

# Über geologisch-technische Erfahrungen beim Bau des Spullerseewerkes.

Von **O. Ampferer** und **H. Ascher**.

Mit 1 geologischen Karte 1 : 25.000, 1 Stollenprofil 1 : 200, 2 Sperrenplänen, 1 Schaubild des Stollenabflusses, 27 Zeichnungen und 12 Photographien (Tafel III—X).

## **O. A. Einleitung und geologische Grundlagen.**

Die geologischen Aufnahmen und Untersuchungen, welche teils als Vorarbeiten, teils als Mitarbeiten beim Bau des Spullerseewerkes von mir im Auftrag des Elektrisierungsamtes der Bundesbahnen zur Ausführung gelangten, erstrecken sich über den langen Zeitraum von 1908 bis 1925.

Die Verteilung derselben ist allerdings eine recht ungleichmäßige, insofern als nach den ersten Arbeiten in den Jahren 1908—1909 eine Pause bis zum Frühjahr 1919 eingeschaltet liegt.

Von dort ab schließen sich die Aufnahmen und Begehungen dichter aneinander und ich stand durch meinen Freund, Herrn Baurat Ing. Hans Ascher, fortlaufend mit den neuen Befunden beim Fortschritt des Baues in Fühlung.

Ich möchte diese Gelegenheit nicht vorübergehen lassen, ohne ihm noch besonders für seine unermüdliche Aufmerksamkeit zu danken. Ohne diese eindringliche und verständnisvolle Teilnahme wäre es unmöglich gewesen, Stollenprofile und Pläne der Sperrenfundamente von derartig feinem Detail zu erhalten. Sie sind ausschließlich sein Werk und sein Verdienst. Die Mittel für die Drucklegung derselben verdanken wir dem Entgegenkommen der Direktion des Elektrisierungsamtes unserer Bundesbahnen, Herrn Sektionschef Ing. Dittes und Herrn Ministerialrat Ing. Schnürer, weiter jenem der Bauunternehmung Innerebner und Mayr in Innsbruck, welche das großartige Bauwerk in mustergültiger Form zur Ausführung brachte, und endlich der Mithilfe von Herrn Ministerialrat Dr. Ing. M. Pernt. Ihnen gebührt nicht nur unser, sondern auch der Leser Dank, weil sie es ermöglicht haben, daß die hier vorgelegten Ergebnisse in einer guten Ausstattung allgemein zugänglich und benützbar geworden sind.

Es wäre ungerecht, in diesem Zusammenhang nicht auch der vielen wertvollen Unterstützungen dankbar zu gedenken, durch welche unsere geologischen Arbeiten hier von den Herrn Ministerialräten Ing. Kargel, Dr. Ing. M. Pernt und Ing. M. Singer gefördert worden sind.

Wenn diese Herren auch heute dem Elektrisierungsamte nicht mehr angehören, so bleibt ihr Wirken doch engstens mit der Entstehung und Ausführung des Spullerseewerkes verbunden.

Insbesondere gilt dies für Herrn Ministerialrat Dr. Ing. M. Pernt, welcher nicht nur für die geologische Bearbeitung des Spullerseewerkes, sondern auch für diejenige der meisten anderen Projekte der Großkraftwerke im Bereiche des Nordabfalles unserer Alpen von Anfang an mit seltener Einsicht und Energie gesorgt hat. Auch das Zustandekommen dieser Arbeit ist zum großen Teil nur seiner wissenschaftlichen Interessiertheit und wirklichen Hilfsbereitschaft zu verdanken.

Das Spullerseewerk liegt in Vorarlberg auf der Nordseite des Klostersales noch ganz im Bereiche der nördlichen Kalkalpen. Es sammelt die Zuflüsse des 1795 *m* hoch gelegenen und bis 1825 *m* gestauten Spullersees, führt dieselben durch einen zirka 2 *km* langen Druckstollen zum Wasserschloß am Grafenspitzhang und von dort in zwei Rohrsträngen zum Krafthaus, welches unmittelbar unter der Eisenbahnstation Danöfen gelegen ist.

Über die technische Ausführung des Baues sind wir vor allem durch eine Reihe von Vorträgen und Aufsätzen unterrichtet, die Herr Sektionschef Ing. Dittes zumeist in der Zeitschrift des Ingenieur- und Architektenvereines in Wien veröffentlicht hat.

Die geologische Literatur ist recht geringfügig.

Von den alten Arbeiten ist jene von F. v. Richthofen über die Kalkalpen von Vorarlberg und Nordtirol noch heute brauchbar.

Die ganzen Neuaufnahmen und Revisionen von seiten unserer Anstalt durch M. Vaceck sind leider unfertig und unbenutzbar geblieben. Meine Neuaufnahme von Blatt „Stuben“ ist noch nicht zum Abschluß gekommen.

Ein Vortrag von Baurat Ascher über die geologischen Verhältnisse des Spullerseewerkes, welchen er am 13. März 1924 im Wiener Ingenieur- und Architektenverein hielt und wo er zum erstenmal das große Stollenprofil 1:200 vorlegte, ist nicht veröffentlicht worden.

So erscheint bei dem reichen gesammelten Material eine kurze geologische Berichterstattung wohl als begründet und gewiß nicht überflüssig.

Über die Schichtenfolge unseres Gebietes enthalten meine Arbeiten über das Gerüst der Lechtaler Alpen und über den Bau der westlichen Lechtaler Alpen eine Zusammenstellung der wichtigsten Angaben. Sie wurden zwar hauptsächlich in dem östlich anschließenden Gebirge gewonnen, gelten aber mit geringen Abweichungen auch für das Gebiet des Spullersees.

Ich verweise hier auf diese Arbeiten und wiederhole nur soviel als zum Verständnis dieser Arbeit geboten erscheint.

Die Kalkalpen Vorarlbergs stoßen längs einer steil aufgerichteten Schubfläche unmittelbar an die kristallinen Schiefer der Silvretta-Gruppe.

Diese Grenze, an welcher sich mächtige Verschiebungen großer Gebirgsmassen vollzogen haben, ist südlich vom Spullersee unter dem Schutt des Klostersales begraben, tritt aber östlich im Gebiete des Arlbergs, westlich in jenem der Davenna-Gruppe aus ihrer Verhüllung hervor.

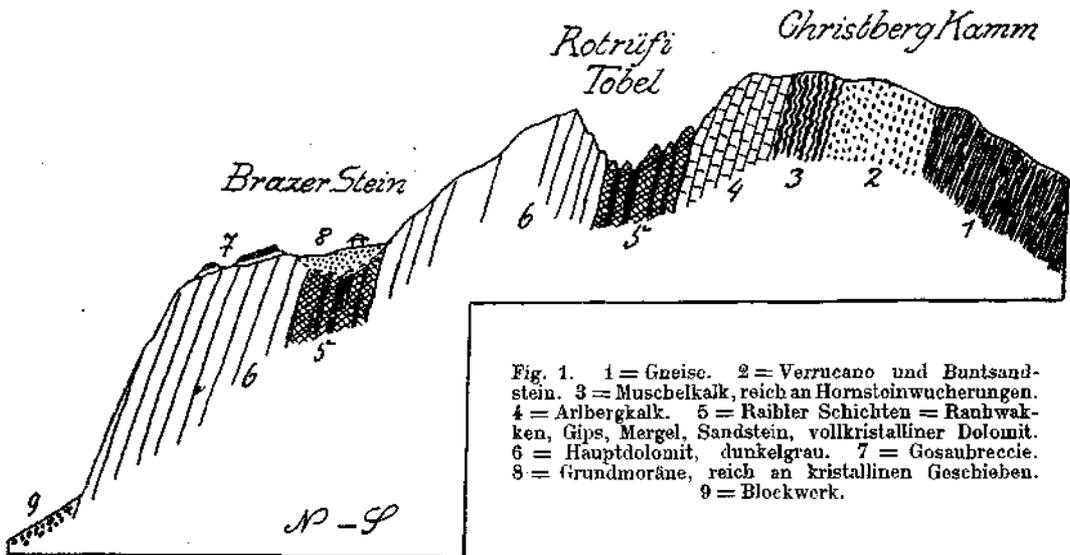
Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch den östlichen Teil der Davenna-Gruppe, welcher sich ebenso durch gute Aufschlüsse wie einfache

Lagerungsformen auszeichnet. Zwischen den Gneisen der Silvretta und dem Verrucano-Buntsandsteinzug fehlt hier eine sehr mächtige Schichtgruppe, nämlich der Quarzphyllit mit seinen verschiedenartigen Einschaltungen, welcher ostwärts vom Arlberg noch eine breite Entfaltung zeigt und von W. Hammer in diesem Jahrbuch eingehend beschrieben wurde.

Verrucano und Buntsandstein sind hier die ältesten Schichtglieder der nördlichen Kalkalpen.

Während es kaum zweifelhaft ist, daß der Buntsandstein den weiter östlich auftretenden fossilführenden Werfener Schichten voll entspricht und die Basis der Triasablagerungen bildet, ist die Stellung des Verrucano als permische Schichtgruppe nicht ebenso sicher.

Verrucano und Buntsandstein gehören enge zusammen und sind auf einer Karte nur schwer zu trennen. Im allgemeinen nehmen aber



die gröber klastischen Ablagerungen des Verrucano die tieferen und die feinsandigen, tonschiefrigen des Buntsandsteins die oberen Lagen ein.

Der Verrucano besteht aus roten, grünen bis gelblichen Breccien und Konglomeraten, aus denen vor allem rötliche Quarze, dann rote und graue, violette Schiefer sowie graue und gelbliche Dolomite in die Augen springen.

Vielfach ist an seinem Aufbau auch eruptives Material von Quarzporphyr und Quarzporphyrtuffen beteiligt. Neben den groben bunten Breccien (vielfach als Mühlsteine und Bausteine verwendet) finden sich auch feinere Arkosen und bunte Serizitschiefer.

Im Verbande des Verrucano treten weiter auch graue, gelbliche, weißliche, sehr harte Quarzite auf, die sich als stark gepreßte Aggregate von Quarzkörnern erweisen, welche oft plattgedrückt und innigst miteinander verzahnt sind.

Der Hügel — P. 1007 m — unterhalb des Krafthauses an der Reichsstraße besteht aus solchen Quarziten. Charakteristisch für den

Verrucano ist endlich dessen verbreitete Vererzung (Fahlerz-Kupferkies-Schwefelkies-Spateisenstein-Baryt).

Der Buntsandstein, durch Übergänge, Verfaltung und Verschuppung mit dem Verrucano verknüpft, besteht vor allem aus feinerkörnigen roten, grünen, weißlichen Quarzsandsteinen und bunten, feinschichtigen, meist glimmerarmen Tonschiefern.

Die Quarzsandsteine sind lockerer gebunden und weniger gepreßt als die älteren Quarzite, auch die Tonschiefer tragen eine geringere Metamorphose zur Schau und Serizitschiefer fehlen.

Im Hangenden des Buntsandsteins ist ziemlich regelmäßig eine Zone von grellgelben Rauhdecken eingeschaltet.

Die quarzreichen, lebhaft gefärbten Sandsteine des Buntsandsteins finden in den nun folgenden weiteren Triasablagerungen keinerlei ähnliche Wiederholung mehr.

An ihre Stelle treten über den erwähnten Rauhdecken zunächst die hornsteinreichen Kalklagen des Muschelkalks, die Tonschiefermassen der Partnachsichten und die Kalk- und Dolomitmassen der Arlbergschichten.

Diese Schichtgruppe baut die unteren steilen Nordhänge des Klostersales auf und ist an der Flexenpaßstraße oberhalb von Stuben gut aufgeschlossen und bequem zugänglich. Der Muschelkalk stellt eine Folge von festen, meist dunkelgefärbten, oft blauschwarzen, wohlgeschichteten Kalkplatten mit dünneren Zwischenschaltungen von grauen bis grünen Mergellagen und Mergelhäuten vor. Charakteristische Bestandteile bilden bald gröber, bald feiner knollige, wulstige Kalke, Kalke mit rundbuckeligen, mergelhäutigen Schichtflächen und Kalke mit dunklen Hornsteinknauern. Nicht selten sind Bänke von Krinoidenkalken eingefügt.

Die starken, knolligen, wegen ihrer Mergelhäute leicht ablösbaren Kalkplatten des Muschelkalks finden als Bausteine, Stufen und Abwehrsteine an den Straßen vielfache Verwendung.

Im Hangenden geht der Muschelkalk durch Aufnahme von immer mächtigeren Tonschieferlagen in die Partnachsichten über. In den Partnachsichten herrschen die Tonschiefer vor und die Kalklagen treten zurück.

Die mattschwarzen, dünnspaltigen Tonschiefer sind kreuz und quer von weiß ausgeheilten Klüften durchrissen. Infolge von Durchschieferung zerfallen sie häufig zu schmalen, langen, spitzigen Griffeln.

Durch die Verwitterung werden die festen Kalklagen zwischen den abbröckelnden Schieferlagen herauspräpariert und treten dann als kühngezackte Mauern und Zinnen zwischen tiefen schwarzen Furchen romantisch wild hervor.

In den Partnachsichten des Mason Tobels bei Braz wurden von Skuphos die einzigen aus diesen Schichten bisher bekannten Saurierreste — Parthanosaurus Zitteli und Microleptosaurus Schlosseri — aufgefunden.

Die Partnachsichten liefern bei der Verwitterung tonreiche Böden, auf denen im Klostersal mit Vorliebe Laubwald sich ansiedelt.

Die über den Partnachsichten folgenden Arlbergschichten sind mit ihnen ebenfalls durch Wechsellagerung und Übergänge enge verbunden.

Über den Aufbau dieser Schichtfolge gibt das Profil Fig. 2 einige Auskunft, das längs des Weges von Klösterle zum Spullersee durch den Wäldi Tobel gezogen ist. Die Arlbergschichten entsprechen dem Wettersteinkalk der östlicheren Alpen. Während aber dieser aus einer ganz einheitlichen lichtgefärbten Kalk-, seltener Dolomitmasse besteht, haben wir in den Arlbergschichten einen unruhigen Wechsel von Kalk- und Dolomitbänken, Mergellagen und Streifen von Rauhdecken.

Sie verwittern zu rauen, wildschluchtigen Hängen ohne einheitliche Struktur. Über den Arlbergschichten stellt sich wieder eine leicht erkennbare charakteristische Formation ein. Es sind die Raibler Schichten, welche in Vorarlberg auch noch durch die Führung von manchmal recht ausgedehnten Gipslagern ausgezeichnet sind.

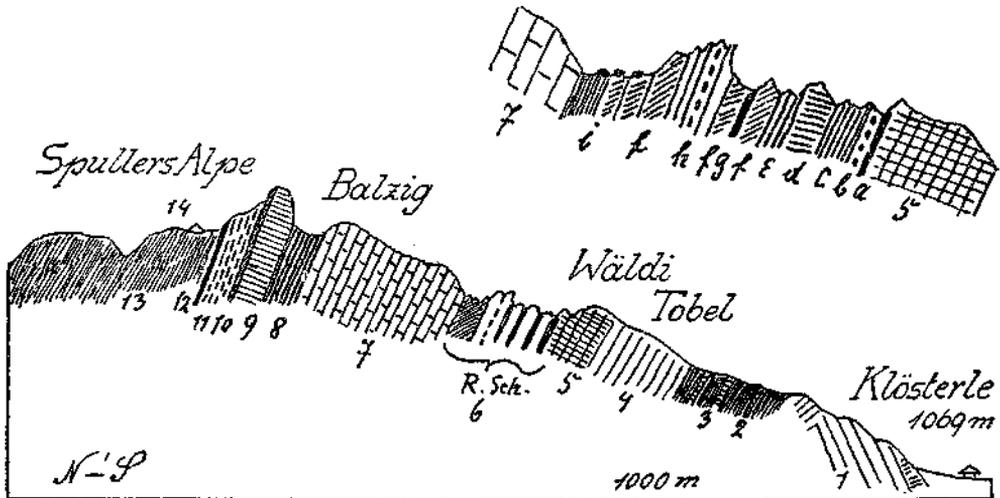


Fig. 2. 1 = Dunkelgrauer splittiger Dolomit mit helleren Kalklagen. 2 = Schwarze Mergel mit gelben Tonlaiben und weißadrigen Kalken. 3 = Schwarze Mergel und dunkle Kalke. 4 = Wechsel von grauen Kalk- und Dolomitbänken — 2 m bis  $\frac{1}{2}$  m dicke Lagen. 5 = Dunkelgrauer, nicht bituminöser, hackig splittiger Dolomit. 6 = Raibler Schichten a = Schwarze Mergel, Giiffelschiefer 2–3 m. b = Schwarze, rötlich anwitternde rostige Sandsteine 2–3 m. c = Feste grüngraue rostige Sandsteine 2–3 m, gegen oben schwarze Mergel und weichere Sandsteine 5–6 m. d = Dolomitische Rauhdecke, Mylonit. e = Dunklerer, grüngrauer, rostiger Sandstein 8–10 m. f = Dolomitische Rauhdecke. g = Schwarzer Kalk. h = Hellgrauer Kalk mit dunkelgrauen, runden und ovalen Flecken. i = Gelblichgraue, bräunliche Kalkschiefer und Rauhdecken. Auf ihnen liegt eine kalkalpine Blockmoräne. 7 = Hauptdolomit und Plattenkalk. 8 = Kössener Schichten. 9 = Oberrätischer Kalk. 10 = Rote Liaskalke. 11 = Fleckenmergel. 12 = Hornsteinkalke, Aptychenkalk. 13 = Kreidesschiefer. 14 = Blockmoräne.

Während in den bisher aufgezählten Schichten der Trias deutliche Versteinerungsreste nur recht selten sind, treten dieselben hier in ganzen Bänken felsbildend auf. Fig. 2 gibt einen Querschnitt durch diese Schichtgruppe wieder, welcher allerdings hier kein Gipslager enthält. Dafür tritt ein großes Gipslager gleich östlich von dieser Stelle im Blisadona Tobel zutage. Die Raibler Schichten stellen eine recht bunte Schichtfolge dar. Sandsteine mit Pflanzenresten, Oolithe, Kalke, die aus Muschelschalentrümmern bestehen, verschiedenartige Mergel, Dolomite, Rauhdecken und Gips sind ihre Hauptbestandteile.

Charakteristisch sind die Sandsteine (Lunzer Schichten) mit Pflanzenresten, die Oolithe (Sphaerocodienbänke) und die Muschelbreccien mit Ostreen und Carditen.

Sie verwittern vorzüglich zu tiefen wilden Runsen. Einer solchen Runse folgt auch auf eine längere Strecke der Abfluß des Spuller-

sees, der Spreubach, während derselbe darüber und darunter die Schichten quer durchbricht.

Die dolomitischen Rauhwacken vermitteln den Übergang der Raibler Schichten zu dem darauffolgenden jüngeren Hauptdolomit. Der Hauptdolomit bildet in den Nordalpen nicht nur ein sehr mächtiges, sondern vor allem auch ein sehr gleichmäßiges und einheitliches Schichtglied. Infolgedessen ist sein Einfluß auf den Verlauf der Tektonik ein bestimmender. An seinen riesigen gleichmütigen Massen beruhigen und vereinfachen sich auch die kühnsten Faltenentwürfe.

Wie schon sein Name angibt, haben wir hier eine Riesenfolge von wohlgeschichteten, bald heller, bald dunkler grauen oder bräunlichen Dolomitlagen vor uns. Der Magnesiagehalt ist ein ziemlich schwankender, so daß man einzelne Lagen als kalkigen Dolomit oder als dolomitische Kalke bezeichnen muß. Mergelige Einschaltungen treten bis auf dünne Fugen zurück. An ihrer Stelle findet man kalkige bituminöse Lagen, die aber in unserem Gebiete keine stärkere Entwicklung gewinnen. Durch den Wechsel von helleren und dunkleren Schichten gewinnen die Hauptdolomithänge manchmal ein streifiges Aussehen.

Die dichten bis kristallinen Dolomite erhalten bei der Verwitterung sandigraue Flächen und zerfallen leicht in würfelige Stücke.

An Stellen starker innerer Zertrümmerung geht häufig die Schichtung verloren. Es gibt aber auch Gebiete mit wohlerkennbarer Schichtung, die dennoch ganz zertrümmertes Material besitzen. Solche Mylonite mit erhaltener Schichtung stehen z. B. an dem Abfall der Grafenspitze gegen die Weißbrüfl an und bereiten dem Stollenbau erhebliche Schwierigkeiten. Außer solchen tektonisch begründeten Mylonitzonen kommen aber auch gar nicht selten offenbar sedimentäre Breccien in einzelnen Schichtlagen vor.

Der Hauptdolomit zeigt im Hochgebirge schroffe, wild zerrissene Formen und ist der Lieferant der meisten und größten Schutthalden.

Dies zeigt sich sehr schön am Südhang des Dürrenbergs, über welchen die Druckrohrleitung zum Krafthaus herableitet.

Der ganze untere Gebirgshang bis etwa 1500 *m* Höhe besteht hier aus einem mächtigen Schuttkegel, der überwiegend aus Hauptdolomitmaterial zusammengesetzt ist.

Die Dicke des Schuttkegels dürfte im untersten Teil wohl weit über 100 *m* betragen und war mit ein Grund, das Projekt eines Druckschachtes hier fallenzulassen.

Im Hangenden des Hauptdolomits stellen sich dunkle wohlgeschichtete Kalklagen ein, welche gewöhnlich als Plattenkalk bezeichnet werden.

Während der Hauptdolomit so gut wie fossilieer zu sein pflegt, sind auf den Schichtflächen des Plattenkalks ziemlich häufig kleine Schnecken-  
schalen zu erkennen.

Von weitem grenzt sich der Plattenkalk gegen den Hauptdolomit durch weichere Formen und bessere Bewachsung ab.

Der Plattenkalk bildet auch das vermittelnde Zwischenglied zwischen den riesigen, starren Hauptdolomitmassen und den darüber angeordneten weichen, milden Kössener Schichten. Fig. 3 bringt ein Profil durch die Kössener Schichten, welches an dem Berghang unmittelbar östlich von

der südlichen Sperre des Spullersees von mir und Ascher aufgenommen und ausgemessen worden ist.

Weiche, meist feinblättrige Mergel mit zwischengeschalteten Kalklagen bauen in vielfacher Wiederholung diese dunkelfarbige Schichtzone auf. Lagen, die ganz aus Muschelbreccien bestehen, sowie Bänke mit Korallen sind häufig und bezeichnend.

Sandsteine, Dolomite oder Rauhwacken fehlen hier vollständig.

Die Verwitterung greift tief in diese weichen Schichtkörper hinein. Im Steilanschnitt entstehen dann jähe schwarze Runsen mit vorstehenden Felsbrettern, im Flachanschnitt aber bilden sich quellreiche, gut bewachsene Stufen und Weideböden.

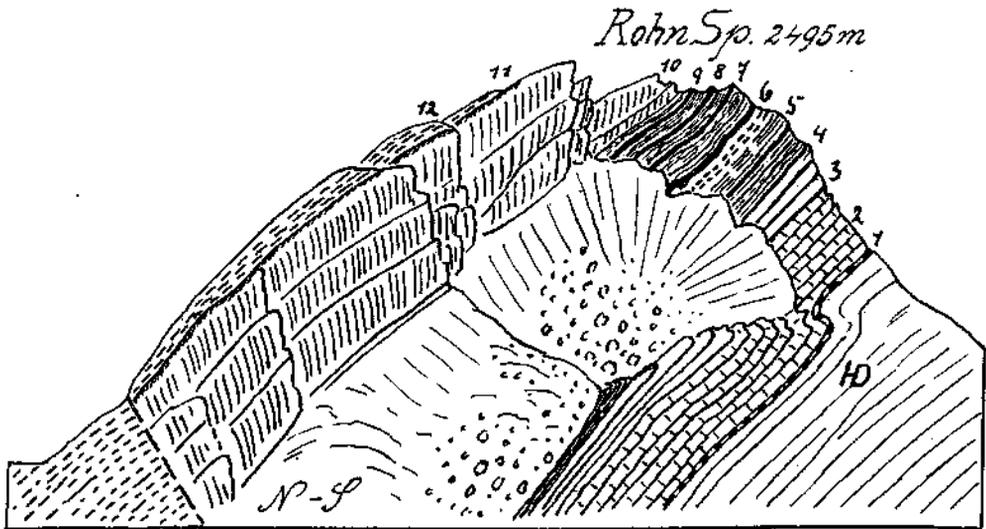


Fig. 3. HD = Hauptdolomit. 1 = Breccie aus feinen Dolomitstückchen  $1\frac{1}{2}$  bis 2 m. 2 = Plattenkalke. 3 = Kalke mit einzelnen schmalen feinblättrigen schwarzen Tonschiefern. 4 = Schwarze dünnblättrige Tonschiefer, dunkle kristalline Kalke, Muschelbreccien bis 15 m; dichte schwarze Kalke bis 5 m; Tonschiefer mit einzelnen dunklen Kalklagen, Muschelbreccien bis 21 m; dunkle Kalke und Muschelbreccien bis 6 m; feine schwarze Tonschiefer mit schmalen Kalklagen bis 21 m; Kalklage bis 1 m; Tonschiefer bis 4 m. 5 = Drei gelb anwitternde Kalklagen mit dunklem Tonschiefer bis 15 m; Dachschiefer und Glanzschiefer bis 5 m. 6 = Rauher, weißadriger Kalk mit gelben Verwitterungsflecken bis 5 m; Tonschiefer, Kalke, Muschelbreccien bis 15 m; Tonschiefer, auffallend stark druckgesiefert bis 20 m. 7 = Dunkle Kalke und Muschelbreccien bis 14 m; schmutzig, gelbgraue Fleckenmergel bis 10 m. 8 = Schwarze Kalke bis 3 m; gelblichgraue Fleckenmergel bis 12 m. 9 = Dicke graue Kalklagen bis 8 m; gelblichgraue, schmutzfarbene Mergel bis 8 m. 10 = Lage von grauem Kalk mit gelblichgrauen Bändern; Oberrätische Kalke. 11 = Rotgelbe Liuskalke. 12 = Hornsteinreiche Fleckenmergel.

Durch die Verbindung der feinblättrigen, schmiegsamen Mergel mit nur vereinzelt Kalklagen stellen die Kössener Schichten ein ungemein leicht und gut faltbares Material vor. Wir treffen daher in ihrem Bereiche meist einen scharfen Wechsel im Bauplan und das Auftreten eines lebhaften Faltenspieles. Im Hangenden der Kössener Schichten verdichten sich die früher vereinzelt Korallenkalklagen zu einem mächtigen Kalkstockwerk, das gewöhnlich als oberrätischer Kalk (Dachsteinkalk) bezeichnet wird.

Dieses Kalkstockwerk ist auch im Gebiete des Spullersees sehr schön entwickelt und nimmt bereits am Fundament der südlichen Seesperre Anteil.

