenverteilungen der 3 Dammbaustoffe sind in Abb. 2 dargestellt. Nähere Einzelheiten können Lit. [1] u. [2] *) über den Entwurf und die Bauausführung des Staudammes entnommen werden.

mixed grain size river deposits within the stockpile area were used without special treatment for these transition zones. It proved advantageous to make up for a shortage in face zone material by enlarging the transition zone (2) by the zone (2a) on the downstream side.

Hard augengneiss quarry-run and oversize rocks from the screening process for the core material, were placed in the face zones. A mixture of quarry run and gravel was placed with the aid of caterpillars as connections (zones 3a) between the transition zones and the face zones.

The grain size distributions of the materials for the 3 dam zones are plotted in figure 2. The associated details appear in the literature (1) and (2) covering the design and construction of the dam.

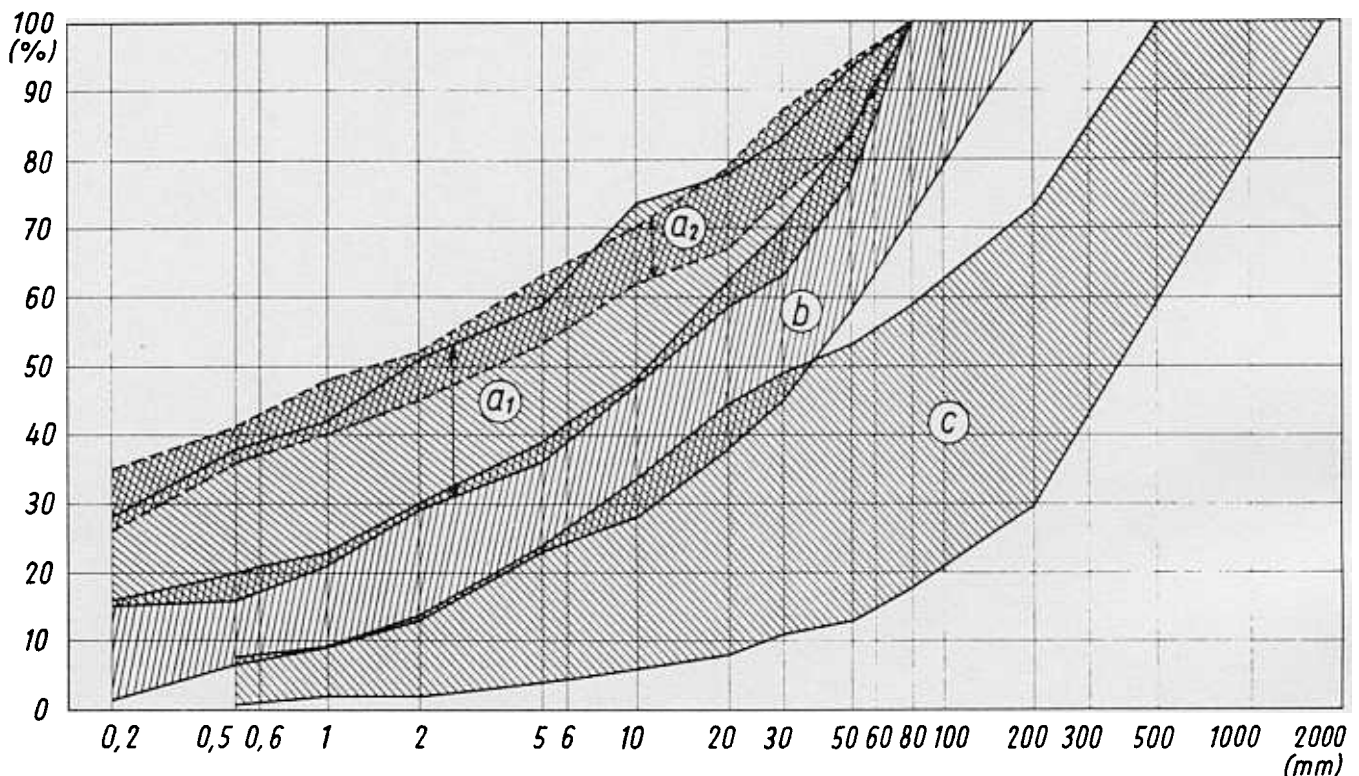


Abb. 2 aus [2]

Kornverteilungskurven der Dammbaustoffe

- a1) Hangschutt und umgelagerte Moräne für die Kernzonen (1) und (1a)
- a2) Moräne für die Kernzonen (1) und (1a)
- b) Bachablagerungen für die Übergangszonen (2) und (2a)
- c) Steinbruchmaterial für die Stützkörperzonen (3) und (3a)

Fig. 2 see [2]

Grain gradation ranges for dam fill materials

- a1) Talus material and redeposited boulder clay for core zones (1) and (1a)
- a2) Boulder clay for core zones (1) and (1a)
- b) Gravel for transition zones (2) and (2a)
- c) Quarry run material for shell zones (3) and (3a)

Meßaufgaben im Dammbau

Wie im Beton-Talsperrenbau, so setzten auch im Dammbau in den letzten Jahrzehnten umfangreiche Bestrebungen ein, das Verhalten der Bauwerke während der Errichtung und nach Fertigstellung kennenzulernen und damit zu kontrollieren. Neben den Verformungen an der Oberfläche und im Innern des Dammes werden auch die Spannungen innerhalb der Schüttungen gemessen.

In dieser Schrift sollen nur die Spannungsmessungen behandelt werden, die beim Staudamm Gepatsch sowohl die der

Porenwasserdrücke als auch die der Erddrücke umfassen.

Measuring Problems in Dam Embankment Construction

Extensive efforts have been made in the design of concrete dams as well as that of embankment dams during past decades to determine the behavior of the structure during construction as well as after completion and to check the design on this basis. In addition to the surface and internal deformations of the dam, the pressures inside the fills are also measured.

In this paper, only the measurements of pressure are dealt with; these comprise pore water pressures and soil pressures at the Gepatsch dam.

*) Schrifttum siehe am Schluß

*) See the bibliography at the end

Porenwasserdrücke sind als Wasserdrücke allseitig gerichtet und treten im Dammbau bei der Verdichtung feinteilreicher Böden auf. Sie werden in % des Erdgewichtes über dem betrachteten Horizont gewertet. Ein Porenwasserdruck von 100 % bedeutet, daß die Spannung des Porenwassers dem Überlagerungsgewicht entspricht und somit die gesamte Erdlast unter Ausschaltung des Korngerüsts vom inkompressiblen Wasser übertragen wird. Da Wasser keine Reibungsfestigkeit besitzt, ist ein derartiger Boden zur Aufnahme von Schubkräften nicht geeignet. Diese Tatsache findet im Stabilitätsnachweis einen nachhaltigen Niederschlag.

Erst in einem mehr oder weniger lang dauernden Vorgang — der Konsolidation — entspannt sich das Porenwasser und gibt den Druck wieder teilweise an das Korngerüst ab. Es ist Aufgabe der Messungen, diesen Vorgang festzuhalten und Werte für die Rechnung zu liefern.

Eine weitere Anwendung findet die Porenwasserdruckmessung in wassergesättigten, durchströmten Schüttungen, z. B. zur Feststellung der Druckverhältnisse in einem wasserseitigen, halbdurchlässigen Stützkörper bei rascher Speicherabsenkung.

Während Messungen der Porenwasserdrücke bereits allgemein durchgeführt werden, findet die Erddruckmessung nur eine zögernde Aufnahme in der Praxis. Dies liegt vor allem daran, daß bisher geeignete Meßgeräte fehlten. Die Messung der Erddrücke scheint jedoch von nicht geringerer Bedeutung als die der Porenwasserdrücke. Wie Trollope [3] gezeigt hat, können im Zusammenwirken verschiedener Dammmzonen Umlagerungen im Spannungszustand auftreten, die einen wesentlichen Einfluß auf die Standsicherheit ausüben. Bei Zonendämmen dürfte es nur selten möglich sein, die zur Spannungsumlagerung führenden Setzungsdifferenzen zu vermeiden.

Wesentlich erscheint es auch, durch Spannungsmessungen am Prototyp die Zuverlässigkeit von Modellversuchen, wie sie in Lit. [4] u. [5] beschrieben werden, zu überprüfen.

