

Notizen zum Geologischen Plan der Aufstandsfläche der Drossensperre, Kaprun

2 Taf. (12, 12a), 5 Abb.

Georg Horninger

Anschrift:

Dr. Georg Horninger
Alois-Czedik-Gasse 3/15
A-1147 Wien

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.	18. Bd.	1967	S. 379-400	Wien, Juli 1968
-------------------------------	---------	------	------------	-----------------

Zusammenfassung

Die baugelogeische Aufnahme der Aufstandsfläche der Drossensperre, einer 100 m hohen Gewölbemauer im Kapruner Tal, Salzburg, wird vorgelegt. Es werden einige Auswirkungen der Felsbeschaffenheit auf den Sperrenentwurf und auf den Bauablauf beschrieben. Ferner wird aus der Sicht des Geologen betrachtet, wie sich die rasche Weiterentwicklung der Erkenntnisse über das Gebirgsverhalten, sowie die Fortschritte in der Bau- und in der Meßtechnik in den letzten 15 Jahren, also seit Fertigstellung der Sperren von Kaprun, auf einige Felsbauprobleme bei Gewölbesperren ausgewirkt haben.

Summary

The autor presents an engineering-geological map of the foundation rock of the Drossensperre, an arch dam, 100 metres high, in the Kaprun Valley, Salzburg. He deals with the bearing of the foundation conditions on the design and the construction of the dam. The repercussions of the rapid progress in knowledge about the behaviour of rock masses as well as in construction techniques and in the development of measuring devices for rock survey in the course of the past 15 years, i. e. since the completion of the Kaprun dams, on several problems of rock engineering with regard to arch dams are considered from a geological point of view.

Résumé

L'article décrit le levé géologique ci-joint de la roche d'appuy de la Drossensperre, barrage-voute de cent mètres de hauteur dans la vallée de Kaprun, Salzbourg. L'auteur démontre quelques effets de la qualité du rocher sur le projet et le cours de la construction du barrage. De plus il considère du point de vue du géologue l'influence possible du développement rapide de la connaissance théorique à l'égard du comportement mécanique des masses rocheuses, et des progrès au sujet des techniques de construction et d'auscultation des appuis rocheux au cours des dernières 15 années (c'est-à-dire depuis l'achèvement des barrages de Kaprun) sur quelques problèmes géologiques concernant la construction des barrages.

Notizen zum Geologischen Plan der Aufstandsfläche der Drossensperre, Kaprun

Der Baugeologe lebt zwischen den Welten. Dem wissenschaftlich tätigen Geologen ist er zu sehr Handwerker, dem Ingenieur meist zu gelehrt (im üblen Sinne). Zugegeben, der Baugeologe findet manche Dinge bemerkenswert, die den Spezialisten hüben und drüben nur ein müdes Lächeln kosten können. Aber auch dieses Handwerk, fern von schwungvollen Betrachtungen über Deckenkomplexe und Gebirgsbildungsphasen, bringt kleine Erkenntnisse: man bemerkt so nebenbei in einer Baugrube, daß es einmal auf irgendeine verhext liegende Einzelkluft ankommt, die zwar keinerlei theoretisches Interesse beansprucht, ja nicht einmal einem Maximum im Kluftdiagramm zuzuordnen ist, wohl aber ein Baukonzept umstoßen und dabei ein kleines Vermögen kosten kann. In einem anderen Falle führt ihm die Aufnahmearbeit in einem Sperrenfundament oder in einem Stollen vor Augen, daß es außer dem „Fels“ einer extrem aufgefaßten Fels-Mechanik noch immer die Gesteine im herkömmlichen Sinne gibt, deren sehr verschiedene, auf ihrem Mineralbestand beruhende Eigenschaften das tektonische Verhalten ganz wesentlich mitbestimmen. Er erkennt, daß eine Verwerfung in der Natur so ganz anders beschaffen sein kann, als die vereinfachende Modellvorstellung eines Scherrisses an einem Probekörper. Solchen Erkenntnissen — sozusagen zwischen den Fronten und neben dem eigentlichen Broterwerb — nachzugehen, kann recht anregend sein. Aus dieser Einstellung zur Natur entstand der geologische Sperrenplan der Drossensperre, der hiemit den werten Lesern vorgelegt sei.

Der Felsklotz der Höhenburg (2108 m SH) am Stufenrand des Mooserbodens (1955 m SH) überragt dieses Hochtal um gut 150 Meter. Er steht in Talmitte vor der Abbruchkante des verlandeten ehemaligen natürlichen Seebeckens zur nächst tieferen Stufe, dem Wasserfallboden auf ca. 1600 m SH. In die beiden etwa gleich weiten Abflußfurchen des Mooserbodens links und rechts neben der Höhenburg wurden in den Jahren 1951 bis 1954 zwei etwa 100 m hohe Talsperren gebaut und dadurch ein See mit der Staukote 2036,00 m SH geschaffen. Beide Sperren stützen sich gegen die Höhenburg ab. Links schließt an sie die *Moosersperre*, eine Gewölbe-Gewichtsmauer an, rechts die *Drossensperre*, eine Gewölbemauer.

Den natürlichen Gegebenheiten würde es am besten entsprechen, wenn beide Sperren auf dem Mooserboden in einer einzigen Arbeit beschrieben würden. Dem steht leider entgegen, daß der Verfasser neben dem Beruf nicht die Zeit fand, die Teilaufnahmen aus der Moosersperre fertig zusammenzuzeichnen. An mehreren Stellen dieses Berichtes wird auch auf die Baugrundverhältnisse an der Moosersperre Bezug genommen. Die für einen späteren Zeitpunkt vorgesehene Veröffentlichung der geologischen Aufnahme der Moosersperre soll mit den Bohrergebnissen kombiniert werden.

Vor dem Beginn der Bauarbeiten war die Ursache für die Entwicklung zweier Abflußfurchen auf dem Mooserboden nicht so klar zu erkennen wie heute. Die Gesteine der Höhenburg — im wesentlichen Kalkglimmer-

schiefer, Prasinite, Kalkmarmor und etwas Dolomit — unterscheiden sich nach Art und Struktur nicht so wesentlich von denen der Flanken des Mooserbodenbeckens und auch nicht von jenen, die talwärts von den Furchen anstehen, daß damit die Höhenburg als Härtling befriedigend erklärt werden hätte können. Für den beliebten *deus ex machina* „Störungstreifen“ waren zunächst keine überzeugenden Anhaltspunkte vorhanden. Es fehlte um Baubeginn, wie sich der Verfasser noch erinnert, nicht an Stimmen, die allen Ernstes die Höhenburg als hereingeglittenen, nicht ortsständigen Fremdkörper deuten wollten. Solchen Auffassungen konnten allerdings die Geologen beim besten Willen nicht mehr folgen. Die (etwas zu locker gesetzten) Aufschlußbohrungen im Horizontalabstande von etwa 35 m, die längs beider geplanter Sperrenachsen über die unter den Lockermassen in den Abflußfurchen vermuteten Felsschwellen ausgeführt worden waren, machten das Bild nicht klarer. Sie bestätigten nämlich einerseits den Befund der Geländebeobachtungen, daß die Höhenburg kein Härtling ist und trafen andererseits auf keine Verwerfungen. Und doch sind einwandfrei zwei große, je mehrere Meter breite, in Richtung der Talachse verlaufende, mittelsteil bis steil nach Ost fallende Störungstreifen, der eine im unteren Ansatz der Ostflanke der Moosersperre, der andere auf mittlerer Höhe der Ostflanke der Drossensperre, die maßgebenden Vorzeichnungen für die beiden Abflußfurchen. Längt man beide Störungen im Querprofil unter Annahme eines mittleren Fallwinkels bis auf die Seehöhe des Höhenburggipfels aus, so kommt man jeweils etwa über die Achslinie der betreffenden Furche. Das Felsprofil der Abflußfurche, über die die Moosersperre gebaut ist, ist asymmetrisch mit steiler Ostflanke und flacherem, schichtparallelen Westhang. Die Asymmetrie der Felslinie war im Landschaftsbilde durch Moränen und Schutt stark gemildert. Im Drossen ist die Asymmetrie des Felsprofils dagegen nur durch eine kräftige Einkerbung an der Störung ausgedrückt. In beiden Abflußfurchen blieb übrigens die jeweils tiefste Einsattelung der Felsschwellen, über die die Entwässerung des Mooserbodens bis in geologisch jüngste Vergangenheit erfolgte, jeweils nahe der Talmitte, unberührt vom Auswandern der Störungstreifen gegen Osten mit fortschreitender Eintiefung. Das zeigten sehr hübsch die unter jüngsten Lockermassen begrabenen Klammern, die bei den Aushubarbeiten für beide Sperren zum Vorschein gekommen waren. Jene in der Moosersperre setzte auf Schwellenhöhe ca. 1940 bis 1942 m SH an, war unten 5 bis 6 m breit und reichte in einzelnen Strudeltöpfen bis zur Kote 1934,7 m hinab. Jene im Drossen war nur 50 bis 70 cm breit und um 6 m tief in die Schwelle eingesägt. Die vielschichtigen fluvio-glazialen und glazialen Lockermassen, die später die felsige Drossenfurche verlegten, sowie die Bachschotter, die in der westlichen Furche abgelagert wurden, schützten den Fels weitgehend vor Verwitterung. (Gründe der Sperrenstatik, nicht etwa tiefreichende Gesteinsverwitterung waren dafür maßgebend, daß der Sperrenaushub im Scheitelbereich der Drossensperre bis zu Kote ca. 1924 m SH hinabreicht.) Die Höhe der Felschwelle wurde im Drossen durch Bohrungen bei 1945,7 m SH festgestellt, also nur um wenig höher als jene in der westlichen Abflußfurche. Bei seinem Rückzug hat das Klockerinkees die Drossenfurche so stark mit

Moränen verlegt, wozu noch etwas Bergsturzmaterial kam, daß sich der rezente Abfluß ganz auf die westliche Furche einspielte. Zum Zwecke der Baugrubenentwässerung hatte man zu Beginn der Aushubarbeiten im Drossen noch vor Erreichen der Felsoberfläche eine Bohrung zu einem schon während des zweiten Weltkrieges von der Luftseite her vorgefahrenen, tiefgelegenen Unterfahrungsstollen hergestellt. Das Bohrloch war, wie sich später herausstellte, etwa 30 cm neben der Klamm vorbeigefahren und durchwegs im festen Fels geblieben. Man wunderte sich, als eine Parallelbohrung, einen halben Meter neben der ersten, bald nach dem Erreichen der Felsoberkante einige Meter durchfiel. Der rasch fortschreitende Aushub legte die Klamm bloß und enthob damit die Geologie der Notwendigkeit, erst eine passende Theorie finden zu müssen.

Die ersten detaillierten baugeologischen Vorarbeiten für die Talsperren auf dem Mooserboden wurden von Prof. Dipl.-Ing. Dr. J. STINI 1938/39 im Auftrage der damaligen Alpen-Elektrowerke geleistet. Das Gutachten stammt vom März 1940. STINI war dann über die gesamte Baudauer geologische Berater der Tauernkraftwerke AG, die 1947 die Nachfolge der AEW angetreten hatte. Besondere Umstände, von denen noch die Rede sein wird, gaben 1952, als der Rohaushub im Gange war, Anlaß zu detaillierten, technisch-geologischen Untersuchungen am linken Einbindungshang der Drossensperre. Die Tauernkraftwerke AG zog hierfür Herrn Dr. H. HÄUSLER heran. Dieser legte die Ergebnisse seiner Arbeiten in sehr ausführlichen baugeologischen Darstellungen „Geologische Karte 1 : 500 Drossensperre West, Blatt I—IV“ vom 14. 9. 1952 und in einem Gutachten „Die geologische Situation der Drossensperre West nach dem Entwurf D 8“ vom Feber 1953 nieder. Zum selben Gegenstande arbeitete das Ingenieurbüro für Geologie und Bauwesen Dr. Ing. L. MÜLLER, Salzburg, im Auftrage der Bauunternehmungen mehrere umfangreiche Gutachten aus. Diese Arbeiten STINI-HÄUSLER und MÜLLER waren dann die geologischen Grundlagen für die 1953 als notwendig erachtete, weitgehende Umplanung der Drossensperre. Die Fundamentaufnahmen des Verfassers beziehen sich auf die nach den neuen Plänen hergestellten Aushübe für die nunmehrige Sperrenvariante D 8, die wasserseitig vom seinerzeit begonnenen Aushub liegt. Die schriftlichen Ausarbeitungen der o. a. Untersuchungen von J. STINI, H. HÄUSLER und L. MÜLLER sind, soweit sie der Tauernkraftwerke AG bekanntgegeben wurden, auf dem Wege über die Wasserrechtliche Bauaufsicht auch dem Gefertigten bekannt geworden. Er hat daraus für seine eigene Arbeit manchen Nutzen gezogen, auch wenn im Nachstehenden nicht im Einzelnen darauf Bezug genommen ist. Für den beiliegenden Sperrenplan und für die beiden Stollenaufnahmen mit den zugehörigen Diagrammen hat er aber ausschließlich eigene Aufnahmen benützt. Mit Absicht wurde vermieden, den Plan irgendwo über den eigentlichen Sperrenaushub-Bereich hinaus zu erweitern. Der angewitterte, z. T. nur unvollständig abgeräumte Fels neben den eigentlichen Fundamentaushüben hätte sich nicht so gut gliedern lassen und es sollte vermieden werden, daß Bereiche mit zu verschiedenem Genauigkeitsgrad der Aufnahme gekoppelt würden.

