

# Beton im deutschen Talsperrenbau

Autor(en): **Ludin, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht**

Band (Jahr): **2 (1936)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-2740>

## **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.

## VI 5

### Beton im deutschen Talsperrenbau.

L'emploi du béton en Allemagne dans la construction des grands barrages.

Use of Concrete in Dam Construction in Germany.

Dr. Ing. Dr. techn. h. c. A. Ludin,  
ord. Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

#### I. Entwicklung des Betonbaues im deutschen Talsperrenwesen.

##### 1. *Betonstaumauern.*

Die erste Staumauer Deutschlands aus Beton, die Dreilägertalsperre im linksrheinischen Schiefergebirge, ist schon 1909—1911 erbaut. Sie kann aber nicht als Vorläufer der neuzeitlichen Betonstaumauern betrachtet werden, denn sie ist in Beton nur errichtet, weil brauchbare Bausteine in wirtschaftlich erreichbarer Entfernung nicht aufzufinden waren. Sie zeigt auch in Bauausführung und Bauweise keinen einzigen der für den neuzeitlichen Betonmauerbau bezeichnenden Züge: hochgesteigerte Mechanisierung, Zerkleinerung guter Bruchsteine zu Zuschlagstoffen, hohen Wasserzementfaktor, aus der Eigenart des Baustoffs entwickelte Dichtungsart und Querschnittsgliederung. Vielmehr ist die Mauer in Stampfbeton und vollkommen den Formen und Grundsätzen der in Deutschland weit verbreiteten, auf Professor *Intze* zurückgehenden rheinisch-westfälischen Bruchsteinbauweise gemäß gebaut. Sie zeigt nämlich: gekrümmten Grundriß, eine wasserseitige Dichtung mit Putz und einen davor angeordneten 0,7 m starken Schutzmantel aus Bruchsteinmauerwerk mit Erdvorlage im unteren Teil; überdies ist der obere Mauerteil (10 m) ganz aus Bruchsteinmauerwerk hergestellt.

Das Bauwerk hat sich trotz einiger Rißbildung, Durchlässigkeit der Stampfschichtfugen und Sinterbildungen an der Luftseite im ganzen nicht schlecht gehalten. Auf die Entwicklung des deutschen Staumauerbaues ist es aber aus den oben angeführten Gründen ohne Einfluß geblieben.

Erst mit der im Jahre 1922 in Angriff genommenen Schwarzenbachtalsperre (Fig. 1) im nördlichen Schwarzwald begann in Deutschland der Bau neuzeitlicher Betontalsperren. Obwohl hier vorzügliche Granitbruchsteine in nächster Nähe der Baustelle anstanden, also eine Ausführung in Bruchsteinmauerwerk nach bisherigen Anschauungen das natürlichste gewesen wäre, entschloß sich doch die Bauherrschaft nach eingehenden Überlegungen zur Ausführung des für damalige Zeit seinen Abmessungen nach sehr bedeutenden Stauwerks in Gußbeton. Entscheidend für diesen Entschluß waren: die erreichbare Abkürzung

der Bauzeit, die Schwierigkeit, wo nicht Unmöglichkeit, damals — wenige Jahre nach dem Weltkriege, die für die Mauerung erforderliche große Zahl (400) tüchtiger Maurer anzuwerben und über die lange Bauzeit an der entlegenen Baustelle zu halten, die gleichzeitig obwaltende Unsicherheit einer einwandfreien Herstellung eines guten, dichten Bruchsteinmauerwerks und schließlich auch die Erwartung einer Kostenersparnis.

Eine aus den Zeitumständen wohl verständliche Anhänglichkeit an die im deutschen Bruchsteinmauerbau seit *Intze* vorzüglich bewährten Gestaltungsgrundsätze führte die Bauherrschaft dazu, die letzten Folgerungen aus dem Übergang zu dem neuen Baustoff nicht zu ziehen. Infolgedessen wurde die

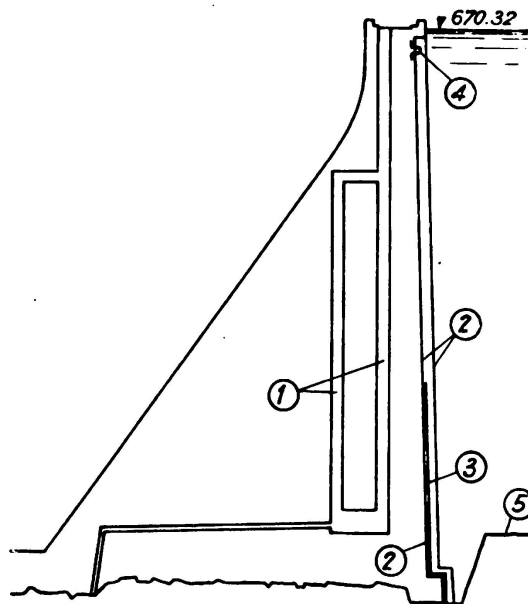
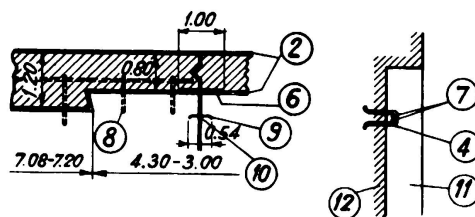


Fig. 1.

Schwarzenbachsperre.

- 1) Besichtigungsschacht.
- 2) Torkret 2,5 cm.
- 3) Pappdichtung.
- 4) Anker (Eisenbügel).
- 5) Fels O. K.
- 6) 3-fache Pappenlage.
- 7) 2 Längseisen 20 mm.
- 8) Bügel (an Krone).
- 9) Kupferblech.
- 10) Teerstrick.
- 11) Mantel.
- 12) Kernmauer.



Wasserseite der Schwarzenbachsperre nicht nur mit Spritzputz (Torkret) und Schutzanstrich abgedichtet, sondern vor diese Dichtungsschicht wurde noch zu ihrem Schutz gegen atmosphärische und mechanische Angriffe ein 0,8 m starker Schutzmantel gelegt, der seinerseits nochmals einen Überzug aus Spritzputz erhielt und mit schwalbenschwanzförmigen lotrechten Verzahnungen unlösbar vor die Kernmauer geheftet ist. Diese von *Intze* eingeführten und in der Folge bei der Mehrzahl der deutschen Bruchsteinmauern mit geringen Verbesserungen beibehaltenen, weitgehenden und an sich sehr wirksamen Schutzmaßnahmen wurden im unteren Drittel der Mauerhöhe bei der Schwarzenbachsperre noch erweitert. Hier wurde anstelle des Schutzanstrichs auf die innere Torkretschicht eine besonders kräftige Isolierschicht aus dreifacher heiß aufgeklebter Asphalt-

pappe aufgetragen. Gegenüber dem sehr weichen und zeitweilig freie Kohlen- säure und Moorsäure führenden Bachwasser des Schwarzwaldes, das den Ab- flüssen skandinavischer Urgesteinsgebiete an zementschädlichen Eigenschaften nichts nachgibt, wollte man bei diesem ersten Versuch der Anwendung des Betons im großen mit Recht jede mögliche Sicherheit schaffen. Natürlich wurde aber die Ausführung durch die mit der Anordnung eines Schutzmantels ver- bundene Notwendigkeit zweimaliger Einschalung der Wasserseite und das schwierigere Gießen der dünnen Schutzmauer erheblich verteuert und er- schwert.<sup>1</sup>

Im gleichen Sinne wirkte sich auch die Verkleidung der Luftseite der Mauer mit 1 m starkem Schichtenmauerwerk aus Granit aus, die in erster Linie aus schönheitlichen Rücksichten angeordnet wurde.

Die Mauer hat trotz ihrer Lage in einem sehr regen- und schneereichen Gebirge (Kronenhöhe 670 m + N.N.) in den 10 Jahren seit Inbetriebnahme keinerlei nennenswerte Ausbesserungen erfordert. Weder Wasser- noch Luft- seite zeigen Schäden. Kleine Kalksinterungen zeigten sich wasserseitig unterhalb der Brüstungsmauern, anscheinend von durchsickernden Niederschlägen her- rührend. An diesen Stellen waren auch kleine Schäden am Schleuderputz aus- zubessern.

Die Sohlen- und Hangdrängung liefert bei vollem Becken insgesamt 1 sl, die in der Mauer nahe der Wasserseite waagrecht eingebauten Fangrohre zusammen 0,4 sl. Angesichts der Höhe und Ausdehnung der Sperre ist dieses Ergebnis sehr gut zu nennen.

Die *Aggertalsperre*, die erste und bisher einzige Gußbetonmauer des Rhein- landes, der Heimat der *Intze'schen* Bruchsteinmauern, zeigt einen wesentlichen Fortschritt gegenüber der nur wenige Jahre älteren Schwarzenbachsperre: die Dichtungsschicht der Wasserseite ist hier, erstmals in Deutschland, in der aus der Natur des Betonmassivbaues entwickelten Form des *Vorsatzbetons* hergestellt, eine Entwässerung ist dahinter *nicht* angebracht. Die Luftseite ist noch, wie bei der Schwarzenbachsperre, mit Bruchsteinen (Grauwacke) verkleidet.

Die von 2 je 76 m hohen Gießtürmen aus durch Rinnen gegossene Mauer hat gedichtete Dehnungsfugen in 30 m Abstand. Die Mauerblöcke zeigen, be- sonders auf den seitlichen Hängen, je 1—2 Querrisse (*Haarrisse*). Der wasser- seitige Vorsatzbeton zeigt leichte Frostschäden. Sickerstellen sind im unteren Begehungsstollen aufgetreten. Die Luftseite der Mauer zeigt, überwiegend im oberen Teil, geringe feuchte Flecken, die im Sommer verschwinden und als deren Ursache Eindringen des Niederschlagwassers von der Krone hinter die nachträglich vor den ausgeschalteten Beton gesetzte Steinverkleidung angenommen wird. Die Sohlenentwässerung führt höchstens (bei vollem Becken) 1,0 sl ab. Die Dehnungsfugen lassen, nach anfänglichem Auftreten einzelner Leckstellen nur geringe Wassermengen durch. Die gesamte höchste Sickerwassermenge ist 3 sl. Ausbesserungsarbeiten waren bis heute an der Mauer nicht nötig.

Die verhältnismäßig niedrige *Zschopau-Talsperre* bei Kriebstein in Sachsen ist als einzige der zahlreichen, meist umfangreichen und z. T. gleichaltrigen sächsischen Staumauern in Beton ausgeführt, der durch Rinnen von Türmen

<sup>1</sup> Vgl. Bautechnik v. 4. VI. 1926.

aus gegossen wurde. Die Entscheidung für den Gußbeton war (wie bei „Schwarzenbach“) das Ergebnis längerer Überlegungen der Bauherrschaft (Sächs. Wasserbauverwaltung).

Die Betonmischung war mit 1 Rtl. Zement : 0,38 Traß : 3,89 Zuschläge ungewöhnlich fett. Sie entspricht, den Traß ungerechnet, 320 kg Zement auf 1 m<sup>3</sup> fertigen Betons.

Die Wasserseite ist dabei noch mit Torkretputz 25 mm stark, Glattstrich und dreifachem Inertolanstrich gedichtet und dahinter entwässert. Die Luftseite ist, erstmals im deutschen Talsperrenbau, unverkleidet gelassen.

Die Mauer zeigt außer Abblätterungen keine Schäden und hat noch keine Ausbesserungsarbeiten erfordert.

Die von Anfang an kleine jahresdurchschnittliche Sickerwassermenge hat seit Inbetriebnahme ständig und stark von 0,14 in 1930 auf 0,026 sl in 1935 abgenommen (Selbstdichtung!).

