

**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 45 (1953)  
**Heft:** 8-9

**Artikel:** Baugrunduntersuchungen für den Erddamm Castiletto des Juliawerkes Marmorera und weitere Bauvorhaben der Stadt Zürich im Oberhalbstein  
**Autor:** Blatter, Charles E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-921655>

### **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:** 15.03.2025

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

*Den Teilnehmern an dem vom 16. bis 27. August 1953 in der Schweiz zur Durchführung gelangenden*

### III. Internationalen Kongreß für Erdbaumechanik und Foundationstechnik

*wünscht der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband eine interessante Tagung und erlebnisreiche Exkursionen zu den Baustellen verschiedener großer schweizerischer Wasserkraftanlagen. Mit diesem Heft der «Wasser- und Energiewirtschaft» möchte die Redaktion einen bescheidenen Beitrag zu den an dieser Tagung zur Sprache kommenden Themen liefern.*

## Baugrunduntersuchungen für den Erddamm Castiletto des Juliawerkes Marmorera und weitere Bauvorhaben der Stadt Zürich im Oberhalbstein

Von Dipl.-Ing. Charles E. Blatter, Direktor der Swissboring, Zürich

DK 624.131.3 : 550.82 (494.26)

### Einleitung

Das *Elektrizitäts-Werk der Stadt Zürich* besaß an den Flüssen Julia und Albula bereits zwei Laufwerke, als die leitenden Organe sich im Jahre 1947 mit dem Gedanken befaßten, ein Akkumulierbecken im Einzugsgebiet der Julia zu schaffen. Günstige Speicherräume sind an verschiedenen Stellen vorhanden, jedoch lassen die geologischen Bedingungen die Ausführung von Abschlußbauwerken als Betonmauern nicht zu, indem in keinem Falle der Fels in geringer Tiefe überall anstehend zu finden wäre. Dieser Umstand veranlaßte den Projektverfasser, das Büro für Wasserkraftanlagen der Stadt Zürich unter der Leitung von Oberingenieur *H. Bertschi*, eine groß angelegte Untersuchung durch Sondierungen an verschiedenen Staustellen vorzunehmen.

### Sperrstelle Val Nandrò

Eine erste Kampagne von Sondierbohrungen und -Schächten wurde im Jahre 1947 bei Radons im Val Nandrò, einem linken Seitental der Julia im Oberhalbstein, ausgeführt. An der Sperrstelle wurden sieben Sondierbohrungen niedergebracht und drei Schächte abgeteuft. (Siehe Abb. 1). Die Tiefe der Bohrungen im Lockergestein wurde mit maximal 50 m festgesetzt und demgemäß die entsprechende Bohrausrüstung herangeschafft. Aus den erhaltenen Aufschlüssen ergab sich für die Sperrstelle folgendes Bild: Auf der linken Talseite des Nandròbaches ist das Serpentin-Gabbro-Gestein von einer etwa 10—15 m mächtigen Kies-Sandschicht überlagert, während auf dem Plateau von Plang Radons die Grundmoräne ansteht und auch in einer Tiefe von 50 m der Fels nicht erreicht werden konnte. Rechts des Nandròbaches fällt das Gestein weiter unterirdisch ab, wie durch Bohrung  $B_1$  festgestellt wurde. Der rechte Talhang wird von einem mächtigen Schuttkegel mit darunter liegenden Alluvionen gebildet, der anstehende Flysch wurde

erst bei Bohrloch  $B_{III}$  auf Kote ca. 1818, d. h. in einer Distanz von ca. 200 m wieder gefunden.

Nach den vorliegenden Untersuchungen muß man unter dem Schuttkegel einen alten Tallauf mit durchlässigen Alluvionen annehmen; ferner deutet das Fehlen der Serpentin-Gabbromasse unter dem Plang Radons darauf hin, daß der Fels hier entweder bereits abgetragen oder nie vorhanden war. Der teilweise sehr schlechte Zustand der Felsmasse am linken Talhang spricht für eine gegen SE abgeglittene Scholle aus einem Gabbrozug (Curtegnas-Martegnas), wobei die Möglichkeit besteht, daß unter dieser Sackungsmasse noch ältere durchlässige Alluvionen vorhanden sind. Die Geologen können diese Frage nicht mit Sicherheit beantworten, und nur tiefreichende Bohrungen werden diesen Aufschluß bringen.

Die Durchlässigkeit der Lockergesteine ist selbstverständlich im Schuttkegelmaterial, das aus Blöcken und Feinschutt, teilweise allerdings auch mit Lehm vermischt besteht, und in den Alluvionen am größten, währenddem die Grundmoräne am linken Flügel des Dammes relativ dicht ist, wie auch aus feldmäßigen Durchlässigkeitsbestimmungen in den Bohrlöchern festgestellt werden konnte.

Außer den erwähnten Sondierungen wurde noch eine große Zahl von weiteren Aufschlüssen, teilweise durch Handbohrungen und auch Schürfschlitze, gewonnen, um die Geologie, die Hydrologie des Staugebietes und die Baustoffgewinnung für einen Erddamm abzuklären. Ferner wurden geotechnische Untersuchungen mit Bodenproben im Laboratorium durchgeführt.

Prof. *A. Kreis* und Dipl. Phys. *A. Süßtrunk* haben vor Inangriffnahme der Bohrungen seismische Profile gelegt, und es ist interessant, festzustellen, daß die Messungen auf der rechten Seite der Dammachse ziemlich gut mit den Bohrungen übereinstimmen, während im Gebiete des Nandròbaches und am linken Talhang die seismische Fels-

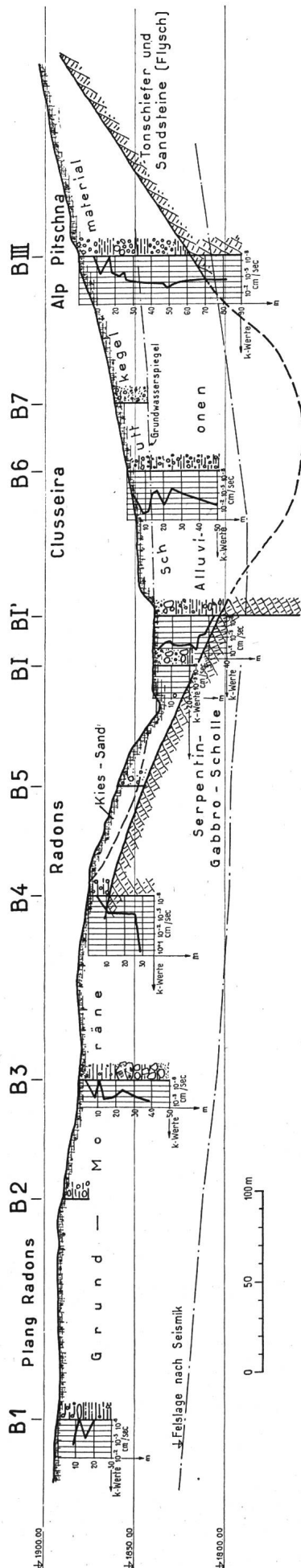


Abb. 1 Profil der Sperrstelle Radons im Val Nandrò

grenze tiefer liegt als der Serpentin, der durch die Bohrungen erschlossen wurde. Es ist allerdings zu bemerken, daß diese Gesteinsmasse stark zerrüttet und geklüftet ist.

