

# Der Bruch der St. Francis-Staumauern in Californien

Autor(en): **Noetzli, F.A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **91/92 (1928)**

Heft 16

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-42486>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

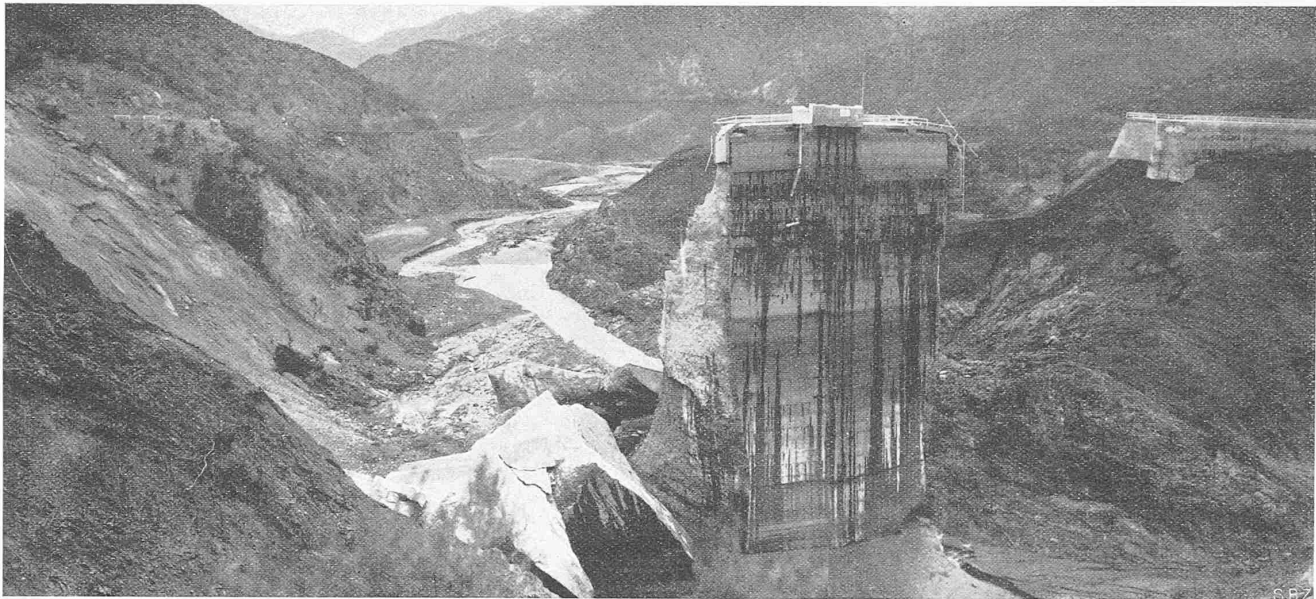
INHALT: Der Bruch der St. Francis-Staumauer in Kalifornien. — Die Verhinderung elektromechanisch bedingter Erschütterungen an den Maschinenwellen der Kraftwerke. — Villa au Petit-Saconnex près Genève. — Für ultra-violette Strahlen durchlässiges Fensterglas. — Mitteilungen: Ueber Bau und Berechnung von Eisen-

beton-Schornsteinen. Post-Untergrundbahn in London. Ein Einanker-Umformer für 14800 Amp Dauerstromstärke. Betonversuchsstrasse in Kalifornien. Eidgenössische Kommission für Mass und Gewicht. — Nekrologie: Dr. phil. F. Zimmerli. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 91.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 16



Ost

Abb. 4. Ansicht der am 12. März 1928 zerstörten, etwa 60 m hohen Mauer von der Wasserseite.

West

## Der Bruch der St. Francis-Staumauer in Kalifornien.

Von Dr. Ing. F. A. NOETZLI, Ingenieur Consultant, Los Angeles, Cal.

Am 12. März d. J., kurz vor Mitternacht, brach die St. Francis-Talsperre der Wasserversorgung der Stadt Los Angeles. Das volle Staubecken von 47 Millionen m<sup>3</sup> Inhalt entleerte sich innert weniger Stunden. Ungefähr 500 Menschenleben gingen verloren, und der Materialschaden wird auf 15 bis 20 Mill. Dollars geschätzt.