Der Verfasser hatte Gelegenheit, den ganzen Bau ab 1948 als Organ der Wasserrechtlichen Bauaufsicht, zuerst als Mitarbeiter seines verstorbenen Lehrers und Freundes Hofrat Dr. Ing. H. ASCHER und nach dessen Tod in selbständiger Funktion mitzumachen. In etwa 50 Einzelhandlungen wurden die Teil-Fundamentflächen der Drossensperre für die Behörde abgenommen. Bei dieser Gelegenheit wurde jeweils eine petrographische Aufnahme des betreffenden betonierreifen, sauber gewaschenen Sperrfeldes hergestellt. Aus diesem lückenlosen Mosaik entstand dann der geologische Sperrrenplan, der nun durch das Entgegenkommen der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten einem weiteren Kreise zugänglich gemacht werden kann. Dieser Gesellschaft, besonders aber den Herren Dr. G. RIEHL-HERWIRSCH und G. LEITNER sei für alle Mühewaltung herzlich gedankt. Auch der Direktion der Tauernkraftwerke AG, Salzburg, sei für die Erlaubnis zur Veröffentlichung dieser Arbeit bestens gedankt.

Wer immer eine durch lange Zeit laufende geologische Kleinarbeit durchzuführen hatte, wobei die einzelnen Termine ohne Rücksicht auf Wetterlage oder Zeitbedrängnis eingehalten werden mußten, wird verstehen, daß nicht alle Teilflächen mit der gleichen wünschenswerten Sorgfalt aufgenommen werden konnten. Da aber Feldskizze und Ausarbeitung immer in einer Hand lagen, werden die Mängel, so hofft der Verfasser, auf ein Minimum beschränkt bleiben.*) Für den größten Teil der aufgenommenen Sperrfläche wird die Lage-Ungenauigkeit der Eintragungen ± 1 m nicht überschreiten. I. allg. wird sie eher bei $\pm 1/2$ m liegen.

Für die Fundamentaufnahme hielt sich der Verfasser an folgende Gesichtspunkte:

- a) reine Aufnahme des petrographischen Bestandes und der Strukturelemente. Keine Hervorhebung zufällig baugeologisch wichtiger Momente, etwa Überbetonung von Störungsbahnen deshalb, weil sie örtlich für die Sperrstatik besondere Bedeutung hatten;
- b) kein Versuch einer Zuordnung des angetroffenen Gesteinsbestandes zu tektonischen Einheiten.

Der Verfasser konnte beim besten Willen an bestimmten kritischen Stellen der Sperrenaushübe und im Druckstollen der Oberstufe, wo einwandfreie Gesteine der „Oberen Schieferhülle“ über solchen einer „Unteren Schieferhülle“ folgten, nichts finden, was irgendwie auf einen Transport des einen Verbandes über den anderen hingewiesen hätte. Damals galt die tektonisch gedeutete Gliederung in Schieferhüllen als unbestritten. Der Verfasser schrieb sein Unvermögen, die Deckengrenzen zu erkennen seiner zu eng auf Gesteinskunde eingestellten Denkweise zu. Inzwischen hat die ursprünglich tektonisch aufgefaßte Gliederung der

*) Nur in einem kleinen Felde in der luftseitigen Hälfte des Blockes 17 benützte der Verfasser eine von Herrn Dipl.-Ing. W. SVOBODA freundlich zur Verfügung gestellte Aufnahme. Aber auch diesen Fundamentbereich kennt der Verfasser aus eigener Anschauung.

Gesteine in den mittleren Hohen Tauern im Sinne von H. P. CORNELIUS und E. CLAR durch G. FRASL eine ganz natürliche und voraussichtlich bestandsfähige Umdeutung im stratigraphischen Sinne erfahren. Die neue Deutung kommt den Erfahrungen aus dem Baubereich des Mooserbodens weit entgegen.*)

c) Versuch, den Gesteinsbestand so weit zu untergliedern, als dies der Maßstab 1 : 200 erlaubte.**) Durch diese Gliederung glaubt der Verfasser, daß es ihm möglich war, die Befunde aus der CORNELIUS-CLAR-Karte 1 : 25.000 im Hinblick auf die Kalkglimmerschiefer und deren Beziehungen zu den Prasiniten um einen kleinen Schritt zu ergänzen.

In den zusammenhängenden, ganz frischen Aufschlüssen mit viel Kalkglimmerschiefer und Prasinit drängte sich förmlich die Erkenntnis auf, daß es zwischen Kalkglimmerschiefer und Prasinit stofflich und im Erscheinungsbild vermittelnde, mm-, cm- bis meterbreite Schichtglieder gibt, in denen dem Mineralbestande des Kalkglimmerschiefers ein höherer oder (meist) geringerer Prozentsatz an Grünschiefermineralien beigelegt ist. Wenn man erst einmal auf die Existenz solcher Mischglieder aufmerksam geworden ist, verraten sie sich sofort durch einen mehr oder minder ausgeprägten schmutzigrünen Stich in dem sonst reinen Grau. Granat- und Biotitgehalt bringen in solche Mischglieder bräunliche und rötliche Töne. Stofflichen Übergängen in Richtung zum Kalkglimmerschiefer begegnet man bisweilen auch im randlichen Meter von Prasinitkörpern. Allerdings fällt die leichte Grautönung solcher Bänder in dem sonst rein grünen und gelbgrünen Prasinit dem freien Auge nicht so auf, weil verstärkte Bildung von gelbgrünem Klinozoisit das Grau leicht übertönt. Epidositschlieren sind überhaupt in nicht-verschleiften Grenzzonen von Prasinitkörpern gegen Kalkglimmerschiefer häufig.

In dem recht wenig gestörten Schichtverbande der rechten Flanke der Moosersperre ließ sich die klare Zuordnung bestimmter schichtweise gleichbleibender Gehalte an Prasinitmaterialbeimengungen zu den einzelnen Bändern einer Kalkglimmerschieferfolge besonders gut erkennen. Solche grünstichig-graue Lagen wiederholten sich ebenso, wie die Lagen mit höherem Quarz- oder höherem Glimmergehalt. Der Verfasser glaubt aus dem Mineralbestand und aus der strengen Schichtenbindung der grünstichigen Lagen schließen zu können, daß es sich dabei

*) Diese Meinung des Verfassers über eine Frage der Zuordnung der Gesteine tut seiner rückhaltlosen Bewunderung der genauen Aufnahmearbeit H. P. CORNELIUS', der in der Glockner-Monographie von CORNELIUS-CLAR, 1934, u. a. den Mooserbodenbereich bearbeitet hatte, nicht den mindesten Abbruch. Gerade in dem komplizierten Höhenburg-Bereich hat CORNELIUS wohl alles untergebracht, was sich im Maßstab 1 : 25.000 eben noch darstellen ließ.

**) In der Zeichenerklärung zum beigegebenen geologischen Plan der Aufstandsfläche der Drossensperre sind etwas mehr Gesteinssignaturen enthalten, als für jenen Plan verwendet wurden. Die Zeichenerklärung soll nämlich für beide Sperren auf dem Mooserboden reichen.

um Produkte von Aschentuffeinstreuungen in den einstigen Kalkmergellagen handelt. In Aufschlüssen, die auch nur 5 oder 6 Jahre offen stehen, erkennt man diese Farbnuancen häufig nur mehr, wenn man darauf aufmerksam gemacht wird.

Schon CORNELIUS hatte die Absicht geäußert, die Kalkglimmerschiefer in seinem Aufnahmeanteil an der Glockner-Karte wenigstens in kalkreichere und kalkärmere zu gliedern. Er mußte aber, wie er selbst schreibt, diesen Versuch aufgeben, weil der Maßstab 1 : 25.000 dafür zu klein war. Der hier gewählte Maßstab 1 : 200 genügte, die Variationsbreite der schon mit freiem Auge klar unterscheidbaren Kalkglimmerschiefer und der Mischtypen wenigstens durch eine grobe Unterteilung zu erfassen. Auch bei den kalkfreien Glimmerschiefern, Gneisen oder Muskovit-Biotit-Chloritschiefern war es im Planmaßstab 1 : 200 nicht schwierig, die einzelnen Bänder zeichnerisch auseinander zu halten, wenngleich sich bisweilen Übertreibungen bei schmalen Bändern nicht vermeiden ließen. Die Gliederung von Natur aus nicht gestufter Übergangsreihen in ein paar Typen schloß eine gewisse Willkür in sich. Der Verfasser hat sich aber bemüht, durch die ganze Aufnahmearbeit dieselben subjektiven Zuordnungsprinzipien einzuhalten.

Kalkglimmerschiefer unterliegt je nach der Höhe seines Karbonatgehaltes stärkerer oder geringerer Auslaugung, die längs der Klüfte ansetzt.*) Beim Aushub für die Moosersperre und in einem zum Baubetrieb gehörenden Steinbruch auf der nahen Ebmatten Alm hatte man solche Mikro-Karsterscheinungen gut beobachten können. Sie reichten nachweislich 15 m tief unter die ehemalige Felsoberfläche. Zum Zeitpunkt der ersten Feststellung solcher Phänomene mußte man mit der Möglichkeit rechnen, daß sich der eine oder andere lange Karstschlauch an einer Steilkluft zu dem 350 m tiefer gelegenen, als Vorflut für den Mooserboden wirkenden Wasserfallboden entwickelt hatte und als unerwünschter Grundablaß wirksam werden könne. Die Stufe vom Mooserboden zum Wasserfallboden ist aber ersichtlich sehr jung, worauf auch schon STINI 1940 hingewiesen hatte. Mithin war die Gefahr nicht groß, daß sich in der geologisch kurzen Zeit, die für die Gesteinsauslaugung zur Verfügung stand, schon ein reifes System mehrhundertmeter langer Karstwasserwege entwickelt habe. Die Betriebserfahrungen bestätigten diese optimistische Erwartung. Im Bereich des Drossenaushubes war das Bild des Laugungsangriffes des Wassers auf den Kalkglimmerschiefer ganz anders als an der Moosersperre: nirgends griff die so auffallend scharf von der gesunden Umgebung abgesetzte Gesteinszersetzung nach Klüften auch nur 5 m tief unter die alte Felsoberfläche; ja, meist kaum 1 m. Aber auf einem älteren Verebnungsrest auf der Ostseite der Höhenburg kam beim Abtragen der

*) Es wird hierfür mit Absicht der Ausdruck „Lösung“ vermieden, um der Vorstellung vorzubeugen, daß dort, wo der Angriff erfolgt ist, nachher nichts mehr da ist. Nur der Kalkanteil wird nämlich zunächst wogelöst, während Quarz und Glimmer, solange sie nicht durch eine Strömung weggespült werden, als weiches, schwammiges, dunkelbraunes Gerüst mit unveränderter Struktur des Ausgangsgesteins an Ort und Stelle bleiben.

