

Die Spitallammsperre der Kraftwerke Oberhasli: ein Beitrag zur Erforschung der statischen und technologischen Probleme des Talsperrenbaues

Autor(en): **Juillard, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **107/108 (1936)**

Heft 21

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-48302>

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.

INHALT: Die Spitallammsperre der Kraftwerke Oberhasli. — Wettbewerb für die Freibadanlage «Allenmoos», Zürich. — Unerlaubte Architekten-Reklameschriften. — Saug-Bagger mit Warderrost. — Mitteilungen: Wirtschaftlichkeit grosser Zentralheizungen. Vom Grundwasserwerk der Stadt Zürich im Hard. Führungsrollen statt Spurkränze, Schweizer Lokomotiven für die spanische Nordbahn. 25 Jahre Arbeitsphysiologie. Vorausbestimmung der Betonfestigkeit. Die Hafenbautechnische Gesellschaft. Von der Innenausstattung der «Queen Mary». Ueber Raumakustische Probleme. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 107

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich.
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 21

Die Spitallammsperre der Kraftwerke Oberhasli.

Ein Beitrag zur Erforschung der statischen und technologischen Probleme des Talsperrenbaues.

Von H. JUILLARD, beratender Ingenieur, Bern.

Die drei Talsperren der Kraftwerke Oberhasli: die Spitallammsperre (Mauerkubatur 340 000 m³) und die Seeuferreggsperre (70 000 m³) auf der Grimsel und die Gelmersperre (81 000 m³) wurden in den Jahren 1927 bis 1931 errichtet.¹⁾

Die Ausführungsmethoden und insbesondere die beim Bau der Spitallammsperre angewandten Mittel haben in verschiedener Hinsicht einen Fortschritt gegenüber früheren Sperrbauten aufgewiesen und deshalb das Interesse der Baufachleute der Schweiz und des Auslandes auf sich gezogen. Seit der Inangriffnahme dieser Sperren hat sich die Anwendung von technischen Ausführungsmitteln weiter entwickelt. Bei dem amerikanischen, bereits fertig gestellten, gewaltigen Boulder-Dam (Hooversperre)²⁾ sind Installationen verwendet worden, die durch ihre Grosszügigkeit und Leistungsfähigkeit jene der europäischen Bauplätze weit hinter sich lassen. Es wäre aber falsch, einen Bauplatz allein nach dem Umfang der Installationen und der Mauerkubatur zu beurteilen. Die Kunst der Bauplatztechnik liegt vielmehr in der zweckmässigen Anpassung an die gegebenen Verhältnisse. Wie immer bei Bauarbeiten, lassen sich die betreffenden Erfahrungen, die für die Qualität und die Wirtschaftlichkeit der Ausführung massgebend sind, nur in sehr unvollkommener Weise auf dem Papier festhalten; im allgemeinen handelt es sich nicht um neue Erkenntnisse, sondern um solche, die nur mit Nutzen angewendet werden können, wenn sie direkt gewonnen wurden.

Anders verhält es sich mit den Erfahrungen, die sich auf die Ausbildung, die Arbeitsweise und das Verhalten der grossen Talsperren beziehen; sie behalten für die Nachkommen einen bleibenden Wert. Obwohl die Staumauern zu den wichtigsten Ingenieur-Bauwerken gehören, sind viele statische und technologische Probleme, die sowohl für die Sicherheit als für die Wirtschaftlichkeit dieser Konstruktionen von grösster Bedeutung sind, noch unbekannt oder unerforscht geblieben. Bis vor einigen Jahren waren sogar keine Mittel vorhanden, um die Arbeitsweise von Staumauern zuverlässig kontrollieren zu können. Die Spitallammsperre verdient deshalb ein besonderes Interesse, weil durch die Studien anlässlich ihrer Projektierung und Ausführung, sowie durch die Verfolgung ihrer wirklichen Arbeitsweise mehrere Probleme von allgemeiner Bedeutung abgeklärt werden konnten.