Die Talsperre war in den Jahren 1924/25 erbaut worden. Es war eine im Grundriss gebogene Beton-Gewichtsmauer von einer maximalen Höhe von 62,50 m (Abb. 1, 2 und 3, S. 194). Beide Flügel der Mauer sind eingebrochen. Seltsamerweise blieb ein etwa 25 m langes Mauerstück ungefähr in der Mitte der Sperre in voller Höhe stehen (Abb. 4 bis 7). Technische und gerichtliche Kommissionen sind an der Arbeit, die Ursachen des Einsturzes der Talsperre zu ergründen und die für das Unglück Schuldigen zur Verantwortung zu ziehen.

Im nachfolgenden sei eine kurze Beschreibung der Talsperre und ihrer Zerstörung gegeben. In Anbetracht der im Gange befindlichen Untersuchungen soll aber hier noch kein Versuch gemacht werden, die Ursache des Bruches festzustellen. Es wird sich wohl später, nach Abschluss der offiziellen Untersuchungen Gelegenheit geben, auf diesen Punkt näher einzutreten.

**Bau der Talsperre.** Die St. Francis-Talsperre war eine Gewichtsmauer von ähnlich dimensioniertem Querschnitt, wie mehrere andere vor Jahren in Amerika gebaute Sperren von ungefähr gleicher Höhe. Sie wurde vor wenigen Jahren an einer engen Stelle des San Francisquito-Tälchens gebaut, rund 60 km nördlich von Los Angeles.

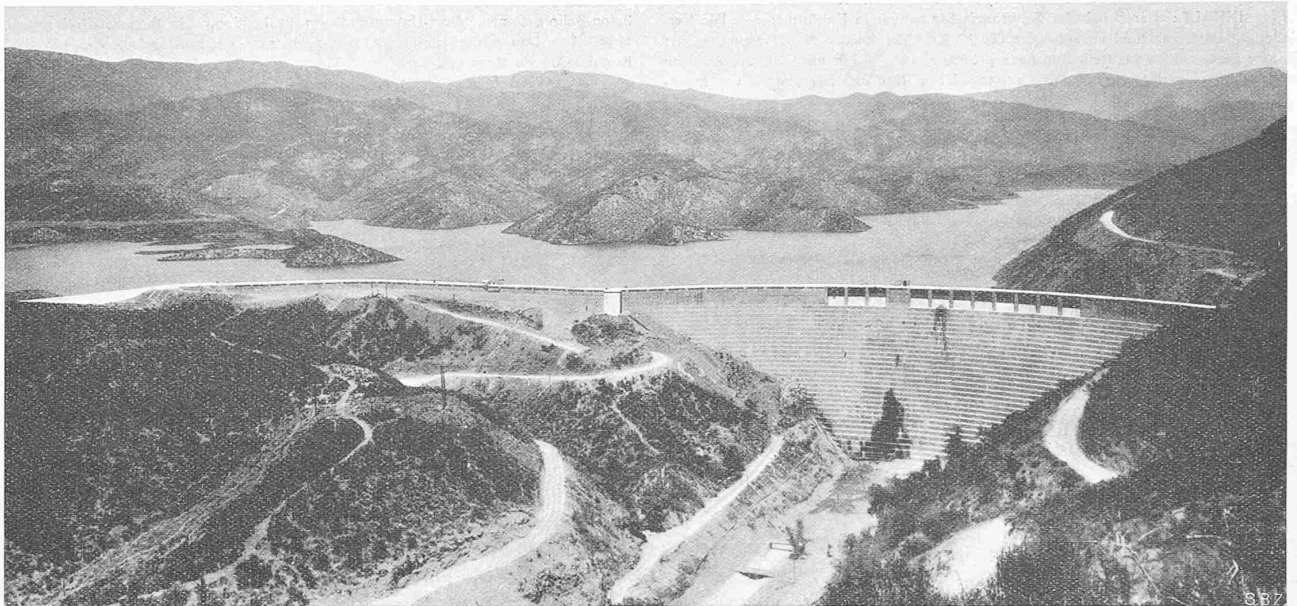
Der durch die Sperre erzeugte Stausee erstreckte sich auf etwa 6 km Länge und hatte einen Inhalt von 47 Mill. m<sup>3</sup>. Er diente zur Reserve-Aufspeicherung von Wasser, das über die ungefähr 400 km lange Fernleitung von den Sierra Nevada-Bergen der Stadt Los Angeles zugeleitet wird. Das natürliche Einzugsgebiet des Stausees ist relativ klein. Es