Da die Erdspannungen richtungsabhängig sind, muß bei Unkenntnis der Hauptspannungsrichtungen die Messung in jeder Ebene in 3 Richtungen erfolgen.

Es soll noch erwähnt werden, daß in einer Aussendung des Komitees für Erd- u. Steinschüttdämme der „American Society of Civil Engineers“ die Bedeutung von Erddruckmessungen besonders hervorgehoben und die Entwicklung entsprechender Meßeinrichtungen gefordert wird.

Ventilgeber u. Meßeinrichtungen der Fa. Glötlz beim Staudamm Gepatsch

Vor die Wahl gestellt, muß man sich zwischen Systemen mit elektrischer und hydraulischer Meßwertübertragung entscheiden. Die Geber der Fa. Glötlz arbeiten hydraulisch. Sie haben den Vorzug, daß sie einfach aufgebaut sind und dadurch in ihrer Funktion und in ihren Fehlerquellen leicht überblickt werden können.

Aus Abb. 3 sind die Ventilgeber für Porenwasser- und Erddruck mit ihren Funktionsschemas und aus Abb. 4 die Meßanzeigegruppe mit der elektrisch angetriebenen Öl-Pumpe zu entnehmen.

Das Meßprinzip ist folgendes: Von einer im oder unter dem Niveau des Gebers außerhalb des Dammes aufgestellten Pumpe wird ein konstanter Ölstrom in Umlauf gebracht. Das Öl gelangt über die in Abb. 3 bezeichnete Leitung c zum Geber, durchströmt den Ventil b und fließt durch die größere Leitung d drucklos wieder dem Auffangbehälter an

Pore water pressures in their role as water pressures are effective in any direction and are present in dam construction as a result of the compaction of fine grained cohesive materials. These pressures are calculated as a percentage of the weight of the overlying soil above the level. A pore water pressure of 100 % means that it equals the weight of the material placed above so that the whole soil load is transmitted by the incompressible water without the interference of the grain structure. Water does not offer any resistance against friction and such a soil is not able to absorb any shearing forces. This fact is plainly evident in the stability analysis.

During a process of variable duration — the consolidation — the pore water initially relaxes, shifting a part of the pressure load back to the grain structure. The measurements aim at recording this process and furnishing basic values for calculation.

The measurement of pore water pressure is also applied to fills saturated with flowing water. An example of this application is provided in determining the pressure conditions inside an upstream semipermeable shell zone during rapid drawdown.

While measurements of pore water pressure are generally accepted practice, the measurement of soil pressure is meeting rather limited acceptance. The primary reason for this is the previous lack of appropriate measuring devices. The measurement of soil pressures seems to be equally important as the measurement of pore water pressures. As Trollope (3) has shown, the combined effect of different dam zones can result in changes in stress conditions, which significantly influence stability. It might only rarely be possible to avoid settlement differential which lead to such changes in stress condition within zoned dams.

It also appears essential to check the reliability of dam model tests, as is described in references (4) and (5), by measuring pressures in the prototype.

Soil pressures are directional and the measurements must be made in three planes or three directions, if the primary directions of stress are unknown.

It should not be forgotten that a circular letter of the Committee for Earth Dams and Rockfill Dams of the American Society of Civil Engineers places special emphasis on the importance of soil pressure measurements, and asks for the development of suitable measuring equipment.

Glötlz Type Hydraulic Stress Cells and Measuring Equipment at the Gepatsch Rockfill Dam

We must decide between an electric or a hydraulic system for transmitting measured values in the choice of the respective equipment. The Gloetzl type cells are based on a hydraulic principle. They offer the advantages of extremely simple design so that their principle of operation and sources of error are easily understood.

Figure 3 shows the valve transmitter cells for pore water and soil pressure together with their schematic diagrams; figure 4 shows the measuring value indicating set with an electrically-driven oil pump.

The measuring principle is as follows: A pump located outside of the dam body, level with the cell or below it, provides a continuous circulation of oil while measurements are taken. The tube "c" shown in figure 3 conveys the oil flow to the cell, there the oil passes the valve "b", from where a tube "d" of larger diameter, returns the oil to the

der Pumpe zu. Der Druck an der Pumpe wird gemessen. Er setzt sich aus folgenden Größen zusammen:

- (1) Druck der Ölsäule zwischen Einbauort des Gebers und Aufstellungsort der Pumpe.
- (2) Fließverlust in der Zuleitung c.
- (3) Ventildruck.

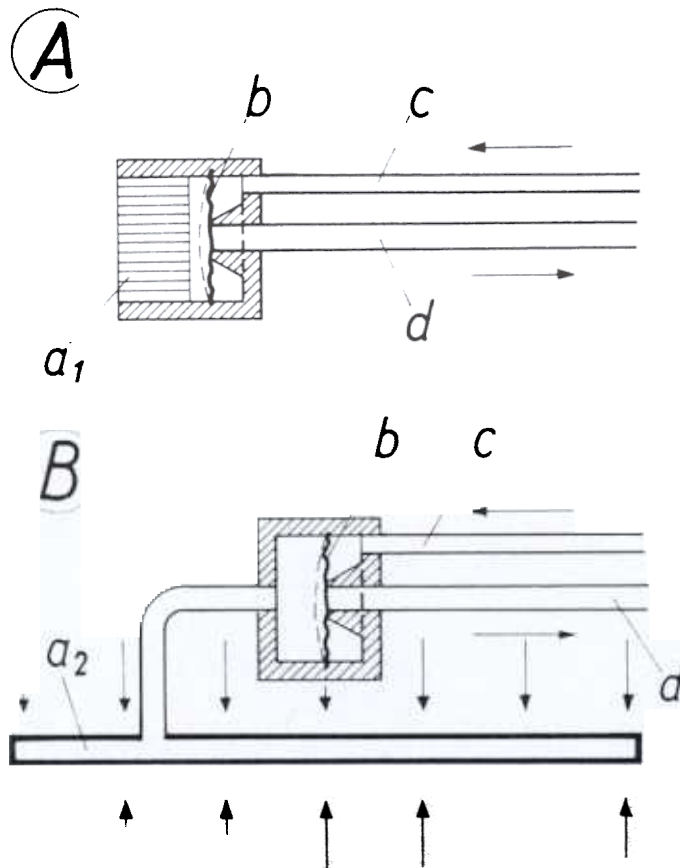


Abb. 3 aus [2]

- A) Porenwasserdruckgeber — System Glötzl
 B) Erddruckgeber — System Glötzl
 a1) Keramikfilter
 a2) Druckkissen von 200 x 300 mm Seitenlänge
 b) Ventilmembran
 c) Zuleitung $\varnothing$ a.i. 6,3,15 mm
 d) Rückleitung $\varnothing$ a.i. 10/5 mm

Die Größen 1) u. 2) sind bekannt und können beim Einbau vor dem Anschluß des Gebers als Nullwert ermittelt werden. Es bleibt somit der Ventildruck als Meßgröße übrig. Bei den Porenwasserdruckgebern — Schema (A) — entspricht der Ventildruck auch dem Druck des Porenwassers, der sich durch das ölgetränkte Filter a_1 an der Membran des Ventils b aufbaut. Der Erddruck hingegen wird, wie aus Schema (B) ersichtlich, von einem rechteckförmigen Druckkissen aufgenommen, dessen Ölfüllung den Druck auf die Membran b überträgt. Da die Ölfüllung des Druckkissens einen Überdruck aufweist, muß dieser bei der Messung als Korrekturwert berücksichtigt werden.

