

# Die Staumauern der Società Adriatica di Elettricità in Venetien

Autor(en): **Semenza, Carlo**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **69 (1951)**

Heft 2

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-58792>

## **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.

haltkosten einschliesslich die Hauptrevisionen noch 10 bis 15 Rp./km betragen. Vergleichsweise betragen die Unterhaltskosten für unsere 1 C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub> 1-Lokomotiven im gleichen Zeitraum 37 Rp./km. (Die 1 E 1-Lokomotiven stellen Erstkonstruktionen dar, so dass der dort festgestellte Wert von 137 Rp./km nicht ohne weiteres mit den andern Zahlen verglichen werden kann.)

Man sieht aus diesen Zahlen die enorme wirtschaftliche Bedeutung der Senkung der Unterhaltskosten. Sind diese beispielsweise um 30 Rp./km kleiner als für eine ältere Lokomotivserie und beträgt der jährliche Parcours einer Lokomotive 150 000 km, so ergibt sich zu 3 % kapitalisiert ein

Betrag, der ungefähr den Gesteungskosten einer B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub>-Lokomotive entspricht.

Ich möchte diesen Aufsatz nicht schliessen, ohne dankbar des grossen Verdienstes der beiden Lieferfirmen Brown Boveri & Cie. in Baden und der Lokomotiv- und Maschinenfabrik, Winterthur für die Verwirklichung dieses vor sieben Jahren ganz neuartigen Lokomotivtyps zu gedenken. Die beiden Konstrukteure übernahmen das grosse Wagnis, erstmals laufachslose Lokomotiven für hohen Achsdruck und grosse Geschwindigkeit zu bauen. Diese Pioniertat und der über alles Erwarteten hervorragende Erfolg fanden und finden heute noch die uneingeschränkte Anerkennung der Fachleute.

## Die Stau Mauern der Società Adriatica di Elettricità in Venetien

DK 627.82 (45)

Von Dr. Ing. CARLO SEMENZA, Direktor der SADE, Venedig\*)

### A. Allgemeine Bemerkungen zum Staumauerbau

Seit vielen Jahren ist in Italien ein umfangreiches Programm von Kraftwerkbauten in Ausführung begriffen, dessen Verwirklichung trotz der ausserordentlichen Erschwernisse, die der Krieg verursacht hatte, rasch vorwärts schreitet. So soll die Energieerzeugung für ganz Italien, die im Jahre 1947 rund 22 Mrd kWh betrug, im Jahre 1952, nach Verwirklichung der heute im Bau begriffenen Werke, auf nahezu 30 Mrd kWh gesteigert werden, und man hofft in einer weiteren Bauperiode von wenigen Jahren eine Erzeugungsmöglichkeit von 37 bis 38 Mrd kWh zu erreichen. An diesem Ausbau ist die Società Adriatica di Elettricità (SADE) massgeblich beteiligt. Ihr Versorgungsgebiet erstreckt sich gegenwärtig über 15 Provinzen des Veneto, der Venezia Giulia, Emilia und Romagna. Ihre jährliche Energieabgabe wird im Jahre 1951 rund 2,5 Mrd kWh betragen.

Sicherheit und Wirtschaftlichkeit sind bei allen Ingenieurbauten die ersten Ziele, die der verantwortungsbewusste Ingenieur möglichst weitgehend zu erreichen trachtet. Sie spornen ihn zu steter Verbesserung der Projekte und der Ausführungen an und haben massgeblich zum hohen Stand des modernen Kraftwerkbaues beigetragen. Hohe Wirtschaftlichkeit ist in Italien im Hinblick auf seine sehr beschränkten finanziellen Mittel von entscheidender Bedeutung. Hierfür sind vor allem die Baukosten bestimmend. Sie hängen in erster Linie von der geschickten Anordnung der einzelnen Bauwerke ab, in zweiter Linie von den gewählten konstruktiven Lösungen für die einzelnen Anlageteile und in dritter Linie von der Organisation der Bauplätze und Transportanlagen sowie ihrer Ausrüstung mit technischen Hilfsmitteln.

Was nun die Konstruktion der Staumauern betrifft, so ist festzustellen, dass die italienischen Fachleute im allgemeinen reine Schwergewichtsmauern zu vermeiden suchen. Diese Bauart erlaubt nur eine sehr unbefriedigende Ausnutzung der Festigkeitseigenschaften des Betons oder des Mauerwerks, ohne dass hierdurch die Sicherheit des ganzen Bau-

werks nennenswert verbessert würde. Wenn auch hier die rechnungsmässigen oder durch Modellversuche bestimmbarer Beanspruchungen meistens nur klein sind, so bestehen schwer kontrollierbare Einflüsse wie Auftriebskräfte, Zwischenporendrücke und thermische Wirkungen, die das tatsächliche statische Verhalten im Innern des Bauwerks beträchtlich verändern können. Diese Einflüsse fehlen weitgehend bei Konstruktionen in aufgelöster Bauart, die ausserdem in den meisten Fällen eine wesentliche Einsparung an Betonvolumen und Kosten ergeben. Die hierdurch erzielbare technische Verfeinerung ist nur bei genauer Kenntnis des statischen Verhaltens zulässig, das durch eine angemessene Zahl analytischer und experimenteller Studien abzuklären ist.

Die italienische Verordnung über Staumauern, die gegenwärtig auf Grund der Vorschläge einer Expertenkommission revidiert wird, verlangt für jede Projektstudie eingehende analytische Untersuchungen. In Italien hat man aber in den letzten Jahren ausserdem mit besonderer Sorgfalt experimentelle Untersuchungen der Spannungszustände an Staumauermodellen in kleinem Massstab durchgeführt und hierfür interessante Methoden entwickelt. Alle grösseren Bogenstaumauern, die im letzten Jahrzehnt in Italien gebaut wurden, ferner auch einige Typen von aufgelösten Staumauern sind auf Grund von Modellversuchen im wasserbautechnischen Laboratorium der Technischen Hochschule Mailand konstruiert worden, das speziell zu diesem Zweck eingerichtet ist. Ein neues Institut, versehen mit einer besonderen Ausrüstung für grosse Modelle, befindet sich in Bergamo im Bau. Es bildet die Erweiterung der Versuchsanlage, die seinerzeit für das Studium der Staumauer am Piave von der SADE erstellt wurde.

Man kann selbstverständlich weder auf Grund der analytischen Studien noch mit Modellversuchen ein absolut zutreffendes Bild der tatsächlichen Spannungen erhalten, da in beiden Fällen vereinfachende Annahmen getroffen und bestimmte Zahlenwerte zugrunde gelegt werden müssen, die mit den wirklichen Verhältnissen nicht genau übereinstimmen. Der Umstand aber, dass immer neue Staumauern gebaut

\*) In einem Ende 1950 erschienenen Vordruck war der Name des Verfassers irrtümlicherweise mit M. C. Semenza angegeben.

