

5. Diskussionsabend der Geologisch-Mineralogischen Arbeitsgruppe  
am 17. November 1953

Bericht über vergleichende geologisch-morphologische  
Untersuchungen zur Klamm- und Stufenbildung in der  
Liechtenstein-, Gasteiner- und Kitzlochklamm.

Vortrag von Dr. Therese Pippan.

Grossarl-, Gasteiner- und Raurisertal münden mit hohen Stufen und extremen Klammern ins Salzachtal. Diese Gefällsbrüche und Talengen liegen in der sogenannten Klammkalkzone. Sie gehört der Radstädter Decke an und schaltet sich zwischen die Schieferhülle der Hohen Tauern im S und die Grauwackenzone im N. Es lassen sich mehrere durch Phyllitonen voneinander getrennte Klammkalkzüge unterscheiden. An der N-Grenze der Radstädter Einheit gegen die Grauwackenzone liegt die für die Anlage des Salzachtales wichtige Klammüberschiebung. In beiden Zonen steigert sich der Grad der tektonischen Zertrümmerung mit Annäherung an diese Störung.

Trotz der auf den ersten Blick einheitlichen geologischen Verhältnisse in den drei Klammern ergeben sich bei näherer Untersuchung bemerkenswerte morphologische Unterschiede, dh. die Intensität des Klamm- und Stufenphänomens ist recht ungleich.

Es ist Aufgabe der vergleichenden Untersuchungen, den Ursachen dieser differenzierten Formung nachzugehen und dadurch nach Möglichkeit die für die Klamm- und Stufenbildung dieses Gebietes bedeutsamen Faktoren herauszusondern.

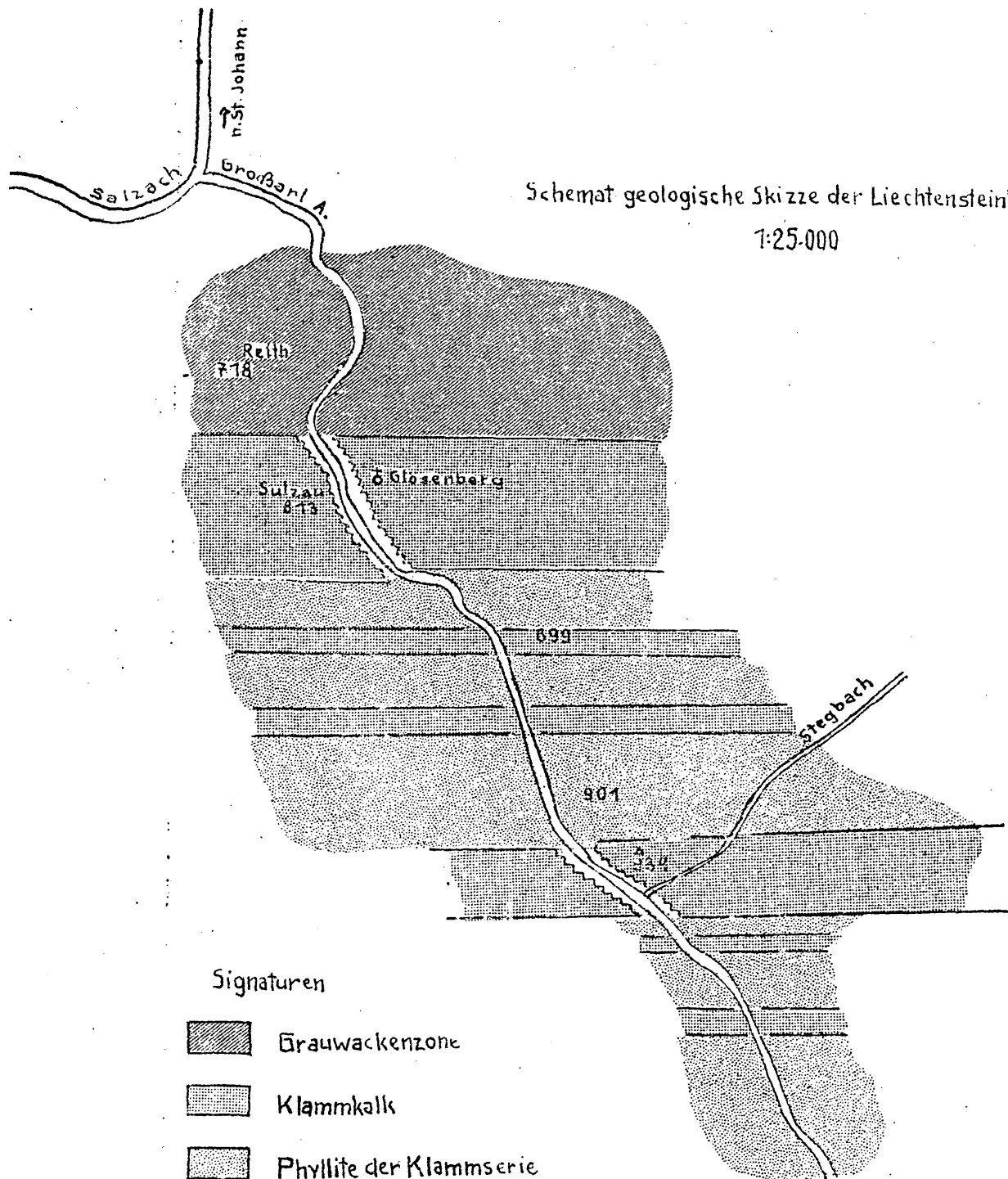
Die Liechtensteinklamm.

