

DIE TALSPERREN ÖSTERREICHS

SCHRIFTENREIHE·HERAUSGEGEBEN VON DER
ÖSTERREICHISCHEN STAUBECKENKOMMISSION
UND DEM ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBAND WIEN · SCHRIFTL EITUNG:
PROF·DR·HERMANN GRENGG

HEFT 9

*Vorarlberger Illwerke
Aktiengesellschaft*

*Sohlwasserdruckmessungen
an der Silvrettasperre*

*zusammengestellt von
Dipl. Jng. Hugo Tschada*

WIEN 1959 · IM SELBSTVERLAG DES
ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBANDES

Abb. 1: Silvrettastausee
Im Vordergrund links der Bielerdamm, rechts die Silvrettasperre



DIE TALSPERREN ÖSTERREICHS

*Vorarlberger Illwerke
Aktiengesellschaft*

*Sohlwasserdruckmessungen
an der Silvrettasperre*

*zusammengestellt von
Dipl. Ing. Hugo Tschada*

WIEN 1959 IM SELBSTVERLAG DES
ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBANDES

Beschreibung der Gesamtanlage

Die Silvrettasperre ist eines der beiden Bauwerke, durch die auf dem sogenannten Ochsenboden im obersten Montafon der Hauptspeicher der Werksgruppe Obere - Ill der Vorarlberger Illwerke Aktiengesellschaft geschaffen wurde.

Die vier Stufen der Werksgruppe, Obervermunt, Vermunt, Latschau und Rodund haben zusammen eine Fallhöhe von 1270 m, ein Jahresarbeitsvermögen von 978 GWh. Die grösste Leistungsfähigkeit der 4 Stufen zusammen beträgt 347 MW.

Als Erweiterung der Anlagen der Vorarlberger Illwerke Aktiengesellschaft ist seit Jänner 1958 das Pumpspeicherwerk Lünensee mit einer Turbinenleistungsfähigkeit von 224 MW und einer Pumpenleistungsfähigkeit von 252 MW in Betrieb.

Ausser dem schon genannten Silvrettastausee mit einem Inhalt von $38,6 \text{ hm}^3$ besitzt die Werksgruppe noch die Speicher Vermunt mit 5 hm^3 , Latschau mit 1 hm^3 und das Pumpspeicherbecken des Lünensees mit 76 hm^3 Inhalt.

Das Einzugsgebiet der Werksgruppe beläuft sich samt einigen Bachüberleitungen auf 410 km^2 , das Gesamtarbeitsvermögen ist etwa 1330 GWh.

Der Aufbau der Silvrettasperre

Der weite Talquerschnitt an der Sperrenstelle wird durch eine kleine Erhebung am linken Talhang, den kleinen Ochsenkopf, in zwei Teile geteilt. Das eigentliche Tal wird durch die "Hauptmauer", die Mulde zwischen dem kleinen Ochsenkopf und dem linksufrigen Berghang durch die "Seitenmauer" abgeschlossen. Die Hauptmauer hat eine Kronenlänge von 430 m und eine Höhe von rund 80 m; die Seitenmauer eine Kronenlänge von 140 m und eine Höhe von 31 m.

Beide Sperren sind Gewichtsmauern mit gerade Krone. Die Formgebung des Querschnittes der Hauptmauer ist aus Abb. 8 zu ersehen.

Der 407.000 m^3 Beton umfassende Körper der Hauptmauer ist in 28 Blöcke von im Mittel 15 m Breite unterteilt. Die Mauer fusst am linken Talhang auf feinstrahligem, teilweise granatführendem Amphibolit; auf der rechten Talflanke ist nach einer Störungszone ein kräftig gefalteter, dünn geschieferter Hellglimmergneis gefunden worden. Die Schichtung fällt an beiden Talseiten gegen den Berg hin ein (vgl. "Die Talsperren Österreichs" Heft 5).

Die Aufstandsfläche der Sperrmauer endet wasserseits mit einem Sporn, der in eine Injektionsschürze überleitet: In Abständen von ca. 2,5 m wurden dort Löcher von 25 bis 35 m Tiefe in den Fels gebohrt und anschliessend mit Zementmilch bei Drücken bis zu 40 atü ausgepresst.

Um zwischen dem zu errichtenden Bauwerk und dem Fels einen möglichst guten Kontakt zu erzielen, injizierte man mit einem Druck von 6 bis 8 atü, teils vor, teils nach dem Einbringen der ersten 5 m Fundamentbeton über die ganze Aufstandsfläche der Sperre hin den Fels mit Zementmilch. Der Abstand der einzelnen Injektionslöcher wurde je nach Felsbeschaffenheit festgelegt, ihre Tiefe betrug 5 bis 6 m.

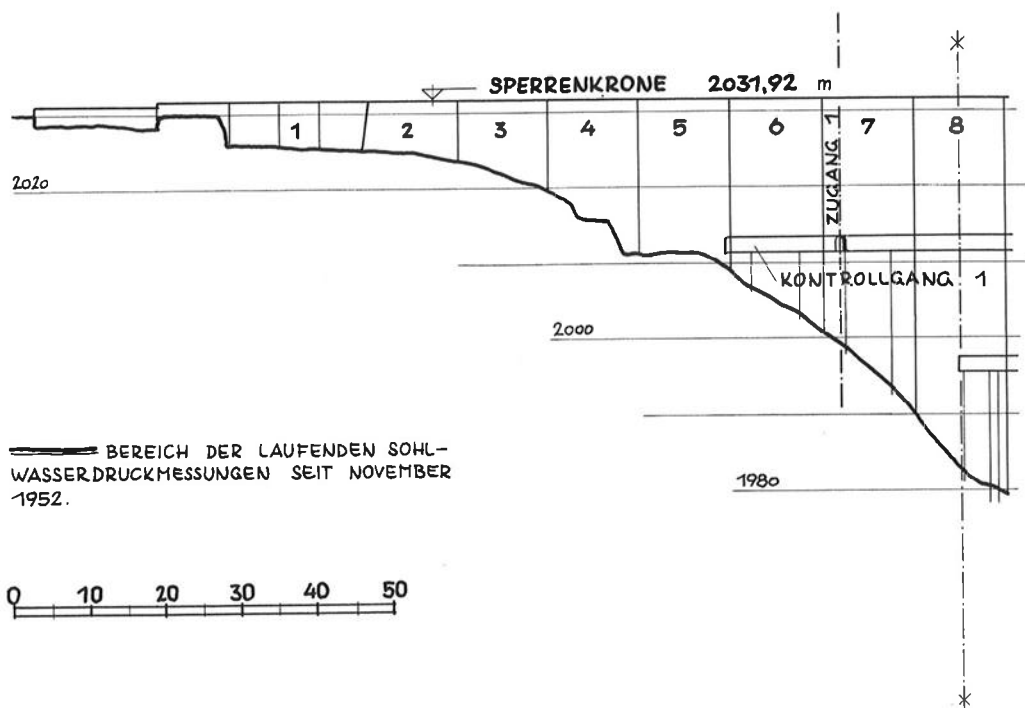


Abb. 2 Silvrettasperrre, Hauptmauer, Längenschnitt 1 : 1000

Nach Fertigstellung der Mauer, zu einem Zeitpunkt als der Fundamentbeton schon vollständig abgekühlt war, sind auch noch die luftseitigen Mauerfüsse, und zwar sowohl gegen die Sohle, als auch gegen die luftseitige Böschung hin in gleicher Weise mit Injektionen innig mit dem Felsuntergrund verbunden worden.

In den Zugangsstollen Z₃ (Block 11), Z₅ (Block 16), Z₆ (Block 24) und im Ablaufstollen des Blockes 13 (siehe Abb. 2) sollten eigene Messstellen zur Feststellung der Abnahme des Sohlwasserdruckes gegen die Luftseite hin dienen; sie wurden in eigens dazu ausgesparten Nischen in der Stollenwand untergebracht.

Der Ablauf der Sohlwasserdruckmessungen

Nachdem die Staumauer im wesentlichen fertiggestellt war, wurden in den Jahren 1947 und 1948, also noch vor dem im Jahre 1950 erfolgten Vollstau, in den Kontrollgängen mehrere Bohrungen bis zur Felsoberfläche durchgeführt, um auch in Längsrichtung der Mauer den Sohlwasserdruck verfolgen zu können, d. h. um in einem grösseren Bereich die tatsächlichen Sohlwasserdruckverhältnisse kennenzulernen.