1. Die Wahl des Sperrentyps.

Vor 15 Jahren waren die Kenntnisse über das statische Verhalten von grossen Talsperren noch unklar. Prominente Fachleute vertraten noch die Ansicht, dass nur eine Schwerkubaturmauer die für die Spitallammsperre erforderliche Sicherheit bieten könne. Im Projekt vom Jahre 1920³⁾, das eine um 20 m tiefere Stauhaltung als die später verwirklichte vorsah, war eine massive Gewichtsmauer mit leicht gekrümmtem Grundriss vorgesehen, in der Meinung, dass die Krümmung einem bedeutenden Sicherheitsfaktor gleichkäme. Die Untersuchung der geplanten Gewichtsmauer mit Berücksichtigung der seitlichen Einspannung⁴⁾ ergab, dass eine solche Konstruktion zu steif wäre, um als horizontales Gewölbe zwischen den Talflanken zu wirken. Bei dem geringen Bogenschub wäre die Drucklinie ausserhalb des Querschnittes gefallen, was eine grosse Zugspannung bei den Widerlagerverankerungen zur Folge gehabt hätte. Auch bezüglich der Temperaturspannungen wäre die massive Gewichtsmauer sehr unvorteilhaft gewesen. Zufolge der seitlichen Einspannung wäre eine weitgehende Rissbildung unvermeidlich gewesen, sodass eine fugenlose Konstruktion aus diesem Grunde nicht in Betracht kam. Die in den folgenden Jahren gebauten Gewicht-Sperren Barberine⁵⁾ und Wäggitäl⁶⁾ erhielten Fugen in Abständen von 25–32 m.

¹⁾ Vergl. «SBZ» Bd. 85, S. 13*, 28*, Bd. 92, S. 155*; Bd. 95, S. 191; Bd. 100, S. 258*.

²⁾ Vergl. «SBZ» Bd. 99, S. 81*.

³⁾ Siehe «SBZ» Bd. 78, S. 1*, 22*.

⁴⁾ Gemäss der in der Schweiz. Bauzeitung, Band 78, S. 271* und 286* veröffentlichten Berechnungsmethode H. Juillard: «Influence de l'encastrément latéral dans les grands barrages».

⁵⁾ Vergl. «SBZ» Bd. 83, S. 52. — ⁶⁾ Siehe «SBZ» Bd. 98, S. 231*. Red.

Die Ansichten über die Zweckmässigkeit der Wölbung des Grundrisses der Gewichtsmauern sind noch heute sehr verschieden. Früher wurden die Talsperren mit einem Radius von 150 bis 500 m im Grundriss gebogen. Mit der Erkenntnis, dass die statische Wirkung einer schwachen Wölbung ungenügend ist, um Dilatationsfugen entbehrlich zu machen, sind verschiedene Mauern geradlinig ausgeführt worden. Eine ähnliche Lösung wurde auch für die Spitallammsperre in Erwägung gezogen, wobei die Fugen ohne jeglichen Verband der einzelnen Mauerlamellen hätten ausgeführt werden sollen. Dabei würden die einzelnen Elemente theoriegemäss unabhängig voneinander wirken. Da sie aber um mehrere mm verschiedene Durchbiegungen durchführen müssten, würden sich sehr schlechte Arbeitsbedingungen für die Fugendichtungen ergeben.

Obwohl für die Spitallammsperre eine Konstruktion ohne Verband zwischen den einzelnen Baublocken aus den erwähnten konstruktiven Gründen nicht näher in Aussicht genommen werden konnte, ist gleichwohl die Stabilität der unabhängigen Lamellen von rd. 25 m Breite untersucht worden. Einige derselben wären unvermeidlich auf sehr stark (bis 150 %) geneigte Widerlager zu liegen gekommen. Schon die Ueberlegung zeigt, dass bei einer auf einer schiefen Ebene liegenden Konsole die beiden ungleich hohen Endquerschnitte eine verschiedenartige Durchbiegung erfahren müssen, was nur im Zusammenhang mit einer entsprechenden Beanspruchung der horizontalen Schnitte geschehen kann. Nach der Elastizitätstheorie durchgeführte eingehende Berechnungen haben ergeben, dass die sekundäre horizontale Biegung zu sehr hohen Beanspruchungen führt, die gerade so gefährlich sind, wie diejenigen der fugenlosen, seitlich eingespannten Gewichtsmauer. Die in den Widerlagern auf der Wasserseite ermittelten Zugbeanspruchungen erreichen dabei einen grösseren Betrag, als die nach der Gewichtstheorie berechneten Hauptdruckspannungen.