### Sperrstelle Roffna

Obwohl das Projekt Val Nandrò noch nicht endgültig abgeklärt werden konnte, entschloß man sich im Spätsommer 1947, eine Staustelle an der Julia bei Roffna durch Bohrungen zu untersuchen. In diesem Falle ist der Fels am orographisch linken Talhang anstehend, auf der rechten Talseite hingegen ist er von einer sehr mächtigen Schuttmasse überlagert. Es wurden in der projektierten Dammachse drei Bohrungen ausgeführt (Abb. 2). Die Bohrlöcher B<sub>2</sub> und B<sub>3</sub> wurden bis auf eine Tiefe von ca. 60, resp. 75 m vorgetrieben, ohne den Felsuntergrund zu erreichen. Die vorgängig durchgeführten seismischen Profilmessungen ließen den Fels auf einer Tiefe von 20—30 m vermuten, und so wurde die Bohrausrüstung nur für eine maximale Tiefe von 60—70 m vorgesehen. Da man hoffte, weiter flußaufwärts einen höher liegenden Felsriegel zu finden, wurden die Bohrlöcher B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub> und B<sub>8</sub> neben dem Bett der Julia angesetzt, und zwar in Distanzen von der Dammachse aufwärts von 20, resp. 75, resp. 170 m. Die Bohrlöcher erreichten eine Tiefe von 65,50 m, resp. 47,80 m, resp. 43,35 m, und nur bei B<sub>6</sub> konnte der Fels auf Kote 1345.55 angefahren werden. Das Resultat dieser Bohrung B<sub>6</sub> wurde dann in das Profil längs der Dammachse hineinprojiziert. Ein weiteres Bohrloch B<sub>5</sub> wurde in der Ebene des Beckens angesetzt und dort konnte der Fels auf 48 m Tiefe angefahren werden. Interessant ist die Feststellung, daß bei der letzten Bohrung, sowie bei B<sub>8</sub> nur Seeablagerungen, bestehend aus fast kiesfreiem, tonig-schluffigem Material, angetroffen wurden. Das Becken selbst ist also mit stark kompressiblen Seeablagerungen aufgefüllt und im Profil längs der Julia liegt der Fels sicher unter einer Grenze von 50 m Tiefe. Das Bohrloch B<sub>4</sub>, das am rechten Talhang, wesentlich höher als das geplante Stauziel auf Kote 1458, angesetzt wurde, erreichte den Serpentin- und Grünschieferfels auf einer Tiefe von 36 m, entsprechend der Kote 1465.80; ferner steht der Fels am linksseitigen Talhang, auf dem Buckel ca. 30 m westlich der Julia an. Nach dem Aufschluß von B<sub>6</sub> konnte nun festgestellt werden, daß der Fels am linken Ufer der Julia steil abfällt und es mußte angenommen werden, daß das anstehende Gebirge unter der Dammachse erst etwa in einer Tiefe von der Größenordnung 100 m unter Terrain angetroffen werde. Zudem ist das überlagerte Material teilweise sehr grobblockig und stark durchlässig, so daß die Abdichtungsmaßnahmen des Untergrundes ein sehr großes Ausmaß angenommen hätten. Diese Staustelle konnte geologisch nicht befriedigen, und es wurde anschließend die Staustelle des

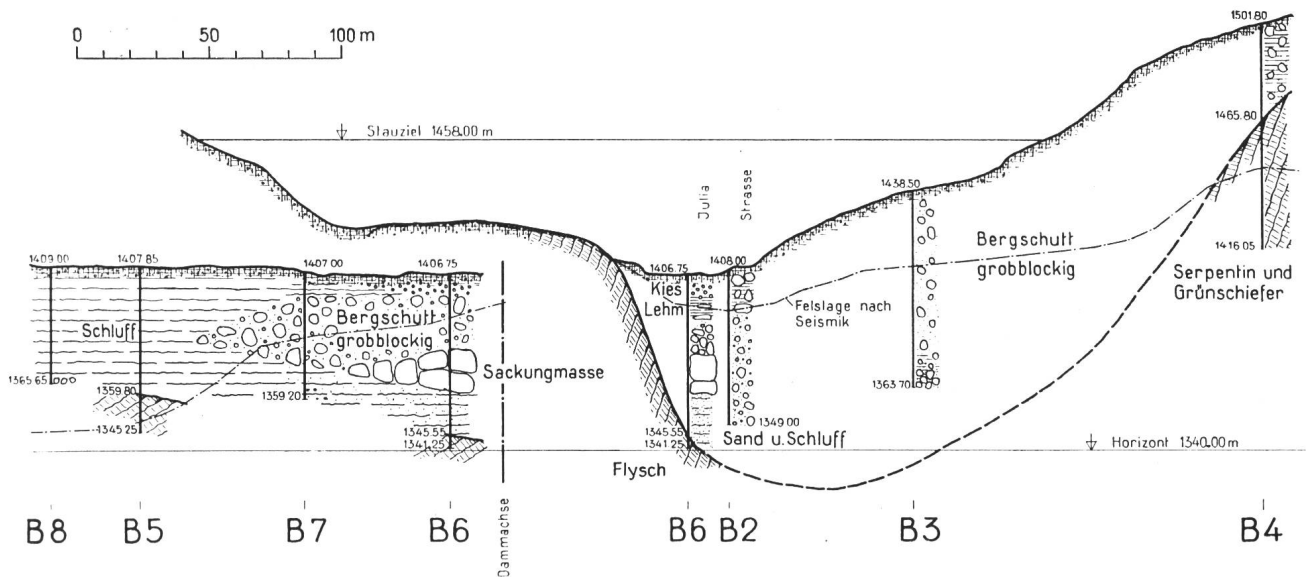


Abb. 2 Profil der Sperrstelle Roffna im Oberhalbstein  
links: Profil längs der Julia; rechts: Profil durch die Dammachse

heute im Bau stehenden Erddammes von Castiletto für das Kraftwerk Marmorera-Tinzen eingehend untersucht.