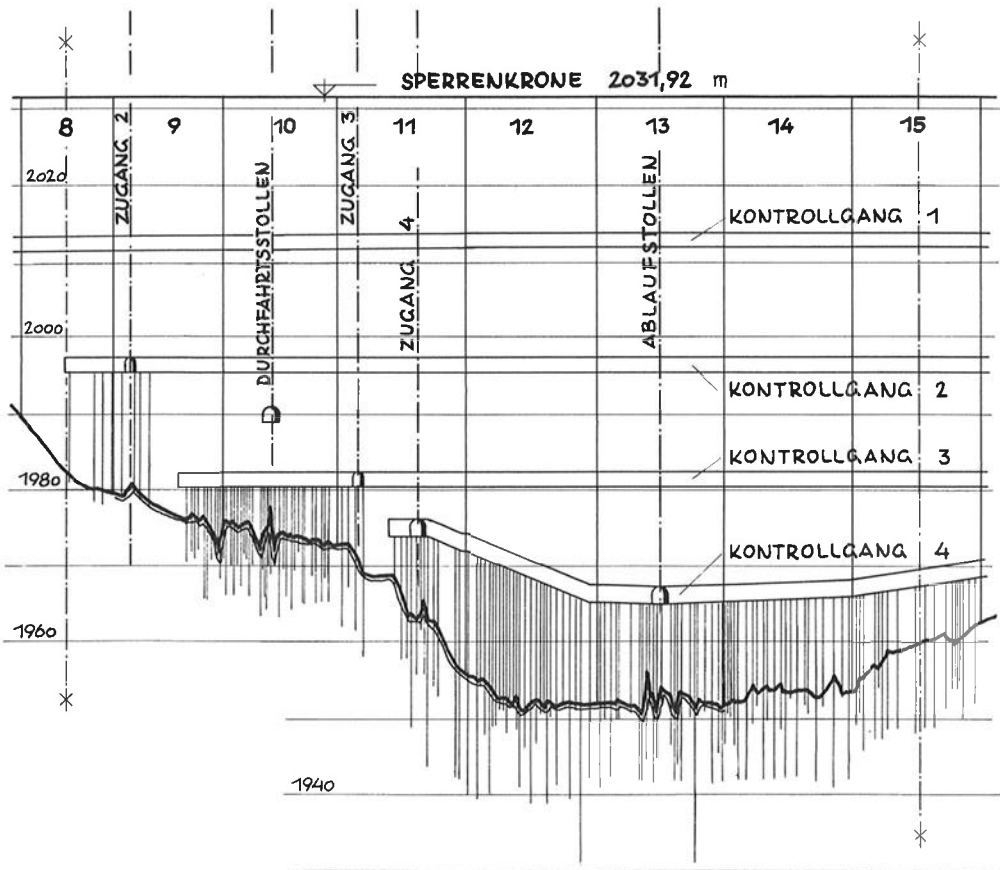


Abb.2 Silvrettasperrre, Hauptmauer, Längenschnitt 1 : 1000

Da die ersten Messungen Sohlwasserdrücke bis zu 80%, ja sogar 90% des jeweiligen Stauwasserdruckes ergaben, versuchte man durch weitere Injektionen von den Kontrollgängen aus die Sohlwasserdruckverhältnisse zu verbessern. So wurden in den Jahren 1948 bis 1952 laufend Injektionsarbeiten im Mauerinneren durchgeführt. Die grosse Mühe der Abdichtung des wasserseitigen Sperrenfusses kann man aus Abb. 2 ersehen: hier sind alle senkrechten Bohrlöcher, die von den Kontrollgängen aus in den Fels vorgetrieben wurden, eingetragen. Aus ihrer Dichte lässt sich die jeweilige Durchlässigkeit des Untergrundes erkennen.

Um später den Erfolg dieser Massnahme feststellen zu können, wurde nach erfolgter Injektion wieder nachgebohrt, das Bohrloch dann offen gelassen und

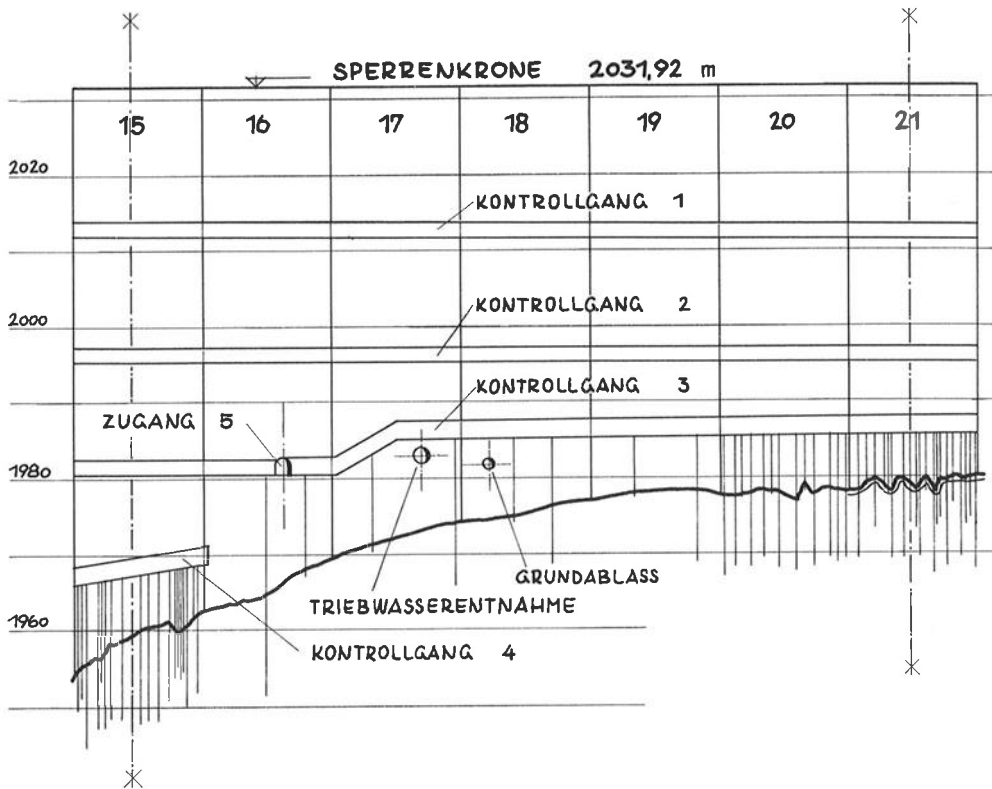


Abb. 2 Silvrettasperre, Hauptmauer, Längenschnitt 1 : 1000

als Messstelle eingerichtet (das sind die sogenannten Neumessstellen). So erklärt sich die grosse Zahl der Messstellen in der Silvrettasperre (20 Altmessstellen und 178 Neumessstellen).

Die Bezeichnung der Bohrlöcher erfolgte nach Kontrollgang, Blocknummer und Abstand des Bohrloches von der Blockfuge des vorhergehenden Blockes. Das Bohrloch 1 - 06 - 02,74 ist demnach im Kontrollgang 1, gleichzeitig im Block 6 und von der Blockfuge 5/6 2,74 m entfernt.

Seit dem Beginn des Einstaues sind Sohlwasserdruckmessungen laufend durchgeführt worden. Von 1942 bis zum Herbst 1947 standen die Beobachtungen unter dem Einfluss des ständig wachsenden Stauspiegels, vom Herbst 1947 bis zum Jahre 1952 waren sie von den Injektionsarbeiten im Mauerinneren beeinflusst. Die Beobachtungen dieses Zeitraumes ergeben aus diesen Gründen kein einwandfreies Bild der Sohlwasserdruckverhältnisse. Erst die Messungen der Jahre 1953 und 1954 vermitteln einen besseren, ungestörten Einblick.

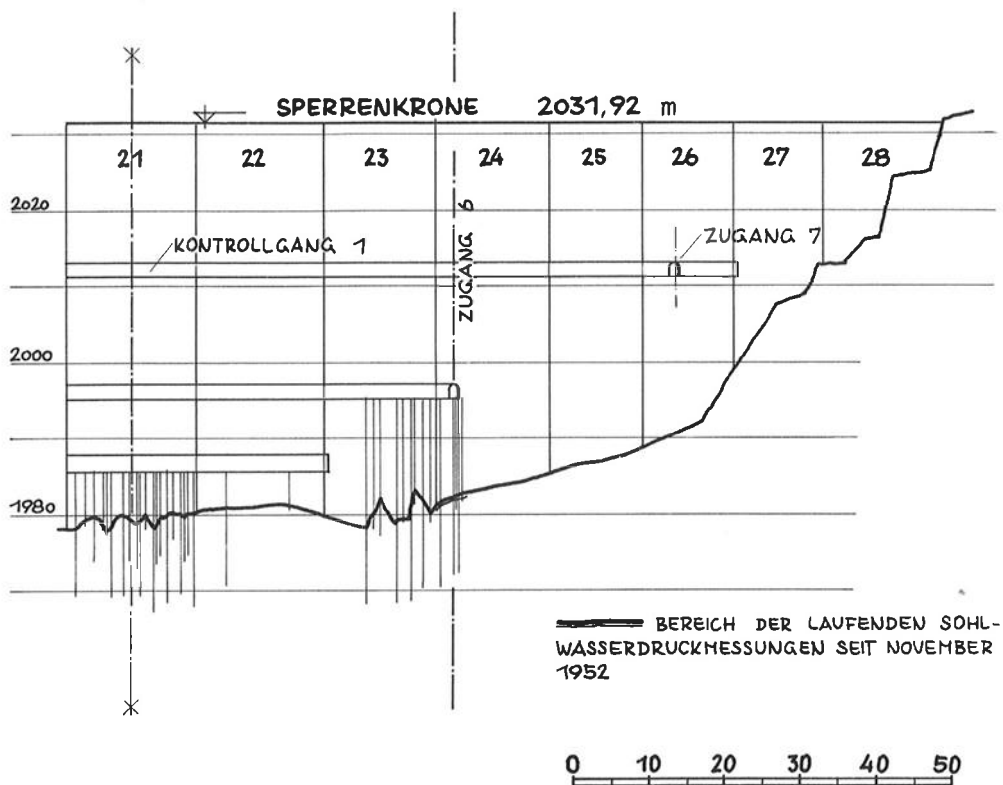


Abb. 2 Silvrettasperre, Hauptmauer, Längenschnitt 1 : 1000

Diese Messungen beschränken sich allerdings nur auf die Blöcke, 9, 10, 11, 12, 13 und 21 bzw. 24 (vgl. Abb. 2). In den anderen Blöcken lagen die gemessenen Sohlwasserdrücke stets unter den zulässigen, d. h. für die statische Berechnung der Mauer angenommenen Werten. Block 13 ist der höchste Block überhaupt, ferner steht er auf gutem störungsfreiem Fels. Die Blöcke 9 bis 12 und der Block 21 hingenen fassen auf einer Störungszone.

Die Messmethode

Die der Beobachtung dienenden Bohrlöcher wurden oben verrohrt und mit einem kleinen Ventil abgeschlossen. Oberhalb des Ventils war ein Gewinde angebracht, mit dessen Hilfe das Manometer am Rohr befestigt werden konnte (Abb. 3). Der Messvorgang war folgender:

Nachdem das Manometer aufgesetzt war, wurde das Ventil geöffnet und dann solange gewartet, bis am Manometer kein Druckanstieg mehr bemerkt werden konnte. Der sich so einstellende Endwert wurde schliesslich abgele-