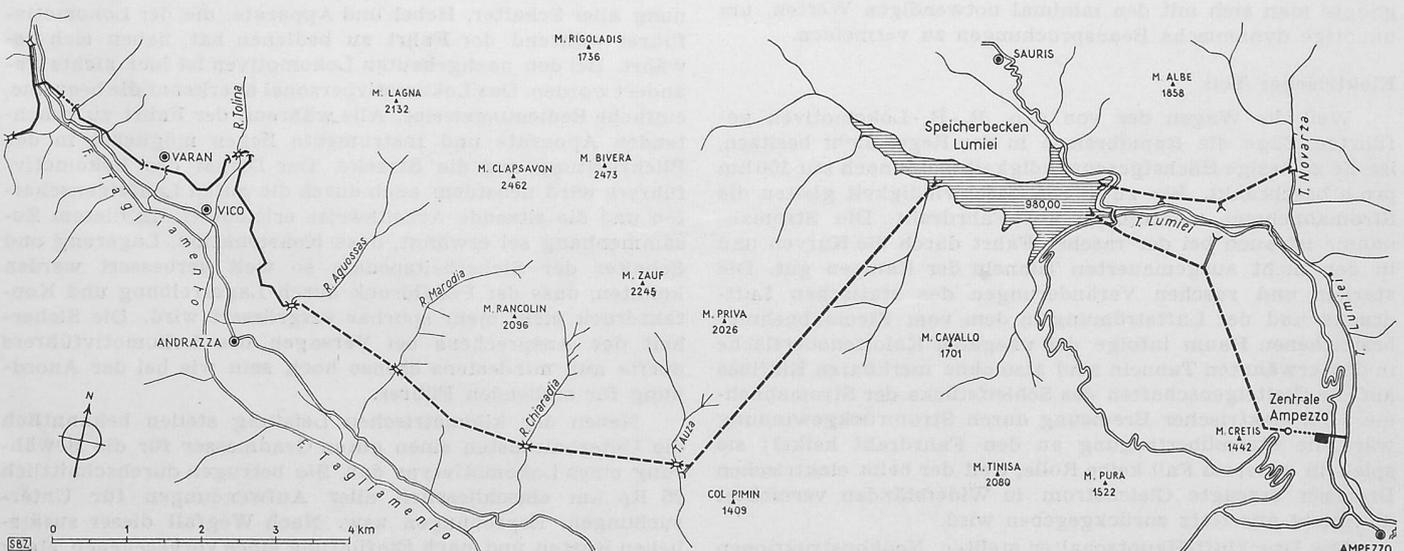


Bild 1. Uebersichtsplan des Kraftwerks Lumiei, Masstab 1:100 000

werden und an ihnen der tatsächliche Verlauf der Spannungen durch fortlaufende Messungen verfolgt wird, setzt uns in die Lage, bei neuen Projekten unsere Annahmen und im besonders die darin enthaltenen Koeffizienten der Wirklichkeit immer feiner anzupassen und so, ohne die Sicherheit zu vermindern, die Wirtschaftlichkeit unserer Konstruktionen zu verbessern.

Die Messergebnisse am Modell der grossen Bogenstau-mauer Pieve di Cadore, die nachfolgend beschrieben werden soll, zeigen eine bemerkenswert gute Uebereinstimmung mit den Zahlenwerten, die aus den analytischen Untersuchungen hervorgegangen sind. Wenn sich diese Resultate durch die Messungen an der wirklichen Staumauer bestätigen, so sollte man nach meiner persönlichen Meinung bei zukünftigen Bauwerken dieser Art noch etwas höhere Beanspruchungen zulassen dürfen. Die hierdurch erzielbare Verbesserung der Wirtschaftlichkeit rechtfertigt es, das tatsächliche Verhalten ausgeführter Staumauern möglichst genau zu verfolgen. Die SADE hat daher in ihren Mauern den Einbau sehr zahlreicher Messinstrumente veranlasst.

Was die Anwendung der verschiedenen Staumauer-typen anbetrifft, so ist grundsätzlich festzustellen, dass man keine allgemeine Regeln aufstellen kann, sondern dass es für jede Sperrstelle je nach ihrer topographischen, geologischen und morphologischen Eigenart eine günstigste Lösung gibt. Reine Schwergewichtsmauern weisen, wie bereits erwähnt, wesentliche Unsicherheiten auf und ergeben eine unbefriedigende Materialausnützung. Staumauern in aufgelöster Bauart sind nach meiner Meinung im allgemeinen wirtschaftlich interessanter und bieten eine mindestens ebenso hohe Sicherheit. Sie lassen sich auch dort anwenden, wo die Topographie zu einer ganz unsymmetrischen Mauerform führt oder die geologische Beschaffenheit des Felsens an der Sperrstelle wesentliche Diskontinuitäten aufweist. Man muss bei dieser Bauart angemessene Vorkehrungen treffen, wie z. B. profilierte Fundamente, die einen sanften Uebergang von den belasteten zu den unbelasteten Teilen des untenliegenden Felsens ergeben, sowie ein wirksames Drainagesystem. Ein hierfür interessantes Beispiel ist die kürzlich fertiggestellte Staumauer des Alto Flumendosa in Sardinien (SBZ 1950, Nr. 35, S. 476\*). Hier befindet sich auf der rechten Talflanke eine Porphyrschicht, die zwischen die kristallinen Schichten eingebettet ist und die Konstrukteure zwang, die betreffenden Staumauerpfeiler auf eine grosse schiefliegende Platte aus Eisenbeton abzustützen.

Bogenstaumauern stellen zweifelsohne hinsichtlich Belastung und Wirkungsweise besonders gut ausgeglichene Bauwerke dar.

Bogenstaumauern stellen zweifelsohne hinsichtlich Belastung und Wirkungsweise besonders gut ausgeglichene Bauwerke dar.

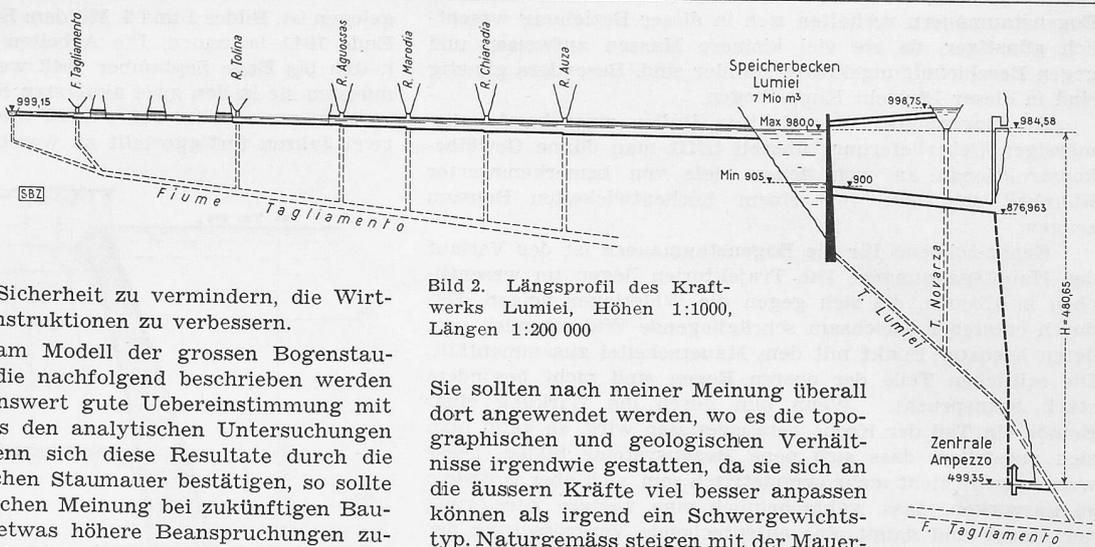


Bild 2. Längsprofil des Kraftwerks Lumiei, Höhen 1:1000, Längen 1:200 000

Sie sollten nach meiner Meinung überall dort angewendet werden, wo es die topographischen und geologischen Verhältnisse irgendwie gestatten, da sie sich an die äussern Kräfte viel besser anpassen können als irgend ein Schwergewichtstyp. Naturgemäss steigen mit der Mauergrösse die Belastungen und die Spannungen. Da es sich aber nur um Druckspannungen handelt, die sich infolge des über längere Zeit andauernden plastischen Verhaltens des Betons weitgehend über das ganze Bauwerk ausgleichen, wird die Sicherheit nicht gefährdet.

