

Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 3 (1948)
Heft: 5

Artikel: Fortschritte beim Bau von Staumauern
Autor: Schläpfer, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-653845>

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: 14.03.2025

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

Fortschritte beim Bau von Staumauern

Von Ing. A. Schläpfer

Der letztjährige dürre Sommer und der dadurch entstandene Strommangel im vergangenen Winter haben es jeden Schweizer am eigenen Leib erleben lassen, daß im Land, dessen sozusagen einziger Rohstoff die «weiße Kohle» ist, zu wenig elektrische Energie vorhanden war. In der Not wurden sogar thermische Kraftwerke gebaut, die mit importierter Kohle oder Öl betrieben werden müssen. Auch an Atomkraftwerke hat man gedacht, doch hat man einsehen müssen, daß diese Hoffnung in der nächsten Zukunft nicht verwirklicht werden kann. Der Bau von leistungsfähigen Kraftwerken – hauptsächlich Speicherwerken mit möglichst hoch gelegenen Stauseen, die nur «landeseigene Rohstoffe» benötigen – wurde immer dringender gefordert und auch in Angriff genommen; bereits sind einige fertiggestellt, bei andern ist der Bau schon weit vorgeschritten und für wieder andere ist die Planung abgeschlossen.

Daß sich dem Bau von Kraftwerken und Staumauern recht viele Hindernisse in den Weg stellen, ist allgemein bekannt. Weniger herumgesprochen hat sich die Tatsache, daß der Bau derartiger Riesenstaudämme im Hochgebirge ganz neue Probleme für die Ingenieure brachte und zu ganz neuen Baumethoden führte. Der Schweizer Ingenieur Nötzli hat als erster die sogenannte «aufgelöste» oder Hohlkonstruktion an Staudämmen gebaut, und zwar in Amerika. Mehr oder weniger nach dem gleichen Prinzip sind in der Schweiz bereits die Sperren von La Dixence und vor allem die modernste Staumauer-Konstruktion, diejenige des Lucendro-Werkes ausgeführt.

Der folgende Artikel gibt Einblick in einige der prinzipiellen Probleme, die beim Bau von Staumauern bei großer Höhe gelöst werden mußten.

