

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 119/120 (1942)
Heft: 1

Artikel: Einiges über den Norwegischen Talsperrenbau
Autor: Gruner, H.E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-52282>

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: 01.04.2025

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

Gebildeten ihres Sprachgebiets geworden sind, wie beispielsweise, um nur Namen aus zwei andern Wissensgebieten zu nennen, für den Bereich der Geschichtswissenschaft die Werke von Machiavelli oder Jacob Burckhardt, oder für den der Weltbeschreibung diejenigen Alexanders von Humboldt.

Hans Straub, Rom.

Einiges über den Norwegischen Talsperrenbau

Von Ing. Dr. h. c. H. E. GRÜNER, Basel

Wie in der Schweiz hat auch in Norwegen seit Anfang dieses Jahrhunderts die Ausnützung der Wasserkräfte zu grossen und schwierigen Wasserbauten geführt. Besonders entwickelte sich in diesem Lande unter dem Einfluss der tüchtigen norwegischen Ingenieure der Talsperrenbau in einer Richtung, die in der Schweiz noch wenig bekannt ist, aber besonders in der Jetztzeit grösste Beachtung verdient.

Um die in Norwegen durchgeführten Talsperrenbauten richtig zu verstehen, ist es notwendig, sich vorgängig mit den dortigen hydraulischen, meteorologischen und besonders auch geologischen Verhältnissen zu befassen. Der verhältnismässig schmale Küstenstreifen der skandinavischen Halbinsel, der das Land Norwegen bildet, erstreckt sich vom 58. bis 71. Breitengrad. Er überschreitet also den Polarkreis. An der Küste ist das nördliche Klima durch den Einfluss des Golfstroms etwas gemildert, sodass z. B. trotz der niederen Temperaturen die Fjorde nicht einfrieren, wenn sie nicht zu tief in das Innere des Landes eingreifen und dadurch dem mildern Einfluss des wärmeren Meerwassers entzogen werden. Im Innern des Landes aber und besonders auf den Gebirgen herrscht ein nahezu arktisches Klima. Die klimatischen Verhältnisse verschlechtern sich mit der Höhe über Meer viel schneller als dies z. B. in der Schweiz der Fall ist. Eine Höhe von 500 bis 800 m ü. M. kann schon kaum mehr mit dem Klima in unseren Gebirgen zwischen 2000 bis 2500 m ü. M., dem Klima z. B. der Spitallammsperre, verglichen werden. Das Gelände in diesen Höhen ist infolge des Schnees im Mai noch kaum zugänglich, und bleibt höchstens vom Juni bis September schneefrei. Den ganzen Winter hindurch, der von Oktober bis April gerechnet werden kann, herrscht ständig Frost, und zwar erreichen die Temperaturen bis zu -30°C und bleiben wochenlang unter -10° . Dafür ist der Wechsel zwischen Frost und Auftauen in Norwegen weniger häufig als in der Schweiz, infolgedessen unterliegen die Betonkonstruktionen wechsellenden und sprengenden Beanspruchungen weniger als bei uns.

Die geologischen Untergrundverhältnisse dagegen sind günstig. An den meisten Stellen, wo Wasserkraftanlagen gebaut werden können, ist fester undurchlässiger Fels, wie Granit, Gneiss, Gabbro, Syenit, Phylit anstehend. Die Verwerfungen und Spalten in diesen Gesteinen sind in der Hauptsache gut verwachsen. In der Gegend des Kaledonischen Grabens, der sich fast durch ganz Norwegen zieht, finden sich noch alte, quarzitische Sandsteine und etwas wenige Kalke des Silur und Devon; diese Letztgenannten sind aber von Höhlen und Wasserläufen durchzogen. Guter, quarzhaltiger Sand und Kies kann am unteren Lauf der Flüsse oder in Schotterterrassen gefunden werden; bei hochgelegenen Sperren ist er auf grössere Entfernungen herzuschaffen. Die Seen, die aufgestaut werden, liegen in offenen, breiten Talmulden, die oft kaum von Sand und Kies bedeckt sind; selten trifft man engere Schluchten an, in denen noch grössere Blöcke und Kies liegen. Durch den grossen geologischen Abbruch der Westküste gegen den Atlantischen Ozean haben

sich Steilwände gebildet, die die Ausnützung von Gefällen bis zu 1000 m gestatten. Die Gletscher haben die oben erwähnten Seebecken ausgehöhelt. Diese Seen werden von den norwegischen Ingenieuren angestochen, wie dies Ing. Dr. H. Lund in seinem Bericht vom 7. Juni 1941, SBZ Ed. 117, Nr. 23, näher erläutert, gleichzeitig werden die Becken aber auch aufgestaut, um dadurch Speicherräume bis zu einigen Hundert Millionen Kubikmetern zu schaffen.