Eine Staumauer kann auch dynamisch beansprucht werden, was z. B. bei Erdbeben oder bei Bombenangriffen vorkommt. Wird die Sperrstelle durch eine reine Erosionsrinne gebildet, so bewegen sich bei einem Erdbeben beide Talflanken gemeinsam, so dass die gegenseitigen Verschiebungen der Widerlager klein bleiben und die sich hieraus ergebenden Spannungen das Bauwerk kaum ernstlich gefährden. Weniger günstig liegen die Verhältnisse, wenn das zu sperrende Tal durch eine Verwerfung entstanden ist. Zusätzliche Spannungen ergeben sich bei Erdbeben infolge Beschleunigung der einzelnen Mauerteile. Dabei sind vor allem die Beschleunigungen in Richtung der Talaxe zu beachten, die z. B. bei Schwergewichtsmauern beträchtliche Spannungserhöhungen verursachen und ausserdem die Kippgefahr erhöhen können.

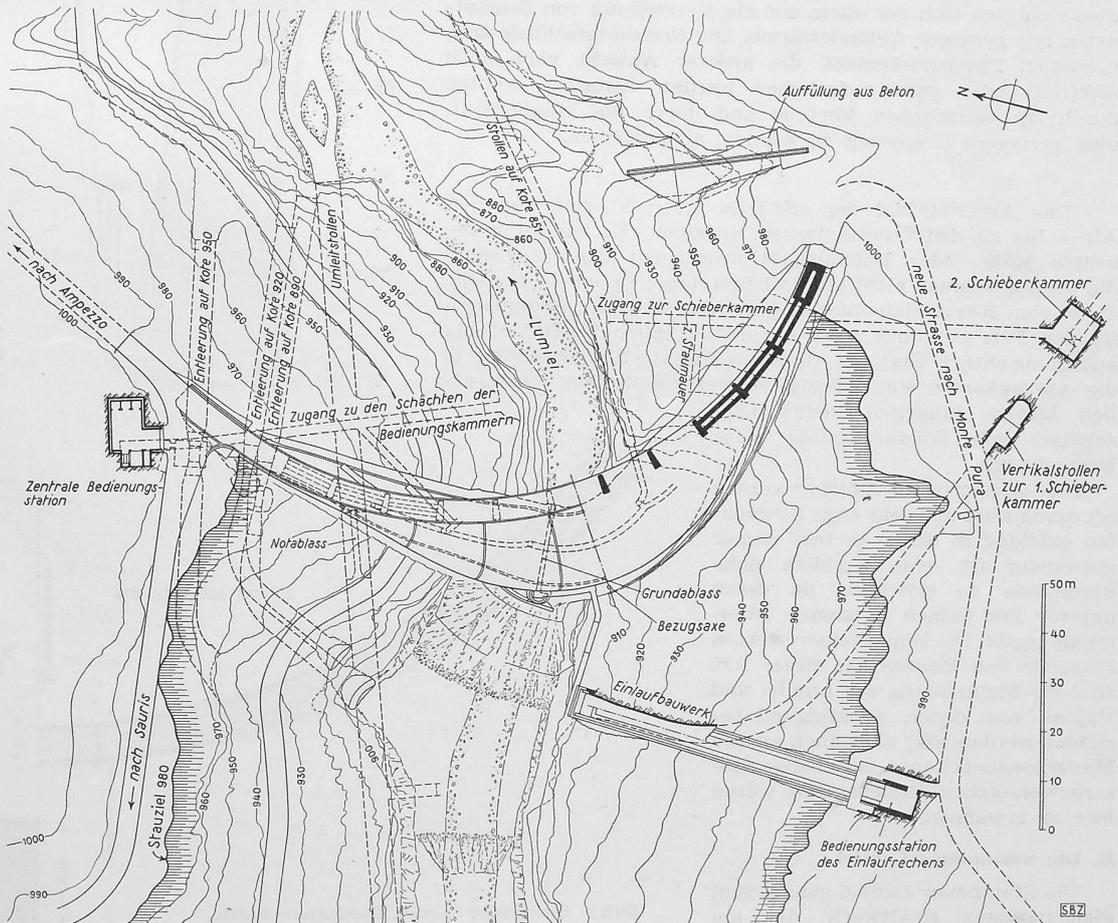


Bild 3. Staumauer Lumiei, Lageplan, Masstab 1:1500

Bogenstaumauern verhalten sich in dieser Beziehung wesentlich günstiger, da sie viel kleinere Massen aufweisen und gegen Beschleunigungskräfte stabiler sind. Besonders günstig sind in dieser Hinsicht Kuppelbogen.

Die Bogenmauer entspricht in Italien einer handwerksmässigen Ueberlieferung; überall trifft man dünne Gewölbekonstruktionen an, von denen viele von bemerkenswerter Kühnheit sind und von einem hochentwickelten Bausinn zeugen.

Kennzeichnend für die Bogenstaumauern ist der Verlauf der Hauptspannungen: Die Trajektorien liegen im wesentlichen in Ebenen, die sich gegen die Widerlager neigen. Dadurch entstehen gleichsam schrägliegende Widerstandsbogen, deren höchster Punkt mit dem Mauerscheitel zusammenfällt. Die seitlichen Teile der oberen Bogen sind nicht besonders stark beansprucht. Wenn nun durch die Wirkung einer Bombe ein Teil der Krone herausgerissen wird, so kann man sich vorstellen, dass sich neue Bogensysteme bilden. Diese werden zwar nicht mehr symmetrisch sein, sich aber trotzdem so auswirken, dass wahrscheinlich eine weitere Zerstörung der Mauer und damit eine entsprechende Vergrösserung der Sturzwelle verhindert werden.

Eine bezüglich der Maueraxe symmetrische Ausbildung der Widerlager ist gegenüber einer unsymmetrischen Form vorzuziehen, da dabei das statische Verhalten günstiger ist, wie Modellversuche eindeutig ergeben. Nach meiner Ansicht ist diesem Umstand immerhin weniger Gewicht beizulegen als einer möglichst stetigen und regelmässigen Ausbildung der Kontaktflächen zwischen Fels und Widerlager. Vor allem sind nach Möglichkeit starke Abstufungen zu vermeiden oder doch wenigstens so weit als möglich nach Zahl und Grösse zu verringern. Diese Forderung ergibt sich aus dem Umstand, dass die den Widerlagern benachbarten Felspartien als Bestandteile der Mauer zu betrachten sind, indem sie mit der Mauer zusammenarbeiten.

Eine besondere Aufmerksamkeit wurde der Entwicklung eines für den Bau von Staumauern geeigneten Zementes gewidmet. Dabei bestand eine Zusammenarbeit zwischen den Zementproduzenten, den Behörden (Amt für Staumauern beim Ministerium für öffentliche Arbeiten) und den Firmen, die Staumauern zu projektieren und zu erstellen hatten. Die Studien richteten sich vor allem auf die Herstellung von Zementarten mit geringer Abbindewärme. Die Preisunterschiede zum normalen Portland-Zement, die unserer Ansicht nach noch reduziert oder ganz aufgehoben werden könnten, werden durch die technischen Vorteile und durch die Möglichkeit, eine geringere Dosierung zu wählen, ausgeglichen.

\*

Das Arbeitsgebiet der «SADE» erstreckt sich von den Alpen bis zu den venetianischen Voralpen. Es ist durch die weiten Kalk- oder Dolomitskalkformationen charakterisiert, die im allgemeinen nicht sehr alt und daher in der Tiefe nicht stark vom Karst-Phänomen angegriffen sind. Im allgemeinen ist der Fels gut, und zwar sowohl bezüglich Festigkeit als auch hinsichtlich Eignung als Baumaterial (Betonzuschläge); die Abtragkosten sind mässig, speziell im Stollen. Gelegentlich ändern hingegen kleine Einschlüsse von Silizium-Linsen diese Bedingungen.

Die Absperrquerschnitte werden oft durch tiefe und sehr enge Schluchten gebildet, in denen es fast immer notwendig ist, eine ziemlich hohe Staumauer zu errichten, da deren unterer Teil keinen nutzbaren Stauinhalt ergibt. Die bemerkenswertesten Beispiele von Bauwerken dieser Art sind die Staumauern von Lumiei und Vajont, von denen nachfolgend berichtet werden soll; aber auch andere Mauerkonstruktionen mit ebenso aussergewöhnlichen Dimensionen wären hier zu erwähnen.