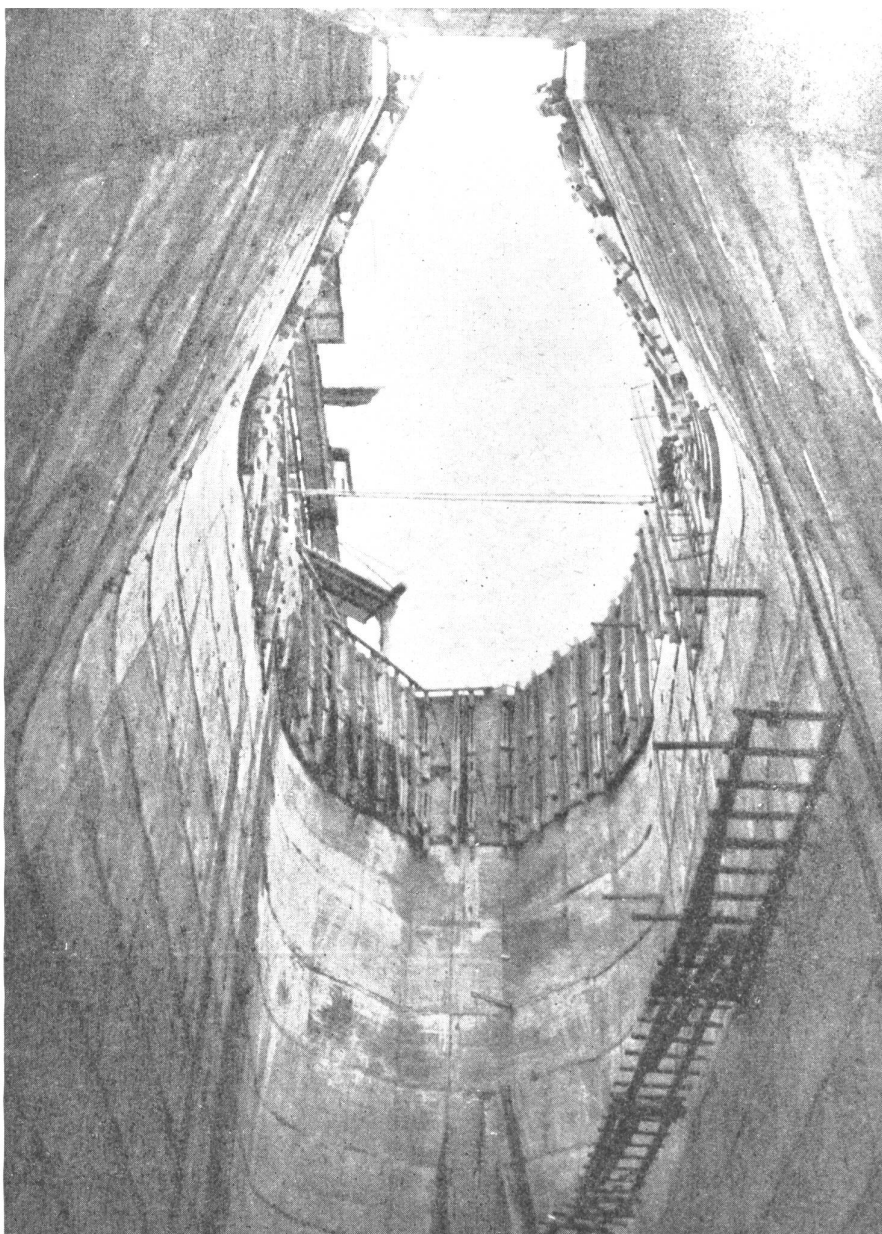


Bild 1: Einer der Mauerhohlräume von innen. Wie in einem Dom kommt sich der Beschauer vor, wenn er den Blick vom Grunde zur oberen Verschalungsfläche richtet.

Die günstigen Staugelegenheiten auf mäßiger Höhe über Meer sind heute schon weitgehend ausgenutzt und allgemein ist bekannt, wie schwer es hält, heute einen Stausee zu bauen, der die Evakuierung eines bewohnten Tales nötig macht. Hier liegt ein Grund dafür, daß man das Terrain für neue Staubecken immer höher im Gebirge sucht, wo kein bewohntes Gelände unter Wasser gesetzt werden muß. Andererseits ist selbstverständlich eine aufgestaute Wassermenge um so wertvoller, weil energiereicher, je höher das Reservoir sich befindet. Die große Höhe der Baustelle bringt aber in verschiedener Hinsicht eine beträchtliche Erschwerung mit sich.

Zunächst führt die verhältnismäßig kurze Periode des Jahres, in der überhaupt gearbeitet werden kann, zu einer langen Bauzeit, was in der heutigen Situation natürlich äußerst un-

