

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 85 (1967)
Heft: 49

Artikel: Malpasset - in geotechnischer Sicht
Autor: Gilg, Bernhard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-69606>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

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

Malpasset – in geotechnischer Sicht

Von Ing. Dr. B. Gilg, Zürich

DK 627.825.004.64

1. Einleitung

Vor bald 8 Jahren hat sich in Südfrankreich jenes tragische Unglück ereignet, welches auf der einen Seite eine gewisse Kritik gegen den Talsperrenbau entfachte, auf der andern Seite aber gerade die verantwortungsbewussten Fachleute aufrief, sich über die Ursachen des scheinbaren Versagens der Technik Klarheit zu verschaffen. Wenn auch die Laienwelt längst den Einsturz der Staumauer Malpasset ad acta gelegt oder sogar vergessen hat, so ist er doch vielen Ingenieuren in schmerzlicher Erinnerung geblieben, und diese Tatsache rechtfertigt wohl anlässlich der Besprechung der Dissertation von *Jean Bernaix* «Etude géotechnique de la roche de Malpasset¹⁾» ein etwas weiteres Ausholen über die behandelte Materie, als es sonst bei einer Rezension üblich ist.

Die Bogenstaumauer Malpasset²⁾ stellte mit ihren 220 m Kronenlänge und 70 m Höhe kein ausserordentliches Bauwerk dar. Ihre Zerstörung ist also nicht etwa mit dem Einsturz des babylonischen Turmes zu vergleichen, welcher zu Grunde gehen musste, weil man alle bis anhin vertrauten Dimensionen überschritt und quasi den Himmel erstürmen wollte. Sie ist vielmehr die Folge einer oder mehrerer Fehlüberlegungen, und so ist es verständlich, dass die verschiedensten Thesen zur Erklärung des Unglücks aufgestellt und begründet wurden. Und um eine solche Begründung geht es auch in der hier besprochenen Veröffentlichung.

Ganz allgemein ist festzuhalten, dass ein Bauwerk zerstört werden kann, weil die Spannungen in seinem Innern – sei es infolge zu grosser Belastung oder mangelnder Qualität der Baustoffe – das zulässige Mass überschreiten. Das war in Malpasset nicht der Fall. Ein Bauwerk kann aber auch einstürzen, weil der Untergrund den an ihn gestellten Anforderungen nicht gewachsen ist. Dann ist eben der Untergrund selber Bauwerk und wird entweder anders und stärker beansprucht, als man vermutete, oder er besitzt nicht die ihm zugeschriebene Qualität, d. h. also nicht die vorausgesetzten Festigkeitseigenschaften. Dies ist der Fall von Malpasset.

Es wäre nun denkbar, dass bei der Berechnung der von der Mauer auf den Fels abgegebenen Belastungen Fehler gemacht worden sind. Diese Ansicht ist wohl verschiedentlich geäussert worden, bildet aber hier nicht Gegenstand der Untersuchung. Sicher ist jedoch, dass die Qualität und das Verhalten des Felsens falsch eingeschätzt worden sind. Und gerade in diesem Punkt möchte die vorliegende Dissertation einige Tatsachen klarstellen.

2. Die verschiedenen Felsprobleme

Der Verfasser untersucht im ersten Teil seiner Arbeit die verschiedenen massgebenden mechanischen Eigenschaften des Auflagerfelsens, im zweiten Teil dessen Durchlässigkeit und im dritten Teil den Einfluss von Sickerströmungen durch einen klüftigen Fels auf dessen Verhalten unter der von einer Bogenstaumauer ausgeübten Belastung.

Bevor er die Untersuchung im einzelnen durchführt, betont er die Tatsache, dass beim Einsturz von Malpasset die inneren Wasserdrücke im Fels (Kluftdrücke) eine ausschlaggebende Rolle gespielt haben. Allerdings stellt das seiner Ansicht nach keine genügende Erklärung dar, da ja eine grosse Anzahl von früher gebauten Bogenstaumauern sich stabil verhalten, obschon der Porenwasserdruck im Fels in der Berechnung nie berücksichtigt worden sei.