Moränendecke für den Sperrenaushub etwa im Höhenbereich zwischen 2000 und 2020 m SH (also wenig unter dem jetzigen Stauziel) ein ausgesprochenes Karrenfeld mit Schratzen um 1 bis 2 m Tiefe zum Vorschein. Die Entwicklung dieses Karrenfeldes muß ganz plötzlich gestoppt worden sein. Anscheinend entwickelte sich der geschilderte Laugungsangriff auf Kalkglimmerschiefer dort am stärksten, wo das Gestein eine Decke aus Moränenboden trägt. An den blanken Felsen im oberen Drittel der steilen rechten Flanke der Drossensperre waren z. B. überhaupt keine Karstphänomene zu sehen, obwohl dort zonenweise der Kalkglimmerschiefer fast ein Glimmermarmor war.

Bis 1949 waren die Gesteinsverhältnisse im Bereich der Drossensperre im wesentlichen nur in dem Umfang bekannt, der aus der Glocknerkarte von CORNELIUS-CLAR von 1934 und aus dem ebenfalls nur auf Feldaufnahmen und einer einzigen Bohrung aufbauenden Gutachten STINI hervorging. Bis Baubeginn 1951 kamen die Ergebnisse der schon erwähnten Bohrungen dazu, durch die vor allem die Lage der vermuteten Felsschwelle und der Abfall zur glazial übertieften Felswanne des Mooserbodens für die zweckmäßige Situierung des Sperrenscheidels genauer abgetastet wurde. Aus den Bereichen, in denen sich später beim Sperrenaushub die relativ schwierigsten Gesteinsverhältnisse herausstellten, war zur Zeit der ersten Festlegungen über die Sperrenform wenig Konkretes bekannt, weil gerade Zonen weicher Gesteine und Störungstreifen als Hohlformen im Felsrelief unter Lockermassen am leichtesten verborgen bleiben.

Im großen und ganzen gehören gut 85% der Gesteine, die im Laufe des fortschreitenden Aushubes in der Aufstandsfläche der Drossensperre zutage kamen, in die Kalkglimmerschiefer-Prasinit-Familie. Der Rest umfaßt eine Vielfalt glimmerschieferiger und gneisiger Typen, denen auch Dolomit und Dolomitschiefer als „Leitfossilien“ für die Untere Schieferhülle nicht fehlen. Während in der benachbarten Moosersperre im wesentlichen eine einfache geologische Gesteinsabfolge vorliegt, in der nur an einzelnen jungen Verwerfungen Serien gegeneinander versetzt sind, sind im Bereich der Drossensperre die von Haus aus komplizierteren Verbände, die zur Unteren Schieferhülle gerechnet werden, mit der Hauptmasse der Kalkglimmerschiefer und Prasinite stark verspießt.

Bemerkenswert ist die große Mannigfaltigkeit an Gesteinstypen im Sperrenplan und in den beiden Stollenbändern. Dabei wurde nur in Gesteinsarten gegliedert, die allein schon durch Farbe und Struktur bei der Betrachtung mit freiem Auge merkbar voneinander abweichen. (Aufgrund nur mehr mikroskopisch feststellbarer Unterschiede hätte man die Aufgliederung ins Uferlose steigern können.) Es war auch so schon z. B. für die Darstellung der Nordeinbindung des Blockes 1 notwendig, auf 14 lfm über 20 verschiedene Gesteinsbänder aufzunehmen, wobei sich allerdings einige Arten wiederholten. Angesichts solcher Mannigfaltigkeit empfand es der Verfasser bei der Durchsicht der Dünnschliffe doch erstaunlich, daß im Grunde eine recht geringe Zahl von Kalkglimmerschiefer- und Prasinitmineralien, allein als Produkte verschiedener Komponentenverhältnisse

und verschiedener Texturen so verschiedenartige Gesteine aufbauen. Daß diese Gesteine, besonders in Abhängigkeit vom Glimmergehalt, auch nach ihrem technischen Verhalten extrem verschieden sein können, liegt auf der Hand. Die Uniformierung des Mineralbestandes zu der Quarz-Albit-Epidot-Almandin-Subfazies der Grünschieferfazies*) ist hier wohl sehr weit gediehen. Quarz, Kalkspat und Muskovit sind die wesentlichen Bausteine in der Kalkglimmerschiefer-Gruppe. Grüne Hornblende, Klinozoisit, wenig Epidot, Albit oder dem Albit sehr nahestehender Plagioklas, Chlorit sind die Hauptkomponenten in der Prasinitverwandtschaft und spielen auch in den gneisigen Gesteinstypen eine wichtige Rolle. Dazu kommen fallweise mehr oder weniger Biotit, wenig Almandin, Titanit, in Verschleifungszonen auch feinstnadeliger bis grobstengeliger Strahlstein, ferner Pyrit, Magnetit und in einigen Fällen Dolomit und Talk. Manganminerale, wie Rhodochrosit, Rhodonit, Spessartin und Tephroit sind fast ausschließlich auf ein 20 cm starkes Band in einem breiten Prasinitkörper (Blockgrenze 3/5) beschränkt.

Eine leicht zugängliche Stelle, an der man die verschiedenen Spielarten des Kalkglimmerschiefers und der als aschentuffhältig angesprochenen Mischtypen gut studieren kann, ist der Verbindungsweg zwischen den beiden Sperrkronen. Dort findet man u. a. auch die Typen, die nach ihrem Feldspatgehalt (aber meist Ballenalbit!) rein äußerlich einem Gneise näher stehen als einem typischen Kalkglimmerschiefer. Am selben Verbindungsweg kann man, besonders um das Westportal des Höhenburgtunnels, auch die tückischen, grünen, schmierenden Muskovit-Chlorit-Aktinolithschiefer als krummschalige, mm- bis dm-breite Bänder sehen, die meist an verschleiften Grenzen von Kalkglimmerschiefer gegen Grünschiefer einschaltungen auftreten. Diese grünen Lagen werden besonders dann, wenn sie naß sind, zu gefährlichen Schmierschichten.

Ein solches schichtparallel in eine große, geschlossene Kalkglimmerschiefermasse eingeschaltetes Band aus einer ausgeschmierten Aschentufflage, das nur wenige Millimeter stark war, aber große Flächenausdehnung hatte, war die Ursache für ein schweres Bauunglück, das im Jahre 1952 sechs Tote gefordert hatte. Von jenem ganz unscheinbaren Bande, das als durchgehende Schichtkluft entwickelt, in mittelsteiler Pultlage zur Baugrube mit horizontaler Spur durch die steile, wasserseitige Aushubböschung verlief und das offensichtlich seine Konsistenz unter dem Einfluß föhnbedingter Schneeschmelze stark verändert hatte, glitt der hangende, 1500 m³ große Kalkglimmerschieferblock ab und richtete das Unheil an.

Was letzten Endes die Felsgleitung in Gang gebracht hatte, blieb unbekannt. War es ein kleiner, von niemand beachteter Erdstoß bei einem Abschlag in einem der Stollen? Genügten vielleicht die Vibrationen, die von einem Bohrhämmer in der Gegend herrührten oder auch nur Druckschwankungen durch Föhnstöße, um eine eben noch wirksame Ruhereibung zu überwinden? Noch wichtiger wäre für den Geologen eine Antwort auf

*) H. G. F. WINKLER, „Die Genese der metamorphen Gesteine“, Springer, 1965.

die Frage, ob man, wenn man die Stelle überhaupt als Gefahrenherd ergewöhnt und deshalb unter Beobachtung genommen hätte, nicht doch schon Tage oder wenigstens Stunden vor dem Ereignis durch das Einsetzen von Bewegungen gewarnt worden wäre. Die Vermutung ist berechtigt, daß es kaum Fälle geben wird, in denen ein Felssturz tatsächlich ohne jede Einleitungsphase zuschlägt. Wo immer solche dunkelgrüne bis silbrig-grüne, verschleifte Schieferbänder in den Baugruben auftraten, verursachten sie Mehrausbruch und Nacharbeiten.

Der erwähnte schwere Baunfall, der in der Öffentlichkeit verständlicherweise ein außerordentlich starkes Echo fand, gab den Anstoß, die Drossensperre in Anpassung an bis dahin schon beim Rohaushub erkennbar gewordene, gesteinsbedingte Schwierigkeiten radikal umzuplanen. (Sachlich hatten die Ursachen, die zu dem Unfall geführt hatten, mit dem Gegenstande der Umplanung nichts zu tun!) Ursprünglich war die Einbindung der Drossensperre ca. 30 lfm weiter talauswärts vorgesehen, als sie nach der Umplanung mit etwas veränderter Sperrenform ausgeführt wurde. Der Hauptgrund für den Wunsch nach Umgestaltung war das erst nach der großflächigen Hangabräumung zutage gekommene ungünstige Zusammentreffen einer ziemlich schleifenden Schnittlage zwischen Sperre und gewachsenem Fels im oberen Teil der linken Flanke mit örtlich ungünstigen Lagerungsverhältnissen. Der Fundamentstreifen der Sperre verlief nämlich dort oben fast parallel zum Ausstreichen der Gesteinschichten und die aus der statischen Berechnung ermittelten Resultierenden der Auflagerkräfte hätten nahezu genau längs der Schichtflächen bzw. Gesteinsgrenzflächen gewirkt. Dazu kam, daß knapp luftseitig von der Sperre ein seichter, durch eine leichte Störung bedingter Wasserriß nach der Fallinie des Hanges vorhanden war, der ein Umbürsten oder Ausknicken dieser „auf den Kopf“ gedrückten Schichtpakete begünstigen hätte können. Als Abhilfe war u. a. erwogen worden, die erwähnte seichte Felsrinne durch eine kräftige Betonplombe zu schließen. Der allgemeine Schock durch den Unfall gab dann, wie erwähnt, den Anstoß zu einer Umplanung und damit zu einer Lösung, die baueologisch einfacher zu beherrschen war als die seinerzeitige.

Aufmerksamen Betrachtern der Stollenbänder wird auffallen, daß diese „verkehrt“ gezeichnet sind. Entgegen der heute meist gewählten Darstellungsart ist für diese E—W ausgerichteten Stollen (Brust im W) das Band des N-Ulms nicht oben, sondern unten und der S-Ulm oben an das Firstband angeschlossen. Das hat folgenden Grund: schließt man entsprechend der jetzt meist geübten Darstellungsweise den N-Ulm unten an, so entspricht das Stollenband dem Anblick des Stollens im Grundriß mit in die Ebene der Firste hochgeklappten Ulmen. So würde man also den Stollen von außen sehen. Wer aber schaut einen Stollenulm oder eine Firste von außen an? Die hier verwendete, schon 1930 von H. ASCHER eingeführte Darstellung entspricht dagegen dem Anblick vom Stollen aus. Sie zeigt also z. B. den unteren Drittelstreifen (in unserem Falle den N-Ulm) so, wie ihn der Beschauer tatsächlich sieht, zeichnet oder fotografiert. Eine Kluft, deren Spur im Anblick am N-Ulm von links unten

nach rechts oben verläuft, liegt auf dem Stollenbande ebenso. Die Firste ist in logischer Folge über dem N-Ulm hochgeklappt gezeichnet und der S-Ulm „hängt“ um weitere 90° im selben Sinne hochgeklappt über der Firste. Will man den S-Ulm so anschauen, wie ihn der Beschauer im Stollen sieht, so muß man — wie sich ja auch der Betrachter im Stollen vom N-Ulm zum S-Ulm umdreht — das Zeichenblatt umkehren, damit der S-Ulm nun das untere Drittelband ist. Die andere, heute meistens geübte Darstellung kann dagegen die Schnittpuren von Ebenen nicht anschauungsrichtig wiedergeben, wie man sich leicht an einer Skizze klarmachen kann.

Als Diagramm gesehen, ist die eine Darstellungsweise ebenso richtig, wie die andere. Als bildliche Darstellung dürfte aber die von ASCHER übernommene Auftragungsweise zweckmäßiger sein, weil man sich das Umdenken erspart. Es ist schwer zu verstehen, daß dieser Vorteil so wenig auffiel. Vielleicht hängt dies damit zusammen, daß kaum jemand ein Stollenband nachher wieder mit der Natur vergleichen muß. Als „gegenstandsloses Kunstwerk“ betrachtet ist aber das eine Bildchen so schön wie das andere.