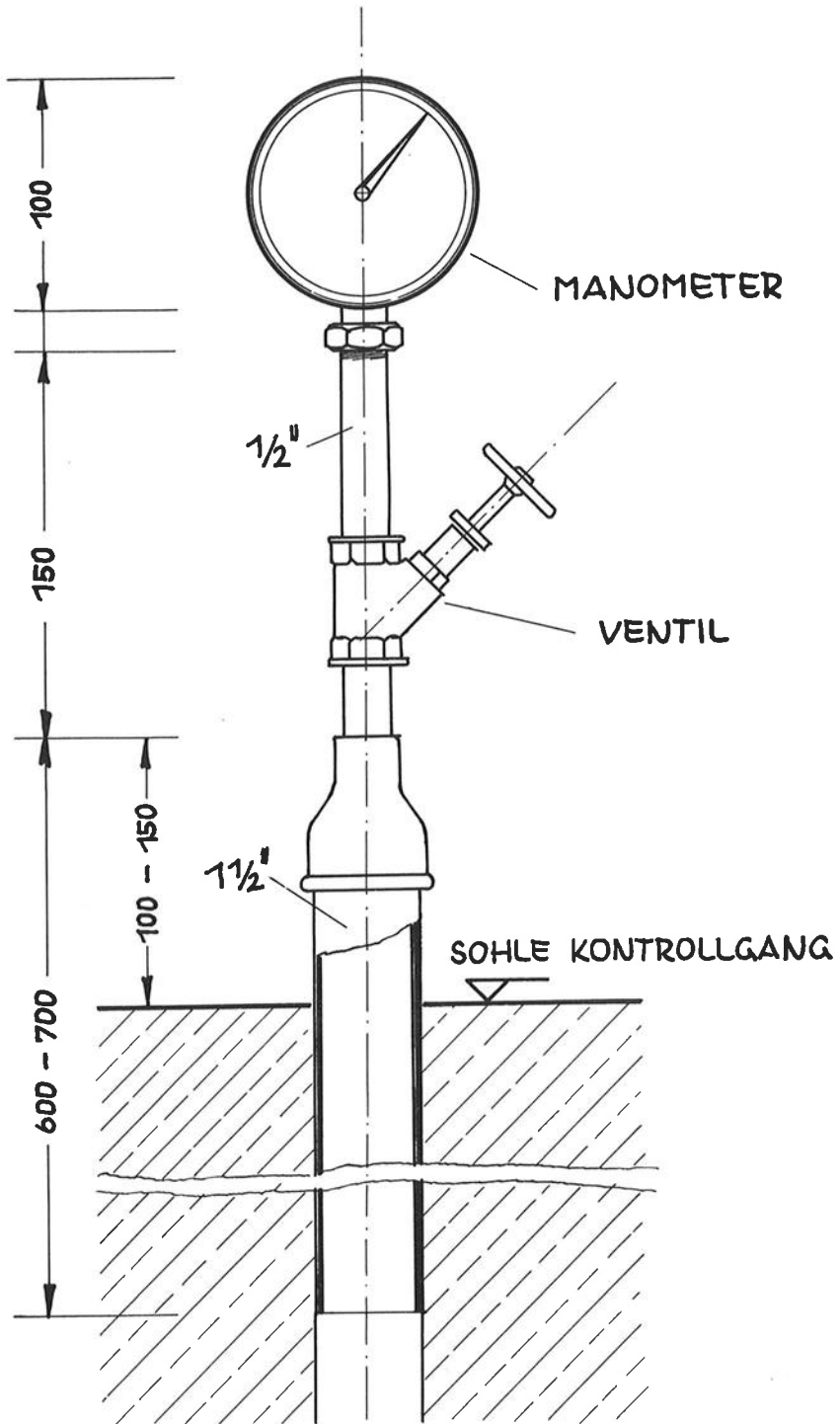


Abb. 3: Messeinrichtung an den Bohrlöchern

sen und im Feldbuch vermerkt. An den Messstellen mit hohem Sohlwasserdruck dauerte es bis zum Erreichen dieses Endwertes nur ca. 20 bis 30 Sekunden. Es gab aber auch Beobachtungsstellen mit so geringem Wasserandrang, dass dieser Vorgang mehrere Stunden in Anspruch nahm.

Diese Messmethode hängt sehr von der Sorgfalt ab, mit der sie der Beobachter durchführt. Da aber die Messungen immer von denselben Leuten gemacht wurden, so verfügten diese doch über die nötige Erfahrung, um genau zu wissen, wie lange sie bei den einzelnen Messstellen zu warten hatten, bis sie die Ablesung durchführen durften. An Messstellen, deren Druckhöhe tiefer lag als die Sohle des Kontrollganges, wurde der sich im Bohrloch einstellende Wasserspiegel einfach von der Oberkante des Rohres abgelotet.

Fehlerquellen der Messung waren undichte oder auch versinterter Ventile, undichte Verrohrung des Bohrloches und schliesslich die oft nicht immer mögliche völlige Abdichtung des Manometeranschlusses. Die Anzeige des Manometers wurde immer mittels einer Eichvorrichtung überprüft.

Die Beobachtungen sind wöchentlich einmal, an besonders wichtig erscheinenden Stellen wöchentlich zweimal durchgeführt worden.

Um den Sohlwasserdruck etwas zu verringern, öffnete man je Block kurz vor Erreichen des Stauzieles einige Messstellen. Durch den freien Ausfluss des Wassers aus den Bohrlöchern ergab sich tatsächlich eine deutliche Verminderung des Druckes; es dauerte nur sehr lange, bis sich an der Mauer- sohle wieder ein stationärer Zustand einstellte (ca. 1 bis 1 1/2 Monate). Meist öffnete man jene Bohrlöcher, die grossen Druck anzeigten. Das Öffnen der Messstelle brachte es aber mit sich, dass diese für weitere Beobachtungen ausfiel und man den Erfolg der Aktion nur ungefähr aus dem Absinken des Druckes an benachbarten Messstellen feststellen konnte.

An Hand der in den Feldbüchern eingetragenen Werte sind für gewisse Bohrlochgruppen der einzelnen Blöcke Ganglinien des Sohlwasserdruckes gezeichnet worden, wobei man den Sohlwasserdruck seinem absoluten Wert nach auftrug. Um eine Vergleichsmöglichkeit zu den Änderungen des Stauspiegels zur selben Zeit zu haben, ist auf jedem Blatt die Ganglinie des Wasserstandes eingetragen worden (Abb. 4).

Diese Ganglinien geben zwar guten Aufschluss für die Veränderungen des Sohlwasserdruckes im jahreszeitlichen Ablauf und für die Richtigkeit der Messungen. Sie sind aber, um einen räumlichen Überblick zu erhalten, nur sehr schwer lesbar. Für die vorliegende Arbeit wurde daher aus der Vielfalt der Messergebnisse jeweils ein Hochstand, vor dem Öffnen der Ventile, und ein Tiefstand des Stauspiegels des einen Jahres herausgegriffen und zusammen mit den entsprechenden Werten des darauffolgenden Jahres zur Darstellung gebracht.

Für den Hochstand im Speicher waren dies die Messungen vom 16. 7. 1953, bzw. vom 29. 7. 1954 (Stauspiegel auf 2024,50 m); für den Tiefstand die Werte vom 30. 4. 1953 bzw. 29. 4. 1954. Im letzteren Falle konnten die Werte nach einer längere Zeit dauernden konstanten Spiegellage, dem Absenkziel, zum Vergleich herangezogen werden.

Die Beobachtungen an den Blöcken 9 bis 12 (siehe die Abb. 5, 6, und 7)

Die Zusammenfassung der Blöcke 9 bis 12 zu einer Einheit ergab sich aus der besonderen Beschaffenheit des Felsuntergrundes. Es konnte unter diesen

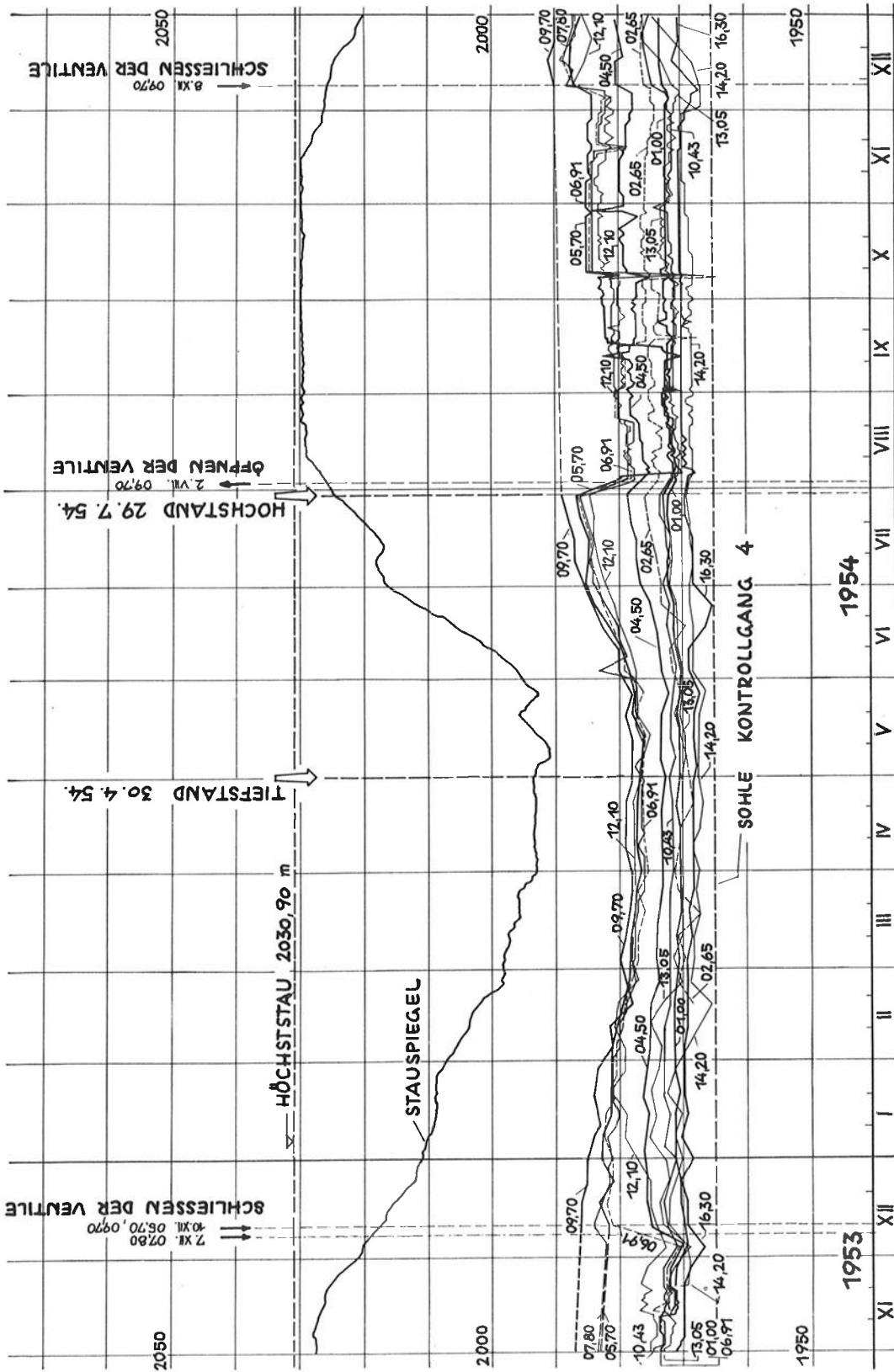


Abb. 4: Ganglinie der Sohlwasserdrücke für das Jahr 1954 Block 13, senkrechte Bohrlöcher im Kontrollgang 4