Der Rhythmus des Abflusses entspricht dem der Schweiz. Die abfliessende Wassermenge vermindert sich im Winter und erhöht sich im Sommer bis auf das Hundertfache durch die Schneeschmelze und die gleichzeitigen grossen Regenfälle auf das nur schwach bewachsene oder ganz kahle Gelände. Im Sommer kann der Abflusskoeffizient bis 100% betragen. Nur durch die Erstellung von Staubecken ist es möglich, Wasserkraftanlagen mit das ganze Jahr hindurch gleichmässiger Leistung zu erhalten. In wirtschaftlicher und technischer Hinsicht ist der Bau von Talsperren schwierig. Die Bauzeit ist sehr kurz, nur vier bis sechs Monate im Jahr, und die hochgelegenen Ebenen sind nur wenig bevölkert; sie haben infolgedessen auch schlechte Zufuhrmöglichkeiten, fast keine Strassen und nur ausnahmsweise einen Bahn-Anschluss in der Nähe.

Das Wasser der Seen und fliessenden Gewässer hat überdies noch unerwünschte Eigenschaften: es ist sehr kalkarm und enthält öfters Humussäure. Der Beton ist daher, wenn er nicht sehr reich mit Zement dosiert wird, sehr gefährdet. Die Erfahrungen der Norweger haben aber gezeigt, dass ein Beton, der mit 360 bis 400 kg gutem Portlandzement auf den fertigen Kubikmeter hergestellt wird, sowohl dem aggressiven Wasser als auch dem Frost ohne grösseren Schaden widerstehen kann. Die norwegischen Sperren, die, wie schon gesagt, zum Teil schon zu Anfang des Jahrhunderts gebaut worden sind, wurden vor einigen Jahren durch eine Spezialkommission genau untersucht, und das Ergebnis dieser Untersuchungen in einer Sonderveröffentlichung «Den Norske Ingeniørforenings Betongkomité, Meddelelse Nr. 1: Undersøkelse av skader på vare Betongdammer og Brudstensdammer i Mørtel Aarsak og Botemidler. Den Norske Ingeniørforening Oslo 1930», im Jahre 1930 veröffentlicht worden. Die Erfahrungen über das Verhalten der Sperren, die im Nachstehenden gegeben werden, sind dieser Veröffentlichung entnommen.

Im Jahre 1916 hat Ingenieur Chr. F. Grøner, Oslo, den Fjergen-Damm Koparagen als erste Eisenbetonsperre gebaut; diese Eisenbeton-Konstruktion hat sich gut bewährt. Dieses, damals zum ersten Mal in Norwegen angewandte System wurde inzwischen noch weiter entwickelt; nachstehend sollen einige dieser von Grøner durchgeführten Bauten näher beschrieben werden.

Bei den Bauten von Eisenbetonsperren sind also zwei Gesichtspunkte begleitend. Einmal eine gute, frostbeständige Konstruktion, andererseits geringer Materialaufwand, der es gestattet, bei den schwierigen Transportverhältnissen und der kurzen Bauzeit doch noch grössere Sperren zu erstellen.

In den Abb. 1 und 2 ist ein Massenvergleich zwischen Gewichtsmauer, der Plattensperre mit dazugehörigen Eisen und der Schalungsfläche und der Reihenbogensperre, ebenfalls mit Eisenbedarf und Schalungsfläche, dargestellt. Die Angaben beziehen sich selbstverständlich auf die fertige Mauer einschliesslich der Pfeiler, doch ohne Herdmauer, da diese vom Untergrund abhängig ist und deshalb von Fall zu Fall wechselt.