**B. Die Staumauer Lumiei**

Die Staumauer Lumiei gehört zum gleichnamigen Kraftwerk, das am linksseitigen Zufluss des Tagliamento

gelegen ist, Bilder 1 und 2. Mit dem Bau des Kraftwerkes wurde Ende 1941 begonnen. Die Arbeiten sind mit viel Schwierigkeiten bis Ende September 1943 weitergeführt worden, dann mussten sie in den zwei akutesten Kriegsjahren unterbrochen werden, um erst im Jahre 1946 wieder aufgenommen und in zwei Jahren fertiggestellt zu werden.

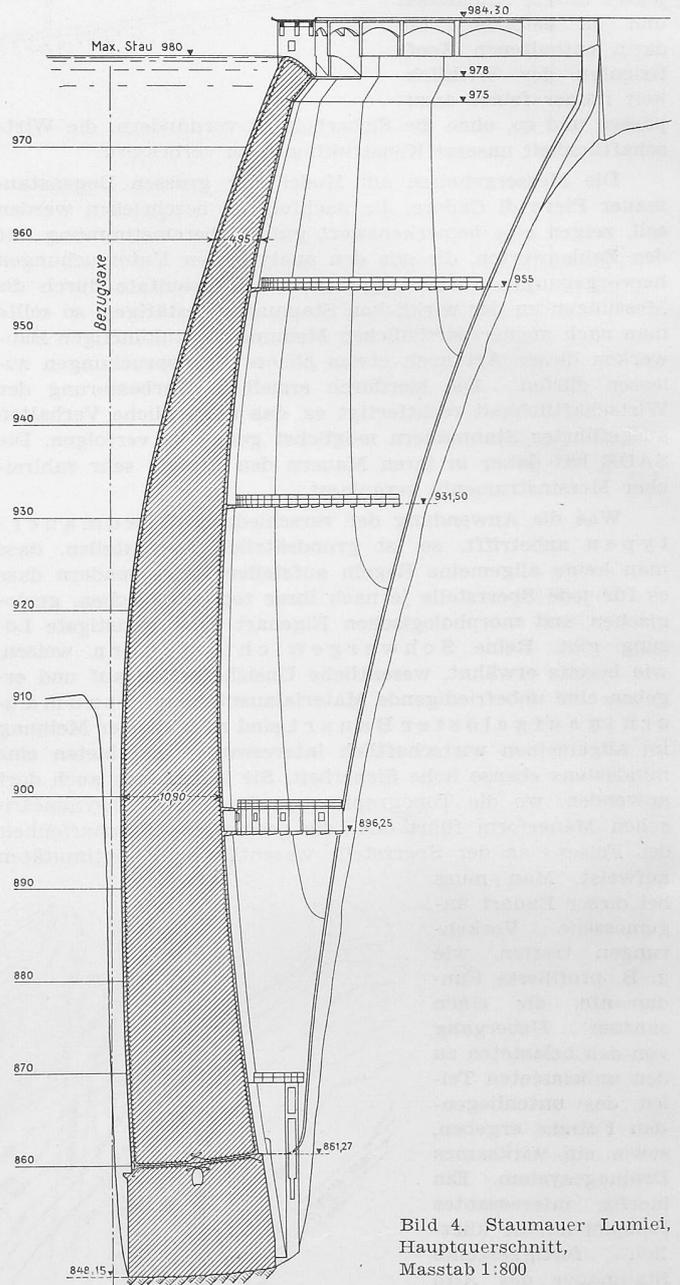


Bild 4. Staumauer Lumiei, Hauptquerschnitt, Masstab 1:800

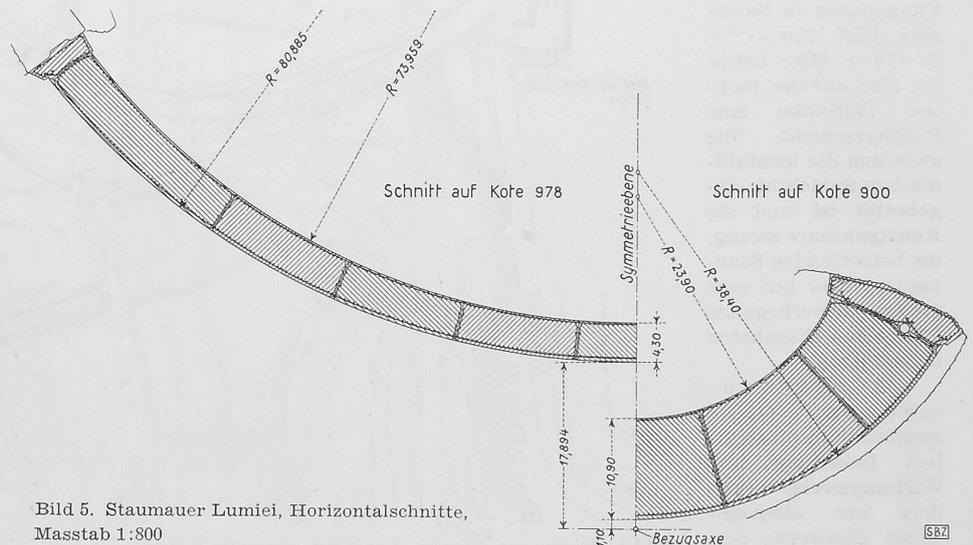


Bild 5. Staumauer Lumiei, Horizontalschnitte, Masstab 1:800

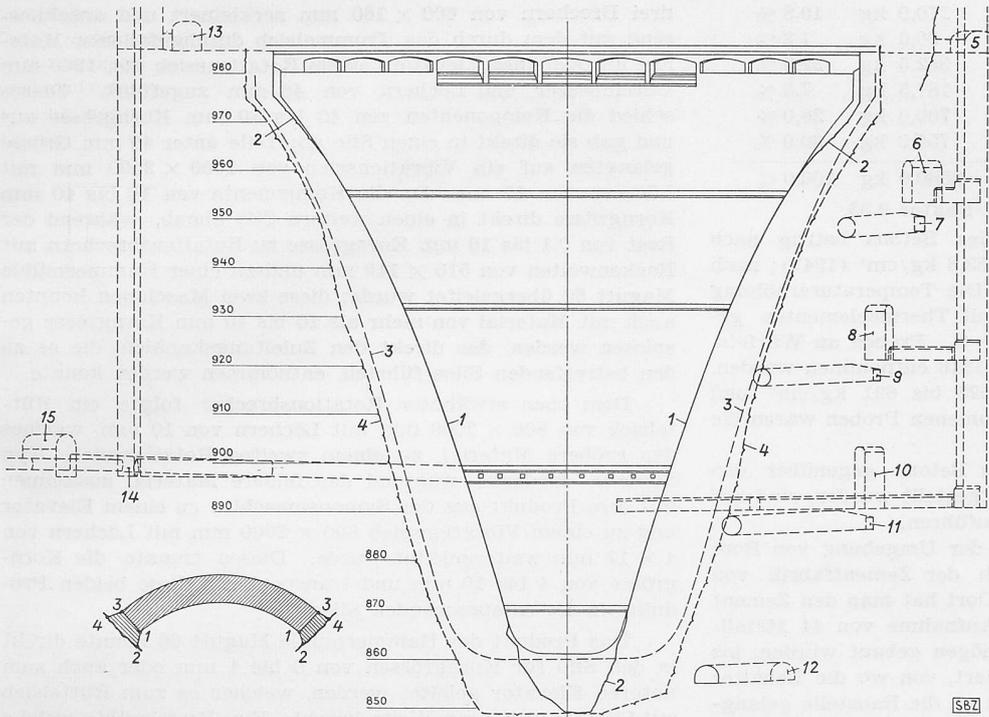


Bild 6. Staumauer Lumiei, Ansicht von der Luftseite, Masstab 1:1500. 1 und 3 Perimetralfuge, 2 und 4 Uebergang zwischen Widerlager u. Fels (Skizze links unten). 5 Zentrale Bedienungskammer zu 7. 7 Entleerung auf Kote 950. 8 Schieberkammer zu 9. 9 Entleerung auf Kote 920. 10 Schieberkammer zu 11, verbunden mit Hilfsturbinenanlage. 11 Entleerung auf Kote 890. 12 Notablass (Umleitungsstollen). 13 Bedienungskammer zu 14. 14 beweglicher Rechen und Einlaufschieber. 15 Apparatkammer mit durch Drucköl von 5 aus ferngesteuerter Drosselklappe und Belüftungsventil

