

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 107/108 (1936)
Heft: 24

Artikel: Sicherungsarbeiten am schiefen Turm von Pisa
Autor: Kieser, K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-48314>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

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

lastungen wird bekanntlich ein grösserer Modul gemessen, der noch zunimmt, wenn die Probekörper vorher unter Druck schwinden konnten.

Schlussfolgerungen.

Aus den hier erwähnten, umfangreichen Untersuchungen lassen sich viele interessante Ergebnisse ableiten, die natürlich in erster Linie für die Spitalamm Sperre grosse Bedeutung haben, die aber auch für die Entwicklung der Kenntnisse über Statik und Technologie der Talsperren und insbesondere für die Frage ihrer messtechnischen Kontrolle allgemein wertvoll sind.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Feststellung, dass zwischen der Grundlage der statischen Berechnung der Spitalamm Sperre, d. h. der rechnerisch ermittelten Durchbiegung und der effektiven Mauerdeformation unter dem Wasserdruck vollständige Uebereinstimmung besteht. Damit ist die Richtigkeit der ermittelten Beanspruchung bewiesen, die folgendermassen charakterisiert werden kann: Die maximalen Druckbeanspruchungen betragen 23 kg/cm^2 am luftseitigen Mauerfuss und 15 kg/cm^2 im Bogensystem 10 bis 20 m unter dem Stauziel. Zugspannungen treten bei der belasteten Sperre weder in den horizontalen noch in den vertikalen Schnitten auf. Solche könnten, auch bei entleertem See und Temperaturabnahme, zufolge der Anwesenheit der Fugen überhaupt nicht entstehen. In Wirklichkeit ist die Verteilung der Beanspruchungen in horizontaler und vertikaler Richtung günstiger als berechnet, weil der Einfluss des Bogenschlusses unter Druck dabei nicht berücksichtigt ist, obwohl er zweifellos eine weitgehende Entlastung der Stützmauerwirkung zur Folge hat. Zusammengefasst: der gewählte Mauertypus erweist sich trotz der Massenersparnis von 25% gegenüber einer Gewichtsmauer, durch die mässigen Betonbeanspruchungen als der beste und sicherste.

Bei allen jungen Talsperren sind Veränderungen des Betongefüges bis zur Stabilisierung der Temperatur und der Zementreaktionen unvermeidlich, wie auch aus den einzelnen Diagrammen der lokalen Deformationen der Spitalamm Sperre wahrgenommen werden kann. Bei dieser Mauer haben jedoch diese Erscheinungen keinen feststellbaren Einfluss auf die Gesamtdeformation und demzufolge auf die Arbeitsweise des Bauwerkes ausgeübt. Diese Feststellung ist wichtig, denn sie schliesst die vielbesprochene «Betonplastizität» vollständig aus, die als Ursache der während mehreren Jahren fortschreitenden Zunahme der Durchbiegung einiger Talsperren betrachtet wird.

Die Bedeutung der Plastizität und des Schwindens beim Talsperrenbeton geht aus den Erörterungen im Abschnitt 3 hervor. Die Ergebnisse der, Monate und Jahre lang fortgesetzten, Deformationsbeobachtungen von massiven Betonkörpern haben die Richtigkeit der Folgerungen der Laboratoriumsversuche bestätigt¹¹⁾. Der Beton kann nur so lange plastisch sein, als die Zementreaktionen noch nicht vollendet sind, und zwar nur bei relativ zu seinem Widerstand hohen Beanspruchungen, wie namentlich bei der Austrocknung.

Sicherungsarbeiten am schiefen Turm von Pisa.

Bekanntlich begann die Schiefstellung des Turmes schon wenige Jahre nach Baubeginn anno 1174. Die Angst vor weiteren Senkungen hatte lange Bauunterbrüche zur Folge; so wurde die Glockenstube erst 1350 in Angriff genommen. Man

¹¹⁾ Ueber diese technologischen Eigenschaften wurde bereits in der «SBZ» 1932 (loc. cit.), in «Génie Civil» vom 24. Aug. 1935 und im Schweiz. Nationalrapport zum zweiten Talsperrenkongress Washington 1936, der noch nicht veröffentlicht ist, vom Verfasser berichtet.