Man entnimmt den Kurven ohne weiteres die grosse Ersparnis an Beton für die aufgelösten Mauern mit den dazugehörigen unvermeidlichen Eisenmengen und Schalungsflächen. Es gibt eine

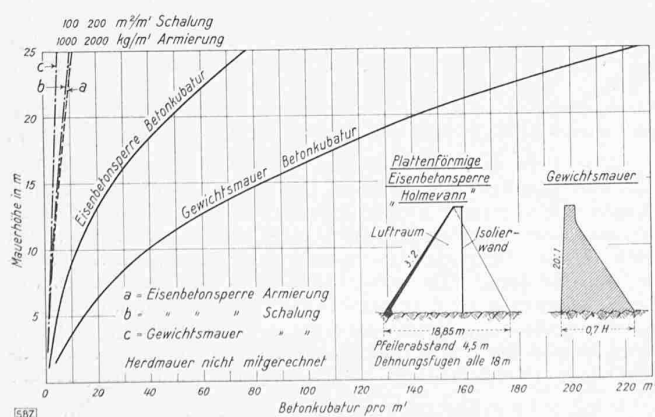


Abb. 1

Massenvergleiche der Eisenbetonsperren Holmevann (links) und Navann I (rechts) mit entsprechenden Gewichtsmauern

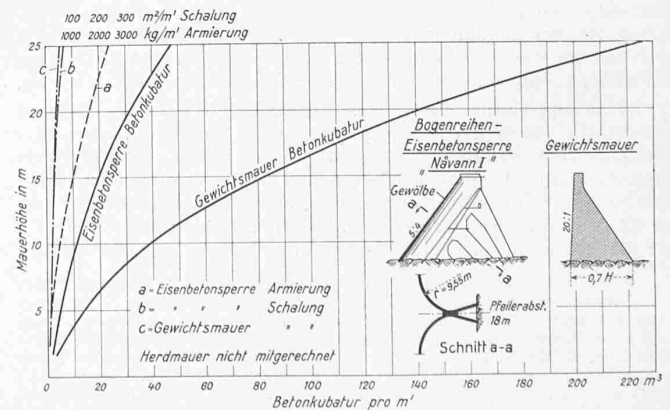


Abb. 2

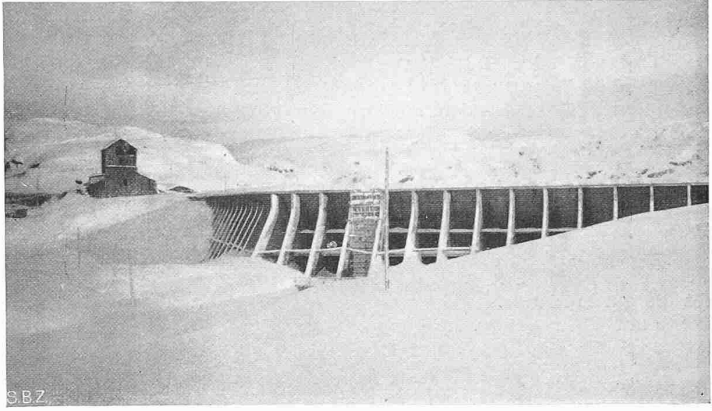
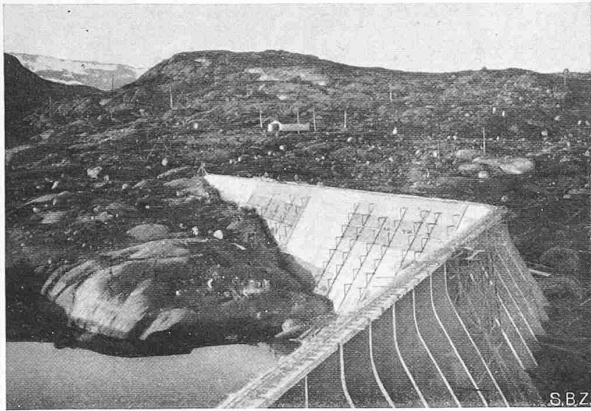


Abb. 5. Ansicht gegen das linke Ufer (im Bau)

Holmevannsperrre in Norwegen

Abb. 6. Ansicht der Luftseite (Winter 1920)