Die Staumauer schliesst eine tiefe Schlucht mit fast senkrechten Felswänden ab, die talabwärts der weiten Mulde von Sauris liegt und einen See von 70 Mio m<sup>3</sup> Nutzinhalt aufstaut. Die Sperrstelle liegt im dolomitischen Kalk der ladinischen Stufe (einer oberen Schicht des mittleren Trias), der aussergewöhnlich kompakt ist und eine hohe Festigkeit aufweist. Trotz diesen sehr günstigen geologischen Verhältnissen hat man an der rechten Talflanke einen grösseren Aushub vorgenommen, um eine vollständig symmetrische Mauerform zu erhalten, Bild 6.

Die Staumauer ist sowohl im Grundriss (Bild 3) wie im Querschnitt (Bild 4) gewölbt; sie bildet somit eine Art Kuppelgewölbe. Ihre Hauptdimensionen gehen aus den Bildern 3 bis 6 sowie aus Tabelle 1 hervor. Sie besteht aus einem Abschlussbauwerk, das den tiefsten Teil der Schlucht ausfüllt und auf beiden Seiten in die Widerlager übergeht, die längs den sehr steilen Talflanken nach oben steigen. Auf diesem Unterbau ruht die eigentliche Mauer auf; beide Teile sind voneinander durch eine Fuge getrennt. Die trapezförmige Mauer selbst besteht aus neun Betonblöcken, die durch vertikale Fugen voneinander getrennt und an der Oberfläche leicht armiert sind. Sämtliche Fugen sind wasserseitig durch je einen Dichtungsstab aus armiertem Beton abgeschlossen, der sich unter Zwischenschaltung einer Dichtung aus imprägnierten Filzeinlagen (Dursitect) gegen die beiden Mauerteile anlegt. Zur weiteren Abdichtung sind sowohl wasserseitig als auch luftseitig Kupferbleche eingelegt worden.

Das gesamte Betonvolumen beträgt 100 318 m<sup>3</sup>; die Armierung besteht aus Rundeseisen im Gesamtgewicht von 423,7 t

entfallen rund 18 240 m<sup>3</sup> auf das linke und 44 306 m<sup>3</sup> auf das rechte Ufer.

Die statische Berechnung der Staumauer wurde von Prof. Guido Oberti vom Polytechnikum in Mailand sowohl analytisch als auch experimentell an Modellen in grossem Masstab durchgeführt. Aus der Berechnung für unabhängig voneinander eingespannte Bogen geht hervor, dass die maximalen Druckspannungen 50 kg/cm<sup>2</sup> nicht übersteigen, während sie nach den Modellversuchen 60 kg/cm<sup>2</sup> erreichen. Die Berechnung ergab ferner, dass die Zugspannungen (abgesehen von der Armierung) unter 8 kg/cm<sup>2</sup> bleiben.

Im Winter 1941/42 hat man mit der Erstellung der Bauten für die Umleitung begonnen. Diese bestehen aus einer kleinen, 16 m hohen Gewölbemauer und einem linksufrigen, 245 m langen Umleitstollen. Im Jahre 1942 sind die Aushubarbeiten für die Widerlager in Angriff genommen und in den folgenden Jahren beendet worden. Gleichzeitig wurden die Arbeiten für die Entlastungsorgane, die Fassung und die Zugänge zu den Bedienungskammern ausgeführt, sowie die Installation für die Gewinnung und Aufbereitung der Zuschlagstoffe und für die Betonfabrikation. Die Betonierung des ganzen Gewölbes wurde in den zwei Jahren 1946/47 ausgeführt.

Die aussergewöhnliche Konstruktion des Bauwerkes verlangte eine besonders hochwertige Betonqualität mit folgenden Eigenschaften:

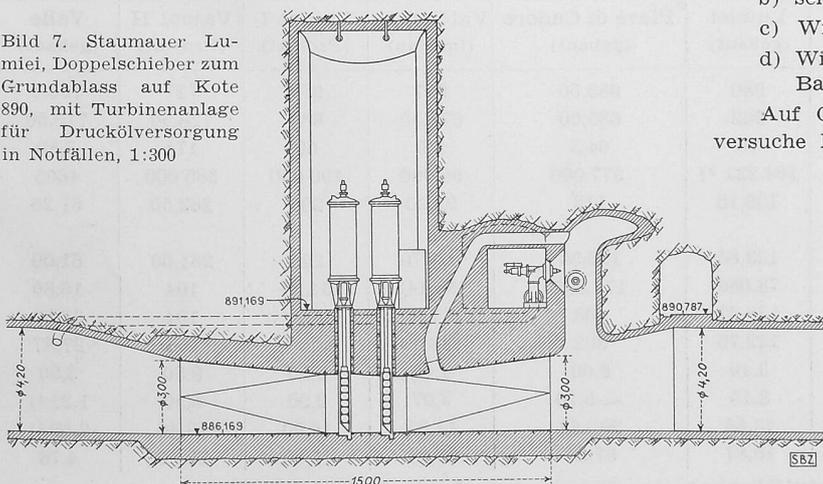
- a) Druckfestigkeit von 250 kg/cm<sup>2</sup> nach 28 Tagen und 350 kg/cm<sup>2</sup> nach 90 Tagen (entsprechend der bestehenden Verordnung für Staumauern);
- b) sehr regelmässige granulometrische Zusammensetzung;
- c) Widerstand gegen einen Wasserstrahl von 16 at.;
- d) Widerstand gegen das aggressive, leicht selenhaltige Bachwasser.

Auf Grund der Ergebnisse sorgfältiger Laboratoriumsversuche haben wir einen eisenhaltigen Zement mit Beimischung von 25 % Puzzolanderde gewählt. Die Probe mit Normalmörtel 1:3 ergab folgende Festigkeitswerte in kg/cm<sup>2</sup>:

Tage	3	7	28
Zugfestigkeit	31,3	36,1	45,0
Druckfestigkeit	414	555,5	709

Die Abbindung begann nach 3 Stunden und war nach 5 Stunden 15 Minuten beendet. Die Mahlfineinheit wurde durch Aussieben bestimmt. Dabei betrug der Rückstand auf einem Sieb mit 900 Maschen 0,2%; auf einem solchen mit 4900 Maschen 1%. Die Zusammensetzung des Betons pro m<sup>3</sup> war folgende:

Bild 7. Staumauer Lumiei, Doppelschieber zum Grundablass auf Kote 890, mit Turbinenanlage für Druckölversorgung in Notfällen, 1:300



Zement F. P. (25 %)	270,0 kg	10,8 %
Kalksteinmehl	30,0 kg	1,2 %
Sand 0—4 mm	562,5 kg	22,5 %
Gebrochener Kies, 4—10 mm	187,5 kg	7,5 %
Gebrochener Kies, 10—40 mm	700,0 kg	28,0 %
Gebrochener Kies, 40—80 mm	750,0 kg	30,0 %
<b>Total</b>	<b>2500,0 kg</b>	<b>100,0 %</b>

Wasser 144 kg; Wasser/Zement-Faktor 0,53.