Die oberrätischen Kalke sind ausgezeichnet durch mächtige, dickbankige Schichtung und glatte, stolze Wandbildung. Diese Wände sind

häufig mit den Anschnitten großer Korallenstücke verziert. Auf den Schichtflächen zeigen sich vielfach die Querschnitte großer Megalodonten und kleinerer Schalenrümpfer. Stellenweise, wie z. B. am Gipfel der Wasenwand, sind blaugraue Krinoidenkalke und großoolithische Kalke

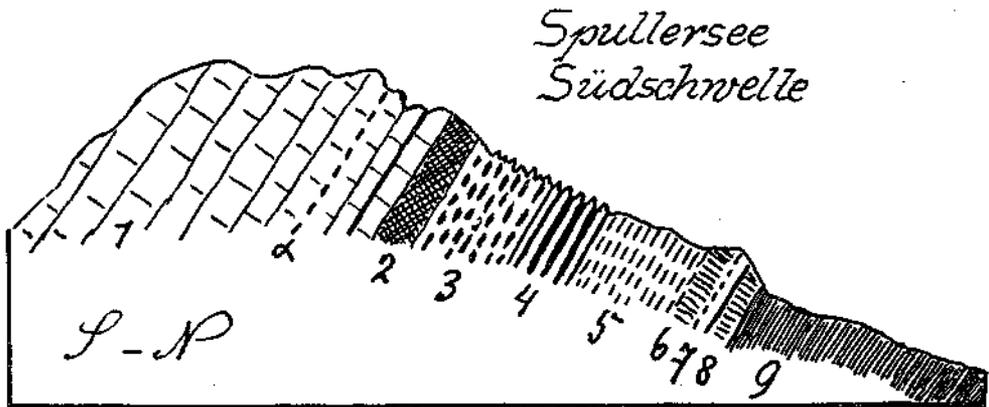


Fig. 4. Spullersee Südschwelle. 1 = Oberrätischer Kalk mit weinroten und grünen Mergellagen. α = Lettenfuge mit tektonischer Reibungsbreccie. 2 = Rote, knollige Liaskalke mit Ammoniten und Belemniten. 3 = Graue Kalke mit dunklen Hornsteinbändern, die gelb, zackig verwittern und wie Zäune vorragen. 4 = Die Hornsteine treten zurück und es wechseln die grauen Kalke mit dunklen Mergeln — die Kalke wittern in Rinnen tiefer als die Mergel. 5 = Typische Fleckenmergel, dunkelgrau mit dunkleren Flecken, gelblichgraue Verwitterung. 6 = Hellergraue feste Kalke mit vielen Querklüften, weiß kalziert. 7 = Spuren von roten und grünen Hornsteinen in kleinen Linsen und Putzen. 8 = Matt-rotes Kalkband in grauen Kalk übergehend. 9 = Tiefschwarze Kreidemergel.

eingelagert. Während in den Gebirgsanschnitten diese Kalkmasse als recht einheitlich und arm an zwischengelagerten Mergeln erscheint, haben die tiefen Aufschlüsse des Druckstollens gezeigt, daß dieselbe

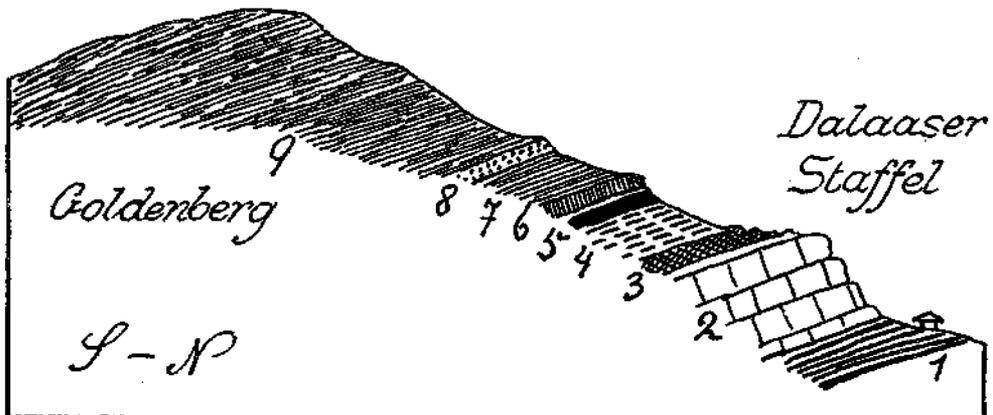


Fig. 5. Dalaaser Staffel. 1 = Kössener Schichten. 2 = Oberrätische Kalke. 3 = Rote Liaskalke. 4 = Fleckenmergel. 5 = Rote und grüne Hornsteinkalke. 6 = Graue und rote Tithonfaserkalke. 7 = Hornsteinwucherkalke. 8 = Kalkhornsteinbreccien mit vielen schwarzen Fischzähnen. 9 = Kreideschiefer — milde Seidenschiefer — Sandsteine, Breccien.

wenigstens örtlich geradezu reich an Einschaltungen von violett bis weinroten — seltener ölgrünen — schwarzen, dünnschiefriigen Mergelbändern sein kann. Im Hangenden der oberrätischen Kalke treten, streng damit verbunden, gelbliche bis rötliche, seltener graue, schöne Kalke auf, welche bereits dem Lias zugehören und nicht selten Ammoniten und Belemniten enthalten.

Zwischen der Ablagerung der oberrätischen Kalke und jener der Liaskalke ist aber trotz ihrer vollkommenen Verwachsung eine Unterbrechung der Sedimentation eingetreten.

Mit den bunten Liaskalken verlassen wir im Spullerseegebiete das Herrschgebiet der Kalke.

Weiter aufwärts überwiegen im Schichtgebäude immer mehr die mergeligen und schiefrigen Ablagerungen.

Die bunten Liaskalke gehen nach oben in die Serie der Liasfleckenmergel oder Allgäuschiefer über.

Wie Fig. 4 und weiter Fig. 5 und 6 ergeben, sind die unteren Lagen dieser Schichtfolge ziemlich reich mit Hornsteinen ausgestattet, welche bei der Verwitterung schroff hervortreten.

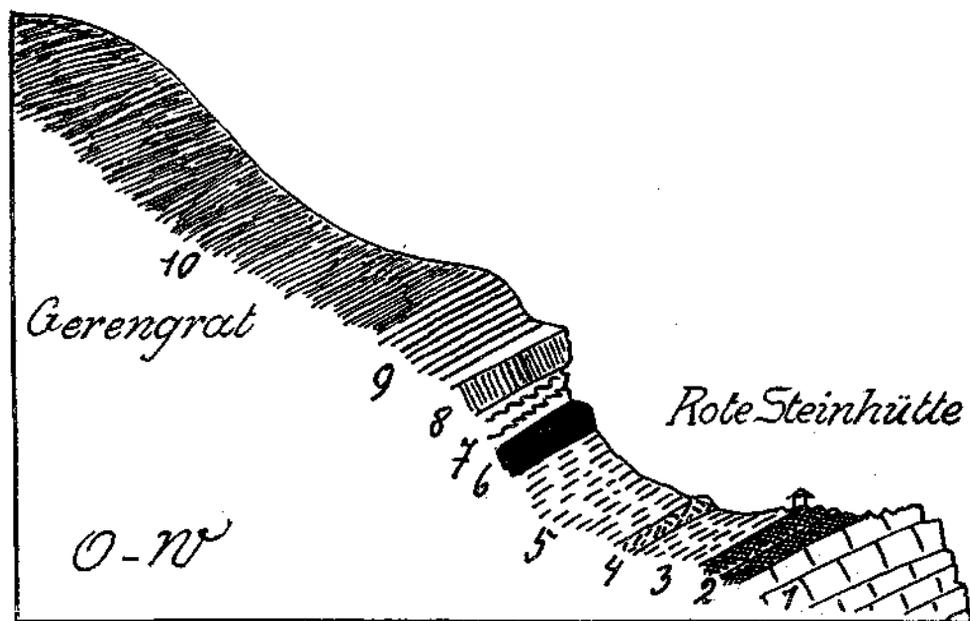


Fig. 6. Gerengrat. 1 = Oberrätischer Kalk. 2 = Rote ammonitenreiche Liaskalke, viele Belemniten, durchbewegt. 3 = Grauer Breccienkalk, spätig, graue Hornsteinwüchserungen. 4 = Fleckenmergel. 5 = Grüne wohlgeschichtete Hornsteinkalke. 6 = Rote wohlgeschichtete Hornsteinkalke. 7 = Rote knollige, flaserige Tithonkalke. 8 = Graue Kalke mit einem dünnen mattroten Band. 9 = Festere Kreideschiefer. 10 = Weichere Kreideschiefer.

Erst allmählich gehen daraus die eigentlichen Fleckenmergel, graue, gelblich verwitternde, mergelige Kalke, kalkige Mergel hervor, welche im frischen Bruch die charakteristischen dunkleren Flecken aufweisen.

Diese ganze Schichtgruppe führt an Versteinerungen vor allem Ammoniten, Belemniten und Inoceramen. Im Hangenden der Liasfleckenmergel stellt sich eine Zone von oberjurasischen Gesteinen ein, welche bei ungestörter Entwicklung von unten nach oben von grünen und roten wohlgeschichteten Hornsteinkalken, roten, knolligen, flaserigen und grauen, rotgebänderten Tithonkalken aufgebaut sind. Die Tithonkalke haben sich am benachbarten Flexenpaß als ziemlich fossilführend erwiesen. Während wir bisher in dem ganzen mächtigen Schichtenstoß vom Buntsandstein bis zum Tithon keine größere Schichtlücke, sondern ziemlich ununterbrochene Meeresablagerungen übereinander gefunden haben, hört dies mit Ende der Jurazeit auf und wir stehen vor einer

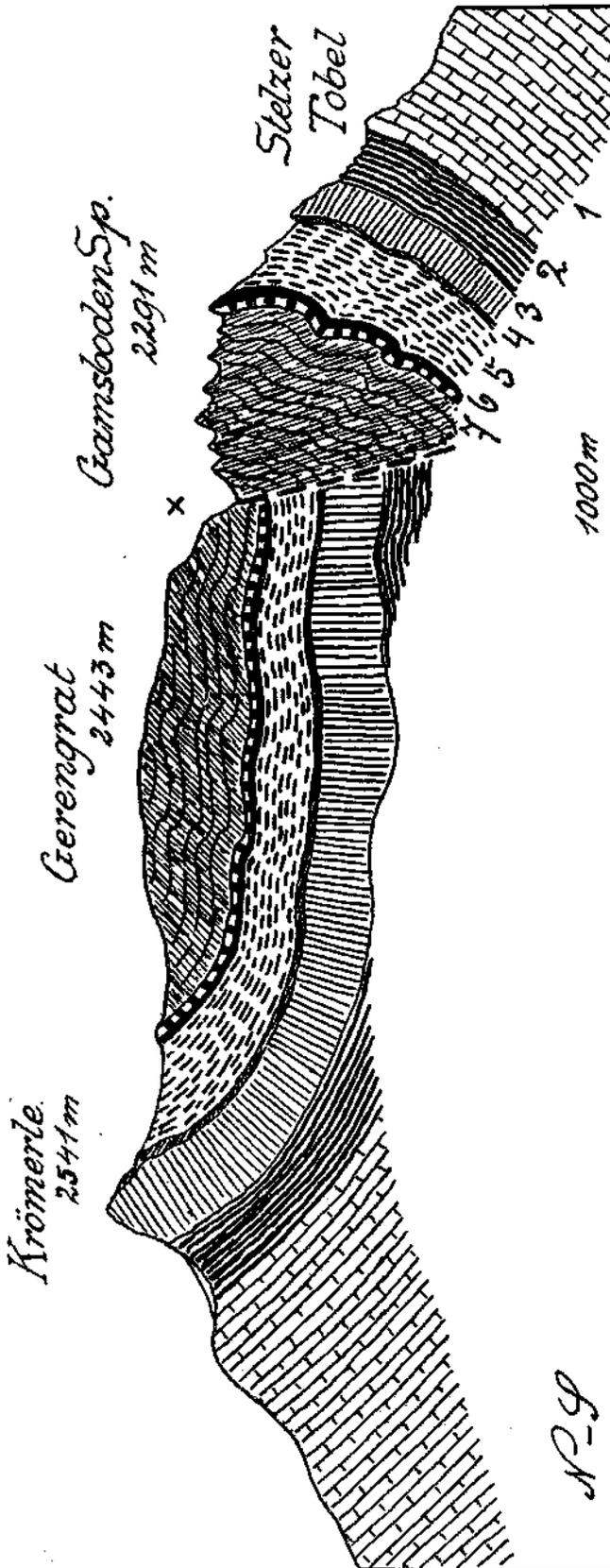


Fig. 7. 1 = Hauptdolomit. 2 = Kössener Schichten. 3 = Oberjüdischer Kalk. 4 = Bunte Liaskalke. 5 = Fleckenmergelserie. 6 = Hornsteinkalke = Titbonkalke. 7 = Kreideschiefer. X = Foraminiferenverwertung.

großen Schichtlücke. Es fehlen die Ablagerungen der unteren und wohl auch eines großen Teiles der mittleren Kreide.

Mit einer weiten Transgression, welche z. B. zu beiden Seiten des Flexenpasses prachtvoll zu sehen ist, breiten sich über das offenbar nur flach eingeschnittene Landrelief nun die sogenannten Kreideschiefer aus, welche für das Spullersee-Seebeckwerk von entscheidender Bedeutung wurden, da sie allein die Abdichtung des Seebeckens bewirken.

Die Transgression dieser Kreideschiefer, welche wohl zum großen Teil den Zenomansschichten angehören, ist vielfach so flach, daß man von einer Paralleltransgression sprechen kann. Auf den Profilen, Fig. 4—5—6, tritt diese Parallellage zum Oberjura deutlich hervor. An anderen Stellen erkennt man aber deutlich eine beträchtliche Abtragung. An solchen Stellen beginnen dann auch die Kreideschiefer mit kalkig verkitteten Breccien, in welchen das Bindemittel an Masse die eingeschlossenen Gesteinsstücke überwiegt.

Auf den Verwitterungsflächen dieser

eigenartigen Kalkbreccie sind ziemlich häufig kleine schwarze Fischzähne freigelegt. Zudem ist dieses Gestein reich an Foraminiferen.

Die Hauptgesteinsmasse der Kreideschiefer besteht aber aus tiefschwarzen Mergeln, aus sandigen Mergeln, Sandsteinen, Breccien, seidenglänzenden feinen Schiefen.

Diese Schichtfolge erreicht, wie Fig. 7 zeigt, eine beträchtliche Mächtigkeit, wobei zu bedenken ist, daß wir ihren oberen natürlichen Abschluß nirgends kennen. Da sie in unserem Gebiete nur in tieferen Mulden oder unter Schubmassen noch erhalten sind, wissen wir weder wie mächtig sie eigentlich waren, noch ob darüber noch jüngere, vielleicht schon tertiäre Schichten jemals zum Absatz gekommen sind.

An zwei Stellen haben sich in der Nachbarschaft noch Ablagerungen gefunden, die man mit einiger Wahrscheinlichkeit den sogenannten Gosauschichten zuweisen kann.

Es sind dies Breccien und Konglomerate aus Hauptdolomit, von denen der eine Rest am Gipfel der Valluga, der andere,

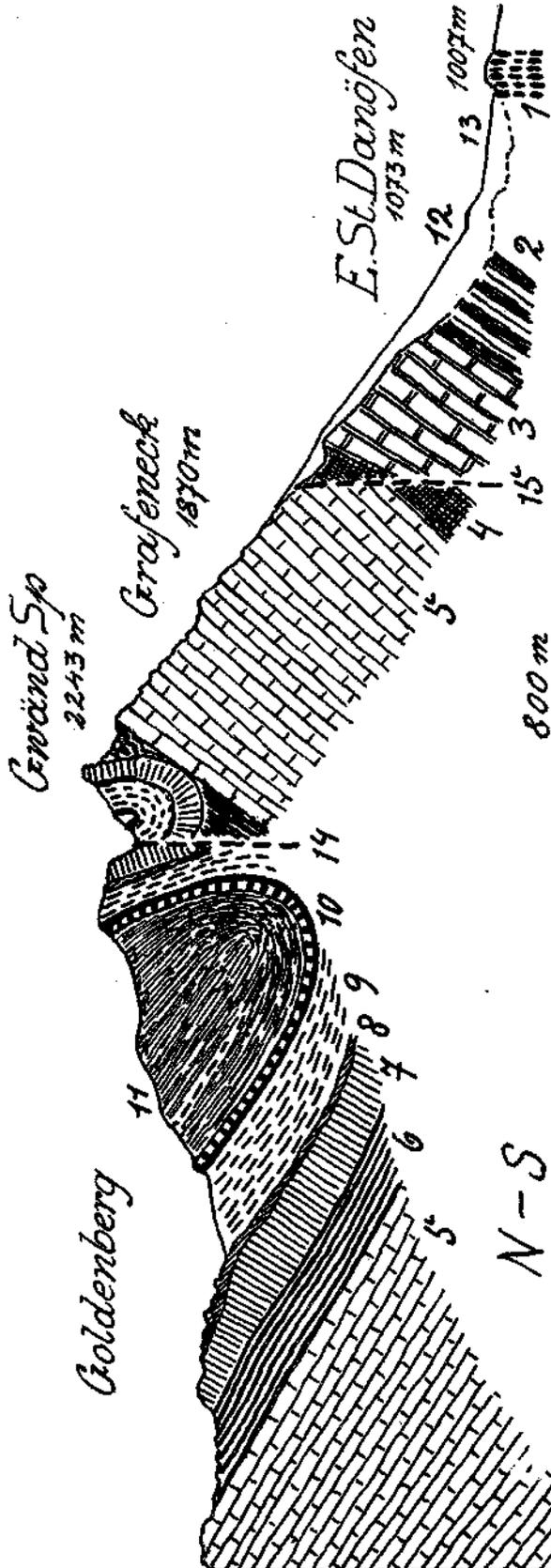


Fig. 8. 1 = Weißlicher, hellgrauer Quarzit. 2 = Tonschiefer und Kalke der Partnach Schichten. 3 = Kalk- und Dolomittagen der Arberg-Schichten. 4 = Mergel, Leiten, Kalkschiefer, dunkle Kalke, Raubwacken-Kaibler Schichten. 5 = Hauptdolomit. 6 = Kässener Schichten. 7 = Oberer Kalk. 8 = Rote Liaskalke. 9 = Fleckenmergel. 10 = Hornsteinkalke - Tithonkalke. 11 = Kreideschiefer. 12 = Mächtiger, wahrscheinlich interglazialer Schuttkegel. 13 = Schuttkegel des Sprenbach-Tobels. 14 = Forminverwerfung. 15 = Kleiner Verwerfung.

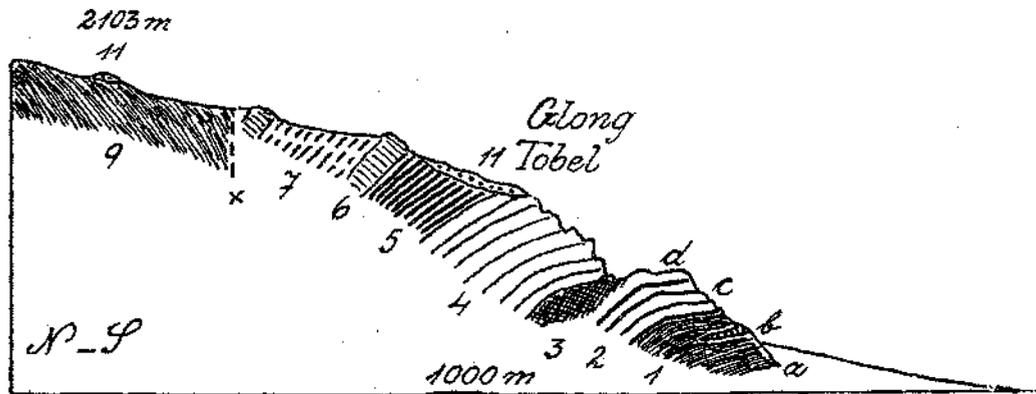
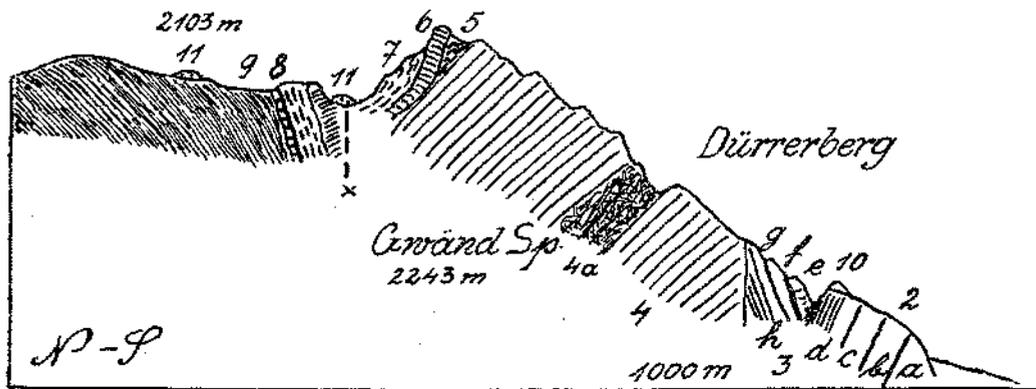
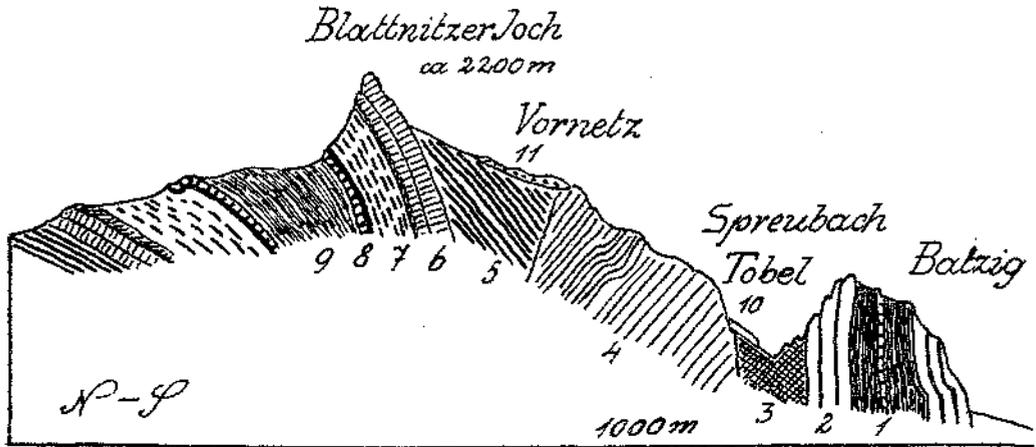


Fig. 9. Spreubach Tobel. 1 = Tonschiefer, Mergel und Kalklagen der Partnach-Schichten. 2 = Dunkle, dickbankige Kalke mit Tonschieferfugen - Arlberg-Kalke. 3 = Raibler Schichten - Rauhwacken, Dolomitmylonit, Sandsteine. 4 = Hauptdolomit. 5 = Kössener Schichten. 6 = Oberrätische Kalke mit Liasband. 7 = Fleckenmergel. 8 = Hornsteinkalke, Tithonkalke. 9 = Kreideschiefer. 10 = Rest einer Gehängebreccie. 11 = Blockmoränen.

Dürrer Berg. 2 = Arlberg-Schichten. a = Fester, grauer, ungeschichteter Kalk. b = Tonschieferlage 4-5 m; c = Dunklere geschichtete Kalke. d = Schwarze, feste, wohl geschichtete Kalke. 3 = Raibler Schichten e = Dunkler kristalliner Kalk. f = Tonschieferlagen. g = Dunkle Kalke. h = dunkle, schwarze, geschichtete Kalke. 4 = Hauptdolomit. 4a = Mylonitzone. 5 = Kössener Schichten. 6 = Oberrätischer Kalk. 7 = Fleckenmergel. 8 = Hornstein- und Tithonkalke. 9 = Kreideschiefer. 10 = Rest eines alten Schuttkegels aus Hauptdolomit. 11 = Moränenwall.

Glong Tobel. 1 = Partnach-Schichten a = Dünnschichtige, schwärzliche Tonschiefer. b = Helle und dunkle graue Kalklagen. 2 = Arlberg-Schichten c = Wechsel von Kalk- und Tonschieferlagen. d = Dünne dunkle Kalke und Tonschiefer. 3 = Raibler Schichten, zirka 20 m Gips - rötliche, dünne Kalkschiefer - Dolomitmylonit. 4 = Hauptdolomit. 5 = Kössener Schichten. 6 = Oberrätischer Kalk. 7 = Fleckenmergel. 9 = Kreideschiefer. 11 = Moränenwall. x = Formarinverwerfung.

wie Fig. 1 angibt, auf der Stufe des Brazersteins erhalten liegt. Diese Schichtreste kann man am wahrscheinlichsten als Ausläufer jenes langen Zuges von Oberkreideablagerungen auffassen, der vom Muttekopf über Stans — Eisenspitze — Valluga bis zur Davenna zu verfolgen ist. Damit ist der Vorrat an Meeressedimenten erschöpft. Was noch an jüngeren Ablagerungen hier vorhanden ist, gehört ausschließlich zu den Landablagerungen. Ihr Vorrat ist ziemlich gering und von ganz jungem Alter.

Es kommen dabei Ablagerungen der Gletscher, Gehänge- und Bachschutt sowie Seeablagerungen in Betracht.

Am ausgedehntesten und mächtigsten sind die Hang- und Bachschuttkegel.

Der große Schuttkegel des Dürrenbergs ist schon bei der Beschreibung des Hauptdolomits erwähnt worden.

Er dürfte wohl interglaziales Alter besitzen. Er entspricht ganz dem östlich benachbarten Schuttkegel an der Südseite des Balzig, welcher von dem Spreubachtunnel durchstoßen wird. Ich fand hier zwischen Schuttkegel und Grundgebirge ein kleines Vorkommen von gekritzten Geschieben.

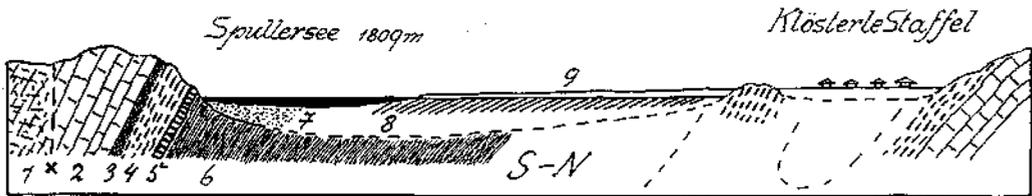


Fig. 10. 1 = Hauptdolomit. 2 = Oberrätischer Kalk. 3 = Rote Liaskalke. 4 = Hornsteinkalke — Fleckenmergel. 5 = Tithonkalke. 6 = Kreideschiefer. 7 = Blaugrauer, zäher Schlick mit Holzstücken und Knochen. 8 = Feiner sandiger Schutt mit größerem Schutt wechselnd — Deltaschüttung des Seebaches. 9 = Horizontale oder wenig geneigte Bachschuttlagen mit einzelnen unreinen Torfschichten. x = Formarinverwerfung. Der Hohlraum des Seebeckens ist etwas übertrieben tief gezeichnet.

Wenn man diese Erfahrung auf den viel größeren Schuttkegel des Dürrenberges übertragen darf, so würde seine Bildung im wesentlichen eine interglaziale sein, da über die Oberfläche dieses Kegels und die darüber aufragenden Felshänge erratisches Gesteinsmaterial der letzten Eiszeit verbreitet liegt. Es handelt sich dabei vor allem um Blöck von roten Liaskalken, welche nur das Eis hiehergeschleppt haben kann.

Die Mächtigkeit dieses Schuttkegels ist eine große. Durch einen Probestollen von 27 m Länge wurde in zirka 1400 m Höhe der Felsgrund ebensowenig erreicht wie durch einen Stollen von 54 m Länge in zirka 1100 m Höhe oberhalb der Station Danöfen.

Profil Fig. 8 bringt einen Querschnitt durch die Mitte dieses großen Schuttkegels und Fig. 9 einen östlich davon verlaufenden Schnitt.

Hier sieht man auch einen Rest unseres großen Schuttkegels, der durch einen tiefen Seitengraben ganz von seinem Nährgebiet abgetrennt wird.

Der Schuttkegel muß also älter als dieser Graben sein.

Das Material des Schuttkegels besteht vorzüglich aus Hauptdolomit und ist gut nach der Größe und Höhenlage sortiert. Bei dem Probe-

stollen in 1400 m Höhe war die Durchschnittslänge der Bruchstücke nur zirka 2 cm. Reste eines stärker verkitteten Schuttkegels aus derselben Bildungszeit finden sich an der Nordseite des Spullerseebaches.

Durch die künstliche Absenkung des Spullersees wurde ein Einblick in seine Sedimentation eröffnet.

Wie Fig. 10 vorführt, besteht die Seesedimentation hier aus zwei sehr verschiedenen Schuttkörpern. Am Südufer, unmittelbar den prachtvoll geschliffenen Felsen auflagernd, tritt ein feiner, zäher, blaugrauer Schlamm auf, welcher auf die Seespiegelsenkung gleich mit staffelförmigen Abrutschungen antwortete. In diesem Schlamm wurden verschiedene Knochen, darunter eine zirka 2 m lange Geweihstange eines Riesenhirsches, gefunden. Leider ist eine von mir angeregte Durchbohrung dieses Schlammlagers nicht zur Ausführung gebracht worden.

An der Nordseite des Spullersees schiebt sich ein großer Schuttkegel herein. Durch die Absenkung blieb dieser Schuttkegel ungestört, wohl aber schnitt sich der Seezufluß in kurzer Zeit ziemlich tief in denselben hinein. Dabei zeigte sich, daß dieser aus feinerem Sand und größerem Schutt bestehende Kegel eine doppelte Struktur besitzt. Der größere, tiefere Teil desselben weist eine normale Deltaschüttung auf, während der obere Teil ganz flach darüber gebreitet erscheint und einzelne unreine Torfstreifen enthält. Was nun die Altersverhältnisse anlangt, so haben wir in dem Feinschlamm offenbar die älteste Ablagerung vor uns, welche unmittelbar auf dem blank ausgeschliffenen Felsboden ruht.

Dies ist um so auffallender, als gleich südlich davon auf der blank geschliffenen Seeschwelle Grundmoräne mit gekritzten Geschieben und Blöcken größtenteils die Schiffe überdeckte. Ich hatte den Eindruck, daß die Hauptmasse des Schlammlagers älter als die letzte Vergletscherung und diese über den Schlamm vorgedrungen ist.