Von der Pumpe können 6 Geber gleichzeitig mit einem konstanten Zufluß gespeist werden. Nach Ablesung wird ohne Unterbrechung auf die nächsten 6 Geber umgeschaltet. Für jeden Meßzyklus ist eine Zeit von etwa 30 Minuten erforderlich.

pump reservoir at low pressure. The pressure at the pump is measured, and includes the following pressure components:

- 1) Pressure of the oil column between the cell and the pump
- 2) Loss of pressure in the pressure line
- 3) Compensating valve pressure losses

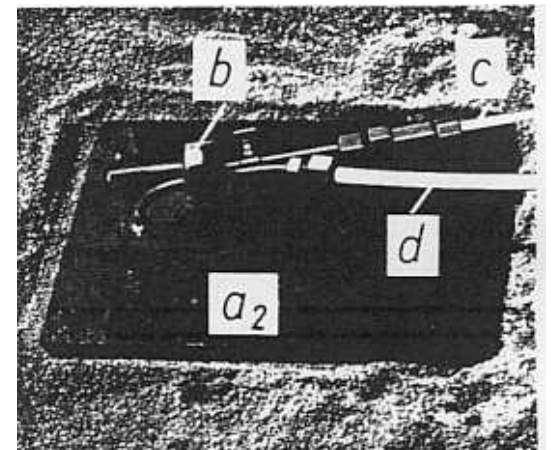
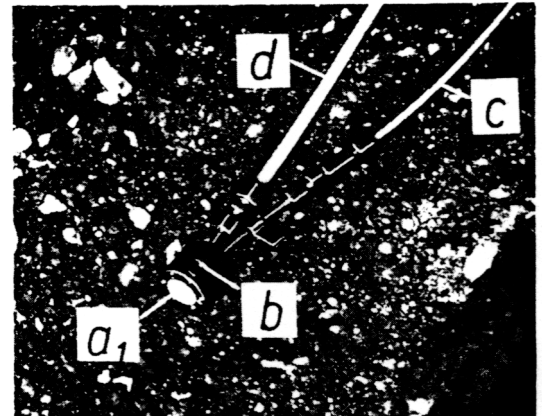


Fig. 3 see [2]

- A) Gloetzi type pore water pressure cell
 B) Gloetzi type soil pressure cell
 a1) Ceramic filter
 a2) Pressure pad 200 mm in width and 300 mm in length
 b) Valve diaphragm
 c) Pressure line. 3.15 mm inside diameter and external diameter of 6 mm
 d) Backflow line with internal diameter of 5 mm and external diameter of 10 mm

The value of items 1) and 2) are known because they are determined as the null values during installation. Therefore, only the compensating valve pressure remains as the unknown to be measured later.

In the pore water pressure cells, as in diagram (A), the compensating valve pressure corresponds to the pore water pressure acting on diaphragm "b", as can be seen from diagram (B). The oil in the pressure pad has an initial overpressure which must be taken into account as a correction value for later measurement (in the null value).

The pump can simultaneously furnish a constant flow of oil to 6 cells. After reading the respective measuring values, switching over to another group of 6 cells is accomplished without interruption. Each measuring cycle requires about 30 minutes.

Die Rückleitungen d sind so dimensioniert, daß sie den Durchfluß von 6 Gebern ohne Rückstau abführen können. Es ist daher möglich, beliebig viele Geber an einer Rückleitung anzuschließen.

Als Leitungsmaterial hat sich Superpolyamid 11 vorzüglich bewährt. Es weist neben einer großen Kriechfestigkeit auch eine hohe Bruchdehnung auf und kann somit in Schüttungen mit großer Verformbarkeit und hohen inneren Spannungen verwendet werden. Die einzelnen Stränge von 100 m Länge werden durch Ermeto-Verschraubungen zuverlässig gekuppelt.

Die Anordnung der Glötzl-Meßeinrichtungen beim Staudamm Gepatsch ist aus Abb. 1 zu entnehmen. Es wurden insgesamt 32 Porenwasserdruck- und 53 Erddruckgeber in 5 Horizonten und 2 Querschnitten eingebaut.

Während die Porenwasserdrücke nur in den Innenzonen 1, 1a und 2 gemessen werden, dehnen sich die Erddruckmessungen auch auf den luftseitigen Stützkörper aus. Im Kern und Stützkörper werden vorwiegend die vertikalen Erddrücke in der Zone 2 an der luftseitigen und wasserseitigen Kerngrenze zum Teil auch 3 Spannungsrichtungen im Querschnitt gemessen. Die Druckkissen sind in Abb. 1 in ihrer tatsächlichen Einbaulage markiert.

Die Meßleitungen der Geber verlaufen in den Innenzonen in Längsrichtung des Dammes bis zum Fels, durchdringen diesen in einem Bohrloch und verlaufen weiter im Stoller bis zur tiefliegenden gemeinsamen Meßkammer. Die der Erddruckgeber im luftseitigen Stützkörper werden hingegen auf kürzestem Wege in die Meßkammern der „liegenden Pegel“ an der Dammböschung geführt. Dort erfolgt auch die Messung der insgesamt 10 Geber mit einer transportablen Handpumpe (siehe Abb. 5).

The return lines "d" are dimensioned so that they can pass the return flow of 6 cells without developing back-pressure. It is therefore possible to connect an optional number of cells to a common return line. Superpolyamid 11 has proven an excellent tubing material. It combines a high ductile yield strength with high creep resistance so that it can be satisfactorily used for fills of high deformability and high internal stresses. The individual tube sections, each 100 m in length, are securely connected with Ermeto screw couplings. The lay-out of the Gloetzl type measuring equipment in the Gepatsch dam is shown in figure 1. A total of 32 pore water pressure cells and 53 soil pressure cells were installed at 5 levels and in 2 measurement cross-sections. Pore water pressures are measured in the internal dam zones 1, 1a and 2, and the measurement of soil pressures also extends to the downstream shell zone. Vertical soil pressures are measured in the core zones and in the shell zones, while in zone 2, at the downstream and upstream boundary of the core, the pressures are measured in 3 axes in a single measuring plane. The pressure pads are indicated in their actual installed position in figure 1.

The instrumentation tubes for the cells are located within the internal zones of the dam to the rock foundation, where they pass through a borehole. From there, they follow the grouting gallery as far as the lowest measuring chamber. The instrumentation tubes for the soil pressure cells in the downstream shell zone take the shortest route to the measuring chambers used for the horizontal deformation tubes on this dam face. The reading of these 10 cells, is carried out by a portable handoperated pump there. (See figure 5.)