Am Bau der *Schluchsee- und der Schwarzasperre* im südlichen Schwarzwald sind z. T. dieselben Ingenieure, dieselbe Bauherrschaft (Badenwerk) und dieselbe Bauunternehmung (Siemens-Bauunion) beteiligt gewesen wie beim Bau der Schwarzenbachsperre. Umsomehr bezeichnend für den in wenigen Jahren erfolgten Wandel der Anschauungen ist die völlig andere Herstellungsart dieser Betonmauern. Sie sind nicht mehr aus flüssigem, sondern aus „weichem“ Beton hergestellt, der statt mit Rinnen, mittels Förderband und Kübeln durch 3 Turmdrehkrane eingebracht wurde.

Luft- und Wasserseite sind mit Vorsatzbeton (0,75 bzw. 1,00 m) und 1,50 m stark verkleidet, die Wasserseite außerdem noch mit abgeschiebtem Torkretputz 25 mm stark und zweifachem Intertolanstrich überzogen. Dahinter ist ein Entwässerungsnetz angeordnet. Der Abstand der Dehnungsfugen ist auf 12—15,5 (Schluchsee) und 10—20 m (Schwarza) herabgesetzt.

Ernstliche Schäden weisen beide Sperren weder an der Luft- noch an der Wasserseite auf; oberflächliche Frostschäden am Putz, Ausschaltungsmängel und gerissene Ecken der Arbeitsfugen verunzieren aber nicht unbeträchtliche Teile der beiderseitigen Ansichtsflächen. Die nur bis zur Sohle des unteren Prüfanges herabgeführten Dehnungsfugen haben sich größtenteils nachträglich bis zur Mauersohle herab durch Ribbildung verlängert.

Die *Saaletalsperre* am *Kleinen Bleiloch*, ungefähr gleichzeitig mit Schluchsee- und Schwarzasperre erbaut, ist z. Zt. die höchste deutsche Staumauer (70 m). Sie ist im Gegensatz zu „Schluchsee“ und „Schwarza“ in Gußbeton von einer festen Betonierbrücke aus gegossen, und zwar durch senkrechte Glieder-Fallrohre mit nach dem System der Freifallmischer wirkenden Prellschaufeln mit unten anschließenden kleinen Gießrinnensystemen auf Fliegern üblicher Art. Unter Verzicht auf Vorsatzbeton und Putz an Wasser- und Luftseite wurde die Mauer im Querschnitt einheitlich aus einer dichten Mischung von Portlandzement mit Thurament<sup>2</sup> und gebrochenen Zuschlagstoffen unter dem sehr reichlichen Wasserzusatz von rund 240 l auf 1 m<sup>3</sup> Beton hergestellt.

<sup>2</sup> Thurament ist ein Mörtelzuschlagstoff aus gemahlener basischer Hochofenschlacke, der bei geringer eigener Bindekraft seine Bindemittleigenschaften erst bei Zuschlag von Kalk oder Zement entwickelt; er wird in Thüringen, nahe der Baustelle, erzeugt.

Die Mauer, deren Wärmeentwicklung, Raumänderungen und Blockbewegungen gründlich beobachtet wurden, hat zahlreiche und bedeutende Risse erhalten: bei dem, allerdings großen, Fugenabstand von 25 m sind von 8 Blöcken 4 in der Mitte noch vor dem ersten Einstau strahlig (radial) gerissen. Sie wurden derart gedichtet, daß schwalbenschwanzförmige Nuten an der Wasserseite ausgestemmt, wasserseitig mit Klinkern vermauert und dahinter mit Asbest-Bitumenmasse vergossen wurden. Diese Maßnahme hatte Erfolg. Indes läßt die Dichtigkeit der Mauer doch noch sehr viel zu wünschen übrig, denn die wasserseitig angeordnete Dränung liefert im ganzen 25 sl (bei Vollstau). In einem Block ist der gedichtete Mittelriß nach oben weiter gerissen, so daß Wasser durch ihn unmittelbar in die Dränrohre läuft (bei Vollstau: 16 sl). Man beabsichtigt, die Dichtung dieses Risses zu ergänzen und rechnet dann mit Verminderung der Dränwassermengen.

Sonstige Schäden an den Außenflächen der Bleilochsperre sind seit ihrer Vollendung (1932) nicht aufgetreten.

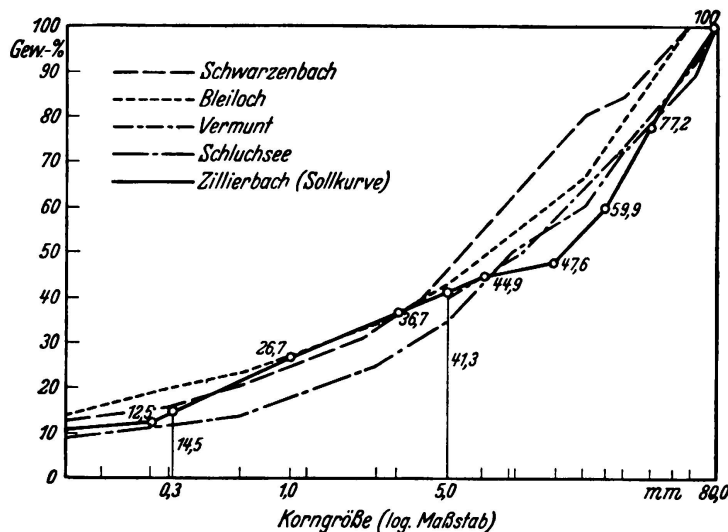


Fig. 2. Vergleich der Siebkurven neuerer Talsperren (einschließlich Bindemittel).

Die Zillierbachsperre im Harz ist erst Ende 1935 fertig geworden. Wenn daher auch Betriebserfahrungen noch nicht vorliegen, verdient dieses Bauwerk doch, näher betrachtet zu werden, da es als kennzeichnend für eine neueste Richtung der Entwicklung des Betonsperrenbaues in Deutschland gelten kann.

Die 47 m hohe und 172 m lange Mauer ist als erste aller deutschen Betonstaumauern ohne Krümmung des Grundrisses angelegt. Ihre Kronenstärke ist mit 2,0 m bemerkenswert gering.

Der Beton wurde aus zerkleinertem Granitporphyr- und Diabasgestein in sorgfältig gewählter und überwachter Kornmischung (Fig. 2) mit 200 kg/m<sup>3</sup> Zement für den Mauerkerne und 300 kg/m<sup>3</sup> Zement für den an Luft- und Wasserseite in 1,0 bzw. 1,2 m Stärke angeordneten Vorsatz hergestellt. Es wurden beiderseits Stahlschalungen verwendet.

Der Wasserzusatz wurde so gewählt, daß der Beton gut plastisch und leicht verarbeitbar war. Dies führte zu einem Wasserzusatz von 160—170 l je m<sup>3</sup> Beton, entsprechend einem Wasserzementfaktor von 0,8 bis 0,85 im Kernbeton. Außer einem anfänglich verwendeten Traßportlandzement mit 30% Traßgehalt wurde später mit einem gleichwertigen Hochofenzement gearbeitet. Eingbracht

wurde der Beton z. T. durch Kippwagen, die durch Rinnen- oder Hosenrohre mit sehr starker Neigung schütteten, überwiegend aber (der Vorsatzbeton ganz) mit Turmdrehkränen aus Kübelwagen. Innerhalb der Schalungen wurde der weiche Beton noch gründlich durch Treten und Stochern durchgearbeitet, so daß eine gleichmäßige, wie ein Sumpf wippende Masse entstand.

Die Dehnungsfugen sind hier nur 12 m von einander entfernt. Die Wasserseite ist durch wagrecht verlegte stark poröse Zementrohre entwässert.

Bei dieser neuesten deutschen Betonsperre hat man demnach bezüglich der Behandlung der Außenflächen Wege beschritten, die in der Richtung großer Vereinfachung und Verbilligung der Konstruktion bei gleichzeitiger höchster

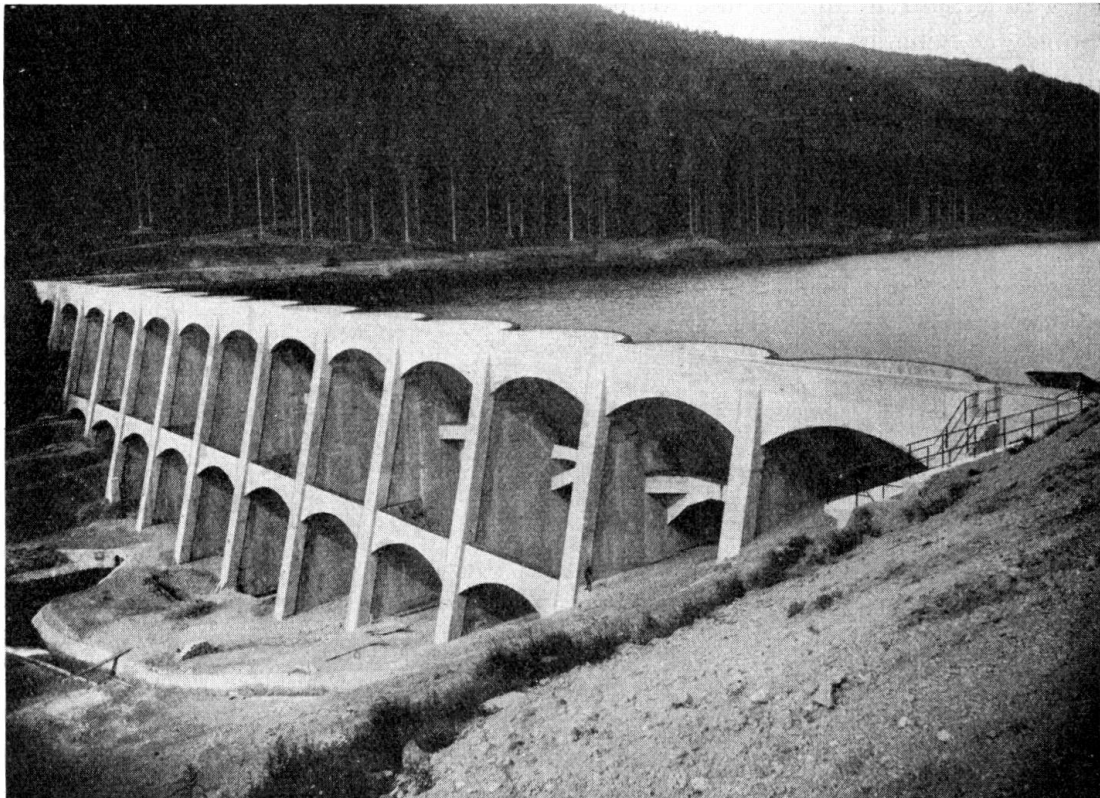


Fig. 3.

Linachtalsperre bei Vöhrenbach.

Steigerung der Güteeigenschaften des Betons hinsichtlich Dichtigkeit und Wetterbeständigkeit liegen.

Im Bau begriffen sind als jüngste Betonsperren Deutschlands die Talsperren Hohenwarte unterhalb der Saaletalsperre und die Lütchetalsperre bei Oberhof in Thüringen.

Die *Talsperre Hohenwarte* erhält eine Höhe von 75 m über der Sohle des Mauerwerks bei einer Kronenlänge von 450 m. Der Beton wird in einheitlicher Mischung für die ganze Mauer hergestellt. Als Bindemittel wird ein Gemisch aus 60 % Traßportlandzement 40/60 und 40 % Thurament mit zusammen 285 kg je m<sup>3</sup> Fertigbeton gewählt. Die Zuschlagstoffe sind Granit mit einer größtzulässigen Körnung von 100 mm. Der Beton wird als Weichbeton verarbeitet und

mit Kabelkränen eingebracht. Der Einbau einer Kühlanlage in den Beton ist beabsichtigt, um die bei dem Abbindeprozeß freiwerdende Wärme abzuleiten. Mit den Betonierungsarbeiten war bei Abfassen dieses Berichtes noch nicht begonnen.

Die Außenflächen der Mauer erhalten weder Putz noch Anstrich. Der zur Ausführung gelangende Beton soll genügend wasserdicht sein. Zur Ableitung des eindringenden Sickerwassers ist wasserseitig eine Dränung im Mauerwerk vorgesehen.