war keine Kraftanlage mit dem Stausee verbunden. Die grösste Höhe der Mauer war 62,50 m, ihre Stärke an der Sohle 51,50 m. Die Sperre bestand in der Hauptsache aus zwei Teilen: einer im Grundriss nach einem Radius von 152,50 m (500 Fuss) gebogenen Gewichtsmauer von rund 230 m Länge, und einer am rechten Ufer anschliessenden, rund 170 m langen Flügelmauer von mässiger Höhe; die wesentlichen Abmessungen des Bauwerkes sind aus den Abbildungen ersichtlich. Für die statische Berechnung der Mauer waren folgende Annahmen gemacht worden:

1. Spezifisches Gewicht des Beton 2,24;
2. Maximale zulässige Bodenpressung 20 kg/cm<sup>2</sup>;
3. Der Auftrieb unter der Mauersohle oder in horizontalen Arbeitsfugen wurde zu Null angenommen;
4. Eine Gewölbewirkung ist vernachlässigt.

Die Talsperre ist aus Gussbeton hergestellt; Sand und Kies stammen aus einer Grube, die in geringer Entfernung talabwärts der Baustelle geöffnet worden war. Dieses Material wurde in seiner natürlichen Zusammensetzung verwendet. Für den Beton wurde ausschliesslich Portland-Zement verwendet im Verhältnis von etwa 220 kg Zement auf den m<sup>3</sup> Sand und Kies. In einer zentral gelegenen Mischanlage wurde der Beton gemischt, dann in Fördertürmen gehoben, und mittels Giessrinnen in die Mauer eingebracht. Der ganze Mauerkörper ist monolithisch, d. h. es wurden keine vertikalen Dehnungsfugen vorgesehen. Ungefähr ein Jahr nach Fertigstellung der Mauer zeigten sich, wie vorausgesehen, alle 10 bis 20 m vertikale Schwindrisse, die sich in ungefähr senkrechten radialen Ebenen über nahezu die ganze Höhe der Mauer erstreckten. In einigen dieser Risse zeigten sich Wasserdurchsickerungen, doch wurde angenommen, dass die Risse den statischen Zustand der Mauer nicht wesentlich beeinflussen würden.

Wie den Abbildungen zu entnehmen, erfolgte der Ueberlauf über die Mauerkrone durch elf ungefähr in der



West

Abb. 1. Gesamtansicht der St. Francis-Staumauer aus Süden (Stausee auf etwa halbe Tiefe gestaut).

Ost

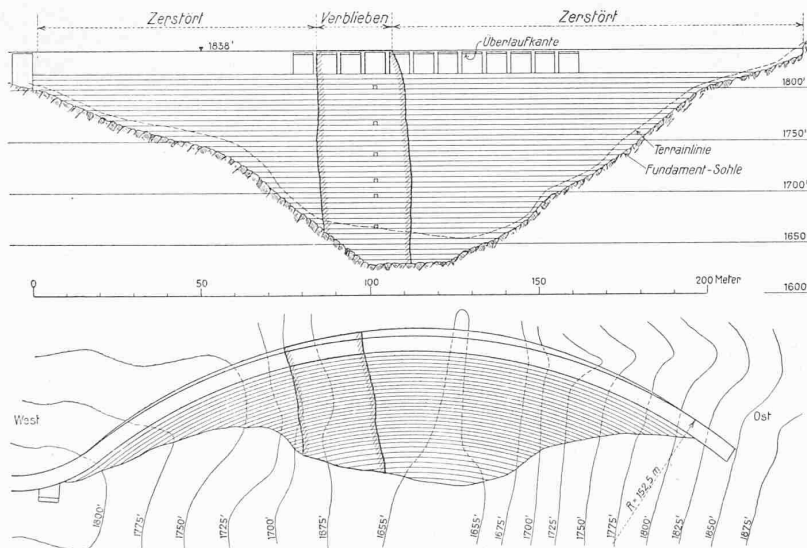


Abb. 2. Grundriss und Ansicht der Mauer. — Masstab 1 : 2000.