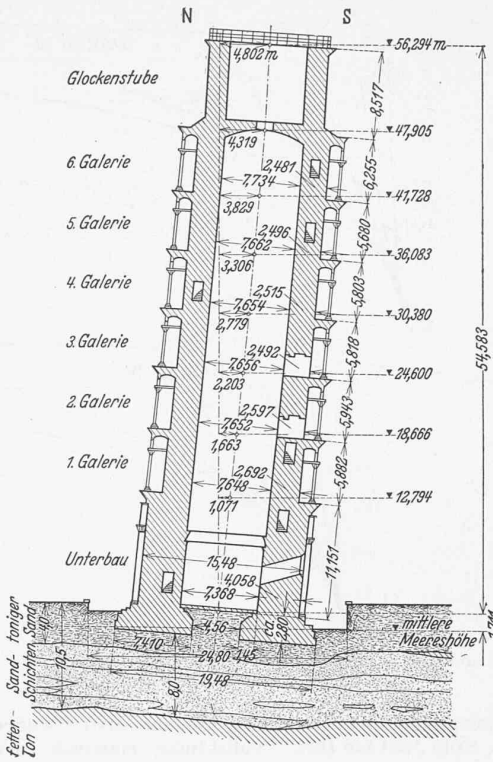


Abb. 1. Schnitt 1:700 durch den Turm.

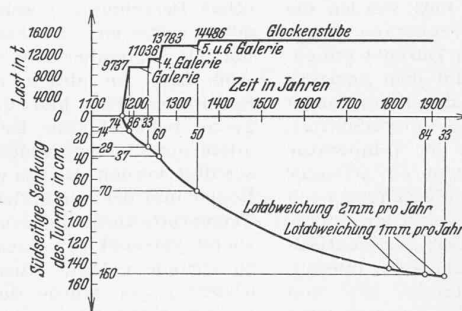


Abb. 2. Zeit-Setzungs-Diagramm des Turmes.

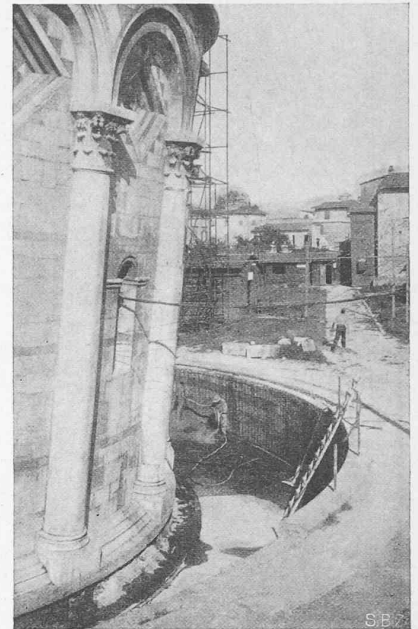


Abb. 4. Gunitierung des Ueberzuges auf der Eisenbetonbodenplatte des «Kragens». Abb. 1 und 2 aus «Bauingenieur».

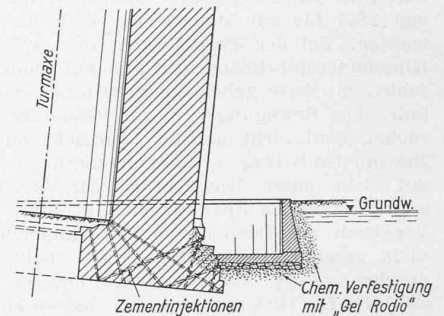


Abb. 3. Schnitt 1:350 durch Turmfuss und «Kragens».