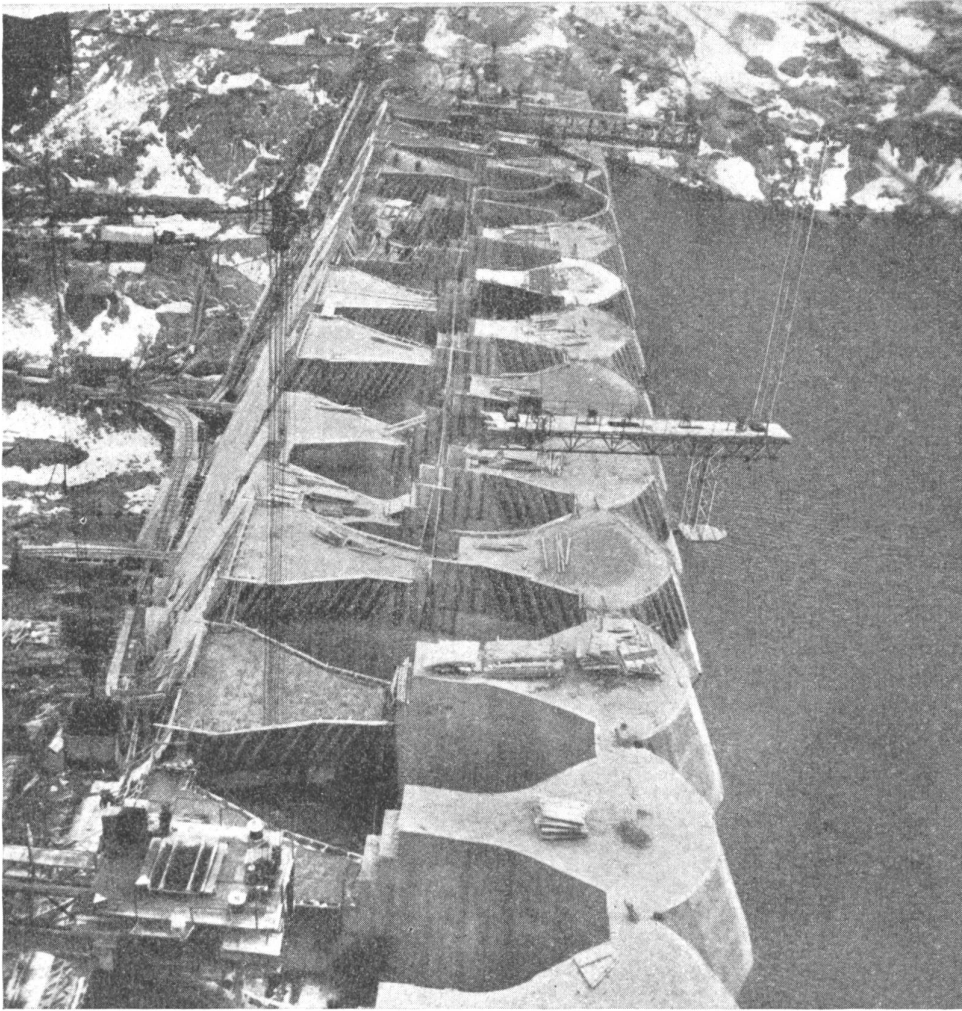


Bild 2: Blick auf die Hohlkonstruktion der Lucendro-Staumauer während des Baues

erwünscht ist und was sich auch für den Bauherrn renditemäßig ungünstig auswirkt.

Zuerst versuchte man die durch die jahreszeitliche Witterung bedingte kurze Bauzeit künstlich zu verlängern. Theoretisch beachtliche Vorschläge werden vom Kenner der Verhältnisse für die Praxis aber sehr skeptisch beurteilt. Im Steinbruch der Lucendro-Staumauer zum Beispiel wurde versuchsweise der Betrieb über einen Winter aufrecht erhalten. Es zeigte sich aber, daß auf eine produktive Arbeitskraft ein bis zwei Hilfskräfte notwendig waren, die für den Nachschub von Lebensmitteln und Baumaterial und für die Sicherung des Arbeitsplatzes gegen Schnee und Lawinen zu sorgen hatten. Einen großen Arbeitsaufwand brachte im Winter die Aufrechterhaltung der Stromzufuhr und die Bereitstellung von Wasser und Druckluft mit sich.