Die *Lütschetalsperre* erreicht von der Mauersohle bis zur Krone eine Höhe von 35 m und hat eine Kronenlänge von 210 m. Für die Betonherstellung wird als Bindemittel nur Portlandzement ohne Zusatz eines hydraulischen Bindemittels wie Traß, Thurament usw. verwendet, und zwar werden für den Kernbeton 240 kg/m<sup>3</sup> und für den 1 m starken Vorsatzbeton an der Wasser- und Luftseite 300 kg/m<sup>3</sup> Zement verarbeitet. Die Zuschlagstoffe sind Porphyr mit einer Körnung bis zu 70 mm. Auch hier wird wie bei der Hohenwartalsperre der Beton als Weichbeton mit Kabelkran eingebracht und durch Eintreten und Stochern verdichtet.

Außer dem erwähnten Vorsatzbeton ist eine weitere Behandlung der Außenflächen zur Erhöhung der Dichtigkeit gegen eindringendes Wasser nicht vorgesehen. Zur Ableitung der Sickerwasser wird an der Wasserseite ein Netz von Entwässerungsrohren eingebaut.

Die *Linach-Talsperre* bei *Vöhrenbach* (Badischer Schwarzwald) (Fig. 3) ist die einzige *Pfeilerstaumauer* (mit Gewölbereihen) in Eisenbetonbauweise Deutschlands. Sie ist in Stampfbeton weicher, der dichten Bewehrung angepaßter Beschaffenheit hergestellt. Die wasserseitigen Gewölberücken sind mit Torkreputz und mehrfachem Schutzanstrich überzogen.

Das Bauwerk ist in allen Teilen, mit Ausnahme einiger Stellen der Gründungsfuge, die lecken, sehr gut dicht und zeigt keinerlei Schäden. Wenn die Bauweise in Deutschland bisher nicht mehr Aufnahme gefunden hat, so hängt dies damit zusammen, daß infolge ihres höheren Masseneinheitspreises und schwierigeren Herstellung die mögliche Kostenersparnis in engen Grenzen blieb.

## 2. Geschüttete Dämme mit Betonkernmauer.

Man fand in der Folge größere Ersparnismöglichkeiten in der zuerst in Nordamerika vereinzelt angewandten Bauform des gewalzten Stein-Erddammes mit wasserdichter Kernmauer und entwickelte dessen Bauweise in zahlreichen Ausführungen neuester Zeit eigenartig weiter.

Fig. 4.

Sorpetalsperre, Querschnitt (siehe Deutsche Wasserwirtschaft, März 1932, S. 42, Abb. 1).

Die *Sorpetalsperre* (Fig. 4) im Ruhrgebiet und die beiden Harztalsperren im *Söse-* und im *Odertal* sowie die erst 1935 vollendete *Kalltalsperre* (Fig. 5) zeigen die ursprüngliche Grundform dieser Talsperrenart. Die schlanke Kernmauer ist durch Dehnungsfugen in Blöcke von 24 (Sorpe) bis 20 und 15 m (Kalltalsperre) unterteilt (größerer Abstand als bei Gewichtsmauern erschien zulässig, da die Kernmauern in Erde eingebettet werden).



Die Kernmauer der Sorpetalsperre ist je cbm in der Mischung 180 kg Hochofenzement, 60 kg künstlicher Traßkalk, 1890 kg Zuschlagstoffe von 0 bis 60 mm Korngröße mit einem Wasserzementfaktor = 1,0 hergestellt. Die Wasserseite trägt 0,50 m Vorsatzbeton der Mischung 225 kg Hochofenzement, 75 kg Traßkalk und gleicher Zuschlag. Für den Verguß der Blockfugen durch eingreifende Betonprismen wurden dem cbm Beton 250 kg Hochofenzement und 83 kg Traßkalk zugesetzt. Auf den Vorsatzbeton ist ein Torkreputz und darauf ein mehrfacher Schutzanstrich aufgebracht. Im Innern der Kernmauer ist ein Netz von senkrechten Entwässerungsrohren eingebaut, die nach dem am Mauerfuß luftseitig vorgebauten Prüfgang herausgeführt sind. Die Sorpekernmauer ist ausgezeichnet dicht, allerdings ist die volle Stauhöhe noch nicht erreicht worden (Überjahresspeicher!).

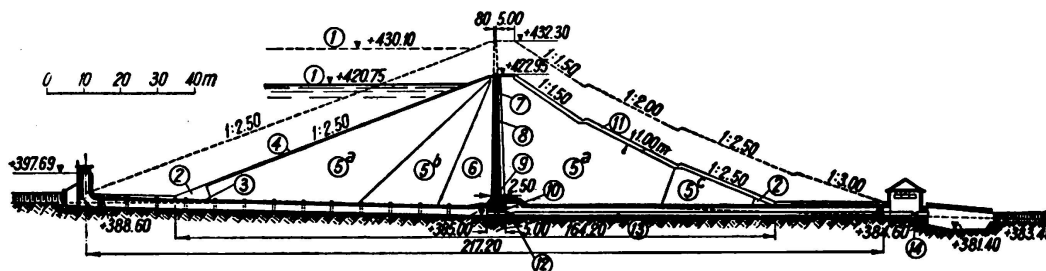


Fig. 5.

Kalltalsperre. Querschnitt in der Achse des Grundablasses.

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1) H. W. Ueberlauf.           | 7) Schotter.   |
| 2) Bruchsteinpackung.         | 8) Betonkern.  |
| 3) Felslage.                  | 9) Gleitfuge.  |
| 4) Steinpackung 0,60 m.       | 10) Kontrollgang.  |
| 5a) Steinschüttung grob.      | 11) Humusdecke mit Rasen.                                    |
| 5b) Steinschüttung fein.      | 12) Drosselklappe (schließt sich selbsttätig bei Rohrbruch). |
| 5c) Steinschüttung sehr grob. | 13) 2 Rohre 650 und 1100 mm $\Phi$ .                         |
| 6) Verwitterungslehm.         | 14) Ringschieber.  |

Die grundsätzliche konstruktive Schwierigkeit der Bauweise liegt darin, daß die schwache Kernmauer der Stützung durch den passiven Erddruck der luftseitigen Dammschüttung bedarf, um dem Wasser- und Erddruck der anderen Dammseite Widerstand leisten zu können. Das Auftreten dieses passiven Erddrucks setzt aber eine gewisse Bewegung der Mauer voraus, die, wie es scheint, nicht ohne Überanstrengung des Baustoffs vor sich gehen kann.

Man hat dem durch Einbau von Fugen nahe der Mauersohle zu begegnen versucht (Söse-, Oder-, Kalltalsperre). Diese Fugen sind als reine Kipp-, reine Gleit- und auch als Kipp-Gleitfugen ausgebildet worden. Die Ausbildung beschränkt sich auf eine leicht gekrümmte und auch leicht geneigte Formgebung und Aufbringen einer Zwischenlage von zähem Asphalt, auch in Verbindung mit Gleitblechunterlagen (Kalltalsperre). Ein abschließendes Urteil über die Bewährung dieser Bauweise ist noch nicht möglich.<sup>3</sup>

Die neuere Entwicklung dieser deutschen Kernmauerdämme geht — wenigstens versuchsweise — dahin, die starre Betonmauer durch eine nachgiebigere Stahl-

<sup>3</sup> Der Talsperrenausschuß des Reichsverbandes der Deutschen Wasserwirtschaft bereitet eine wissenschaftliche Veröffentlichung darüber vor.

wand zu ersetzen, wobei als Betonanwendung nur noch eine mäßig, neuerdings sogar nur wenige Meter hohe, den Anschluß an den Grundfelsen vermittelnde Fußmauer übrig bleibt. Bei der *Ruhrtalsperre* bei *Schwammenauel* ist die der Oberwasserböschung gleich gerichtete Stahlwand aus wagrechten Spundwandbohlen hergestellt, bei der neuen *Bevertalsperre* (Rheinland) ist die Stahlwand senkrecht gestellt und aus großwelligen Blechen von 8 mm Stärke zusammengeschweißt.

Über die Bewährung dieser ganz neuen, z. T. noch im Bau befindlichen Staudämme liegen noch keine Erfahrungen vor.

## II. Erfahrungen und Anschauungen über die wichtigsten schwebenden Fragen des Betonbaues im deutschen Talsperrenwesen.

### *Vorbemerkung.*

Vielleicht mehr als irgendwo anders im Bauwesen sind die Bauentscheidungen und -erfahrungen im Talsperrenbau orts- und zeitgebunden. Klimatische, hydro- und geologische sowie morphologische Verhältnisse, von Ort zu Ort verschieden, beeinflussen in hohem Maße die Ansprüche an den Beton und die Möglichkeiten seiner Zusammensetzung, Herstellung und Einbringung. Wichtige bauwirtschaftliche Umstände wie Lohnhöhe, Vorhandensein gelernter Arbeiter, Rohstoffkosten können zeitlich wechselnde Einflüsse ausüben. Diese Vorbemerkung gilt auch für alles Nachstehende.

### 1. *Bereitung und Verarbeitung des Betons.*

Die *Zuschlagstoffe* mußten auch im deutschen Talsperrenbau meist durch Zerkleinern gebrochenen Gesteins gewonnen werden, was vereinzelt und nur insofern zu Schwierigkeiten geführt hat, als der Steinbruch für die verlangten Leistungen zu klein angelegt war oder im Laufe der Ausbeutung infolge Auffahrens schlechter Schichten versagte.

Der Kornform und -Größenabstufung wurde von jeher die Beachtung geschenkt, die ihr nach ihrem starken Einfluß auf Festigkeit, Dichtigkeit und damit Raumgewicht des Betons zukommt. Als Beurteilungsmaßstab wurde bisher durchweg die stetig verlaufende Kornverteilungslinie (und zwar nach *Graf*) gewählt (Fig. 2), wobei das Größtkorn so hoch, als das Einbringungsgerät erlaubte und mit der Zeit immer größer gewählt wurde. Bleilochsperre: 60, Schluchsee und Zillierbach: 80; Ausschreibung der Saaletalsperre bei Hohenwarte (im Bau): 100 mm.

Mehrfach wurden Einlageblöcke (Sparsteine) in den weichen Beton eingebettet — Schwarzenbach bis zu 2 cbm (praktisch meist nur bis zu 1,5 cbm große Blöcke, Mindestgröße: 0,1 cbm) und im durchschnittlichen Raumanteil von 20 %. Als technisch zulässiges Höchstmaß ergaben sich (nach *Heintze*<sup>4</sup>) 30 und als wirtschaftliches Maß 25 %. Diese, auch wieder bei Schluchsee und Schwarzenbach angewandten Steineinlagen senken den Bindemittelbedarf der Mauer, erhöhen die Wasserdichtigkeit, Raumbeständigkeit und das Raumgewicht des Betons, wodurch die nötigen Querschnittsabmessungen verringert werden, sie verbessern in sehr erwünschter Weise den Verband in den waagrechten Arbeitsfugen und ersparen dabei anderweitige, Geld kostende Verzahnungsmaßnahmen. Sie ermög-

<sup>4</sup> Bautechnik vom 26. November 1926.

lichen auch eine Verminderung des Geräteinsatzes für das Bereiten der Zuschlagstoffe und des Betons, verlangen aber besondere Einrichtungen für ihr Waschen und Einbringen, wobei aber in Geld ausgedrückt die Ersparnisse überwiegen. Das Einbringen der Einlagesteine erschwert andererseits in gewissem Grade den Hauptbaubetrieb. Alles in allem ist aber unter Verhältnissen wie bei Schwarzenbach das Verfahren überwiegend vorteilhaft und zu empfehlen. Unerläßliche Voraussetzung ist dabei geeignete Beschaffenheit (Form und Rissefreiheit) der im Bruch anfallenden Blöcke. Die norddeutschen Talsperrenbaustellen erfüllten diese Voraussetzung meist nicht.