**Sperrstelle Castiletto**

Die Sperrstelle bei Castiletto unterhalb des Dorfes Marmorera ergab, von der Oberfläche aus betrachtet, folgendes Bild:

Auf der rechten Talflanke steht der Fels, bestehend aus Grünschiefern und Serpentinesteinen, an und konnte noch ungefähr auf der Höhe der alten Julierstraße festgestellt werden, dann taucht er unter das Bett der Julia. Die linke Talflanke zeigt einen Bergrutsch

von großer Mächtigkeit, der mit einer mittleren Neigung von ca. 35 % vom Bett der Julia gegen die Felswände, die sich etwa 500 m weiter südwestlich befinden, ansteigt (Abb. 3).

Für die baulichen Belange bildet daher der rechte Talhang kein besonderes Problem, da ein kompaktes, relativ wenig durchlässiges Grünschiefergestein an der Oberfläche angetroffen wurde und nur teilweise mit Schuttmaterial von geringer Mächtigkeit überdeckt ist; hingegen stellte sich nun die Frage über die geologische und geotechnische Beschaffenheit des linken Talhanges. Die geologischen Experten beurteilten das Bergrutsch-

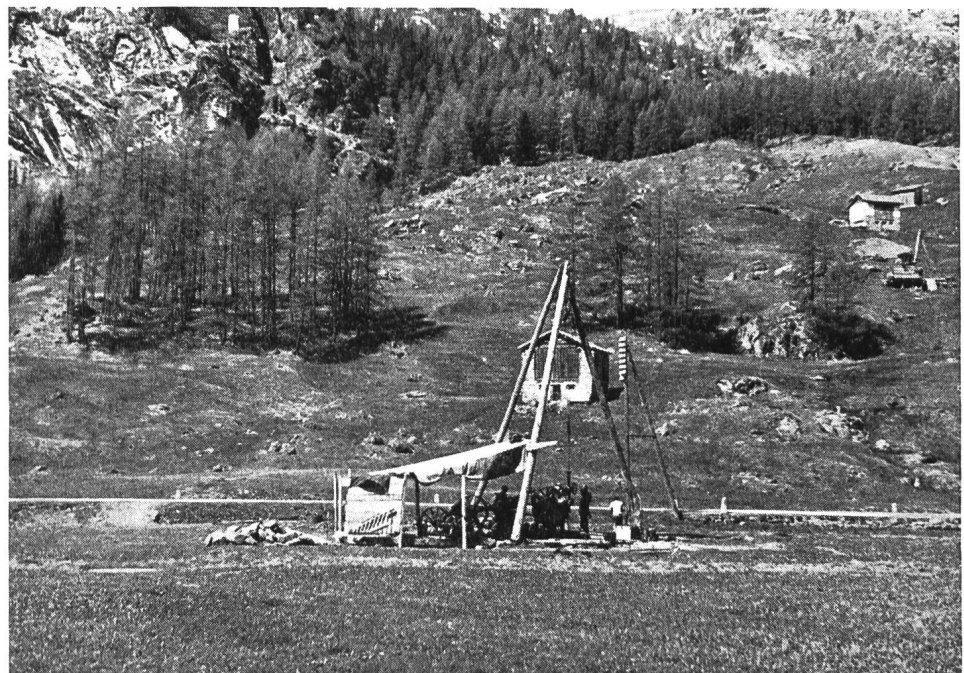


Abb. 3  
Bergrutschkegel von Castiletto.  
Im Vordergrund Bohrloch Nr. 7,  
rechts oben Bohrloch Nr. 4.  
Im Hintergrund links anstehende  
Felspartien

material als eine verlagerte Moräne, die aus ziemlich stark lehmigem Material, durchsetzt mit großen und kleinen Blöcken aus Serpentin- und Grünschiefergesteinen, besteht. Aber wo befindet sich die Felsunterlage und wie ist das Bergrutschmaterial im einzelnen zusammengesetzt? Welche Durchlässigkeit und Zusammen-

drückbarkeit weist es auf? Ist die Scherfestigkeit genügend groß, um die Stabilität des Hanges zu gewährleisten? Wo liegt der Grundwasserspiegel?

Die projektierenden Ingenieure waren vor eine sehr schwierig zu lösende Frage gestellt, da man weder aus der Topographie, noch aus anderen Anhaltspunkten auch