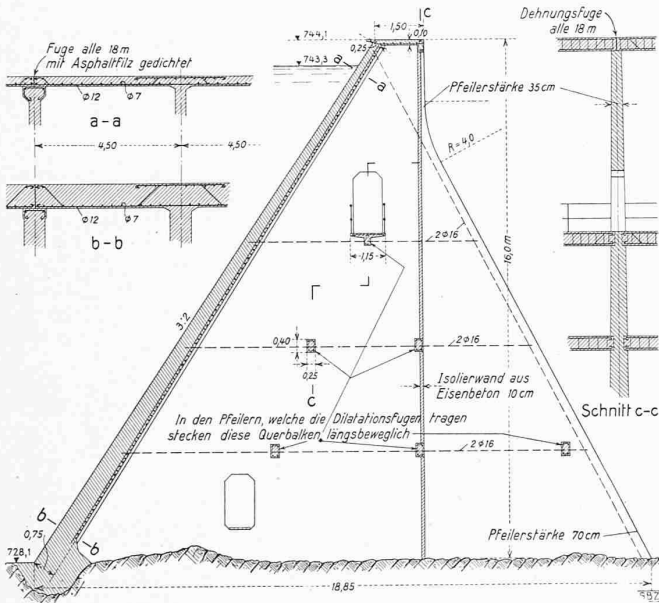


Abb. 4. Mauerschnitte 1:200 der Holmevann-Sperre (mit Isolierwand)

untere Grenze in der Höhe der Mauer, von der an der Bau einer aufgelösten Mauer nicht mehr interessant ist. Ueber diese Höhe sind die Ansichten geteilt. Gröner empfiehlt, schon eine Stau-mauer von 5 m als aufgelöste Sperre auszuführen.

Niedere Sperren werden in Norwegen auch als Steindämme erstellt, und diese mit einem Betonkern versehen. Erddämme werden durch einen Lehmkern oder durch Rosentorf gedichtet, je nach dem zur Verfügung stehenden Material.

Als Beispiel einer älteren Plattensperre ist in den Abb. 3 bis 6 die Holmevann-Staumauer bei Sauda dargestellt. Sie liegt nördlich des 59. Breitengrades auf einer Höhe von 740 m ü. M.,

also schon in vollständig arktischem Klima. Die Sperre ist in den Jahren 1919 bis 1920 gebaut worden; sie wurde von der norwegischen Betonkommission eingehend untersucht, sodass ihr Verhalten genau bekannt ist. Es handelt sich um eine etwa 264 m lange Talsperre, deren grösste Höhe 18 m beträgt; sie lagert sich in zwei flachen Tälern, ihr Zwischenstück in der Länge von 56 m dient als Ueberlauf. Dieses nur 2 bis 3 m hohe Stück wurde als Gewichtsmauer und Ueberfallwehr ausgebildet (Abb. 3). Im Grundriss ist die Sperre vollständig dem Gelände angepasst; der erste Teil gegen das rechte Ufer zu ist geradlinig, daran schliesst sich die Gewichtsmauer in konvexem Bogen gegen den See zu, schliesslich der Hauptteil der Sperre in einer Länge von 155 m mit um 144° gebrochener Axe. Die Eisenbetonplatten lagern auf dreieckigen Pfeilerwänden mit einem Axenabstand von 4,5 m; auf jedem vierten Pfeiler ist in den Platten eine Dehnungsfuge angebracht. Die Platte ist berechnet nach dem System eines kontinuierlichen Balkens auf fünf Stützen, der an seinen beiden Enden frei spielen kann. Für diese Sperre wurde kein Eisdruck gerechnet, während bei später gebauten Sperren dem Wasserdruck noch ein Eisdruck von 10 t auf den laufenden Meter beigelegt worden ist. Die Spannungen im Beton überschreiten 40 kg/cm² Druck und im Eisen 1000 kg/cm² Zug nicht. Unter der ganzen Stau-mauer ist der Baugrund fester, gesunder Granit. Infolgedessen ist auch keine eigentliche Herdmauer vorgesehen, sondern die Platte greift nur ungefähr 30 bis 40 cm in den Felsen ein; sie ist so armiert, dass in der Hauptsache nur die Rückseite eine Eisenarmierung trägt, während die Wasserseite nur in den Zonen der negativen Momente eine Bewehrung erhielt, sowie ein Schrägeisen zur Aufnahme der Schubkräfte. Eigentliche Vouten sind nicht vorgesehen, die Ecke zwischen Pfeiler und Platte ist abgeschrägt. An ihrem oberen Ende trägt die Platte einen Steg von 1,5 m Breite. Ihr oberer Teil hat eine Stärke von 25 cm; sie verdickt sich bei einer Höhe der Sperre von 18 m bis auf 75 cm, was einer Verstärkung der Platte von 3 cm auf den laufenden Meter entspricht. Auch die Pfeiler sind relativ sehr dünn; sie verdicken sich von 35 cm auf 70 cm und sind untereinander durch armierte Querbalken abgestützt; diese Querbalken haben bei den Dilatationsfugen ebenfalls Gleitlager. Der Balken auf mittlerer Höhe der Sperre trägt einen Steg