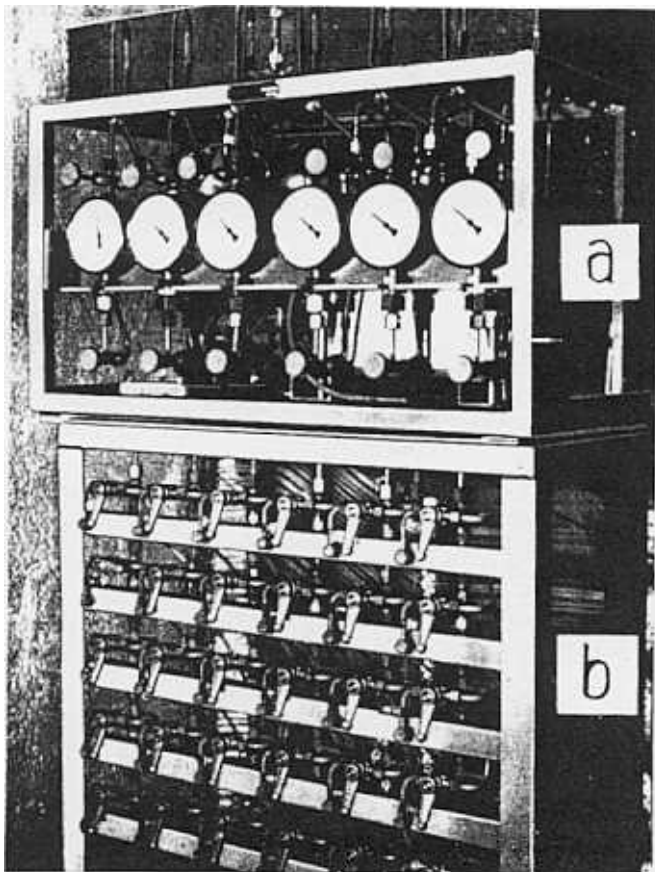


Abb. 4
Meßan-
a) Pum-
pegruppe der F
mit Manomete
b) Schi-
chränk

Abb. 5
Handp-
mit Schaltschrank für 4 Gebe

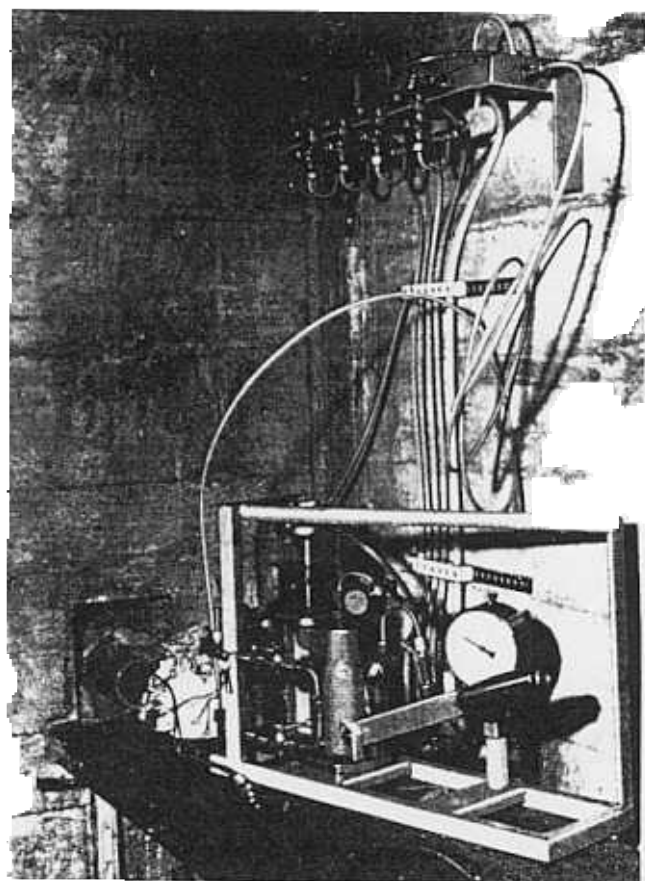


Fig. 4
Gloetzl type
a) Pump wit
b) Switch ca

Fig. 5
Hand operat

Einzelheiten vom Einbau

Der Einbau eines Meßhorizontes erforderte umfangreiche Vorbereitungen. Diese umfaßten die Planung der Leitungsführung, das Ablängen, Kuppeln, Markieren, Auftrommeln und Füllen der Leitungen, das Montieren der Leitungen im Stollen (Abb. 6) und in den Bohrungen sowie die Herstellung einer verlässlichen Telefonverbindung von Meßkammer und Einbauhorizont. Meist standen nur wenige Tage der Arbeitsruhe zur Verfügung, und ein Ausweichen auf andere Termine war kaum möglich.

Unmittelbar nach Freigabe der Einbaufläche wurden die Leitungsgräben von 60 cm Breite und rd. 80 cm Tiefe gebaggert. Ein gummibereifter, beweglicher Schaufellader verteilte die verschiedenen Materialien auf die Einbauorte. Mit der Grabenbaggerung fortschreitend, wurde in die Sohle der Gräben zunächst Material 0—30 mm in rd. 10 cm Stärke eingebracht und durch Wacker-Stampfer verdichtet. Auf diese Unterlage kam Ziegeleilehm in knetbarer Konsistenz. Darauf folgte das Einlegen der Leitungen und stellenweise Fixieren mit Lehm (siehe Abb. 7). Sorgfältig mußten die Leitungen vom Mörtelbett am Fels in die Gräben übergeführt werden. Abb. 8 zeigt eine derartige Ausführung mit einer Schlaufe, die nachträglich ganz in Lehm eingepackt wurde. Bei den Abzweigungen war darauf zu achten, daß zwischen kreuzenden Leitungen zur Vermeidung gegenseitigen Abquetschens genügend Lehmzwischenlage bestand. Aus Abb. 9 ist die in einen Stichgraben auslaufende Zuleitung und die stärkere Rückleitung mit der Anschlußkupplung zu entnehmen.

Installation Details

The installation of a measurement level required extensive preparations, including the planning of the tubing system lay-out, cutting the tubing, their connection, marking, coiling, filling, gallery installation (figure 6) and introduction in the boreholes as well as the establishment of a reliable telephone contact between the measuring chamber and the respective measuring level. As a rule, only a few days of down-time were available for such work during the construction period. It was not practical to shift the installation work to other days.

Tubing ditches 60 cm wide and 80 cm deep were excavated immediately after an installation area had been released. A shovel loader on rubber tired wheels distributed the various materials at the installation points. Material of 0—30 mm grain size was placed in approx. 10 cm layers on the bottom of the ditches and compressed by Wacker compactors and this work kept pace with the excavation of the ditches. A layer of plastic brick clay was placed upon this bed.

The tubes were then laid and held with clay, here and there (see figure 7). The passages of the tubes from the mortar bed in the rock foundation to the ditches had to be carefully made. Figure 8 shows such a passage, with a tubing loop, which was later completely packed in clay. An adequate intermediate layer of clay, between tubes crossing each other, had to be provided for at the tubing intersection points in order to avoid reciprocal pinching. The pressure lines end in a side ditch and the larger diameter return line is fitted with a coupling, as can be seen from Figure 9.



Abb. 6
Meßleitungen im Stollen

Fig. 6
Instrument tubes in the grouting gallery

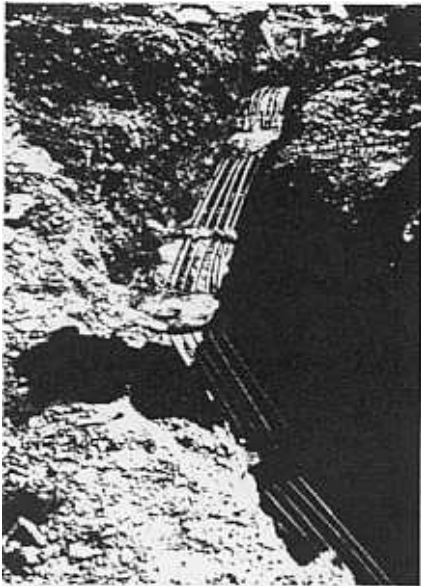


Abb. 7
Leitungsführung im Graben auf der Dammschüttung, Fixieren der Leitungsstränge durch Lehm

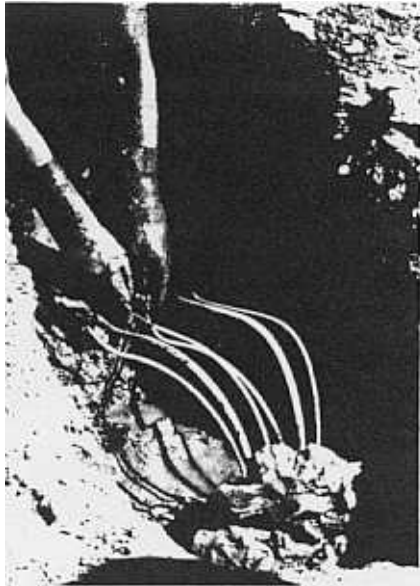


Abb. 8
Ausführung der Leitungen vom Fels in die Schüttung mit Überlängen



Abb. 9
Leistungsabzweig am Damm, Anschluß der Rückleitung durch eine Ermeto-Kupplung

Fig. 7
Arrangement of the transmission tube line in a ditch in the dam fill. Fixing the tubing line sections by clay packing

Fig. 8
Passage of the transmission tube lines from the rock foundation into the dam fill with loops

Fig. 9
Branching point of the transmission tube line on the dam. Connection of the return line with the aid of an Ermeto coupling

Vor Anschluß jedes Gebers erfolgt die Nullesung der Druckverluste beim Durchfluß der Leitungen allein.

Die Art des Einbaues der Geber mußte auf das Material der jeweiligen Dammzone abgestimmt werden. Abb. 10 zeigt den Aufbau der Schüttkörper im Bereich der Einbauorte. Es ist daraus zu entnehmen, daß im feinkörnigen und außerordentlich flexiblen Kernmaterial — Schnitt A — zum Schutze der Geber gegen Beschädigung bei der mit 40 t schweren Gummiradwalzen durchgeführten Verdichtung bis 200 cm tiefe Gruben ausgehoben werden mußten. Im steiferen Kies der Übergangszonen — Schnitt B — genügten Gruben von 50 cm Tiefe und die nachfolgende Überdeckung von 2 Schüttlagen von je 50 cm Stärke, um den Schutz bei der Verdichtung durch den Schwerlastverkehr von 60 t Fahrzeuggewicht zu gewährleisten. Im Stützkörper — Schnitt C — kamen pyramidenstumpfförmige Schüttungen von 200 cm Höhe von 100 m² Oberfläche zur Ausführung, in deren Mitte die Einbaustelle lag. Die Verdichtung mit 8 t schweren Rüttelwalzen erfolgte erst nach Aufbringen einer weiteren Schüttlage von 200 cm Stärke.