Die statischen Vorstudien hatten also gezeigt, dass es in einem tief eingeschnittenen Talquerschnitt unmöglich ist, eine Sperre einzubauen, deren statische Wirkung von der Widerlagereinspannung längs der Flanken unabhängig ist. Daher ist gesucht worden, diese seitliche Einspannung der Widerlager auszunützen, statt zu versuchen, sie in nachteiliger Weise auszuschalten. Anfänglich sind Typen studiert worden, die einen ähnlichen Kubaturaufwand erfordern hätten, wie eine Gewichtsmauer mit 85 % Anzug. Das Ergebnis war aber nicht vorteilhaft, indem das horizontale Tragsystem noch zu wenig elastisch war, um mit Vorteil als liegender Bogen wirken zu können. Um die dabei auftretenden schädlichen sekundären Biegungsbeanspruchungen bei den Widerlagern auszuschalten, war es notwendig, die Stärke des Gewölbes zu vermindern und seine Krümmung zu vergrössern.

Die Vorstudien hatten also zu einem einfachen Ergebnis geführt, das als Grundsatz für den Entwurf angenommen wurde: *Die Sperre war mit Rücksicht auf ihre durch die Talform bedingte statische Wirkung auszubilden.*

Bei der mittleren Neigung der beiden Talflanken der Spitalamm von rd. 100 % war zum vornherein mit einer Verteilung des wirkenden Wasserdruckes mit gleich grossen Anteilen gemäss den horizontalen und vertikalen Projektionen des Fundamentes zu rechnen. Da die Lastübertragung in horizontaler Richtung wesentlich geringere Beanspruchungen im Bogen-system erzeugt, als jene, die in den horizontalen Schnitten zufolge der Stützwirkung auftreten, war es gegeben, die Bogenwirkung nach Möglichkeit zu verstärken, was durch besondere Massnahmen der Bauausführung angestrebt werden sollte. Je nach deren Erfolg war mit einer Belastung des horizontalen Tragsystems von 50 bis 100 % des wirkenden Wasserdruckes zu rechnen.

2. Beschreibung des Bauwerkes.

Der dreieckige Querschnitt der Mauer weist einen Anzug von 1:0,10 auf der Wasserseite und 1:0,50 auf der Luftseite auf. Der Krümmungsradius der Dreieckspitze auf Kote 1912 beträgt 90 m, bei einem Öffnungswinkel von 112° (vgl. Abb. 1). Beidseitig ist die Mauer durch Bogentangenten von rund 30 m Länge geradlinig verlängert. Die beiden Flügel weisen den gleichen Mauerquerschnitt auf, wie der eigentliche Bogen. Zwecks

besserer Anpassung an das Gelände und auch aus konstruktiven Gründen sind die spitzen Winkel zwischen den Flügeln und den Widerlagern durch eine Dichtungsmauer senkrecht zum Ufer abgeschnitten; der verbleibende Zwischenraum ist mit Kies ausgefüllt worden. Die Konstruktion hat also nicht den Charakter eines verstärkten Widerlagers. Im Gegenteil wurde beim Anschluss der Dichtungsmauer darauf geachtet, dass der Bogen seine vollständige Freiheit behalten kann. Die Dichtung zwischen der Sperre und der Abschlussmauer ist durch ein starkes Kupferblech gewährleistet, das Bewegungen bis zu 2 mm durchzuführen hat.

Dem Grunddreieck des Sperrenquerschnittes ist eine Krone von 4 m Stärke und 2,5 m Höhe über dem Wasserspiegel aufgesetzt. Die Luftseite der Mauer ist in Stufen von 1 m Breite auf 2 m Höhe abgetrepppt. Diese Ausbildung erschien in verschiedenen Beziehungen vorteilhaft für die Bauausführung; auch das Aussehen der Mauer hat dadurch stark gewonnen. Im untern Teil der Mauer bis Kote 1868 sind Revisionsgänge nahe dem Fundament angeordnet.