Denselben Grundgedanken wie das Einbringen von Großblöcken verfolgt in anderer Richtung der u. a. besonders von der „österreichischen Schule“ vertretene Vorschlag<sup>5</sup> der Verwendung von Ausfallkörnungen, die eine un stetige, treppen förmige Kornverteilungslinie haben. Nicht rein, aber doch unverkennbar angedeutet, ist dieser Gedanke in Deutschland erstmals bei der Zillierbachsperre angewandt worden<sup>6</sup> (Fig. 2).

Das Brechgut wurde hier zunächst in fünf Korngruppen: 0—3, 3—7, 7—15, 15—40, 40—80 mm zerlegt, worauf von der Gruppe 7—15 mm der größte Teil abgefangen und in einer Sandmühle weiter zerkleinert wurde, sodaß ein gleichmäßiger Sandanfall von 17 % entstand. Der restliche Sandbedarf wurde durch Zugabe von Naturgrubensand gedeckt, der mit der Bahn bezogen wurde. Die Korngruppen werden erst unmittelbar vor der Beschickung des Betonmischers zusammengebracht. Das Korn von 80 mm war durch Vorversuche als das größt zulässige ermittelt, weil in den gröbereren Massen sich viel angeknackte Stücke fanden, welche die Betonfestigkeit herabsetzten.

In der Beurteilung des Gehaltes an feinsten Kornbestandteilen stehen sich zwei Anschauungen gegenüber.

Überwiegend wurde bisher die porenfüllende Wirkung des Steinmehls betont und manchmal sogar so geschätzt, daß bei geringem Anfall an Steinmehl solches noch zusätzlich durch Mahlen erzeugt und als „Zementersatz“ zugegeben wurde. Von anderen deutschen Ingenieuren wurde aber auch schon von jeher die „magernde“ Wirkung des Steinmehls erkannt, die bedingt ist durch seine große spezifische Oberfläche. Am klarsten ist diese Wirkung von der „österreichischen Schule“ erkannt und behandelt worden. *Spindel*-Wien betont seit langem die schädliche, auflockernde Wirkung aller Steinmehlkörner kleiner als das 5—7fache des Zementkorndurchmessers<sup>7</sup>. Diese Anwendung des Grundgedankens der Ausfallkörnung auf das Gemisch: Bindemittel plus Sand ( $d = 0,2—7$  mm) hat ihre Bedeutung für den Aufbau eines dichten und wetterbeständigen Betons in ausgedehnten Prüfraumversuchen, vor allem aber bei den Großanwendungen an neueren Staumauern im österreichischen Hochgebirge (Spullersee, zwei Mauern über 1800 m hoch, Inbetriebnahme: 1925; Vermuntsperre, über 1700 m hoch<sup>8</sup>) unter schärfsten klimatischen Bedingungen erwiesen.

<sup>5</sup> *O. Stern*: „Neue Grundlagen der Betonzusammensetzung“, Z.Oe.I.A.V. 1930, Heft 31/32.

<sup>6</sup> *Forner* in *Der Bauingenieur* vom 29. Mai 1936.

<sup>7</sup> *Spindel*: Wasserdichter und beständiger Beton für Sperrmauern. *Beton und Eisen* vom 5. Oktober 1932. Siehe auch *Tonindustriezeitung* 1913, Nr. 66 und *Wasserwirtschaft-Wien*, 1933, Nr. 17/19 und 1935, Nr. 14/15.

<sup>8</sup> Vgl. *B. Widmann*-Berlin in *Deutsche Wasserwirtschaft*, 1. Juli 1935.

*Bindemittel:* Von den für Auswahl und Bemessung der Bindemittel maßgebenden Forderungen stehen im deutschen Staumauerbau mit seinen mäßigen Stauhöhen diejenigen der Raumbeständigkeit, Dichtigkeit, Wetterbeständigkeit und chemischen Widerstandsfähigkeit im Vordergrund, da diejenige der mechanischen Festigkeit sich immer leicht erfüllen lassen wird (bei den Damm-Kernmauern ist das Verhältnis ein etwas anderes!). Daher hat man anfänglich (in Anknüpfung an die von *Intze* und seinen Mitarbeitern bevorzugte Mörtelbildung der Bruchsteinstaumauern aus Fettkalk und Traß) versucht, einen möglichst billigen und doch bindemittelreichen Beton durch Mischung von Portlandzement, Kalk und Traß zu schaffen. Man ist aber bei der Schwarzenbachsperre noch im Laufe der Bauzeit von der Mitverwendung von Kalk abgegangen, wohl weil sie als un bequem empfunden wurde und die Abbindezeit verlängerte. Seither ist Kalk als Betonbindemittel im deutschen Staumauerbau nicht mehr verwendet worden.<sup>9</sup> Dagegen wurde Traß allein als zementverbessernder oder verbilligender (an sich bekanntlich nicht bindefähiger) Zusatz auch weiterhin vielfach angewandt. Der wirtschaftliche Erfolg hängt stark von der Verkehrslage zu den Traßgewinnungsgenden (Rheinland und Bayern) ab und ist bestenfalls nur mäßig groß. Was die Güteerhöhung des Betons anbelangt, so ist die im Prüfraum nachgewiesene Erhöhung der Elastizität und Zugfestigkeit des Mörtels in Gewichtsstaumauern nicht von entscheidender Bedeutung. Das Quellen des Betons wird durch Traßzusatz erhöht, das Schwinden nicht herabgesetzt, manchmal, infolge des größeren Wasserbedarfs des Zementtraßbetons, auch erhöht. Über die Herabsetzung der Abbindewärme durch Traßzusatz sind die Meinungen noch geteilt. Als wertvolle Eigenschaft des Trasses wird allgemein seine Fähigkeit, überschüssigen Kalk des Zementes zu binden und den Beton leichter verarbeitbar zu machen, anerkannt.

Die heutige Praxis des deutschen Staumauerbaues zeigt keine ganz einheitliche Haltung (auch bei gleicher Verkehrslage) gegenüber dem Traß. Ein künstlicher Traßersatz, Mehl von basischer Hochofenschlacke, wurde als „Thurament“ bei der Bleilochtalsperre verwendet.

Die bei Verwendung von Traß und dergl. notwendige Vormischung der Bindemittel wird mehr und mehr durch das güteverbessernde fabrikmäßige Herstellen von Traßportlandzement („Trapo“) ersetzt.

Bei angreifender (sehr weicher) Beschaffenheit des Flußwassers wurde wiederholt auch *Hochofenzement* verwendet (Schluchsee, Schwarzta), der seine Aufgabe nach bisherigen Beobachtungen gut erfüllt hat, allerdings zeigt das Sickerwasser der Schluchseesperren starken Kalkgehalt; die noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen erlauben aber kein endgültiges Urteil.

*Tonerdezement* wurde bei einer kleinen Staumauer im südlichen Schwarzwalde, deren ursprünglicher (von der Ausführung her von Anfang an mangelhafter) Portlandzementbeton durch das sehr weiche Wasser bereits innerhalb vier Jahren angegriffen war, zum Ausflicken und Verputzen verwendet. Es zeigten sich aber bald Treiberscheinungen (fortdauerndes Abschuppen). Inzwischen anderweitig angestellte wissenschaftliche Untersuchungen bestätigten, daß Tonerdezement im Wasser nicht raumbeständig ist.

<sup>9</sup> Wohl aber im verwandten Schleusenbau! Vgl. *K. Ostendorf* in *Die Bautechnik* 1927, Heft 39.

In Bezug auf die *Mahlfeinheit* der Bindemittel wurde neuerdings die Forderung nach Verschärfung der Normen im Sinne Ersatzes des 900-Maschensiebes durch das 3600-Maschensieb erhoben. Sicherlich würde diese Verbesserung in Verbindung mit angemessener Begrenzung des Feinsten im Zuschlagstoff die Herstellung praktisch dichter und wetterbeständiger Mörtel- und Betonflächen ungemein fördern.

*Wasserzusatz:* Die nachteilige Wirkung zu hohen Wasserzusatzes auf Reißsicherheit und Dichte des Gußbetons ist auch im deutschen Talsperrenbau bald erkannt worden.

Man verwendet allgemein seit dem Bau der Schluchsee- und Schwarzasperr (einschl.) den Beton nur noch in „weicher“ („plastischer“) Beschaffenheit; hierbei sind allerdings in der Einschätzung des praktisch vorteilhaftesten Wasser-

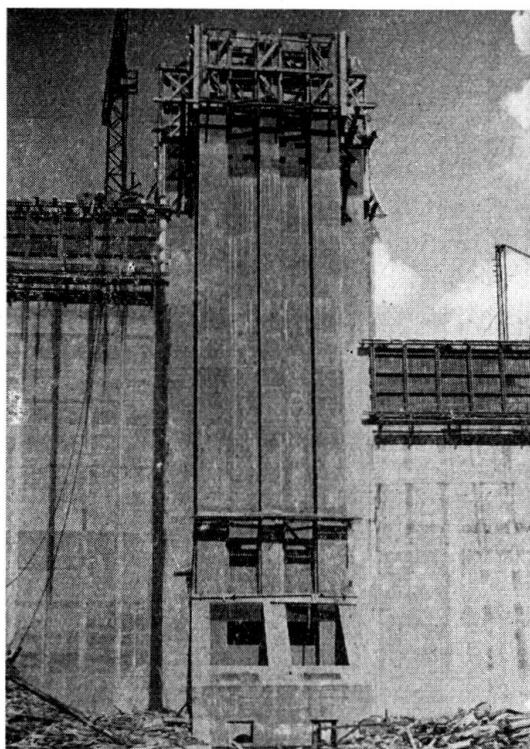


Fig. 6.  
Zillierbachsperre.  
Ansicht von der Luftseite.

gehaltes innerhalb des dadurch eröffneten weiten Spielraums zwischen Gußbeton und erdfeuchtem Stampfbeton noch wesentliche Meinungsverschiedenheiten auch in neuester Zeit festzustellen. Während bei einer der jüngsten Ausschreibungen ein Weichbeton mit Gießfähigkeit in Rinnen von mindestens  $27^{\circ}$  Neigung (1:2) vorgeschrieben wurde, steht eine Gruppe deutscher Ingenieure auf dem Standpunkte, daß der Wassergehalt auf den nach den sonstigen Bedingungen des Bauwerks gegebenen Kleinstwert herabzusetzen und auch Anwendung von mäßiger Stampfarbeit angebracht sei. Nach diesen letzteren Grundsätzen ist von diesen Ingenieuren die im österreichischen Hochgebirge gelegene Vermuntsperr mit vorzüglichem Erfolg in reiner Betonbauweise und Mischungen von „gut erdfeucht“ im Kern, mit  $Z. 150 \text{ kg/m}^3$  bis „stampffähig plastisch“ im Vorsatzbeton mit  $Z. 250$  und  $300 \text{ kg/m}^3$  ausgeführt worden. Bei aller somit z. Zt. noch vorhandenen Verschiedenheit der Beurteilung ist man sich aber darin einig, daß die

Steife des Betons nicht mehr nach den Anforderungen des Einbringegerätes, sondern umgekehrt dieses nach dem von der Gesamtheit der Bauwerksbeanspruchungen vorgezeichneten günstigsten Steifegrad zu wählen ist.

*Misch- und Einbringungsverfahren:* Das Mischverfahren ist seit längerem im deutschen Talsperrenbau weitgehend zwangsläufig gestaltet, indem für Bindemittel, Zuschläge und Wasser selbsttätig arbeitende, nach Bedarf einstellbare Wiege- bzw. (für Wasser) Abmeßeinrichtungen verwendet werden.<sup>10</sup> Durchlaufend (kontinuierlich) arbeitende Mischmaschinen werden oft nicht zugelassen. Die Mischdauer wird möglichst kurz gewählt. Bei der Zillierbachsperre war sie nur  $\frac{3}{4}$  bis 1 Minute (Spieldauer im Ganzen 3 Minuten); der erzeugte Beton war dabei in jeder Beziehung vorzüglich (Fig. 6).