Bei der Einbaulage der rechteckförmigen Erddruckgeber war zu beachten, daß die Schmalseite immer in Richtung der vermutlich größten Spannungsänderung zu liegen kam.

Als weitere Schutzmaßnahme und zur Ausschaltung von Brückenbildungen mußte vom Geber zum jeweiligen Schüttmaterial ein filterartiger Übergang hergestellt werden. Wie aus Abb. 10 ersichtlich, wurde bei den Erddruckgebern das jeweilige Übergangsmaterial linsenartig über die abzudeckende Fläche ausgebreitet. In den Zonen 1 u. 2 waren 2 im Stützkörper 4 Materialabstufungen zur Herstellung des Überganges erforderlich.

The null reading of the tubing oil-flow pressure losses within the tubes was made prior to the connection of each cell.

The installation and embedment method used for these cells, was to match the material qualities of the respective dam zone. Figure 10 shows the structure of the fill-lenses at the zone of installation. From this figure, it can be seen that pits up to 200 cm in depth had to be excavated in the fine grained and very flexible core material — cross-sections A — to protect the cells against damage because of the compaction with 40-t rubber-tired rollers. Pits 50 cm deep and 2 covering layers 50 cm thick, were sufficient in the more rigid gravel of the transition zones — cross-section B — to provide protection against compaction caused by heavy transport traffic with 60-t vehicles. In the shell zone — cross-section C — fills 200 cm in height, 100 m² in surface and shaped like a truncated pyramid were placed, with the cells installed in the centers. Compaction with 8-t vibratory rollers was not permitted until an additional 200 cm thick layer had been placed.

The positioning of the rectangular soil pressure cells required careful attention so that their narrow side was placed in the direction of the largest assumed variation in pressure.

A filter-like transition lens between each cell and the surrounding fill was placed in order to eliminate any bridging action. The embedding transition material around the soil pressure cells was spread out in the shape of a lens over the area to be covered, as can be seen from figure 10. In order to establish a transition, two grain sizes were required in zones 1 and 2 and four grain sizes in the shell zones.

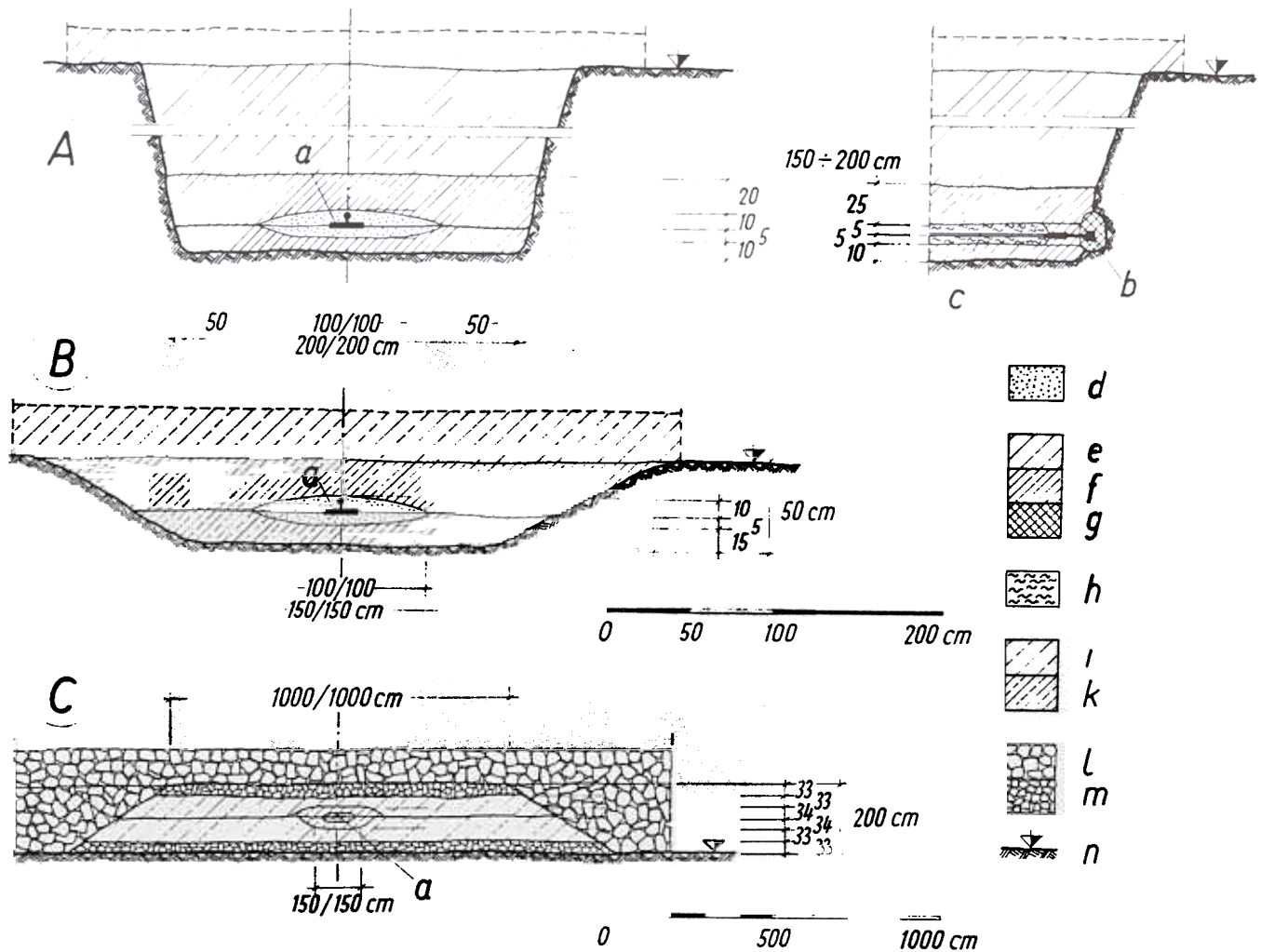


Abb. 10

- Gebereinbau
- A) Kernzonen (1) und (1a)
 - B) Übergangszonen (2) und (2a)
 - C) Stützkörperzone (3)
 - a) Erddruckgeber
 - b) Porenwasserdruckgeber
 - c) Meßleitungen
 - d) Sand 0-3 mm, im Kern mit Bentonit vergütet
 - e) Kernmaterial 0-80 mm
 - f) Kernmaterial 0-30 mm
 - g) gesättigtes Kernmaterial 0-30 mm
 - h) Lehm
 - i) Kies 0-200 mm
 - k) Kies 0-30 mm
 - l) Steinschüttung 0-1000 mm
 - m) Steinschüttung 0-300 mm
 - n) verdichtete Schüttoberfläche

Fig. 10

- Installation of the cells
- A) Core zones (1) and (1a)
 - B) Transition zones (2) and (2a)
 - C) Shell zones (3)
 - a) Soil pressure cell
 - b) Pore water pressure cell
 - c) Transmission tube lines
 - d) Sand of 0-3 mm grain size (refined by an admixture of bentonite in the core zone)
 - e) Core material 0-80 mm grain size
 - f) core material 0-30 mm grain size
 - g) Saturated core material 0-30 mm grain size
 - h) clay
 - i) gravel 0-200 mm grain size
 - k) gravel 0-30 mm grain size
 - l) rockfill 0-1000 mm large
 - m) rockfill 0-300 mm large
 - n) compacted placement surface

Die relativ unempfindlichen Porenwasserdruckgeber wurden möglichst nahe an die Stirnböschung der Stichgräben herangeführt und vor der Überschüttung mit einem wasser-gesättigten Kernmaterial umgeben. Dadurch konnte ein sicheres Ansprechen der Geber bei den Funktionskontrollen unmittelbar nach dem Einbau erreicht werden.