Der Aushub der Baugrube ist in den Jahren 1927 bis Juli 1928 erfolgt. Er konnte nach den Projektionsprognosen vorgenommen werden; die vorgesehene Mauer kubatur von 340 000 m³ wurde genau eingehalten. Die Ausführungsdimensionen des Bauwerkes stimmen also mit denen des Projektes und der statischen Berechnung vollständig überein.

Vorgängig der Betonierung sind Fundamentsondierungen und Verdichtungen mittelst Diamantbohrungen und Zement-einpressungen durchgeführt worden. Vom Dichtungssporn auf der Wasserseite aus sind durch 81, insgesamt 1738 m lange Bohrlöcher rund 370 t Zement eingepresst worden. Daneben sind noch zahlreiche sekundäre Injektionen auf der ganzen Fundamentfläche mit einem Zementaufwand von 120 t durchgeführt worden. Obwohl einzelne Löcher eine starke Zementaufnahme aufgewiesen haben (bis zu 42 t Zement in einem einzigen Loch), konnte nach Fertigstellung der Sperre konstatiert werden, dass die Verdichtung in einigen Punkten noch nicht vollständig war, sodass einige Nachinjektionen nötig waren.

Der Beton des Sperrenkörpers ist mit einer Zementdosierung von 190 kg/m³ fertigen Beton hergestellt worden. Diese Dosierung, sowie die granulometrische Zusammensetzung des Kies- und Sandmaterials sind auf Grund eingehender Versuche festgestellt worden. Bei der Ausführung war die Zusammensetzung des Betonmaterials durchschnittlich die folgende:

	kg/m ³	Vol. % des gemischten Betons
Grobkies 40 bis 120 mm	596	22,2
Feinkies 6 bis 40 mm	766	28,6
Natursand 0 bis 6 mm	636	23,7
Mahlsand mit rd. 40 % < 0,5 mm	84	3,1
Zement	190	6,2
Wasser	158	15,8
Total	2 430	99,6

Die Zuschlagstoffe stammen ausschliesslich aus harten Urgesteinen und wurden im Aareboden gebaggert. Die Beschaffenheit des wichtigsten Teiles, des Sandes 0 bis 6 mm, war sehr gleichmässig: Durchschnittlich waren 50 % des Sandes kleiner als 2 mm und 30 % kleiner als 1 mm. Dieser Beton hat gegenüber andern Gussbetonausführungen einen relativ starken Gehalt an Feinsand ohne Ueberschuss von Mehl (4 % des Sandes kleiner als 0,14 mm). Diese günstige, gleichmässige, durch das unerschöpfliche natürliche Vorkommen des gebaggerten Materials gewährleistet Zusammensetzung ergab bei den Kontrollen des Bauplatzbetons eine Festigkeit von durchschnittlich 100 kg/cm² nach sieben Tagen und über 200 kg/cm² nach einem Jahr. Bei seiner erstmaligen Belastung wies somit der Beton einen mindestens zehnfachen rechnerischen Sicherheitsgrad auf.

Auf der Wasserseite ist eine 2 bis 3 m starke Schicht mit einer reichern Dosierung von 300 kg Zement/m³ ausgeführt worden. Diese Massnahme hat sich gut bewährt, indem der Beton der Witterung standgehalten hat.



Abb. 3. Bauzustand im zweiten Baujahr, vom rechten Ufer aus.

Zwecks Abführung der Abbindewärme des Zementes und Ermöglichung der schadlosen Durchführung des Schwindprozesses war die Mauer durch Fugen in Bogensegmente geteilt. Nachdem die Betonierung des Sperrenfundamentes im Herbst 1928 ohne Unterteilung zwischen den Dilationsfugen, in 30 m Abstand, d. h. auf über 1000 m² Oberfläche sich nicht als vorteilhaft erwiesen hatte, wurde ab Frühjahr 1929 die Breite der Segmente durch Einschaltung einer neuen Fuge halbiert. Im obersten Sperrenteil waren ferner, auf 20 m Höhe, sekundäre Fugen vorgesehen, die die Mauer in 7,5 m lange Abschnitte unterteilten. Die 1 m breiten Fugen waren nach einer genügenden Wartezeit auszufüllen, damit die Schrumpfung des Betons keinen wesentlichen Einfluss mehr auf die statische Wirkung des Bauwerkes ausüben konnte. Der Vorgang der Abkühlungs- und Schwindprozesse wurde mittels 63 im Beton eingebetteten Thermo-Elementen und durch Beobachtung der Baufugenbewegungen verfolgt. Ueberdies sind im Zementlaboratorium der K. W. O. in Innertkirchen abklärende Untersuchungen über die Eigenschaften des Betons durchgeführt worden, über die der Verfasser bereits berichtet hat.⁷⁾