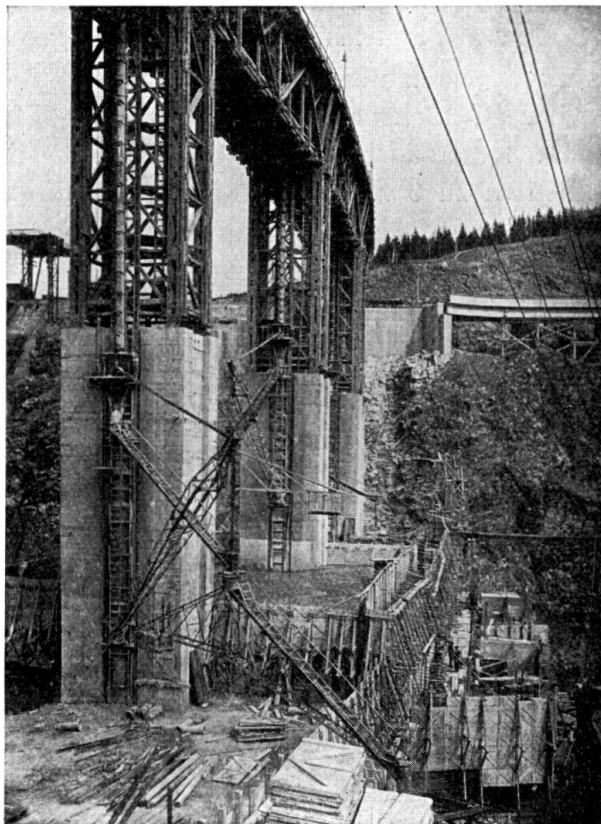


Fig. 7.  
Saaletalsperre.  
Gießeinrichtung mit  
Fallrohren und Gieß-  
fliegern.

Die Verbindung zwischen Betonwerk und Sperrmauer wird heute durch Kabelbahnen (Schwarzenbachsperre und neuerdings wieder bei den im Bau befindlichen Sperren Hohenwarte und Lütsche) oder durch Rollbahnen oder Förderbänder hergestellt, die entweder auf Pfeilern über der künftigen Kronenhöhe der Mauer laufen (Bleiloch,<sup>11</sup> Zillierbach) oder vor dem luftseitigen Mauerfuß aufgestellte Aufzugstürme speisen, an denen, der Höhe nach verstellbar und schwenkbar, kurze Rinnensysteme oder Förderbänder (Vermunt<sup>12</sup>) aufgehängt sind; auch

<sup>10</sup> O. Graf in Bautechnik, 10. Mai 1929.

<sup>11</sup> W. Kesselheim in Bauingenieur 1932, Heft 13/16.

<sup>12</sup> Habild in Z.V.D.I., 20. Juni 1931 und Widmann in Deutsche Wasserwirtschaft 1935, Heft 7.

Turmdrehkrane mit Kübeln (Zillierbach) wurden verwendet. Da der beschränkte Raum eine gründlichere Darstellung der sehr vielseitigen und umfangreichen Anordnungen verbietet, sei als einzige Besonderheit die Verwendung von senkrechten gegliederten Fallrohren<sup>11</sup> an der hochliegenden Arbeitsbrücke der Bleilochtalsperre erwähnt; hier wurde bei einer Fallhöhe von bis zu 40 m die Entmischungsfahr durch im Innern versetzt angeordnete Prellschaufeln völlig vermieden, die nach Art der Freifallmischer wirkten. Diese Fallrohre speisten zwei- bis dreigliedrige an den Pfeilern der Dienstbrücke aufgehängte Gießflieger. (Fig. 7.)

Die *Betonpumpe* ist im deutschen Talsperrenbau bisher noch nicht verwendet worden, wohl aber mit Erfolg bei anderen Betonausführungen, wobei ein Größtkorn bis zu 80 mm verwendet wurde.<sup>13</sup> Der Wasserzusatz mußte dabei so sein, daß der Beton „plastisch“ am Ende der Rohrleitung herausquoll. Als waagrechte Förderlänge wurden 250 m anstandslos erreicht.

Die Fortschrittsleistungen erreichten bei diesen neueren Einrichtungen beachtenswerte Höhen. Bei der Bleilochsperre z. B. (210 000 m<sup>3</sup> Beton) erreichte die Monatsleistung (einschl. Krafthausbau) 29 600 m<sup>3</sup>, die Tagesspitzenleistung: 1540 m<sup>3</sup> (bei zwei Schichten zu 9 Stunden). An der Vermuntsperr (145 000 m<sup>3</sup> Stampfbeton) erreichte man eine Monatsleistung von 28 600 m<sup>3</sup> und eine Tagespitze von 1960 m<sup>3</sup> (bei 20 Stunden Arbeitszeit).

Die *Blockeinteilung* und Verzahnung sowie Blockgießhöhe wird im deutschen Talsperrenbau ähnlich wie im Ausland gehandhabt. Bemerkenswert ist die Erfahrung, daß vollkommen rechteckige Ausbildung der Grundrißverzahnung der Dehnungsfugen vereinzelt zum schrägen Abreißen (Abscheren) der Kanten geführt hat (Feststellung an der Luftseite, wo diese senkrechten Kanten ausbeißen). Die verschiedentlich ausgesprochene Empfehlung einer schwach trapezförmigen Ausbildung der Grundriß- und sonstigen Verzahnungen wird hierdurch gestützt.

Der Abstand der bleibenden *Dehnungsfugen* ist von 30 und 25 m (bei Agger, Schwarzenbach, Bleiloch) bald auf geringere Maße (Schluchsee 15,5—12, Schwarza 20—10, Zillierbach 12 m) herabgemindert worden. Bei der Agger- und Bleilochsperre sind durchgehende Risse aufgetreten. Bei der Schwarzenbachsperre ist unbestimmt (wegen der beiderseitigen Verkleidung), ob Risse aufgetreten oder durch die verbessernde Wirkung der Blockeinlagen (20 % weniger Betongehalt) verhütet sind.

Bei Schluchsee hat es sich gezeigt, daß Dehnungsfugen, die nicht bis zur Bauwerkssohle reichen, sich durch Nachreißen bis dahin verlängern. In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, daß die Risse der Aggertalsperre (Fig. 8) von der Sohle ausgehen, aber nicht bis zur Krone reichen. Diese, der Theorie der Bildung von Rissen in geraden Mauern widersprechende Erscheinung ist wohl durch die gekrümmte Grundrißanordnung der Aggersperre und die stärkere Erwärmung und langsamere Wärmeabgabe des dicken unteren Mauerteils zu erklären. Erwähnenswert, aber leicht zu erklären ist auch, daß Risse mit Vorliebe von Hohlräumen, Gängen, die quer zur Mauerachse laufen, ausgehen (Dreilägertalsperre). In diesem Zusammenhang darf nicht unerwähnt bleiben, daß auch einige der neueren deutschen Bruchsteinmauern Risse und einige andere erheb-

<sup>13</sup> Heidorn in Bauingenieur 1930, Heft 22.

liche Undichtigkeiten zeigen.<sup>14</sup> Diese Mauern haben allerdings außer dem gekrümmten Grundriß mit einer Ausnahme keine weiteren Schutzmaßnahmen (Fugen) gegen Rißbildung.

Die Abdichtung der Dehnungsfugen kann hier wegen Raummangel nur andeutungsweise behandelt werden; zumal sie keine grundsätzlichen Unterschiede gegenüber ausländischen ähnlichen Ausführungen zeigt.

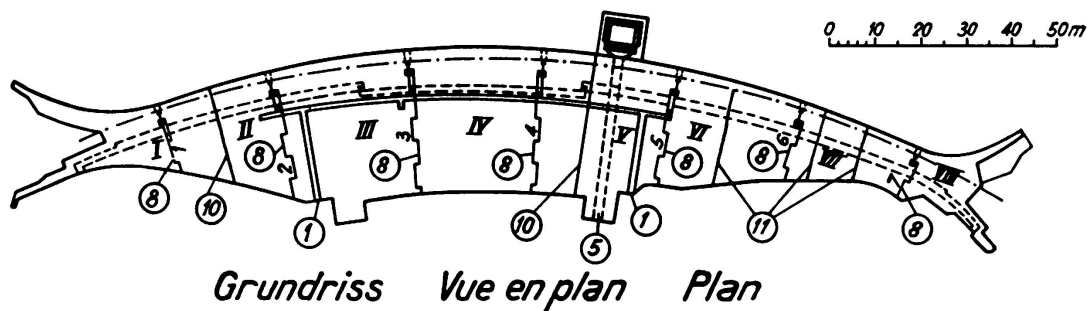
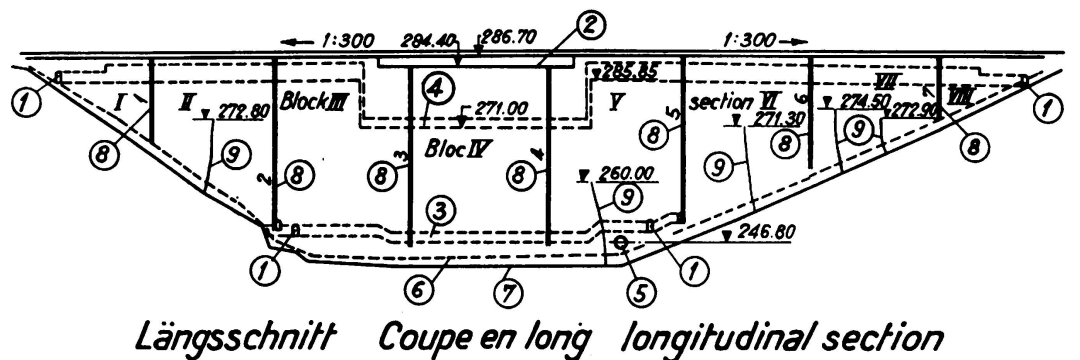


Fig. 8.

Aggertalsperre. Risse und Fugen.

- |                             |                                |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 1) Stolleneingang.          | 7) Felssohle.                  |
| 2) Überfall.                | 8) Fuge.                       |
| 3) Begehungsstollen.        | 9) Riß.                        |
| 4) Oberer Begehungsstollen. | 10) Festgestellter Rißverlauf. |
| 5) Entnahme.                | 11) Vermutlicher Rißverlauf.   |
| 6) Felsoberkante.           |                                |

Die viel verwendete Kupferblechdichtung mit Asphaltverguß wurde bald in der Lyraform, bald in der Z-Form (Schluchsee) eingebaut. Dabei wurde mehrfach noch als zweites Dichtungsorgan ein senkrechter Eisenbetonbalken von schwalbenschwanzartigem Querschnitt vorgeschaltet. Die mit dem Einbau der Kupferbleche verbundenen Schwierigkeiten haben mehrfach dazu geführt, daß der umgebende „hochwertige“ Beton in der Ausführung undicht ausgefallen ist. Der Erbauer der Zillierbachsperre hat daher auf Grund seiner dortigen Erfahrungen eine das Aufstellen und den Einbau der Dichtung erleichternde feste Verbindung einer eisernen verlorenen Schachtschalung (aus Blechen und Winkeln) mit dem

<sup>14</sup> Vgl. Ludin, Bericht über die Außenflächen der deutschen Staumauern, Weltkraftkonferenz, Washington 1936, Talsperren-Kongreß.



Dichtungsblech vorgeschlagen,<sup>15</sup> die geeignet erscheint, die Schwierigkeiten zu lösen (Fig. 9). Ein ausführlicher Sonderbericht über Dehnungsfugen ist von

Fig. 9.

Dichtungsblech mit eingebautem Kasten (siehe Deutsche Wasserwirtschaft, August 1936, Aufsatz Forner. Abb. 2).

*Link* für den Internationalen Talsperrenkongreß der Weltkraftkonferenz, Washington 1936, erstattet.