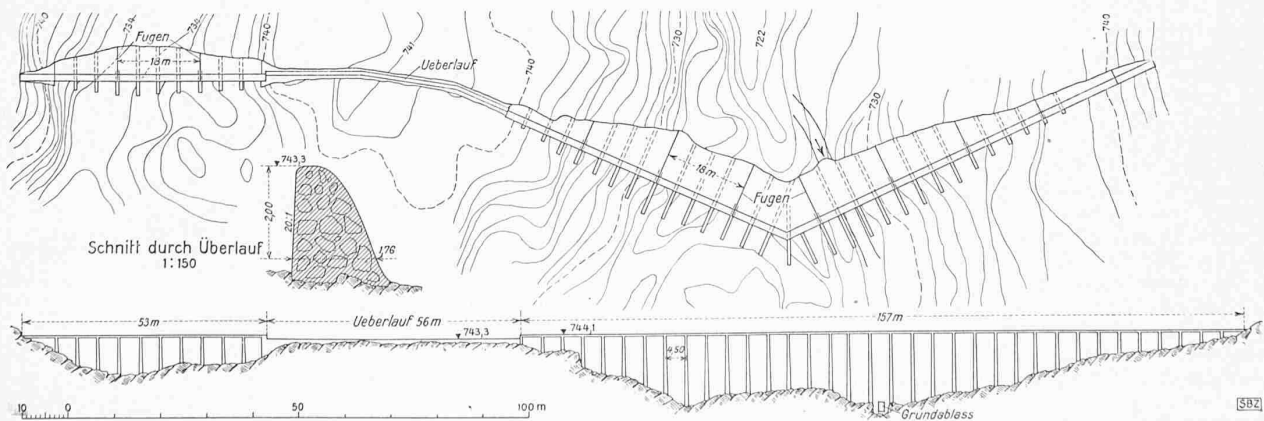


Abb. 3. Holmevann-Talsperre, erbaut 1919/20 durch Ing. CHR. F. GRÖNER, Oslo. Grundriss und luftseitige Ansicht, 1:1500

von 90 cm Breite, für dessen Durchgang im Pfeiler eine grössere Oeffnung ausgespart ist. Ein zweiter Durchbruch durch die Pfeiler ist in der Nähe der Erdoberfläche vorgesehen. Der Pfeiler bildet theoretisch ein Dreieck, dessen Basis $\frac{9}{8}$ der Höhe beträgt; dieses Dreieck ist nach oben auf 1,50 m verbreitert. Zwischen den Pfeilern wurde nachträglich (1928) als Schutz gegen Frost eine senkrechte, 10 cm starke Eisenbetonwand eingezogen.

Der gesamte Ballast des Betons ist in einem nahe liegenden Steinbruch gewonnen und künstlich gebrochen worden. Hierbei wurde das Brechgut unter 7 mm als Sand in einem besondern Silo gesammelt, und jenes zwischen 7 und 40 mm als Schotter in einem zweiten Silo gelagert. Mit diesen beiden Komponenten ist die ganze Mauer erstellt worden. Als Zement kam norwegischer zur Verwendung. Im ganzen mussten für die Staumauer 33000 m³ Beton geliefert werden.