Schließlich werden auch physiologische und psychologische Gründe es unmöglich machen, dieselben Leute auf einer solchen Höhe über Meer während 12 Monaten arbeiten zu lassen. Nach

sechs Monaten müßte die Mannschaft ausgewechselt werden, da sich nach dieser Zeit eine Art Bergkrankheit oder einfach ein gewisser «Cafard» einstellt. Auf die kleinste Rüge bei der Arbeit sind die Leute imstande, ihr Werkzeug hinzuwerfen und sich die Auszahlung zu holen und weder freundliches Zureden, noch Versprechungen verfangen mehr. Ganz solide Arbeiter fangen plötzlich an, unsinnig zu trinken und kommen nicht mehr zur Arbeit bis man sie überhaupt wegschickt. Die Leute sollten im Monat einen Urlaub von vier Tagen nehmen, aber es gibt eine ganze Anzahl, die ihn nicht benützen, was sich dann im Herbst gewöhnlich rächt. Übrigens braucht der Arzt nie zu helfen, — das einzige Heilmittel heißt — hinunterschicken! Dabei ist dies zum Teil einfach ein unaufhaltsamer Drang nach dem Tal. Der eine will wieder einmal Bäume sehen, der andere Kirchenglocken läuten hören, und im Herbst ist es oft schwer, die Leute bis zum vorgesehenen Bauende zu behalten. Alles, vom jüngsten Bohrerträger bis zum leitenden Ingenieur freut sich auf den Bausaisonschluß.

Wenn man aber die Bauzeit pro Jahr nicht – oder wenigstens nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand – künstlich verlängern kann, so muß eben in der zur Verfügung stehenden Zeit *rascher* gebaut werden. Daneben ist selbstverständlich die *Materialersparnis* beinahe ebenso wichtig, um so mehr, als diese sich auch wieder in günstigem Sinn auf die Bauzeit auswirken muß. Besonders wesentlich wird dieser Punkt in Fällen, wo in der Nähe der Baustelle kein Kies zu finden ist, und die Zuschlagstoffe durch Felssprengung und Zerkleinerung des Materials beschafft werden müssen, wie dies bei der Lucendrosperrre, von der in diesem Aufsatz hauptsächlich die Rede sein wird, leider der Fall war.

In der Schweiz sind die Talsperren bis vor kurzem meist nach dem Prinzip der Schwergewichtsmauern ausgeführt worden. Bei günstigen Terrainformen konnte im Grundriß eine Bogenform gewählt werden, die gewölbte Seite dem See zugekehrt, bei der durch die beidseitige Einspannung im Fels eine Gewölbewirkung zustande kam, die mit verhältnismäßig kleinen Mauervolumen auskommen ließ. Aber nicht immer sind in der Natur so günstige Sperrstellen zu finden. Bei breiten Tälern mit mäßig steil ansteigenden Flanken müssen die Mauern, die erst dann die Bezeichnung «Schwergewichtsmauern» eigentlich

verdienen, ganz anders dimensioniert werden. Bild 4 gibt einen Begriff vom Querschnitt einer solchen Mauer, bei der die Fundamentbreite gut zwei Drittel der Höhe der aufgestauten Wassersäule betragen muß. Man kann sich leicht klar machen, was für mächtige Mauern dabei zustandekommen! Ein großer Teil des Materials kann zwar bei dieser Konstruktion einfach als Ballast betrachtet werden und aus Beton mindester Qualität bestehen. Der Beton auf der Wasserseite ist für die Wasserundurchlässigkeit verantwortlich und daher von besserer Qualität. Auch die Luftseite der Mauer muß eine Schicht besseren Betons aufweisen, da im Hochgebirge die Beanspruchung durch die ungünstigen Wetterverhältnisse sehr groß ist. So beträgt der Temperaturwechsel bei tagsüber intensiver Sonnenstrahlung und nachts tief unter den Gefrierpunkt fallendem Quecksilber für die Mauer nicht selten 30, 40 und mehr Grad, was sich bei längeren Schönwetterperioden täglich wiederholt. Bei den bestehenden Mauern älteren Datums mußte man die Erfahrung machen, daß auch guter Beton den Witterungseinflüssen nicht standzuhalten vermochte, das heißt nicht frostbeständig war. Verschiedene Mauern dieser Art mußten wegen gefährlichen Frostschäden auf der Luftseite sehr kostspielig mit Natursteinen verkleidet werden,