*Schalung*: Noch bei der Zillierbachsperre wurde die Erfahrung gemacht, daß die Stahlschalung zu schwach berechnet war, weil der Baubetrieb ein schnelleres

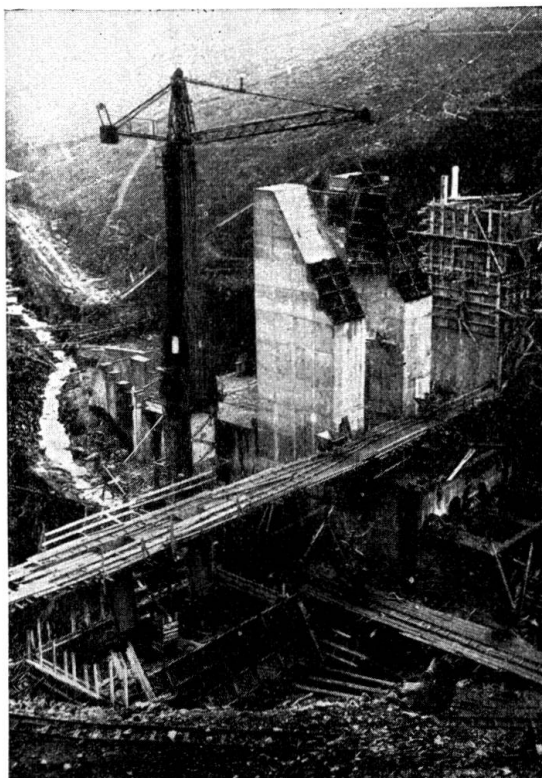


Fig. 10.  
Zillierbachsperre,  
Ansetzen der  
Stahlschalung.

Hochführen der Blöcke erforderte, als vorausgesetzt war, und weil der langsam abbindende Hochofenzement-Weichbeton stärkeren Seitendruck als angenommen ausübte. Stahlschalung wurde hier nur an den Außenflächen, wo es auf höchste Flächensauberkeit und Dichtigkeit ankam, verwendet, wie Fig. 10 zeigt, mit bestem Erfolg. Für die Blockflächen im Mauerinnern wurde eine (der Bauunternehmung patentierte) reine Holzschalung (Rahmen von 3,3 auf 3,0 m Ausmaß mit Querrippen) verwendet, die sich sehr bewährt hat, weil sie sicher und schnell umsetzbar war. Als sehr wichtig erwies sich eine sorgfältige Anordnung und Überwachung der Absteifung oder Verankerung der Schalungen, mit Rücksicht auf plangetreues Herauskommen der, namentlich äußeren, Flächen.

Die *Nachbehandlung* durch Feucht-Abdecken, Berieseln und dergleichen wird

<sup>15</sup> Deutsche Wasserwirtschaft, August 1936.

in neuerer Zeit auf Grund der Erfahrungen sehr bewertet. Bei der Ausschreibung der neuen Saaletalsperre bei Hohenwarte z. B. wird dauernde Berieselung der ausgeschalteten Blöcke während 2—3 Monaten verlangt. Kühleinrichtungen zur Senkung der Abbinde­temperatur der großen Blöcke sind bisher nicht angewandt worden, aber bei der Hohenwartesperre vorgesehen. Außerdem plant man hier neuartigerweise eine Temperiereinrichtung im Betonwerk, durch die eine über das ganze Baujahr gleichbleibende Einbringungstemperatur des Betons gesichert werden soll.

## 2. Oberflächenbehandlung und -Verkleidung, Schutz, Dichtung und Entwässerung des Betons.

Eine Verkleidung der Luftseite mit Natursteinen ist außer bei der Schwarzenbach- und Aggertalsperre sowie der kleinen Brändbachsperre nicht mehr angewandt worden. Wesentliche Frost- und Verwitterungsschäden sind auch an den älteren Betonstau­mauern mit unverkleideter Luftseite (Schluchsee, Bleiloch) nicht festzustellen. Dasselbe gilt von der Wasserseite, die allein bei der Schwarzenbachsperre mit einem Schutz­mantel verkleidet ist.

Hierzu ist zu bemerken, daß die Lufttemperaturen z. B. an der Saaletalsperre zwischen  $+ 37$  und  $- 28^{\circ}$  C schwanken. Die klimatische Beanspruchung der meisten deutschen Stau­mauern ist daher nicht sehr viel geringer als die alpiner Stau­mauern.

In der Frage: Einheitlich dichter Beton durch die ganze Mauer­dicke oder undichter Kernbeton mit beiderseitigem dichtem Vorsatzbeton, hat sich in Deutschland noch keine restlose Entscheidung durch­gesetzt, weder der praktischen Anwendung nach (siehe Liste 1) noch in der wissenschaftlichen Beurteilung. Die Erfahrungen an der Bleilochsperre sprechen in technischer Beziehung (Rißbildung) nicht für die Herstellung des ganzen Mauerblocks in einer sehr bindemittel- und wasserreichen Mischung. (Die Kriebsteinmauer ist wegen ihrer kleinen Querschnitts­abmessungen, die Schwarzenbachmauer wegen ihrer nur historisch bedingten eigenartigen Bauweise [Schutz­mantel] weniger beweiskräftig.)

Die Wirtschaftlichkeit spricht sehr für Vorsatzbeton mit bindemittelärmerem Kern.

Bei Beachtung der Erfahrungen, namentlich auch derjenigen der „öster­reichischen Schule“ (siehe weiter oben), vermag man unbestreitbar heute einen praktisch wasserdichten Vorsatzbeton von vollkommener Wetterfestigkeit her­zustellen. Die Meinungen darüber, ob dabei noch ein Spritzputz (Torkret) als weiterer Schutzüberzug über dem Vorsatzbeton nötig ist und wirklich eine Ver­besserung darstellt, sind noch geteilt. Die ohne jeglichen Verputz ausgeführte Zillierbachtalsperre mit ihrer nach Norden gerichteten Luftseite wird eine scharfe Probe auf das Exempel liefern. Die mit Vorsatzbeton und Torkretputz ge­dichteten Sperren von Schluchsee und Schwarz­a zeigen Durchsickerungen, die zwar der Menge nach geringfügig sind, aber wegen ihres Gehaltes an gelöstem Kalk dauernd beobachtet werden. Es wird aber vermutet, daß das Sickerwasser hauptsächlich an den Dehnungsfugen durchdringt. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.

Die bisher meist als Schutz gegen angreifendes Stauwasser und als Poren­füller auf Putz oder Vorsatzbeton auf­gebrachten zwei- bis dreifachen Schutz-

*anstriche* mit asphalthaltigen Anstrichmassen sind überwiegend nicht lange wetterfest.

Es sind in Deutschland neuerdings verschiedene neue Erzeugnisse auf den Markt gekommen, die mehr Haltbarkeit versprechen. So z. B. eine (patentierete) Spritzanstrichmasse von Asphaltemulsion, Asbestfasern und Sand, die auf der (Bruchstein-)Mauer Neunzehnhain II bei Chemnitz in Sachsen ersatzweise 2 mm stark aufgetragen wurde. Neuerdings sind auf anderen Gebieten des Betonbaues zahlreiche Probeanwendungen eines Schleuderbetons „Bitukret“ gemacht worden, die aufmerksame Verfolgung auch im Interesse des Staumauerbaues verdienen. Die (patentierete) Schleudermasse ist eine Mischung von Zement, Sand und einer mit Wasser verdünnbaren Bitumenemulsion „Tunol“, die folgende Vorzüge haben soll: Vollkommene Widerstandsfähigkeit gegen Salze, Säuren usw., vorzügliche Haftung auf Beton, Mauerwerk usw., und zwar gerade bei feuchtem Zustand der Unterlage, große Widerstandsfähigkeit gegen Kälte, Hitze und mechanische Beanspruchung.

Wenn auch der Schutz jeder Betonfläche gegen Wasserangriffe in erster Linie in der Dichtigkeit des Betons selbst zu suchen ist, so erscheint es doch wichtig, für Fälle besonders angreifender Wässer noch einen chemisch besonders widerstandsfähigen Flächenschutz zur Verfügung zu haben. Ein solcher könnte in Bitumenerzeugnissen der angedeuteten Art zu finden sein. So weitgehende und kostspielige Schutzmaßnahmen wie *Stahlblech- oder Kupferverkleidungen* sind in Deutschland noch nicht für nötig erachtet worden.

Der Vorsatzbeton an der Wasserseite wurde meist gleich dicht, aber stärker als der an der Luftseite ausgeführt (z. B. Z. 275 und 300 kg/m<sup>3</sup> und 0,75 bis 1,00 m luftseits und 1,2—1,5 m wasserseits) bei Schluchsee, Schwarza und Zillierbach.

Der Einbau des Vorsatzbetons erfolgte in einem Zuge mit dem des Kernbetons, ohne Zwischenschalung, höchstens mit Ziehblechen, so daß eine unregelmäßige Verzahnung und vollkommen innige Verbindung beider Betonarten eintrat. Schwierigkeiten haben sich hierbei nicht ergeben.

*Entwässerung:* Außer der statisch wichtigen Sohlenentwässerung ist bei fast allen deutschen Staumauern auch eine Entwässerung der Stauwandrückseite durchgeführt. Hierzu ist ein in lotrechter Ebene liegendes Netz von Wasserfangrohren (Dräns) in meist 1,5 bis ~ 4,0 Abstand hinter der Wasserseite der Staumauer eingebaut; das aufgenommene Sickerwasser wird nach den neuerdings regelmäßig angeordneten Prüfgängen und von dort durch die Zugänge ins Freie abgeleitet. Die Fangrohre werden, der Betonbauweise am besten entsprechend, jetzt meist annähernd wagrecht (statt wie früher in den Bruchsteinmauern: lotrecht) angeordnet und oft nach den Schächten in den Dehnungsfugen (siehe unten) zusammengeführt. An Stelle gewöhnlicher Ton- oder Zementröhren (mit offenen Fugen verlegt) werden heute meist grobporige Betonblöcke mit 10 cm weiter rohrförmiger Aussparung oder gleichartige Betonröhren verwendet, die vor dem Eindringen von Zementbrei beim Betonieren durch Umhüllen mit Zeitungspapier geschützt werden. Ihr Abstand liegt zwischen 1,5 und ~ 5 m.

Bei der Aggertalsperre hat man auf diese Innenentwässerung verzichtet, und das erscheint bei Anwendung eines durchlässigen Kernbetons hinter einem gut dichten Vorsatzbeton auch zulässig, da der Kernbeton die Aufgabe des Fangrohr-

netzes selbst übernehmen kann, sofern er durch wenige annähernd wagrecht anzuordnende Sammelrohre oder die Prüfgänge selbst sachgemäß entwässert wird.

Der *Entwässerung* und *Abdichtung* der *Mauerkrone* muß nach einigen ungünstigen Erfahrungen erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Von der Aggersperre wurde von Eindringen von Tagwasser hinter die Steinverkleidung der Luftseite, von der Schwarzenbachsperre von Vernässung des Torkreputzes der Luft- und Wasserseite mit nachfolgenden Frostschäden berichtet.

Größere *Nachdichtungen* sind nicht nötig geworden, mit Ausnahme der Schluchsee- und Schwarzasperre, wo man, allerdings nicht mit durchgreifendem Erfolg, die Dehnungsfugen mit Zementeinpressungen verbessern mußte.

### 3. Überwachung und Prüfung.

Zur Überwachung der Wärmeverteilung und der Raumänderungen im Innern der Mauer wurden erstmals bei der Bleilochtalsperre 39 Telemeter eingebaut, ebenso 30 in der Schluchseesperre. Über die Messungen liegt erst ein vorläufiger Bericht vor,<sup>16</sup> der keine wesentlichen Abweichungen von den Meßergebnissen in ausländischen Staumauern erkennen läßt.

Die *Bewegungen* einzelner Punkte der Mauer, besonders der Krone, werden seit langem in Deutschland (seit *Intze*) mit einfachen Durchfluchteinrichtungen fortlaufend beobachtet. Neuerdings wurden auch trigonometrische Feinmessungen benutzt.<sup>17</sup> In Baden wird in den Verleihungsurkunden regelmäßig die wiederholte Durchführung solcher Vermessungen zur Auflage gemacht und ihr Ergebnis jeweils in das (auch im übrigen Deutschland eingeführte) Talsperrenbuch eingetragen.