⁷⁾ H. Juillard: «Quelques propriétés du ciment et du béton: dilatation, retrait, élasticité». «SBZ» Bd. 100, S. 13*, 33*, 73*.

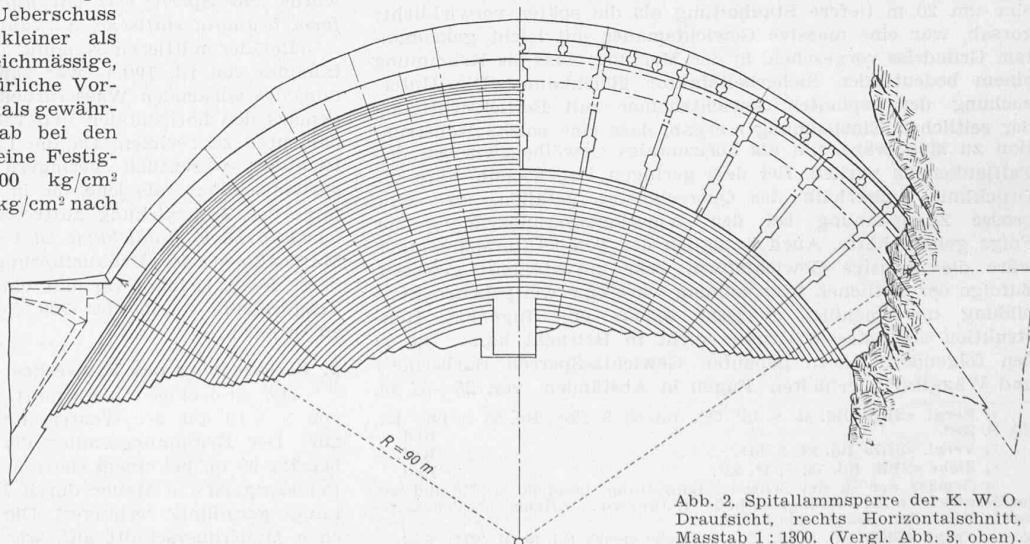


Abb. 2. Spitallammsperre der K. W. O. Draufsicht, rechts Horizontalschnitt, Masstab 1:1300. (Vergl. Abb. 3, oben).

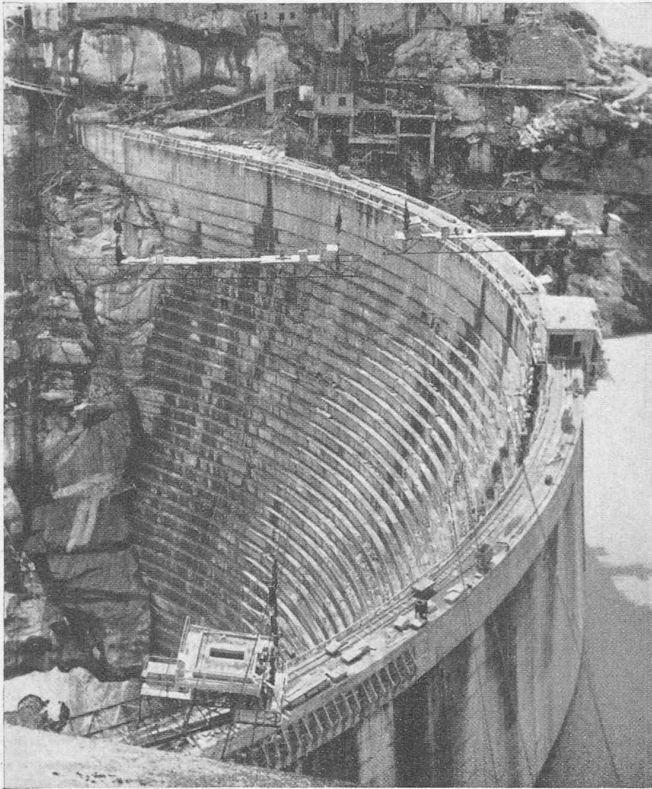


Abb. 4. Die fertige Spitallammsperre vom linken Ufer aus.