Da aber anderseits die geschliffene Felsoberfläche unter das Schlammlager eintaucht, käme man für die Schlammbildung auf ein interglaziales Alter.

Wenn das stimmt, so würde der Deltaschutt erst eine postglaziale Zuschüttung des vom Eise wieder freigegebenen Hohlraumes bedeuten.

Die Ablagerungen, welche die Gletscher selbst in diesem Gebiete hinterlassen haben, sind ziemlich bescheiden.

Sie gliedern sich in Grundmoränen, Blockmoränen und erratisches Blockwerk. Die Grundmoränen sind nur spärlich erhalten geblieben. Sehr schön waren dieselben bei der Abdeckung der südlichen und nördlichen Seeschwelle aufgeschlossen.

In der ganzen Umgebung des Spullersees enthalten diese Grundmoränen nur einheimisches kalkalpines Material mit Ausnahme einer Stelle, welche ich im Jahre 1908 auf dem Wege vom Spullersee gegen das oberste Lechtal entdeckte.

Am rot markierten Weg, der von der Dalaaser Staffel am Nordwestfuß des Schaffberges ins Lechtal hinableitet, liegt bei 1640 m eine Grundmoräne, die zahlreiche zentralalpine Gesteine, vor allem Gneise, enthält.

Das Vorkommen ist ganz beschränkt und stellt zwischen den großen, rein kalkalpinen Grundmoränen des obersten Lechtales eine seltene Oase dar.

Es gibt dafür wohl kaum eine andere Deutung, als daß es sich nicht um eine Grundmoräne der letzten Vergletscherung, sondern um eine ältere handelt.

Während bei der letzten Vergletscherung die Eisbewegung vom Spullersee gegen das Klostertal, also von N gegen S gerichtet war, muß bei der älteren Vergletscherung eine Strömung von S gegen N gewesen sein.

An die letzte Vergletscherung waren in unserem Gebiete noch einige Rückzugsstadien angeschlossen.

Einen guten Einblick in ihre Gliederung erhält man, wenn man vom Spullersee dem Alpbach zur Brazer Staffel folgt und von dort in das Hohe Kar nördlich von der Roggalspitze — 2670 *m* — zur Hinteren Wildgrubenspitze — 2756 *m* — emporsteigt.

Unmittelbar vor der Brazer Staffel begegnen wir einem untersten Moränenwall bei zirka 1920 *m* Höhe.

Wesentlich größere Moränenwälle liegen dann zwischen 2000 und 2100 *m*.

In dem Hohen Kar der Hinteren Wildgrube entdecken wir endlich noch drei getrennte Wälle, von denen der oberste bei zirka 2400 *m* am Fuße eines kleinen dauernden Eisfeldes lagert.

Die Längserstreckung dieser fünf Stadien beträgt dabei nur wenig über 2 *km* bei einem Gefälle von zirka 500 *m*.

Der Gletscher, welcher die Grundmoränen und Blöcké auf der Südschwelle des Spullersees zurückließ, ist natürlich viel tiefer hinabgestiegen. Er hinterließ nicht nur die großen Blockmoränen auf dem Plateau des Vornetz, sondern wahrscheinlich auch die mehrfachen Wälle, welche sich von der Mündung des Spreubachtobels an der Ostseite seines Schuttkegels von zirka 1150 bis 1050 *m* herabziehen.

Das würde als Ende einem Talgletscher von zirka 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> *km* Länge und zirka 1400 *m* Gefälle entsprechen.

Nach dem Rückzug des Eises hat sich auf der Nordschwelle des Spullersees ein Torflager von 3 *m* Mächtigkeit gebildet. Der Torf lag unmittelbar auf glatt geschliffenen Fleckenmergeln, welche darunter völlig ausgebleicht und zermürbt waren. Er wurde abgebaut und im Winter als Heizmaterial verwendet.

Damit ist das Wichtigste über jene Ablagerungen angeführt, welche die Bausteine des Gebirges in der Umgebung des Spullersees bilden.

Wir haben uns nun mit jenen Formen zu beschäftigen, welche die Tektonik aus diesem Baumaterial geschaffen hat.

Dabei sehe ich hier von einer Besprechung der regionalen Tektonik im allgemeinen ab und begnüge mich mit einer Beschreibung der lokalen Bauverhältnisse.

Die natürliche Südgrenze unseres Gebietes stellt jene steil aufgerichtete Fläche her, längs welcher die nördlichen Kalkalpen unmittelbar an die kristallinen Schiefer der Silvretta stoßen.

Ihre Steilstellung ist gewiß keine ursprüngliche, sondern eine erst später erworbene Eigenschaft. Verfolgt man diese Fläche gegen O,

so schaltet sich jenseits des Arlbergs das mächtige und kompliziert gebaute System der Landecker Quarzphyllite ein. Es ist noch fraglich, ob die Ausschaltung dieser mächtigen Schichtgruppe durch tektonische Abscherung oder bereits durch eine paläozoische Erosion erfolgt ist.

Die sicher transgredierende Ablagerung des Verrucano enthält keine Aufbereitungstrümmer der Quarzphyllitserie, sondern Schiefer und Dolomite sowie rote Quarze von unbekannter Herkunft. Ebensowenig kann das Material des Buntsandsteins von der Zerstörung einer Quarzphyllitdecke abgeleitet werden.

Das scheint für eine tektonische Entstehung der großen Schichtlücke an der Grenze von Kalk- und Zentralalpen zu sprechen.

Während die Gneise, Granite und Amphibolite der Silvretta ganz steil aufgerichtet und engstens zusammengepreßt sind, zeigen die nördlichen Kalkalpen hier einen viel lockeren Faltenwurf.

Es bedürfte noch einer ganz gewaltigen Zusammenpressung, bevor in den Kalkalpen eine ähnliche Struktur zustande kommen würde.

Das Hauptbauelement im Bereiche des Spullerseees ist eine tiefe Mulde, welche sich sowohl nach O als auch nach W noch weithin fortsetzt.

Diese Mulde stößt im S mit dem Zwischenglied eines bescheidenen Sattels an das Kristallin der Silvretta.

Die Mulde selbst umspannt die ganze Schichtfolge und enthält im Kerne noch die Kreideschiefer. Ihr Bau ist ausgesprochen einseitig. Der Südflügel ist nicht nur steiler aufgerichtet, sondern vielfach sogar überkippt. Der Nordflügel zeigt zwar ein weniger steiles Einfallen, ist aber dafür durch mehrfache Überschuppungen kompliziert.

Es ist aber auch der Bau der Mulde in der Streichrichtung durchaus nicht ungestört. Hier zeigt sich folgende auffallende Erscheinung.

Die Mulde, in welcher der Spullersee liegt, geht nicht einfach gegen O in die Mulde des Flexenpasses über, sondern es ist dazwischen eine hohe Querwölbung eingeschaltet, welche von SO gegen NW streicht. Fig. 11 zeigt diese Verhältnisse in einem ostwestlichen Schnitt von der Spullerseealpe nach Zürs.

Es zeigt dieser Schnitt aber neben der Muldenzerlegung auch noch andere wichtige Befunde.

Die reichgegliederte Schichtfolge der beiden Mulden verarmt ganz deutlich gegen die mittlere Aufwölbung zu.

Das heißt mit anderen Worten, entweder ist diese mittlere Aufwölbung schon alt und war bereits zur Zeit der Sedimentation der Juraschichten als trennende Erhebung vorhanden oder sie ist später so stark emporgepreßt worden, daß die seitlich anliegenden Schichten dagegen zurückblieben.

Eine weitere wichtige Tatsache lernen wir dann in diesem Querschnitt durch die prächtig aufgeschlossene Schubmasse der Hasenfluh kennen.

Dieselbe besteht vorzüglich aus ungeschichtetem Hauptdolomit und Kreideschiefern. Die Grenze der Überschiebung ist um den ganzen alleinstehenden Berg herum fast lückenlos zu verfolgen.

Die Tatsache dieser Überschiebung unserer Mulde, welche hier in seltener Klarheit zu erkennen ist, hilft uns, manche sonst schwer verständlichen Eigentümlichkeiten der Spullersee mulde zu begreifen.

Die Einfachheit dieser Mulde ist nämlich durchaus keine ursprüngliche, sondern nur eine scheinbare, dadurch entstanden, daß eine tiefgreifende Erosion vielfach die komplizierten Ränder ganz entfernt hat.

An einigen Stellen ist aber doch noch so viel erhalten geblieben, um wenigstens eine schwache Vorstellung von der hochkomplexen Muldenstruktur zu erhalten.

Am Südrand unserer Mulde sind die entscheidenden Aufschlüsse am Spullerseealpkopf noch vor der Abtragung bewahrt geblieben.

Fig. 12 gibt eine Profilansicht der Westseite dieses merkwürdigen Berges wieder. Wir erkennen fünf Tauchfallen, welche ihre Stirnen von S her übereinander in die Kreideschiefer der Spullersee mulde hineinbohren.

Das Bild erinnert vollkommen an die Schweizer Verhältnisse und stellt meines Wissens die einzigen deutlichen Tauchfallen der Ostalpen dar.

Es ist wohl klar, daß diese Tauchfallen nicht mit einer einfachen Muldenbildung zu erklären sind.

Ich glaube, daß es sich hier um Walzfallen und Einrollungen handelt, welche bei der Überschiebung jener großen Schubmasse entstanden, von der wir einen kleinen Rest an der Hasenfluh kennen gelernt haben.

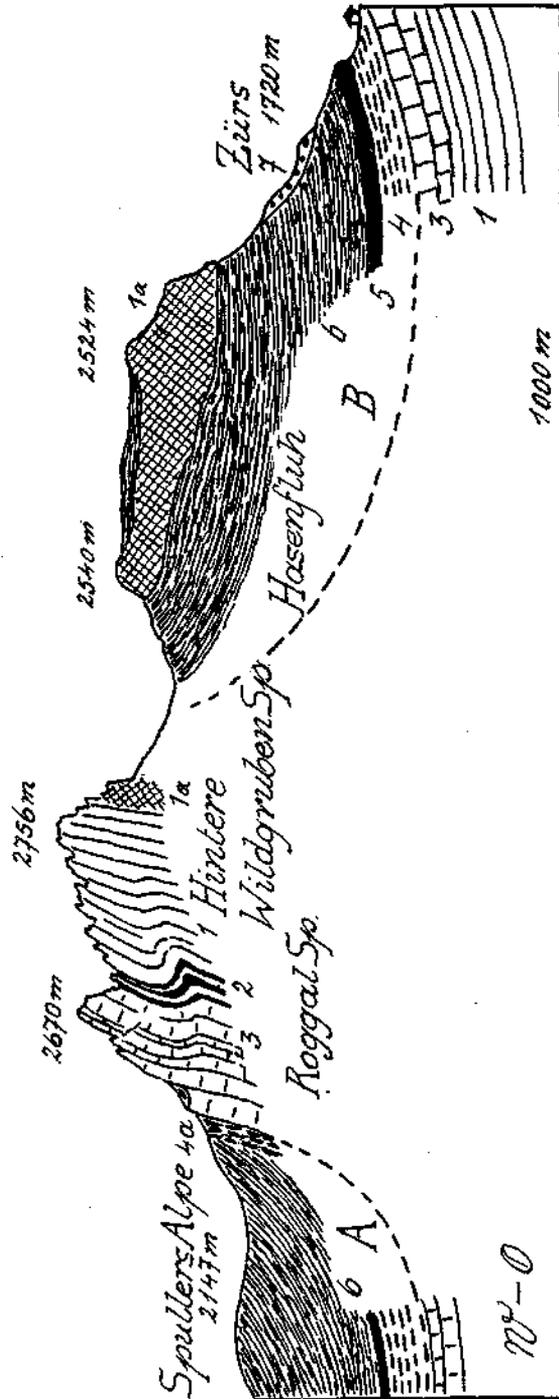


Fig. 11. 1 = Hauptdolomit, 1a = Ungeschichteter Hauptdolomit, 2 = Kässener Schichten, 3 = Oberflächliche Kalke, 4 = Fleckenmergel, 4a = Hornsteintreife untere Lagen der Fleckenmergel, 5 = Rote und graue Tithonkalke, 6 = Kreideschiefer, 7 = Moränenwalle.

Durch die Einschubung dieser gewaltigen Masse wurden aber nicht nur am Südrande der Spullersee mulde die eben geschilderten Tauchfalten, sondern auch am Nordrande Verschüppungen und Verfaltungen

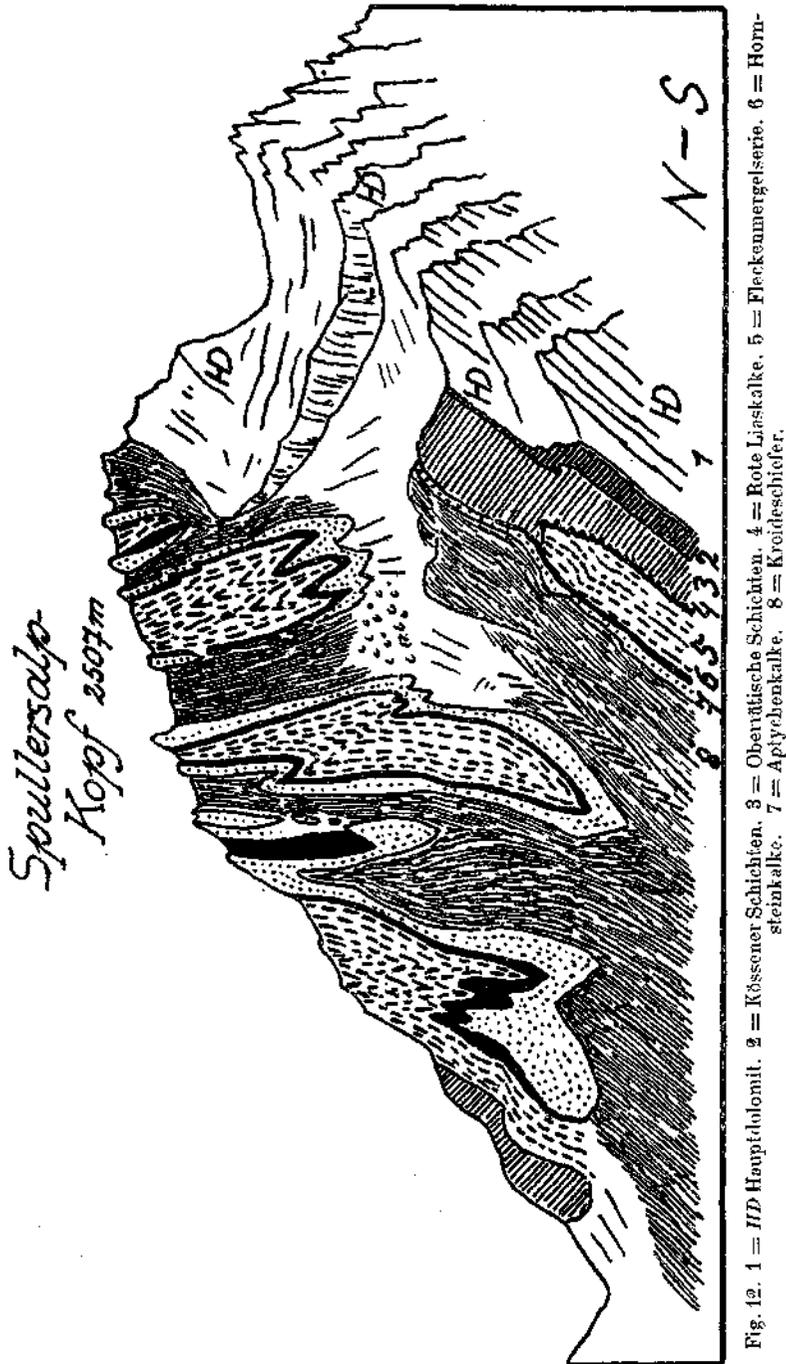


Fig. 12. 1 = HD Hauptdolomit. 2 = Kössener Schichten. 3 = Oberäolische Schichten. 4 = Rote Liaskalke. 5 = Fleckenmergelserie. 6 = Hornsteinkalke. 7 = Apythenkalke. 8 = Kreideschiefer.

geschaffen, von denen die Profilansicht der Ostseite der Schafbergspitze — Fig. 13 — eine Vorstellung entwirft.

Diese Erscheinungen einer intensiven Störung der an sich einfachen Muldenform begleiten diese Kreidemulde auf ihrer ganzen Erstreckung

aus dem Gebiete der Parseierspitz-Gruppe bis zu ihrem Westende in der Scesaplana-Gruppe. Reste von Tauchdecken, welche in den Kreide-

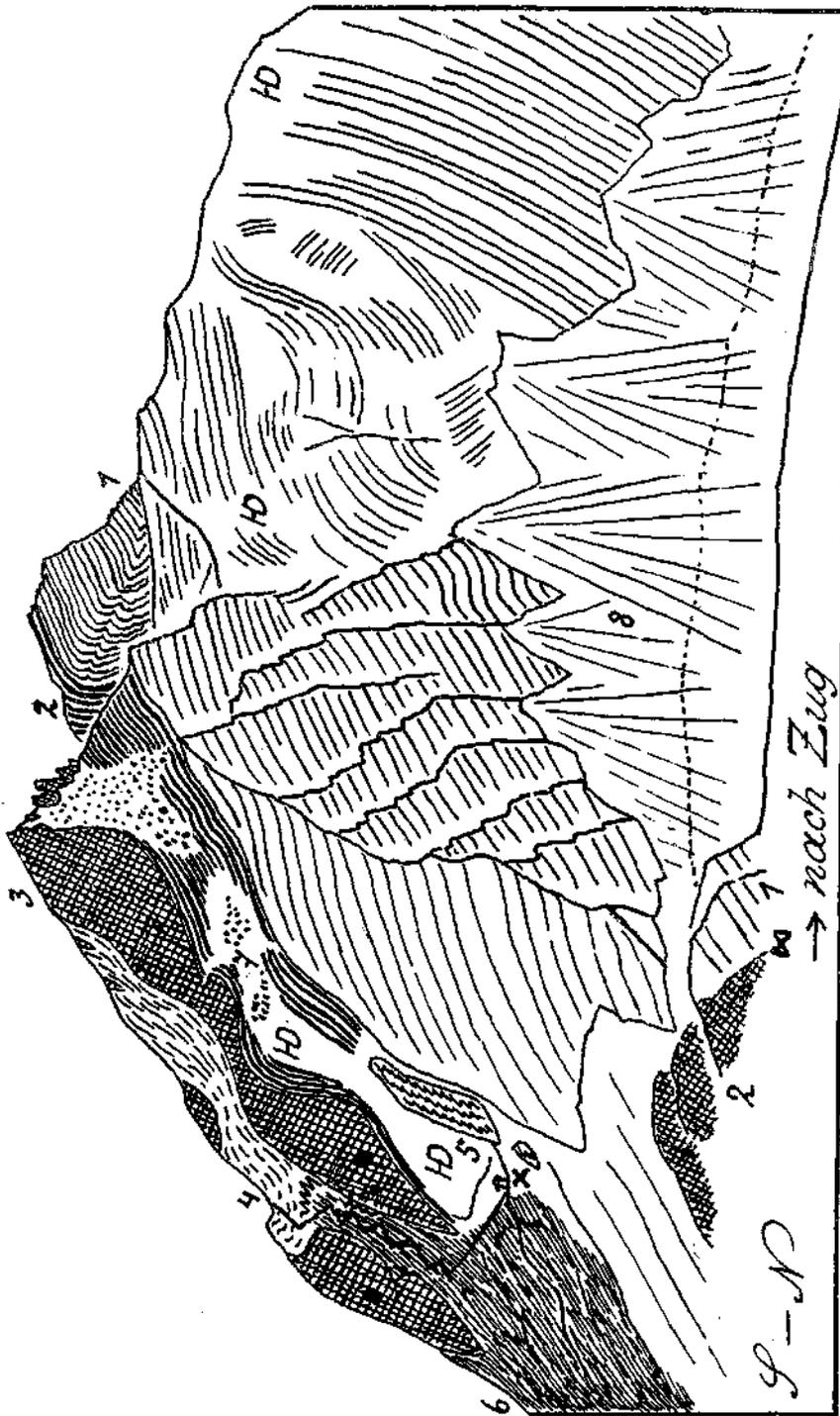


Fig. 13. Ansicht der Schafberggruppe von Osten. X = Ravensburger Hütte. 1 = HD Hauptdolomit. 2 = Krüssener Schichten. 3 = Oberrätischer Kalk. 4 = Fleckenmergel, Hornsteinkalke, rote Liaskalke. 5 = Aplychenkalke. 6 = Kreidestiefen. 7 = Kreideschiefer. 8 = Blockmoränen. 8 = Schutthalden. HD = Formationsstörung. ■ = (große) Schubbflächen mit horizontaler Streifung.

schiefern stecken, bilden z. B. auch die kühne Rockspitze und den Gipfel des Stanzkogels.

An der Stelle, wo der Spullersee liegt, erscheint unsere Mulde besonders stark zusammengepreßt, während sie gleich östlich und westlich wesentlich breiter und flacher wird.

Fig. 7 zeigt einen Schnitt durch den flachen und breiteren Muldentheil westlich von dem Spullersee.

Dieser Schnitt macht zugleich mit jener großartigen Verwerfung bekannt, welche in ihrem weiteren Verlaufe auch noch für die Spullersee mulde von Bedeutung ist.

Die Verwerfung, welche auch den Formarinsee schneidet und danach als „Formarinstörung“ bezeichnet wird, hat eine recht merkwürdige Gestaltung.

Sie kommt aus dem Gebiete der Lagutzalpe und zieht als mehrteilige Störung nahezu geradlinig schräg von NW gegen SO bis in den Hintergrund des Radonatobels. Hier ändert sie ihre Richtung fast in eine ost-westliche um und läßt sich so aus dem Radonatobel zwischen Gerengrat und Gamsbodenspitze — Fig. 7 — über Glong zwischen Gwändspitze und Blattnitzerjoch hindurch — Fig. 8, 9, 10 — bis an die Südschwelle des Spullersees verfolgen.

Hier bewirkt sie noch den Ausfall der Kössener Schichten zwischen Hauptdolomit und oberrätischen Kalken. Die Spullersee Südschwelle ist von mehreren schräg von SW gegen NO verlaufenden Verschiebungen durchsetzt und diese scheinen die Fortsetzung der Formarinstörung zu bilden.

Dieselbe biegt also nach einem etwa 4 km langen ost-westlichen Verlaufe scharf gegen NO zu ab.

Sie läßt sich hier an der Ostseite des Spullersees und weiter an der SO-Flanke des Schafbergs vorbei an der Brazer Staffel bis ins Gebiet den Stierlochsalpe zusammenhängend nachweisen.

Am großartigsten aufgeschlossen ist die Formarinstörung im Hintergrund des Radonatobels.

Es ist mir in den nördlichen Kalkalpen kaum eine so klare und in so gigantischen Aufschlüssen geoffenbarte Verwerfung bekanntgeworden.

Sie dürfte hier auch ihre größte Sprunghöhe von etwa 600—700 m erreichen.

Wenn man das Profil — Fig. 7 — genauer betrachtet, so bemerkt man bald, daß es sich hier nicht allein um eine einfache Zerschneidung und Vertikalverstellung der zwei Muldenstücke handeln kann. Es paßt nämlich die Druckschieferung der Kreideschiefer in den beiden Muldenstücken nicht zusammen.

Die Druckschieferung im Bereiche der Gamsbodenspitze verläuft ungefähr parallel mit der Verschiebungsfläche, jene im Bereiche des Gerengrates steht aber fast senkrecht dazu.

Die Druckschieferung der Gamsbodenspitzen kann also nicht älter als die Verschiebung sein, sondern nur gleichzeitig oder jünger als diese.

Es haben aber auch noch Verschiebungen im Streichen hier stattgefunden. Das zeigt sich sehr deutlich an der S-Seite des Blattnitzerjochs. Während an der Westseite der Gwändspitze und an der Spullersee-Südschwelle die sonst mächtige Zone der Kössener Schichten fast ganz ausgequetscht ist, wurde dieselbe dafür dazwischen mächtig angeschoppt.

Der Druckstollen des Spullerseewerkes verläuft gerade durch diese Anschoppungszone und hat ihre komplizierte Struktur prächtig erschlossen. Eine andere Stelle, welche ebenfalls die Verschiebungen im Streichen der Störungszone beweist, liegt an der Südseite des Schafbergs.

Hier erhebt sich steil oberhalb der nun überfluteten Klösterlestaffel ein hoher Pfeiler aus oberrätischem Kalk und ein ähnlicher liegt etwas nordöstlich davon. Dazwischen leitet der Steig von der Ravensburger Hütte zum Gipfel des Schafberges empor.

Diese beiden auffallenden, hellen Kalkpfeiler zeigen nun gewaltige glatte Schubflächen, die mit horizontalen Rutschstreifen verziert sind. Hier liegen auch die Kreideschiefer unmittelbar diesen Schubflächen auf — Fig. 13.

Einen guten Einblick in die mannigfachen Bewegungen und verschiedenartigen Beanspruchungen, welche hier die Schichten unter dem

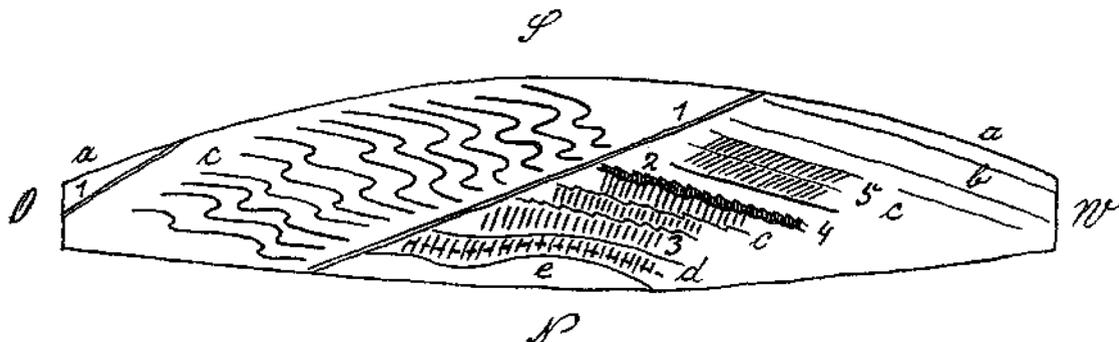


Fig. 14. Kartenschema der abgeräumten Südschwelle des Spullersees. 1 = Querverschiebungen. 2 = Weiße Längsklüfte mit Kalzitfüllung und lebhafter Fältelung O  $\leftrightarrow$  W. 3 = Querklüfte, schneiden an 2 ab oder sind davon geschleppt. 4 = Feine Querklüfte innerhalb von 2. 5 = Querschieferung und stellenweise Runzelung, fällt zirka 20°  $\rightarrow$  O. a = Oberrätischer Kalk. b = Roter Liaskalk. c = Fleckenmergelserie. d = Tithonkalk. e = Kreideschiefer.

Einfluß der Tektonik erfahren haben, gewährten die Abdeckungen und Abwaschungen der Sperrenfundamente im S und N des Spullersees.

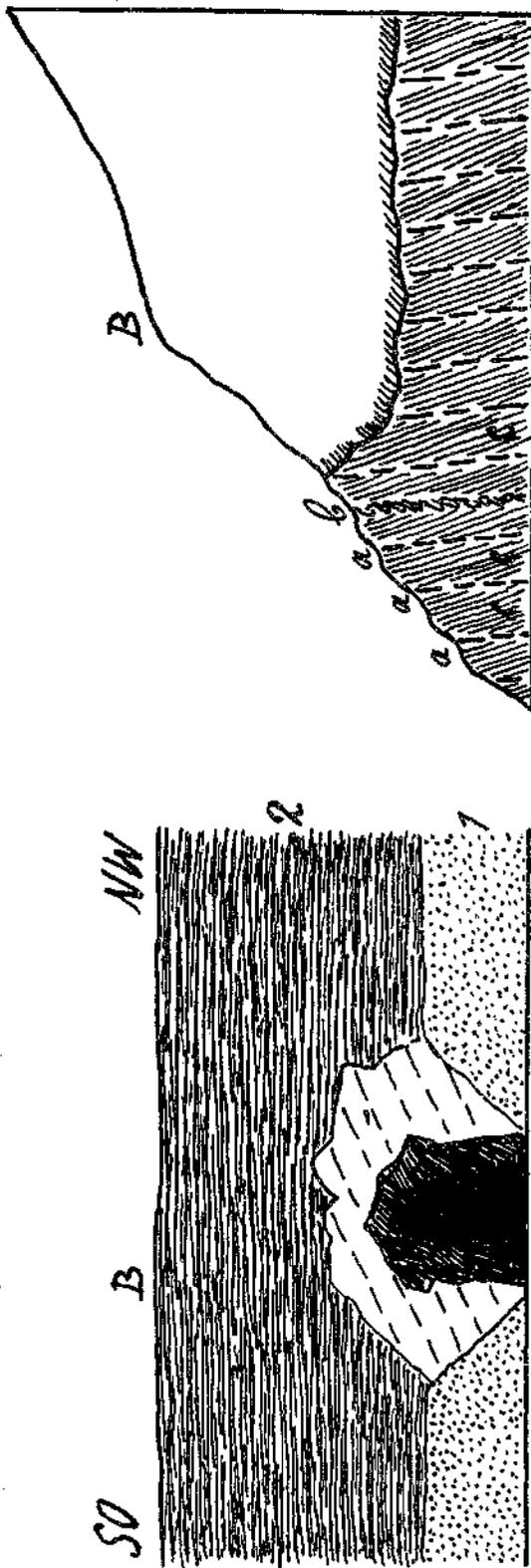
Fig. 14 gibt ein schematisches Bild dieser Verhältnisse im Bereiche der Südschwelle des Spullersees wieder.