Zu dieser These ist die folgende Bemerkung zu machen. Wenn der Porenwasser- oder Kluftwasserdruck im Fels im Falle einer Bogenstaumauer als weniger bedeutungsvoll angesehen wird als im Falle einer Gewichtsmauer, so deswegen, weil es bei den letzteren genügt, dass unter einem einzigen Mauerblock grosse Auftriebe entstehen, damit dieser eine Block instabil wird und umstürzt und auf diese Weise die ganze Mauer zerstört wird, wogegen bei Bogenmauern eine viel grössere Zone einen hohen Auftrieb erleiden muss, bis die Sperrre als ganzes instabil werden kann. Dies ist bereits eine alte Erkenntnis und hat früher wohl bisweilen dazu geführt, dass der Auftrieb unter Bogensperren vernachlässigt wurde.

Was jedoch in Malpasset die Vernachlässigung des Auftriebes besonders schwerwiegend macht, ist der Umstand, dass hier – und

¹⁾ Etude Géotechnique de la Roche de Malpasset. Par J. Bernaix. Contribution à l'Etude de la Stabilité des Appuis de Barrages-Voutes. 216 p. avec 109 Fig. Paris 1967, Editeur Dunod. Prix relié 65 F.

²⁾ Über den Bruch der Staumauer von Malpasset (nach G. Wüstemann) SBZ 1960, H. 11, S. 194, sowie H. 27, S. 460. – Expertenberichte SBZ 1966, H. 16, S. 290.

zwar besonders auf der linken Talseite – das gleichzeitige Fehlen eines Injektionsschirmes und eines luftseitigen Drainageschirmes in Verbindung mit den dort herrschenden Felseigenschaften und der wegen des schmalen Maueraulagers relativ hohen Felsbelastungen extreme Auftriebsverhältnisse geschaffen haben, welche wohl selten ihresgleichen finden.

Weiter wird in der Einleitung noch hervorgehoben, dass kaum je ein Auflagerfels solche Streuungen in der Festigkeit aufgewiesen habe, was mittels Druckversuchen an Bohrkernen nachträglich festgestellt werden konnte. Auch dies mag ohne weiteres stimmen, doch gilt es zu bedenken, dass ein normal geschichteter und geklüfteter Fels je nach der ursprünglichen Lage und Richtung, welche die im Laboratorium untersuchten Bohrkerne im Felssmassiv besassen, äusserst heterogene Eigenschaften aufweisen kann. Die Charakteristiken eines Felssmassivs lassen sich nun einmal nicht im Labor an Bohrkernen untersuchen, sondern müssen in mindestens 2 bis 3 m hohen Sondierstollen von genügender Länge überprüft werden. Auch da werden die Resultate noch streuen, doch wird der entsprechende Mittelwert eher dem tatsächlichen Verhalten des Auflagerfelsens gerecht.

3. Die Matrizenfestigkeit und die Mechanik der Makrodiskontinuitäten

Man lasse sich durch diese neuartigen Ausdrücke nicht allzu sehr verwirren. Der Verfasser erklärt für den Gneiss von Malpasset die beiden Begriffe mit dem Maßstab. Die für die Matrizenfestigkeit massgebenden Störungen im nicht isotropen Fels sind Risse und Spalten bis zur Breite eines Zehntelmillimeters und bis zur Länge von rd. 1 m. Die Matrizenstruktur reicht also vom Mineral bis zu einer für kleine Fundationsflächen massgebenden Klüftung. Sie ist nur dann auch für grössere Fundationen massgebend, wenn keine grösseren Klüfte im Fels vorhanden sind. Im übrigen ist diese Struktur für die Festigkeit aller im Labor (ein- und dreiaxial) untersuchten Felsproben bestimmend. Der Verfasser widmet der Untersuchung der Matrizenfestigkeit einen wesentlichen Teil seiner Arbeit. Die Dimension der untersuchten Stücke übersteigt aber kaum je den Dezimeter, so dass diese Untersuchungen – so interessant sie an und für sich sind – eigentlich nur informatorischen Charakter besitzen.