Es gibt übrigens im Arbeitsbereich der Geologen noch andere Beispiele für die Nebeneinanderverwendung verschiedener Darstellungsweisen von gleichem Aussagewert. So ist es z. B. nur Gewohnheitssache, ob man die Lage einer Ebene durch Streichrichtung, Fallwinkel und Richtungssinn des Falles mit N 40° W 66° SW, bzw. kürzer mit 320/66 SW angibt, oder ob Azimut und Neigung des Fallpfeiles geschrieben werden, also für unser Beispiel 230/66. Wer sich einmal auf letztere Schreibart eingestellt hat, die international weit verbreitet ist, macht sich beim Lesen der Zahlengruppe sofort eine klare räumliche Vorstellung von der Lage der betreffenden Kluft. Die von E. CLAR vorgeschlagene Schreibung des Azimuts als Dreiergruppe von Ziffern, etwa 008/ , 023/ , 312/ , hat sich gut bewährt, um Verwechslungen mit Schreibweisen zu vermeiden, bei denen der Fallwinkel vor dem Schrägstrich steht. Genauso nebensächlich ist es im Prinzip, ob man bei Körnungsbändern die feinen Körnungen links, die groben rechts oder ob man umgekehrt aufträgt. Die Bodenmechaniker haben zu ihrem Vorteil hierfür schon eine Normung gefunden.

Die beigegebenen Kluftdiagramme sind als Punktwolken-Darstellungen gehalten. Der Verfasser glaubt nämlich, daß statistische Auszählung nur dann sinnvoll ist, wenn Gleiches zu Gleichem gezählt wird; daß es aber zweckwidrig, ja irreführend ist, einem hübschen Bilde zuliebe, Klüfte ganz verschiedener Größe, Ausbildung und Herkunft, womöglich auch Aufspaltungen nach der Schieferung und nach der Schichtung als je eine Zählereinheit einzusetzen. Der Respekt vor der Stückzahl darf eben in der Geologie nicht zu weit gehen. Dazu kommt, daß eine Prozentauszählung immer irgendwie suggeriert, daß in dem untersuchten Bereich tatsächlich alle vorhandenen Elemente der betreffenden Art \pm vollständig erfaßt sind. Wo ist dies aber schon bei Kluftmessungen der Fall?

Die 5 Kluft- und Schieferungsdiagramme zur Sperrenaufstandsfläche wurden so aufgeteilt, daß jedes einen Abschnitt mit ge-

meinsamen geologischen Zügen erfaßt. Es wurde z. B. die Gruppe der Baublöcke 2-0-1 um den Scheitelbereich, in der ein ausgeprägter Laminarbau von Rollungsstrukturen überlagert ist, für sich behandelt, ebenso die Blockgruppe 3-5-7-...17, in der ein einheitlicher Prasinit-Kalkglimmerschieferverband mit Blockcharakter vorliegt. Die Resultierenden der Auflagerkräfte wurden in die 5 Sperrendiagramme nicht eingetragen. Der Vergleich dieser 5 Diagramme zeigt u. a., daß die jeweils ausgeprägteste Klufthäufung, der die Aufspaltungen nach der Schieferung und der Schichtung angehören, von Feld zu Feld etwas verschieden liegt. (Schieferung und primäre Schichtung konnte man u. a. im Kalkglimmerschiefer der rechten Randblöcke gut auseinanderhalten.) Im Mittelbereich der Sperre und in den unteren Blöcken des E-Hanges fallen die Flächen jenes Maximums steil gegen E ein, während sie in der ganzen NW-Einbindung und im oberen Teil des E-Hanges mittelsteil nach ENE fallen. Recht deutlich kommt auch ein Gürtel von Klüften am E-Hang heraus, die tautozonal um eine flach W- bis WNW-fallende Achse liegen.

An den beiden Mooserboden-Sperren war übrigens eine Feststellung zu machen, die sich vorher schon bei systematischen Kluftrmessungen am Fundament der Limbergssperre ergeben hatte: die Zerscherung des Felsmassivs nach 2 Hauptrichtungen. Die eine versetzt jeweils den NE-Flügel oder E-Flügel unter mittleren Fallwinkeln nach SE hinunter, die andere versetzt den NW-Flügel flach (relativ) nach NE hinauf.

Die beiden größeren Störungen, die das Fundament der Drossensperre durchschneiden, sind ihrer Art nach verschieden. Die Verwerfung am Höhenburghang, die in den Blöcken 14 bis 18a den oberen Bereich der Aufstandsfläche spitzwinkelig zur Sperrereinbindung quert, liegt ungefähr parallel zur örtlichen Schieferung und Schichtung. Sie fällt unter mittleren bis steilen Winkeln nach ENE. Ihr E-Flügel ist relativ nach SE abgesenkt worden. Der schwarze Kernstreifen dieser Störung ist im Mittel knapp $\frac{1}{2}$ m breit. Selbst ihr weiterer Einflußbereich reicht nur 1 bis $1\frac{1}{2}$ m beiderseits über die Zone intensiver Zerscherung hinaus. Diese Verwerfung verläuft wohl in der Nähe der Grenze zwischen Kalkglimmerschiefer und einer mehrere Meter breiten Glimmerschiefer-Gneiseinschuppung, liegt aber noch ganz innerhalb des Kalkglimmerschiefers. Die Störung ist bei weitem keine \pm wohldefinierte Einzelfläche, die man mit einigem guten Willen bei der Modellvorstellung von Scherflächen aus Materialbrüchen unterbringen könnte, sondern ein dm- bis halbmeterbreites, flach wellig verlaufendes Gesteinsband, in dem intensivste Differentialbewegungen den Kalkglimmerschiefer zu einem feinlamellierten Paket flachlinsig- oder schalig ausgequetschter Einzelblätter umgestaltet haben. Blatt ist von Blatt durch eine schwarze Haut aus pigmentdurchstäubtem Glimmer getrennt. Wo immer man beim Sperrenaushub in dieser Intensivzone der Verwerfung mit dem Abbauhammer ansetzte, um längs ihr eine vorgesehene Stufe von $\frac{1}{2}$ bis 1 m Höhe herauszuarbeiten, erfolgte die Spaltung nach einer rabenschwarzen, spiegelnden Harnischfläche. Genügte z. B. eine derart hergestellte Spaltfläche aus irgendwelchen technischen Gründen nicht, so konnte gleich wenige cm weiter die nächste

Spiegelfläche freigespalten werden. Alle Gesteinsscherben, die bei solchen Arbeiten entstanden, waren schwarz oder schwarzgrau, einerlei ob kleinste fingernagelgroße Spaltungsschuppen oder 20-kg-schwere Brocken anfielen. Die dunkle Farbe der freigelegten Spaltflächen in Quetschstreifen des Kalkglimmerschiefers ist eine allgemeine Erscheinung. Trotzdem sind diese nach schwarzen Scherben brechenden „Graphitphyllonite“*) kaum reicher an färbender Substanz als der gewöhnliche, hellgraue Kalkglimmerschiefer. Am Querbruch des Quetschgesteins, noch klarer am Dünnschliff nach dem Querbruch sieht man, daß nur in den Phylloniten der Muskovit, der das Pigment trägt, so scharf zu zusammenhängenden Lagen geordnet ist. Wie immer man so ein schwarzes Quetschgestein spaltet, erhält man die schwarzen, spiegelnden Trennflächen. Die Lamellen zwischen den Trennflächen sind fast glimmerfrei und weiß.

In den Störungstreifen im Kalkglimmerschiefer trägt gewöhnlich Lamelle auf Lamelle Harnischfahnen. Diese sind aber von Blatt zu Blatt ganz verschieden groß. Während etwa auf der einen Spaltungsfläche alle Fahnen um 1 cm lang sind, können die auf der nächsten Schuppenfläche, die nur ein paar Millimeter unter der ersten liegt, 3 bis 4 cm lang sein usw. Zwar zeigen die Fahnen aller Lamellen eines Verwerfungstreifens im großen und ganzen denselben Richtungssinn der Relativbewegung an. Bei genauerem Zusehen wird man aber nicht selten feststellen, daß von Lamelle zu Lamelle die Neigungswinkel der Striemen um einige Grade, ja manchmal bis zu 20° divergieren. Diese Beobachtung, die übrigens besonders gut an einer großen Störung in der Moosersperre zu beobachten war, wird man als Hinweis dafür ansehen können, daß eine einmal eingefahrene Bewegungsbahn im Gebirgskörper häufig wieder, das eine Mal so, das andere Mal mit etwas anderer Schubrichtung betätigt wurde.**)

Welche Gewähr haben wir, daß sich nicht auch in Zukunft noch einmal an so einer Bahn eine kleine Verschiebung ereignen kann, selbst wenn der Geologe Anzeichen dafür zu erkennen glaubt, daß sich an einer gegebenen Verwerfung schon seit langem nichts mehr bewegt hat? Die beschriebene Störung vom linken Hang der Drossensperre war im Vergleich zu der an der Sperren-Ostflanke schmal, aber sie verursachte wegen ihrer besonderen Lage zum Bauwerk mindestens ebenso große Arbeitsschwierigkeiten, wie die andere. Der kritische Bereich war dabei der, wo sie im Block 14 von unten her spitzwinkelig zur Einbindungslinie aus der Luftseite in das Fundament hineinstreicht. Denn bei einer Gewölbesperre ist die Güte der Flankeneinbindungen, und da vor allem wieder die Felsbeschaffenheit im unmittelbaren luftseitigen Vorland, für die Standicherheit des ganzen Bauwerkes von Bedeutung. Es erforderte erhebliche

*) Es müßte erst nachgewiesen werden, daß die färbende Substanz tatsächlich Graphit ist. Röntgenographische Prüfungen an ähnlichen Gesteinen vom Durlaßboden durch DRONG haben ergeben, daß dort eher feinstverteilter Pyrit dafür in Frage kommt. (Freundl. Mitteilung Dr. K. MIGNON).

***) Natürlich können, zumindest in späteren Stadien der Entwicklung einer Verwerfung, bei einem einzelnen Akt des Spannungsausgleiches auch mehrere vorhandene Bahnen gleichzeitig benützt worden sein.

zusätzliche Aufwendungen, die Ungunst der Natur in diesem Falle auszugleichen.

Die große Verwerfung auf halber Höhe der Wiesbachhorn-Flanke (E-Flanke) der Drossensperre ist in einer 4 bis 5 m breiten, dem Kalkglimmerschiefer schichtparallel eingeschalteten Prasinitzone angelegt worden. Vom Block 5 im unteren Teil der E-Flanke bis zu dieser Störung und über dieser bis hoch über die Sperrenkrone hinauf weist der E-Hang einen ganz einfachen Aufbau aus gebanktem Kalkglimmerschiefer auf. An jener mittelsteil nach NE, also „in den Berg“ fallenden Störung ist der Hangendflügel ungefähr nach der Fallinie der Verwerfungsfläche nach SW aufgeschoben worden. Wir haben einen Prasinitkörper vor uns, der von einem regellos scheinenden räumlichen Netz sich spitzwinkelig schneidender Bahnen intensiver Zergleitung mit extrem chloritreichem, z. T. auch Talk und groben Strahlstein führenden Gesteinsinhalt durchzogen ist. Nur mehr linsenförmige Restkörper von Meterdimensionen bestehen als geschonte Bezirke noch aus unverändertem Prasinit. Bemerkenswert war dabei eine Prasinitrolle mit etwa 1 m Durchmesser, die wie eine Walze eines Wälzlagers mit horizontaler Achse in der weichen, chloritreichen Nachbarschaft steckte. Der Kalkglimmerschiefer im Hangenden über dem Störungstreifen sah zwar aus, wie wenn ihn die Störung nicht beeinflusst hätte. An einer günstigen Kluftnische, an der man in Richtung der Verformungsachse (B-Achse) in das Gefüge des Kalkglimmerschiefers $\frac{1}{2}$ m über der Prasinitgrenze blicken konnte, sah man aber, daß auch dieser im Nahbereich Verknüpfungen mit 1 bis 2 dm Radius erfahren hatte.