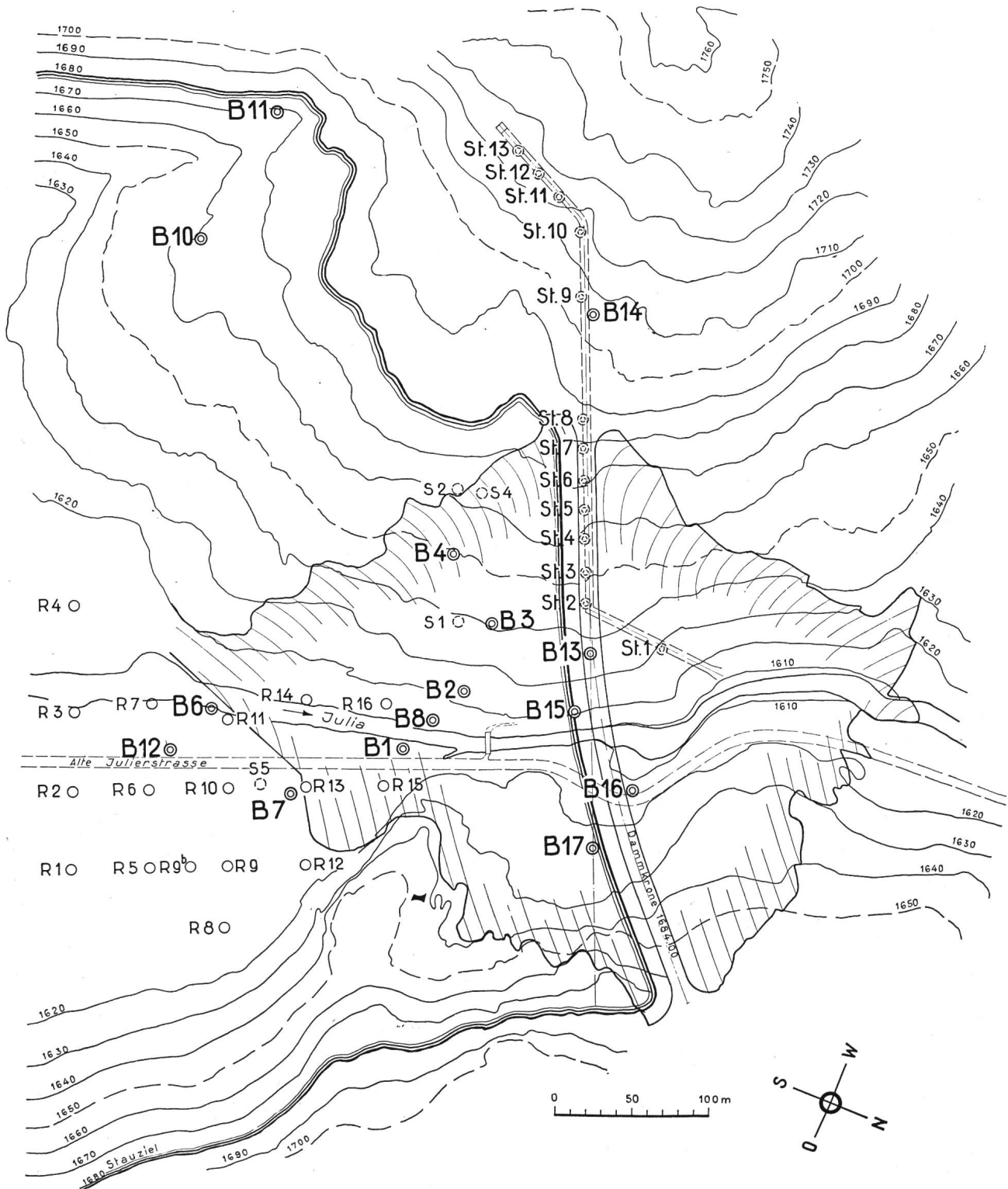


Abb. 4 Lageplan der Dammstelle Castiletto des Juliawerkes Marmorera-Tinzen mit Angabe der ausgeführten Sondierungen

B Sondierbohrungen R Rammsondierungen St Sondierbohrungen vom Stollen aus S Schächte

nur annähernde Rückschlüsse auf die Verhältnisse im Untergrund ziehen konnte. Man vermutete übrigens, daß sich eventuell an der linken Talseite tief unter dem Bergrutsch eine alte Erosionsrinne der Julia befinden könnte.

Es wurde beschlossen, das Gebiet des Bergrutsches durch tiefreichende Sondierungen zu erschließen, die nun in diesem Fall sicher die Felslage ermitteln und über die Verhältnisse in den überlagerten Schichten Auskunft geben sollten.

Vor Inangriffnahme von Sondierbohrungen wurden im Herbst 1947 im Gebiet des projektierten Erddammes seismische Profile aufgenommen; diese sind in einer Kurvenkarte des Felsverlaufes (Isohypsen) ausgewertet worden. Auf Grund dieser Untersuchung wurden dann im März 1948 die ersten Sondierbohrungen im Bergrutschmaterial angesetzt; gleichzeitig wurden auch einige Schächte und Schürfungen ausgeführt. Damals stand die Achse des projektierten Dammes 85 m flußaufwärts der heutigen Lage und es wurde insbesondere auch der wasserseitige Fuß des Dammes abgetastet (Abb. 4). Wie aus den drei zu diesem Zwecke angeordneten Sondierbohrungen hervorging (Nr. B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub> und B<sub>12</sub>), besteht der Talboden aus weichen Ablagerungen mit organischen Einschlüssen, die aber im Gegensatz zu denen des Beckens von Roffna durchwegs stark mit Kiesmaterial durchsetzt, aber trotzdem für die Aufsetzung des Dammfußes kaum tragfähig genug wären. Zur näheren Abklärung wurden dann in diesem Gebiet 16 Rammsondierungen ausgeführt, mit getrennter Bestimmung der Mantelreibung und des dynamischen Spitzenwiderstandes. Die Rammsondierungen konnten in dem relativ weichen Material, allerdings nicht ohne Schwierigkeiten, bis auf eine maximale Tiefe von 19 m vorgetrieben werden.

Die Auswertung der spezifischen, dynamischen Spitzenwiderstände bestätigte, daß der Widerstand der oberen Schichten meistens kleiner als 15 kg/cm<sup>2</sup> ist, währenddem unterhalb einer bestimmten Trennfläche die Widerstände zwischen den Werten 25 und 50 kg/cm<sup>2</sup> liegen. In Abb. 5 sind die Isohypsen dieser Trennfläche gestrichelt eingetragen, während Abb. 6 ein Längenprofil durch die Rammsondierungen R<sub>2</sub> bis R<sub>15</sub> zeigt. Die Signatur gibt die Grenzen der verschiedenen Rammwiderstände an, und man sieht deutlich das Ansteigen der widerstandsfähigeren Schichten gegen die Dammachse; auch gegen die beiden Talhänge steigen die kompakteren Schichten an, so daß das sogenannte «weiche» Material eine Mulde bildet. (Siehe Isohypsen auf Abb. 5.)

Auf Grund der gewonnenen Aufschlüsse wurde dann die «weiche» Alluvion auf eine Tiefe von 10—12 m aufgehoben und durch widerstandsfähigeres Material ersetzt.

Die Aufschlüsse in der Nähe der alten Dammachse (B<sub>1</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, S<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, S<sub>2</sub> und S<sub>4</sub>) ergaben im oberen Teil stark lehmiges, mit großen und kleineren Ser-

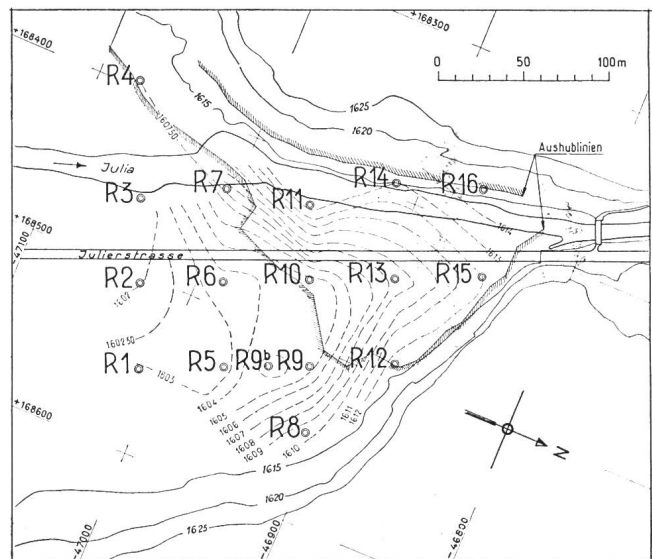
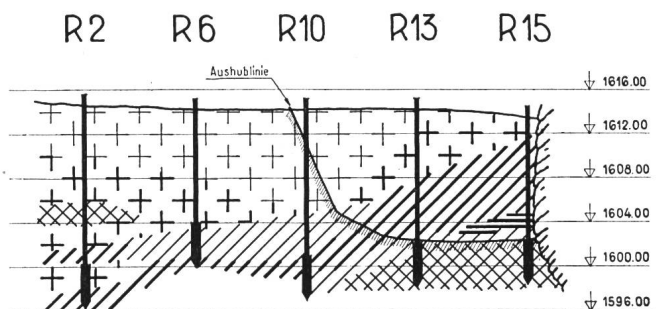


Abb. 5 Lageplan des Dammfußes Castiletto mit Angabe der Rammsondierungen R 1 bis 16 und Isohypsen (gestrichelt) der Trennfläche zwischen «weicher» oberer und «fester» unterer Alluvion.