Die Pfeiler sind in einem Mischungsverhältnis von 1 Teil Portlandzement, 3 Teilen Sand und 5 Teilen Schotter bei einem Zementgehalt von 250 kg auf den m³ fertigen Betons ausgeführt.

Die Untersuchungen nach zehnjährigem Bestehen der Mauer hatten an den Pfeilern das Nachfolgende gezeigt: in den meisten konnten kleinere Risse beobachtet werden, die von der obern Kante des Durchbruches für den Steg schräg nach oben gegen die Platte führten. Arbeitsfugen im Pfeiler begünstigten die Rissbildung und wiesen diesen den Weg. Wenn auch diese kleinen Schäden für die Sicherheit des Bauwerkes keine Bedeutung hatten und nur auf das Schwinden des Betons zurückzuführen sind, wurde bei den später erstellten Sperren diesem Fehler vorgebeugt durch eine systematische Anordnung des Betoniervorganges und durch starke Armierung als Umsäumung der Oeffnungen und Pfeilerränder. Der Beton der Platte wurde mit 1 Teil Zement, 2 $\frac{1}{2}$ Teilen Sand und 3 Teilen Schotter bei 340 kg Zement auf den Kubikmeter fertigen Betons ausgeführt. Wie immer, wenn nur aus Granit gewonnener Brechsand Verwendung findet, war es ausserordentlich schwierig, mit diesem Sand einen plastischen Beton herzustellen. Infolgedessen wurde bei der Ausführung etwas zu viel Wasser zugesetzt; das Mischgut neigte zur Entmischung, auf der Oberfläche der Arbeitsfugen entstand eine Zementhaut. Trotzdem macht der Beton an der Luftseite der Platten im grossen und ganzen einen guten Eindruck. Die Sperre hat von 1920 bis 1928 ohne die Isolationswand gearbeitet; die oben erwähnten Risse sind zum grossen Teil auf die starken Temperaturschwankungen in dieser Zeit zurückzuführen. 1928 wurde dann die Schutzwand eingezogen. Derjenige Teil der Platte, der bei der Untersuchung unter Wasser lag, war zum Teil mit Wasser vollgesogen, das in der kalten Jahreszeit dazu neigte, an der Luftseite zu gefrieren und auf den Beton sprengend zu wirken. Es zeigte sich bei den Untersuchungen, dass das Eis im Beton Mitte Juni 1928 zum Teil noch nicht geschmolzen war; trotzdem waren nur in dem 10. und 14. Felde der Sperre kleine Frostschäden am Beton festzustellen. Bei gewissen Betonierungsfugen war etwas Calcium-Carbonat abgelagert; diese Ablagerung ist auf Schwitzen der Fugen zurückzuführen, da sich dort auch Spuren von Undichtigkeiten zeigten. Auch einige Stellen neben den Fugen zeigten Schwitzstellen und einige der Dehnungsfugen Spuren von Undichtigkeiten, besonders an den tiefer liegenden Stellen des Dammes. In einigen Fugen liess sich feststellen, dass die Eiseneinlagen der Fugen lose waren; doch handelte es sich hier um Ausführungsfehler. Auf der Wasserseite wurde im Jahre 1928 ein Teil der Betonierungsfugen und auch der Dehnungsfugen aufgehauen; bei diesen Arbeiten konnte man sich ein Bild über die Güte des Betons und den Zustand der Betonfugen machen. Es zeigte sich, dass der schwache Punkt der Platte die Betonierungsfugen sind; da diese nicht sorgfältig genug ausgeführt und infolgedessen nicht ganz dicht waren, wurden oberhalb der Betonierungsfuge einzelne poröse Schichten festgestellt, die zu viel Schotter enthielten, besonders an den tiefsten Stellen des Dammes in den Feldern 20 bis 25. An diesen Stellen war der poröse Beton durch organische Bestandteile dunkel gefärbt. Diese Erscheinung kann auch bei anderen Dämmen in Norwegen festgestellt werden. Es scheint jedoch, dass sich diese schlechten Stellen auf die Arbeitsfugen und ihre Umgebung beschränken. Im grossen und ganzen war aber der Beton dicht und hart; er hatte sich gut gehalten, und die kleinen Schäden konnten leicht ausgebessert werden. Abb. 5 zeigt den Damm während des Baues, und Abb. 6 gibt ein anschauliches Bild der Winterbeanspruchung. Andere Dämme, die in der gleichen Art gebaut wurden, wie z. B. der Finflaatdamm Saude aus dem Jahre 1920 und der Fjergendamm aus dem Jahre 1916 sind mit Natursand erstellt und haben sich besser gehalten. (Schluss folgt.)