Nach einer  $\frac{1}{2}$  km langen untersten Laufstrecke in diluvialen Ablagerungen fließt die Grossarl-Ache 1 km in der Grauwackenzone, deren vorwiegend blätterige, tektonisch stark beanspruchte graphitische Schiefer und Phyllite meist quer zur Ache streichen und saiger bis steil N einfallen. Hier liegt eine steilwandige Schlucht vor, deren Lichte gegen S abnimmt.





Weiter aufwärts folgt auf eine stark vertonte Mylonitzone der E-Flügel der Klammkalkzone, in der sich die fast 3 km lange Liechtensteinklamm entwickelte. Die Klammserie gliedert sich hier in den 630 m breiten nördlichen Klammkalkzug des Glösenberges mit der unteren und oberen extremen Klamm und in den 250 m breiten südlichen Klammkalkzug des Stegbaches, in dem ebenfalls eine Klammstrecke auftritt. Dazwischen liegt auf nicht ganz 2 km eine nur von schmalen Klammkalkstreifen unterbrochene Kalkphyllit- und Kalkschieferserie, in der das Querprofil etwas breiter, aber meist klammartig ist. Südlich des Stegbachzuges folgt eine W-E

Schemat geologische Skizze der Liechtensteinklamm

1:25.000



Signaturen

-  Grauwackenzone
-  Klammkalk
-  Phyllite der Klammserie
-  Klammstrecken



streichende Schuppenzone verschiedener tektonisch meist stark beanspruchter Phyllite (Serizit-, Fuscher- und Kalkphyllite). Die ganze Klammserie streicht mit geringen Abweichungen W-E und sinkt im Streichen flach nach W ab. Im Kontakt mit der Grauwackenzone liegt nach W. Heissel und eigener Beobachtung eine Divergenz im Streichen und Fallen der B-Achsen vor. Dieses Verhalten kennzeichnet die grosse Störung an der Klammüberschiebung. Das Einfallen der Radstädter Serie ist saiger bis steil N. Der Klammkalk ist vorwiegend kristallin, reich an Kalzitadern und lebhaft verfältelt.

In der Unteren Klamm dringt die östliche Klammwand an einer Blattverschiebung etwas weiter nach N vor als die westliche. Saigere mit Quetschzonen verbundene schmale Klüfte treten auf. Die Ache verläuft WNW etwas schräg zum Gesteinsstreichen. Die Felswände hängen z.T. über, doch ist das Querprofil weniger extrem als in der Oberen Klamm.

Die 1. Klammerweiterung knüpft an eine Schar verschieden gerichteter, steil bis saiger einfallender, durch breite Klüfte und riesige Harnischflächen gekennzeichneter Störungen, von denen die 200 m hohe Glösenbergstörung die bedeutendste ist. An ihr sinken die Klammkalkschollen um etwa 30 m gegen S ab. Die Ache folgt hier fast dem Gesteinsstreichen.