Die Ausfüllung der 13 Haupt- und der sekundären Fugen verlangte eine besondere Sorgfalt, um einen vollkommenen Bogenschluß zu gewährleisten. Zu diesem Zwecke wurde die obere Hälfte der Baufugen zwischen Kote 1868 und 1914 erst $1\frac{1}{2}$ Jahre nach der Betonierung des Sperrenkörpers, im April/Mai 1932 ausgefüllt, als der Beton durch Belüftung der Fugenschächte während des Winters möglichst unterkühlt und ausgetrocknet war. Der obere Teil der Fuge war mit einer Schleuseneinrichtung versehen, mit deren Hilfe der in etwa 10 Stunden in einem Guss eingebrachte Beton sofort einem Druck von 150 m Wassersäule ausgesetzt wurde. Durch diese Massnahme, die bei jeder Fuge wiederholt wurde, ist der Bogen unter einem künstlichen Schub von rund 40 000 t geschlossen worden. Es ist dieser Massnahme zuzuschreiben, dass in der Folge alle Fugen satt geschlossen geblieben sind und die Sperre als aus-

gesprochener Bogen wirkt, wie dies in der Folge anhand der Ergebnisse der Sperrenbeobachtungen näher gezeigt wird.

3. Beobachtung der Mauerdeformation während der Bauausführung.

Das Ausführungsprinzip der Spitallammsperre, die möglichst weitgehende Ausschaltung der Einflüsse der Abbinde- wärme des Zementes und des Schwindens des Betons bedingte die präzise Verfolgung der Bewegungen der Baufugen. Ferner war das Verhalten der unfertigen Mauer unter dem Einfluss der vorgesehenen sehr weitgehenden Anstauung während des Baues zu beobachten.

Zu diesem Zeitpunkt standen noch wenige Erfahrungen über Deformationsmessungen von Talsperren zur Verfügung. Allein die eidg. Landestopographie hatte die Frage der Beobachtung der Sperrenbewegungen verfolgt und durch Anwendung des Triangulationsverfahrens praktische Ergebnisse erhalten. Es war bekannt, dass die meisten von diesem Amt untersuchten Sperren eine mit den Jahren zunehmende Durchbiegung zeigten. Für diese Erscheinung konnte keine befriedigende Abklärung gegeben werden, was zunächst etwas beunruhigend war und umso mehr Veranlassung dazu gab, die Bewegungen der Spitallammsperre während ihrer Entstehung besonders sorgfältig zu verfolgen. Die K.W.O. liessen deshalb die Sperrenbewegungen während der Bauzeit durch die eidg. Landestopographie nach der von ihr entwickelten Methode beobachten, was durch den bekannten Spezialisten Ing. W. Lang besorgt wurde.