Die mittlere Druckfestigkeit des Betons betrug nach 28 Tagen 326 kg/cm<sup>2</sup> (1946) bzw. 353,8 kg/cm<sup>2</sup> (1947); nach 90 Tagen 353,8 bzw. 409,7 kg/cm<sup>2</sup>. Die Temperaturerhöhung infolge der Abbindwärme wurde mit Thermoelementen gemessen, sie betrug im Maximum 31° C. Proben an Würfeln, die dem Stauauerkörper im Jahre 1946 entnommen wurden, ergaben eine Druckfestigkeit von 528 bis 691 kg/cm<sup>2</sup> und keine Durchlässigkeit. In den entnommenen Proben waren die Betonierschichten nicht sichtbar.

Die Festigkeitsunterschiede des Betons gegenüber den Resultaten, die im Laboratorium festgestellt wurden, sind auf die Wirkung der Vibration zurückzuführen.

Die Puzzolanderde stammte aus der Umgebung von Rom und gelangte in Sonderzügen nach der Zementfabrik von Udine der S. A. Cementi del Friuli. Dort hat man den Zement in besonderen Wagen, die für die Aufnahme von 44 Metallbehältern von 400 kg Fassungsvermögen gebaut wurden, bis zur Station Villa Santina transportiert, von wo die Behälter auf einer 18 km langen Luftseilbahn an die Baustelle gelangten. Diese Bahn führte über den Sattel von Monte Pura (1420 m ü. M.). Die Behälter wurden automatisch in vier Silos von je 400 t Inhalt entleert und anschliessend auf der selben Luftseilbahn wieder zurückgeführt. Die durch den Krieg und die Nachkriegszeit verursachten Transportschwierigkeiten waren äusserst gross. Nur dank der Mitarbeit sämtlicher öffentlicher und privater Interessenten war es möglich, einen ununterbrochenen Nachschub aufrecht zu erhalten.

Das Anmach- und das Reinigungswasser, das frei von SO<sub>3</sub> sein musste, wurden vom Plottepoch, einem linksufrigen Zufluss des Lumiei, beschafft; die Zuschlagstoffe lieferte ein auf dem linken Ufer gelegener trichterförmiger Steinbruch. Das Material, das aus dem selben Kalk bester Qualität wie die Schlucht bestand, wurde aus dem oberen Teil des Schachtes gewonnen und auf einem auf dem Grund des Schachtes erstellten Holzboden gesammelt. Von hier fiel es durch besondere Öffnungen in Rollwagen, welche es zu den Brech- und Betonierinstallationen transportierten. Diese bauten sich talwärts über eine Höhe von 50 m auf. Durch zwei Zwischenaufzüge wurde das verfügbare Gefälle auf 73 m erhöht.

Von den Rollwagen schüttete man das Material in einen Hauptbrecher mit einer Backenweite von 750 × 450 mm; weitere zwei Brecher von 500 × 350 mm, welche nebenan aufgestellt waren, dienten normalerweise als Reserve. Vom Brecher durchlief das Material ein Rotationssieb, das einen Durchmesser von 1500 mm und Löcher von 80 mm aufwies. Der Kies von mehr als 80 mm Korngrösse wurde darauf in

drei Brechern von 600 × 160 mm zerkleinert und anschliessend mit dem durch das Trommelsieb durchgefallenen Material mittels eines Elevators einem Rotationssieb von 1260 mm Durchmesser und Löchern von 40 mm zugeführt. Dieses schied die Komponenten von 40 bis 80 mm Korngrösse aus und gab sie direkt in einen Silo ab; Teile unter 40 mm Grösse gelangten auf ein Vibrationssieb von 1000 × 2500 mm mit Löchern von 10 mm, das die Komponente von 10 bis 40 mm Korngrösse direkt in einen weitem Silo abgab, während der Rest von 0,1 bis 10 mm Korngrösse zu Rotationsbrechern mit Backenweiten von 510 × 110 mm und zu einer Hammermühle Magutt 66 übergeleitet wurde; diese zwei Maschinen konnten auch mit Material von mehr als 10 bis 40 mm Korngrösse gespiessen werden, das direkt den Zuleitungskanälen, die es zu den betreffenden Silos führten, entnommen werden konnte.

Dem oben erwähnten Rotationsbrecher folgte ein Rüttelsieb von 800 × 2000 mm mit Löchern von 10 mm, welches das gröbere Material zu einem zweiten Rotationssieb, Typ Symons, förderte, während das feinere Material zusammen mit dem Produkt aus der Symonsmaschine zu einem Elevator und zu einem Vibrationssieb 800 × 2000 mm mit Löchern von 4 × 12 mm weitergeleitet wurde. Dieses trennte die Korngrösse von 4 bis 10 mm und transportierte diese beiden Produkte in die entsprechenden Silos.

Das Produkt der Hammermühle Magutt 66 konnte direkt in den Silo für Korngrössen von 0 bis 4 mm oder auch zum unteren Elevator geleitet werden, welcher es zum Rüttelsieb mit Löchern von 4 mm Weite brachte. Eine Kugelmühle, welche mit Sand von 0 bis 4 mm Korngrösse aus dem letzten Sieb gespiessen wurde, sorgte für die Produktion von Feinmehl.

Unter den Silos waren vier volumetrische Dosierapparate aufgestellt, welche abwechslungsweise zwei Betoniermaschinen von je 1 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen speisten; zum genauen Zuteilen von Zement und Steinmehl stand eine Waage zur Verfügung. Ein einziger Arbeiter bediente Waage, Betoniermaschinen und Dosierapparate. Auch das Wasser hat man in automatisch abgeteilten Mengen zugesetzt.

Von den Betoniermaschinen floss der Beton durch Trichter in Kübel von 1 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen, die mittels Rollwagen oder Luftseilbahnen unter die Haken der vier Derricks transportiert wurden. Der Beton wurde in Wechselschichten eingebracht und mit Scheibenvibratoren in der Zentralzone bzw. mit Nadelvibratoren an der Peripherie vibriert. Als Formen dienten Schalungsbleche von kleinen Dimensionen (0,5 × 0,5 m), die an die doppelte Krümmung der Oberflächen angepasst waren.

Am fertigen Bauwerk wurden Zementinjektionen für den Fugenschluss ausgeführt, um bei gefülltem Becken eine Kontinuität der Druckspannungen zu erreichen. Längs der Widerlager und am Fundament ist mit grösster Sorgfalt ein tiefer Dichtungsschirm erstellt worden. Insgesamt wurden 1602 Löcher von total 12 298 m Länge gebohrt und 1163 t Zement injiziert. Der Schirm umfasst:

a) einen Hauptabdichtungsschleier, bestehend aus einer Reihe von Injektionsbohrungen, die senkrecht zur Schlucht

Tabelle 1. Hauptdaten der beschriebenen Bogenstauauern

	Lumiei (gebaut)	Pieve di Cadore (gebaut)	Val Gallina (im Bau)	Vajont I (Projekt)	Vajont II (Projekt)	Valle (gebaut)	
Stauziel . . . . . m ü. M.	980	683,50	677	678	727	706,5	
Maximaler Wasserstand bei Hochwasser . m ü. M.	982	685,00	678,50	680	728,50	710,50	
Nutzhalt . . . . . Mio m <sup>3</sup>	70	64,3	5,9	60	174	3,80	
Totales Betonvolumen . . . . . m <sup>3</sup>	104 221 <sup>2)</sup>	377 000	95 000	190 000	385 000	4605	
Grösste Mauerhöhe . . . . . m	136,15	112	92,20	208	262,50	61,25	
Maximaler hydrostatischer Druck bei Hochwasser . . . . . m	133,85	110,50	91,70	205	261,00	61,00	
Oberster Bogen	mittlerer Radius . . . . . m	78,086	172,808	116,143	64,25	104	16,80
	Bogenlänge . . . . . m	138,37	406	213,81	118,0 <sup>3)</sup>	194	37,50
	Sehnenlänge . . . . . m	122,75	302	183,40	98,0 <sup>3)</sup>	166	27,87
Mauerstärke	an der Krone . . . . . m	3,49	6,00	4,40	3,50	9,50	3,90
	minimal <sup>1)</sup> . . . . . m	3,15	~ 5,70	3,07	2,90	5,50	1,21 <sup>4)</sup>
am Fuss . . . . . m	13,68	26,186	11,85	16,00	19,40	2,60 <sup>4)</sup>	
Grösste Sockelstärke . . . . . m	15,87	37,81	15,24	17,50	23,30	4,76	