Beim Fundamentaushub mußte die Osthangstörung, an der die Felsoberkante schon durch glaziale Aushobelung über 10 m tief ausgekehlt war, noch einige Meter zusätzlich ausgekoffert werden. Damit wurde eine sehr große Betonplombe notwendig. Eine schmale, zur Felswand ansteigende Berme im Beton der luftseitigen Sperrenfläche zeigt jetzt noch die Grenze zwischen der tiefgegründeten Plombe und dem eigentlichen Sperrenkörper. Wesentliche Probleme der Standsicherheit brachte die Osthangstörung nicht mit sich. Die an die Plombe luftseitig ansetzende Stützmauer war notwendig, um die übersteilte, ja z. T. überhängende, vom Gletschereis abgeschliffene Kalkglimmerschieferflanke der Erosionskerbe zu unterfangen.

Nebenbei sei bemerkt, daß die große Störung am Fuße der E-Einbindung der Moosersperre eine N—S streichende, steil E fallende Blattverschiebung ist. An ihr ist der W-Flügel (relativ) nach N abgesoben worden. Diese Störung hat also genetisch mit den beiden aus der Drossensperre beschriebenen nichts zu tun.

Das Durchstreichen einer breiten Verwerfung durch die E-Einbindung der Drossensperre war zunächst nur zu vermuten. Etwa auf 1890 m SH verlief im Schrofengelände des rechten Drossenhanges, schräg in Richtung talauswärts absteigend, eine recht wenig ausgeprägte, 30 oder 40 m weit gespannte Wiesenmulde. Eingedenk früherer Erfahrungen mit solchen harmlos aussehenden Wiesenstreifen durch Schrofen- oder Felsgelände

kam man kurz nach Beginn der Aushubarbeiten überein, die Mulde dort, wo sie den künftigen Aushub querte, doch lieber mit 3 Bohrungen abzutasten. Diese führen 11 m bis 16 m tief durch feinstoffreiche, blockführende Moräne, ehe sie in einen offensichtlich sehr stark durchbewegten, mürben, chloritischen Grünschiefer gelangten. Damit war erwiesen, daß diese Wiese eine tiefere Hohlform in der Felsoberfläche verdeckte, die in weichen prasinitischen Quetschgesteinen entstanden war. Der zügigen Aushubarbeit und der überlegten Planung für die Plombe kam die rechtzeitige Erkennung der Störung sehr zustatten.

Reizvoll, wenn auch mit vielen Wenn und Aber behaftet*) ist es, darüber nachzudenken, wie sich die rasche Entwicklung der Erkenntnisse über den Fels als Baugrund und der technischen Möglichkeiten auf die Projektverfassung, die Baudurchführung und auf den Einsatz der Meßtechnik auswirken könnten, wenn die drei großen Kapruner Sperren erst heute gebaut würden. Angenommen sei dabei, man würde auch in einem heute erstellten Konzept dieselben Sperrtypen wie damals wählen, also im Drossen wieder eine Mauer u. zw. eine Gewölbesperre. Welchen Einfluß nähmen z. B. die Erkenntnisse der damals, 1951/52, gerade erst unter L. MÜLLERs Ägide aufkeimenden neuen Betrachtungsweise, der Felsmechanik, auf die Behandlung bestimmter Probleme an der Drossensperre. MÜLLERs Wirken bestand natürlich zunächst auch nur in der Aufzeigung der ungelösten Probleme, im Niederreißen falscher Sicherheitsvorstellungen, in der Aufstellung eines Programmes dessen, was mit zukünftigen, noch gar nicht entwickelten Meßgeräten gemessen werden sollte, um die hoffnungslos scheinende Diskrepanz zwischen dem Wissen um den Fels und den fortgeschrittenen Kenntnissen um die Eigenschaften des Bauwerkes mildern und schließlich überbrücken zu können. Für verwertbare Lösungen konnte damals die junge Felsmechanik auch erst bescheidene Ansätze andeuten. (Man hatte in Kaprun — und das sei ausdrücklich festgehalten — alles nach damaligem internationalen Stande der Auffassungen und der verfügbaren Meßtechnik Mögliche für die Überwachung der Sperren investiert. Daß davon Manches heute schon wieder überholt ist, ist selbstverständlich.) Man ging also beim Bau der Kapruner Sperren den damals einzig vertretbaren Weg: da verlässliche und theoretisch befriedigende Methoden zur Bestimmung der Eigenschaften des Felses in situ nur in unzureichendem Maße zur Verfügung standen, traute man dem Fels, besonders in kritischen Bereichen, möglichst wenig zu und nahm lieber auf sich, da oder dort der Sicherheit zuliebe stärker zu bemessen, als vielleicht nach dem Gefühl nötig wäre. So kam man zu Bauwerken, die hinsichtlich Standsicherheit auch nach heutiger, schon besserer Einsicht voll entsprechen. In Zahlen erfaßbare Anhaltspunkte dafür, wie weit man nun tatsächlich durch die vielfach auf subjektiver Felsbewertung aufgebauten Maßnahmen von Grenzzuständen des beanspruch-

*) Deshalb, weil es zu solchen Fragen keine genormte Meinung gibt. Die im Nachstehenden geäußerten Vorstellungen des Verfassers können weder Allgemeingültigkeit beanspruchen, noch sollen sie irgend jemand aufgedrängt werden.

ten Felskörpers weg war, standen damals dem Talsperrenbau kaum zur Verfügung; wenigstens nicht für die Projektierung, für die die Kenntnis solcher Grenzwerte am wertvollsten gewesen wäre. Für das Betonbauwerk selbst konnte man mehr oder minder genau einen Sicherheitsgrad — so oder so definiert — errechnen. Jede solche Rechnung mußte aber stillschweigend einräumen, daß jene wesentlichen Prämissen, die mit den Eigenschaften des tragenden Felskörpers zusammenhängen, im wesentlichen auf Annahmen auf Erfahrungsbasis beruhten. Erfahrungen lassen aber nur interpolieren und auch das nur, wenn Fälle wirklich vergleichbar sind. Die notwendige Extrapolation beim Weiterschreiten zu immer größeren Bauwerken mit immer höheren rechnerischen Felsbelastungen war von der Erfahrung her nicht gedeckt.

Vom Geologen Zahlenangaben über die „zulässige Belastung“ eines Sperrenaufstandsfelses zu verlangen, wie dies damals allgemein üblich war, mußte sogar bisweilen einen so erfahrenen, mit hervorragendem Fingerspitzengefühl begabten Mann, wie Prof. J. STINI überfordern. Ganz abgesehen davon, daß die von der Bauwerksgründung auf Lockerböden abgeleitete Frage nach einer „zulässigen Belastung“ für Fels, weil viel zu komplex, nach den inzwischen gereiften Auffassungen leicht ins Leere ging. Wie sollte man z. B. eine Schätzung, daß der Fels eines bestimmten Bereiches einer Sperre bis zu 8 kg/cm^2 belastet werden dürfe, auslegen, wenn zum Zeitpunkt, als diese Angabe gemacht wurde, über Details der Einbindungstiefe, der Gestalt des luftseitigen Felsvorlandes u. dgl. noch nichts bekannt war? STINI konnte seine Zahlenangaben auf einen großen persönlichen Erfahrungsschatz stützen, so daß für die Beratenen die Gewähr bestand, daß man bei Einhaltung der von ihm angegebenen Grenzwerte auf der sicheren Seite war. Er selbst wußte aber am besten, daß Autorität kein wahrer Ersatz für objektive, wirklichkeitsnah ermittelte Meßergebnisse sein kann. Nicht ohne Grund war er bis an sein Lebensende einer der eifrigsten Wegbereiter für Ideen seines Schülers L. MÜLLER.

Besser als die Voraussagen über das zu erwartende Verhalten eines Gründungsfelses befriedigten schon damals die Feststellungen, die aus dem gemessenen Verhalten des Bauwerkes beim Einstau und beim späteren Staubetrieb für den Fels abgeleitet werden konnten. Wesentliche Hinweise gaben (und geben noch laufend) die Pendelmessungen, Klinometerbeobachtungen, die andauernde Überwachung des — sehr bescheidenen— Wasserzudranges zu den dem Fels aufliegenden Kontrollgängen der Kapruner Sperren und die geodätischen Messungen.

Wie groß auf dem Gebiete der direkten und indirekten Überwachung des Felsverhaltens der in den letzten eineinhalb Jahrzehnten erzielte internationale Fortschritt in den Anschauungen und in der Instrumententechnik war, zeigt der Vergleich zwischen der Ausstattung der Kapruner Mauern mit der 1967 fertiggestellten Sperre Kops in Vorarlberg. Der Einsatz der neuen, tief in den Fels reichenden Schwimmpendel, von Extensometern bzw. Telerocmetern, von verlässlichen Druckdosen zur unmittelbaren Spannungsmessung, die systematische Überwachung des luftseitigen

Felsvorlandes durch Piezometergruppen u. a. m. erlaubten in Kops schon von Beginn des ersten Zwischenstaues an rasch verfügbare, eingehende Einblicke in die Reaktionen des Aufstandsfelses. Natürlich kämen den Kapruner Sperren, würden sie heute gebaut, dieselben Fortschritte zugute. Auch der in Kops erreichte Stand ist kein Ende, sondern nur eine Durchgangsstation der Entwicklung. Ein wichtiges Ziel für die Zukunft wird sein, für den Felsbaugrund das zu erreichen, was der Bodenmechanik bis zu einem gewissen Grad heute möglich ist: schon für den Entwurf verlässliche Unterlagen über das zu erwartende Verhalten des Gründungsgesteins unter schweren Bauwerken, auch solchen in ausgesetzter Lage, in die Hand zu bekommen. Je besser vergleichbar ein Fels durch engscharige und nach allen Richtungen des Raumes annähernd gleich intensive Klüftung einem Lockergestein wird, umso besser lassen sich Versuchsmethoden, die sich an die in der Bodenmechanik üblichen anlehnen, im Fels interpretieren.*) Eine Flut von Kongreßberichten aus den letzten Jahren über in-situ-Versuche zur Bestimmung der Druckfestigkeit und der Scherfestigkeit an Fels kann bis jetzt noch nicht darüber hinweghelfen, daß mittlere Kluftabstände um 15 bis 20 cm für die Erzielung reproduzierbarer Versuchsergebnisse schon Probekörper mit Seitenlängen von mehreren Metern verlangen. Für Hartgesteine steht auch noch keine angemessene Schneidetechnik für Schnittiefen von Metern zur Verfügung, die wirtschaftlich tragbar wäre. Auf diesem Gebiet ist noch viel Entwicklungsarbeit offen.

Erst dann aber, wenn beim Entwurf schon verlässliche Daten über das zu erwartende Felsverhalten bereitstehen, können Sicherheit und wirtschaftliche Entwurfsgestaltung bei Betonsperren, besonders aber bei Gewölbesperren auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden.