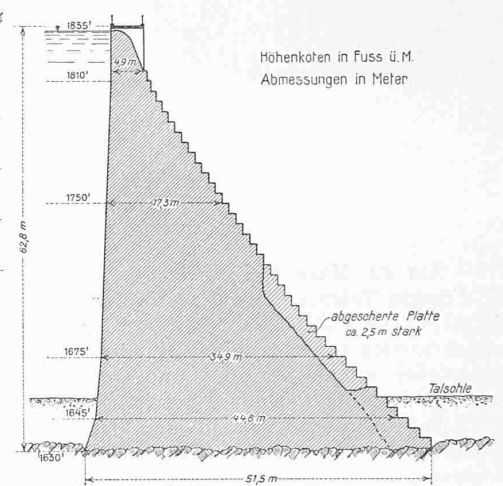


Abb. 3. Querschnitt 1 : 1000.

Mitte und dicht unter der Ueberfahrtsbrücke liegende Öffnungen; doch war der Spiegel des Stausees noch nie ganz auf die Höhe des Ueberlaufes angestiegen.

Das Projekt der Staumauer stammt aus den Bureau der Wasserversorgung der Stadt Los Angeles; der Bau wurde vom Baudepartement der Stadt in Regie ausgeführt. William Mulholland, der Chef-Ingenieur der Städtischen Wasserversorgung, hatte die Oberaufsicht über Projektverfassung und Bau.

**Fundationsverhältnisse.** Die geologischen Verhältnisse an der Baustelle sind ziemlich kompliziert. An der linken (östlichen) Talseite und im Talboden besteht der Fels aus Schiefer („Schist“). Der westliche Berghang besteht aus einer vulkanischen Ablagerung, die im trockenen Zustande ziemlich hart ist, aber unter dem Einfluss von Wasser z. T. weicher wird. Die Kontakt-Zone zwischen dem Schiefer und der vulkanischen Ablagerung liegt etwa in halber Höhe des westlichen (rechten) Berghangs. Eine Verwerfung durchschneidet die Baustelle am Fusse dieses westlichen Berghangs.

Für die Fundation der Mauer wurde der verwitterte Fels abgetragen bis zu einer Tiefe, in der nach Ansicht

der leitenden Ingenieure die Qualität des Felsbodens gut genug war. Es waren keine Zementinspritzungen in den Fels vorgenommen worden.<sup>1)</sup>

**Die Katastrophe.** Wenige Minuten vor 12 Uhr in der Nacht vom 12. auf den 13. März brach die Talsperre. Die genaue Ursache ist vorläufig noch nicht endgültig festgestellt. Gerüchtweise verlautet, dass schon seit längerer Zeit am Mauerfuss der westlichen Talseite Durchsickerungen wahrnehmbar waren. Es ist fraglich, ob in Anbetracht der nächtlichen Stunde das Durchbrechen der Mauer von Augenzeugen gesehen wurde. Das Haus des Aufsehers, das am Fusse der Mauer stand, ist mit samt allen Insassen weggeschwemmt worden.

Das Staubecken war während der vergangenen Monate von der städtischen Wasserleitung her allmählich gefüllt worden bis auf etwa 1 m unter der Mauerkrone. Vor ungefähr einem Jahre war der Seespiegel schon einmal auf fast die selbe Höhe gestiegen (Abb. 8), ohne dass aber dabei wesentliche nachteilige Folgen eingetreten wären.

<sup>1)</sup> Vergleichsweise sei erinnert an den Bruch der Gleno-Talsperre, eingehend dargestellt durch Dr. Ing. A. Stucky in „S. B. Z.“ Bd. 83, S. 63\* und 74\* (Februar 1924) mit Ergänzung S. 295\* (19. Juni 1924). Red.