Legende:

|  |                            |  |                            |
|--|----------------------------|--|----------------------------|
|  | < 10 kg/cm <sup>2</sup>    |  | 35 – 50 kg/cm <sup>2</sup> |
|  | 10 – 25 kg/cm <sup>2</sup> |  | 50 – 75 kg/cm <sup>2</sup> |
|  | 25 – 35 kg/cm <sup>2</sup> |  | > 75 kg/cm <sup>2</sup>    |

Abb. 6 Profil durch die Rammsondierungen R<sub>2</sub> bis R<sub>15</sub> mit Angabe der Grenzen des spezifischen Rammwiderstandes (siehe Legende)

pentin- und Grünschieferblöcken durchsetztes Bergrutsch-Material; darunter fuhr man sandige Schichten und Gerölle an, die sich später als eine alte alluviale Ablagerung herausstellten. Es scheint, daß die Alluvionen jeweils durch einzelne Moränenströme wieder überdeckt wurden und so eine gewisse Wechsellagerung von Alluvionen und Bergrutschmaterial an einzelnen Stellen entstanden ist. Die durch die seismischen Messungen angegebene Tiefrinne in der Gegend von B<sub>2</sub> war nicht vorhanden. Weiter ließ auch die Seismik vermuten, daß sich ganz am linken Talhang eine tiefere Rinne befindet. Es wurde daher im tiefsten Punkt der seismischen Isohypsen die Bohrung B<sub>10</sub> angesetzt, welche auf einer Tiefe

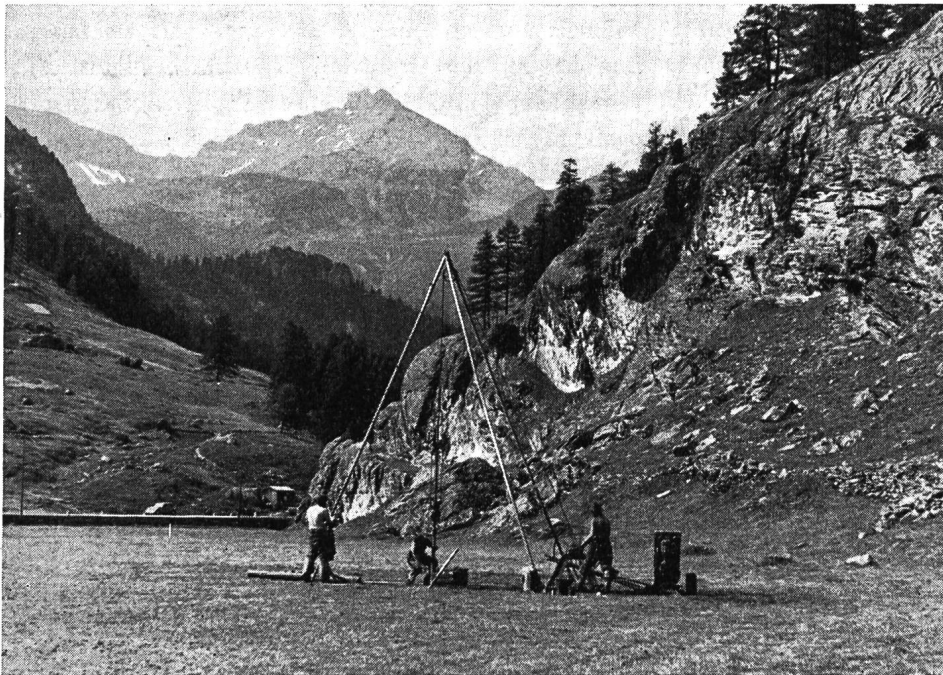


Abb. 7  
Rammsondierung am Dammfuß.  
Im Hintergrund links Berggrutsch am  
Castiletto, rechts anstehender Fels.  
Blickrichtung gegen Piz Arlos.

von 79 m, auf Kote 1581,64 m den Fels erreichte, während in den seismischen Untersuchungen die Kote ca. 1555 angegeben wurde; der Fels liegt also tatsächlich über 25 m höher als vermutet. In letzter Linie wurde noch die Felslinie durch Bohrung  $B_{11}$  am linken Talhang erreicht; diese letzteren Bohrungen lagen weit außerhalb der Dammachse und wurden dort angesetzt, weil die Überlagerung wesentlich geringer war und dadurch an Längen der Bohrungen gespart werden konnte.

Bei allen Bohrungen konnte trotz den vielen Hindernissen durch Blöcke bis zu 8 m Mächtigkeit der Fels erreicht werden. Als Bohrverfahren im Berggrutschmaterial wurde Schlagbohrung mit Verrohrung von  $\varnothing 12\frac{1}{2}$ , 7,  $4\frac{1}{2}$  und 3", kombiniert mit Rotationskernbohrung, angewendet, im anstehenden Fels das letztere Verfahren allein. Die Arbeiten wurden bei Einbruch des Winters im Jahre 1948 unterbrochen.

Mitte April 1949 wurden die Sondierarbeiten wieder aufgenommen, und zwar auf der neuen, endgültigen Dammachse, die, wie erwähnt, 85 m flußabwärts der alten liegt. Es wurden die Bohrungen  $B_{13}$ ,  $B_{14}$  und  $B_{15}$  angesetzt, wobei Nr. 14 auf Kote 1706 m begonnen werden mußte und dazu diente, in diesem Bereich die Felslage einerseits und die Höhe des Grundwasserspiegels andererseits zu bestimmen. Nach sieben Wochen Bohrarbeiten im durchgehenden Tag- und Nachtbetrieb konnte der Fels auf einer Tiefe von 100,50 m auf Kote 1605,54 m, angefahren werden (Abb. 8). Die Bohrungen  $B_{13}$  und  $B_{15}$  erreichten den Fels auf Kote 1582,19, resp. 1599,77 m. Auf Grund dieser Aufschlüsse wurde dann auf Kote etwa 1612 m ein Sondierstollen angesetzt, das Stollenportal liegt talabwärts der Dammachse. Der Stollen führt schräg bergeinwärts, bis er die Damm-

achse erreicht und folgt dieser auf einer Länge von etwa 250 m. Er wurde dann in seinem hintern Teil nochmals gegen SW abgewinkelt und erreichte erst bei einer Länge von etwa 413 m den anstehenden Felsen. Der Versuchsstollen soll später auch als Kontrollstollen benützt werden. Er hatte ein Ausbruchprofil von  $6,35 \text{ m}^2$ , so daß bei dem starken Einbau ein Lichtraumprofil von etwa  $1,60 \text{ m}$  Breite  $\times$   $1,90 \text{ m}$  Höhe verblieb. Um von diesem Stollen aus Sondierbohrungen auszuführen, wurden in Abständen von je 20 m seitliche Nischen mit  $2,5 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$  Grundfläche und  $2,8 \text{ m}$  Höhe ausgeführt. In einer solchen Nische konnte eine Rotationskernbohrmaschine installiert werden, mit welcher unter Zuhilfenahme von teleskopierten Verrohrungen die Aufschlußbohrungen gegen unten bis zum Fels und auch teilweise gegen oben ausgeführt wurden. Diese Arbeiten wurden im Sommer 1949 begonnen und im März 1950 zu Ende geführt; das Profil Abb. 9 gibt Auskunft über die erhaltenen Aufschlüsse.