Weitere Fragen, die zu dem angeschnittenen Kapitel, wie man wohl heute den Felsverhältnissen an den Kapruner Sperren im Entwurf, in der Baudurchführung und Überwachung des Sperrenverhaltens begegnen würde, gehören, betreffen z. B. folgende Punkte:

Für die statische Berechnung der Drossensperre hatte man für den Fels je ein oberes und ein unteres Grenzverhältnis für $E_{\text{Fels}} : E_{\text{Beton}}$ gewählt und die Berechnung für beide Werte durchgeführt. Die Wahl dieser Verhältniswerte stützte sich über Empfehlung einer Autorität höchsten Ranges auf Zahlen, die in Versuchen an der ganz auf Kalkglimmerschiefer gegründeten Limbergssperre ermittelt worden waren. Eineinhalb Jahrzehnte praktischer Betriebserfahrung an der Drossensperre haben gezeigt, daß die damals getroffenen Annahmen entsprochen haben. (In den Jahren seither ist übrigens die theoretisch und praktisch gestützte Erkenntnis gereift, daß innerhalb eines ziemlich breiten Variationsbandes die Statik einer Gewölbesperre von jenem Verhältniswert wenig verschieden beeinflusst wird.) Heute würde man mit inzwischen weiter

*) Mit diesen Fragen hat sich u. a. auch E. CLAR in „Über den geologischen Gegensatz von Gestein und Fels“, Mitt. Inst. Grundbau und Bodenmechanik TH Wien, 1965, H. 6, S. 441 ff, eingehend befaßt.

entwickelten Methoden zur E-Modulbestimmung in situ ohne Zweifel den unteren Grenzwert des Verhältnisses mit Blickpunkt auf die gesteinsmäßig kritischeren Bereiche im Scheitel und im oberen Teil der linken Flankeneinbindung der Drossensperre experimentell bestimmen. Könnte man mit Vorspannankern durch Verdübelung der „auf den Kopf“ gedrückten Gesteinspakete die Schwierigkeiten, die die schleifende Einlenkung des linken Sperrenflügels im Drossen anfangs mit sich brachte, heute so weit ausschalten, daß man bei jener zuerst begonnenen und 1953 verlassenen Variante bleiben dürfte, ohne damit ein Risiko einzugehen?*)

Würde man heute die Felsabdichtungsarbeiten an den 3 Kapruner Sperren noch nach prinzipiell ähnlichen Gesichtspunkten planen, überprüfen und die Überprüfungsergebnisse bewerten, wie 1950/54? Wie würden die neueren Auffassungen von TERZAGHI, CASAGRANDE, MÜLLER, LONDE und anderer Forscher über das Zusammenwirken von Dichtungsschirm und luftseitig davon angeordneten Drainagen verwertet? Hat das Bestreben, beim Bau der Sperren von Kaprun durch fortgesetzte und immer noch weiter getriebene Verstärkung des Dichtungsschirmes der Lugeon-Norm unter allen Umständen und an jeder Stelle zu entsprechen, den großen Aufwand an Arbeit und Material hierfür auch tatsächlich gerechtfertigt? Aber, hätten wir, wenn die Sperren heute gebaut würden, befriedigende bessere Normen zur Überprüfung des Schirmes vor Einleitung des Staus? Ohne Normen geht es leider schwer, besonders dort, wo die theoretischen Einsichten noch unzureichend sind und man daher im Einzelfalle nicht im voraus abschätzen kann, welche Folgen die Duldung einer Unterschreitung nach sich zieht.

Wie würde man nach dem derzeitigen Stande den Gründungsfels mit Meßgeräten ausstatten, um z. B. die günstige Gelegenheit auszunützen, in annähernd gleich beanspruchten Fundamentabschnitten von je $20 \times 60 \text{ m}^2$ die Reaktion eines geschlossenen, \pm massigen Prasinit-Kalkglimmerschieferkörpers, auf dem die Baublöcke 5, 7 und 9 stehen, mit jenen des englagigen, steilstehenden Schuppenverbandes unter den Blöcken 2, 4 und 6 zu vergleichen?

Würde man versuchen, mit Hilfe der inzwischen weiter entwickelten Geräte zur Spannungsmessung an der Osthangverwerfung (und im selben Sinne natürlich an der großen Verwerfung im Aufstandsfels der Moosersperre) nun außer Verschiebungen auch Spannungen zu messen?

Fragen über Fragen, die bestimmt nicht gestellt sind, um die seinerzeitigen Leistungen irgendwie zu schmälern, sondern um zum Nachdenken anzuregen und auf neuen Erkenntnisgrundlagen Nutzenanwendungen aus Erfahrungen für zukünftige Fälle vorzubereiten.

Sicher ebenso reizvoll, aber noch um einen Grad heikler wären die Fragen an den Geologen, was er dann, wenn die Kapruner Sperren heute

*) In dieser Frage liegt die noch unbelegte Annahme, daß die heute zur Verfügung stehenden Vorspannanker unbeeinflußt von Korrosion, Felskriechen usw. auch noch in 20 oder 30 Jahren den ihnen zugemuteten Dienst tun werden.

noch einmal gebaut würden, aufgrund seiner Erfahrungen aus der Bauzeit nun anders machen möchte. Man ist eben immer, nicht nur in der Geologie, nachher klüger als vorher. Es seien hier nur zwei Punkte herausgegriffen:

Die Zahl der Aufschlußbohrungen, auf die man sich zu Baubeginn stützen konnte, war zu gering. Es sei nur daran erinnert, daß, wie schon erwähnt, weder an der Moosersperre noch an der Drossensperre die breiten, schrägliegenden Störungstreifen, die den Bauablauf dann recht wesentlich beeinflussten, von den Routinebohrungen, die für den Sperrenentwurf zur Verfügung standen, erfaßt worden waren.*) Die 3 nachträglichen Erkundungsbohrungen am Drossen-Osthang waren erst die Frucht böser Erfahrungen aus zwei anderen Fällen. Der Erkenntnis, daß man nie genug Aufschlüsse haben kann, um vor späteren Überraschungen gefeit zu sein, steht leider die jedem Praktiker bekannte Tatsache im Wege, daß das Budget für Erkundungsarbeiten klein ist und daß dann, wenn mit der Fassung des Baubeschlusses Geldmittel frei werden, meist keine Zeit mehr für bedachtsame Erkundungsarbeiten ist. Ausnahmen bestätigen nur die Regel.

Das schwere Felssturzungsglück aus der Drossenbaugrube hat allen erst die Gefährlichkeit der oft hauchdünnen, von Haus aus durchaus nicht verlehnten, schichtparallelen Einschaltungen im Kalkglimmerschiefer vor Auge geführt. Die seither entwickelte Technik der Sicherung steiler, rutschverdächtiger Felsböschungen mit leicht vorgespannten Hilfsankern, die nur über Baudauer verläßlich wirken müssen, wird nun sehr häufig schon als Vorsichtsmaßnahme angewandt. Sie ließe wahrscheinlich in einem ähnlich gelagerten Falle die Gefahr gar nicht bis zum kritischen Punkt gedeihen. Aber welche zwei Fälle sind dort, wo es um Felskörper geht, wirklich so ähnlich, daß die Erkenntnisse aus dem einen das Abhilfe-rezept für den anderen liefern? Bei einem Projekt für eine große Sperre, das wenige Jahre nach dem Drossenunglück zur Debatte stand, waren allerdings die petrographischen und topographischen Parallelen zum Falle Drossen tatsächlich so klar gegeben, daß eine bestimmte Variante für jenes Projekt deshalb ausgeschieden wurde.

Im Vorstehenden wurde der Versuch unternommen, aus dem in jahrelanger Kleinarbeit zusammengetragenen Mosaik nicht nur einen geologischen Sperrenplan zu zeichnen, sondern auch einige damals gewonnene Erkenntnisse von etwas allgemeinerer Gültigkeit zum Nutzen jener weiterzugeben, die sich später mit dem Gründungsfels von Talsperren oder von anderen großen Bauwerken zu befassen haben werden.

*) Die 1940 eingesetzte Geoelektrik hatte nur die Aufgabe, in den beiden Furchen die vermuteten Felsschwellen abzutasten. An den Orten der Verwerfungen hatte sie, weil gar nicht darauf angesetzt, nicht untersucht. Stereoskopische Luftbildauswertung war damals für Bauzwecke noch kaum eingesetzt. Wegen der Moränenbedeckung hätte man damit die Störungen auch kaum gefunden. Seismik und Geoelektrik haben in der Zwischenzeit Erfahrungen im alpinen Gelände dazugewonnen und können heute mit guten Erfolgsaussichten bei Vorerkundungen eingesetzt werden.

Erläuterungen zu den Abbildungen:

- Abb. 1: Drossensperre: Blick auf den Osthang. Bauzustand Herbst 1953, Werkfoto der Tauernkraftwerke-AG; phot. Chodura.
- Abb. 2: Drossensperre: Stand der Aushubarbeiten an der Ostflanke im Juni 1952. Der vom Gletscher überarbeitete Störungstreifen ist schon gut erkennbar; phot. Horninger, 6. 6. 1952.
- Abb. 3: Drossensperre: Blick in den luftseitigen Einbindungsrand von Block 1; phot. Horninger, 19. 8. 1953.
- Abb. 4: Drossensperre-Osthang: Blick aus der wasserseitigen Felseinbindung des Blockes 17 nach O in den Block 19.
Links unten: Betonplombe in Arbeit.
Rechts Bildmitte: der 4 bis 5 m breite, dunkle Störungstreifen zwischen hellem Kalkglimmerschiefer im Hangenden (links oben) und im Liegenden (rechts unten); phot. Horninger, 8. 8. 1953.
- Abb. 5: Drossensperre: Sondierstollen II im Osthang, S-Ulm, lfm 19,0. Verformungsbilder von ursprünglich vermutlich ebenen Prasiniteinschaltungen in marmorähnlichem Kalkglimmerschiefer. Scherkräfte haben nicht zur Bildung eines Scherrisses, sondern zur Entstehung mehrdezimeter-breiter Zonen geführt, in denen fast völlige Durchscherung neben plastischer Verformung wirkte; phot. Horninger, 29. 9. 1952.

BERICHTIGUNG ZUR KARTE (12 a)

Durch ein Versehen blieben für die beiden Stollenbänder die Bezeichnungen „Südulm“, „Firste“ und „Nordulm“ weg. In jedem der beiden Bänder wäre der obere Drittelstreifen mit der Bemerkung „Südulm“, der mittlere mit „Firste“ und der untere mit „Nordulm“ zu versehen.