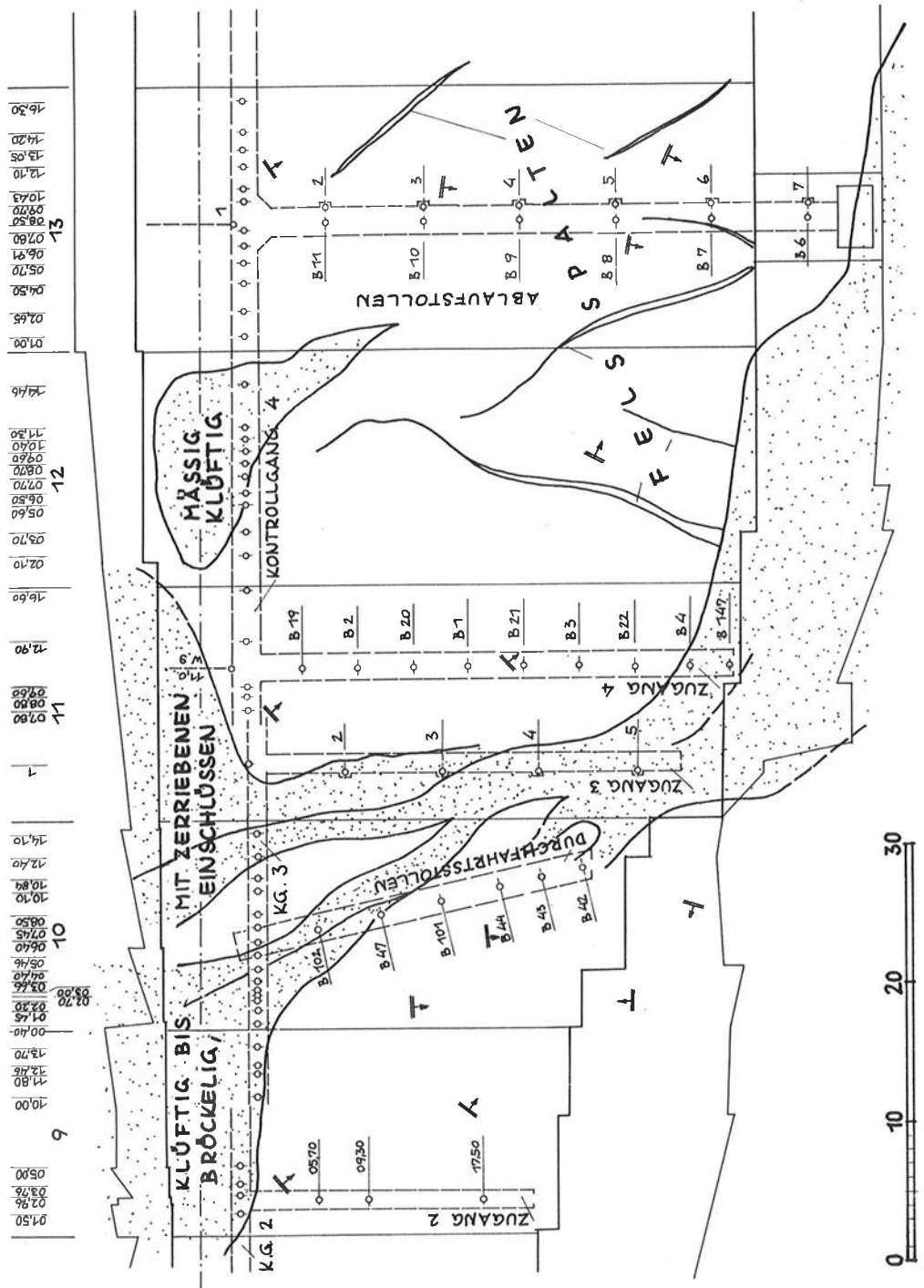


Abb. 5: Lageplan der Störungszone an der nördlichen Talflanke

Blöcken eine Störungszone im Fels festgestellt werden. Sie zieht in einer zur Mauerachse schrägen Richtung unter den Blöcken durch und ist mit klüftigem bis bröckligem Felsmaterial gefüllt (Abb. 5). Dadurch ist eine gewisse gerichtete Wasserwegigkeit an der Sohle der Sperre gegeben, die sich auch an Hand der Messergebnisse gut nachweisen lässt.

Der Sohlwasserdruck wurde entlang der Kontrollgänge und in den verschiedenen Zugängen dazu gemessen. Es ergab sich damit ein Beobachtungslängenschnitt (Abb. 6) ungefähr in Mauerachse, sowie vier Querschnitte: die Zugänge 2, 3 und 4, und der Durchfahrtsstollen. Von den Querschnitten liefern in erster Linie nur die Schnitte entlang Zugang 3 und 4 brauchbare Ergebnisse (vgl. Abb. 7: Sohlwasserdruckverteilung Block 11, Querschnitte).

Für den Längsschnitt ergibt sich folgende Verteilung der absoluten Werte des Sohlwasserdruckes bei Hochstand im Speicher (Abb. 6): Hoher Druck nahe der Blockfuge 8/9, dann Absinken des Druckes bis über die Blockmitte hinaus. Von da an konnte wieder ein erst rasches, später abklingendes Ansteigen der Druckspitzen festgestellt werden. Der höchste Stand der Wassersäule im Block 10, bei einer absoluten Höhe von 2.017,5 m, wurde ca. 2,5 m vor der Blockfuge erreicht - der Wasserspiegel im Speicher lag zum selben Zeitpunkt auf einer Höhe von 2.024,20 m. Von dieser Spitze an sinkt die Wassersäule der einzelnen Messstellen ungefähr entsprechend der hier steil abfallenden Gründungsfläche der Sperre. An der Blockfuge 11/12 erreicht die Wassersäule nur mehr eine Höhe von 1.997 m.

Die relativen Werte des Sohlwasserdruckes liegen zwischen 60 und 65 % der zugehörigen grossen Stauhöhe für die Druckspitzen (Block 9 bis einschliesslich 11). Die Druckhöhen für den Block 12 nehmen zwar bis zur Blockmitte ähnlich dem Block 11 ab (4-12-9, 60:1979 m oder 37 %), die Messergebnisse der beiden aufeinanderfolgenden Jahre, 1953 und 1954, weichen aber stark voneinander ab. Bei Block 10 wurden in beiden Jahren fast genau dieselben Werte gemessen. Von der Mitte des Blockes 12 an streuen die Messergebnisse sehr stark: einerseits in bezug auf die schon oben erwähnte Aufeinanderfolge der Jahre, andererseits sind die in benachbarten Bohrlöchern gemessenen Werte sehr voneinander verschieden. Die Messung am Bohrloch 4 - 12 - 14,40 ergab 1953 für den Hochstand einen Wert von 99 %, 1954 dagegen nur 33 %. Irgend-eine Gesetzmässigkeit für diesen Abschnitt konnte aus den Messergebnissen nicht herausgelesen werden.

Beim "Tiefstand" ist die Verteilung des Druckes analog dem Hochstand. Die Wassersäule in den Bohrlöchern sank zwar im Mittel um ca. 20 m; die relativen Werte sind dagegen angestiegen, sie betragen nunmehr im Mittel 75 % gegenüber 60 bis 65 % für den Hochstand. Für manche Stellen - im Block 10 - konnten sogar 95 % errechnet werden.

Für die Querverteilung konnten wie bereits erwähnt, Messungen aus vier Profilen herangezogen werden.

Im Zugangsstollen 2 waren drei Bohrlöcher angeordnet, an denen laufende Beobachtungen gemacht wurden. Die Wassersäule in diesen Bohrlöchern stieg nie über die Sohle des Zugangsstollens an - ihre Höhe wurde immer durch Abloten festgestellt. Als grösste Änderung ihrer Höhe wären 5 m zu nennen, als Differenz der Messung zu Zeiten des entleerten Speichers und der Messung bei Vollstau. Der Druck war bei Hochstau stets um 10 bis 15 m Wassersäule niedriger als der im anschliessenden Kontrollgang gemessene. Als relative Werte wären für den Hochstand 23 % (63 % im Kontrollgang) und für den Tiefstand 67 % der Stauhöhe anzugeben. Für diesen Querschnitt ergibt sich hiermit fol-