<sup>1)</sup> Unmittelbar unterhalb der Krone; <sup>2)</sup> einschliesslich Auffüllung; <sup>3)</sup> ohne Widerlager; <sup>4)</sup> ohne Verkleidungsblöcke

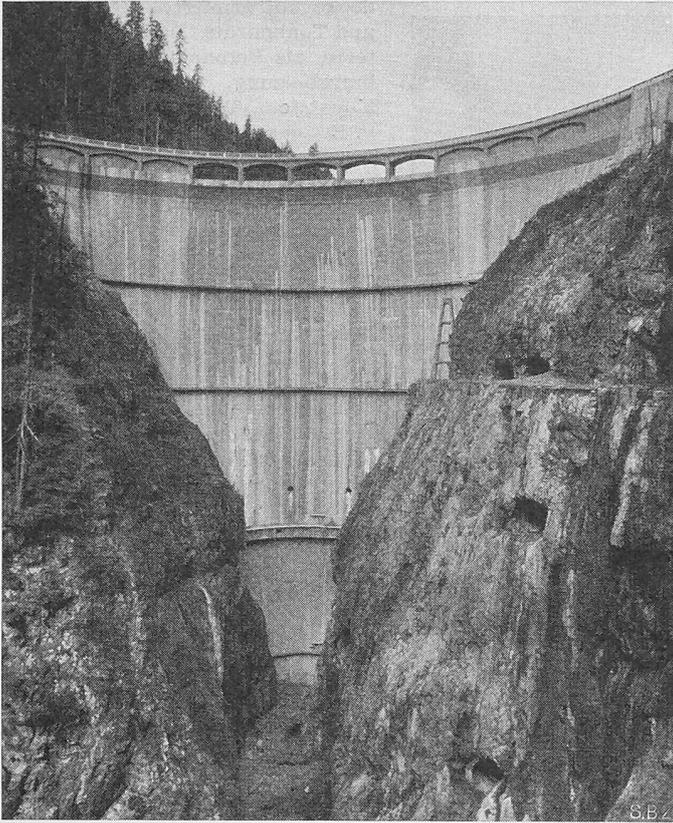


Bild 8. Staumauer Lumiei. Fertiges Bauwerk von der Luftseite

an der Staumauerluftseite alle 5 m ausgeführt wurden und eine möglichst grosse Zahl von Felsschichten durchdringt.

b) einen Kontaktschleier, der das Widerlagerkissen mit dem Fels verbindet. Die Injektionsbohrungen dieses Kon-

taktschleiers, die alle 2 m auf der rechten, bzw. alle 2,5 m auf der linken Talflanke durchgeführt wurden, durchdringen das Widerlagerkissen auf der Wasserseite der Staumauer, durchqueren die Kontaktzone zwischen dem Beton und dem Fels und überschneiden sich mit dem Hauptabdichtungsschleier.

Der untere Teil der Wasserseite der Staumauer ist bis auf 66 m mit Zementverputz versehen, der obere Teil ist unverkleidet. In die Staumauer sind folgende Messinstrumente eingebaut worden: 32 elektrische Thermometer (einbetoniert), 4 elektrische Thermometer im Freien, 3 elektrische Thermometer unter Wasser; 18 Gruppen von Deformationsmessen, jede bestehend aus drei elektroakustischen Dehnungsmessern (1 vertikal, 1 horizontal, 1 isoliert), die an der oberwasserseitigen Oberfläche einbetoniert sind; 62 Stellen für kalibrierte Deformationsmesser auf der Luftseite (horizontal, vertikal und unter 45° geneigt); neun Stellen für Klinometer auf der Luftseite; 2 Beobachtungsstellen für Kollimationsfernrohre und ein Nivellierinstrument für drei Fixpunkte, welche an der Staumauer befestigt sind. Ein Netz für eine lokale Triangulation und für ein Präzisionsnivellement erlaubt eventuelle Bewegungen der Staumauer und der Widerlager festzustellen.

In Verbindung mit der Staumauer stehen insgesamt vier Entleerungsbauwerke, die auf verschiedenen Höhen angeordnet sind. Die typische Anordnung der zugehörigen Absperrorgane zeigt Bild 7. Wie ersichtlich, verjüngt sich der Stollenquerschnitt von 4,2 m Durchmesser und geht in einen Rechteckquerschnitt von 2,40 × 1,60 m über, der durch zwei hintereinander geschaltete Flachschieber abgeschlossen wird. Die Schieber werden mit Drucköl betätigt, das von einer zentralen Anlage geliefert wird. Der Umleitstollen dient als Grundablass. Er wird durch einen Betonpfropfen abgeschlossen, in den ein Stahlblechrohr von 1,2 m Durchmesser einbetoniert ist. Das Rohr ist luftseitig mit einem Deckel abgeschlossen, der im Notfall gesprengt werden kann.

Bei der Entleerung auf Quote 890 ist anschliessend an die Schieberkammer eine Hilfsanlage mit Pelton turbine eingebaut worden, die automatisch in Betrieb gesetzt wird,