Auch bei den Erddruckgebern erfolgten nach dem Einbau laufende Funktionskontrollen.

Zur Verdichtung der einzelnen Lagen beim Gebereinbau kamen die schon erwähnten schnell schlagenden Wacker-Stampfer verschiedener Größe zum Einsatz.

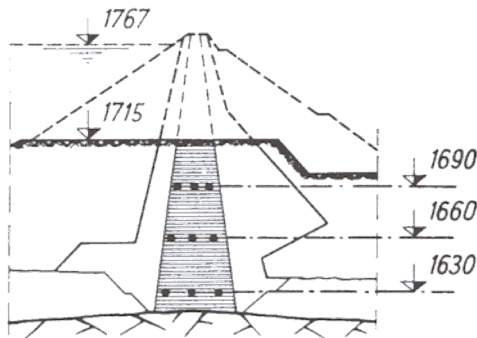
The less critical pore water pressure cells were located as close to the ditch slope face as possible and embedded in water-saturated core material before being covered during the next fill-placing procedure. A reliable response of these cells could be achieved in this way during functional checks made immediately after installation.

The operation of the soil pressure cells were also checked periodically after placement of an overlying layer of fill.

Fast-acting Wacker compactors of different sizes were employed for the compaction of the individual layers during the installation of the cells.

Besonders sorgfältig mußten die unter 45° geneigten und vertikal stehenden Erddruckgeber eingebaut werden. Grundsätzlich wurde der gleiche Schichtaufbau beibehalten. Er wurde bei den Vertikalgebern durch Ziehbleche gesichert. Kontrollen durch nachträgliche Freilegung ergaben nur geringfügige Abweichungen der Einbaulagen.

Special attention had to be given to the installation of those soil pressure cells which are inclined 45° or vertical. The same basic layer-structure was maintained. This structure was secured by removable separating sheets in the case of the vertical cells. The removal of some temporarily installed cells for checking purposes resulted in only minor variations from the original positions.



Porenwasserdruckgeber
(pore water pressure cells)
System Glötzl
6 Geber je Horizont
(6 cells per elevation)

p Porenwasserdruck
(pore water pressure)

G_v Vertikaler Erddruck - gerechnet
(vertical soil pressure - calculated)

$\frac{p}{G_v}$ Porenwasserdruckbeiwert
(pore water factor)

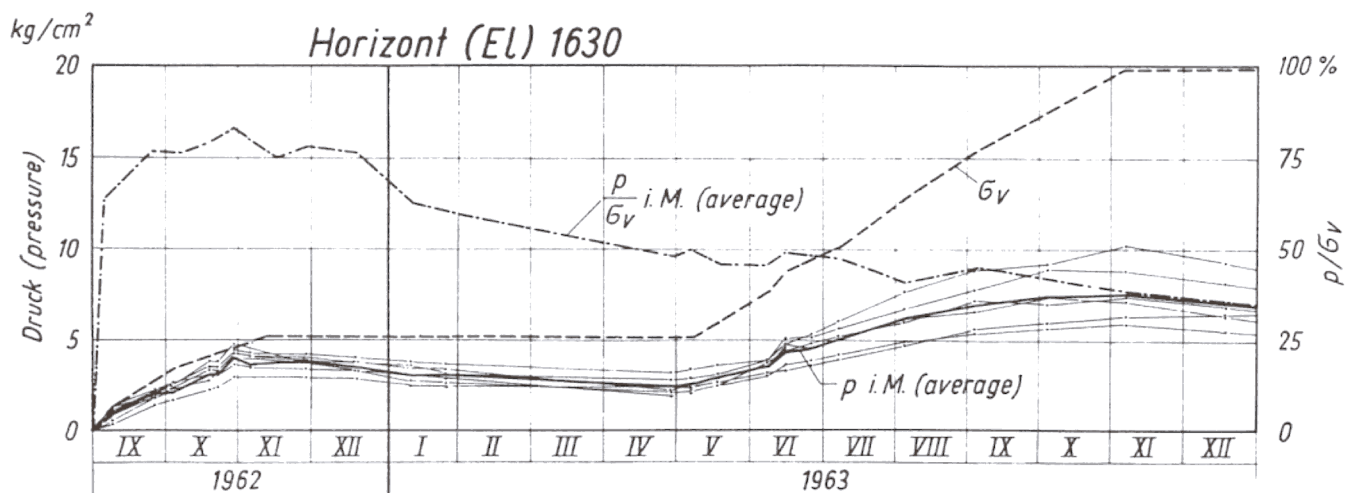
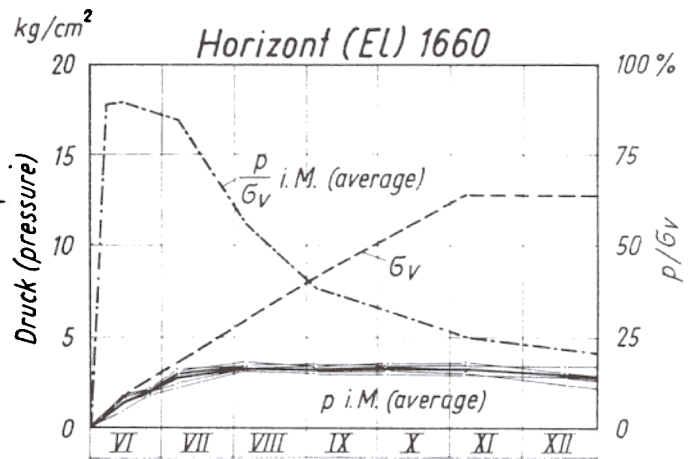
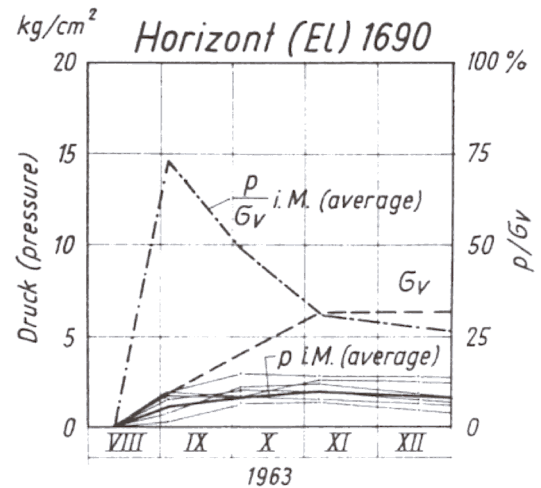


Abb. 11
Verlauf der Porenwasserdrücke vom Gebereinbau bis Jänner 1964

Fig. 11
Progress of the pore water pressures from installation of the cells to January 1964

Einige Meßergebnisse

Aus Abb. 11 sind die Meßergebnisse der Porenwasserdruckspannungen vom Einbau des jeweiligen Meßhorizontes bis Jänner 1964 zu entnehmen. Es sind sowohl die absoluten Drücke (linke Skala) als auch der Porenwasserdruckbeiwert als Verhältnis des mittleren Druckes zum Überlagerungsgewicht (rechte Skala) eingetragen. Nach den erhaltenen Ergebnissen verhielt sich der Druck des Porenwassers unmittelbar nach dem Einbau in allen 3 Horizonten etwa

Some Measuring Results

Figure 11 shows the measured pore water pressures for the period between the time of installation at the respective measuring level and January 1964. The absolute pressures (left-hand scale) as well as the pore water pressure factor, the quotient of the mean value of pressure and the weight of the overlying soil (righthand scale) are indicated. According to the measured results, pore water pressures behaved in approximately the same manner on all three