Landgut im «Felsengrund» ob Herrliberg

Von STRÄULI & RÜEGER, Architekten, Winterthur

Die Liegenschaft im «Felsengrund» des Herrn Dr. W. Boveri befindet sich hoch über dem Zürichsee und der Gemeinde Herrliberg in einer Meereshöhe von 760 m, ganz oben an den Hängen der Pfannenstielkette. Zwischen dem Bauernhof zum «Hasenacker» und dem bewaldeten Höhenrücken schiebt sich eine Geländekuppe auf felsigem Untergrund vor, die durch ihre beherrschende Lage einen grossartigen Weitblick über das ganze Gebiet des Zürichsees, die Voralpen und den abschliessenden Gebirgskranz der Alpen öffnet, von Osten in weitem Bogen über Süden bis nach Nordwesten ausholend. Aber auch in der nahen Umgebung, von den bewaldeten Höhen im Rücken, über die wellenförmigen, mit Feldern, Wiesen und Wäldchen bedeckten Hangformationen bis tief hinunter zum See ist die landschaftliche Schönheit in ihrer Art von kaum zu überbietendem Reiz. Weit und breit ist auf dem diesseitigen Ufer kein störendes Gebäude sichtbar; ein malerischer alter Bauernhof und einige Holzstadel, alte Obstbäume und weidende Herden erhöhen den Reiz der Gegend. Mit seinen zauberhaften Sonnenuntergängen, den stillen nächtlichen Stimmungen der im Dunkel weitverstreuten schimmernden Lichtpunkte, den Wechselbildern der Jahreszeiten, zeugt dieser Fleck Erde besonders eindringlich von der Schönheit der Schöpfung.

Auf dieser Felsenkuppe stand zu Beginn der Baustudien ein unansehnliches, eternitverschaltetes primitives Bauernhaus mit dahinterliegender Scheune und Stall. Diese Bauten mussten zuerst entfernt und in Verbindung mit neuen Bauteilen bergwärts (wie aus dem Plan Abb. 1 ersichtlich) wieder erstellt werden. Auf dem nun frei gewordenen Gelände wurde nach Ausführung einer eigenen Quellwasserversorgung, einer Kanalisationsanlage

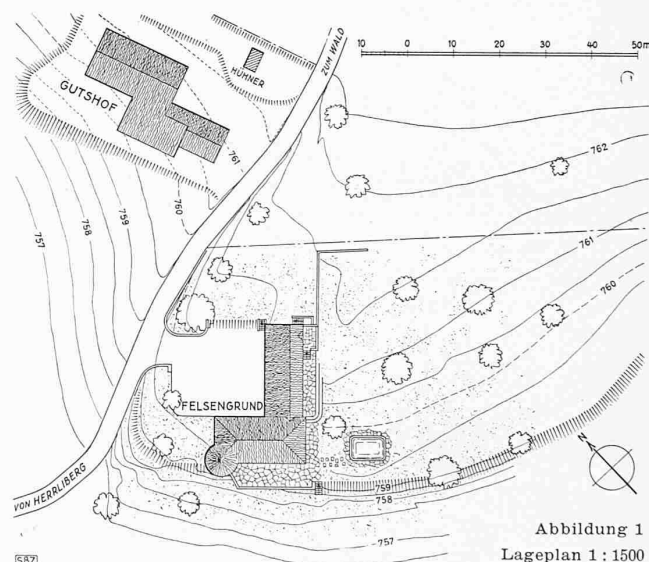


Abbildung 1
Lageplan 1:1500

[Die Grundrisse Abb. 2 und 3 finden sich auf Seite 9!]



Abb. 4. Blick von der Garage gegen Haupt- und Nebeneingang