Die schräg durchschneidenden großen Verschiebungsflächen gehören der Formarinstörung an, welche hier aus der OW-Richtung gegen NO zu abschwenkt. Sie ist hier jünger als die übrigen Strukturen, die sie alle samt und sonders abschneidet.

Seit der letzten Vergletscherung, welche diese Seeschwelle abgeschliffen hat, ist an diesen Verschiebungen keine Bewegung mehr nachweisbar. Es ist dies für den Bestand der großen darauf errichteten Sperre ein sehr wichtiger Befund.

Die Anordnung und Altersfolge der übrigen Strukturen erkennt man am einfachsten aus Fig. 14. Während alle älteren Spaltenbildungen mit schneeweißem Kalzit verheilt sind, fehlt der Formarinstörung eine solche Kalzitfüllung. Die Fugen sind hier mit zerquetschtem und zerriebenem Gesteinsmaterial dicht ausgeschmiert.

Sehr schön ausgebildet und erhalten sind eine Reihe von Strukturänderungen in den mattschwarzen feinkörnigen Kreideschiefern.



A Sollen zum Wasserschloss →

Fig. 15. 1 = Zäher Seeschlick. 2 = Kreideschiefer. Ansicht des Mundloches des Druckstollens bei abgesenktem Seespiegel. a = Schichtung der in frischem Bruche tiefschwarzen Kreideschiefer. Eintaufen = zirka 65% → S. b = Kalzitluft mit feingefalteten Kalzitbändern. Eintaufen = zirka 70% → S. c = Schieferung. Eintaufen = zirka 52% → S.

Die Zeichnung — Fig. 15 — gibt schematisch die Strukturen wieder, welche besonders gut am Mundloch des Druckstollens im Bereiche des abgesenkten Spullersees zu sehen waren.

Nach dieser kurzen Beschreibung und profilmäßigen Darstellung der wichtigsten tektonischen Ereignisse wende ich mich der Morphologie dieses Gebietes zu.

Wer mit der Eisenbahn die Strecke vom Arlberg nach Bludenz fährt und die Landschaft betrachtet, wird die Überzeugung gewinnen, daß die Nordhänge des Klostersales zu den steilsten und schroffsten Abhängen der nördlichen Kalkalpen gehören.

Wer dann von dem aussichtsreichen Bergkamm zwischen Kloster- und Silbertal bei klarem Wetter seine Blicke nach N wendet, wird erstaunt erkennen, wie hoch über jenen wildzerrissenen Talhängen eine andere breit- und mildgestufte Formenwelt sich öffnet, aus der sich dann erst die Hochgipfel wieder frei und stolz für sich aufrichten.

Der unmittelbare Eindruck und die wissenschaftliche Forschung bestätigen gleicherweise den gewaltigen Formenunterschied zwischen einer hochgelegenen ur-

alten Landoberfläche und einer bereits tief darein eingeschnittenen weit jüngeren bis jüngsten Talbildung.

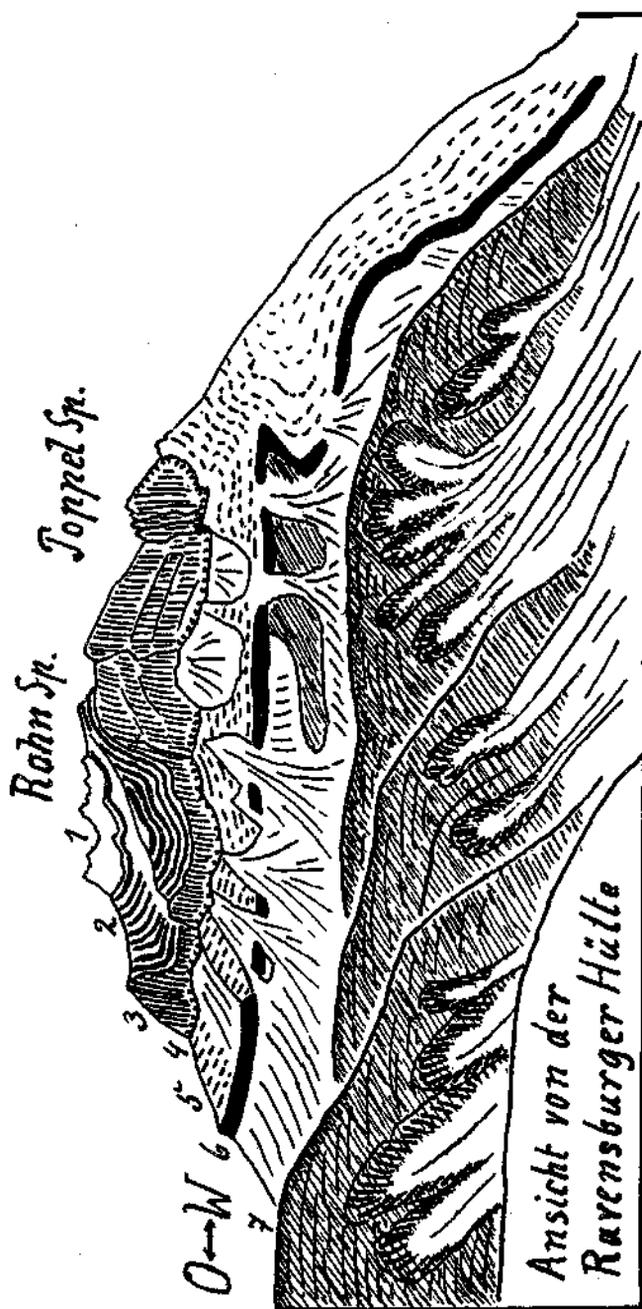


Fig. 16. 1 = Hauptdolomit. 2 = Kössener Schichten. 3 = Oberrätische Kalke. 4 = Bunte Liaskalke. 5 = Fleckenmergelerde. 6 = Hornstein- und Tithonkalke. 7 = Kreideschiefer. Die schraffierten Anhöhen im Vordergrund stellen eine alte Niveaufläche von zirka 2100 m Höhe vor, in welche das Becken des Spullersee um zirka 300 m tiefer eingeschnitten liegt. Die frischen Anbrüche zeigen einen neuerlichen Abbau dieses Niveaus an.

Der breite ganz in Gneise eingeschnittene Sattel des Arlberges gibt mit einer Höhenlage von 1802 m gleichsam die Hauptniveaueinstellung des alten Hochtalnetzes an.

Die prachtvolle alte Talfurche des Flexenpasses zeigt eine Sattelhöhe von 1784 m, der Spullersee liegt 1795, der Formarinsee 1793 m hoch. Eine große Zahl von Taleinschnitten, Talstufen, Bergschultern,

Felsterrassen . . . mit Höhenangaben in der Nachbarschaft von 1800 *m* beweisen uns, daß dieses Erosionsniveau in unserem Gebiete offenbar durch lange Zeit hindurch festgehalten wurde, so daß die Erosion Gelegenheit hatte, ziemlich in die Breite zu arbeiten.

Es wurde indessen dieses Niveau nicht so lange festgehalten, daß es etwa zur völligen Abtragung des höheren Gebirges und zur Schaffung einer Einebnung gekommen wäre.

Bei genauer Betrachtung zeigt sich nun, daß dieses Niveau von zirka 1800 *m* wohl das ausgeprägteste ist, aber auch noch höhere ältere und tiefere jüngere Niveaueinstellungen vorhanden sind. Schon zu beiden Seiten des Arlbergpasses finden wir zirka 200 *m* höher das schöne Niveau, auf dem die Albonseen, der Maiensee und der Arlensattel liegen. In der Umgebung des Spullersees finden wir z. B., wie Fig. 16 zeigt, ein gut ausgebildetes höheres Niveau bei zirka 2100 *m*, also 300 *m* über jenem des Spullersees.

Dasselbe Niveau ist auch im Hintergrund des Glongtobels und besonders schön im Hintergrunde des Radonatobels entwickelt — Fig. 17.

Hier gehört das prachtvolle Karrenfeld „Auf der Ganda“ — 2099 *m* und der breite Sattel hinüber zum Formarinsee — 2095 *m*, 2125 *m*, 2087 *m* — sowie das mächtige Plateau an der Ostseite der Rothewand — 2001 *m* bis 2091 *m* zu diesem Niveau.

Dasselbe wird vom Radonatobel mit einer gewaltigen 400 *m* hohen Wandstufe in einem Zuge unterschritten.

Die Reste von höheren Talfurchen und Hangverflachungen sind naturgemäß seltener und schlechter erhalten. An der Westseite des Gerengrates sehen wir z. B. zwischen 2200—2300 *m* auf Fig. 17 noch Reste einer höheren Talfurche.

Das Tiefschneiden von dem 1800-*m*-Niveau bis zur heutigen Talsohle der Alfenz, welche übrigens keine Felssohle, sondern eine Schuttsohle hat, scheint, an den Steilhängen gemessen, ohne besondere Haltestellen erfolgt zu sein. Untersucht man aber die tiefer eingeschnittenen Quertäler, so erkennt man unschwer eine Reihe von offenbar längeren Stillständen im Fortschreiten der Tiefenerosion.

Sehr schön sind solche Stufen z. B. beim Abstieg von der Freiburger Hütte am Formarinsee durch den Schmiedtobel zur Alfenz zu sehen. Der Felssattel, auf dem die Hütte steht, ist 1934 *m* hoch, doch zieht knapp östlich davon eine tiefere mit Moränenschutt verstopfte Furche durch.

Auf der nächst tieferen Stufe 1756—1780 *m* liegt die Rauhe Staffel-Alpe. Eine Steilstufe leitet zu der schönen Stufe der Mostrinalpe — 1451 *m* — hinunter. Von dort zeigt das enge Tal keine ausgesprochene Stufe mehr bis zu seiner Mündung bei zirka 780 *m*. Wohl aber finden wir östlich der Talfurche die Stufe von Hintergant 1183 *m*, westlich jene des Gafahr-Maiensäß von 1206 *m*.

Es beweist uns diese ausgesprochene Stufenleiter, daß wohl auch im Klostertal selbst die gewaltige Eintiefung nicht gleichmäßig, sondern unterbrochen von mehreren Halten zur Ausbildung kam.

Ganz anders verhalten sich die Täler, welche aus unserem Gebiete nordwärts dem Lech zufallen.

Der Lech entspringt etwa einen Kilometer östlich vom Formarinsee. Wenn die Höhenangaben der Originalkarte stimmen, so liegen seine Quellen zwischen 1800—1820 *m*, während der Spiegel des

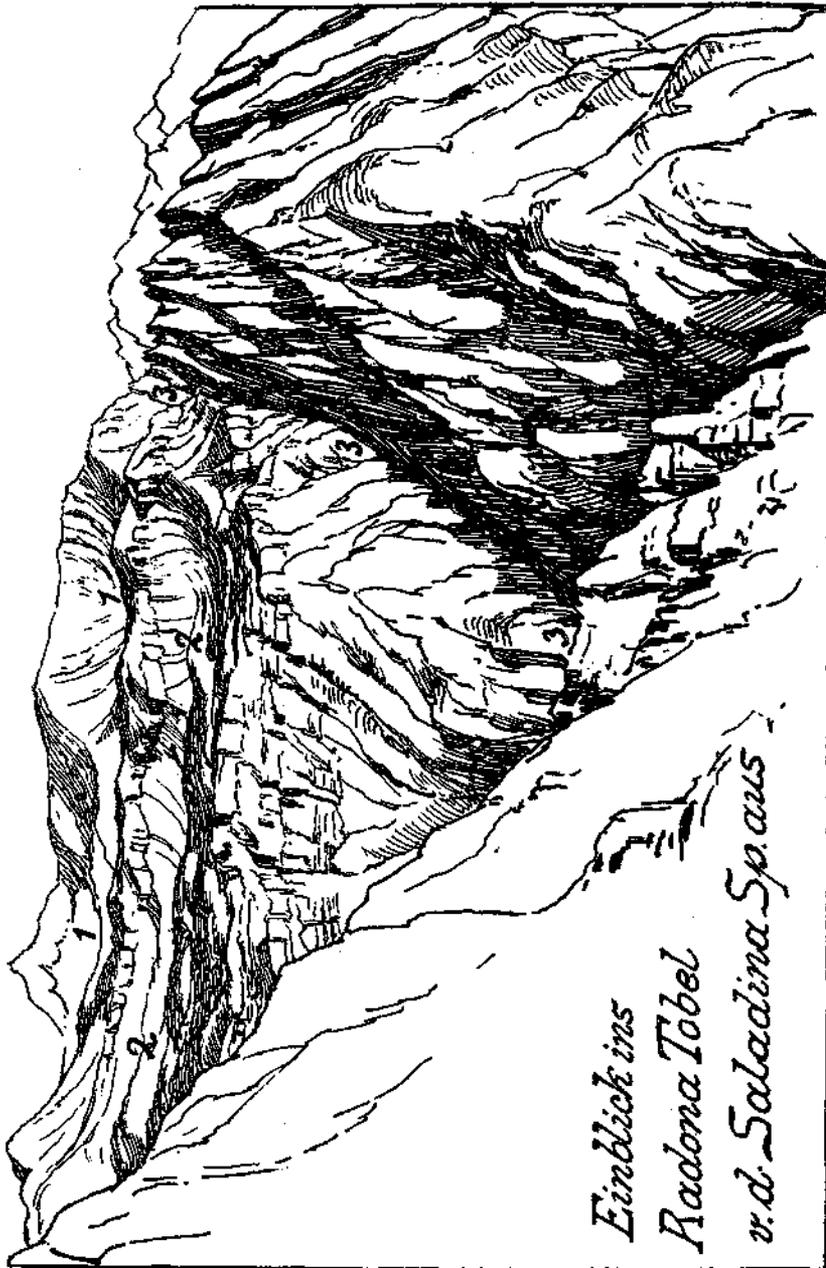


Fig. 17. Zeichnung von W. Hammer nach einer Photographie von H. Ascher. 1 = Altes Tainivean zwischen 2350—2350 *m*. 2 = Altes Tainiveau zwischen 2100—2000 *m*. 3 = Formarinstörung. Die zwei alten Tallfurchen liegen an der Westseite des Gerengrates. Die Formarinstörung schneidet zwischen Gerengrat und Gamsbodenspitze durch.

Formarinsees mit 1793 *m* vermessen ist. Der Spiegel des Formarinsees unterliegt relativ großen Schwankungen im Gegensatz zum Spullersee.

So war derselbe z. B. am 27. Oktober 1913 um zirka 4 *m* gesunken und zeigte dabei wenigstens acht deutliche Strandterrassen.

Die Schichten des Hauptdolomits bilden zwischen dem See und den Lechquellen eine flache Mulde, so daß eine gegenseitige Verbindung möglich erscheint.

Das Lechtal selbst zeigt auf der Strecke vom Lechursprung bis unterhalb von Lech, also von zirka 1800 *m* bis zirka 1400 *m* Höhe ein gleichmäßiges nur von geringen Stufen und kurzen epigenetischen Engen unterbrochenes Gefälle mit breitem, verschüttetem Talboden.

Von dort ab aber tritt der Lech in eine ganz gewaltige Klammstrecke ein, welche er erst kurz vor Steeg — 1105 *m* — verläßt und die von der neuen Straße an ihrer Nordseite kunstvoll umgangen wird. Von Steeg ab verläuft der Lech dann wieder auf tief verschüttetem Talboden bis zu den letzten Felsriegeln der Alpen, welche er zwischen Reutte und Füssen durchbricht.

Diese wenigen Angaben mögen genügen, um die große Verschiedenheit in der Ausgestaltung des Lechtales im N und des Klostersales im S zu zeigen.

Beide Talzüge sind in dasselbe alte Talniveau von zirka 1800 *m* eingeschnitten, aber mit ganz verschiedener Energie.

Während das Klostertal vom Arlberg- und Flexenpaß mit mächtigen Steilstufen gleich 400 *m* gegen Stuben abbricht und von dort an die Alfenz trotz steilem Gefälle fast nur auf Schuttboden bis Bludenz — 585 *m* — fließt, ist das oberste Lechtal durch mäßiges Gefälle und breite ruhige Ausweitungen ausgezeichnet.

Seine große Steilschlucht liegt erst zwischen Steeg und Lech, also bereits außerhalb unseres Gebietes. Der Lech war noch nicht imstande, diese Steilstufe bis in die Nähe seiner Quellen vorzuschieben. Entscheidend für das mächtige Rückschneiden des Klostersales ist die Nähe der tiefen Erosionsbasis von Illtal—Rheintal—Bodensee.

Von der nördlichen Schwelle des Spullersees führt das Kälbertal mit wenig mehr als 200 *m* Gefälle und einer Reihe von kleineren Felsstufen und versumpften Schuttbecken ins oberste Lechtal hinab.

Alle bisher besprochenen Formen sind ihrer Anlage nach älter als die Eiszeit. Wie wir gesehen haben, reicht ja der mächtige, wahrscheinlich interglaziale Schuttkegel des Dürrenbergs schon bis nahe an die Sohle des heutigen Tales herab. Man kann also die Gletscher nicht für die großartige Eintiefung des Klostersales verantwortlich machen.

Dieselbe hängt vielmehr mit tektonischen Hebungen des Alpenkörpers zusammen, welche in einzelnen Rucken erfolgten und dadurch jeweils die Erosion gewaltig anfeuerten.

Der Einfluß der Vergletscherungen auf die Formgestaltung unseres Gebietes ist aber trotzdem ein gewichtiger und mannigfaltiger gewesen.

Die Abdeckung der Süd- und Nordschwelle des Spullersees hat wohl augenfällig genug die mächtige Abschleifung dieser Felsriegel klargelegt. Weithin war noch unter dem Deckmantel der auflagernden Grundmoränen der blankgeschliffene Felsgrund mit zahlreichen Furchen und Hohlkehlen zu sehen. Außerhalb dieses Deckmantels sind alle Schliche zerstört und von bis 1 *m* tiefen Karren und Furchen zerfressen.

Die Richtung der letzten Eisbewegung war von N gegen S.

An den Hohlkehlen war stellenweise ihre Schmalheit und Tiefe auffallend. Insbesondere zeigte die Nordschwelle mehrere schmale und

dabei fein ausgeschliffene Einschnitte, von denen der größte (vgl. Taf. VI), über 8 m tiefe, nachträglich durch hereingerutschtes Trümmerwerk vollgestopft war. Bemerkenswert war außerdem die steile Neigung, mit welcher die Schlibfahnen unter den Seeschlamm eintauchen.

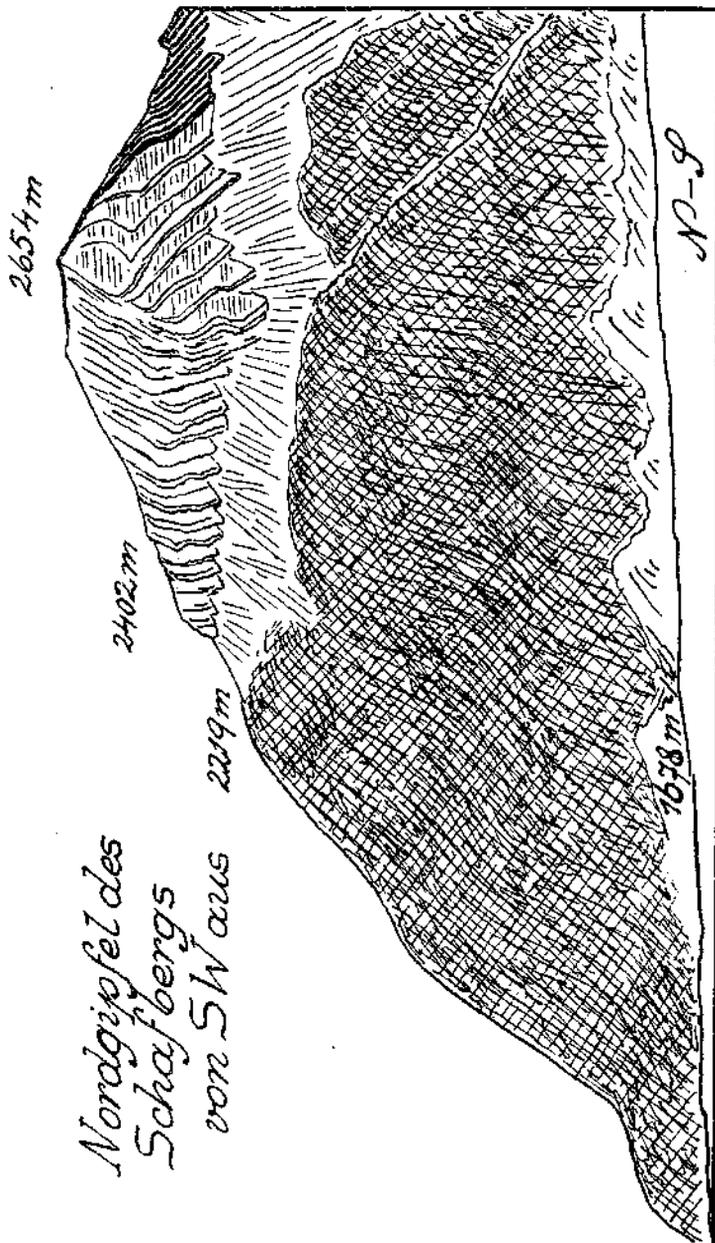


Fig. 18. Ansicht der großen Eishochstand-Hohlkehle zwischen 2200—2300 m an der Westseite des Nordgipfels des Schafbergs. Sie bildet die Grenze zwischen dem höheren scharfkantigen und dem tieferen abgeschliffenen Gebirge.

Sie beträgt an der Südschwelle stellenweise 60—80°. Dabei ist es ausgeschlossen, etwa an eine nachherige Verbiegung zu denken.

Die Felswanne des Spullerseees ist wohl nur als ein reines Eisschliffbecken zu verstehen. Eine tektonische Bildung ist ausgeschlossen.

Diese Wanne ist heute zum großen Teil verschüttet. Ich schätze ihre ursprüngliche Tiefe auf etwa 40—50 m. Das Eis hat diese Wanne

vor allem aus den weichen Kreideschiefern zwischen den härteren Gesteinen der Schwellen herausgehobelt.

Auch diese Erscheinung war an der abgedeckten Südschwelle deutlich zu erkennen. Soweit die Schwelle hier aus Kreideschiefern besteht, ist dieselbe besonders tief ausgeschliffen.

Wahrscheinlich ist aber die Aushobelung der Seewanne bereits ein Werk der älteren Vergletscherung, da die jüngste Vergletscherung den wahrscheinlich interglazialen Seeschlamm nicht mehr ganz zu entfernen vermochte.

Wie die bereits erwähnten kristallinen Geschiebe an der Nordseite des Schafbergs beweisen, strömte aber damals das Eis von S gegen N. Daher dürfte die Aushobelung der Spullerseewanne hauptsächlich bei dieser Bewegung entstanden sein. An der Stelle des Spullerseebeckens war in präglazialer Zeit eine breite flache Felsstufe vorhanden, deren Reste rings um den See in einer Anzahl von niedrigen Felsesseln noch erhalten sind.

Der Hochstand des Eises dürfte in der Gegend des Spullersees zwischen 2200—2300 *m* betragen haben.

Das Seebecken lag also lange Zeit 400—500 *m* tief unter strömendem Eise. An der Westseite der Schafbergspitze ist dieser Hochstand des Eises durch eine selten deutlich ausgebildete Strandmarke verzeichnet. Fig. 18 entwirft ein schematisches Bild derselben. Der Berghang, welcher hier abgebildet erscheint, erstreckt sich von S nach N. Es ist also ein reiner Quertalhang zwischen Lechtal und Spullersee.

Der Bergkörper selbst besteht mit Ausnahme einer Auflagerung von Kössener Schichten ganz aus Plattenkalk und Hauptdolomit, welche ost-westlich streichen und steil gegen S einfallen. Daher sind die hier vorliegenden Oberflächen in eine gleichartige Gesteinsmasse und quer auf ihr Schichtstreichen eingeschnitten.

Das ganze untere Gehänge zeigt die Abrundung eines vom vorbeiströmenden Eise lange bearbeiteten Gehänges. Der Gipfelkörper selbst ist dagegen rein scharfkantig.

Zwischen dem abgerundeten und dem scharfkantigen Gehänge zieht nun eine auffallende Verflachung durch, welche vom Steilkant des Gipfels aus verschüttet wurde.

Der Gipfelkörper erscheint gegen diese Verflachung hin sehr steil unterschritten.

Daß die heute verschüttete mächtige Einkerbung zwischen 2200 bis 2300 *m* die Hochstandsgrenze der Großvergletscherungen bedeutet, ist wohl kaum zweifelhaft. Fraglich ist jedoch die Art und Weise, wie diese Einkerbung gebildet worden ist.

Es könnte sich zunächst auch um eine alte Quertalfurche, ähnlich wie an der Westseite des Gerengrates — Fig. 17 — handeln, welche zufällig gerade mit der Grenze der Eishochstände zusammenfiel.

Während aber diese Talfurchenreste nach N zu in voll erhaltene Talquerschnitte überleiten, ist das hier nicht der Fall.

Die große Einkerbung steht dagegen mit dem Kar zwischen Nord- und Südgipfel des Schafberges in Verbindung.

Das spricht eher für eine viel jüngere Ausbildung in der Eiszeit:

Durch die Erosion des Eises kann diese Furche nicht ausgeschliffen sein, weil das Eis ja gar nicht über dieselbe, sondern nur bis zu ihr emporreichte.

Außerdem unterlag ja gerade dieses höchste Niveau zuerst allen Schwankungen. Auch dürfte die Eisbewegung in diesem Quertal zwischen Lech- und Klostertal keine lebhaftere gewesen sein.

Wenn man also in dieser Einkerbung nicht den Rest einer alten Quertalrinne erkennen will, so bleibt am wahrscheinlichsten, die deutliche Rückwitterung des Gipfelkörpers für eine Folge der schroffen Temperaturschwankungen und Frostsprengungen zu halten, welche an der Grenze des Eisstrandes gegen aperen Fels sich einstellen.

Ich habe bereits vor längerer Zeit auf die starken, formgestaltenden Einflüsse des Eisstrandes im Hochgebirge (Schwarz-Weiß-Grenzen) hingewiesen.

Unterhalb der eben besprochenen großen Einkerbung zwischen gerundetem und kantigem Gehänge ist zwischen 1900—2000 m noch eine weitere, aber weit bescheidenere eingepägt. Die Grenze zwischen gerundetem und kantigem Gelände ist in der Umgebung des Spullersee's vielfach recht deutlich ausgesprochen.

Die Zahl der erkennbaren, vom Eise ausgearbeiteten Stufen ist jedoch vielfach wechselnd und ihre Erhaltung sehr verschieden.

Das am reichsten eisgestufte Gelände ist wohl jenes an der Westseite des Arlbergs, wo die Eisbewegung im Streichen der Gneise lief und so alle Gesteinsänderungen prächtig heraus schleifen konnte.

Hier erkennen wir auch, daß viele von diesen Stufen gleichzeitig entstanden sind und nicht etwa jeweils zeitlich verschiedenen Gletscherständen zugeordnet sind.