Das Ergebnis der Messungen war folgendes: Während der Bauperiode haben sich die einzelnen Segmente der im Grundriß noch nicht geschlossenen Mauer vollständig elastisch verhalten, obschon ihre Tragfähigkeit durch den Stau des Grimselsees im Herbst 1930 und im Herbst 1931 sehr weitgehend ausgenutzt wurde. Dadurch unterscheidet sich die Spitallammsperre deutlich von andern Mauern. Hingegen konnten die Messungen nicht die gewünschte Auskunft über die spezifischen Längenänderungen des Betons und über die Fugenbewegungen geben. Neben der hiezu ungenügenden Genauigkeit der einzelnen Ergebnisse hat die Undurchführbarkeit der Beobachtungen während der acht Winter- und Frühjahrsmonate die präzise Verfolgung dieser Vorgänge verunmöglicht. Als Ergänzung der durch die Landestopographie durchgeführten geodätischen Messungen sind direkte Längenmessungen mit einem Mikrometerstab vorgenommen worden. Das Prinzip dieser Methode besteht in der Bestimmung der Distanzänderungen einer Serie von in der Mauer fest verankerten Bolzen. Der kürzeste Abstand zwischen zwei mit Nuten und Kugelflächen versehenen Bolzen wird durch Tasten ermittelt. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Empfindlichkeit der Einstellung durch Berührung praktisch so gross ist, wie die bei der Verwendung von präzisen optischen Mitteln erreichte. Es hatte aber keinen Zweck, genauer als $\frac{1}{100}$ mm ablesen zu wollen. Vor und nach jeder Messung wurde der Stab auf einem Komparator geeicht. (Fortsetzung folgt).

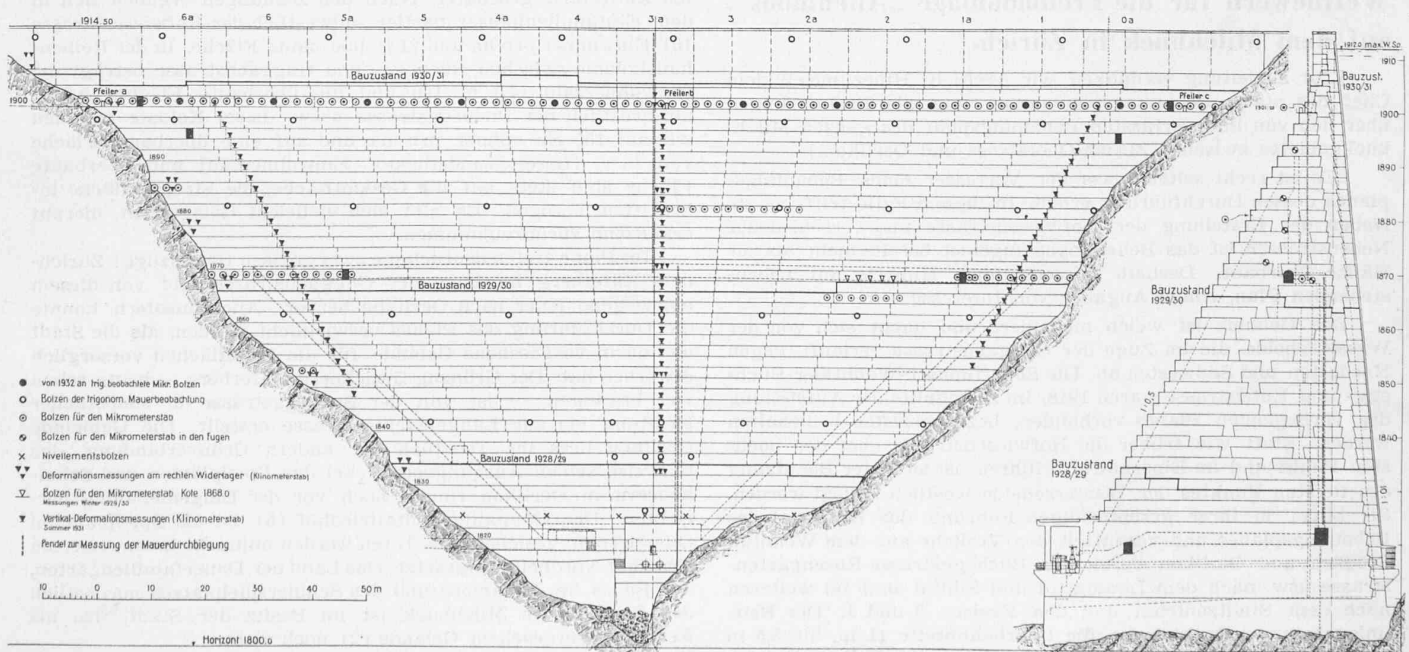


Abb. 1. Die Spitallammsperre der Kraftwerke Oberhasli. Abgewinkelte Ansicht der Luftseite und Schnitt im Scheitel; Messbolzen. — Masstab 1:1300.