Es zeigt sich, daß der Fels bei  $B_{13}$  seine tiefste Stelle auf Kote etwa 1582 hat, also rund 30 m unterhalb des Stollenniveaus. Er verläuft auf einer Strecke von etwa 50 m beinahe horizontal, steigt dann an und erreicht bei Profil  $\pm 0,0$  die Stollensohle. Der Stollen verliert dann die Felssohle etwa bei Profil  $-50$  wieder, wobei das Felsniveau aber nur einige Meter darunter liegt, und erreicht bei Profil  $-180$  den überhängenden Felsen. Unter dieser Felswand wurde beim Aushub noch eine Art Wurmfortsatz festgestellt. Man erkennt, daß keine tiefe Rinne vorhanden ist; hingegen verläuft der Fels in horizontaler Richtung mit leichten Wellungen bis zu einer überhängenden Felswand. Geologisch betrachtet findet man unter dem eigentlichen, ziemlich dichten Berg-

| Verrohrung |                          | Koten bez. Meer/Boden |                 | Durchbohrtes Material  |
|------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|--|
|            |                          | 1706.04               | 0.00            |  |
| 0.00       | Schlagbohrung $\phi 161$ | 1701.07               | 4.97            | Lehmiges Material mit Steinen bis $\phi 20$ cm.<br>Serpentinblock  |
| 15.90      | Schlagbohrung $\phi 121$ | 1682.93               | 23.11           | Block<br>Lehmiges Material mit Blöcken aus Grünschiefer und Serpentin bis $\phi 50$ cm, z.T. festgelagert. |
| 26.32      | Schlagbohrung $\phi 7$   | 1678.21<br>1677.09    | 27.83<br>28.95  | Serpentinblock.<br>Lehmiges Material mit Serpentinsteinen.   |
| 37.80      | Schlagbohrung $\phi 7$   | 1671.35               | 34.69           | Grünschieferblock<br>Lehmiges Material mit Blöcken u. Steinen, z.T. festgelagert.<br>Grünschieferblock     |
| 42.36      | Rotation $\phi 150$ mm   | 1666.94               | 39.10           | Grünschieferblock  |
| 47.39      | Rotation $\phi 115$ mm   | 1664.74<br>1663.74    | 41.30<br>42.30  | Blöcke mit Lehm.<br>Grünschieferblöcke   |
| 52.00      | Rotation $\phi 112$ mm   | 1655.04               | 51.00           | Grünschieferblöcke bis $\phi 50$ cm mit lehmigem Material.   |
| 56.20      | Rotation $\phi 100$ mm   | 1649.84               | 56.20           | Lehmiges Serpentinmaterial mit Sand.   |
| 62.00      | Rotation $\phi 85$ mm    | 1664.04               | 62.00           | Lehmiges Material mit Steinen aus Grünschiefer und Serpentin bis $\phi 20$ cm.                             |
| 67.17      | Rotation $\phi 83$ mm    | 1638.67<br>1636.04    | 67.37<br>70.00  | Lehmiges Material mit Serpentin sand.<br>Grünschieferblock   |
| 76.20      | Rotation $\phi 75$ mm    | 1630.34               | 75.70           | Grenze Schuttkegel.<br>Lehmiges Material mit Grünschiefersteinen bis $\phi 20$ cm und Bündnerschiefer.     |
| 77.91      | Rotation $\phi 73$ mm    | 1624.14               | 81.90           | Gerölle und Grünschieferblöcke bis $\phi 40$ cm mit Feinsand.  |
| 89.90      | Rotation $\phi 63$ mm    | 1616.24               | 89.80           | Feinsandiges Material mit Steinen (Serpentin) bis $\phi 20$ cm.  |
| 113.55     | Rotation $\phi 55$ mm    | 1610.04               | 96.00           | Moräne, Dolomitgeröll u. Steine bis $\phi 10$ cm.  |
| 115.50     | Rotation $\phi 55$ mm    | 1609.60<br>1605.54    | 96.44<br>100.50 | Grünschieferfels   |