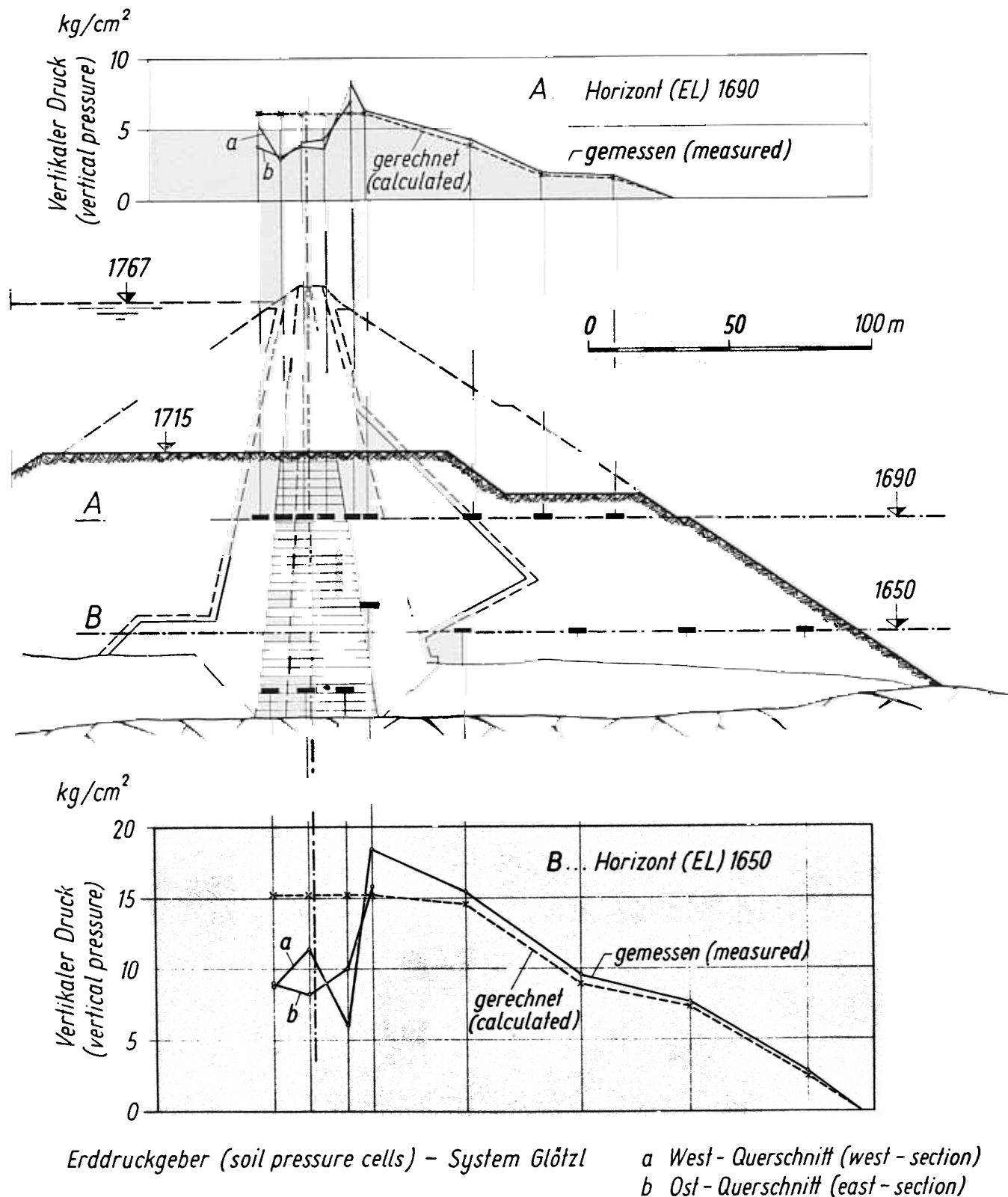


Abb. 12 aus [2]
Verteilung der vertikalen Erddrücke — Bauzustand Jänner 1964

Fig. 12 see [2]
Distribution of the vertical soil pressures in the construction stage of January 1964

gleichartig und stieg unter der Wirkung der schweren Verdichtungsgeräte teilweise bis 100 % des Gewichtes der Überlagerung an.

Im weiteren Verlauf unterscheiden sich die Horizonte jedoch merklich. Während der Porenwasserdruckbeiwert im Horizont 1630 selbst nach 3 Monaten erst langsam abklingt, zeigen die höheren Horizonte 1660 und 1690 schon nach einem Monat ein kräftiges Absinken an. Der Grund liegt in der erst mit Beginn der Schüttperiode 1963 vorgenommenen Trocknung des Materials, die es ermöglichte, den Einbauwassergehalt um etwa 3 % zu reduzieren und gleichmäßiger zu halten. In der Trocknung wird auch die Ursache vermutet, daß die absoluten Drücke in den oberen Horizonten nach etwa 2 Monaten Höchstwerte erreichen, die sich trotz weiterer Schüttung nicht mehr steigern. Im Gegensatz dazu heben diese im feuchteren Horizont 1630 auch in der Schüttperiode 1963 noch kräftig an.

Mit den Messungen konnte nachgewiesen werden, daß der Porenwasserdruckbeiwert im Bauzustand rasch unter den für die Stabilitätsuntersuchungen zugrunde gelegten Wert von 50 % absinkt und dem angenommenen Endwert von 25 % zustrebt. Die Trocknung wirkte sich beim Abbau des Porenwasserdruckes günstig aus.

Abb. 12 zeigt die gemessenen vertikalen Erdspannungen im Vergleich zu den gerechneten für den Bauzustand Jänner 1964. In beiden Meßhorizonten trat eine Spannungsumlagerung im Sinne einer Entlastung der Kernzonen und Belastung der angrenzenden Übergangszonen auf. Diese Umlagerung ist auf die relativ größeren Setzungen in den Kernzonen zurückzuführen. Die vertikalen Spannungen im luftseitigen Stützkörper entsprechen hingegen etwa den gerechneten.

Im Horizont 1690 wurden in 2 Schnittebenen des Dammes wasser- und luftseitig des Kernes je 3 Spannungsrichtungen gemessen. Abb. 13 gibt das Ergebnis der wasserseitigen Meßstelle im Ostquerschnitt ebenfalls für den Bauzustand Jänner 1964 wieder. Mit bemerkenswerter Genauigkeit konnte an dieser Stelle die Lage der Erdspannungsellipse

levels immediately after installation. Then, they increased somewhat under the influence of the heavy compacting equipment, to a value of 100 % of the weight of the overlying soil, however, the measurement levels differed noticeably in their later behavior. The higher elevations 1660 and 1690 showed a strong decrease after 1 month while the pore water pressure factor at elevation 1630 decreased slowly after 3 months. This is due to the material drying process, which was not used until the beginning of the 1963 placing period. It reduced the placement water content by approx. 3 % and maintained more uniformity. The absolute pressure on the upper levels reached maximum values after a period of approx. two months and no further increase in pressures occurred in spite of additional placements because of the drying process. In contrast to this, the moister 1630 elevation also showed a strong increase of pressure during the 1963 placing period.

It could be proven that the pore water pressure factor decreased rapidly below the value of 50 % on the basis of these measurements. This was the basis for the stability analysis during the construction period and approaches the assumed final value of 25 %. The drying process aided the decrease of the pore water pressure.

Figure 12 shows the measured values of the vertical soil pressures, which are compared with the calculated values for the construction stage of January 1964. A shift in pressure, in the sense of a relief of the core zones and a loading of the adjacent transition zones was present on both measurement levels. This shift is attributed to the more pronounced settlements in the core zones. On the other hand, the vertical pressures in the downstream shell zone correlated approximately with the calculated pressures.