Bild 9. Staumauer Lumiei, Bauzustand im August 1946

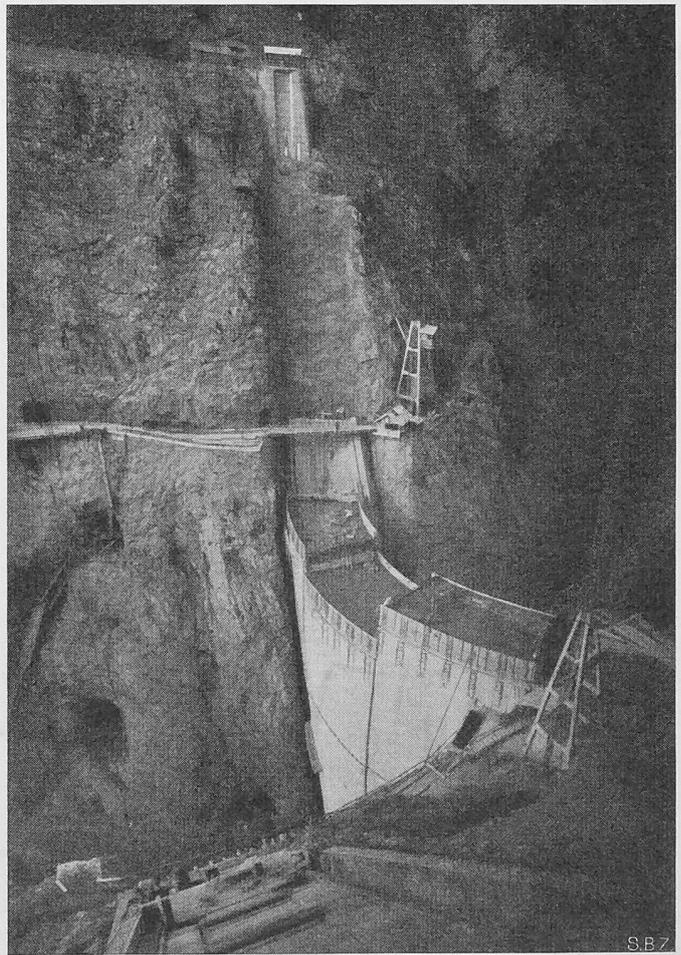


Bild 10. Staumauer Lumiei, Bauzustand im Juni 1947

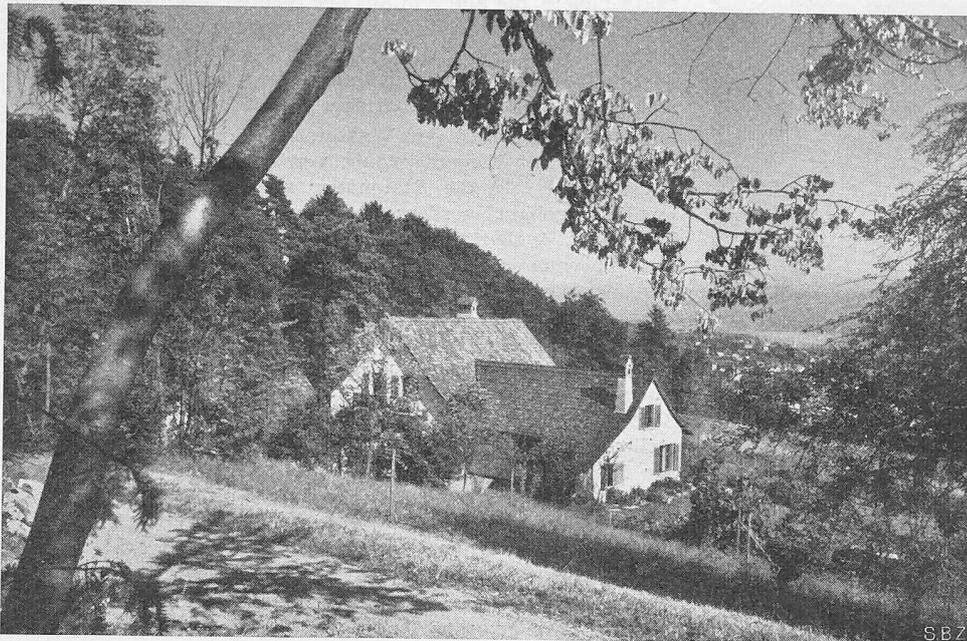


Bild 1. Gesamtansicht aus Nordwesten

wenn der Oeldruck für die Betätigung der Schieber unter einen bestimmten Wert absinkt. Dadurch ist die Betätigung der Schieber auch bei Störungen in der Stromversorgung sichergestellt.

Weitere Einzelheiten dieser Staumauer sind in einer Folge von Aufsätzen beschrieben, die in der italienischen Zeitschrift «Energia Elettrica» in den Jahren 1948 und 1949 erschienen sind. (Fortsetzung folgt)

### Landhaus im Grüt ob Meilen

DK 728.37(494.34)

Architekt MAX KOPP, Zürich

Hierzu Tafeln 5 bis 8

Das Haus liegt auf einer sonnigen, aussichtsreichen Geländeterrasse ob Meilen. Ein etwa 80 m langes, gut ausgebautes Zufahrtsträsschen verbindet die öffentliche Strasse mit dem Zugangshof, der von Haus und Anbau einerseits und der Garage andererseits gefasst wird. Das Haus selber ist in einen Haupttrakt und zwei Nebentrakte gegliedert und fügt sich so unauffällig und harmonisch in die Landschaft ein. Nach Osten begrenzt der bewaldete Bachlauf das Grundstück, nach Süden öffnet sich der Blick auf See und Alpen. Eine hohe Mauer schliesst den Winkel zwischen Garage und Laube zu einem stillen Innenhof.

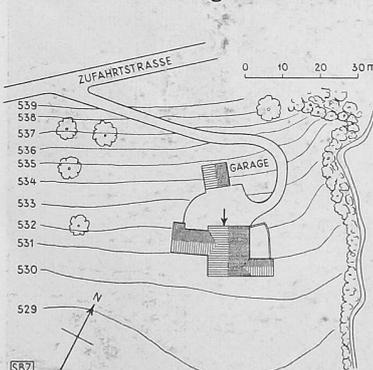


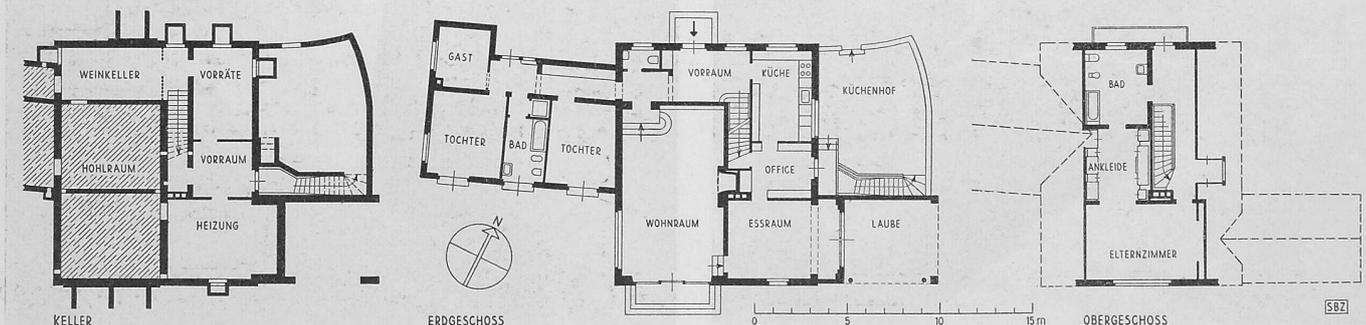
Bild 2. Lageplan 1: 2000

**Konstruktion.** Aussenwände am Hauptbau in 38 cm Backstein, an den Anbauten und an der Garage 32 cm. Doppeldach aus alten Biberschwanzziegeln mit Schindelunterzug, Kupferrinnen und Abfallrohren. Keller-

Bodenplatten. Cheminée im Wohnraum. Sämtliche Zimmer sowie Küche und Bäder haben elektrischen Heizanschluss. Geschmiedete Gitter an der Hofseite, geschmiedete Stabgeländer am Balkon und an der Freitreppe. Breiter Sonnenstolz vor dem Wohnraum. Säulen in der Laube in Eichenholz mit Kapitälchen. Die nichtunterkellerten Bauteile sind mit 1,00 m Hohlräumen versehen, der Boden darunter ist mit einer Magerbetonschicht abgedichtet. Bauausführung Frühjahr 1948. Umbauter Raum Wohnhaus 1673 m<sup>3</sup>, Garage 150 m<sup>3</sup>. Umgebungsarbeiten: Cramer & Surbeck, Gartenarchitekten, Zürich.

Max Kopp feiert am 16. Januar seinen sechzigsten Geburtstag, und wenn in der SBZ solche Anlässe sonst auch nicht besonders erwähnt werden, ist in diesem Fall doch eine Ausnahme von der Regel erlaubt. In den Jahren 1943 bis 1949 trug Max Kopp die Bürde eines Zentral-Präsidenten des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins, dem er auch in Kommissionen manchen Dienst geleistet hat.

In seiner Arbeit ist er, wie das hier publizierte Wohnhaus belegt, einer der besten Vertreter jener Richtung im Wohnbau, die an die vorhandenen Typen anknüpft, um damit wieder einen landschaftlichen Charakter der Wohnquartiere aufzubauen, nachdem dieser durch alle die willkürlichen, absichtlich traditionsfeindlichen Modernismen von den achtziger Jahren des letzten bis in die dreissiger Jahre unseres Jahrhunderts in Stücke gerissen worden war. Man mag diese Richtung «romantisch» nennen, aber es ist keine Romantik am Rand der Gegenwart, sondern eine Richtung, die aller Zeitschriftenpropaganda für andere Richtungen zum Trotz in Wirklichkeit 90 Prozent, also den Grundstock unserer Wohnbautätigkeit ausmacht. Dass da viele schlechte, oberflächlich-sentimentale Beispiele unterlaufen, viel «Heimattstil» in Anführungszeichen, versteht sich von selbst, und so ist es doppelt nötig, dass Max Kopp immer wieder zeigt, wie sich der traditionelle Typus technisch modernisieren lässt, und wie



Bilder 3 bis 5. Grundrisse des Hauses im Grüt, Masstab 1: 400