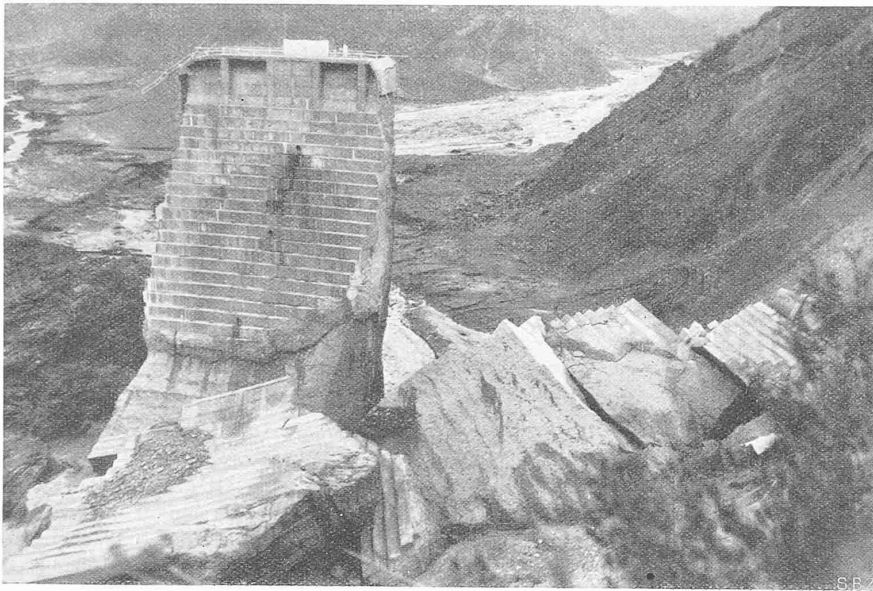


Abb. 5. Luftseitige Ansicht der östlichen Mauer-Trümmer.

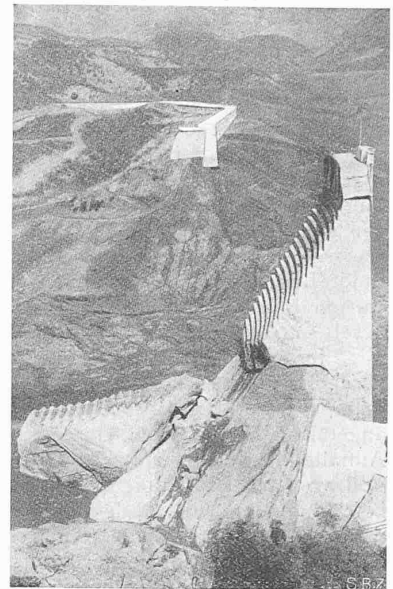


Abb. 6. Ansicht von Osten.

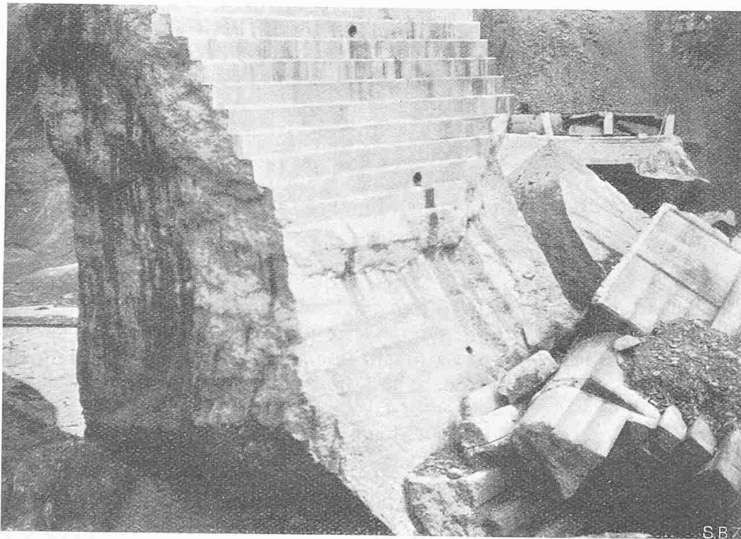


Abb. 7. Fuss des stehen gebliebenen Mittelteils.

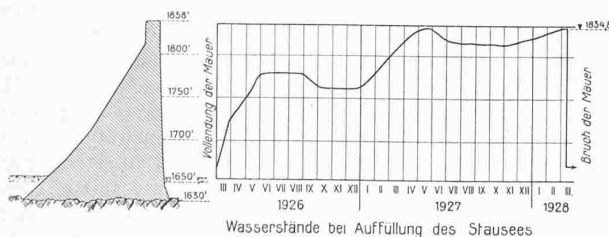


Abb. 8. Füllungs-Diagramm des St. Francis-Stausees.