setzte die einzelnen Turmgalerien vorweg immer horizontal an (Abb. 1), aus ihrer heutigen Stellung zur Waagrechten und den aus den Archiven bekannten Baudaten kann daher der Verlauf der Setzungen bis in die ersten Anfänge zurückverfolgt werden. Prof. K. Terzaghi hat im «Bauingenieur» 1934, Heft 1/2, erstmals diese einzigartige Beobachtung über Jahrhunderte in einem Zeitsetzungsdiagramm nach Abb. 2 festgehalten und auf Grund vorhandener Sondierungsergebnisse neuartige Schlussfolgerungen gezogen. Die Fundamente des Turmes sitzen auf einer rd. 8 m tiefen, feinsandigen und durchlässigen Oberschicht. Unter dieser liegen bis in noch unbekanntes Tiefen horizontal gelagerte, undurchlässige Brackwassertone. Von jeher wurde die Oberschicht als die direkte Ursache der ungleichmässigen Senkungen betrachtet. Ueberdies hielt man die Sandführung von Grundwasseraustritten am Fusse des Turmes für mitschuldig. In den 40er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde, um die architektonischen Formen des im Boden versunkenen Sockels wieder zur Geltung zu bringen, rings um die Sockelmauern ein «Kragens» ausgehoben und durch Grundplatte und Stützmauer gesichert. Dieses im Bereich des Grundwassers liegende Bauwerk zeigte bald Quellenbildungen, doch gelang es, nachzuweisen, dass die geführten Sandführungen dieser Quellen nur einen Bruchteil jener Mengen betragen, die für eine Mitwirkung an den beobachteten Setzungen in Frage kommen mussten. Die ganze Bewegung des Turmes ist überhaupt am Ausklingen und Terzaghi stellt unter Beziehung von Laboratoriumsversuchen fest, dass die Ursache der ungleichmässigen Setzung im Nachgeben der tief liegenden Brackwassertone zu suchen sei. Man ist heute überzeugt, dass die feinsandige Oberschicht selbst keine Volumenverminderung erlitten hat und nur eine druckübertragende Rolle spielt. Dementsprechend wird eine Notwendigkeit, die feinsandigen Oberschichten zu befestigen, heute verneint.

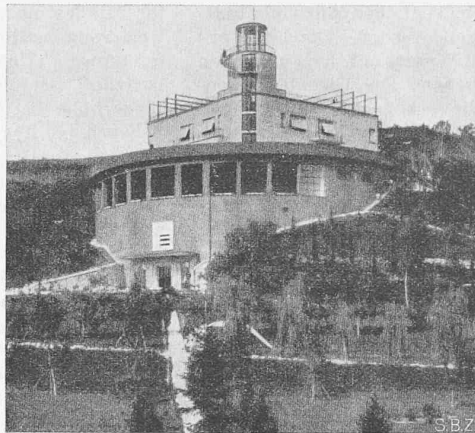
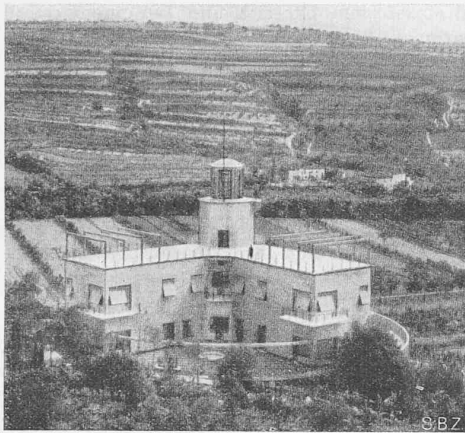


Abb. 1 und 2. Berg- und Talansicht der drehbaren «Villa Girasole» bei Verona.