Gegenüber der Matrizenstruktur sind die Makrodiskontinuitäten in ihrem Ausmass unbeschränkt, und die unter diesem Titel auftretenden Risse und Klüfte können mit eingeschwemmten Materialien oder Verwitterungsprodukten verfüllt sein. Auch im Falle von Makrodiskontinuitäten, welche im übrigen – wenn vorhanden – für die Gründung einer Talsperre ausschlaggebend sind, können Laboratoriumsversuche interessante Aufschlüsse ertheilen. Sie werden sich aber auf die Eigenschaften des Kluftverfüllungsmaterials beschränken. Die Grosszahl der Einflüsse muss jedoch mittelst Grossversuchen im Stollen erkundet werden, und da die zu erwartende Streuung unter Umständen gross ist, ist eine genügende Anzahl von Stollen und Prüfstellen unerlässlich. Dieses Problem ist nicht Gegenstand des besprochenen Werkes, da bei der Nachprüfung von Malpasset praktisch keine Stollenversuche ausgeführt wurden; es soll hier lediglich einmal mehr betont werden, wie wichtig die Wahl der Versuchsmethoden ist.

Ein weiterer Abschnitt im 1. Teil der Arbeit betrifft den Einfluss des Wassers auf die Felsfestigkeit. Im Matrizenbereich zeigte sich bei zunehmender Sättigung eine starke Abnahme der Druckfestigkeit. Im Makrobereich ist vor allem ein weitgehender Verlust der Kohäsion des Kluft-Füllmaterials festzustellen, während der Winkel der inneren Reibung desselben nur wenig beeinflusst wird. Aber auch hier stützt sich die Beurteilung einzig und allein auf Untersuchungen im Laboratorium, so dass erst bewiesen werden müsste, ob die Resultate ohne weiteres auf das Felssmassiv übertragen werden können.

Als letztes Problem wird noch der Einfluss des fliessenden Wassers auf die Felseigenschaften behandelt, wobei die These aufgestellt wird, dass Sickerwasser bewirke nebst den bekannten Kalzit- und Quarzitablagerungen in den Klüften infolge eines mehr oder weniger starken Ionenaustausches gegebenenfalls eine unvermutet rasche Qualitätsverminderung des Gebirges. Dies wurde durch Laboratoriumsversuche nachgewiesen, wobei allerdings ausdrücklich erwähnt wird, dasselben hätten unter sehr extremen Bedingungen stattgefunden.

4. Die Felsdurchlässigkeit

Das wichtige Thema in diesem Kapitel ist die systematische Untersuchung der Felsdurchlässigkeit in Funktion der im Massiv herrschenden Spannung, wobei der Verfasser an ganz verschiedenen Gesteinsarten jeweils Versuche im Druckzustand sowie im Zugzustand durchführt.

Die Versuchsanordnung ist sehr interessant; sie wird genau

beschrieben. Als Resultat erfolgt wie erwartet die Feststellung, dass die Durchlässigkeit im Druckzustand abnimmt, wobei ganz besonders betont wird, dass diese Abnahme beim Gneiss von Malpasset in einer einmaligen Weise auftrat. Bei 50 kg/cm^2 – eine für ein Felsauflager schon recht grosse Spannung! – ist der k -Wert nach Darcy im Mittel 100 mal kleiner als im spannungsfreien oder leicht gezogenen Zustand. Natürlich spielt sich auch hier der ganze Versuch im Matrizenbereich ab, und die Resultate sind stark von der Lage und Ausdehnung der Risse abhängig. Dass der Fels von Malpasset besonders extreme Werte aufweist, soll eine Folge seiner enormen Rissigkeit sein.

5. Erklärung des Bruches

Bereits in der Einleitung ist die Erklärung für den Bruch vorweggenommen. Sie lautet dahin, dass der an und für sich nicht dichte Fels unter dem Auflagerdruck der Sperré auf eine gewisse Tiefe zusammengepresst und darum fast völlig dicht geworden sei; deshalb musste sich bergseits dieses in die Tiefe der Auflager reichenden «Felschirmes» ein grosser Kluftwasserdruck aufbauen, welcher den Fels im Innern in übermässiger Weise belastete.