Die Überwachung des Poren- und Sickerwasserdruckes wird seit langem aufmerksam vorbereitet und durchgeführt. Sie wird auf die Mauersohle beschränkt, nachdem sich schon früh bei Bruchsteinmauern ergeben hatte, daß im Innern des Mauerkörpers bei Vorhandensein der üblichen Dichtungs- und Entwässerungsmaßnahmen kein nachweisbarer Wasserdruck auftritt. Dagegen gelingt es regelmäßig, Sohlenwasserdruck in meist von der Stauhöhe abhängiger Höhe nachzuweisen. Ungewöhnliches hat sich dabei nirgends ergeben. Ausführliche Berichte liegen seit längerer Zeit von den Bruchsteinmauern der Oester, Eder und Möhne vor.

Der Entwurf und die Bauausführung von Talsperren unterstehen strenger staatlicher Aufsicht; die einzuhaltenden Richtlinien sind in der vor wenigen Jahren neu aufgelegten Anleitung für den Bau und Betrieb von Talsperren vorgeschrieben. Diese Anleitung hat sich sehr bewährt.

In den Tabellen 1 und 2 sind die den Leser interessierenden Angaben über 10 deutsche Beton-Talsperren zusammengestellt.

<sup>16</sup> *Probst* in Deutsche Wasserwirtschaft 1932, Heft 7/8.

<sup>17</sup> Bericht von *Walther* in Bauingenieur, 5. März 1927.

Tabelle 1 a. Deutsche Beton-Talsperren.

| Lfd. Nr. | Bauzeit von bis | Ort, Gewässer                                       | Höhe der Mauerkrone über |                  |             | Länge m | Halbmesser m                  | Blickrichtung der Luftseite | Mauerstärke |             | Neigung der Luft- Wasserseite   |       |
|----------|-----------------|---|--------------------------|------------------|-------------|---------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|---------------------------------|-------|
|          |                 |   | N. N. m                  | Gründungssohle m | Flußsohle m |         |                               |                             | Krone m     | Flußsohle m | 1 senkrecht zu<br>... wagerecht |       |
| 1        | 1909—1911       | Aachen<br><i>Dreiläger</i>                          | 393,00                   | 89,5             | 82          | 300     | 850                           | W.                          | 3,00        | 29,00       | 0,591                           | 0,10  |
| 2        | 1922—1926       | Forbach<br><i>Schwarzenbach</i>                     | 670,00                   | 67               | 50          | 400     | 400                           | S. O.                       | 6,00        | 39,00       | 0,711                           | 0,031 |
| 3        | 1927—1928       | Oberberg<br><i>Agger</i>                            | 286,50                   | 45               | 43          | 225     | 225                           | S.                          | 6,50        | 29,00       | 0,647                           | 0,05  |
| 4        | 1927—1929       | Kriebstein<br><i>Zschopau</i><br>(Sachsen)          | 214,25                   | 30               | 23          | 230     | 225                           | N. N. O.                    | 4,00        | 17,30       | 0,848                           | 0,04  |
| 5        | 1929—1932       | Seebrugg<br><i>Schluchsee</i><br>u. <i>Schwarza</i> | 931,50                   | 45               | 35          | 240     | gerade mit Knick in der Mitte | W.S.W.                      | 3,70        | 27,00       | 0,72                            | 0,08  |
| 6        | 1928—1931       | Schwarzabru<br><i>Schwarza</i>                      | 724,75                   | 43               | 33          | 158     | 140                           | S. W.                       | 3,70        | 25,50       | 0,72                            | 0,03  |
| 7        | 1926—1932       | Saalburg<br><i>Saale</i><br>am kl. Bleiloch         | 412,00                   | 70               | 60          | 215     | 300                           | N. N. O.                    | 6,70        | 46,15       | 0,69                            | 0,02  |
| 8        | 1934—1935       | Wernigerode<br><i>Zillierbach</i>                   | 473,00                   | 47               | 39          | 172,5   | ∞                             | N.                          | 2,00        | 26,52       | 0,63                            | 0,05  |
| 9        | 1935—           | Gräfenrode<br><i>Lütsche</i>                        | 583,50                   | 35               | 25,10       | 210     |                               |                             | 3,80        | 16,75       | 0,71                            |       |
| 10       | 1935—           | Hohenwarte<br><i>Saale</i>                          | 306,40                   | 75               | 67,20       | 450     | 400                           | W.                          | 7,20        | 49,00       | 0,71                            | 0,02  |

Tabelle 1 b.

Deutsche Beton-Talsperren.

| Lfd. Nr. | Dehnungsfugen                        |   | Verkleidung der Wasserseite              |   |              |              |                                   |                         | Verkleidung der Luftseite |                                  |                 |
|----------|--------------------------------------|---|--|---|--------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------|
|          | wie weit<br>m                        | Abstand<br>m                                    | Putzschicht<br>Stärke<br>in mm           | Schutzanstrich<br>mit   | Schutzmantel | Vorsatzbeton |                                   | Dränung<br>der<br>Mauer | Naturstein                | Vorsatzbeton                     |                 |
|          |                                      |   |  |   |              | Stärke<br>m  | Zement<br>kg/m³                   |                         |                           | Stärke<br>m                      | Zement<br>kg/m³ |
| 1        | unbekannt                            | linker Hang<br>1 senkrechte<br>Fuge             | unbekannt                                | Pachytetit<br>mit<br>siderosthen<br>verklebt                  | ja           | —            | —                                 | ja                      | ja                        | —                                | —               |
| 2        | Mauermitte<br>57,00 m<br>hoch        | Mittelblock<br>86 m<br>anschließ.<br>27 u. 25 m | Torkret<br>25                            | von<br>606—680<br>8 fache<br>Papp-<br>lage<br>unter<br>Mantel | ja           | —            | —                                 | ja<br>wage-<br>recht    | ja                        | —                                | —               |
| 3        | von Krone<br>bis 3 m<br>über Sohle   | 80,00   | —  | —   | —            | 2,0—2,50     | 275 kg<br>H. Z.<br>+ 88 kg<br>Tr. | —                       | ja                        | —                                | —               |
| 4        | von Krone<br>bis 1,5 m<br>über Sohle | 20—25   | Torkret<br>mit<br>Glatt-<br>strich<br>25 | Inertol<br>8 fach   | —            | —            | —                                 | ja                      | —                         | —                                | —               |
| 5        | von Krone<br>bis zur Sohle           | 12—15,50  | Torkret<br>25                            | Inertol<br>2 fach   | —            | 1,50         | 275 H. Z.                         | ja                      | —                         | 0,75                             | 275 H. Z.       |
| 6        | von Krone<br>bis zur Sohle           | 10—20   | Torkret<br>25                            | Inertol<br>2 fach   | —            | 1,50         | 300                               | ja                      | —                         | 100<br>gehobelte<br>Holzschalung | 300             |
| 7        | von Krone<br>bis zur Sohle           | 25  | —  | —   | —            | —            | —                                 | ja                      | —                         | —                                | —               |
| 8        | von Krone<br>bis zur Sohle           | 12  | —  | 2 fach<br>bis 8 m<br>unter<br>Krone                           | —            | 1,20         | 300                               | ja                      | —                         | 1,00                             | 300             |
| 9        | von Krone<br>bis zur Sohle           | 12—13   | —  | —   | —            | 1,00         | 300                               | ja                      | —                         | 1,00                             | 300             |
| 10       | von Krone<br>bis zur Sohle           | 15  | —  | —   | —            | —            | —                                 | ja                      | —                         | —                                | —               |

Tabelle 1c.

## Deutsche Beton-Talsperren.

| Lfd.<br>Nr. | Betriebs Erfahrungen            |                                    |                                 |   |                          |                  |                            | Vorgenommene<br>Ergänzungs- und<br>Ausbesserungsarbeiten                                      |
|-------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--------------------------|------------------|----------------------------|---|
|             | Wasserseite                     |                                    | Luftseite                       |   |                          |                  |                            |   |
|             | Risse                           | Frostschäden                       | Risse                           | Feuchte<br>Flecken                              | Sicker-<br>wasser        | Sinte-<br>rungen | Frost-<br>schäden          |   |
| 1           | 2<br>senk-<br>recht             | —                                  | 2<br>senk-<br>recht             | wenige  | aus<br>Arbeits-<br>fugen | ja               | Mauer-<br>kronen-<br>belag | Neuer Belag der Mauer-<br>krone Splitt und Bitumen-<br>emulsiondecke                          |
| 2           | —                               | am<br>Torkreputz                   | —                               | —   | —                        | —                | —                          | Unterhalb der Brüstungs-<br>mauer Torkreputz aus-<br>gebessert, sonst nichts<br>Nennenswertes |
| 3           | jeder<br>Block<br>1-2<br>(Haar) | leichte                            | jeder<br>Block<br>1-2<br>(Haar) | im Winter<br>geringe<br>nahe der<br>Krone       | ja                       | —                | —                          | —   |
| 4           | —                               | Ab-<br>blätterungen                | —                               | —   | —                        | —                | Abblätte-<br>rungen        |   |
| 5           | —                               | am Torkret                         | —                               | an allen<br>Fugen<br>Durch-<br>feuch-<br>tungen | ja                       | —                | —                          | Zementinjektionen   |
| 6           | —                               | —                                  | —                               | —   | ja                       | ja               | —                          | Zementinjektionen   |
| 7           | 4<br>große                      | —                                  | 4<br>große                      | —   | ja                       | —                | —                          | 4 Schwindrisse gedichtet  |
| 8           | —                               | noch keine Erfahrungen Anfang 1986 |                                 |   |                          |                  |                            |   |
| 9           | —                               | keine, da im Bau                   |                                 |   |                          |                  |                            |   |
| 10          | —                               | keine, da im Bau                   |                                 |   |                          |                  |                            |   |

Tabelle 2.

## Hauptstoffe an deutschen Betonsperren.

| Lfd. Nr. | Name der Sperre                    | Betonmenge m <sup>3</sup>      | Betonart |                |        | Bindemittel                     |   |   | Zuschläge            |               | Mischung in: kg/m <sup>3</sup> oder Teilen   | Wasserzusatz l/m <sup>3</sup> | Spez. Gew. η <sub>s</sub> t/m <sup>3</sup> |
|----------|------------------------------------|--------------------------------|----------|----------------|--------|---------------------------------|---|---|----------------------|---------------|--|-------------------------------|--|
|          |                                    |                                | G. B.    | Pl oder =VV B. | St. B. | Z. kg/m <sup>3</sup>            | H. Z. kg/m <sup>3</sup>                           | Zusatzmittel kg/m <sup>3</sup>          | Gesteinsart          | Körnung in mm |  |                               |  |
| 1        | Dreiläger . . .                    | 72 000                         | —        | —              | ja     | —                               | —   | Traß und Kalk                           | Quarzit              |               | 1/2 Z. 2 1/2 Tr. 1 1/2 K. 7 Sd. 9 Sch.   | —                             |  |
| 2        | Schwarzenbach .                    | 297 000 mit 20% Einlagesteinen | ja       | —              | —      | —                               | —   | Traß und Kalk                           |                      |               | Z. K. Tr. Sd. Sch. Raumteile<br>1,0 0,5 1,0 4 6<br>1,1 0,4 0,8 4 6<br>1,0 0 0,6 5 7,5<br>1,0 0 0,44 4,6 6,9                | 250                           | 2,25                                       |
| 3        | Agger . . . . .                    | 100 000                        | —        | ja             | —      | —                               | 200<br>175  | 60 Traß<br>45 "                         | Grauwacke            | 0-80          | Zuschlag 1850  | 212                           | 2,33                                       |
| 4        | Zschopau . . .<br>bei Kriebstein   | 82 000                         | ja       | —              | —      | zuerst<br>2:0<br>dann<br>180    | —   | Traß<br>75<br>65                        |                      | 0-60          | Zuschlag 1630  | 330                           | 2,3  |
| 5        | Schluchsee . . .                   | 124 000                        | —        | ja             | —      | —                               | bis 22 m<br>unter Stau<br>202<br>über 22 m<br>175 | —                                       | Granit               |               | Zuschlag 2040  | 160-180                       | 2,4  |
| 6        | Schwarza . . . .                   | 52 000                         | —        | ja             | —      | 220                             | —   | —                                       | Granit               |               | Zuschlag 1920  | 160-180                       | 2,31                                       |
| 7        | Saale . . . . .<br>am kl. Bleiloch | 210 000                        | ja       | —              | —      | u. 118<br>m. 105<br>o. 87       | —   | Thurament<br>u. 229<br>m. 205<br>o. 169 |                      | 0-60          | 0-77-3030-60 mm<br>P.Z. Thur. Zuschlagstoffe<br>u. 118 229 801 689 459<br>m. 105 205 859 687 459<br>o. 87 169 940 678 453  | 236-243                       | 2,45                                       |
| 8        | Zillierbach . . .                  | 58 500                         | —        | ja             | —      | 200                             | —   | —                                       | Diabas und<br>Porphy | 0-80          |  | 160-170                       | 2,4  |
| 9        | Lütsche . . . . .                  | 38 000                         | —        | ja             | —      | Kern<br>240<br>Vorsatz<br>(300) | —   | —                                       |                      | 0-70          |  |                               |  |
| 10       | Hohenwarte . . .                   | 450 000                        | —        | ja             | —      | Traß                            | —   | Thurament                               | Granit               | 0-100         | (0,6 Traß + 0,4 Thur.): 2,48 Sand<br>0-7 mm : 1,21 Splitt 7-30 mm<br>: 1,54 Schotter 30-60 mm : 1,48<br>Schotter 60-100 mm | 185-190                       |  |