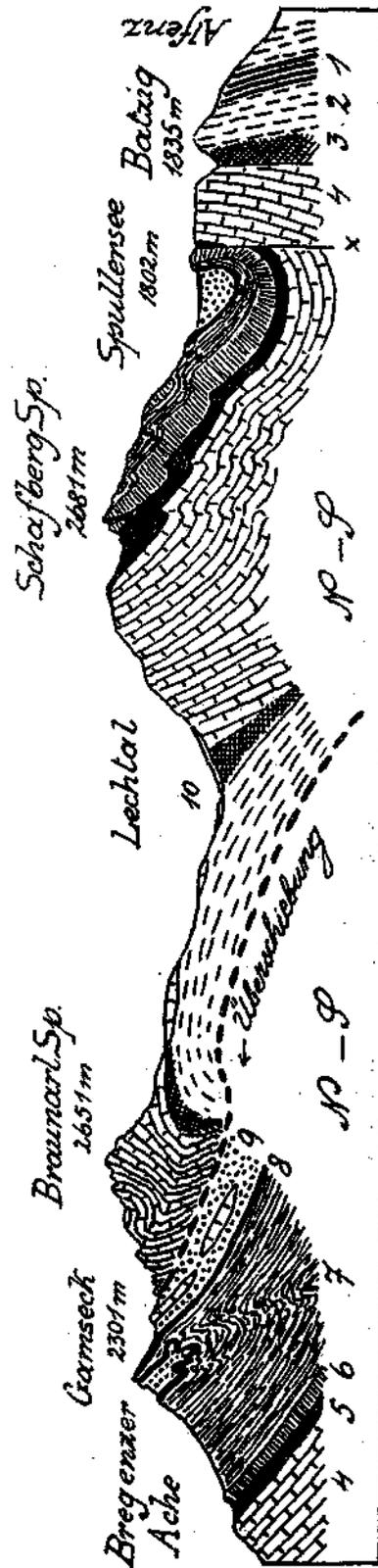


Fig. 19. 1 = Partnach Schichten. 2 = Arlberg Schichten. 3 = Röhler Schichten. 4 = Hauptdolomit. 5 = Kössener Schichten. 6 = Oberrätlik. 7 = Fleckenmergel. 8 = Hornstein- und Aptychenkalke. 9 = Kreideschiefer. 10 = Schutt. x = Formirungsstörung.

Nach dem Abschmelzen der letzten Großvergletscherung trat nochmals eine recht ausgiebige Vereisung ein, die dann mit einzelnen Haltestellen bis auf die noch heute vorhandenen Gletscherreste dieser Gegend zusammenschrumpfte. Die morphologischen Wirkungen dieser Vereisung, bei welcher kein zentralalpines Eis mehr in die Kalkalpen eindrang, bestehen hauptsächlich in der Aufschüttung von Moränenwällen und der Übersäung der Gehänge mit erraticem Blockwerk.

Noch jünger bis in die Gegenwart fortdauernde Umformungen der Gehänge werden durch Bergstürze (z. B. bei Langen 1892), Gehänge-rutschungen, Muren, Wildbäche, Lawinen, Stürme, Steinschlag, endlich durch alle atmosphärischen Niederschläge vollzogen.

Im Bereiche des so schroff eingeschnittenen Klostertales kann man sich besonders von der Gewalt und der Wirkung von Wildbächen und Lawinen anschaulich überzeugen. Mit einem typischen Querprofil durch das Spullerseegebiet (Fig. 19), das vom Klostertal bis zur Bregenzer Ache reicht, will ich die geologische Einleitung beschließen.

## H. A. Geologisch-technische Beschreibung.

Jeder große Bau bedeutet einen Eingriff in die Natur. Ganz besonders gilt dies von den großen Wasserkraftanlagen mit ihren Stollen, Schächten, Talsperren und Flußumlegungen. Aber die Natur erduldet solche Eingriffe nicht willig. Sie wehrt sich dagegen mit dem plötzlichen Zuschlag ihrer entfesselten Faust, sie setzt ihnen den beharrlichen Widerstand kleinster Kräfte entgegen, befähigt zu größter Wirkung durch unendliche Vervielfachung nach Raum und Zeit; sie verteidigt sich hinter der Trägheit ihrer ungeheuren Massen.

Nur ein Anschmiegen an diese Massen, ein Anpassen an die gewaltigen Kräfte, das ihrem innersten Wesen keinen Zwang antut, kann einem Bauwerk nach menschlichem Ermessen Bestand verbürgen. Nicht als Feind kann der Mensch die Natur bezwingen, er muß sie zum Bundesgenossen für seine Arbeit gewinnen. Damit ist eine Abhängigkeit des Bauwerkes von seiner natürlichen Umgebung und von den Naturkräften gegeben. Diese Beziehungen zu erfassen, ihnen in ihre letzten Auswirkungen nachzuspüren und sie dem Bauzwecke dienstbar zu machen, ist für den bauenden Ingenieur eine berufliche Notwendigkeit und schenkt ihm dabei den hohen Genuß tiefen Naturerlebens.

Unter den Naturwissenschaften, auf die sich der Bau von Wasserkraftanlagen stützt, steht die Geologie mit ihren Nachbargebieten an erster Stelle.

In dreifacher Art ist das Gebirge an der Ausführung solcher Bauten beteiligt. Als Ganzes bietet es mit seiner Hebung und Senkung, mit seinen Wasserläufen und Niederschlagsbedingungen den Schauplatz dar, in den die Wasserkraftanlage hineingepaßt werden muß. Dann ist es mit seinem Felsenleib Baugrund im engeren Sinne für die einzelnen Bauwerke, und schließlich liefert es den größten Teil der Baustoffe.

Im folgenden sollen die Beziehungen dargelegt werden, welche die Bauten des Spullerseewerkes nach diesen drei Gesichtspunkten mit der umgebenden Natur verbinden.

Das Spullerseewerk ist gemeinsam mit dem Ruetzwerk im Stubaital zur Deckung des elektrischen Kraftbedarfes für den Betrieb der Strecke Innsbruck-Lindau bestimmt. Während letzteres Werk keine Speicheranlage besitzt und daher in erster Linie für die Grundbelastung herangezogen wird, fällt dem Spullerseewerke vor allem die Deckung der Kraftspitzen zu. Das gesamte Wasser, welches das  $11.1 \text{ km}^2$  große Ein-

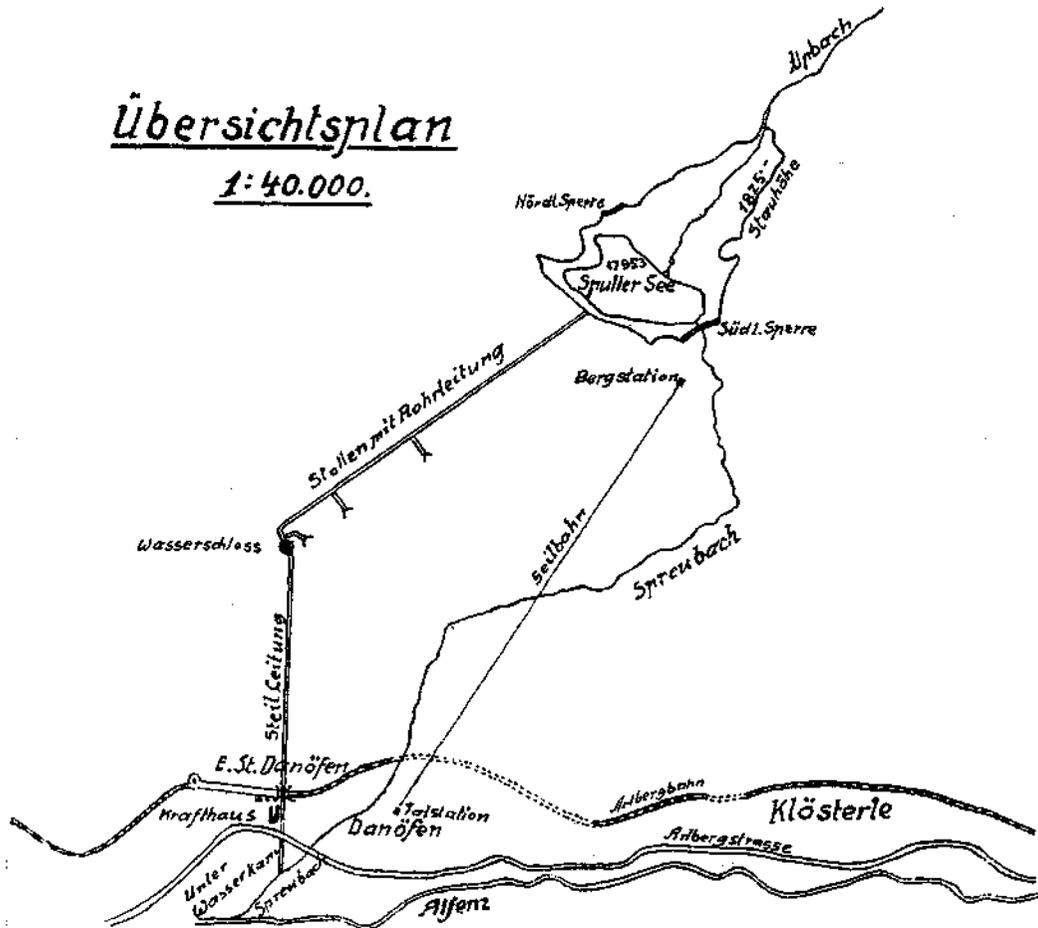


Fig. 20.

zugsgebiet dem See zuführt, wird in diesem ganzjährig bewirtschaftet und mit rund  $800 \text{ m}$  Gefälle ausgenützt. Der höchste Seespiegel liegt in Zukunft auf der Höhe  $1825$ , das ist um  $30 \text{ m}$  höher als vor dem Beginn des Baues. Der Stauraum faßt  $1,300.000 \text{ m}^3$ .

Vom See fließt das Wasser durch den mit einem  $40 \text{ m}$  hohen Schieberschacht und mit Absperrvorrichtungen ausgestatteten Einlauf in ein  $1700 \text{ m}$  langes im Hauptstollen frei verlegtes Eisenrohr von  $1.40 \text{ m}$  lichtigem Durchmesser, welches in das Wasserschloß mündet. Dieses liegt noch im Berginnern und ist als  $58 \text{ m}$  hoher Pufferschacht mit zwei unteren und einem oberen Speicherstollen ausgebildet. Vom Wasserschloß leitet

ein kurzes gepanzertes Stollenstück über die Apparatenkammer zur Druckrohrleitung, welche in zwei Rohrsträngen (ein dritter ist für später vorgesehen) von 1396 m Länge am Hange des Dürrenberges zum Krafthaus führt. Dieses enthält heute drei (später sechs) Maschinengruppen zu je 8000 PS. Ein teils gedeckter, teils offener Unterwassergraben leitet das abgearbeitete Wasser in den Unterlauf des Spreubaches und damit in die Alfenz.<sup>1)</sup>

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe in Langen am Arlberg beträgt 1971 mm; die mittlere Abflußhöhe des 11·1 km<sup>2</sup> großen Einzugsgebietes des Spullerseees beträgt 1530 mm, woraus sich für dieses Gebiet ein mittlerer Abflußbeiwert von 0·775 errechnet. Diese Zahlen umfassen einen Beobachtungszeitraum von 32 Jahren.

Für das engere Spullerseegebiet liegen längere Beobachtungsreihen nicht vor. Da die Niederschlagshöhe im Einzugsgebiet des Sees höher ist als in dem 600 m tiefer gelegenen Langen, stellt sich in Wirklichkeit der Abflußbeiwert ungünstiger. Für das Jahr 1922 betrug z. B. die Niederschlagshöhe in Langen 2573 mm, am Spullersee 3207 mm, die Abflußmenge des Seegebietes 21,129.552 m<sup>3</sup>. Darnach ergab sich für dieses Jahr ein tatsächlicher Abflußbeiwert von 0·59, während der nach den Messungen von Langen berechnete 0·74 beträgt.

Gelegentlich von Studien über die Einbeziehung von weiteren Einzugsgebieten in das Spullerseebecken wurde die Wasserführung von vier kleineren Bächen vom 22. Juli bis 12. November 1924 regelmäßig gemessen. Das Ergebnis ist in folgender Tafel zusammengestellt.

| Einzugsgebiet |                           |                          |                        |                  |   |  |                    |
|---------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|------------------|---|--|--------------------|
| Nr.           | Fläche<br>km <sup>2</sup> | Mittlere<br>Seehöhe<br>m | Mittleres<br>Gefälle ‰ | Hang-<br>neigung | Berechnete<br>Nieder-<br>schlags-<br>menge m <sup>3</sup> | Gemessene<br>Abfluß-<br>menge m <sup>3</sup> | Abfluß-<br>beiwert |
| 1             | 0·315                     | 2160                     | 38                     | N                | 280980  | 130637                                       | 0·465              |
| 2             | 1·100                     | 1960                     | 45                     | ONO              | 981200  | 106177                                       | 0·106              |
| 3             | 0·225                     | 2120                     | 35                     | W, SSW           | 200700  | 106013                                       | 0·530              |
| 4             | 0·325                     | 2270                     | 50                     | NO, O            | 289900  | 254059                                       | 0·876              |

Die Niederschlagsmengen sind auf Grund der mit einem einfachen Ombrometer auf Spullers (1825 m) vorgenommenen Messungen berechnet. Sie dürften wegen der größeren Höhenlage der einzelnen Einflußgebiete in Wirklichkeit etwas größer sein, wodurch sich die Abflußbeiwerte verbessern und auch ihr gegenseitiges Verhältnis etwas verschiebt.

<sup>1)</sup> Über den Fortgang der Bauarbeiten und über konstruktive Einzelheiten unterrichten die Veröffentlichungen des Direktors der Elektrizitätsdirektion der österr. Bundesbahnen, Sektionschef Ing. Paul Dittes, in den Jahrgängen 1921, 22, 23, 24 und 25 der Zeitschrift des österr. Ing. und Architekten-Vereines sowie eine kurze Zusammenfassung im Jahrgang 1925 derselben Zeitschrift.

Alle vier Einzugsgebiete haben ziemlich geschlossene Formen, die sich dem Oval nähern und liegen über der Baumgrenze. 1 und 3 sind größtenteils mit Humus und Rasen überzogen; bei 4 bedeckt der Humus noch etwa drei Fünftel der Fläche, bei 2 kaum die Hälfte.

Noch stärker beeinflußt das Gestein den Abflußbeiwert. 3 und 4 liegen vollständig in den undurchlässigen Kreideschiefern. Das untere Drittel von 1 liegt im Kalk, bei 2 wird sogar die Hälfte der Fläche vom nackten Kalkgestein bedeckt. Dort bildet dieses streifenweise große Karrenfelder, über welche wohl überhaupt kein Regenwasser den Abflußbach erreicht. Der gierig schluckende Kalk beherrscht auch gerade da den unteren Teil des Gebietes.

Die großen Abweichungen in den Abflußbeiwerten unmittelbar benachbarter Gebiete sind eine Warnung vor dem Rechnen mit „Erfahrungswerten“. Es gibt hier keine andere Erfahrung als die an der betreffenden Stelle selbst gewonnene.

Bemerkenswert ist die Höhe der Niederschläge auf Spullers innerhalb kurzer Zeiträume. Sie betrug vom 28. Oktober bis 2. November 1924 173 *mm*, am 2. November allein 71 *mm*. Am 12. August 1925 137 *mm*, vom 21. bis 25. September 1923 277 *mm* Regen und 26 *cm* Schnee, davon am 23. September allein 128 *mm*, vom 20. bis 27. Dezember 1923 176 *cm* Schnee. Der August 1924 brachte 356 *mm* Regen, der August 1925 586 *mm*.

### Sperrmauern und Seebecken.

Die Bedeutung der Sperrmauern für den Zweck und die Sicherheit der ganzen Werksanlage machte sorgfältige Vorarbeiten über ihren Baugrund zur Pflicht. Ihre Lage und Form wurde nach wiederholten Begutachtungen durch die Herren Ministerialrat Ing. M. Singer und Oberbergrat Dr. O. Ampferer festgelegt und dabei auch genaue Aufnahmen des Sperrgrundes angeordnet.

Die geologischen Grundpläne der Sperrungen bringen das Ausstreichen der Schicht- und Bewegungsflächen sowie der Gesteinsgrenzen zur Darstellung. Auf dem Grund der nördlichen Sperre wurden 700, auf dem der südlichen 250 Punkte nach Streichen und Fallen eingemessen. In den beiliegenden Plänen wurde auf die Einzeichnung von Höhenschichtenlinien zugunsten der Übersichtlichkeit verzichtet. Die südliche Sperre wurde im Jahre 1922 — noch vor dem Fundamentausbruch — in einem aufgenommen, die nördliche 1924/25 stückweise, sobald ein Teilstück für die Mauerung bereitgestellt war. Der gewaschene, frische Bruch des Gesteins ermöglichte hier die gleichmäßige Erfassung der feinsten Einzelheiten.

Die nördliche Sperrmauer liegt auf der höchsten Stelle der niederen Bodenschwelle, welche das Becken des Spullersee von dem zum Lech ziehenden Tale des Tannlegerbaches und damit das Flußgebiet des Rheins von dem der Donau trennt. Die Breite dieser Schwelle bot genügend Spielraum, um den Grundriß der Mauer in einem Bogen vom Halbmesser 400 *m* anzulegen. Anstehender Fels trat fast überall zutage, nur der tiefste Teil des Sperrgrundes war von einem bis zu 3 *m* mächtigen

Torflager bedeckt, dessen Entfernung willkommene Gelegenheit zur Brennstoffgewinnung für das Arbeiterlager bot. Die Sperrmauer steht fast in ihrer ganzen Ausdehnung auf Lias-Fleckenmergeln. Es ist kein Zufall, daß dieselben Gesteine, auf welchen die südliche Sperrmauer steht, auch den Untergrund der nördlichen Sperre zusammensetzen; denn die Felschwellen nördlich und südlich des Sees werden vom Nord- und Südflügel derselben geologischen Mulde gebildet. Während aber der nach N überkippte Südflügel im Sperrbereich nur geringe Störungen erfuhr, erlitt der liegende Nordschenkel durch Scher- und Stauchkräfte eine ungemein lebhafte Durchbewegung, die ihn in zahllose, eng aneinander gestauchte Schuppen zerlegte und den zähen Fleckenmergeln eine deutliche Druckschieferung aufprägte. Die Verwerfungen und Verbiegungen der kalzitischen Kluftausfüllungen, die als weiße Bänder das dunkle Gestein durchziehen, gestatten die Ablesung einer ganzen Reihe zeitlich verschiedener Bewegungsphasen, die durch alle nur denkbaren Übergänge miteinander verbunden bis zum Bilde des heftig bewegten Fließens führen.

Leider bietet das gleichartige Gestein keinen sicheren Maßstab zur zahlenmäßigen Erfassung der Einzelbewegungen, deren Integration vermutlich einen bedeutenden Gesamtbetrag liefern würde. Dagegen konnte am Kontakt der Fleckenmergel mit Tithon im weiter östlich gelegenen Steinbruch ein Gangunterschied von 40 m zwischen zwei Tithonschuppen gemessen werden.

Die anderen Verschiebungen bleiben unter dieser Grenze, die meisten dürften kaum einige Meter oder selbst Dezimeter erreichen.

Sehr häufig wird die Bewegung nach gleichgerichteten, einander ablösenden Klüften ein und derselben Gleitflächenschar aufgeteilt.

Die ganze Stufenleiter von Bewegungsspuren von der Druckschieferung an bis zu den hektargroßen Tithonschollen trägt den Stempel eines einheitlichen „Beanspruchungsplanes“ durch Scherkräfte und bietet ein schönes Beispiel für die „Einregelung“ dieses Beanspruchungsplanes im Sinne von W. Schmidt.<sup>1)</sup>

Die Fleckenmergel streichen sehr gleichmäßig WNW und verflachen mit durchschnittlich 60° gegen SSW.

Die Begrenzungsflächen der einzelnen Schuppen innerhalb der Fleckenmergel streichen gegen NW mit steilem, bis saigerem Südwestfallen. Da das Schichtstreichen mehr gegen W zielt, an den Ablösungsflächen der Schuppen aber in deren Richtung geschleppt wurde, nimmt es innerhalb jeder Schuppe einen S-förmigen Verlauf. Besonders der westliche Teil des Sperrgrundes zeigt diese Erscheinung in gleichmäßiger Ausbildung, während sie im östlichen Teile durch den Aufschub von zwei Tithonschollen gestört ist.

Infolge der Zähigkeit des Gesteins sind aber bei aller Durchbewegung im einzelnen die Schuppen so eng aneinandergedrückt, daß die den Fleckenmergeln eignende Wasserdichtheit nicht verloren ging. Nur im Osten des Sperrgrundes, wo die fließende Tektonik durch den

<sup>1)</sup> W. Schmidt, Gesteinsumformung, Denkschriften des Naturhistorischen Museums in Wien 1925.

Anschub des Tithons gestört ist, war stellenweise ein Ausbruch bis zu 5 m Tiefe zur Erreichung eines zuverlässig wasserdichten Baugrundes nötig.

Im übrigen beschränkte sich der Ausbruch auf die Entfernung der Verwitterungsrinde und auf das aus statischen Gründen geforderte Einbinden in den Fels.

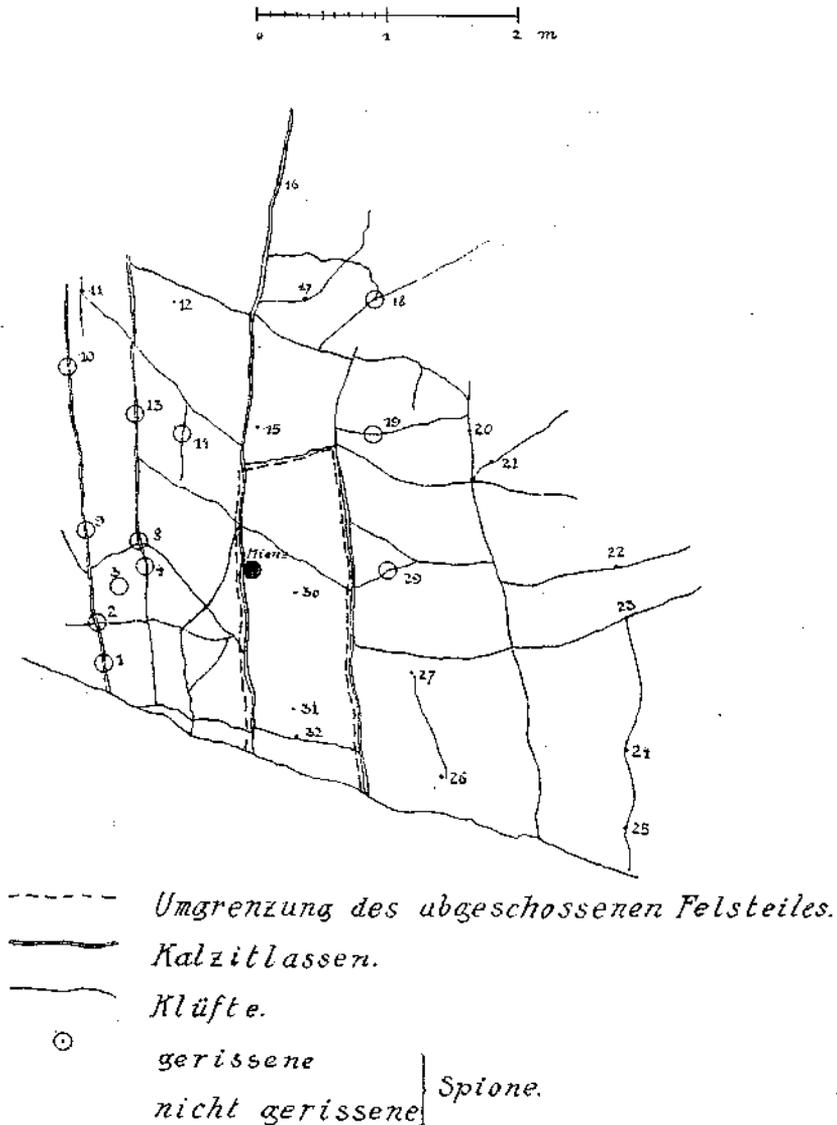


Fig. 21. Ansicht der Versuchswand.

Als Mindestprofil wurde der im Profil der südlichen Sperre angegebene Querschnitt ausgebrochen. Hierzu wurden die Bohrlöcher in der Länge von 0,5 bis 2,5 m möglichst sählig angesetzt und mit 1 bis 6 Patronen Dynammon und 1 Patrone Dynamit geladen. Die Herrichtung des Mauergrundes erfolgte jeweils auf Längen von 20 bis 40 m.

Um den Erschütterungsbereich solcher Schüsse zu ermitteln, wurde an einer 60° geneigten Fleckenmergelwand im Sperrengrunde eine

Einzel Sprengung vorgenommen. Die das Gestein durchziehenden Klüfte und Kalzitlinsen wurden vorher an den mit Nummern bezeichneten Stellen (siehe Fig. 21) mit Gipsspionen gedeckt. Das senkrecht zur Felsoberfläche stehende Bohrloch war 0.75 m lang. Die Ladung bestand aus 1 Patrone Dynamit Nr. 1 und 2 Patronen Dynammon. An den eingeringelten Stellen wurden die Spione zerrissen.

Nach dem Sprengen und Abräumen alles gelockerten Gesteins wurde die Sperrensohle gekehrt, mit Preßwasser von 5 bis 8 Atmosphären Druck gewaschen und sorgfältig auf lockere Stellen abgeklopft. Diesen Vorgang wiederholten wir so oft, bis vollkommen fester, wasserdichter Baugrund sichergestellt war.

Die Tektonik des Ostendes des Sperrengrundes wird beherrscht durch den Aufschub der beiden Tithonschuppen. Die Stauchung der bildsamen Fleckenmergel ist vor deren Stirne aufs äußerste gesteigert. Das Tithonprofil beginnt dort mit 1. grauen, dichten, mergeligen Kalken, 2 m mächtig, aus denen 2. 0.4 m mächtige Krinoidenbreccien hervorgehen. Darüber liegen 3. 1.5 m hellgrauer, von spätigen Kalzitadern und -nestern durchwachsender Kalk, dann mit scharfer Grenze 4. rote und grüne Hornsteinmergel und mergelige rote Flaserkalke, bis zu 8 m mächtig, endlich 5. hellgrauer, spätiger Kalk wie bei Nr. 3, über 25 m stark. Diese große Mächtigkeit dürfte auf einer Verdopplung des Kalkes beruhen, weil sie bei ungestörten Profilen in der Umgebung des Spullerseees sonst 10 m nicht überschreitet.

Der abgedeckte Sperrengrund zeigt deutlich die Spuren der Bearbeitung durch Gletscher. Die Felsoberfläche war glatt geschliffen, stellenweise mit Kratzern versehen. Mehrere metertiefe Furchen liefen in der Richtung N—S über den Felsrücken. Die Richtung des Eisschubes war von N nach S. Nahe dem Westende der Sperre wurde eine 8 m tiefe, nordsüdlich verlaufende, vom Eise glattgeschleuete Rinne aufgedeckt. Tafel VI.

An der Oberfläche war der Fels meist mit einer braunen 0.5 bis 20 cm starken Verwitterungsschichte überdeckt. Längs einzelner Linsen war die Verwitterung bis zu 1.5 m in das Gestein eingedrungen, die Linsen selbst waren mit braunem Verwitterungslehm ausgefüllt und führten bei feuchtem Wetter und nach der Schneeschmelze Wasser.

Am Westende der Sperre wurde in 3 bis 4 m Tiefe unter der Felsoberfläche eine nordsüdlich streichende, 20° gegen O fallende Kluft aufgedeckt, deren Umriß auf dem Sperrenplane punktiert eingetragen ist. Sie reicht über die Breite der Sperrensohle luft- und wasserseits hinaus. Ihre lichte Weite betrug bis zu 30 cm und war mit Lehm erfüllt. An ihrem hochgelegenen Westrande entsprangen zwei Quellen.

In die Grundfläche der südlichen Sperre treten alle in unserem Gebiete vorkommenden Steine vom oberen Dachsteinkalk bis zu den Kreideschiefeln ein. Die Sperrmauer erhebt sich auf einer Felsschwelle am tiefsten Punkt des Südschenkels der Spullersmulde, wo dieser vom Abflusse des Spullerseees durchschnitten wird. Dieser Südschenkel geht gerade dort aus einer nach N überkippten in eine steil nördlich fallende Lage über, so daß die Schichten im Sperrbereiche nahezu saiger stehen.