Der Verfasser dieser Zeilen langte schon wenige Stunden nach dem Durchbruch der Sperre auf der Unglücksstelle an. Das Staubecken hatte sich innert etwa zwei Stunden entleert, und die entfesselten Wassermassen fluteten das San Francisquito-Tal hinab der Ebene des Santa Clara-Flusses zu, und ergossen sich von dort, etwa 90 km südwestlich vom ehemaligen Stausee, in den Stillen Ozean.

Der grösste Teil der Talsperre ist vollständig weggeschwemmt und die Bruchstücke liegen über den Talboden zerstreut; ein Block der Mauer von vielleicht 2000 t Gewicht wurde etwa 2 km talabwärts geschwemmt. Von der Staumauer ist nur ein etwa 25 m langes Stück ungefähr

in der Mitte der Sperre stehen geblieben, ebenso die niedere 170 m lange westliche Flügelmauer. Beide Flügel der Hauptmauer sind eingebrochen. Der westliche Flügel ist völlig weggeschwemmt. Vom östlichen Flügel liegen einige der grösseren Bruchstücke noch in der Bresche. Daraus lässt sich wohl schliessen, dass der westliche Flügel der Hauptmauer zuerst nachgegeben, und dass dann das durch diese Bresche flutende Wasser den östlichen Flügel unterwühlte, bis auch er mitstürzte. Aus irgend einem Grunde, vielleicht infolge relativ besserer Fundierungsverhältnisse, blieb das oben erwähnte 25 m lange Mittelstück stehen. Man wird aber wohl nie genau wissen, wie viele Sekunden oder Minuten verlossen zwischen dem Entstehen der beiden Breschen. Da aber die Bruchstücke des westlichen Flügels viel weiter talabwärts liegen, als die vom östlichen herührenden, lässt sich annehmen, dass die Tiefe und damit die Schleppekraft des ausströmenden Wassers in der östlichen Bresche wesentlich geringer war, als in der westlichen, wo mutmasslich der erste Bruch, bei vollem Staubecken, stattfand.

An der Luftseite des stehen gebliebenen Mittelstückes der Mauer ist eine etwa 2,50 m dicke Platte abgeschert, die sich über die ganze Breite des Stückes und vom Fundament bis ungefähr zur halben Höhe der Mauer erstreckt. Diese Platte ist in den Abb. 2, 3, 5, 6 und 7 zu erkennen. Ihr oberer Teil wurde weggeschwemmt; der untere Teil dagegen ist durch einen Riss vom Mauerkörper abgetrennt, liegt aber noch am ursprünglichen Ort. Die Bruchfläche, wenigstens soweit sie sichtbar ist, ist neu.

*Wirkung der Flutwelle.* Die durch den Bruch der Talsperre entfesselten Wassermassen ergossen sich mit unwiderstehlicher Gewalt in das Tal hinab. Ungefähr 2 km unterhalb der Sperre befand sich eine Wasserkraftanlage mit zwei je 20 000 PS Turbinen und Generatoren, die, unabhängig vom Staubecken, durch die städtische Wasserleitung gespeist wurden. Die Flutwelle ging fast 25 m hoch über diese Kraftstation hinweg und riss den Oberbau fort, liess aber seltsamer Weise den Unterbau soweit intakt, dass einer der Generatoren noch sieben Stunden nach dem Bruche der Mauer lief und mit mächtigen Funken das Dunkel der Nacht erhellte, bis das Wasser abgestellt wurde.

Im Tale des Santa Clara-Flusses, in das sich die Wassermassen ergossen, wurden mehrere Ortschaften mehr oder weniger überschwemmt. Besondern Schaden litten



die beiden Orte Fillmore und Santa Paula. Zufälliger Weise waren in der Talebene für Arbeiten an Hochspannungsleitungen zwei temporäre Zeltlager aufgeschlagen. Im einen Lager waren 67 Mann, im andern 160 Mann untergebracht, von denen die meisten den Tod fanden. Die Zahl der im ganzen ums Leben gekommenen Menschen wird auf gegen 500 geschätzt.