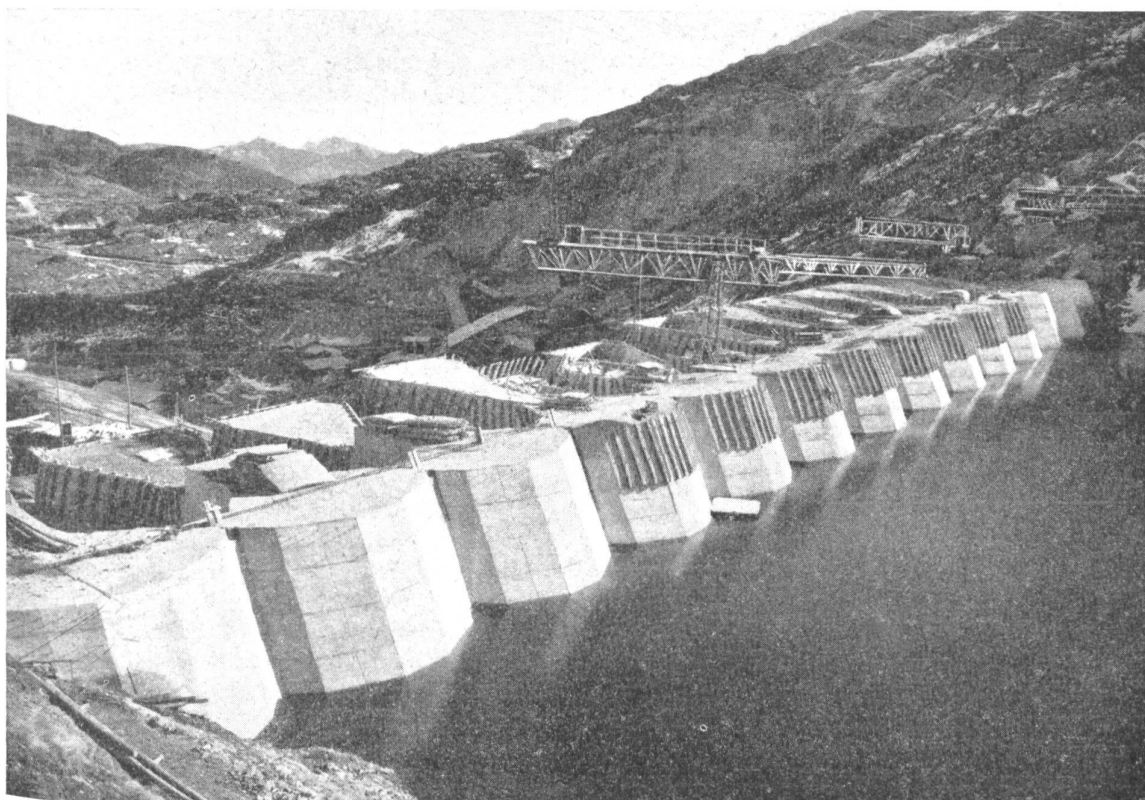


Bild 3: Die Lucendro-Staumauer nach der Beendigung der Betonierungsarbeiten von der Wasserseite her gesehen

so zum Beispiel die Grimselmauer, die ihr monumentales Aussehen diesem unerfreulichen Umstand verdankt.