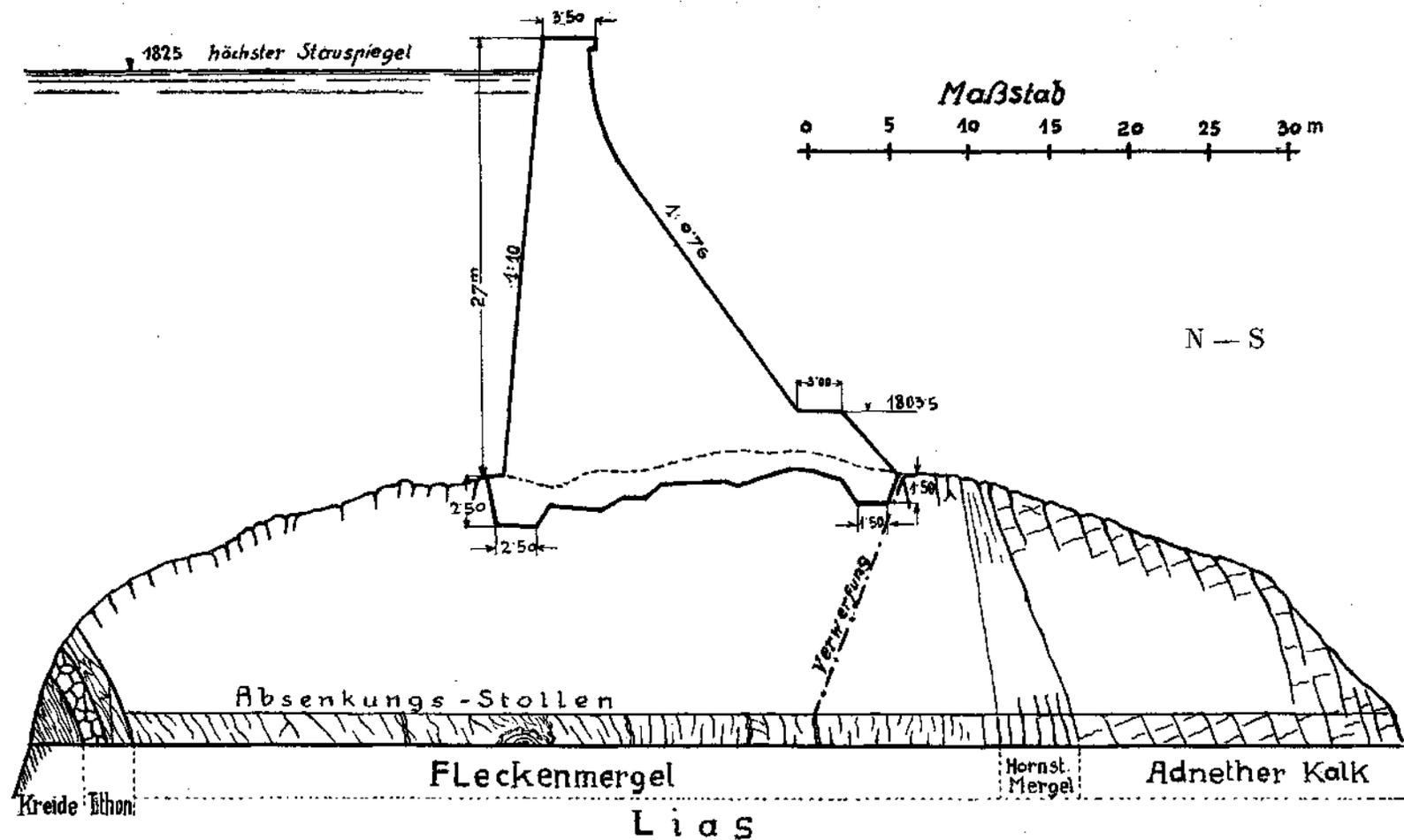


Fig. 22. Querschnitt durch die südliche Sperrmauer und durch den Absenkungsstollen (vgl. den Sperrenplan).

Das Streichen der Schichten geht vom Westende gegen das Ostende der Sperre aus O in NO über und beschreibt einen sanften, gegen den See geöffneten Bogen. Der Übergang vollzieht sich in einer Reihe von Verwerfungen, welche in nordöstlicher Richtung das Gesteinspaket durchstreichen und es in einzelne Blöcke zerlegen, von denen immer die östlichen gegen NO verschoben sind. Die bedeutendste Verwerfung streift gerade noch das Ostende der Mauer. Sie hat einen Verschiebungsbetrag von 250 *m* und verursachte eine Schleppung des westlich gelegenen Teiles gegen NO.

Dieser Schleppung und einer kleinen Verwerfung von 12 *m* Sprunghöhe, die den Sperrgrund schräg durchzieht, verdanken wir die Möglichkeit, den weitaus größten und wichtigsten Teil der Sperrmauer auf Liasfleckenmergel zu gründen. Man kann sich keinen besseren Baugrund für eine große Sperre denken, als die senkrecht aufgerichteten Schichtköpfe dieses harten und doch zähen, wasserdichten Gesteins, die wie natürliche Spundwände unter der Mauer in nahezu gleicher Richtung mit ihr hindurchziehen.

Der Rücken der Felsschwelle ist nicht breit. Er langt gerade für die Aufnahme der Sperre. Um den Fleckenmergeluntergrund auszunützen, mußte hier auf eine Bogenform der Mauer fast ganz verzichtet werden. Nur in der Mauermittle ist ein flaches Bogenstück von 5000 *m* Halbmesser angeordnet, in dessen Tangenten die geraden Flügel liegen. Da die Sperrmauern des Spullersee als Schwergewichtsmauern ausgeführt sind und daher jedes Mauerstück für sich standfest ist, hat die Form des Mauergrundrisses keinen Einfluß auf die Standfestigkeit der Mauern.

Betreten wir den Sperrgrund an seinem Westende, so stoßen wir zuerst auf gebankte Adnether Kalke, welche nach oben in rötlich-graue, dichte, von Hornsteinschnüren durchzogene Kalke (rund 8 *m* mächtig) übergehen.

Aus ihnen gehen die Lias-Fleckenmergel hervor, deren Mächtigkeit im Sperrbereich von 70 auf 100 *m* ansteigt. Im Gegensatze zur nördlichen Sperre liegen die Fleckenmergel auf der südlichen — abgesehen von den wenigen Verwerfungen — kaum gestört. Am abgedeckten Sperrgrunde konnte man weithin das Ausstreichen jedes einzelnen Schichtkopfes mit einem Blick verfolgen. Nur östlich der die Sperrmitte querenden Verwerfung sind die durchziehenden Linien der Mergelschichten durch Stauchung gewellt, um dann wieder in sanftem Schwunge bis zum Ostende der Sperre zu verlaufen. Doch deuten die Stauchungen und Kleinverwerfungen des Kalzitgeäders auf mannigfache Bewegungen des Kleingefüges.

Wie bei der nördlichen Sperre waren die Mergel von einer braunen, dünnen Verwitterungsrinde überzogen. Tonige Gesteinsschichten waren zwischen hornsteinreichen zurückgewittert, so daß die Schichtköpfe dieser wulstartig über jene hervorragten. Auch hier fehlt es nicht an ausgewitterten, lehrerfüllten Lassen, die dann ausgebrochen und mit Zement hinterspritzt wurden. Der Abraum erreichte nirgends die Tiefe wie bei der nördlichen Sperre, nur an wenigen Stellen überschritt er 1.5 *m*, abgesehen von den planmäßigen Ausbrüchen, welche längs des beiderseitigen Mauerfußes aus baulichen Gründen gemacht wurden.

Über den Fleckenmergeln folgt mit scharfer Grenze ein schmales Tithonband, das sich in rote und graue Hornsteinmergel (1·5 m) und in lichtgraue, spätige Kalke (4·5 m) gliedert. Diese Kalke sind von Kalzitadern und Drusen durchwachsen, in denen sich prachtvolle, allseitig entwickelte Kalzitkristalle fanden. Die dichten mergeligen Kalke und die Krinoidenbreccien fehlen dem Tithonprofil der südlichen Sperré.<sup>1)</sup>

Im mittleren Teile der Sperre treten seeseitig noch die Kreideschiefer in ihren Untergrund ein.

Am Ostende stößt die ganze Schichtfolge Lias-Kreide längs der erwähnten messerscharfen Verwerfung von 250 m Sprunghöhe an den nordöstlich streichenden, grob gebankten Dachsteinkalk.

Für die Zementeinspritzungen wurden die Lassen möglichst tief ausgekratzt und gewaschen. Dann wurden Gasrohre von 3 bis 5 m Länge an sie angesetzt und die Sohle der Mauer auf eine Höhe von 2 bis 4 m aufbetoniert. Erst nach dem Abbinden dieses Sohlenbetons wurde durch die Rohre unter einem Druck von 4 bis 5 Atmosphären flüssiger Zementbrei eingepreßt. Die größten Mengen, welche auf diese Weise durch einzelne Rohre in die Lassen eingespritzt werden konnten, betrugen 10 bis 15 l.

Die Formen der Felsschwelle, auf der die südliche Sperrmauer steht, sprechen die eindringliche, klare Sprache diluvialer Eisbearbeitung. Prachtvoll treten auf blank geschuerten Rundbuckeln die Bänderstrukturen des Schichtgesteins heraus, die von den nordsüdlich laufenden Schrammen gekreuzt werden. Über die Tiefe des eiszeitlichen Kolkes, der heute nur zum kleineren Teil vom See, zum größeren von jungen Ablagerungen erfüllt wird, fehlen Anhaltspunkte. Der Aufstieg aus dem Seebecken auf die Höhe der Felsschwelle ist aber ungemein steil, besonders in den tieferen Teilen, die erst durch die Seeabsenkung und Gründungsarbeit erschlossen wurden. Beim Mundloch des Absenkungstollens beträgt die Neigung des seeseitigen Abfalles 70°, weiter östlich ist sie senkrecht, stellenweise sogar überhängend. Überall zeigt sie die Schrammung durch das von N nach S die Felsschwelle überschreitende Eis. Der Südabfall der Seeschwelle ist sanfter geneigt (siehe Fig. 23).

Zur vollen Ausnützung des Seebeckens als Speicher wurde die Wasserentnahme für den Hauptstollen rund 9 m unter den alten Seespiegel gelegt.<sup>2)</sup> Dies bedingte eine Seeabsenkung während des Baues um 11 m. Der zu diesem Zwecke durch die südliche Seeschwelle vorgetriebene Absenkungstollen bestätigte die Regelmäßigkeit ihres Baues, siehe Fig. 22.

<sup>1)</sup> Die Aufnahme eines vollständigen Tithonprofils am Südostfuß des Gehrengrates ergab von unten nach oben: 1. 2·5 m grauer, dichter Kalk mit einzelnen Bänken und unregelmäßigen Nestern von Krinoidenbreccien, 2. 4·0 bis 6·0 m rote, dünnegebankte, flaserige Mergel mit Ammoniten und Haiischzähnen, 3. 4 m rote und grüne, dünnegebankte Hornsteine, 4. 5 m lichtgrauer, dichter, teilweise späterer Kalk mit Ammoniten und *Aptychus lamellosus*, stellenweise mit roten Mergelfasern und Schnüren von manganhaltigen Hornsteinen.

<sup>2)</sup> Der Seespiegel lag vor Beginn des Baues auf der Höhe 1795, die Sohle des Hauptstollens beim Einlauf auf 1785·96, die des Absenkungstollens auf 1783·31, der tiefste Seespiegel während des Baues auf 1783·70, der tiefste Punkt des Seegrundes liegt auf 1777 m.

Während die nördliche Sperrmauer in ihrem Bedarfe an Stein für die Sand-, Schotter- und Bruchsteinerzeugung nur auf die östlich von ihr gelegene Tithonscholle angewiesen war, boten die Dachstein- und Dolomittkuppen in der Nachbarschaft der Südsperrre reichliche Gelegen-

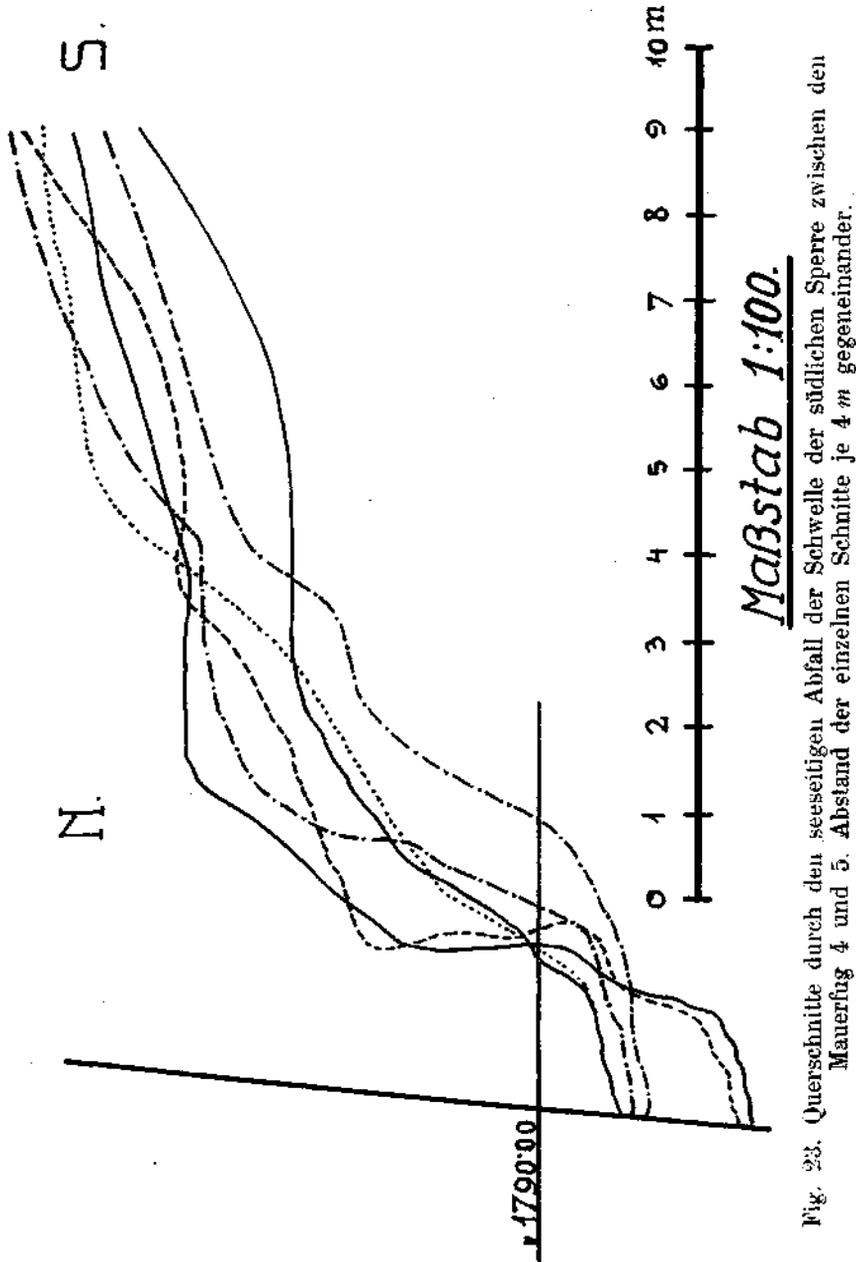


Fig. 23. Querschnitte durch den seeseitigen Abfall der Schwelle der südlichen Sperrre zwischen den Mauerfug 4 und 5. Abstand der einzelnen Schnitte je 4 m gegeneinander.

heit zur Deckung des Bedarfes an Baustoffen. Der Dachsteinkalk im Westen der Sperrre wurde in zwei Steinbrüchen abgebaut. Der untere diente zur Gewinnung von Bruchstein für Steineinlagen im Beton und für das luftseitige Blindmauerwerk. Er wurde aufgelassen, als die fortschreitende Erhöhung der Mauer die Steinzubringung auf Rollbahnen ohne Hebung nicht mehr gestattete.

Der obere Steinbruch, der nunmehr auch für die Zwecke des unteren herangezogen wurde, war hauptsächlich für die Gewinnung von Betonzuschlag bestimmt, der in einer Aufbereitungsanlage in drei Größenklassen als Schotter, Kies und Sand hergestellt wurde.

Der frischgebrochene Dolomit eignete sich wegen seiner bis ins kleine gehenden Klüftung nicht für die Verarbeitung zu Schotter und Kies. Beim Stampfen des Betons zerfallen größere Körner leicht nach der Klüftung und ihre Teile werden dann nicht mehr durch den Zementbrei verbunden. Dagegen eignet sich dieses spröde Gestein vorzüglich zur Sandgewinnung. Die in ihrer Leistungsfähigkeit ohnehin beschränkten Steinbrüche im Dachsteinkalk erfuhren dabei eine Entlastung. Für die Herstellung wasserdichten Betons ist die richtige Abstufung der Korngrößen der Zuschlagstoffe von ausschlaggebender Bedeutung. Sie geht beim Sande von 7 mm bis zum Staube feinsten Mahlung herunter. Ein Sieb von 900 Maschen auf 1 cm<sup>2</sup> muß noch 8 Prozent des Sandes durchlassen. Der Dolomit wurde in zwei Steinbrüchen etwa 200 m südwestlich der Sperren gewonnen und in zwei Aufbereitungsanlagen, welche ausschließlich Sand erzeugten, gebrochen und gemahlen.

Eine Feststellung J. Knauers über den hohen Schwefelgehalt des Hauptdolomites am Kesselberg bei Kochel veranlaßte uns, den Dolomit unserer Steinbrüche auf Schwefel untersuchen zu lassen. Die Analyse ergab nur 0.064 Prozent SO<sub>2</sub>.

Nach einer Ermittlung von Herrn Ing. G. Hiebleitner betrug in der Zeit vom 26. Juli bis 22. August 1925 der Aufwand für 1 m<sup>3</sup> gebrochenen und zur Aufbereitung gelieferten Steins:

| Steinbruch       | Gestein       | Entfernung der Aufbereitung<br><i>m</i> | Dynamit<br><i>kg</i> | Kapseln<br>St. | Schnüre<br><i>m</i> | Stunden |
|------------------|---------------|---|----------------------|----------------|---------------------|---------|
| Südliche Sperre  | Dolomit       | 260                                     | 0.13                 | 0.25           | 0.47                | 7.4     |
| "                | Dachsteinkalk | 50                                      | 0.14                 | 0.45           | 0.61                | 6.1     |
| Nördliche Sperre | Tithonkalk    | 130                                     | 0.19                 | 1.10           | 2.05                | 5.5     |

Vor dem wasserseitigen Fuß beider Sperren wurden gestampfte Lehmschüttungen eingebracht. Für die südliche Sperre lieferten die durch die Absenkung des Sees an seinem Südwestufer freigelegten Tegelager einen vorzüglichen Stoff. Ein dunkelblauer, toniger, glimmerhaltiger Schluff von mikroskopisch feinem Korn wurde dort in großen Mengen gewonnen. Er stammt zweifellos zum größten Teil aus dem Abtrage von Kreideschiefern und wurde am Grunde mehrerer Buchten des Sees abgelagert.

Für die nördliche Sperre lag kein derartiger Fundort in erreichbarer Nähe. Dort behalf man sich mit dem braunen Verwitterungslehm,

der an vielen Stellen die Fleckenmergel überlagert. Er ist grobkörniger und führt feinsandige Beimengungen.

Zu den an Ort und Stelle gewonnenen Baustoffen gehört auch das zur Betonbereitung verwendete Wasser. Da schon geringe Mengen von Schwefel auf den Beton zersetzend einwirken, wurde jedes für die Betonierung verwendete Wasser vorher untersucht. Oberhalb des Ostflügels der Südsperrre fand sich in einer Höhe von 1870 *m* eine Quelle im Dachsteinkalk, welche reichliches und einwandfreies Wasser lieferte.

Für die nördliche Sperrre wurde anfangs die Zuleitung einiger im obersten Lechgebiet verstreuter Quellen versucht, aber dann wegen deren Unbeständigkeit aufgegeben. In der Folge wurde das Bauwasser dort größtenteils mit einer schwimmenden Pumpenanlage dem See entnommen. Die von Prof. M. Gläser im Laboratorium der Bundesbahndirektion Innsbruck ausgeführten Untersuchungen ergaben die Verwendbarkeit des Seewassers für Bauzwecke. Die Proben wurden in verschiedenen Tiefen nahe dem Westufer des Sees entnommen.

| Entnahmetiefe unter<br>Wasserspiegel <i>m</i> | Zeit der Entnahme | Gramm auf 1 Liter Wasser |          |        |                 |                      |        |        | Gesamthärte |
|---|-------------------|--------------------------|----------|--------|-----------------|----------------------|--------|--------|-------------|
|   |                   | CO <sub>2</sub>          |          | Cl     | SO <sub>3</sub> | O<br>absor-<br>biert | Ca O   | Mg O   |             |
|   |                   | frei                     | gebunden |        |                 |                      |        |        |             |
| 2   | 5. 4. 22          | 0·0605                   | 0·0060   | 0·0043 | 0·0072          | 0·0078               | 0·0614 | 0·0120 | 7·82°       |
| 3   | 21. 9. 22         | 0·0484                   | 0·0031   | 0·0071 | 0·0043          | 0·0097               | 0·0504 | 0·0091 | 6·31°       |
| 4·5   | 5. 4. 22          | 0·0638                   | 0·0072   | 0·0064 | 0·0092          | 0·0064               | 0·0666 | 0·0122 | 8·37°       |
| 6   | 21. 9. 22         | 0·0473                   | 0·0037   | 0·0050 | 0·0037          | 0·0089               | 0·0507 | 0·0077 | 6·15°       |

Die Absenkung des Sees um 11 *m* hatte mehrfach Uferbrüche zur Folge. Sie beschränkten sich fast ausschließlich auf Strecken, welche aus Schluff zusammengesetzt waren und von der darüberliegenden Lehne her ständig durchfeuchtet wurden. Die einzige Ausnahme von dieser Regel machte ein etwa 30 *cm* hoher, bis 150 *m* langer Bruch, der nördlich der Albachmündung in einer Entfernung von 10 *m* dem Ostufer des Sees folgte. Alle anderen Uferbrüche waren von oben her mit Wasser durchtränkt und setzten sich aus einer Reihe von Staffelbrüchen zusammen, welche bis zu 1·2 *m* Einzellhöhe erreichten. Am schönsten war diese Erscheinung in der Südostecke des Sees ausgebildet, aber auch am Südwestufer und in der Nordostecke brach der Tegel in großen Stufen zum abgesenkten Seespiegel nieder.

In der Schweizer Bauzeitung 1923 veröffentlichte Prof. Meyer-Peter (Zürich) im Anschlusse an eine Besprechung der bei der Absenkung des Davoser Sees entstandenen Uferbrüche eine Untersuchung über die

Ursachen von Uferbrüchen bei Absenkung des Wasserspiegels. Er macht für die Uferabbrüche die einseitige „Zusatzspannung“ verantwortlich, welche als Unterschied der Belastung des Seegrundes  $\sigma_1$  und der in

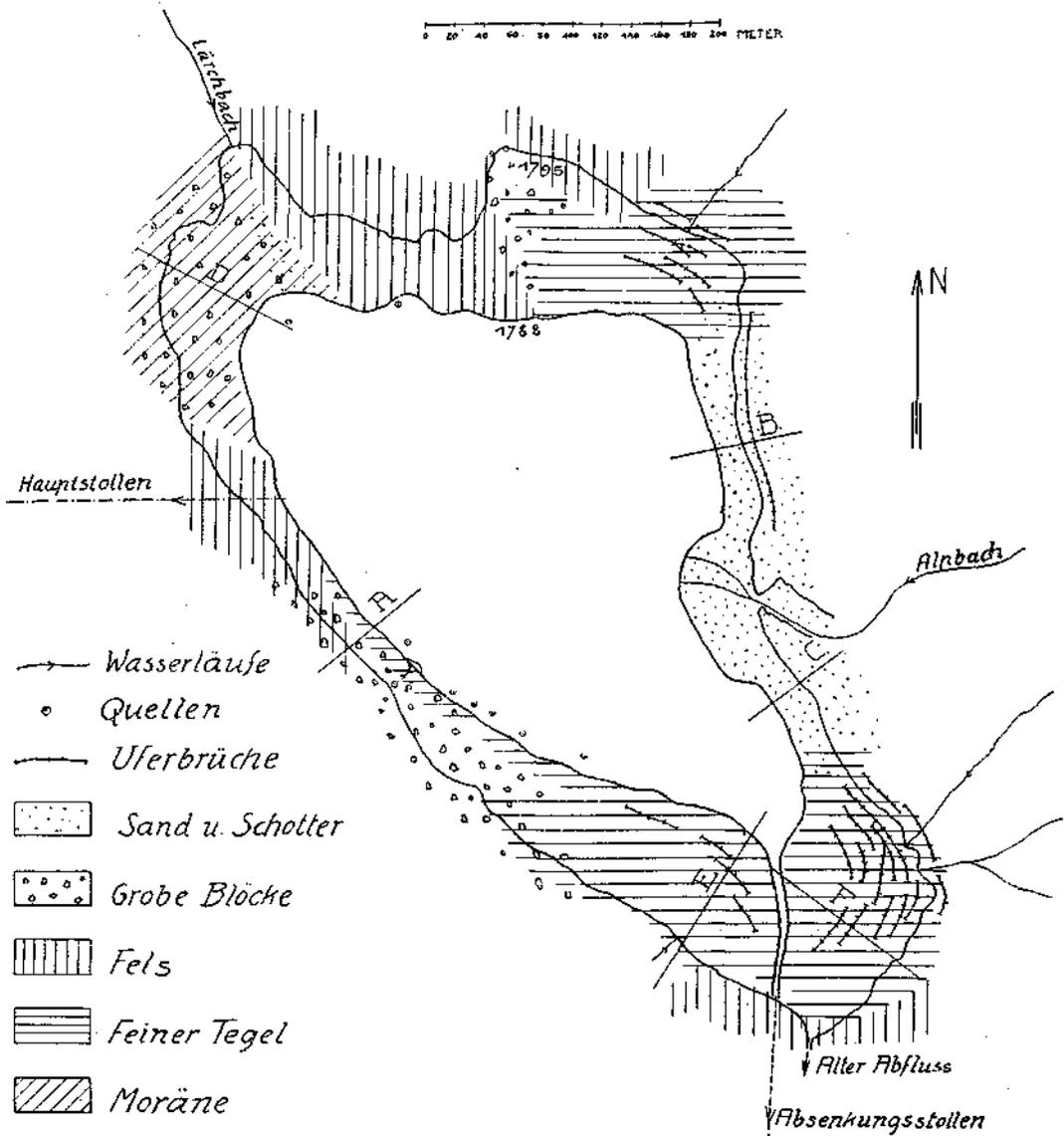


Fig. 24. Bodenverhältnisse an den Ufern des um 7 m abgesenkten Spullersees.

derselben Tiefe unter dem Ufer wirksamen Belastung des Bodens  $\sigma_2$  den Fuß der Böschung ausquetscht und so das Ufer selbst zum Nachbrechen bringt.

Aus Fig. 25 entwickelt Meyer-Peter die Gleichungen:

$$\sigma_1 = H_1 - H_2 - H$$

$$\sigma_2 = H_1 \gamma_s + (H_1 - H_2) \frac{n}{100}$$

worin  $\gamma_s$  das spezifische Gewicht des erdfeuchten Bodens und  $n$  den prozentualen Rauminhalt der nicht kapillaren Hohlräume des Bodens bezogen auf den Gesamtraum des Bodens bedeutet. Die Zusatzspannung ist

$$1. \sigma_z = \sigma_2 - \sigma_1 = H_1 \left( \gamma_s - 1 + \frac{n}{100} \right) + H_2 \left( 1 - \frac{n}{100} \right) + H$$

Bei einer Änderung des senkrechten Abstandes zwischen Grundwasserspiegel und Seespiegel ändert sich  $\sigma_z$  um

$$2. \Delta \sigma_z = \Delta H \left( 1 - \frac{n}{100} \right)$$

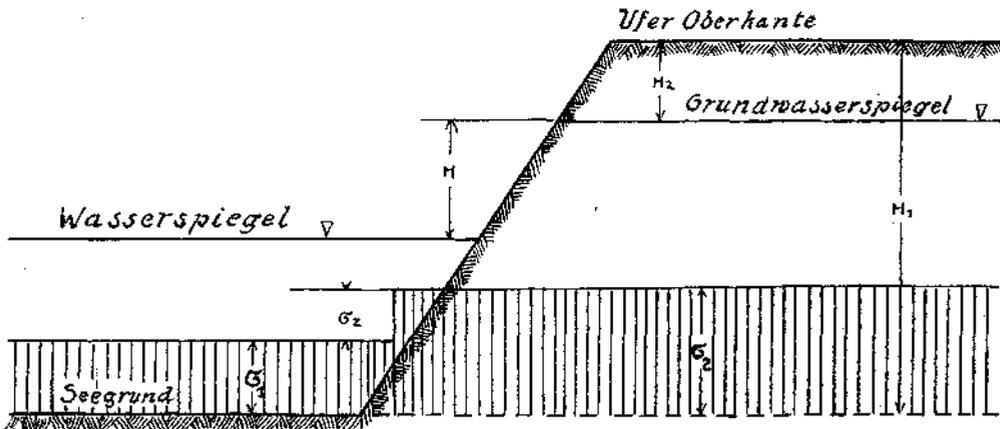


Fig. 25.