Diese einzigartige These soll hier im Urtext wiedergegeben werden: «Les considérations qui précèdent ne sont évidemment que des hypothèses sur un mécanisme de rupture qui restera sans doute difficile à reconstituer d'une façon certaine. Nous pouvons cependant retenir d'une manière plus catégorique l'essentiel du phénomène initiateur de la rupture: les variations de perméabilité en fonction des contraintes appliquées, exceptionnellement intenses pour le gneiss de Malpasset, ont rendu étanche la zone des appuis comprimée par la poussée de la voûte. L'écran ainsi formé s'est comporté comme un véritable barrage souterrain à l'aval de l'ouvrage, qui a pratiquement été soumis à la pleine charge de la retenue, et ce surcroît d'effort s'est révélé incompatible avec la bonne tenue de l'appui».

Wenn diese Behauptung zutrifft, müsste eigentlich jedes Auflager einer Betonsperré auf dieses Phänomen hin untersucht werden. Dabei würde man vielleicht mit Erstaunen feststellen, dass diejenigen Sperrstellen, welche nach früherer, konservativer Betrachtungsweise für eine Bogenmauer ausgelesen und mit Injektionen behandelt wurden, tatsächlich auch noch die oben erwähnte extreme Belastung aushalten.

Mag man im einzelnen über die felsmechanischen Thesen von Bénaix sich seine eigenen Gedanken machen, so steht doch fest, dass der Verfasser sich mit grosser Umsicht seinen mannigfachen Untersuchungen widmet und dieselben sehr gut beschreibt. Deshalb sei jedem mit Gründungsproblemen beschäftigten Ingenieur oder Geologen die Lektüre des besprochenen Werkes empfohlen. Es tut gut, sich wieder einmal darüber Rechenschaft abzulegen, dass die Frage der Sicherheit eines Bauwerkes nicht ernsthaft genug angepackt werden kann. Und es ist auch beeindruckend zu sehen, wie relativ einfach sich eine Beweisführung post factum vornehmen lässt, wenn man das Resultat bereits kennt.

Adresse des Verfassers: Bernhard Gilg, Dr. sc. techn., Elektro-Watt-Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich, Postfach.

Das neue Kraftwerk Waldhalde DK 621.29 der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich

Im Zeitalter der Grosskraftwerkebauten müssen besondere Umstände vorliegen, wenn Fachwelt und Öffentlichkeit ein kleines Kraftwerk mit einer Leistung von nur rund 2,5 MW zur Kenntnis nehmen. Das umgebauten Kraftwerk Waldhalde der EKZ rechtfertigt dieses Interesse weitgehend.

Es nutzt das Gefälle der Sihl im Umfang von 74 m aus, das auf der rund 4,5 km langen Strecke zwischen dem Wehr und der Zentrale vorhanden ist. Ein 2,2 km langer Stollen leitet das Sihlwasser vom Wehr in den Tiefenbachweiher. Von dort gelangt es durch die Druckleitung in die Turbine. Das Werk ist in den Jahren 1893 bis 1895 von der AG Elektrizitätswerk an der Sihl erbaut worden. Die Leitung unterstand Prof. Dr. W. Wyssling. Die damalige Waldhalde hatte fünf Turbinen zu 400 PS. Im Jahre 1908 kam das Werk in den Besitz der neu gegründeten Elektrizitätswerke des Kantons Zürich. Im Laufe der Zeit mussten die fünf Maschinengruppen, die für eine Frequenz von 42 Hz gebaut waren, durch solche von 50 Hz ersetzt werden. Die Gesamtleistung erforderte nur noch drei Gruppen.

Trotz des guten Unterhaltes begann das Wehr baufällig und undicht zu werden. Außerdem vermochte es die erhöhte Wassermenge nicht mehr zu fassen, die das neue, weiter oben liegende Kraftwerk Sihl-Höfe in Spitzenzeiten verarbeiten darf. Der Tiefenbachweiher

füllte sich zusehends mit Sihlschlamm. Auch der Zustand der Druckleitung war wegen der Rosteinwirkung schlecht geworden. Diese und andere Gründe veranlassten die Leitung der EKZ seit Jahren schon, sich mit dem Umbau des Werkes zu beschäftigen. Im Dezember 1963 genehmigte der Verwaltungsrat der EKZ das Projekt für die Erneuerung und erteilte den nötigen Kredit. Im Frühjahr 1965 nahm man die ersten Bauarbeiten in Angriff. Mit dem 17. Januar 1966 hatte das alte Werk nach einer Betriebszeit von über 70 Jahren endgültig ausgedient. Fast genau ein Jahr später, am 20. Januar 1967, konnte das erneuerte Werk mit der Energielieferung ins Versorgungsnetz der EKZ beginnen.