Abb. 8 Staudamm Castiletto, Bohrprofil B<sub>14</sub>

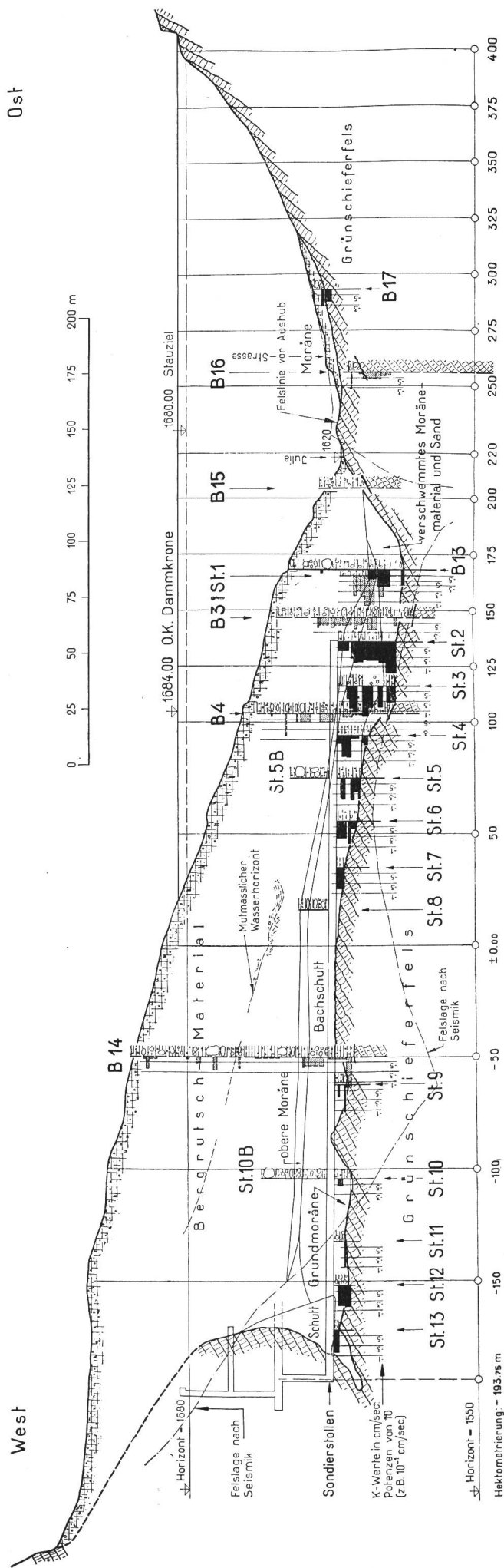


Abb. 9 Profil längs der Dammachse Castiletto



rutschmaterial einen Kegel, teilweise zusammengesetzt aus stark durchlässigen Bachschuttmaterialien und Alluvionen und teilweise aus Moränenablagerungen. Der Fels selbst besteht aus Serpentin- und Grünschiefergesteinen.

Der Grundwasserspiegel wurde in den verschiedenen Bohrungen durch Piezometerrohre periodisch eingemessen. Unter dem Sondierstollen lag er vor Beginn der Arbeiten etwa auf Kote 1609, d. h. auf dem Niveau der Julia, während in der Ebene der Alluvionen Wasserspiegel auf etwa Kote 1613 festgestellt wurden. Der Durchlässigkeitskoeffizient  $k$  wurde durch eine große Zahl von Wasserabsenkversuchen bestimmt, wobei aufgefallen ist, daß sowohl in den Alluvionen als auch im Bergrutschmaterial in den einzelnen Tiefen sehr verschiedene Werte gefunden wurden. Die Durchlässigkeit des gesamten Untergrundes muß daher als sehr heterogen angesehen werden, absolut dichte Zonen wechseln mit durchlässigen Stellen ab, und es war selbstverständlich sehr schwierig, aus den einzelnen Messungen sich ein Bild zu machen über die mittlere Permeabilität des gesamten Komplexes. Die einzelnen Meßpunkte waren mehr oder weniger zufällig angesetzt worden, da sie vom Vortrieb der Verrohrungen bei den Bohrungen abhängig waren. Immerhin scheint es, daß die Bohrungen, die im Gebiet des Bergrutsches angesetzt wurden, meistens  $k$ -Werte kleiner als  $10^{-4}$  cm/s ergaben, und die mittlere Durchlässigkeit des Bergrutsches etwa bei 3 bis  $4 \cdot 10^{-5}$  cm/s liegen dürfte. Dieser Wert wurde dann bei der späteren Durchführung von Injektionsversuchen bestätigt. Selbstverständlich sind auch in diesem Material Wasserwege vorhanden, so etwa wie Klüfte in einem Felsmassiv, die, lokal betrachtet, wesentlich größere Werte ergeben.

Die Bohrungen in den Alluvionen ergaben meistens  $k$ -Werte, die ebenfalls stark variierten, selten aber größer als  $10^{-2}$  cm/s sind und teilweise auch unter  $10^{-4}$  cm/s liegen, so daß man annehmen darf, daß der Mittelwert von  $10^{-3}$  cm/s eher noch als zu hoch betrachtet werden dürfte. Nach später durchgeführten Versuchen kann etwa 2 bis  $3 \cdot 10^{-4}$  cm/s eingesetzt werden. Als beim Bau des Dammes der Grundwasserspiegel gegen das Becken hin abgesenkt wurde, stellten sich Spiegelgefälle von etwa 10 % ein, woraus man auf eine relativ kleine Durchlässigkeit der Alluvionen schließen muß.

Im Sommer 1949 wurden zur Vervollständigung der geologischen Aufschlüsse noch die Bohrlöcher  $B_{16}$  und  $B_{17}$  rechtsufrig der Julia ausgeführt, wobei festgestellt wurde, daß die Überlagerung dort nur unbedeutend ist. Der angefahrene Fels zeigte sich als relativ dicht.

Neben der Untergrunderschließung des Staudammes nahm man im Sommer 1949 auch Untersuchungen für die Gewinnung des Kernmaterials vor. Beim Weiler Cresta, etwa 1100 m flußaufwärts des Dammes, stellten die Geologen ein Moränenvorkommen fest, das sich als

Dammbaumaterial eignen konnte. Es wurden in diesem Gebiet sechs Bohrungen von 30 m Tiefe ausgeführt, wobei der Zweck darin bestand, ungestörte Proben zur Untersuchung im Feldlaboratorium zutage zu fördern. Es war vorgesehen, diese Bohrungen als Schlagbohrungen  $\phi 12\frac{1}{2}$ " durchzuführen. Es erwies sich aber, daß dieses Moränenmaterial sehr kompakt gelagert und dermaßen hart war, daß das Eintreiben eines Entnahmestutzens für die Proben praktisch unmöglich war. Auf Vorschlag der Bohrunternehmung wurden dann die Aufschlüsse als Rotationskernbohrungen mit  $\phi 130, 115, 100, 85$  und  $75$  mm mit den entsprechenden Verrohrungen ausgeführt und die Proben durch Trockenbohrung mit dem Kernrohr entnommen. Dieses Verfahren ergab den gewünschten Erfolg, indem die Proben auf alle Fälle den genauen Kornaufbau ergaben und infolge der Trockenbohrung auch den natürlichen Wassergehalt aufwiesen. Es hat sich dann bei der Eröffnung der dortigen Materialgewinnungsstelle gezeigt, daß auch die Gewinnung dieses Materials mit schweren Löffelbaggern große Mühe bereitete. Später wurde ein Probeschacht von 15 m Tiefe ausgeführt, und auch diese Proben wurden im Feldlaboratorium untersucht. Der Gehalt an Komponenten  $> 20$  mm nahm dabei gegen unten von 12,5 auf 3,6 % ab, aber auch die Plastizitätszahl der Komponente  $< 0,5$  mm nahm gegen unten ab, d. h. das Material wurde magerer. Die Komponente  $< 20$  mm hat einen Gehalt an Grobschluff und Schlamm ( $< 0,02$  mm) zwischen 42 und 26 %, währenddem der Feinsandgehalt zwischen 14 und 26 % und der Grobsand- und Feinkiesgehalt (0,2—20 mm) zwischen 44 und 48 % variiert. Der günstigste Einbauwassergehalt lag beim grobkörnigen Material bei 8,4 % und nahm beim feineren auf 7,2 % ab. Der entsprechende Sättigungsgrad war 91, bzw. 87 % und das Naßraumgewicht stieg von 2,39 auf  $2,43$  t/m<sup>3</sup>. Der Durchlässigkeitswert bei  $K_{10}$  dürfte im Mittel etwa  $10^{-7}$  bis  $10^{-8}$  cm/s betragen. Der Scherwiderstand wurde an einer Probe mit günstigstem Einbauwassergehalt 9,2 % bestimmt, wobei die Kohäsion  $1,53$  kg/cm<sup>2</sup> und der Reibungswinkel  $\varphi = 31^\circ$  betrug.