Die große Abwechslung in der Bodenbeschaffenheit im unmittelbaren Uferbereiche des Spullersee führt in der Natur eine Abwandlung der Veränderlichen in den Gleichungen 1. und 2. durch und gestattet einen Einblick in die Ursachen der Erscheinung und in die Vollkommenheit ihrer rechnerischen Erfassung.

In Fig. 24 ist die Zusammensetzung der Seeufer schematisch wiedergegeben.

Der Wert  $\Delta \sigma_z$  steigt mit zunehmendem  $H$  und mit abnehmendem  $n$ . Beides wird durch die Tatsachen bestätigt. Der Boden besteht in der NO- und SO-Ecke des Sees, wo die zahlreichsten und bedeutendsten gestaffelten Uferbrüche vorkamen, aus sehr feinkörnigem, glimmerhaltigem, wenig sandigem Tegel, dessen nichtkapillare Hohlräume nur einen verhältnismäßig kleinen Prozentsatz seines Gesamtinhaltes betragen dürften. Das  $n$  ist hier also klein.

An denselben stellen erreichte  $H$  dadurch einen verhältnismäßig großen Wert, daß die zusitzenden Quellen den Grundwasserspiegel dauernd hochhielten, während der Seespiegel absank, zum Unterschiede von anderen Uferstellen, wo in Ermanglung ständiger Wasserzufuhr der Grundwasserspiegel die Senkung des Seespiegels mehr oder weniger mitmachte.

Derselbe Tegel wie in der SO-Ecke des Sees liegt auch am SW-Ufer. Hier war aber die Durchfeuchtung von oben geringer, das  $H$  erreichte

daher, verglichen mit den anderen Uferstellen, nur einen mittleren Wert. Das  $n$  kann so niedrig wie bei den vorherbesprochenen Stellen angenommen werden. Die Neigung ist, wie das Profil *E* zeigt, flach. Die Übereinstimmung mit der Gleichung 2. ist gut, denn die Uferbrüche waren nicht so bedeutend wie an den beiden erstgenannten Stellen.

Für den langen, vereinzelt Bruch nördlich der Alpbachmündung geben die verhältnismäßig großen Werte von  $H_1$  und  $H_2$ , denen allerdings

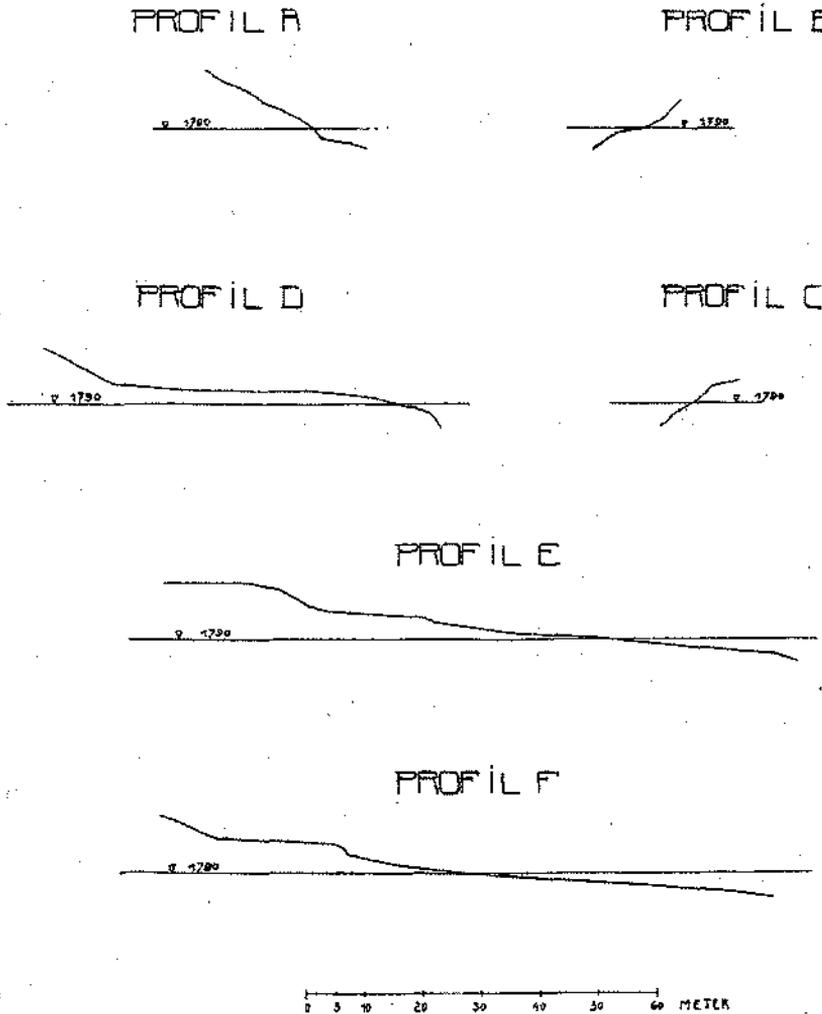


Fig. 26. Schnitte durch das Ufer des abgesenkten Spullersees. Die Bezeichnung der Schnitte bezieht sich auf die Fig. 24.

ein großer Prozentsatz der Hohlräume entgegenwirkt, eine genügende Erklärung.

In der Nordwestecke des Sees besteht das durch die Absenkung freigelegte Ufer aus Moräne, in der jede Korngröße vom Grobblock bis zum feinsten Sand und Lehm vertreten ist, und — als Zusatz — aus dem durch die Lawinen herabgeführten Bergschutt. Auch hier war das  $n$  klein und das  $H$  groß, weil sich in dieser Ecke der Lärchbach als ständiger Zubringer in den See ergießt. Die Neigung ist nicht geringer

als am Südwestufer, auch  $H_1$  kann hier ähnlich wie dort bewertet werden. Ein größerer Wert für  $\gamma_s$ , der hier wegen der vielen großen Blöcke angenommen werden kann, müßte nach der Gleichung 1. Uferrisse begünstigen. Trotzdem traten hier keine Brüche ein.

Dieses verschiedene Verhalten kann somit durch Abwandlung der Veränderlichen in den Gleichungen 1. und 2. nicht erklärt werden und es müssen hierzu noch andere Bedingungen herangezogen werden. Als solche kommen die physikalischen Eigenschaften des Bodens in Betracht, deren Klarlegung erst in jüngster Zeit durch die Forschungen von Terzaghi<sup>1)</sup> eingeleitet wurde. Leider standen seine Veröffentlichungen zur Zeit, als der See abgesenkt war, noch nicht zur Verfügung, und so wurde die Gelegenheit versäumt, die Untersuchung der verschiedenen Uferböden nach den neuen bodenphysikalischen Gesichtspunkten zu versuchen. Korngröße und Ungleichförmigkeit, Innenreibung, Verdichtungsfähigkeit, Elastizität und Druckfestigkeit der Böden beeinflussen jedenfalls sehr stark das Ansprechen der Ufer auf Seeabsenkungen, und diese Kennzeichen werden nur zum Teil und in ungenügender Charakteristik erfaßt von den Werten  $\gamma_s$  und  $n$  der oben besprochenen Gleichungen. Schließlich müßte auch der Böschungswinkel berücksichtigt werden.

Die beim Bau von Wasserkraftanlagen öfters vorkommende künstliche Seeabsenkung bietet fast die einzige Möglichkeit, in planmäßigem Großversuche das physikalische Verhalten der Ufersedimente zu erforschen. Bei der technischen und wirtschaftlichen Bedeutung dieser Frage ist dringend zu wünschen, daß keine solche Gelegenheit unbenutzt gelassen wird, und daß Hand in Hand damit auch die Laboratoriumsforschung durchgeführt wird, welche durch die neue Erdbaumechanik erschlossen wurde.

Die nach der Seeabsenkung vorgenommene Messung der alten Deltaböschung ergab 30 bis 37 Grad Neigung.

Auch in anderer Weise wurde das Gleichgewicht der Oberflächenformen am Seeufer gestört. Vor der Absenkung floß der Alpbach über seinen weit ausgebreiteten Schuttkegel in einem rund 1 m tiefen Bett zum See hinab, in den er ein steiles Delta vorbaute. Durch die Absenkung wurde seine Erosionsbasis fast plötzlich um 11 m tiefer gelegt, so daß der Bach über eine hohe Stufe herabfiel. Sofort begann er diese Stufe nach rückwärts zu verlegen und sein Gefälle nach dem neuen Fußpunkt auszugleichen. Unterhalb der Stufe aber bildete sich ein Cañon mit scharfen Bruchrändern, an dessen Ausgange sich ein neuer flacher Schuttkegel mit steiler Deltaböschung in den See hinaus-schob. Der mäandernde Bach verbreiterte schnell durch Unterschneiden der Steilhänge diese Schlucht.

Alle diese sich gegenseitig bedingenden Veränderungen griffen zeitlich ineinander und liefen in wenigen Monaten in einen neuen Beharrungszustand aus. Dieser bestand in einer von oben nach unten immer breiter und tiefer werdenden Bachschlucht, welche ungefähr bei der Alpwegbrücke im alten Schuttkegel begann und in gleichmäßigem

1) Dr. Ing. Karl Terzaghi, Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage, Wien u. Leipzig 1925.

Gefäll von 3·3 Prozent zu einem weit ausgebreiteten jungen Schuttkegel am neuen Seeufer führte.

Der See friert alljährlich Mitte November zu und taut in der zweiten Maihälfte wieder auf. Die Eisdecke ist infolge des Wechsels von Frost- und Tauwetter, Regen, Schnee und Trockenheit von wechselnder Zusammensetzung und wird 1 m stark.

Eine Messung der Wassertemperaturen durch Herrn Oberkommissär Ing. H. Weigl am 3. Jänner 1923 ergab folgende Werte:

|        |                                      |         |
|--------|--------------------------------------|---------|
| 0·20 m | unter dem eisbedeckten Wasserspiegel | 0·1° C  |
| 3·00 m | " " " "                              | 1·2° C  |
| 6·00 m | " " " "                              | 1·3° C  |
| 7·00 m | " " " " (Seeboden)                   | 1·25° C |

Am selben Tag betrug die Temperatur verschiedener Quellen im Hauptstollen 2—2·5° und die einer Unterwasserquelle im See 3·9° C.

Im Streichen der Kreideschiefer treten im See nahe seinem Südwestufer eine ganze Reihe solcher Quellen auf, welche in Fig. 24 eingetragen sind. Sie liegen im Schichtstreichen der Kreideschiefer und verieten sich dadurch, daß über ihnen kreisrunde Löcher in der Eisdecke lange offen blieben und im Frühjahr vorzeitig ausschmolzen.

### Hauptstollen.

Der Hauptstollen durchfährt von der Grafenspitze bis zum See alle Schichtglieder unseres Gebirges vom Hauptdolomit bis zur Kreide.

Das angeschlossene Stollenprofil gibt ein aufgeklapptes Bild der Ulmen und der Firste wieder.

Die Aufnahme erfolgte im Anschluß an den Vortrieb des 1895 m langen Richtstollens von 2×2 m Querschnitt. Die Längen wurden hiezu alle 5 m eingemessen und bezeichnet, dazwischen abgeschritten.

Der Stollenteil zwischen See und Fenster 1 wurde nach der Ausweitung noch einmal aufgenommen, weil sich die Wasserverhältnisse dann besser überblicken ließen und gerade ihrer Aufnahme wegen der beabsichtigten Dichtung der Stollenauskleidung eine besondere Bedeutung zukam. Hier kam der Aufnahme zugute, daß die Stollenwandung vor der Betonierung gründlich gesäubert und mit Preßwasser abgewaschen wurde, so daß viele Einzelheiten, welche bei der ersten Aufnahme übersehen worden waren, klar heraustraten.

Das Streichen und Fallen der Schichtung wurde an etwa 900 Stellen gemessen, ebenso die Hauptklüftungsrichtungen. Diese Angaben konnten wegen der Raumbeschränkung nicht in die Beilage aufgenommen werden. Aus demselben Grund unterblieb die Eintragung der Zimmerung und eine ausführlichere Darstellung der Wasserführung. In der Darstellung wurden die Gesteinsart und -tracht hervorgehoben, weil sie technisch wichtiger sind, als die stratigraphische Einteilung, die nur am Rande des Bildstreifens vermerkt ist.

Der Hauptstollen durchfährt zwei verschiedene Bauglieder des Gebirges, die durch die große Formarinverwerfung voneinander geschieden sind. Der obere Teil, bis zum St. M. (Stollenmeter) 1100,

durchörtert in spitzem Winkel den Kern und den Südflügel der Spullersmulde. Hier herrscht bei überkippter Lagerung, gleichmäßiges westnordwestliches Streichen mit steilem Südfallen. Der untere Stollenteil, vom St. M. 1300 an, liegt in dem langen und schmalen Zuge, der zwischen der Formarinverwerfung und der Grenze des Kristallins den eigentlichen Südfall des Gebirges zusammensetzt. Hier geht das Streichen ostnordöstlich, das Fallen steil nördlich, oft saiger. Zwischen beiden Gebieten durchfährt der Stollen die Störungszone der Formarinverwerfung. Während der obere Stollenteil einen reichen Wechsel an Gesteinen aufweist, liegt der untere ganz im einförmigen Hauptdolomit.

Im oberen Stollenteil treten zahlreiche Quellen aus dem Gebirge in den Stollen aus, auf die wir später zurückkommen.

Betritt man den Hauptstollen vom See her, so kommt man vom Einlauf bis zum St. M. 217 durch Kreideschichten. Es sind dunkle, äußerst feinkörnige, mergelige Tonschiefer, die von einzelnen in der Schichtung liegenden Kalzitlinsen durchzogen werden. Unregelmäßig verlaufende, mit Kalzit verheilte Klüfte durchziehen das Gestein und verbinden mit ihrem weißen Geäder die Schichtlinsen. An das so entstehende weitmaschige Netz von Kalzitadern ist die Wasserführung des im übrigen wasserdichten Gesteins geknüpft. Das Gestein besitzt eine deutliche Druckschieferung. Die oft mehrblättrigen Kalzitadern sind häufig in enge, gekröseartige Falten gestaucht. Die Ausstriche von Bewegungsflächen sind nur an wenigen Stellen zu erkennen.

Von St. M. 217 bis 228 durchstößt der Stollen das schmale Tithonband, das sich in unserem Gebiet fast überall zwischen Kreide und Lias einschiebt. Es besteht hier nur aus den lichtgrauen, spätigen Aptychenkalken und den bunten Hornsteinmergeln. Die Kalke führten reichlich Wasser. Sie bilden einen durchlässigen Horizont zwischen verhältnismäßig dichten Gesteinen. Die Abgrenzung des Tithons ist nach oben und unten scharf.

Die nun folgenden Fleckenmergel reichen bis zum St. M. 350. Sie gleichen in ihrer Tracht und wenig gestörten Lagerung vollkommen den Fleckenmergeln der Südsperrre. Ihre gestauchten Kalzitlinsen und ihr Kluffgeäder erinnern an die gleiche Erscheinung bei den Kreideschiefern. Gegen O zu gehen sie in Hornsteinmergel über und entsenden, wohl beeinflusst durch den nahen Kalk, eine größere Anzahl von Quellen in den Stollen.

Während bisher die Stollenwände ein ziemlich einheitliches und auch eintöniges Bild der Kleintektonik der Mergel gaben, ändert sich dies wie mit einem Schlage, sobald man in die Kalkzone eintritt. Mit den zähen und den spröden Gesteinen stoßen die zwei Verformungsarten Biegen und Brechen unmittelbar aneinander. Das ganze, vom Stollen auf 300 m durchfahrene Kalkgebiet ist eigentlich eine einzige Riesenbreccie. Das Ausmaß der Verschiebungen ist meist nicht groß, oft nur wenige Dezimeter aber diese Verschiebungen durchsetzen das Gebirge nach allen Richtungen und zerlegen es in unregelmäßige Blöcke jeder Größe.

Von St. M. 375 bis 407 durchfährt der Stollen Adnether Kalk. Unter dichten, graubraunen Kalken folgen rote, dünnbankige, flaserige Mergel, darunter liegen undeutlich geschichtete, zerklüftete rote Kalke. Einige

Klüfte in diesen sind mit achatartigen Saalbändern vom lichtgrauen Absatz des benachbarten Dachsteinkalkes erfüllt. Dort im Dachsteinkalk tritt genau das Gegenspiel hiezu auf.

Der Dachsteinkalk setzt an einer Verwerfungsfläche mit Riffkalk ein, der ganz von Korallen und Megaladonten erfüllt ist. Dichte, lichtgraue, fossilere Stücke wechseln mit Riffkalen, immer begrenzt von Verwerfungsclüften. Bei St. M. 434 treten zum erstenmal grüne und rote, feingeschichtete Mergel in diesen Cañon ein. Als ganze Blöcke ebenfalls der starren Mechanik des Kalkes unterworfen, hat ihr Inneres die geschmeidige Formensprache der Mergel bewahrt.

Ihren Höhepunkt erreicht die Zerklüftung in der Nähe des St. M. 500. Ein Keil von Adnetherkalk ragt hier — mitten im Dachsteinkalk — bis zum Stollen herauf. Vielleicht ist sein Abbild über Tag die große Falte, die sich durch die Nordwand des Blattnitzer Joches zieht. Im Stollen wurden dort einige Kamine angeschlagen. Sie führten viel Wasser und waren größtenteils lehrnerfüllt. Vor der Herstellung der Stollenverkleidung wurden sie mit Betonpfropfen geschlossen und durch diese hindurch mit Preßmörtel hinterspritzt. Die Quellen erreichten in dem Stollenteile zwischen St. M. 500 und 562 ihre größte Stärke. Eine ähnliche Stelle findet sich noch zwischen St. M. 660 und 670.

Die Grenze zwischen Dachsteinkalk und Kössener Schichten ist nicht klar, denn Korallenkalke finden sich in beiden. Sie liegt jedenfalls in der Nähe des ersten Auftretens dunkelgrauer, gut geschichteter Kalkmergel, welche gegen die bunten Mergel des Dachsteinkalkes auffallend abstechen. Im Profil wurde die Grenze bei St. M. 681 eingezeichnet, weil sich dort zum erstenmal neben den grobstengeligen Korallen des Dachsteinkalkes eine zarter gebaute fand. Über freundliche Vermittlung des Herrn Kustos Dr. F. Trauth hat sie Dr. O. Kühn besichtigt und als *Pinacophyllum* aff. *unnulatum* (Reuss) Frech angesprochen.

400 m lang durchfährt der Stollen nun Kössener Schichten. Im oberen Teil bestehen sie aus wechsellagernden Korallenkalen, mergeligen Kalen und dunklen Kalkmergeln. Das Gestein wird nach unten immer mergeliger, eine dünnbankige Schichtung herrscht vor. Einzelne Blätter von weichen, braunschwarzen Schiefen schieben sich ein und nehmen nach unten an Häufigkeit und Mächtigkeit zu, während die Korallenkalke ausbleiben. Die kalkreicheren Lagen sind stark zerklüftet und spenden zahlreiche Quellen. Vom St. M. 955 an hören die Quellen plötzlich auf. Beim St. M. 1000 werden die dunklen Schiefer allein herrschend. Sie sind verworfen und ihre feimblätterige Schichtung zeigt eigentümlich walzenartige Einrollungen. Von hier führt das 90 m lange Fenster 1 durch gefaltete Schiefer und Mergel an den Tag.

Weithin wechsellagern die weichen Schiefer mit Mergelbänken bei regelmäßiger Lagerung, nur einmal unterbrochen von einem eingerollten Paket, bis die Mergel bei einer Verwerfung mit einer Mylonitzone an Plattenkalk stoßen (St. M. 1096). Der Stollen ist hier in den Bereich der Formarinverwerfung eingetreten. In dieser Zone, die bis zum St. M. 1300 reicht, wechselt das Streichen und Fallen mehrfach und

plötzlich. Eine ganze Anzahl von Gesteinsschollen sind hier ineinander gestoßen, darunter auch zwei Schollen von Kössener Mergeln und Schieferen! Vor ihren Stirnen ist das Nachbargestein zermalmt. Auch die Schieferlagen sind zerquetscht und ineinander gestaucht. Allmählich klingt die heftige Bewegung gegen W aus.

Bei St. M. 1270 geht der Plattenkalk in Hauptdolomit über, der das weiterhin eintönige Bild des Stollens beherrscht. Der Stollen führt nahezu im Streichen des Dolomits. Die einzige Abwechslung bringt die Änderung der Klüftigkeit. Viele Klüfte sind mit Kalk- oder Dolomitspat verheilt; viele sind offen und dann meist mit einem sehr feinkörnigen Mergelstaub ausgefüllt, der bei Wasserzutritt zusammenklebt. Diese Schmierlassen erreichen bis zu 5 cm Mächtigkeit. An den klüftigen Stellen treten trotz 80—120 m Überlagerung die Niederschlagwässer schon nach 3—5 Stunden in den Stollen ein.

Vor Erreichung des Fensters 3 biegt die Stollenachse, die vom See her die Richtung N 68° O eingehalten hatte, in die Richtung N 13° W um. Der Dolomit wird nun senkrecht zum Streichen durchörtert. Der Stollen führt hier unter der „weißen Rufe“ durch in den nach drei Seiten freistehenden Bergkegel der Grafenspitze. Das Gestein steht schon unter dem Einflusse der Verwitterung und ist stellenweise zu feinem Grus aufgelöst. Hier und im Fenster 3 erforderte schon der Vortrieb des Richtstollens schweren Einbau. Am steilen Südabfall der Grafenspitze erreichte der Richtstollen den Tag.

Die Verhüllung des Geländes mit Schutt- und Pflanzendecke verhinderte eine Verfolgung der im Stollen beobachteten Kleintektonik über Tag. Selbst die im Stollen oft und in großer Mächtigkeit auftretenden bunten Mergel des Dachsteinkalkes konnten an der Oberfläche nur an zwei Stellen nachgewiesen werden: südlich des Blattnitzerjochgipfels bilden sie unter dem Einflusse der Formarinverwerfung eine enggepreßte Mulde, die von den Hölltobelbaracken aus gut sichtbar ist; ein zweitesmal stehen sie am Vornetz unter dem Aufschwunge des Ostgrates des Blattnitzerjoches an.

Der obere Stollenteil hat, wie erwähnt, zahlreiche Quellen angeschlagen. Sie sind im Stollenprofil verzeichnet. Über die Herkunft dieses Wassers haben die Herren Ministerialrat Ing. M. Singer und Oberbergrat Dr. O. Ampferer übereinstimmende Gutachten abgegeben.

Der überkippte Südflügel der Spullersmulde leitete zwischen seinen Schichtblättern von abwechselnd wasserdichtem und durchlässigem Gestein einen Grundwasserstrom gegen O, wo er größtenteils am Grapsboden südlich und unterhalb des Spullersees in einigen Quellen zutage trat. Der Stollen durchfährt dieses System von Wasserträgern in spitzem Winkel zum Schichtstreichen und wirkt so als Drainage. Er hat nun die Richtung der Entwässerung umgekehrt und führt sie nach W beim Fenster 1 heraus. Das oberflächliche Einzugsgebiet dieses Grundwasserstromes fällt fast ganz außerhalb des Einzugsgebietes des Spullersees. Es liegt im S und W von diesem und erhält wahrscheinlich noch Zufluß aus dem Glongebiete.

Mit dem Beginn der Schneeschmelze und mit dem Auftauen der gefrorenen Humusdecke springt die Wasserführung im April plötzlich an; sie erreicht nach Beendigung der Schneeschmelze ihren Höhenpunkt und sinkt dann bis Mitte Jänner auf 0 herab. In der Beilage ist sie für das Jahr 1923 mit den Beziehungen dargestellt, die sie mit der Schneeschmelze, den Lufttemperaturen, Niederschlägen und dem oberirdischen Abflusse des Spullersees verknüpfen. In diesem wie in der unterirdischen Entwässerung des Stollengebietes kommen flüssige Niederschläge fast gleichzeitig zur Auswirkung. Die Wege, die das Oberflächenwasser bis zum Stollen zurückzulegen hat, können daher nicht lang sein.

Es sind gegen 200 Quellen, die sich in den Stollen ergießen. Die meisten sind an Kalzitadern der Mergel oder an Verwerfungen im Kalk gebunden. Im Stollenprofil sind sie nach drei Größenklassen verzeichnet. Die stärkste Quelle bei St. M. 540 liefert im Frühsommer 12 *sek/l.* Bei einigen Quellen wurde das Anschwellen des Wassers im Frühjahr verfolgt:

| Lage der Quelle<br>Stollenmeter: | Ergiebigkeit der Quelle in Sekundenliter in den Tagen 1923: |         |         |         |         |       |       |       |       |
|----------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
|                                  | 25. IV.   | 26. IV. | 27. IV. | 28. IV. | 30. IV. | 2. V. | 3. V. | 4. V. | 8. V. |
| 162                              |   |         |         |         |         |       | 0.5   | 0.7   | 1.0   |
| 658                              | 0.1   | 0.1     | 0.1     | 0.1     | 0.1     | 0.3   | 0.5   | 0.5   | 0.8   |
| 660                              |   |         |         |         |         |       |       | 2.0   | 5.0   |
| 723                              | 0.3   | 0.3     |         |         |         |       |       | 1.0   | 1.3   |
| 806                              | 2.7   | 2.7     | 2.7     | 2.7     | 3.0     | 3.0   | 3.0   | 5.0   | 10.0  |
| 807                              |   |         |         |         |         |       | 0.9   | 1.1   | 4.0   |
| 809                              | 1.0   | 1.0     | 1.0     | 1.0     | 1.0     | 1.2   | 1.4   | 1.7   | 2.2   |

Über die Temperaturen einiger Quellen unterrichten folgende Messungen durch Herrn Oberkommissär Ing. H. Weigl:

| Lage der Quelle<br>Stollenmeter | 100 211 245 327 362 388 397 541 551 660 806 955 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Temperatur<br>in Grad<br>C      | 3. I.<br>1923                                   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 2.5 | 2.4 |
|                                 | 18. IV.<br>1923                                 | 4.2 | 2.1 | 2.3 | 2.7 | 3.3 | 3.4 | 3.4 | 4.7 | 3.4 | 4.7 | 4.8 | 5.0 |

Die Lufttemperatur im Stollen betrug am 18. April zur Zeit der Quellmessung + 5°. Die ersten drei Kolonnen beziehen sich nicht auf Einzelquellen, sondern auf das in der Stollensohle gesammelte Quellwasser. Im allgemeinen steigen die Temperaturen gegen W an.

Die Quellen bei St. M. 955 und 1215 waren die einzigen, die ganzjährig flossen.

Die chemische Untersuchung der Quellen im Laboratorium der Bundesbahndirektion Innsbruck durch Herrn Professor M. Gläser ergab.

| Quellen im Stollenmeter | Zeit der Entnahme | Gramm auf 1 Liter Wasser |        |        |                 |              |        |        | Gesamthärte <sup>d</sup> |
|-------------------------|-------------------|--------------------------|--------|--------|-----------------|--------------|--------|--------|--------------------------|
|                         |                   | CO <sub>2</sub>          |        | Cl     | SO <sub>3</sub> | O absorbiert | Ca O   | Mg O   |                          |
|                         |                   |                          |        |        |                 |              |        |        |                          |
| 162                     | 10. 11. 22        | 0·0605                   | 0·0061 | 0·0057 | 0·0234          | 0·0069       | 0·0526 | 0·0247 | 8·72°                    |
| 327                     | "                 | 0·0495                   | 0·0055 | 0·0036 | 0·0089          | 0·0103       | 0·0359 | 0·0211 | 6·68°                    |
| 460                     | 5. 4. 22          | 0·0528                   | 0·0088 | 0·0071 | 0·0048          | 0·0019       | 0·0526 | 0·0121 | 6·95°                    |
| 658                     | 3. 4. 22          | 0·0495                   | 0·0033 | 0·0050 | 0·0085          | 0·0101       | 0·0411 | 0·0163 | 6·39°                    |
| 725                     | 19. 12. 22        | 0·0462                   | 0·0039 | 0·0050 | 0·0089          | 0·0104       | 0·0378 | 0·0176 | 6·26°                    |
| 806                     | "                 | 0·0528                   | 0·0050 | 0·0043 | 0·0194          | 0·0090       | 0·0414 | 0·0260 | 7·98°                    |
| 927                     | 6. 4. 22          | 0·0979                   | 0·0055 | 0·0043 | 0·1161          | 0·0068       | 0·0595 | 0·0555 | 13·72°                   |
| 1215                    | 3. 4. 22          | 0·0484                   | 0·0028 | 0·0036 | 0·0092          | 0·0099       | 0·0389 | 0·0198 | 6·66°                    |

Im ersten Entwurf der Oberwasserführung war ein wasserdichter Druckstollen vorgesehen. Auch als dieser Plan zugunsten eines Rohrstollens abgeändert worden war, bestand noch die Absicht, das Grundwasser durch eine vollkommen wasserdichte Ausmauerung des Stollens in seine alten Wege im Gebirge zurückzudrängen und die Quellen am Grapsboden wieder zu beleben, welche seit dem Stollendurchschlag versiegt waren. Am Grapsboden war die Fassung und das Einpumpen dieses Wassers in den Spullersee in Aussicht genommen.