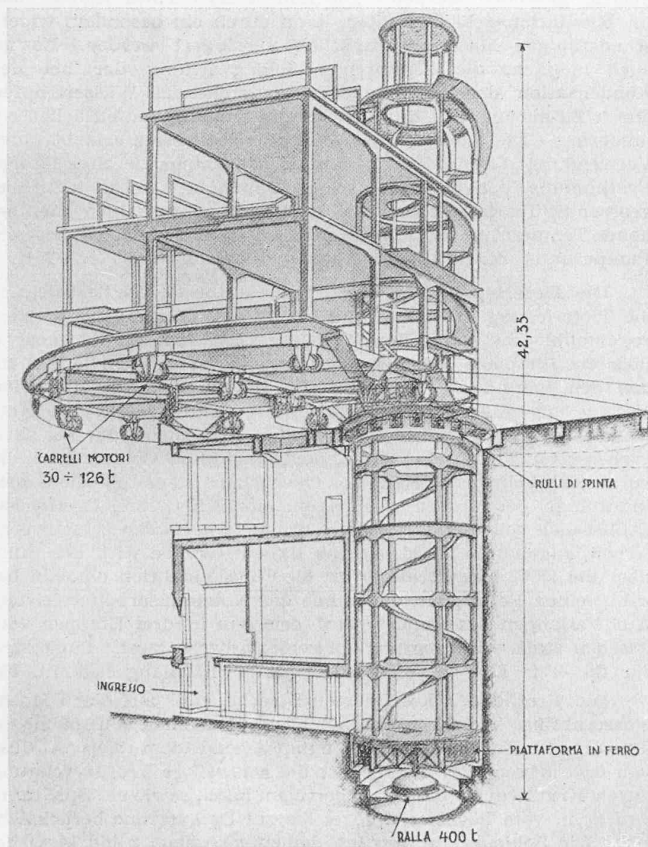


Abb. 3. Isometrie des drehbaren Eisenbetonskelettes samt Unterbau.

Mit bemerkenswerter Sorgfalt und Folgerichtigkeit werden die Setzungen und ihre Ursachen durch Messungen mit modernsten Instrumenten weiter abgeklärt (Wind, Sonnenbestrahlung, Schwingungen der Glocken, Grundwasserbewegung, Temperatur, Erdbeben). Für die Beobachtung der Turmbewegung steht eine auf $\frac{1}{75}$ stel" genaue Apparatur zur Verfügung. Der Ueberhang des reichlich 14 000 t schweren Turmes liegt in der Nord-Süd-Ebene und erreicht heute rd. $\frac{1}{10}$ der Höhe; die Fundamentkantenpressung an der Ueberhangseite ist beträchtlich (10 kg/cm^2). Selbst heute ist noch nicht mit aller Bestimmtheit festgestellt, ob den Turmfundamenten ein Pfahlrost unterstellt ist oder ob es sich um eine Flachgründung handelt. Die meisten schweren Objekte jener Gegend und Zeit ruhen auf Pfahlfundamenten. Man vermutet, Bonanno, der Erbauer des Turmes, habe es nach den guten Erfahrungen beim Bau des Domes von Pisa gewagt, den Boden mit einer Flachgründung gleichmässig zu kompromieren; der buchstäblich tief liegende Gefahrherd in den Brackwassertonen muss ihm unbekannt gewesen sein.

Eingehende Studien und Vorarbeiten führten Behörde und ausführende Firma zum Entschluss, die Sicherungsarbeiten auf

eine gewisse Renovation der Fundamentmauern und des den Sockel umgebenden, vertieften und ausgemauerten Kragens zu beschränken. Die Fundamentmauern des Turmes wurden mit Diamantkernbohrmaschinen in 361 Löchern von 60 mm Durchmesser überkreuz durchgebohrt und mit Zementmilch 1:1 ausgepresst, bei einem totalen Verbrauch von 932 t Zement. Die Injektion wurde zuerst im Innern, dann von aussen her, und in jedem einzelnen Loch von oben nach unten angesetzt. Der Einpressdruck war von den Behörden auf höchstens $\frac{1}{2}$ at festgesetzt und musste durch mehrfache automatische Auslösungen an den Maschinen sichergestellt werden. Ueberdies hatte die Behörde ein Netz von

hochsensiblen Telehydrometern in der Grundwasserzone unter und um den Turm angelegt und so eine Kontrolle der Druckverhältnisse von aussen her während der Injektionsarbeiten gesichert.