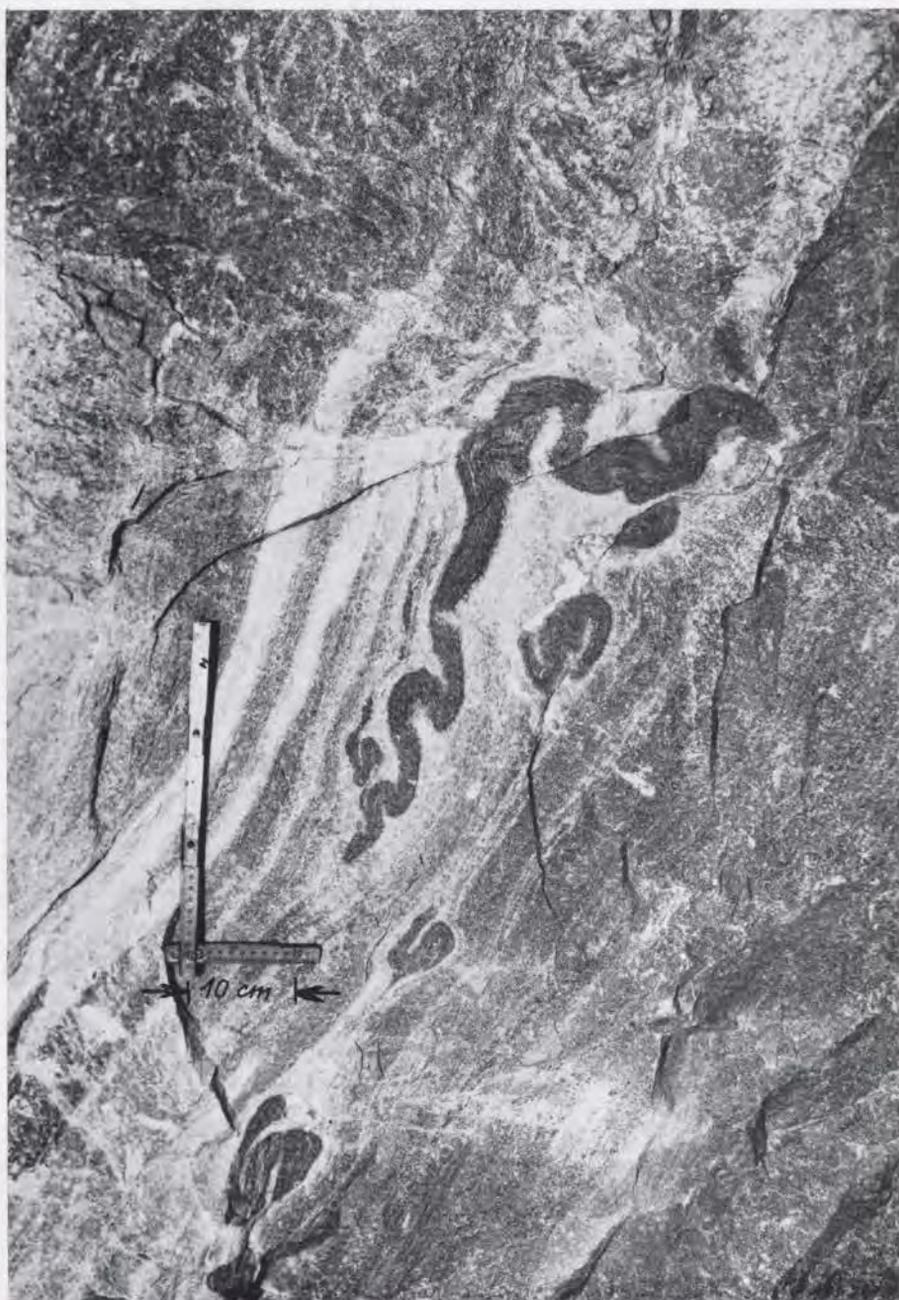


Abb. 5



Abb. 2

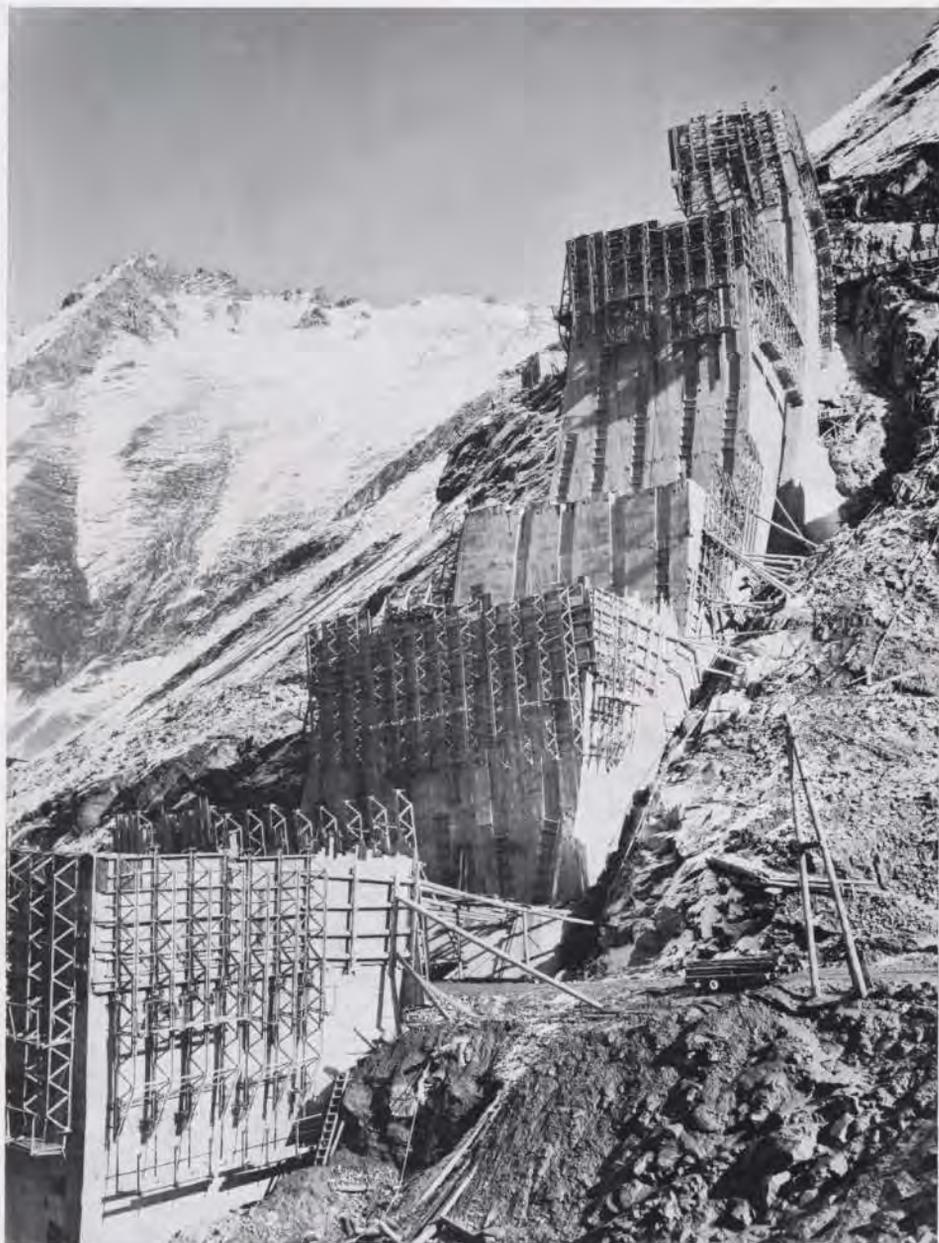


Abb. 1



Abb. 3



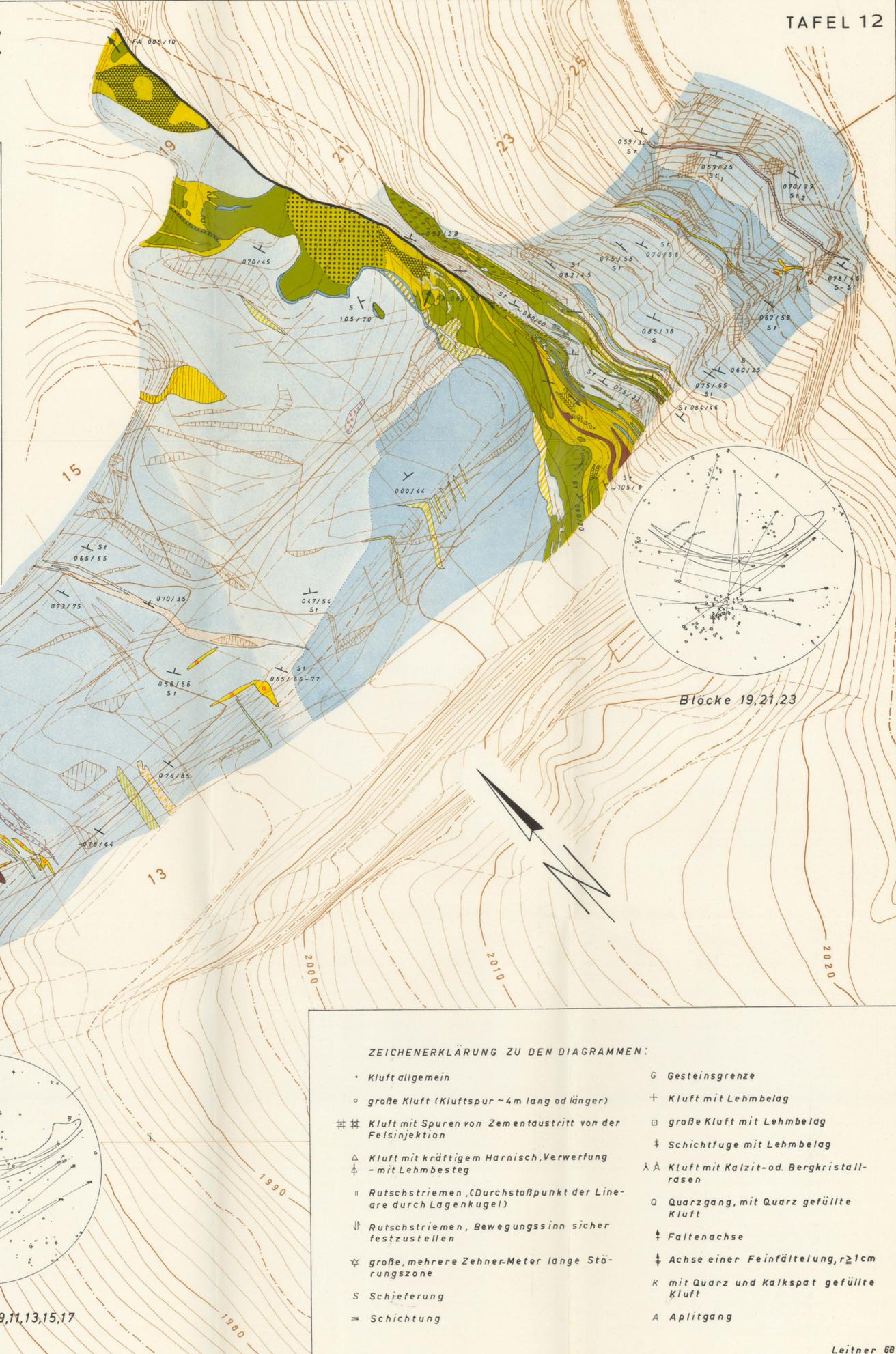
Abb. 4

GEOLOGISCHER PLAN DER DROSSENSPERRE

Aufgenommen von DR. G. HORNINGER 1952-54

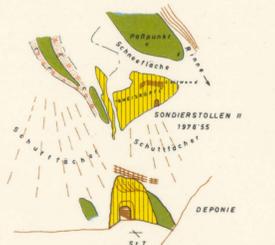
Maßstab 1:200

	Bänderkalk, hellgrau, Streifung cm-dm breit		Kalkglimmersch. granatführend, marmorähnlich (Km)		wie 37, granatführend		wie 50, aplitisch durchädert
	Bänderkalk, durch Biotit- und Granatgehalt rot bis braunlichgrau		Km, durch Muskovit- u. Chloritgehalt grünlich bis graugrün fleckig		Muskovit-Biotitgneis, hell (MBgn). Beide Glimmer etwa zu gleichen Teilen. Gneis dem Glimmersch. mehr i. techn. als i. fachpetrogr. Sinne gegenübergestellt		wie 50, talk- u. chloritreich, dadurch weich
	Kalkglimmerschiefer, grau (Kg)		wie 21, granatführend. Meist in Reaktionsräumen an der Grenze Kg/Prasinitt		Bändergneis m. hellen u. braungrünen Lagen		Muskovit-Chlorit-Aktinolithschiefer, hell-dunkelgrün i. nassen Zust. seifig, sehr weich
	Kg, durch Aufnahme v. Feldspatnoten gneisig		Dolomit, feinkristallinisch, weiß		Muskovit-Biotitgneis mit Biotitvermacht MBgneis bisweilen auch etwas primären Chlorit führend		Chloritschiefer, dunkelgrün, sehr weich, im technischen Sinne ähnlich 59
	Blaugrüne Bänder u. Schlieren des Kg., in denen schichtweise Graphitdurchstüßung fehlt. Häufig sind Mineralien vorhanden, die Herkunft v. Aschentufflagen andeuten		Dolomit, glimmerreich, geschiefert		MB-Glimmersch. bis MB-Gn stark aplitisch, weiß, durchädert, dadurch ausgesteift		dunkelgrüne Schlieren des Muskovit-Chlorit-Aktinolithschiefers m. viel hellgrünem Talk u. schwarzgrünen bis fingerlangen Strahlsteinstengeln, Pyrit- u. magnetitführend
	Blaugrüne bis silberige Streifen wie vor., aber grobkörnig, zw. Kg. u. Prasinitt stoffl. vermittelnd		Dolomitischer Kalk		MB-Gneis, hell grünlich, karbonatführend		Epidosit, hell-gelbgrün, fest, als Knolle und Reaktionsäume
	wie 5, pyritreich		Phyllitisch aussehendes schwarzgraues bis schwarzes Quarzgestein. Meist vom Kg. od. Kgg. stammend		Muskovit-Biotit-Chloritschiefer (MBClisch) sehr dünn geschiefert, fein weicher Glimsch im techn. Sinne, sehr dunkel-braungrün		Prasinitt, unregelmäßig von Muskovit-Chlorit-Aktinolithstreifen durchzogen
	Kg, durch Biotitgehalt braunlich, meist dm breite Streifen im grauen Kg.		schwarzgrauer Phyllit		wie 44, pyritreich		S bis 20 cm breites Band aus Manganganat, Rhodonit, Rhodochrosit und Tephroit (Mn-Olivin)
	Kg mit (Biotit u.) Granat, Durchschnittsfarbe: rotbraunlichgrau		Aplit, weiß		Muskovit-Chloritglimmersch. (MClgisch) lagenweise hell- und dunkelgrün, z.T. gneisig mit tiefen Albitkristallen		ca. 10 bis 30 cm breites Band mit Mangangranat (Netzstruktur), Piemontit u. Braunit
	Verband aus cm-dm starken Lagen v. Kg., Prasinitt u. stofflich vermittelnden Gliedern		Aplitgneis		Biotitschiefer, extrem glimmerreich, weich, leicht aufspaltend, schwarz-braun		Epidotamphibolit, grobkörnig
	wie 10, Prasinittteile chloritreich u. schieferig		Aplitgneis, karbonathaltig		Quarzit, weiß bis blaßgrün		technisch bed. Störung, Bsp.: die Störungsebene streicht ENE-W Richtung des Fallpfeiles 330) u. fällt 60° steil NNW in der NW-Flügel, d.h. der Hangendflügel, ist in Richtung d. kl. Pfeiles -rel aufgeschoben
	wie 10, granatführend		Aplit (-gneis), granatführend		Quarzitische Muskovitglimmerschiefer, weiß, blaßgrün durchzogen		unter e. Überhang i. Grundriß, Wörden bild verdeckt
	Kg, biotitreich, mit reiskorngroßen Feldspatporphyroblasten		Quarz-Kalkspatschlieren, weiß		Prasinitt, (meist epidotreich) mäßig bis deutlich geschiefert, feinkörnig		unsicherer Verlauf der Hauptstörungsbahn in einer breiten Störungszone
	Glimmerreicher, dunkler, straff geschieferter Kalkglimmerschiefer (Kgg)		Muskovitglimmerschiefer (Mglsch), dünn-schichtig, silberig bis blaßgrün		wie 50, grobkörnig		Verwerfung, (ohne techn. Bedeutung)
	Phyll. dünnlagiger, glimmerreicher Kg., fleckig dunkelgrau, mit zahlreichen ausgeschwärtzen, weißen Quarz- und Karbonatnestern um Handtellergröße u. darüber, z.T. recht Kalkarm		wie 33, durch Feldspataufnahme Übergang zu Muskovitgneis		wie 50, mit vielen stecknadelkopf- bis reiskorngroßen, weißen Feldspatkörnern (Albitporphyroblasten)		Schieferung (s) bzw. Schichtung (st) Bsp.: Richtung d. Fallpfeiles 080 (s-ENE), Einf. 25° flach, Na. Schreibart: N 30W/25 NE
	wie 15, mit zahlreichen reiskorn- bis kirsch-korngroßen Almandingranaten		wie 33, m. kl. dunkelgrünen Chloritflecken		wie 50, biotitreich, braungrün, gut geschiefert, z. wischglied z. MBClisch		Faltungsschne, Rollungsachse. Die Achse fällt z. B. 30° fl. i. Richtung 200°, d.h. -nach SSW
	marmorähnlicher Kalkglimmersch. hellgrau, glimmerarm. Häufig leicht gebändert (Km)		wie 33, karbonatführend (im Gegensatz zu Kg. ohne schwarzes Pigment)		wie 50, granatführend		Achse einer Feinfältelung, Runzelung
	Kalkmarmor, weiß		Muskovit-Biotitglimmerschiefer (MBGlsch) blaßgrün bis hellbraungrün		wie 50, chloritreich, dadurch verhältnißm. weich u. leicht nach s. spaltend		
	wie 18, muskovitreich, Glimmermarmor deutlich geschiefert		Muskovit-Biotitglimmerschiefer hellgrünlich mit Pyrit, granatführend		wie 50, m. vielen bis 1cm lg. Pyritwürfeln		