*Untersuchung im Gange.* Sofort nach dem Bruche der Talsperre wurden mehrere Experten-Kommissionen ernannt, um womöglich die Ursache des Einsturzes festzustellen. Ebenso sind gerichtliche Untersuchungen im Gange. Die Stadt Los Angeles, die Erbauerin und Besitzerin des zerstörten Bauwerkes, hat sich in grosszügiger Weise sofort bereit erklärt, für allen materiellen Schaden aufzukommen.

In Bezug auf die unmittelbare Ursache des Bruches verdienen besondere Aufmerksamkeit namentlich die Fundationsverhältnisse. Von Wichtigkeit ist auch der bereits angeführte Hinweis auf Durchsickerung unter der Mauer. Auffallend ist, dass trotz der während des Baues gefundenen und von der Bauleitung auch zugestandenermassen wenig befriedigender Qualität des Felsbodens, keine entsprechenden Sicherheitsmassnahmen getroffen wurden. Vor allem fällt auf: das für solche Verhältnisse relativ schlanke Profil der Mauer besonders in einer Tiefe von 20 bis 40 m unter

der Mauerkrone, ferner der Mangel einer tiefen Herdmauer. Dass weder der Felsboden noch der Mauerkörper drainiert wurden, wie sonst im amerikanischen Westen allgemein üblich, ist bereits angedeutet worden. Ebenso sind Zement-Einspritzungen sonst fast allgemein die Regel, in diesem Falle aber nicht angewendet worden.

Es ist zu hoffen, dass die im Gange befindlichen Untersuchungen die wahren Ursachen des Einsturzes der St. Francis-Talsperre aufdecken werden, sodass entsprechende Massnahmen zur Verhütung ähnlicher Unfälle getroffen werden können. Mittlerweile ist auch eine Untersuchung einer Anzahl anderer Staumauern angeordnet worden, was in Anbetracht des Zustandes von mehreren hiesigen Mauern nur zu begrüssen ist.

Los Angeles, Cal., 19. März 1928.

\*

*Anmerkung der Redaktion.* Vorstehende Orientierung unseres geschätzten Kollegen und Mitarbeiters war schon unterwegs zu uns, als die ersten Berichte in „Eng. News Record“ vom 22. und 29. März d. J. erschienen. Ihre Verfasser diskutieren bereits die mutmasslichen Ursachen der Katastrophe, womit indessen unser Berichtersteller bis zu näherer Abklärung noch zuwarten will.

## Die Verhinderung elektromechanisch bedingter Erschütterungen an den Maschinenwellen der Kraftwerke.

Von Prof. Dr. W. KUMMER, Ingenieur, Zürich.

Die möglichen Erschütterungen von Maschinenwellen sind im allgemeinen auf die sogenannten kritischen Drehzahlen dieser Wellen zurückzuführen. Der Konstrukteur sorgt in erster Linie dafür, dass die Betriebsdrehzahlen der Maschinen nicht mit den kritischen Drehzahlen oder deren massgebenden Harmonischen zusammenfallen. Das weiter noch bestehende Problem der Vermeidung der ohnedies aus der Existenz kritischer Drehzahlen zu begründenden Erschütterungen ist nur ein rein mechanisches, wenn sowohl die möglichen Störungserregungen, als auch die möglichen Dämpfungen rein mechanischer Art sind, im Falle von Kraftwerksgruppen also im wesentlichen von der Primärkraftmaschine ausgehen. Es können aber die Störungserregungen oder die Dämpfungen oder allenfalls gar beide Erscheinungen ihren Ursprung etwa auch im elektrischen Teile der Kraftwerksgruppe besitzen; dann entsteht das besondere elektromechanische Problem, von dem hier die Rede sein soll. Die Erschütterungen werden dann durch störende, elektrisch oder auch mechanisch hervorgebrachte Drehmomente unterhalten, wobei elektrisch oder auch mechanisch begründete Dämpfungen eine abschwächende oder günstigsten Falls eine unterdrückende Rolle spielen. Da die störenden Drehmomente die Torsionselastizität der Wellen in Anspruch nehmen, so sind es also die aus der Torsionselastizität bedingten Drehschwingungen, die als massgebende Eigenschwingungen auftreten. Durch Biegungsschwingungen können weiterhin störende Drehmomente ausgelöst werden. Ueber die Ermittlung der Zahlenwerte der Kreisfrequenzen  $\omega_t$  und  $\omega_b$  von Drehschwingungen und von Biegungsschwingungen treten wir hier nicht näher ein; sie sind den in Betracht fallenden Sonderabhandlungen zu entnehmen<sup>1)</sup>.