Die Ausmaße der alten Schwergewichtsmauern brachten *sehr lange Bauzeiten* mit sich. Um diese abzukürzen erstellte man riesige Bauinstallatio-

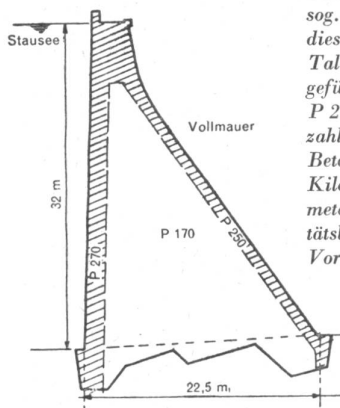


Bild 4: Querschnitt durch eine sog. «Schwergewichtsmauer». In dieser Bauweise sind die meisten Talsperren in der Schweiz ausgeführt. Die Bezeichnungen P 270, P 250, P 170 sind Gütezahlen des Materials. P bedeutet Beton und die Zahl die Anzahl Kilo Portlandzement pro Kubikmeter. Guter Beton hat die Qualitätsbezeichnung P 250 bis P 300. Vor dem Kriege war guter Eisenbeton für Tragkonstruktionen meist P 300, während des Krieges ist man aber auf P 280 bis P 250 hinuntergegangen.

nen, die eine tägliche Betonierleistung von 1500 bis 2000 Kubikmeter erlaubten. Hieraus ergaben sich aber neue Schwierigkeiten: Das «Abbinden» des Zementes ist ein chemischer Prozeß, der beim Zusammentreffen des Zementes mit dem Wasser beginnt, nach vier Stunden erst richtig in Gang kommt und nach weiteren vier bis sechs Stunden zur Hauptsache abgeschlossen ist. Während dieses Prozesses wird Wärme frei, die bei Bauwerken von mäßigen Dimensionen keine große Rolle spielt, da sie rasch an die Oberfläche gelangt und an die Luft abgegeben wird, so daß im Material keine wesentlichen Temperaturerhöhungen entstehen. Bei den großen Blöcken von 500 oder 1000 Kubikmeter Inhalt, wie sie beim Bau von Staumauern in einer Tagschicht gegossen werden können, sind die Verhältnisse aber weniger günstig, und die Abbindewärme kann, da sie nicht genügend rasch an die Umgebung abgegeben wird, zu beträchtlicher Erwärmung führen, die Spannungen und Risse im Gefüge des Betons zur Folge hat. Hier lag also die Grenze der Bauzeit-

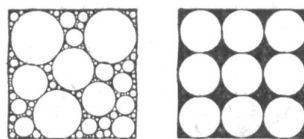


Bild 5: Verschieden große Körner bewirken ein geringeres Hohlraumverhältnis als lauter gleich große.

verkürzung durch riesige Anlagen und Tagesleistungen und ein Anlaß, nach anderen Methoden zu suchen, war gegeben.

Man erkannte bald, daß mit einer Verbesserung des Betons die Möglichkeit zu statisch günstigeren und ökonomischeren Konstruktionen gegeben

wäre. So hatte man also zunächst dieser Frage auf den Grund zu gehen. Dabei zeigte sich, daß die Frostunbeständigkeit bei Poren im Beton zu suchen war, die sich bei Regenwetter mit Wasser füllten, das bei Frost immer wieder zu Eis wurde und dabei infolge der Volumenvergrößerung eine Sprengwirkung, zunächst im kleinen, ausübte, um diese später in den entstandenen Schäden erst recht wirksam fortzusetzen. Den Ursachen dieser Porenbildung mußte nachgegangen werden, und deren hauptsächlichste hatte man auch bald gefunden. Bisher hatte man beim Mischen des Betons einfach so viel Wasser zugesetzt, daß ein gut zu verarbeitender Brei entstand. Daß man dabei wesentlich mehr Wasser zugab, als der Beton für den chemischen Prozeß des Abbindens nötig hatte, bekümmerte einen nicht, «man hatte es ja immer so gemacht». Dabei muß logischerweise das überschüssige Wasser nach dem Abbinden noch im Beton vorhanden sein, aus dem es nach längerer Zeit durch Verdunstung verschwindet und — an seiner Stelle Hohlräume, Poren hinterläßt! Nach dieser naheliegenden Erkenntnis ging man dazu über, dem Beton mög-