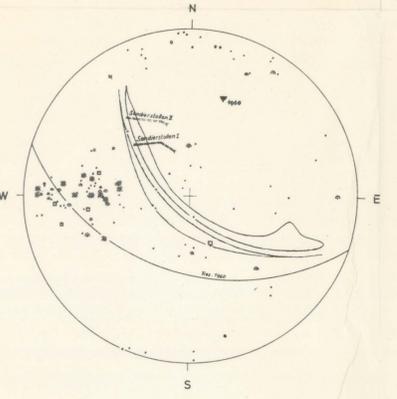


ZEICHENERKLÄRUNG ZU DEN DIAGRAMMEN:

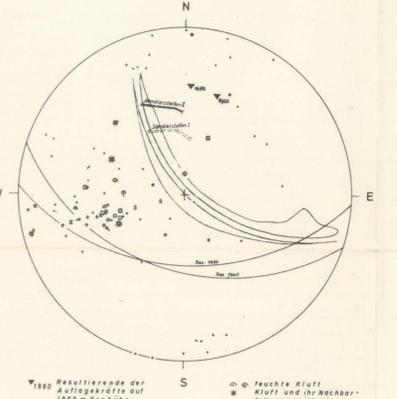
• Kluft allgemein	G Gesteinsgrenze
○ große Kluft (Kluftspur ~4m lang od länger)	+ Kluft mit Lehmbeleg
⊞ Kluft mit Spuren von Zementaustritt von der Felsinjektion	⊞ große Kluft mit Lehmbeleg
△ Kluft mit kräftigem Harnisch, Verwerfung - mit Lehmbeleg	⊞ Schichtfuge mit Lehmbeleg
Rutschströmen, (Durchstoßpunkt der Linere durch Lagenkugel)	Λ Kluft mit Kalzit- od. Bergkristallrasen
⇓ Rutschströmen, Bewegungssinn sicher festzustellen	Q Quarzgang, mit Quarz gefüllte Kluft
☆ große, mehrere Zehner-Meter lange Störungszone	† Faltenachse
S Schieferung	‡ Achse einer Feinfältelung, r ≥ 1cm
= Schichtung	K mit Quarz und Kalkspat gefüllte Kluft
	A Aplitgang



SONDIERSTOLLEN I



SONDIERSTOLLEN II

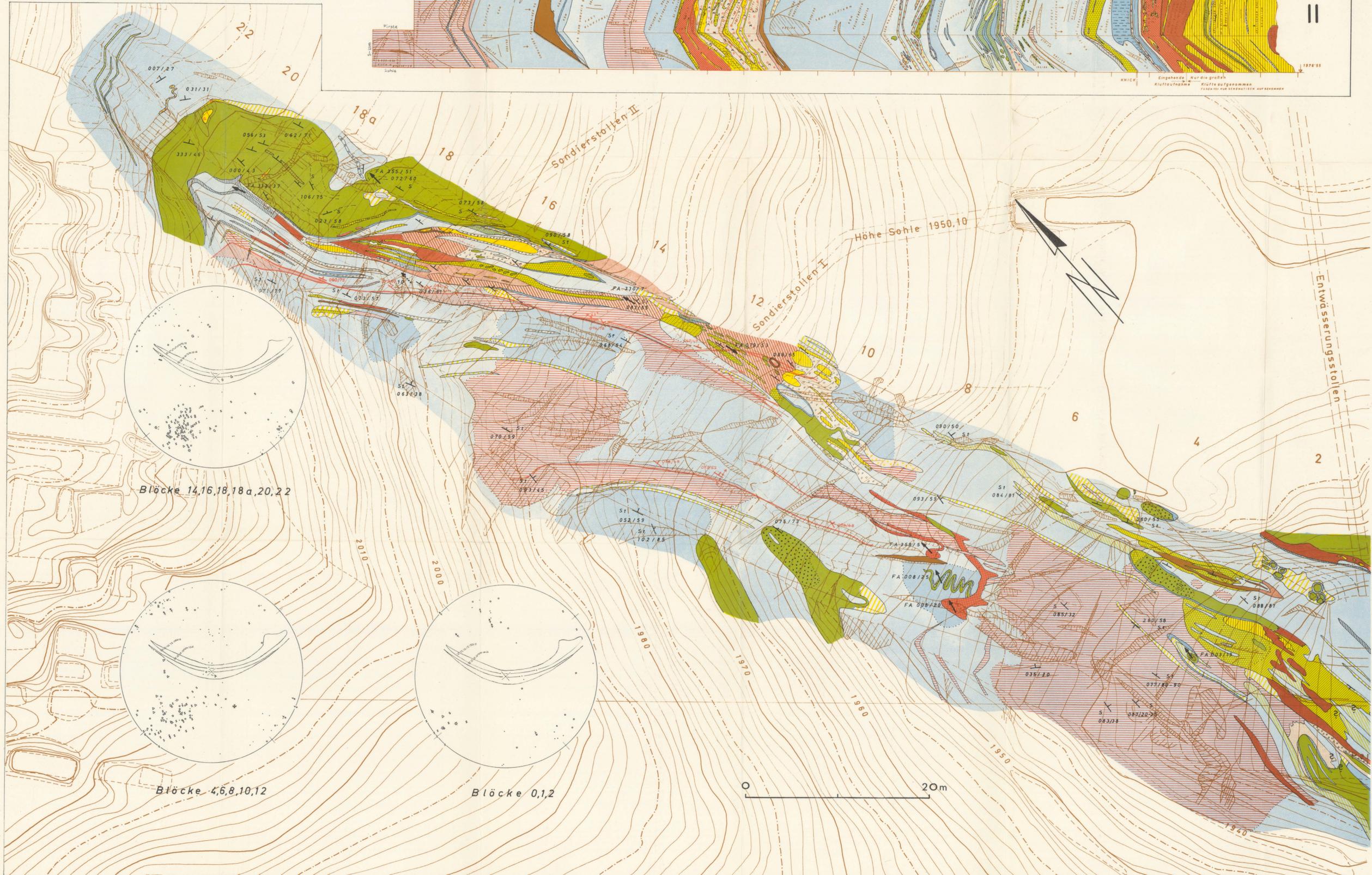
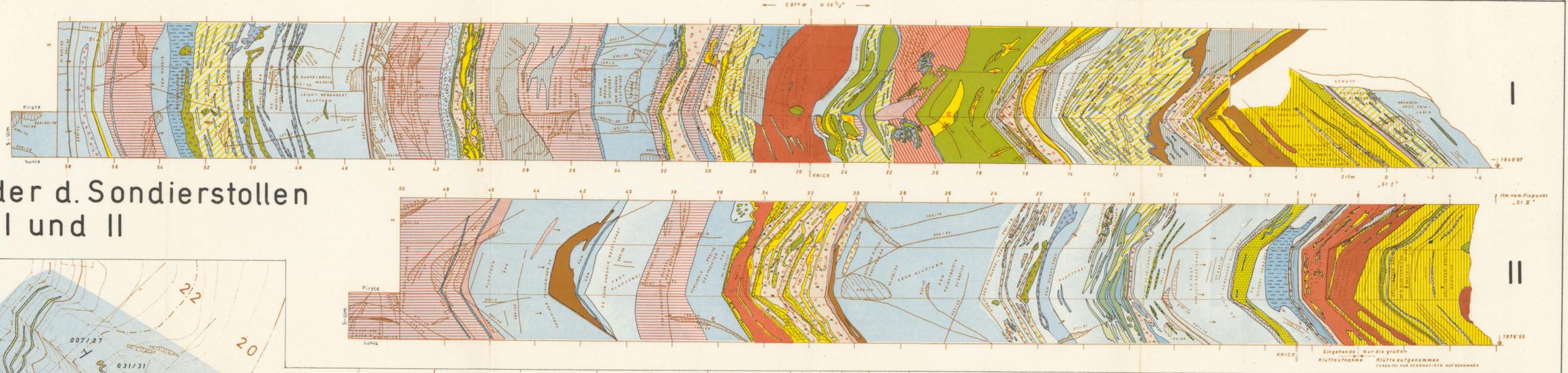


ZEICHENERKL. ZU DEN STOLLENBÄNDERN

- Kluff, bzw. künstliche Fuge || St
- Kluff mit Letten
- Kluff mit braun angewittertem Nachbargestein
- S Schieferung
- St Schichtung
- F Fältungsachse, Streckung
- Tr, Si Tropfstelle
- R Rinnstelle
- Δ Kluffabstand in Kl.-Scharen
- fließender Gesteinsübergang
- Kl Kluff
- gr groß
- br klein
- Kg Kalkglimmerschiefer, Cfest. normaler Glimmergeh.Jgrau
- Km Kalkmarmor z.T. Glimmerführend
- Kgg Kalkglimmersch. dunkel, glimmerreich, schieferig
- Kgm Kalkglimmerschiefer, massig, marmorähnlich
- MBCIF Schiefer aus Muskovit + Biotit + Chlorit + mit freiem Auge sichtbaren (meist reiskorngroßen) Feldspatkörnern. Vorherrschende Gemengteile unterstrichen
- MBCIFA wie vor. A... mit Aplitdurchzöderung

M A B ST A B 1 : 1 0 0

Stollenbänder d. Sondierstollen I und II



Entwässerungstollen

Höhe Sohle 1950,10

0 20m