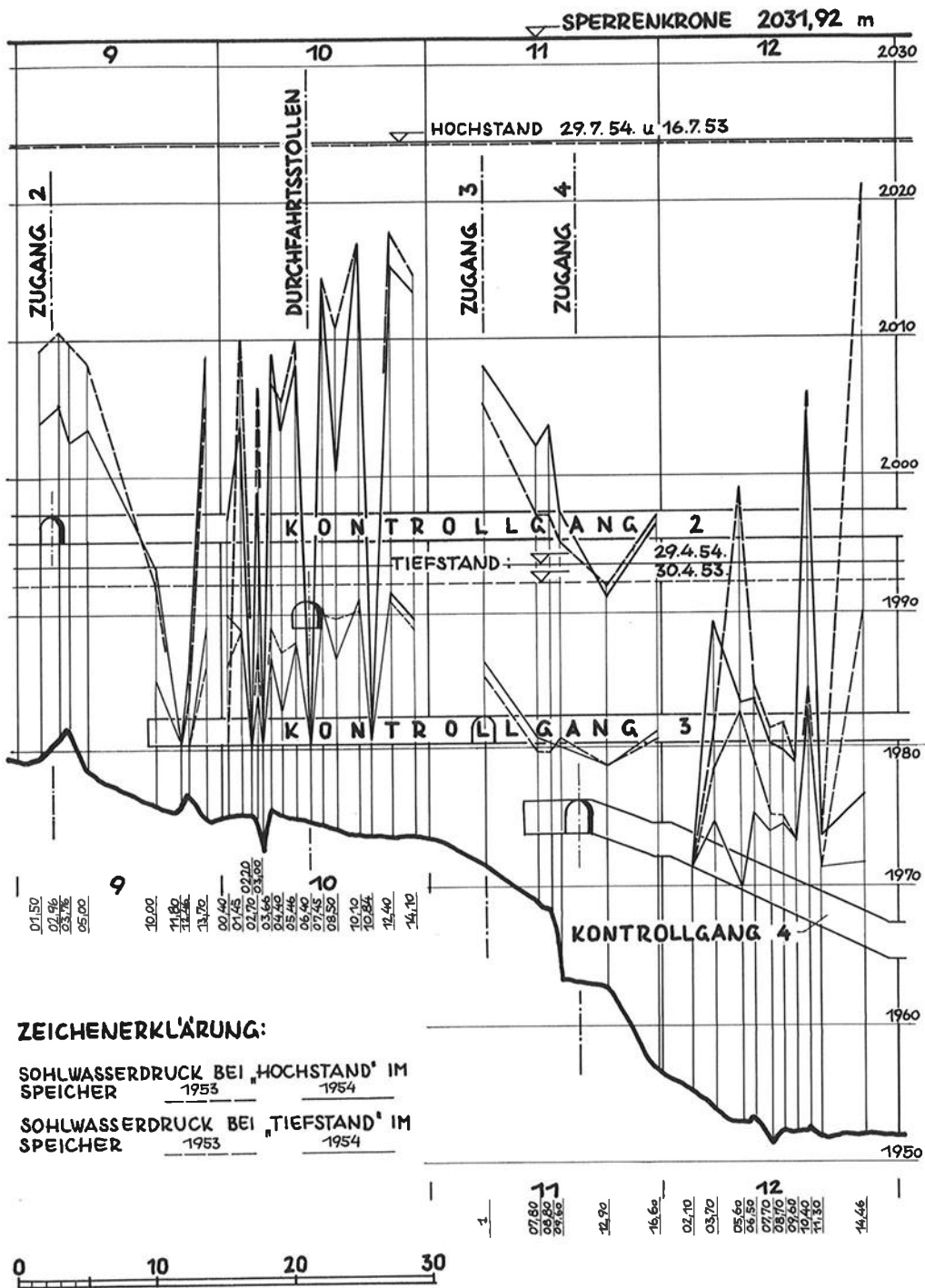


Abb. 6: Längsschnitt Block 9 - 12: Messergebnisse des Sohlwasserdruckes

gendes Bild: Hoher, mit dem Wasserspiegel im Speicher rasch veränderlicher Druck von der Wasserseite her bis zur Höhe des Kontrollganges. Von da an fast gleichbleibender, aber um die Hälfte niedrigerer Druck als vorher. Im nächsten Profil, entlang des sogenannten Durchfahrtsstollens, liegen dieselben Verhältnisse vor: Die Höhe der einzelnen Wassersäulen in den Bohrlöchern dieses Stollens blieb die ganze Zeit über auf fast gleicher Höhe (1984 m) - nahezu unabhängig vom Wasserspiegel im Stauraum - und erreichte nie die Sohlhöhe des Stollens. Als relative Werte wurden demnach für den Hochstand 13 % und für den Tiefstand 31 % der Stauhöhe errechnet. Als Querverteilung ergibt sich dasselbe Bild wie beim Zugangsstollen 2, nur ist hier der gemessene Druck gegen die Luftseite hin noch geringer.

Die schwache Druckanzeige der Messstellen im Zugangsstollen 2 sowie im Durchfahrtsstollen, und vor allem die offensichtliche Unabhängigkeit vom Speicher könnte zwei Ursachen haben: Entweder ist der Felsuntergrund wirklich dicht - die Bohrlöcher liegen fast alle ausserhalb des Störungsbereiches (Abb. 5) und werden nur durch Hangwässer beeinflusst, oder die Bohrlöcher sind versintert und können deswegen keinen Druck anzeigen. Da aber doch aus den einzelnen Ganglinien eine gewisse, wenn auch nur kleine Bewegung des Wasserspiegels im Bohrloch festgestellt werden konnte, dürfte letzteres nicht der Fall sein.

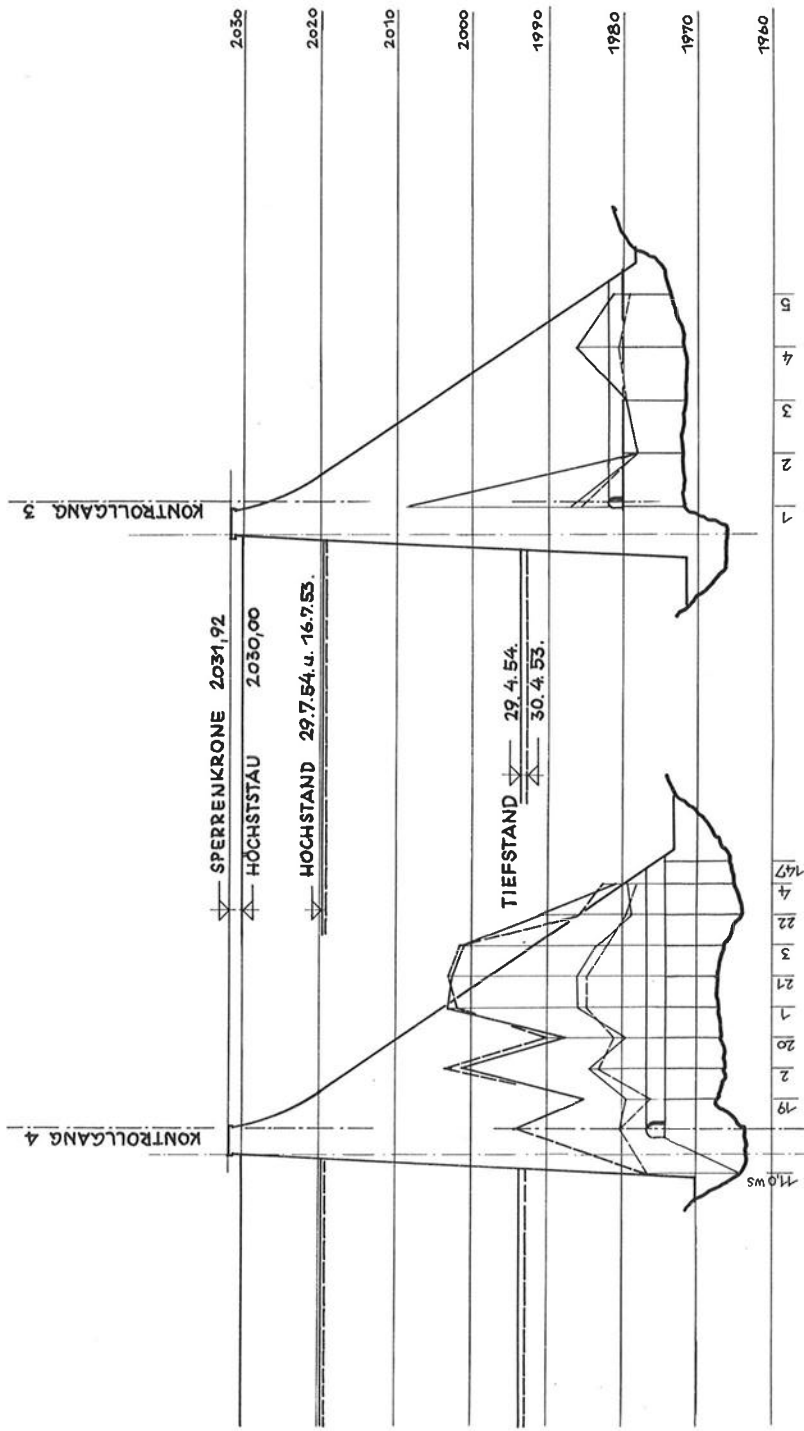
Für den Querschnitt längs des Zugangsstollens 3 treffen ziemlich gleichartige Beobachtungen zu (Abb. 7). Während die wasserseitige Hälfte des Stollens bereits wieder im festen Bereich des Felsuntergrundes liegt, enden die Bohrlöcher der luftseitig gelegenen Hälfte direkt im Zerrüttungstreifen des Felsens.

Das Bohrloch 1 in der Achse des Kontrollganges 3 zeigt hohen Druck an (Wassersäule auf 2008 m d. i. 75 %); an den Bohrlöchern 2 und 3 werden stets dieselben Werte gemessen. Beide Bohrlöcher dürften wahrscheinlich im Bereich der Sohle entweder versintert, oder, da es sich um sogenannte "Altmessstellen" handelt, durch die Injektionsarbeiten in der Mauer verstopft worden sein. Die Messstellen 4 und 5 ergeben eine deutliche Druckanzeige (Bohrloch 4: Wassersäule auf 1986 m d. i. 29 % bei Hochstand; bei Tiefstand Wassersäule auf 1980,50 m d. i. 37 %). Diese beiden Bohrlöcher enden in der Störungzone.

In allen bisher besprochenen Querschnitten konnte eine gewisse Gleichartigkeit in der Verteilung des Druckes über den Querschnitt gefunden werden. Anders im Querschnitt entlang des Zuganges 4 (die Entfernung der Querschnitte entlang Zugangsstollen 3 und Zugangsstollen 4 beträgt nur 7 m): Hier nimmt der Sohlwasserdruck gegen die Luftseite hin zu. Er steigt von der Wasserseite her sehr rasch an, erreicht im ersten Drittel seinen Höchstwert (Wassersäule auf 2003 m, 67 %), bleibt dann auf gleicher Höhe, um vom letzten Viertel des Querschnittes an wieder abzusinken.

Ähnliche Druckverläufe konnten auch in den Querschnitten der Blöcke 13 und 24 gefunden werden - sie sind typisch für störungsfreien, ungeklüfteten Fels an der Aufstandsfläche der Mauer. Eine Erklärung dafür wird bei der Besprechung der Sohlwasserdruckverhältnisse für Block 13, der in mancher Hinsicht eine Sonderstellung einnimmt, gegeben werden.

Der Druckverlauf bei entleertem Speicher (Tiefstand) entspricht dem des Hochstandes, nur erreichen die Wassersäulen im Mittel um 17 m niedrigere Höhen. Der daraus errechnete relative Wasserdruck steigt dagegen an (72 % gegenüber 67 %).



QUERSCHNITT ZUGANG 4 **QUERSCHNITT ZUGANG 3**

ZEICHENERKLÄRUNG:
 SOHLWASSERDRUCK BEI 'HOCHSTAND' IM SPEICHER 1953 1954
 SOHLWASSERDRUCK BEI 'TIEFSTAND' IM SPEICHER 1953 1954

Abb. 7: Querschnitte Block 11: Messergebnisse des Sohlwasserdruckes entlang der Zugänge 3 und 4

Für die Blockgruppe 9 bis 12 ergibt sich folgendes Belastungsbild: Hoher, aber mit der Stauhöhe wechselnder Druck (ca. 60 %) am wasserseitigen Fuss der Blöcke, der bis auf die Höhe der Kontrollgänge reicht. Dahinter starker Abfall des Druckes auf kleine, meist gleichbleibende Werte (ca. 30 %), die sich auch gegen die Luftseite hin nur wenig verändern. Die einzelnen Blöcke sind hier an der Luftseite bis fast zur Höhe der Zugänge in den Felsen eingebunden, sodass die Sickerwässer keine Möglichkeit haben abzufließen, sie werden eher vom anschliessenden Felsriegel gestaut. Die breite Zone niedrigen Druckes reicht von Block 9 bis in das erste Viertel des Blockes 11. Von da an wurden hohe Drücke, fast über den ganzen Querschnitt hin, beobachtet (Zugang 4).