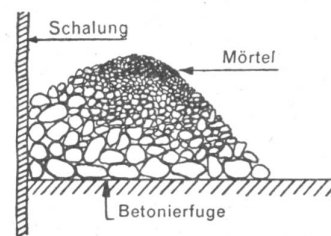


Bild 6: Beim nur noch erdfeuchten Beton rollen die größeren Teile gerne voraus, wodurch ganze «Nester» groben Materials entstehen, die einen minderwertigen «entmischten» Beton ergeben.

lichst wenig Wasser zuzuteilen. Dies führte aber zu einem zähen, schwer zu verarbeitenden Material, das sich schwer verteilen und verdichten läßt. Ungenügende Verdichtung des Betons führt zu ebensogroßen Qualitätseinbußen wie porenreicher Beton.

Es muß selbstverständlich angestrebt werden, daß der Beton die Hohlräume zwischen den Zuschlagstoffen gerade ausfüllt, aber nicht im Überschuß vorhanden ist, was unökonomisch wäre. Man kann sich wohl vorstellen, wie schwer diese Bedingung bei der zähen Masse von fast erdfeuchter Konsistenz zu erfüllen ist. Dabei wurde man sich noch über folgendes klar: Das Gesamtvolumen der Hohlräume zwischen einer körnigen Füllmasse ist nicht unabhängig von der Verteilung der Korngröße. Bild 5 illustriert besser als Worte, daß möglichst starke Verschiedenheit der Korngrößen das beste Verhältnis ergibt, während lauter gleich große Körner ein Maximum an Zwischen-Hohlraum bewirken würden. Diese zunächst möglichst wasserarme, dann möglichst zementarme Masse ohne Lufteinschlüsse zu gießen, wäre ohne weiteres wohl unmöglich. Eine

große Hilfe bei diesem Dilemma war die Einführung des «Tauchvibrators». Dies ist eine durch einen hochtourigen Elektromotor angetriebene schwingende Masse von länglicher Form, die in den Beton getaucht wird. Die starke Vibration wirkt im Umkreis von etwa einem Meter in der Weise auf den Beton, daß er stark in sich zusammenfällt und nachher praktisch keine Hohlräume mehr aufweist. Die Nachteile des geringen Wasserzusatzes können ferner durch Beifügen einer Markensubstanz, deren Zusammensetzung nicht

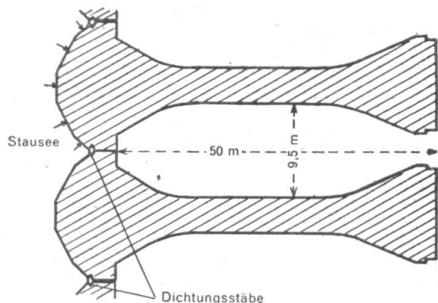


Bild 7: Grundriß von zwei Pfeilern der Lucendrosperre

bekannt ist, des «Plastiments» verringert werden, so daß auch dieses geheimnisvolle Mittel zu einer Qualitätsverbesserung des Betons führen kann. (Sollte es sich dabei wohl einfach um ein Netzmittel handeln, das eventuell durch Zusätze getarnt ist? Red.)

Hand in Hand mit dem Übergang vom «Gußbeton», das heißt dem an überschüssigem Wasser reichen zum «plastischen» oder sogar «erdfeuchten» Beton mußten die mechanischen Transport- und Verteilanlagen neu konstruiert werden. Der erdfeuchte Beton klebt an Rutschen, Silowänden, auf Transportbändern und an Transportkübeln viel stärker als der nasse. Schlimm ist aber der Umstand, daß er die Tendenz hat, sich zu entmischen, indem die größeren Teile vorausrollen und ganze Nester von ausschließlich groben Bestandteilen bilden können, wie dies in Bild 6 dargestellt ist. Auch diese unliebsame Tendenz des wasserarmen Betons muß berücksichtigt werden und ihr durch entsprechende Vorkehrungen entgegengewirkt werden. Man sieht, die Qualitätssteigerung beim Beton stellte ein recht kompliziertes Problem dar, aber es hat sich gelohnt, ihm mit wissenschaftlichen Methoden auf den Leib zu rücken; denn nun erst eröffneten sich dem Konstrukteur die neuen Möglichkeiten.