Beton im deutschen Talsperrenbau

1929



## Literatur-Verzeichnis.

## Schwarzenbach- und Schluchseesperre.

- Eisenbohr*: Das Schluchseewerk. Die Bautechnik 1930 H. 17.  
*Enzweiler*: Der Bau der Schwarzenbachtalsperre. Der Bauingenieur 1925 H. 11.  
*Heintze*: Einlagesteine in Gußbetontalsperren. Die Bautechnik 26. Nov. 1926 H. 51.  
*Heintze*: Aus der Praxis der Bauausführungen von Talsperren in Gußbeton. Die Bautechnik 4. Juni 1926 H. 24 S. 340—344.  
*van Steeven*: Das Schluchseewerk im badischen Schwarzwald. Tiefbau 1932 H. 83, 84 und 86.

## Zschopau-Talsperre bei Kriebstein.

- Cress*: Wasserwirtschaftliche Bauten im Bereiche der Sächsischen Wasserbauverwaltung. Die Bautechnik 1931 H. 1.  
*Kirsten*: Das Talsperrenkraftwerk Kriebstein bei Waldheim im Tale der Zschopau. Die Bautechnik 1930 H. 11, 15, 16.  
*Sutter*: Die Bauausführung der Zschopau-Talsperre bei Kriebstein. Schweizer Bauzeitung 1932 H. 15.  
*Voigt*: Die Zschopau-Talsperre bei Kriebstein in Sachsen. Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1931 H. 9—11.

## Saaletalsperren am kleinen Bleiloch und bei Hohenwarte.

- Braun*: Der Bau der Hohenwartetalsperre. Deutsche Wasserwirtschaft 1936 H. 7.  
*Köhler*: Die Bleiloch-Talsperre bei Saalburg in Thüringen. Deutsche Wasserwirtschaft 1932 H. 1—3.  
*Kyser*: Die Saaletalsperre. E. T. Z. 1930 H. 43.  
*Leonhardt*: Die Bleilochsperre im Thüringer Wald. Zement 1932 H. 46 und 47.

## Zillierbachsperre.

- Forner*: Die Entwicklung des Entwurfes für die Zillierbachtalsperre. Die Bautechnik 11. Jan. 1935 H. 2.  
*Forner*: Von der Zillierbachtalsperre bei Wernigerode. Deutsche Wasserwirtschaft 1935 H. 5.  
*Forner*: Stand der Bauarbeiten an der Zillierbachtalsperre bei Wernigerode im Harz. Deutsche Wasserwirtschaft 1936 H. 3.

## Oesterreich.

- Habild*: Hochgebirgsbaustelle „Sperrmauer Vermunt“ VDI-Zeitschrift 20. Juni 1931 H. 25.  
*Mühlhofer*: Die Staumauern des Spullerseewerkes. Die Wasserwirtschaft, Wien 1933 H. 17—19.  
*Widmann*: Bandbetonierung beim Bau der Vermunt-Staumauer in den österr. Alpen (Vorarlberg) Deutsche Warte Juli 1935 H. 7.

## Dämme.

- Lamby*: Der Bau der Kalltalsperre des Wasserwerkes des Landkreises Aachen. Zentralblatt der Bauverwaltung 18. September 1935 H. 38.  
*Link*: Die Sorpetalsperre und die untere Versetalsperre im Ruhrgebiet als Beispiel hoher Erdstaudämme in neuzeitlicher Bauweise. Deutsche Wasserwirtschaft 1932 H. 3 und 4.  
*Mahr*: Die Bevertalsperre. Zentralblatt der Bauverwaltung 1935 H. 41.  
*Schatz*: Die neuen Stauanlagen der Ruhr. Deutsche Wasserwirtschaft 1935 H. 1 und 2.  
*Ziegler*: Von der Sorpetalsperre. Der Bauingenieur 1932 H. 11/12.

## Beton (Guß- und Weichbeton).

- Forner*: Entwicklung der Siebkurve für den Beton der Zillierbachtalsperre. Der Bauingenieur 29. Mai 1936 H. 21/22.  
*Heidorn*: Die Betonpumpe eine neue Betonierungsart. Der Bauingenieur 1930 H. 22.  
*Henninger* und *Kammüller*: Voruntersuchungen für die günstigste Zusammensetzung des Betons bei den Schluchseewerkbauten. Der Bauingenieur 1929 H. 9/10.

- Graf*: Über die Bedeutung des Messens der Bestandteile des Betons. Die Bautechnik 10. Mai 1929 H. 20.
- Grün und Köhler*: Vergleichsprüfung der Abbindewärme von Zementen. Der Bauingenieur 1936 H. 23/24.
- Ostendorf*: Zweckmäßige und wirtschaftliche Betonmischungen für Wasserbauten, im besonderen der Zement-, Kalk-, Traß-Beton. Die Bautechnik 6. Sept. 1927 H. 39.
- Pogany*: Vom Schwinden und Quellen des Betons. Zement 1934 H. 33.
- Schiener*: Wasserdurchlässiger Beton. Deutsche Wasserwirtschaft 1931 H. 11.
- Sommer*: Die Verwendung von Thurament beim Bau der Saale-Talsperre am Kleinen Bleiloch. Die Bautechnik April 1934.
- Spindel*: Wasserdichte und wetterbeständige Betonstau Mauern nach versuchstechnisch und praktisch erprobten Gesichtspunkten. Die Wasserwirtschaft, Wien 1933 H. 17—19.
- Spindel, M*: Wasserdichter und wetterbeständiger Beton für Sperrmauern. Beton und Eisen 5. Okt. 1932 H. 19.
- Spindel, M*: Welche Anforderungen kann man an Zement und Beton stellen? Wasserwirtschaft und Technik 1935 H. 14/15.
- Stern*: Neue Grundlagen der Betonzusammensetzung. Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur-Architekten-Vereins 1930 H. 31/32.
- Tölke*: Über Schwinden, Rißbildung, Rißsicherung und Kühlmaßnahmen bei Massenbeton unter besonderer Berücksichtigung massiver Stau Mauern. Deutsche Wasserwirtschaft 1934 H. 7.
- Palotas*: Verfahren zur Verbesserung der Betonzuschlagstoffe. Zement 1936 H. 18.

#### Rüttelbeton.

- Graf und Walz*: Rüttelbeton. Untersuchungen über das Verdichten des Betons durch Rütteln. VDI 1. Sept. 1934 Nr. 35.
- Ottinghaus*: Über den Stand der Betonverdichtung durch Einrütteln und Durchrütteln. Beton und Eisen 5. April 1933 H. 7/8.
- Walz*: Beitrag zur Anwendung von Rüttelverfahren beim Verarbeiten des Betons. Beton und Eisen 1935 H. 5 und 7.

#### Bauausführung und Baustelleneinrichtung.

- Ascher*: Erfahrungen bei der Fundierung von Stau Mauern im Hochgebirge. Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1929 H. 23.
- Kesselheim*: Die Baueinrichtung und Bauausführung der Sperrmauer und des Krafthauses am Kleinen Bleiloch bei Saalburg, Thüringen. Der Bauingenieur 1932 H. 13/16.
- Petry*: Betonierungsanlagen beim Bau von Talsperren. Zement 1936 H. 1—3.

#### Prüfung, Wasserdichtigkeit, Festigkeit.

- Gaede*: Ein neues Verfahren zur Festigkeitsprüfung im Bauwerk. Der Bauingenieur 1934 H. 35/36.
- Kolb*: Beobachtungen bei Prüfungen von Beton auf Wasserdurchlässigkeit im Baustellenlaboratorium. Zement 1936 Nr. 23.
- Tölke*: Die Prüfung der Wasserdichtigkeit von Beton. Ingenieur-Archiv.

#### Überwachung.

- Hoffmann*: Untersuchungen über die Spannungen in Gewichtsstau Mauern aus Beton mit Hilfe von Messungen im Bauwerk. Die Wasserwirtschaft, Wien 1934 H. 22.
- Pfeiffer*: Ein elektromagnetisches Gerät zur Fernmessung von Formänderungen in Bauwerken. Der Bauingenieur 1935 H. 5/6.
- Probst*: Wege zur Klarstellung der Entwurfsgrundlagen von Gewichtsstau Mauern. Untersuchungen an zwei Gewichtsstau Mauern. Deutsche Wasserwirtschaft 1932 H. 7 und 8.
- Treiber*: Die Verwendung von Telemetern zu Spannungsmessungen an Bauwerken. Der Bauingenieur 1930 H. 37.
- Walther*: Die Talsperren-Feinvermessung in Baden. Der Bauingenieur 1927 H. 10.

### Zusammenfassung.

Neuzeitliche Staumauern aus Beton wurden in Deutschland erst seit 1922 erbaut. Von dem ursprünglich dabei verwendeten Gußbeton ist man bald zum Weichbeton (plastischen Beton) übergegangen; doch hat auch der an einer österreichischen Hochalpensperre von deutschen Ingenieuren eingebaute stampf-fähig-plastische Beton seine Befürworter.

In der Abdichtungsfrage stehen sich zwei Richtungen noch unentschieden gegenüber. Die eine bevorzugt Ausführung der Mauer in einheitlicher, dichter Betonmischung (mit Abstufung der Bindemittelzugabe lediglich nach 2—3 Höhenzonen). Die andere Richtung führt den Mauerkerne in nicht ganz dichtem Beton aus und legt wasser- und luftseits 0,75 bis  $\sim$  1,5 m starke Vorsatzschichten aus hochwertigem dichtem Beton vor, wobei darauf manchmal oft noch ein hochwertiger Putz, meist gespritzt, aufgetragen wird.

Natursteinverkleidung wurde nur bei den drei ersten Betonsperren angeordnet, neuerdings ist darauf verzichtet worden, ohne daß dies zu ernststen Schädigungen geführt hätte.

Die Stauwand wird meist mit einem eingebauten Entwässerungsnetz versehen.

Der sachgemäßen Wahl der Körnung der Zuschlagstoffe wird als wichtigster Grundlage der Dichtigkeit des Betons große Aufmerksamkeit geschenkt. Ansätze zur erfolgreichen Auswertung des Gedankens der Ausfallkörnung sind in verschiedener Richtung zu verzeichnen.