Measurements of pressure in three directions were carried out in two dam cross-sections on the downstream side of the core at elevation 1690 as well as on its upstream side. Figure 13 shows the results for the upstream measurement point in the eastern cross-section for the identical stage of

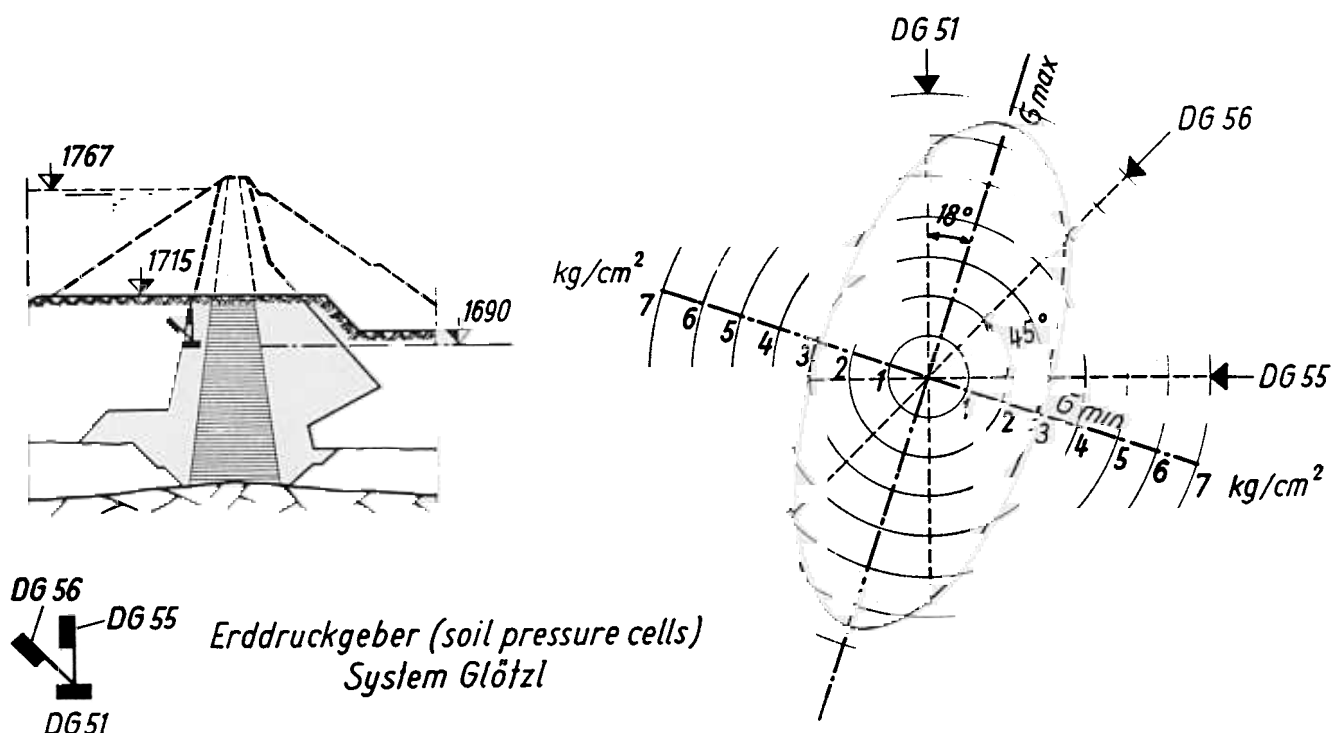


Abb. 13
Erddruckellipse in der Querschnittsebene des Dammes —
Bauzustand Jänner 1964

Fig. 13
Ellipse of soil pressure in a dam cross-section during the construction stage of January 1964

und damit die Richtungen der Hauptspannungen nachgewiesen werden. Es ergab sich infolge der Spannungsumlagerung eine zum Kern geneigte Richtung der max. Hauptspannung.

Zu den Aufgaben der Erdspannungsmessung gehört auch der Nachweis des Kern-Seitendruckes, der in einigen Stabilitätsnachweisen für den Staudamm auch als ideelle Belastung der Stützkörper mit einem Ruhedruckbeiwert von 0,6 für den Bauzustand und mit 0,5 für den Endzustand angenommen wurde. Die Messungen ergaben durchweg Werte unter 0,6; bei der Meßstelle in Abb. 13 betrug z. B. das Verhältnis der horizontalen zur vertikalen Erdspannung im Jänner 1964 0,54, während das Mittel über alle Meßstellen unter 0,5 lag. Es konnte somit nachgewiesen werden, daß sich der Kern-Seitendruck günstiger als die Rechenannahme verhält.

Zusammenfassung

Der in den Jahren 1961 bis 65 von der Tiroler Wasserkraftwerke AG im Westen Österreichs errichtete Staudamm Gepatsch stellt mit 153 m Höhe und 7,1 Mio m³ Inhalt ein bedeutendes und für österreichische Verhältnisse außergewöhnliches Bauwerk dar. Zum Nachweis seiner Standsicherheit wurden umfangreiche Messungen der Verformungen und Spannungen unternommen. Im vorliegenden Bericht werden nur die Spannungsmessungen beschrieben.

Beim Staudamm Gepatsch kamen 32 Porenwasserdruck- und 53 Erddruckgeber der Fa. Glötl zum Einbau. Sorgfältige Vorbereitung und Durchführung des Gebereinbaues sind die Voraussetzungen für einen Meßerfolg. Die bisherigen Ergebnisse der Spannungsmessungen geben wertvolle Einblicke in das Verhalten des Dammes im Bauzustand und ermutigen zur weiteren Anwendung des Meßverfahrens. Es konnte nachgewiesen werden, daß die Rechenannahmen für den Standsicherheitsnachweis durchwegs auf der günstigen Seite liegen.

construction in January 1964. The configuration of the directional soil pressure ellipse and the directions of the primary stresses could be ascertained with remarkable precision. The shift in pressure resulted in an inclination of the maximum primary stress direction towards the dam core.

The soil pressure measuring problem also includes the analysis of the lateral core pressure. This side pressure is assumed as a hypothetical load on the shell zones in some stability analyses for the dam. The value of 0.6 was used as the factor for the contact pressure during the construction period and with a corresponding value of 0.5 after completion. The measurements produced values which were below 0.6 throughout. The quotient of the horizontal and vertical soil pressure of January 1964 had a value of 0.54, at the measuring point, (figure 13), while the average value for all measurement points was below 0.5. It could be proven that the core contact-pressure exhibits a more favorable behavior than was assumed for calculation in this way.

Summary

The Gepatsch rockfill dam built during 1961–1965 by the Tyrolean Hydro Power Corp. (TIWAG) in western Austria represents an important, and — compared with other Austrian dams — extraordinary structure with a maximum height of 153 m above its foundation and a fill volume of 7.1 million m³. Extensive deformation and internal pressure measurements were carried out for analysing its stability. The present report only describes the pressure measurements.

A total of 32 pore water pressure cells and 53 soil pressure cells, both types of cells were manufactured by Messrs. Glötl, were installed in the Gepatsch dam. Careful preparation and execution of the cell installation is a prerequisite for successful measurements. The results obtained to date, provide valuable information about the behavior of the dam during construction, and will encourage further application of this measuring method. It could be demonstrated that the design assumptions used in the calculation of the stability analysis were on the safe side throughout.

Hinweise

Die vorliegende Schrift kam auf Ersuchen der Fa. Glötzl als Lieferant der Ventilgeber mit Genehmigung der Tiroler Wasserkraftwerke AG zustande.

Die Anordnung der Meßeinrichtungen wurde vom Verfasser geplant. Der Einbau und die Betreuung auf der Baustelle erfolgte vom Erdbaulaboratorium der TIWAG unter Leitung von Herrn Dipl.-Ing. Klaus Lehmann.

Remarks

The present report was written at the request of Messrs. Glötzl, the supplier for the valve cells, and was approved by the Tyrolean Hydro Power Corp.

The arrangement of the measuring equipment in the dam body was planned by the author. The personnel of the laboratory for soil mechanics of the TIWAG, under the supervision of Dipl.-Ing. Klaus Lehmann, installed this equipment and are operating it.

Schrifttum**Bibliography**

- 1 H. Lauffer, W. Schober: Investigations for the Earth Core of the Gepatsch Rockfill Dam with a Height of 150 m (500 ft.) — 7. Congrès des Grands Barrages, Rom 1961, R 92, Question Nr. 27
- 2 H. Lauffer, W. Schober: The Gepatsch Rockfill Dam in the Kauner Valley — 8. Congrès des Grands Barrages, Edinbourg 1964, R 4, Question 31, sowie Diskussionsbeitrag H. Lauffer zu R 4, Question 31
- 3 D. M. Trollope: The Systematic Arching Theory Applied to the Stability Analysis of Embankments — Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering 1957, 6/25
- 4 E. Reinius: The Stability of the Downstream Part of Earth Dams. — Bulletin Nr. 59 of the Division of Hydraulics at the Royal Institut of Technology, Stockholm 1961
- 5 A. A. Nitchiporovitsch: Deformations and Stability of Rockfill-Dams — 8. Congrès des Grands Barrages, Edinbourg 1964, R 19, Question 31