Die geologischen Verhältnisse an der Gründungsfläche dieser Blockgruppe (Abb. 5), lassen die gemessenen Werte des Sohlwasserdruckes als durchaus glaubwürdig erscheinen. Im ersten Teil wurden die hohen Drücke stets im Bereich der Störungszone gemessen, im dahinter anstehenden Fels blieben die Drücke klein und änderten sich mit wechselnder Spiegellage im Speicher nur wenig.

Es darf vermutet werden, dass dieser Streifen etwas durchlässigeren Materials eine Drainage des benachbarten Untergrundes hervorruft. Für die Beobachtungsstellen aus dem Kontrollgang 4 trifft dies nicht mehr zu: Hier ist der Fels der Aufstandsfläche über die ganze Breite hin gleichartig, ohne nennenswerte Klüfte (Abb. 5).

Block 13

Der Block 13 ist der höchste von allen Blöcken der Talsperre. Er misst eine Höhe von rund 76 m, seine Aufstandsfläche ist 55 m lang und 17 m breit. Er fusst zur Gänze auf gutem, störungsfreiem Glimmergneis.

Die Messungen des Sohlwasserdruckes erfolgten in Richtung der Sperrenachse im Kontrollgang 4 und senkrecht dazu im sogenannten Ablaufstollen in der Mitte des Blockes. Dieser Ablaufstollen ist der am tiefsten angelegte Stollen der Sperre überhaupt, und dient vor allem der Abfuhr der durch die Kontrollgänge gesammelten Sickerwässer der Sperre.

Der Sohlwasserdruck wurde an 42 Stellen laufend beobachtet. Neben den Messstellen im Kontrollgang 4 und im Ablaufstollen sind an der Einmündung des Ablaufstollens in den Kontrollgang eine Anzahl von Bohrlöchern teppichartig bis zur Felsoberfläche vorgetrieben worden. Es wurden auf einer Fläche von ca. 30 m² 24 Messstellen eingerichtet. Die Beobachtungen an den einzelnen Bohrlöchern ergaben zum Teil recht gut übereinstimmende Werte; es finden sich aber immer wieder Bohrlöcher, deren Messergebnis wesentlich von den anderen abweicht. In der Abb. 8 sind wieder die an den einzelnen Bohrlöchern entlang des Ablaufstollens gemessenen Grössen des Sohlwasserdruckes ihrem absoluten Werte nach eingetragen.

Von der Wasserseite her nimmt der Druck sehr rasch ab, er erreicht auf Höhe der Kontrollgänge in Blockmitte Werte von 54 %, an den Messstellen B 11, bzw. 2 den niedersten Wert (33 %), um dann wieder rasch auf einen Wert von ca. 46 % anzusteigen; dieser Wert bleibt bis fast zum luftseitigen Mauerfuss erhalten.

Im Ablaufstollen sind zwei parallele Reihen von Messstellen eingerichtet worden. Die eine (Bohrloch 1 bis 7) wurde vor Beginn der Injektionsarbeiten in Nischen der Stollenwandung angeordnet (Altmessstellen), die zweite, nach Beendigung der Arbeiten, 1 m davon entfernt in Stollenachse (Bohrlöcher B 6 - 11,

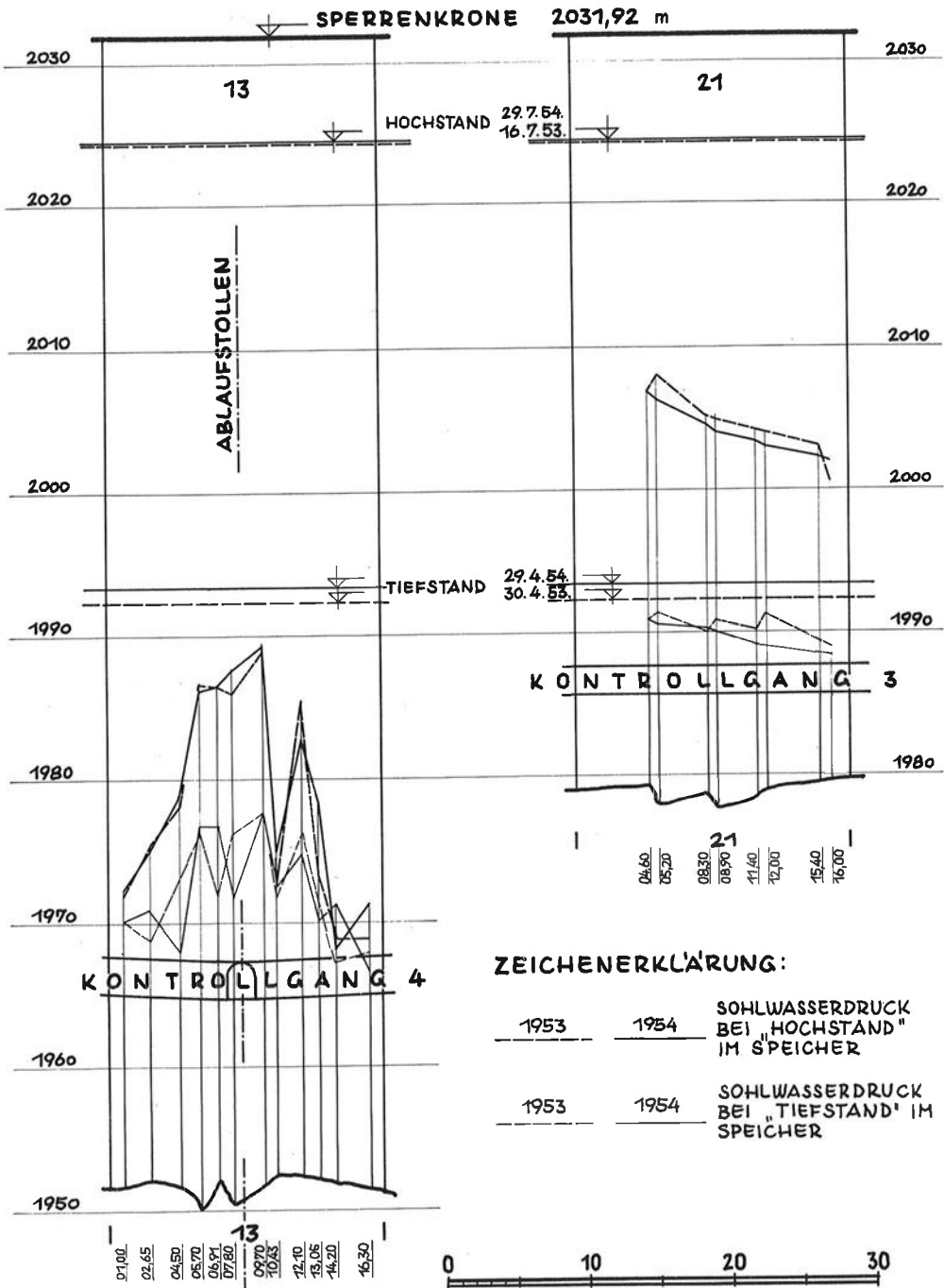


Abb. 9: Längenschnitte Block 13 und Block 21: Messergebnisse des Sohlwasserdruckes

punktierter Linienzug in der Abb.8). Beide Beobachtungsreihen ergaben sehr gut übereinstimmende Werte, nur das Bohrloch 6 zeigte stets denselben niedrigen Druck an.

Es soll nun versucht werden, für die Form dieser Druckverteilung eine Erklärung zu finden:

Der Felsuntergrund ist über die ganze Aufstandsfläche des Blockes 13 hin gleichartig und ohne jegliche Störung (siehe Abb.5). An der Wasserseite des Mauerfusses wurde, wie schon eingangs erwähnt, ein tiefer Injektionsschleier eingebracht, mit nachträglicher Verdichtung vom Kontrollgang 4 aus. Der luftseitige Mauerfuss wurde durch Kontaktinjektionen fest mit dem Felsuntergrund verbunden.

Eine plausible Erklärung für das anfängliche Nachlassen des Sohlwasserdruckes gegen die Luftseite hin wurde nicht gefunden. Das spätere rasche Ansteigen und dann Gleichbleiben des Druckes jedoch, kann als eine Wirkung der Injektionen am luftseitigen Mauerfuss angesehen werden. Die damit erzielte gute Verbindung des Mauerfusses mit dem Untergrund gibt dem Sohlwasser wenig Gelegenheit abzufließen, sie staut eher das andringende Wasser.

Eine solche Verteilung wurde stets bei gleichartigem Felsuntergrund angetroffen: Man vergleiche auch die Schnitte entlang Zugang 4 und entlang Zugang 7 (Blöcke 11 und 24), (Abb. 11).

Die Verteilung des Sohlwasserdruckes entlang des Kontrollganges 4, also in Richtung der Sperrenachse, findet dagegen keine Parallele bei anderen Blöcken. Hier wurde eine glockenförmige Verteilung der Drücke von Blockfuge zu Blockfuge angetroffen (Abb. 9). Obwohl Block 13 der höchste aller errichteten Blöcke ist, seine Aufstandsfläche demnach am tiefsten zu liegen kam, so erreichten die dortigen Druckspitzen des Sohlwasserdruckes nicht die Höhe der Druckspitzen in den benachbarten Blöcken. In den nahe den Blockfugen liegenden Bohrlöchern wurde eine Höhe von ca. 1970 m erreicht; das wäre nach relativen Werten gemessen bei Hochstand 28 %, bei Tiefstand 46 % der Stauhöhe. Zur Blockmitte hin steigt der Druck rasch an. Er erreicht dort bei Hochstand im Speicher eine absolute Höhe von 1989 m, dies entspräche einem relativen Wert von 51 %. Für den Tiefstand dagegen betragen die Werte 1977 m bzw. 63 %.