Grundplatte und aufgehendes Mauerwerk des Kragens um den Sockel wurden vorerst durch Hinterpressung der anliegenden feinsporigen Terrainschichten mit Chemikalien¹⁾ gedichtet (Abb. 3). Diese bis etwa 50 cm in den Boden getriebenen chemischen Injektionen schlossen in wenigen Stunden alle Wasseraustritte und liessen die lästige Fleckenbildung nach ein bis zwei Tagen völlig verschwinden. Mit gleichem Erfolg wurden chemische Injektionen im anschliessenden Mauerwerk der Turmfundamente, die trotz Zementeinpressungen fleckig geblieben waren, angesetzt. Hier konnte der Injektionsdruck bis auf 2 at gesteigert werden, da pro Stunde nur 125 l Gel eindringen (im Boden hinter den Verkleidungen des Kragens waren dagegen bei 1 at Druck 10 l/min eingedrungen). Anschliessend wurde dann der Boden des Sockelkragens mit einer Eisenbetonplatte überdeckt und diese gegen den Sockel des Turmes elastisch gedichtet. Darauf kam eine Schutzschicht von Gunit (Abb. 4), dann ein bituminöser Teppich und schliesslich eine Verkleidung in Marmorplatten. Die Arbeiten wurden von der S. A. Ing. Giovanni Rodio & Cie. (Mailand) ausgeführt. Die Bauleitung lag in den Händen von Ing. Giovanni Girometti, leitender Ingenieur des Genio Civile von Pisa. Diese Behörde ist in vorbildlicher Weise für die weitere Betreuung der schwierigen technischen Belange dieses einzigartigen Bauwerkes besorgt.

Ing. K. Kieser, Zollikon (Zch).

Villa Girasole in Marcellise (Verona).

Ing. ANGELO INVERNIZZI und Arch. ETTORE FAGIUOLI.

Wenn der Mensch von einer Sache zu viel oder zu wenig hat, ist er unglücklich und sinnt auf Mittel, das Zuviel loszuwerden oder das Zuwenig zu ergänzen. So kann es einem im Sonnenlande Italien begegnen, dass man der Sonne übergenug hat. Warum also nicht die Stube nach der Schattenseite — warum nicht nach der West- oder Ostseite des Hauses umziehen, wenn von da oder dort der erfrischende Wind daherschmeichelt? Oder warum nicht das Haus drehbar gestalten, damit man zu jeder Jahreszeit und Stunde das Beste und Angenehmste auslesen kann von dem, was gerade zu haben ist?

«Villa Girasole» ist das Ei des Kolumbus gegen Hitze und kalten Wind, für Ausnützung letzter Abendsonnenstrahlen und leise fächernder Kühlung. Am Sonnenhang eines Hügels auf einer Plattform von 44,5 m \varnothing ist ein drehbares zweistöckiges Haus aus Eisenbeton, mit 5000 m³ Inhalt, mit Terrasse, Dachterrasse und Turm aufgebaut. Die Plattform liegt auf der Talseite 15 m über dem Gelände, auf der Bergseite ist sie ebenerdig. Das Haus ist Γ -förmig und um den Turm im Eckpunkte, der im Zentrum der Plattform steht, drehbar. Auf der Plattform

¹⁾ Nämlich «Gel Rodio», eine schwach viskose, homogene Flüssigkeit, das Produkt der basischen Reaktion einer Kalziumverbindung. Im Gegensatz zum früher hier (Bd. 95, S. 103) beschriebenen Verfestigungsverfahren Joosten, bei dem zwei verschiedene Produkte nacheinander durch verschiedene Rohre eingepresst werden müssen, wird beim Rodio-Verfahren nur ein Produkt eingepresst. Da das Gel geringe Zähigkeit besitzt, genügt ein verhältnismässig schwacher Druck, um einen relativ grossen Aktionsradius zu erzielen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass der Beginn der Koagulation beliebig je nach Verhältnissen, Grundwasserströmung usw. geregelt werden kann und so das Gel während der ganzen Dauer der Injektion flüssig bleibt und nicht die äusserste Schicht des eingepressten Produktes durch vorzeitiges Abbinden des Nachdringens weiterer Mengen verhindert.