Das Wehr in Hütten ist vollständig erneuert worden. Der Regierungsrat des Kantons Zürich billigte durch eine neue Konzession die Erhöhung der Wehrkrone um 1,74 m. Ebenso wurden die Druckleitung, das Wasserschloss und die Zentrale samt Ausrüstung ersetzt und auf eine maximale Wassermenge von $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ausgebaut. Die verfügbare Leistung wird in einer einzigen Maschinengruppe verarbeitet. Der Tiefenbachweiher erhielt durch Aushebung von rund 85000 m³ Schlamm wieder seinen ursprünglichen Nutzhinhalt von 200000 m³. Um in Zukunft die rasche Verschlammung des Weiher zu vermeiden, wurde eine Umlaufleitung erstellt. Diese leitet bei schlammführendem Hochwasser der Sihl das Betriebswasser direkt auf die Turbine, ohne dass es vorher in den Tiefenbachweiher fliesst.

Der Umbau des Kraftwerkes Waldhalde berücksichtigt so gut wie möglich den Landschaftsschutz. Die Rohrleitung ist an den exponierten Stellen im Boden verlegt und zugedeckt worden. Es sind auch nahezu alle Freileitungen verschwunden. Die Bauten wurden in Gestaltung und Aussehen der Landschaft angepasst.

Die Erneuerung hat 8,25 Mio Fr. gekostet. Unter Berücksichtigung der Bauteuerung konnte der Kostenvoranschlag eingehalten werden. Die folgenden Tatsachen bestätigen die Wirtschaftlichkeit dieser Investitionen. Einmal wird durch die geänderte Konzeption des Werkes die Energieproduktion um 19% gesteigert. Das neue Werk wird zudem vom Fernsteuerzentrum Thalwil der EKZ ferngesteuert, was die Jahreskosten merklich senkt. Außerdem muss bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung noch der Nebenzweck des Waldhaldewerkes berücksichtigt werden. Der Tiefenbachweiher dient nämlich der Feinregulierung der Sihldotierung. Bekanntlich nützt das Etzelwerk die Sihl nicht vollständig aus. Vielmehr ist der Flusslauf aus dem Stausee des Etzelwerkes so zu dotieren, dass seine Wassermenge beim Eintritt in den Kanton Zürich nie unter $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ zurückgeht. Die Etzelwerk AG hat deshalb an die Baukosten der Waldhalde einen angemessenen Beitrag geleistet. Es ergibt sich ein Strompreis, der dem Energiepreis der kommenden Atomkraftwerke entspricht.

Ganz besonders erfreulich ist der Umstand, dass die bemerkenswerte Pionierleistung, die führende Männer der jungen Elektrotechnik in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts geleistet haben, erhalten werden können. Es ist dies das grosse Verdienst des anfangs 1967 zurückgetretenen Direktors der EKZ, H. Wüger, dipl. Ing., die Vorarbeiten für den Neubau des Kraftwerkes Waldhalde liebvol an die Hand genommen, und des neuen technischen Direktors, E. Kuhn, dipl. Ing., das Werk mit Sachkenntnis und Ausdauer zum glücklichen Ende geführt zu haben.

Bei der Kollaudation am 25. Oktober 1967 konnte der Präsident der EKZ, Regierungsrat E. Brugger, dem Verwaltungsrat und den anwesenden Gästen mit Stolz und Freude ein zwar im Umfang bescheidenes Werk zeigen, das nur 1% an den Energieumsatz des EKZ beiträgt, aber mit den neuesten technischen Einrichtungen ausgerüstet ist und sich harmonisch in die Landschaft einfügt.

A. Ziegler, dipl. Ing., Altendorf

Nekrologie

† Anton Dudler, von Thal (St. Gallen) und Zürich, geboren am 27. April 1891, verbrachte seine Jugendjahre in Goldau und Rorschach und besuchte später die Kantonsschule in Frauenfeld, wo er im Herbst 1910 das Reifezeugnis erhielt. Dann studierte er an der ETH und erwarb sich im Sommer 1916 das Diplom eines Maschineningenieurs. Nach einigen Jahren der Arbeit in der Industrie