Wie bereits erwähnt, versuchte man durch Anordnung eines dichten Netzes von Beobachtungsstellen einen genauen Einblick in die Sohlwasserdruckverhältnisse an der Sperrensohle zu bekommen. In einem Lageplan (Abb. 10) ist das ungewöhnlich dichte Beobachtungsnetz samt den zugehörigen Messergebnissen wiedergegeben. Der gemessene Druck wurde als relativer Wert in Prozenten der Stauhöhe angegeben. Die Werte stammen vom 16.7.1953 und entsprechen dem bereits früher erwähnten "Hochstand" im Speicher. Die erhaltenen Messwerte liegen zum Grossteil zwischen 44 und 52 %, eine Messstelle zeigt 89 % an, sie liegt hart an der Wasserseite der Sperre (vgl. Abb. 8).

Es finden sich aber auch Messstellen, an denen ein Sohlwasserdruck von nur 24 bis 25 %, ja sogar 11% gemessen werden konnte. Zwei Messstellen zeigen einen Druck von 14 % an. Dies entspricht bei einem Stauziel im Oberwasser von 2025,10 m einem Wasserstand im Bohrloch von 1965,05 m, einer Höhe, die der Sohlhöhe des Kontrollganges entspricht. Aus der Ganglinie dieser Messstellen geht hervor, dass während der ganzen Beobachtungsperiode keine Änderung des Druckes stattfand. Das Bohrloch ist zwar stets bis oben mit Wasser gefüllt; dass dieses Wasser aber eine Verbindung mit dem Sohlwasser besitzt,

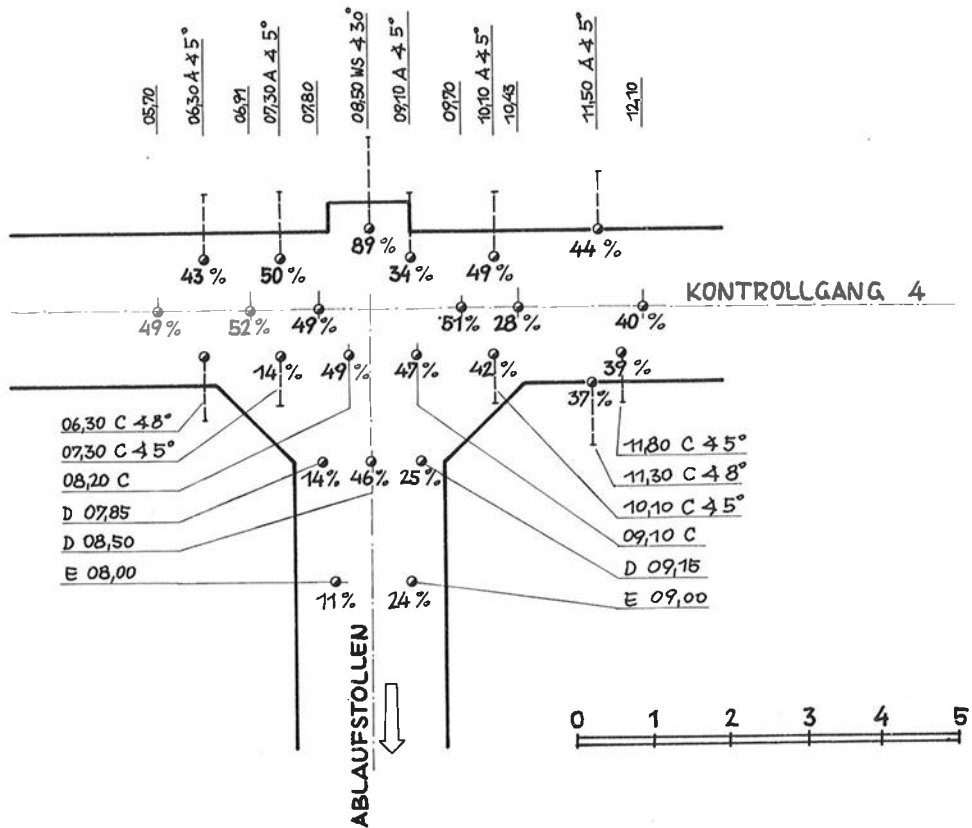


Abb. 10: Lageplan und Messergebnisse vom 16. 7. 1953 des Sohlwasserdruckes des Bohrlochteppichs im Block 13 (Spiegellage im Speicher: 2025,10 m); Angabe in % der Stauhöhe

kann nicht mit Sicherheit angenommen werden. Solche Messstellen wurden nicht in die nähere Betrachtung mit einbezogen.

Die Häufigkeit, mit der die hohen Werte von 48 bis 52 % gemessen wurden, erhärtet die Vermutung, dass es sich dabei um erreichbare lokale Höchstwerte handelt. Messstellen, die geringen Druck anzeigten, besagen, dass es sicher an der Bauwerkssohle auch Punkte gibt, an denen kein oder nur ein geringer Sohlwasserdruck wirkt. Demnach erscheint eine Interpolation zwischen benachbarten Messpunkten nicht richtig. Ebenso entspräche eine Mittelbildung über eine Fläche hin nicht ganz den Tatsachen.

Wie bereits eingangs erwähnt, trachtete man die Druckverhältnisse an der Sohle durch Öffnen der Bohrlochventile vor Erreichen des Höchststauens zu verbessern. Beim Block 13 wurden z. B. 1953 insgesamt 5 Messstellen im Bohrlochteppich geöffnet. Damit ergab sich ein Absinken des Sohlwasserdruckes im Bohrlochteppich auf 28 % der Stauhöhe. Im Kontrollgang 4 blieb der Sohlwasserdruck nach dem Öffnen in den fugennahen Bohrlöchern nahezu gleich, in der Mitte dagegen betrug er nur mehr 28 %. Im Ablaufstollen konnte ein gleichmässiges Absinken auf ca. 38 % festgestellt werden.

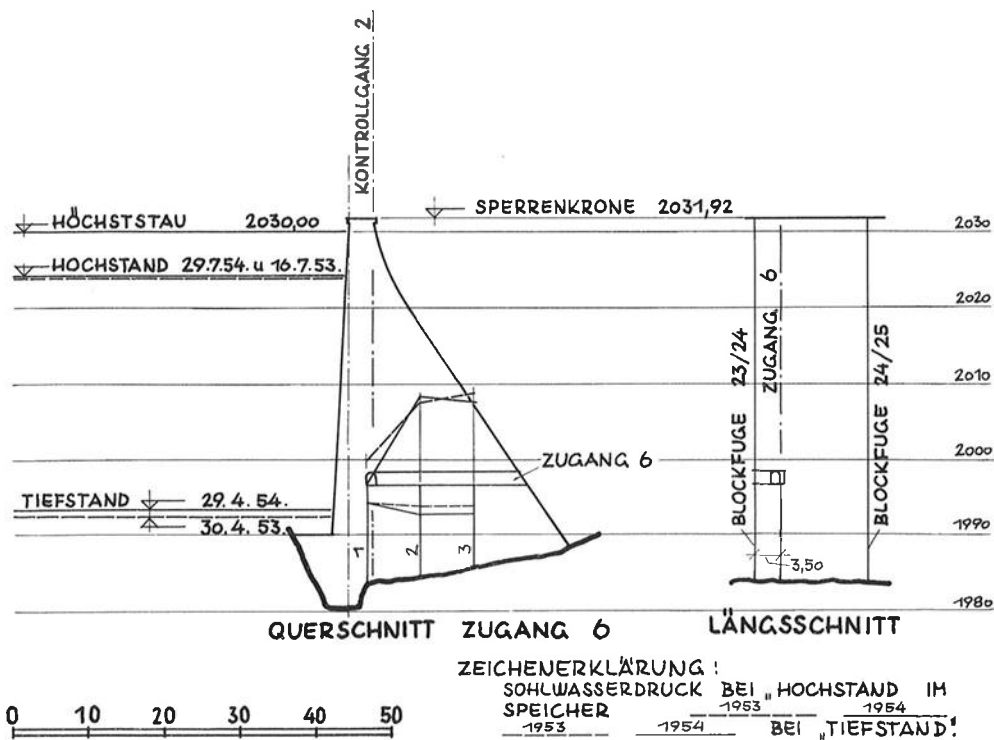


Abb. 11: Querschnitt Block 24: Messergebnisse des Sohlwasserdruckes entlang Zugang 6

Die Ganglinien der einzelnen Messstellen lassen deutlich einen instationären Zustand an der Sperrensohle erkennen. Die einzelnen Linien erscheinen stark gezackt, erst gegen Ende des Zeitraumes, in dem der Speicher voll gefüllt war, war eine Beruhigung bemerkbar.

Block 21

Ähnlich wie die Bohrlochgruppe 9 bis 12 steht auch der Block 21 auf einer Störungszone im Felsuntergrund. Dort sind es Gleitzerrüttungen im Paragneis, die Zonen grösserer Durchlässigkeit bilden, hier ist es eine tiefreichende Störungszone, die den Übergang von Gneisen der linken Talflanke zum Amphibolit der rechten Talseite bildet.

Die Sohlwasserdruckmessungen wurden vom Kontrollgang 3 aus gemacht. Man hat diesmal in Abständen von ca. 4 m je ein Bohrlochpaar angeordnet (vgl. Abb. 9).

Es konnte ein Nachlassen des Sohlwasserdruckes von links nach rechts (im Sinne der Blocknummerierung) gefunden werden. Die relativen Werte betragen hier 63 bis 49 % bei Hochstand im Speicher, für den Tiefstand konnten 88 bis 67 % errechnet werden. Der Höhenunterschied der erreichten Steigrohrstände zwischen "Hochstand" und "Tiefstand" betrug 14 m, während der Wasserspiegel im Speicher um 31 m gesunken war. Die einzelnen Druckanzeigen der Bohrlöcher eines Bohrlochpaares entsprachen einander sehr gut.

Block 24 (siehe Abb. 9 und 11)

Hier befindet sich das südliche Ende des Kontrollganges 2. Der Zugangstollen (6) zu diesem Kontrollgang gab noch eine Möglichkeit, den Verlauf des Sohlwasserdruckes über einen Querschnitt zu messen. Dieser Zugang liegt allerdings nicht in Blockmitte, sondern nahe der Blockfuge 23/24, sodass die Bohrlochreihe nur 3,5 m von dieser Fuge entfernt zu liegen kam. Die Aufeinanderfolge der an den einzelnen Bohrlöchern gemessenen Werte entspricht durchaus jenen der Querschnitte entlang des Zugangstollens 4 im Block 11 und des Ablaufstollens im Block 13: Niedriger Druck an der Wasserseite des Blockes, hoher Druck, hier 60 % der Stauhöhe, in dessen Mitte und nur geringes Nachlassen zur Luftseite hin.