Insgesamt hat die Untergrunderschließung des Dammes von Castiletto einen Kostenaufwand von etwa 750 000 Franken erfordert. Dabei ist das totale Ausmaß der Sondierungen wie folgt:

Bohrungen im Lockergestein: 1115 lfm.  
Bohrungen im Fels: 440 lfm.  
Rammsondierungen: 300 lfm.  
Schächte: 56 lfm.

Die Sondierungen haben zusammenfassend folgende Aufschlüsse ergeben:

— Das Material für den dichten Kern des Dammes (Zone 1) kann in den Moränenhügeln bei Cresta gewonnen werden und weist vorzügliche Eigenschaften

ten auf, wie geringe Durchlässigkeit und hohen Scherwiderstand.

- Die oberen Schichten im Talboden, auf denen sich der wasserseitige Dammfuß abstützt, sind setzungsgefährlich und können ausgequetscht werden. Sie müssen bis auf die kompakteren Alluvionen ausgehoben werden.
- Auf dem rechten Hang und in der Mitte des Dammes steht der Fels an der Oberfläche oder in geringer Tiefe an, so daß sämtliches Überlegungsmaterial ausgehoben und die Dammschüttung direkt auf den Felsen erfolgen kann.
- Auf der linken Talseite hingegen taucht der Fels hinunter bis Kote 1582, etwa 33 m unter die Talsohle, steigt gegen den linken Talhang an und verläuft dann wellenförmig zwischen Kote 1614 und Kote 1606 bis zur überhängenden Felswand.
- Über dem Fels befinden sich teilweise stark durchlässige Alluvionen und Bachschutt, die sich aus Kies, Geröllen und häufig auftretenden Feinsandlinsen zusammensetzen. Darüber liegt eine Moränenzone und weiter stößt man auf die geneigte Trennungslinie mit dem Bergrutschmaterial, wo die Lehmkomponente stark zunimmt und in vermehrtem Maße Blöcke auftreten.

Als bauliche Maßnahme mußte am linken Talhang ein Dichtungsdiaphragma vorgesehen werden. Zur Diskussion standen eine Betonmauer in sogenannter Zellenbauweise oder ein Injektionsschirm. Die Bauherrschaft entschied sich für eine kombinierte Lösung und zwar Betondiaphragma bis auf Kote etwa 1640 und Injektionsschirm oberhalb dieser Kote. Auf diese Weise wird die gesamte Zone unterhalb des Bergrutschmaterials durch das Betondiaphragma gedichtet und nur das eigentliche Bergrutschmaterial mit Injektionen behandelt werden.

Es ist vorgesehen, als Injektionsgut Tongel zu verwenden, das mit einem im gleichen Tale vorhandenen Ton als Rohmaterial aufgebaut wird. Es ist zu erwähnen, daß es sich bei den Injektionen nicht um eine Durchdringung der Masse des Bergrutsches handelt, sondern um die Absperrung einzelner Wasserwege. Es wurden in der Folge auch verschiedene Injektionsversuche ausgeführt, auf die jedoch an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll.

Für die Begutachtung der drei Sperrstellen wurde die Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH mit Prof. Dr. h. c. E. Meyer-Peter, Prof. Dr. R. Häfeli und der Geologe Prof. Dr. E. Staub zugezogen. Bei der Sperrstelle Val Nandrò wirkten auch P.-D. Dr. A. von Moos und bei den Untersuchungen von Roffna und Castiletto E. Weber als Geologe mit. Die Leitung der Aufschlußarbeiten hatte Obering. W. Zingg.

Die seismischen Messungen wurden von Prof. A. Kreis und Dipl. Phys. A. Süßtrunk durchgeführt. Den Sondierstellen in Castiletto führte die Bauunternehmung AG Heinrich Hatt-Haller, Zürich, durch, und die Sondierbohrungen wurden von der Swissboring, Schweizerische Tiefbohr- und Bodenforschungs-AG, Zürich, abgeteuft.

#### Literaturangaben

1. Die Wasserkraftanlagen der Stadt Zürich im Kanton Graubünden, von Oberingenieur H. Bertschi, Zürich, in «Wasser- und Energiewirtschaft», Zürich, 1952, Heft 5/7.
2. Das Juliawerk Marmorera der Stadt Zürich.
  - I. Beschreibung der Anlagen von Oberingenieur W. Zingg, Tiefencastel,
  - II. Zur Geologie des Juliawerkes Marmorera-Tinzen, von Prof. Dr. R. Staub, Zürich, und E. Weber, Maienfeld,
  - III. Der Bau des Staudammes Castiletto, von M. Oswald, Dipl. Ing., Zürich, in «Wasser- und Energiewirtschaft», Zürich, 1952, Heft 5/7.
3. Künstliche Verdichtung der Böden, von L. Bjerrum, Dipl. Ing., in «Straße und Verkehr», 1952, Heft 2/5.

## Geologische Eigentümlichkeiten der Geschiebeherde des bündnerischen Rheingebietes<sup>1</sup>

Von Dr. Heinrich Jäckli, Zürich

DK 551.3 (494.26)

### 1. Einleitung

Im St. Galler Rheintal hat der Rhein die natürliche Tendenz, sein Bett zu erhöhen, als zwingende Folge der ständigen Verlängerung des Flußbettes in den Bodensee und der dadurch bedingten Gefällsverringerung. Denn nach den durch das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft durchgeführten Deltavermessungen im Bodensee (Literaturnachweis 4) schüttert dort der Rhein jährlich etwas über 3 000 000 m<sup>3</sup> Feststoffe in den See, wodurch die

Rheinmündung pro Jahr um rund 27 m, die Fläche des Deltas um rund 2,1 ha wächst.

In allen Deltas und den flußaufwärts anschließenden Alluvialebenen entstehen früher oder später prinzipiell dieselben Zustände als Folge des sich erhöhenden Flußbettes, wie z. B. in der Magadinoebene des Tessin, im untersten Maggiatal, an der Reuß bei Flüelen, an der Aare bei Brienz oder an der Rhone oberhalb des Genfersees. Im St. Galler Rheintal sind die damit heraufbeschworenen Probleme aber am akutesten, nicht nur, weil hier die Talebene sehr dicht besiedelt und das Gefälle des Flusses geringer ist, sondern auch weil hier die

<sup>1</sup> Auszug aus einem Vortrag im Linth-Limmat-Verband vom 22. April 1952.