Wenn man sich daran erinnert, wie ökonomisch die Natur zum Beispiel einen Knochen aus Fasern und Rippen aufbaut und daran denkt, daß ja auf andern Gebieten des Bauwesens die Rippenkonstruktion, beispielsweise bei Gittermasten, Gitterträgern längst üblich ist, wird man ohne weiteres

einsehen, daß die Entwicklung zu einer größeren Ökonomie beim Bau der Staumauern, die am längsten nach dem «Massivprinzip» gebaut wurden, in dieser Richtung gehen mußte. Aus der Massivkonstruktion wurde also nun auch hier die «aufgelöste Konstruktion».

Bei der *Lucendrosperre* wurde eine mit der ganzen Konsequenz durchgeführte neue Lösung gesucht. Die Mauer wurde aus einzelnen *Pfeilern* zusammengesetzt, deren interessante Grundrißform Bild 7 wiedergibt. Im Innern der Mauer entstehen dabei mächtige Hohlräume von ungefähr ovalem Grundriß mit 50 m Länge und 9,5 m Breite. Nach oben verjüngen sich die Hohlräume und schließen im obersten Teil mit einer Kuppel ab. In ihrer Wirkung erinnern diese Räume an ein gotisches Kirchenschiff. Jeder Pfeiler bildet ein Bauwerk für sich allein und seine einzige Verbindung mit dem Nachbar ist ein *Dichtungsstab*, der die Wasserundurchlässigkeit sicherstellt. In Bild 8 ist diese Verbindungsstelle größer dargestellt. Zwischen den Trennflächen zweier anstoßender Pfeiler wird eine Fuge ausgespart und mit Asphaltkitt ausgefüllt. Vor diese so vorbereitete Fuge wird nachträglich ein Stab betoniert, der durch den Wasserdruck gegen den Asphalt gepreßt wird und so das Entweichen von Wasser verhindert.

Mit dieser Hohlkonstruktion erreichte man eine ganz wesentliche Einsparung an Baumaterial und eine Abkürzung der Bauzeit ohne allzu große maschinelle Anlagen. Dabei ist die Einsparung an Zuschlagstoffen ganz beträchtlich, was in diesem Fall sehr wichtig ist. An Zement können gegenüber einer Massivkonstruktion etwa 30 Prozent gespart werden, so daß der Bau der Sperre auch während des Krieges gewagt werden konnte. Die Einsparung von 16 000 Tonnen Zement entspricht 190 Wagen Kohle zu 20 Tonnen, die für dessen Herstellung verbraucht worden wären.

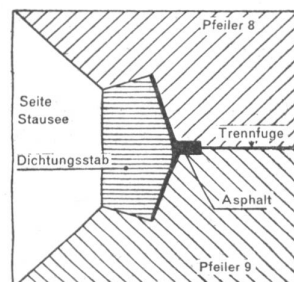


Bild 8: Dichtungsstäbe zwischen zwei unabhängigen Pfeilern

Außer den vielen Vorteilen bringt die neue Bauweise auch einige Nachteile mit sich, die aber kaum ins Gewicht fallen. So werden die Betonschalungen komplizierter und damit teurer. Die Mauer ist empfindlich auf Wasserdurchlässigkeit und erfordert sehr exaktes und

gleichmäßiges Arbeiten, was bei den auch hier beträchtlichen Betonierleistungen nicht immer einfach ist und nur durch ständige genaue Kontrolle und peinliche Überwachung des Arbeitsvorganges erreicht werden kann.