Beim entleerten Speicher trat der interessante Fall ein, dass der Wasserspiegel in den Bohrlöchern höher lag, als der Wasserspiegel des Speichers (Abb. 11).

Die Druckverteilung über dem Querschnitt bei "Hochstand" im Speicher lässt an der Sohle des Blockes dichten Fels vermuten; darauf könnte auch die abnorm hohe Spiegellage des Wassers in den Bohrlöchern bei entleertem Speicher zurückzuführen sein. Die Annahme eines Beobachtungsfehlers oder einer Versinterung des Bohrloches scheidet hier sicher aus, es wurden doch in beiden aufeinanderfolgenden Jahren fast dieselben Werte gemessen. Ferner zeigt die Ganglinie des Druckes deutliches Mitschwingen mit der Spiegellage im Stausee ohne Phasenverschiebung. Es dürfte sich vielmehr um Hangwasser handeln, das bei entleertem Speicher den Wasserspiegel in den Bohrlöchern hochdrückt.

Zusammenfassung

Zur Auswertung lagen die Messergebnisse der Jahre 1953 und 1954 vor. Obwohl generell die Messungen beider Jahre in der Zuordnung von Druck und Stauhöhe sehr gut übereinstimmten, so konnte 1954 ein wenn auch nur sehr kleiner Rückgang des Sohlwasserdruckes gegenüber 1953 beobachtet werden. Nur bei einigen wenigen Beobachtungsstellen liegt ein Ansteigen des Druckes vor.

Wegen der kurzen Dauer der Beobachtungsperiode (2 Jahre) können diese geringfügigen Änderungen jedoch nicht zur Prognose für eventuell später zu erwartende Sohlwasserdrücke herangezogen werden.

Die Bewegungen der Wassersäule in den Bohrlöchern zeigten meist, wie aus dem Studium der Ganglinien hervorging, keine Phasenverschiebung zu denen des Wasserspiegels im Speicher. Interessanterweise war der relative Sohlwasserdruck bei entleertem Speicher immer höher; im Durchschnitt waren es 10 bis 15 %. Manchmal stellten sich auch Werte von 90 % der Stauhöhe ein. Irgendwelche Erklärungen dafür konnten nicht gefunden werden. Der Abfall des Druckes in den Bohrlöchern war stets dem Absinken des Wasserspiegels im Speicher proportional, der Höhenunterschied der Wasserspiegel im Bohrloch und im Speicher blieb aber nicht konstant.

Im vorliegenden Bericht ist stets von "Druckverteilungen" die Rede gewesen. Es war damit immer die Verteilung des möglichen grössten Sohlwasserdruckes gemeint. Die Linienzüge in den Diagrammen sollten nur der besseren Übersicht wegen einzelne zugehörige Messwerte verbinden. Neben Stellen hohen Sohlwasserdruckes können sicher auch solche geringen Sohlwasserdruckes gefunden werden und - wurden auch gefunden. Man vergleiche dazu nochmals die Diagramme Abb. 6 bis 11.

Zur Entlastung der Sperre zu Zeiten des gefüllten Speichers wurden an vielen Stellen die Ventile der Messstellen geöffnet, um das andringende Wasser abfliessen lassen zu können. Diese Massnahme war immer ein voller Erfolg - der Sohlwasserdruck nahm rasch ab und blieb, nachdem sich nach einiger Zeit ein stationärer Zustand an der Sohle eingestellt hatte, unter den zulässigen Werten.

Genauere Angaben über das Mass der Druckverminderung können nicht gemacht werden, da man stets jene Messstellen öffnete, die grossen Druck anzeigten, und um den Erfolg dieser Massnahme festzustellen, nur auf die Messungen benachbarter Bohrlöcher angewiesen war. Beim Block 13 betrug die Abnahme ungefähr 17 %.

Zur Ergänzung der Sohlwasserdruckbeobachtungen wurde auch die aus den Bohrlöchern austretende Wassermenge gemessen. Als Abbildung 12 ist ein Messprotokoll dieser Sickerwassermessungen vom 28.9.1956 wiedergegeben.

In erster Linie überrascht die überaus geringe Wassermenge, die aus den einzelnen Bohrlöchern hervorsickerte - dabei war zu diesem Zeitpunkt der Speicher voll gefüllt. Die Gesamtabflussmenge betrug nur 0,86 l/s.

Die grösste aus einem Bohrloch austretende Wassermenge betrug 0,21 l/s (Bohrloch 4-13-08,50 WS); die kleinste nur 0,0003 l/s (Bohrloch 4-12-14,46). Von den 59 beobachteten Bohrlöchern lieferten nur 28 Messwerte über 0,01 l/s.

Irgendeine Gesetzmässigkeit, oder ein sichtbarer Zusammenhang mit den gemessenen Sohlwasserdrücken konnte nicht gefunden werden. Die Verteilung der Sickerwässer an der Bauwerkssohle ergab vielmehr ein unklares Bild: Eng nebeneinander liegende Bohrlöcher lieferten oft ganz verschiedene Wassermengen. Deswegen konnte aus den Abflusswerten der einzelnen Messstellen nicht auf die Wasserwegigkeit des Untergrundes geschlossen werden.

Aus der geringen Wassermenge, die aus den Bohrlöchern trat, kann die grosse Bedeutung einer einwandfreien Sohlentwässerung ermessen werden - genügte doch kleinste abgeleitete Wassermengen, um den Sohlwasserdruck wesentlich zu verringern. (Öffnen der Bohrlochventile zu Zeiten des gefüllten Speichers an den in der Tabelle mit einem Kreis bezeichneten Messstellen).

Stauspiegel: 2030,52 m ü. A.

Bohrloch-Nr.	l/s	Bohrloch-Nr.	l/s	Bohrloch-Nr.	l/s
2-08-06,25 WS	0,0168	Z3-1	o 0,0004	3-21-04,60	0,0024
06,60	0,0050	Z4-B2	o 0,0041	05,20	o 0,0060
10,60	o 0,0550	Z4-1	0,0556	06,55 LS	0,0004
3-09-13,70	o 0,0011	Z4-B21	o 0,0268	07,80 LS	0,0133
3-10-00,40	0,0039	Z4-B3	0,0005	08,30	0,0004
01,45	o 0,0033	4-12-05,10 WS	0,0047	08,90	0,0454
05,46 WS	0,0085	05,10 LS	o 0,0026	10,28 LS	0,0319
05,46	0,0007	10,40	0,0147	10,60 WS	0,0014
06,95 WS	0,0133	14,46 WS	o 0,2081	11,40	0,0500
07,45	o 0,0477	14,46 LS	0,0023	12,00	o 0,0147
08,00 WS	0,0013	4-13-08,50 WS	o 0,0009	13,97 LS	0,0012
09,01 LS	0,0003	C-09,60	0,0006	15,40	0,0169
10,10	0,0176	09,70	o 0,0049	2-23-06,71	0,0010
12,00 WS	0,0015	A-10,10	0,0001	09,63	o 0,0417
12,00 LS	0,0038	C-10,10	0,0026	Z6-2	o 0,0043
12,40	o 0,0008	4-14-00,65	o 0,0157	Z6-3	0,0073
14,00 LS	0,0008	07,20	o 0,0176		
4-11-07,55	0,0002	08,57	0,0002	Gesamtsumme	0,8591
08,80	0,0020	14,20	0,0049		
09,60	o 0,0047	4-15-01,00	o 0,0003		
16,60	o 0,0157	08,56 LS	o 0,0489		
		08,56 WS	0,0003		

Abb.12: Sickerwassermessungen vom 28.9.1956

Anmerkung:

Die mit einem Kreis (o) bezeichneten Messstellen zeigten einen Wasserdruck von über 50 % der Stauhöhe an und bleiben bei Stauspiegellagen über 2028 m ü. A. stets geöffnet.

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Genereller Lageplan
- Abb. 2: Hauptmauer : Längsschnitt 1 : 1000
- Abb. 3: Messeinrichtung an den Bohrlöchern
- Abb. 4: Ganglinie der Sohlwasserdrücke für das Jahr 1954, Block 13
- Abb. 5: Lageplan der Störungszone an der nördlichen Talflanke
- Abb. 6: Längenschnitt Block 9 bis 12, Messergebnisse des Sohlwasserdruckes
- Abb. 7: Querschnitte Block 11, Messergebnisse des Sohlwasserdruckes entlang der Zugänge 3 und 4
- Abb. 8: Querschnitt Block 13, Messergebnisse des Sohlwasserdruckes entlang des Ablaufstollens
- Abb. 9: Längenschnitt Block 13 und 21, Messergebnisse des Sohlwasserdruckes
- Abb. 10: Lageplan und Messergebnisse des Sohlwasserdruckes des Bohrlochteppichs im Block 13
- Abb. 11: Querschnitt Block 24, Messergebnisse entlang Zugang 6
- Abb. 12: Sickerwassermessungen vom 28.9.1956

Schriftenreihe:

Die Talsperren Österreichs

- Heft 1: Prof. Dr. A. W. Reitz: Beobachtungseinrichtungen an den Talsperren Salza, Hierzmann, Ranna und Wiederschwing
- Heft 2: Dipl. Ing. Dr. techn. Helmut Flögel: Der Einfluss des Kriechens und der Elastizitätsänderung des Betons auf den Spannungszustand von Gewölbesperren
- Heft 3: Prof. Dr. A. W. Reitz, R. Kremser u. E. Prokop: Beobachtungen an der Ranna-Talsperre 1950 bis 1952 mit bes. Berücksichtigung der betrieblichen Erfordernisse
- Heft 4: Prof. Dr. Karl Stundl: Hydrochemische Untersuchungen an Stauseen
- Heft 5: Prof. Dr. Josef Stini: Die baugelogischen Verhältnisse der österreichischen Talsperren
- Heft 6: Dipl. Ing. Dr. Hans Petzny: Messeinrichtungen und Messungen an der Gewölbesperre Dobra
- Heft 7: Dozent Dipl. Ing. Dr. techn. Erwin Tremmel: Limbergsperre, statistische Auswertung der Pendelmessungen
- Heft 8: Dr. techn. Dipl. Ing. Roland Kettner: Zur Formgebung und Berechnung der Bogenlamellen von Gewölbemauern

Zu beziehen durch den Springer - Verlag Wien I, MÖlkerbastei 5