Nehmen wir nun an, die Kreisfrequenz  $\omega_t$  der Welle einer vollständigen hydro-elektrischen oder thermo-elektrischen Kraftwerksgruppe sei ermittelt und sei nicht übereinstimmend mit der normalen Betriebswinkelgeschwindigkeit  $\omega_n$  dieser Gruppe; es bestehe auch keine Übereinstimmung zwischen  $\omega_t$  und Harmonischen des antreibenden Drehmomentes der Primärkraftmaschine, was namentlich im Falle von Kolbenkraftmaschinen als Primärkraftmaschinen im Bereich der Möglichkeit liegt. Störende Drehmomente

sind dann nur noch vom elektrischen Teil der Kraftwerksgruppe her zu befürchten. Dieser elektrische Teil bildet in der Regel eine Einphasen- oder Mehrphasen-Synchronmaschine, die bei  $p$  Polpaaren eine elektrische Kreisfrequenz vom Betrage:

$$\omega_e = p \omega_n$$

aufweist. Bei dieser Kreisfrequenz werden die Parallelschaltung und der Parallelbetrieb mit andern Generatoren oder Kraftwerken vorgenommen; dabei entstehen etwa periodische Synchronisationsdrehmomente von der Kreisfrequenz  $\omega_s$ , die sich aus dem Trägheitsmoment  $\Theta$  und aus der aus den weitem Generator-Daten abzuleitenden Richtkonstanten  $c_s$ , gemäss der Beziehung:

$$\omega_s = \sqrt{\frac{c_s}{\Theta}}$$

ermitteln lässt. In der Regel liegt  $\omega_s$  weit unterhalb von  $\omega_t$ . Relativ häufig dagegen wird eine Übereinstimmung oder doch eine Annäherung der Zahlenwerte von  $\omega_e$  oder von  $2\omega_e$  mit oder an  $\omega_t$  bestehen, deren Bedeutung nun zu würdigen ist. Mit der Störungsfrequenz  $\omega_e$  wirken nämlich heftige Stossdrehmomente im Falle des plötzlichen Kurzschlusses, und zwar sowohl bei Einphasen- als auch bei Mehrphasen-Generatoren. Bei Einphasen- und völlig oder nahezu ungedämpften Mehrphasen-Kurzschlüssen treten auch noch Stossdrehmomente mit der Kreisfrequenz  $2\omega_e$  auf. Die Kreisfrequenz  $2\omega_e$  kennzeichnet übrigens auch das normal vom Einphasen-Generator umgesetzte Drehmoment, bei welcher Maschine deshalb eine Übereinstimmung von  $2\omega_e$  mit  $\omega_t$  unter allen Umständen vermieden werden muss. Kommt der Möglichkeit der Übereinstimmung von  $\omega_t$  mit  $\omega_e$  oder mit  $2\omega_e$  nur im Hinblick auf die im Kurzschlussfall möglichen Drehmomentstösse eine Bedeutung zu, so kann im Prinzip, wenn die Übereinstimmung oder Zahlenwerte-Annäherung nicht vermeidbar ist, durch gesteigerte Dämpfung das Auftreten von Erschütterungen vermieden werden, weil nämlich die Stosserscheinungen des Kurzschlusses von selbst schon rasch abklingen, und zwar zufolge des Zerfalls der die Drehmomente bedingenden magnetischen Kraftfelder.

Wir haben uns nun der Betrachtung der hauptsächlichsten, dämpfend wirkenden Momente zu widmen. Für erregende Schwingungen, die von der Primärkraftmaschine ausgehen, besteht die Dämpfung besonders in der Belastung

<sup>1)</sup> Man vergleiche beispielsweise die elementar gehaltene Uebersicht in der „S. B. Z.“ in Band 80, Seite 119 (9. September 1922).