Die Stollenausmauerung hatte auch den Erfolg, daß die meisten Grapsbodenquellen wieder Wasser führten, doch zeigte es sich, daß trotz der Hinterspritzung der Mauerung eine vollkommene Dichtung der Stollenwandung nur mit großem Aufwand zu erreichen gewesen wäre. Die Hinterspritzung hätte fortgesetzt und der Stollen auf seine ganze Länge mit einem inneren Glattputz versehen werden müssen.

Unter diesen Umständen wurde die Absicht, das Wasser in den Berg zurückzudrängen, aufgegeben, und seine Einpumpung unmittelbar in die Stollenrohrleitung vorgesehen.

Die Quellen wurden gefaßt und ergießen sich aus eisernen Rohrstutzen durch die Stollenverkleidung hindurch in die Sohle des Hauptstollens, welche sie bis zum Fenster 1 leitet. Dort soll später das gesammelte Wasser in das Stollenrohr gepumpt werden.

Der Richtstollen wurde vom Einlauf und von den drei Fenstern aus vorgetrieben. Das Stollengefälle beträgt bis zum Fenster 2 3 ‰, von dort bis zum Auslauf 7 ‰. Zwischen Einlauf und Fenster 1 bereitete der Wasserzudrang unerwartete Schwierigkeiten und erzwang zeitweise die Einstellung der Arbeiten, die erst in den wasserarmen Winter- und Frühjahrsmonaten fortgesetzt werden konnten. Obwohl in die nachfolgende Zusammenstellung nur Strecken einbezogen wurden,

deren Vortrieb einigermaßen gleiche Arbeitsbedingungen bot, zeigt sie doch nur das eine deutlich, daß die erwähnten Schwierigkeiten den Einfluß der Gesteinsart auf den Vortrieb vollkommen verwischen. Zur Erfassung dieses Einflusses war auch der Gesteinswechsel zu lebhaft. Nur im Hauptdolomit wurden längere Strecken gleichartigen Gebirges durchfahren. Die Zusammenstellung bezieht sich nur auf Gedingevortrieb mit Preßluftbohrung (Flottmann).

Der Einbau wurde einbezogen, dagegen ist die Wasserhaltung und -ableitung in den Zahlen nicht einbezogen.

| Gesteine            |                     | Kreide-<br>schiefer | Dachsteinkalk<br>und<br>Kössener Kalk | Kössener<br>Mergel | Haupt-<br>dolomit |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Strecke St. M.      |                     | 81—236              | 543—746                               | 746—986            | 1468—1792         |
| Auf 1 m<br>Vortrieb | Arbeitsstunden      | 51·0                | 41·8                                  | 60·7               | 83·9              |
|                     | Dynamit <i>kg</i>   | 10·8                | 15·1                                  | 12·0               | 8·6               |
|                     | Kapseln St.         | 14·1                | 17·5                                  | 23·0               | 13·0              |
|                     | Zündschnur <i>m</i> | 25·4                | 34·8                                  | 33·2               | 20·6              |

Bezeichnender für das Verhalten der Gesteine sind die Überprofile, die sich beim Vollausbau des Stollens ergaben. Sie beziehen sich auf die Fläche des planmäßigen Betonquerschnittes der Stollenauskleidung. Diese war einheitlich mit 20 *cm* Stärke festgesetzt, nur in der Formarinverwerfung wurde sie auf 25 und 30 *cm* verstärkt.

|   | Kreide-<br>schiefer | Flecken-<br>mergel | Dachstein-<br>kalk | Kössener<br>Mergel | Platten-<br>kalk | Haupt-<br>dolomit |
|---|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| Überprofile in %<br>des Betonquer-<br>schnittes | 32                  | 59                 | 85                 | 93                 | 44               | 60                |

Das Gebirge war nirgends aktiv druckhaft. Doch erforderten die Mylonitstrecken im Hauptdolomit gegen den Stollenauslauf zu und die Kössener Schichten im Bereiche der Formarinverwerfung zum Teil starke Zimmerung. In letzterer Zone erhielten 33 Prozent, im Hauptdolomit 28 Prozent, in den Adnether Kalken 15 Prozent des Richtstollens Einbau.

Die Entwässerung während des Stollenvortriebes besorgte auf der Einlaufseite eine zweistufige Pumpenanlage, gegen das Fenster zu ein offenes Sohlengerinne. Während der Mauerungsarbeiten war ein Betonsohlkanal in Benützung, der später vollkommen mit Beton ausgefüllt wurde, um dem Wasser keinen Weg längs des Stollens freizugeben.

Der Stollen wurde ursprünglich als Druckstollen mit einem Innendruck bis zu 4·6 Atmosphären geplant. Die Unsicherheit, mit der die Praxis noch im Jahre 1921 der Druckstollenfrage gegenüberstand, sowie



Auf Grund dieser Versuche wurde der Plan eines Druckstollens aufgegeben und eine im ausgekleideten Hauptstollen frei verlegte eiserne Rohrleitung ausgeführt. Siehe den Querschnitt Fig. 27.

Andere Versuche galten der Versteinung des losen, hinter der Zimmerung liegenden Gesteinsgruses in den Strecken zermahlenden Dolomits. Durch Hinterspritzung von Zementmilch durch die Zimmerung sollte dieser Schutt so verfestigt und mit dem dahinter liegenden Gestein verbunden werden, daß der hölzerne Einbau entfernt werden konnte. Auch diese Versuche führten zu keinem Erfolg; denn das im Schutt verteilte feinkörnige Gesteinsmehl filterte den Zement aus dem Wasser ab, so daß sich nur eine dünne Zementhaut außen an die Zimmerung anlegte. Aus demselben Grunde drang der Zement auch nicht in die von solchem Mehl erfüllten Klüfte des Gesteins ein.

Im Stollenteil zwischen Einlauf und Fenster 1 wurde die Betonverkleidung mit Preßmörtel von 4 Atmosphären Druck hinterspritzt. Die Spritzlöcher wurden im ganzen Umfang des Stollenquerschnittes angesetzt, doch nur in der Firste und im oberen Teil der Ulmen konnten größere Mengen von Preßmörtel eingebracht werden, denn dort sinkt der Beton der Stollenauskleidung auch beim sorgfältigsten Stampfen etwas zurück und läßt zwischen sich und dem Gebirge eine offene Fuge, welche durch das Schwinden des Betons noch verbreitert wird und schließlich 1 bis 4 cm klafft. Der in diese Fuge durch ein Bohrloch im erhärteten Beton eingepreßte Mörtel wirkt mit Flächendruck von außen auf den ganzen Rücken der Mauerung. Er füllt die Fuge und von ihr aus auch die Hohlräume des Betons. Im unteren Teile der Ulmen und in der Sohle, wo keine solche Fuge zwischen Beton und Gebirge entsteht, kann der Preßmörtel nicht mit Flächendruck auf den Beton wirken, sondern höchstens zufällig angebohrte kleine Hohlräume im Beton füllen.

Im Durchschnitt wurden auf den laufenden Meter 440 l Mörtel mit 180 kg Zement verbraucht. Die größte Aufnahmefähigkeit zeigte ein Spritzloch bei St. M. 540 in der Nähe der Kamine im Dachsteinkalk. Durch dieses Loch wurden 19.500 l Mörtel hinter die Stollenwandung gepreßt. Die Arbeit wurde in der wasserfreien Zeit durchgeführt; ihr Erfolg war vollkommene Dichtung der Stollenfirste.

Der höchste Seestau liegt 40 m über der Sohle des Stolleneinlaufs. Da die Gesteinsschichten dort auf die Seehalde senkrecht stehen und gegen den Stollen zu einfallen, besteht die Möglichkeit, daß der gestaute See längs der Schichtflächen Grundwasser in den Stollen drückt. Der Stollen erhielt daher auf die ersten 100 m hinter dem Einlaufschacht noch eine besondere Abdichtung durch einen inneren Glattverputz.

Sand, Kies und Schotter für die Stollenbetonierung lieferten teils die Aufbereitungsanlagen bei der südlichen Sperre, teils die im Tale, welche ihren Rohstoff aus einem Steinbruch im Muschelkalk erhielten. Auch Rhein- und Illsand fand im Stollen Verwendung; besonders für die Hinterspritzungen.

Das Wasserschloß liegt im Hauptdolomit der Grafenspitze. Trotz des ungemein zerklüfteten Gesteins wurde der 5 m weite Vollausbuch des kreisrunden Schachtes ohne Zimmerung ausgeführt. Hand in Hand damit ging die Betonauskleidung. Vom Schachthaupt beginnend wurden 2 m hohe, kegelstutzförmige Trommeln ausgebrochen. Jede Trommel erhielt sofort ihren Betonmantel, der sich mit seinem verbreiterten Fuß rings in die Wand stemmte und sich so selbst trug. Die Schutterung ging durch den Richtschacht zum Hauptstollen hinaus, der Beton wurde von oben durch Holzgerinne zugebracht. Der Ausbruch war der Betonierung immer um zwei Ringe voraus. Die Panzerung des Wasserschloßschachtes erfolgte von unten nach oben unter dem Schutze des äußeren Betonmantels.

Der Einlaufschacht erhielt im gleichen Verfahren seine Betonauskleidung.

Der Hauptdolomit, der den oberen Teil der Grafenspitze aufbaut, hat ihren ganzen Südhang mit einer mächtigen Schutthalde überdeckt. Ein 70 m über dem Krafthaus in diese Halde vorgetriebener Probestollen erreichte nach 54 m Vortrieb noch nicht den anstehenden Fels. Der Schutt zeigt eine dem Hange gleichgerichtete Schichtung von abwechselnden Lagen gröberer und feineren Kornes. Letztere erhalten auch reichlich mehlig-mergelige Bestandteile, welche einen so festen Kitt abgeben, daß sich Böschungen von 50° Neigung die ganze Bauzeit hindurch unversehrt erhielten.

Die Gründung der Stützen und Festpunkte der Druckrohrleitung konnte nur in deren oberstem Teil auf gewachsenem Fels erfolgen. Weiter unten stehen sie im Dolomitschutt. Um die Pöhlung, welche die 7—8 m tiefen Baugruben erfordern, zu vermeiden, wurde die Gründung nach dem Versteinungsverfahren versucht. Hiezu wurden 2 m lange, durchlochte Gasrohre oberhalb und seitlich der Baustelle in den Schutt eingetrieben und durch sie dünner Zementmörtel in den Schutt eingepreßt. Nach der Erhärtung dieser Einspritzung wird der so von einem mageren Beton umgebene Schuttkern bis zur Tiefe, auf welche die Einspritzung reichte, ausgehoben. Dieses Verfahren wird so oft wiederholt, bis die gewünschte Tiefe erreicht ist. Beim ersten Versuch (Festpunkt 5) hatte dieser Bauvorgang Erfolg. Beim zweiten versagte er deshalb, weil dort die Schichtung des Schuttes schräg zur Hangoberfläche und zur Achse der Baugrube verlief. Der eingespritzte Zementmörtel folgt den Schichten groben Kornes und deren Fallrichtung nach abwärts. Er floß hier von den Spritzlöchern der einen Seite in den Kern hinein, von denen der andern Seite von der Baugrube weg, und deren Ränder blieben unverfestigt.

Auch das Krafthaus ist noch im Fuße dieser Schutthalde gegründet.

**Tafel III bis X.**

**Ampferer-Ascher. Spullerseewerk.**

### Tafel III.

Abbildung 1. Photographie Ascher. Abgedeckter Grund der südlichen Sperre östliche Hälfte. Blick gegen O. Im Mittelgrund von rechts nach links ansteigend die die Sperre schräg durchziehende mittlere Verwerfung. An den vom Eise polierten Felsen sind die Schichtköpfe der westöstlich streichenden saigeren Fleckenmergel erkennbar.

Abbildung 2. Photographie Ascher. Ansicht des Schafberges vom Gehrengrat. Die Schlifffgrenze liegt rund 2300 m. Im Vordergrund auf rund 2200 m alte Ver-  
ebnungsflächen. Vgl. dazu Textfigur 18.

Abbildung 3. Photographie Ascher. Ansicht der Rohnspitze vom Vornetz. Südfügel der Spullersmulde. Den weicheren Schichtgliedern entsprechen die Täler: links Kreidemulde von Spullers, Mittelgrund Goppelkar in Kössener Schichten, rechts Blissadonatobel in Raibler Schichten. Die Schichtfolge ist in Textfigur 3 angegeben. Links im Hintergrund die Wildgrubenspitze. Im Vordergrund die rund 2000 m hoch gelegene Altfläche des Vornetz mit Karrenbildungen.

### Tafel IV.

Abbildung 1. Photographie Ascher. Mündung des Albaches in den um 11 m abge-  
senkten Spullersee im Jahre 1923. Das neue Gefälle des Albaches ist schon  
ausgeglichen, der beim Beginn der Absenkung schmale Cañon ist verbreitert,  
die ihm entnommenen Schuttmassen liegen als junges, breites Delta vor seiner  
Mündung.

Abbildung 2. Photographie Ascher. Uferbrüche an der Südostecke des Spullersees.  
Vgl. Textfigur 24.

Abbildung 3. Photographie Ascher. Grund der südlichen Sperre östlich der Mittel-  
verwerfung. Stauchung der saiger stehenden Fleckenmergel, abgedeckter  
Gletscherschliff.

Abbildung 4. Photographie Ascher. „Unterer Steinbruch“ SW der südlichen Sperre  
vor Beginn des Abbaues. Gletscherschliff mit Karrenbildung im Dachsteinkalk.  
Der Stein war nicht von Humus überdeckt.

### Tafel V.

Abbildung 1. Photographie Trautner. Gestauchte Kreideschiefer mit Kalzitlinsen,  
Hauptstollen, linke Ulme St. M. 211.

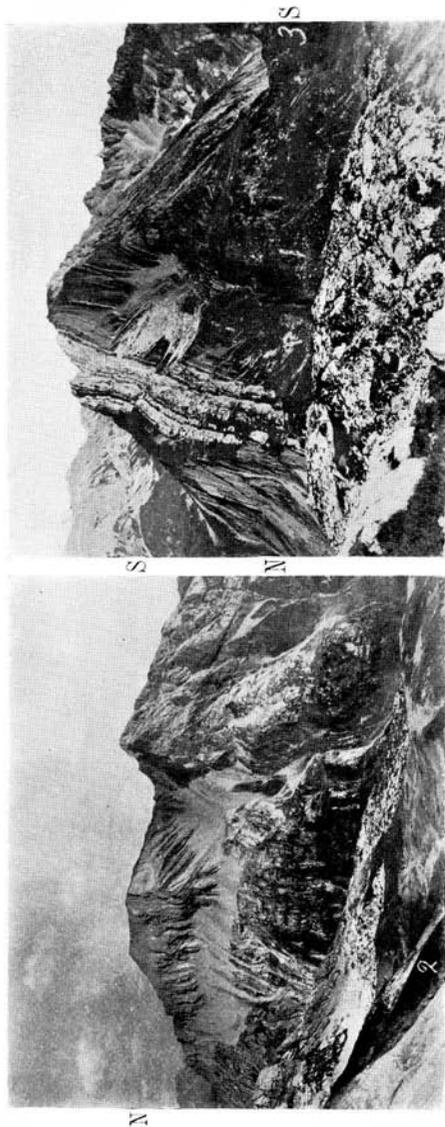
Abbildung 2. Photographie Trautner. Gestauchte Kreideschiefer mit Kalzitlinsen,  
Hauptstollen, linke Ulme, St. M. 166.

Abbildung 3. Photographie Trautner. Bunte Mergel, wechsellagernd mit dünnbankigen  
Kalken. Dachsteinkalk. Links unten eine dickere Bank Riffkalk. Hauptstollen,  
rechte Ulme, St. M. 343.

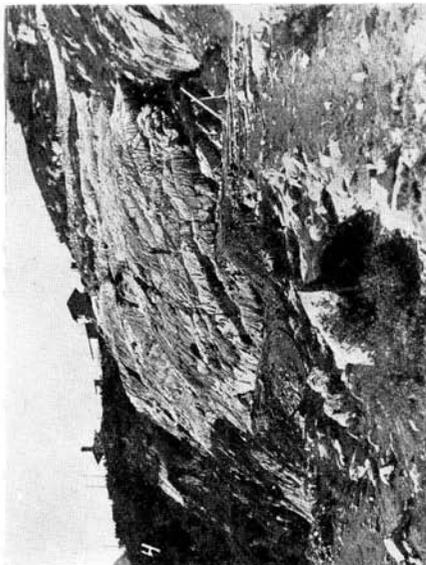
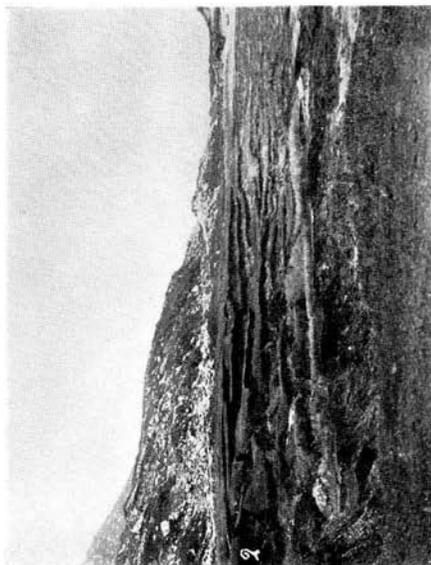
Abbildung 4. Photographie Ascher. Spullersalpkopf vom Gipfel der Rohnspitze. Die  
Schichtfolge ist in Textfigur 12 angegeben. Im Hintergrund das Grubenjoch,  
darüber die Rockspitze.

### Tafel VI.

Photographie Ing. Schieferl. Vom Eis ausgeschliffene Rinne nahe dem Westende der  
nördlichen Sperre des Spullersees. Das Bild zeigt nur die untere Hälfte der in  
Fleckmergelu ausgeschliffenen und später verschütteten Hohlkehle.



N—S



N—S



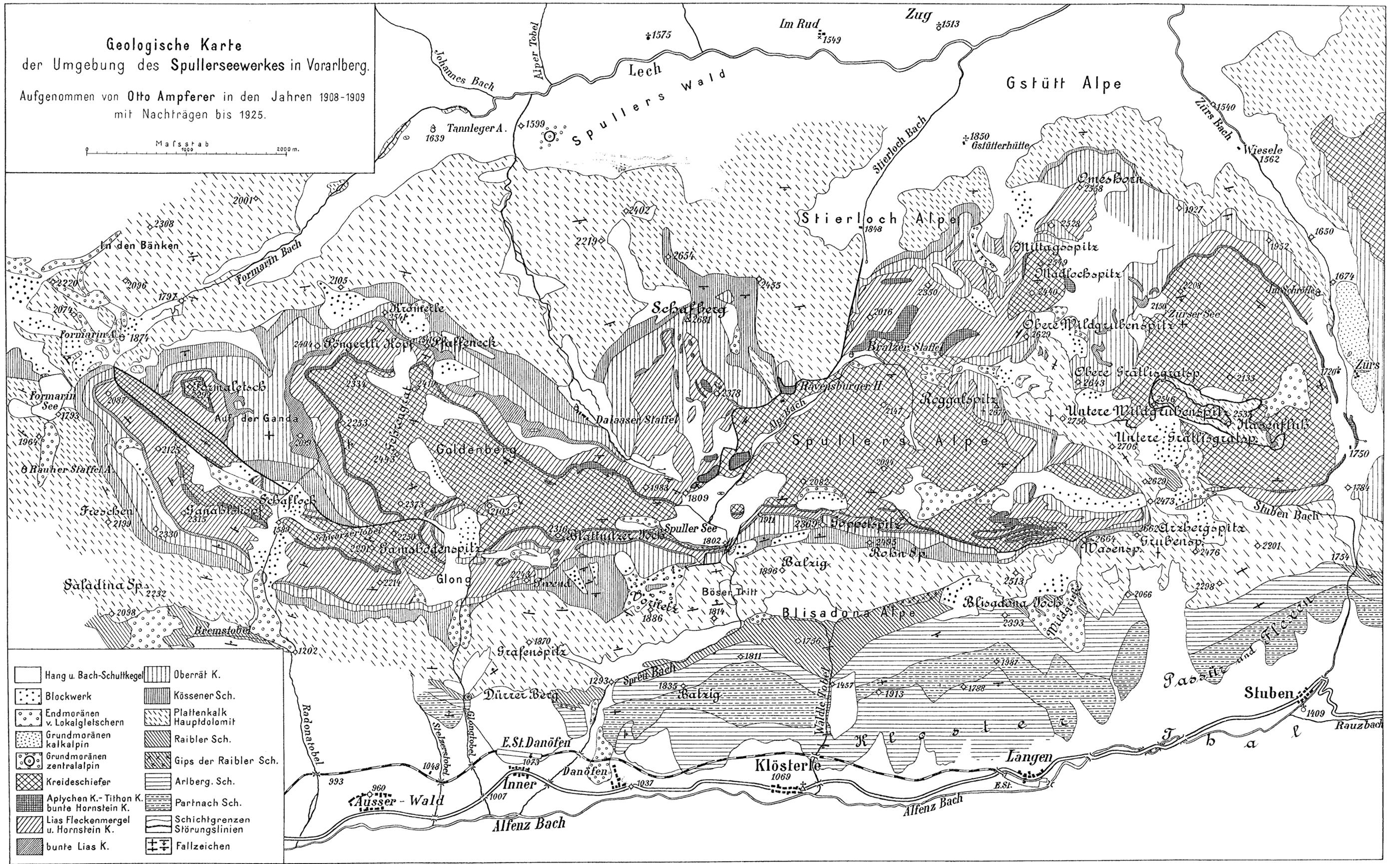


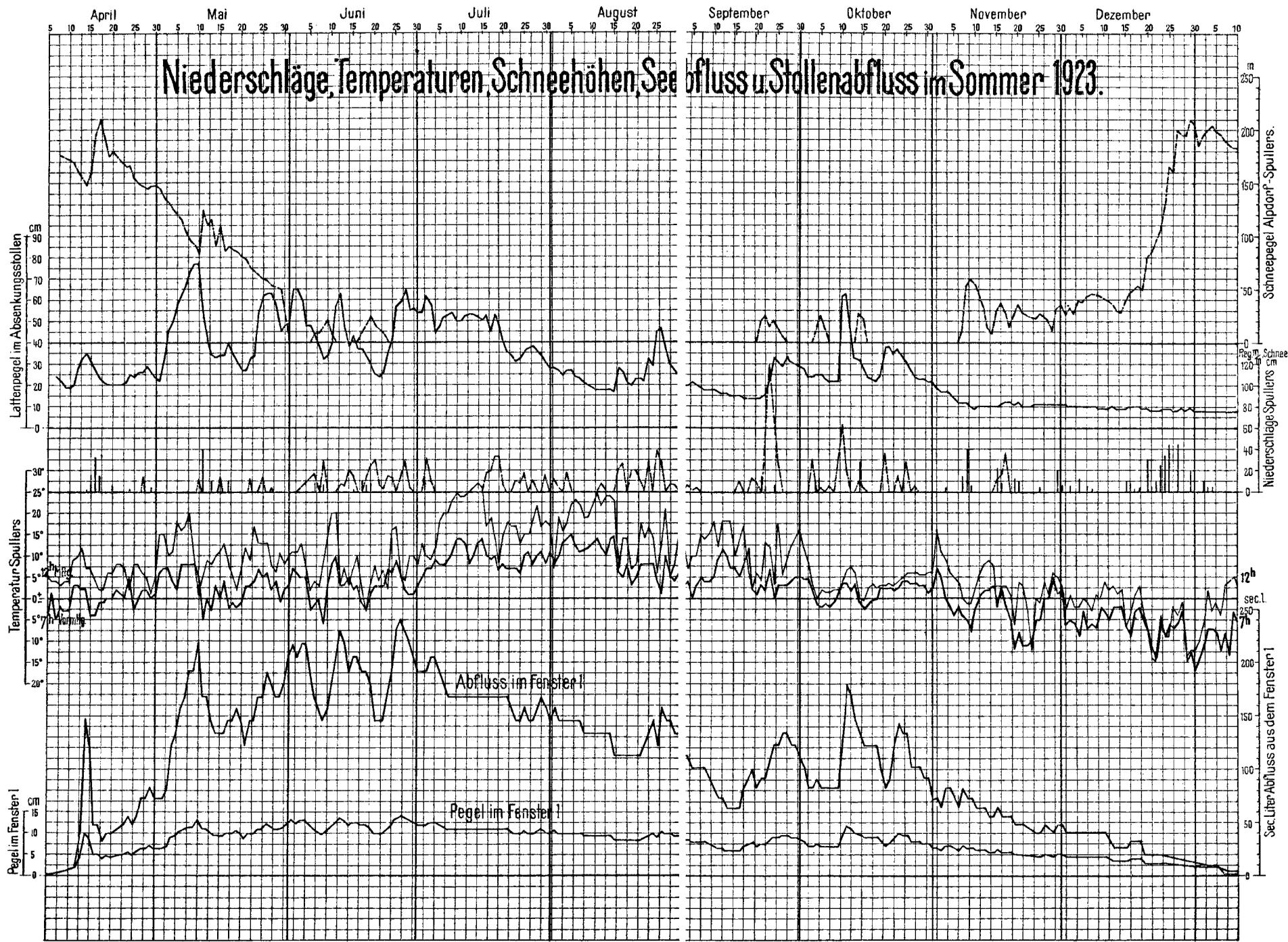
N—S



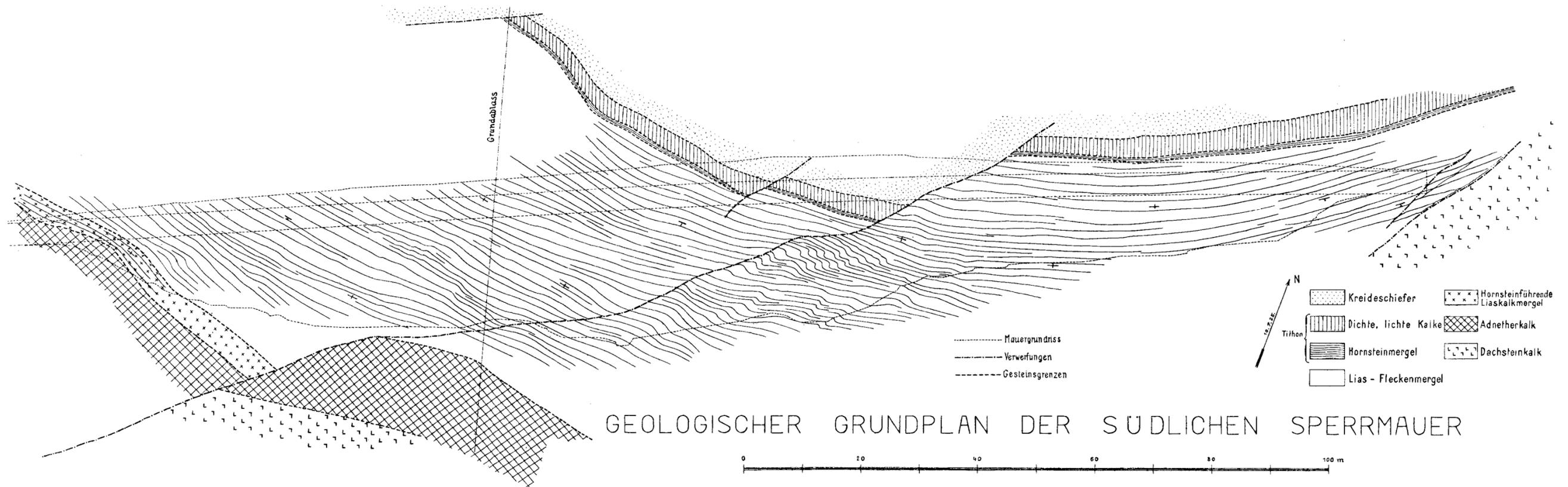
W

O





# GEOLOGISCHER GRUNDPLAN DER NÖRDLICHEN SPERRMAUER



# GEOLOGISCHER GRUNDPLAN DER SÜDLICHEN SPERRMAUER