In der Oberen Klamm ist der Klammkalk stark verfältelt und kristallin. Die Ache quert das Gesteinsstreichen. An 80 m hohen sich fast berührenden Wänden setzen 2 bis 3 Kolkserien übereinander an scharfen Knicken ab. Das Klammprofil ist extrem eng.

Die 2. Klammerweiterung knüpft an eine Kalkphyllitzone innerhalb des Klammkalkes und an breite, steil N bis saiger einfallende Klüfte, an denen die Klammwände 10-25 m gegen S absinken.

Auch die 3. Klammerweiterung ist durch grosse Klüfte und eine tektonisch stark beanspruchte Kalkphylliteinschaltung bedingt. Eine riesige W-E gestriemte Harnischfläche spricht für Verschiebungen quer zur Ache.

In der von schmalen Klammkalkstreifen unterbrochenen Kalkphyllit- und Kalkschieferserie bedingt das flache Absinken der Gesteinszüge nach W vielfach ein asymmetrisches Talprofil mit steilerer Westseite. Der Klammkalk ist mässig verfältelt, die Kalzitaderung spärlich. In diesem Gestein und in dickerplattigen Kalkphylliten springen Felskulissen gegen die Ache vor, doch entstehen nie so enge Klammprofile wie im Glösenbergzug. Wo der Kalkphyllit dünnblättrig ist, Zerrüttungszonen oder grosse Klüfte auftreten oder die Ache stellenweise dem Gesteinsstreichen folgt, wird das Querprofil breiter und sanfter geböscht.

Der Stegbachzug erhebt sich als 200 m hoher Riegel über die Talsohle im S. Die Abfälle folgen z.T. grossen Harnischflächen. Der Klammkalk ist hier überwiegend massig bis dickplattig, reich an

Kalzitadern und die Verfältelung infolge grösserer Entfernung von der Klammüberschiebung geringer. Der fast senkrechte Durchbruch der Ache wurde durch Längsstörungen und Querverschiebungen vorgezeichnet, weshalb das Klammprofil nicht so eng ist wie im Glösenbergzug.

In der nach S anschliessenden Schuppenzone ist das Tal breit und mässig geböscht, Felsenbildungen sind selten. Zwei etwas breitere Klammkalkzüge bedingen auf kurze Strecken engere Profile.

Die Beziehungen der petrographischen Beschaffenheit und tektonischen Beanspruchung des Gesteins zur Gestaltung des Talquerprofile treten in der Liechtensteinklamm beispielhaft zutage, lassen sich aber ähnlich auch in den anderen Klammern beobachten.

Es lässt sich folgende morphologische Wertigkeitsskala in der Richtung vom widerständigen zum weniger festen Gestein aufstellen: Stark metamorpher Klammkalk mit reicher Kalzit- und Quarzaderung und lebhafter Verfältelung leistet der Erosion am meisten Widerstand, wie die besonders engen Querprofile und Wandbildungen in solchem Gestein zeigen. Die Verfältelung bewirkt Zähigkeit ähnlich einem stark verfilzten Gewebe. Kalzit- oder Quarzadern und -linsen sind im Achenbett stets durch fluviatile Erosion als vorspringende Wülste herauspräpariert. Dann folgen in der Skala abwärts massiger bis dickbankiger Klammkalk, Klammkalk mit Holzscheiterstruktur, Kalkphyllit, Serizitphyllit und Fuscher Phyllit. In jedem Falle sind Phyllit-, Mylonit- und Kluftzonen Schwächelinien für die Erosion, die eine Profilerweiterung bedingen. Dasselbe gilt von Flussstrecken, die dem Gesteinsstreichen folgen.

Die für die Gestaltung des Querprofiles bedeutungsvollen Beziehungen beeinflussen auch die Intensität des Klammphänomens. Stets ist es dort am extremsten, wo stark metamorpher, verfältelter Klammkalk auftritt oder dickplattiger, möglichst steil stehender Klammkalk quer zur Ache streicht, wo die Klammkalkzone sehr mächtig ist und nicht durch phyllitische Zwischenschaltungen unterbrochen wird. Während im stark verfältelten Klammkalk überhängende Wände einander fast berühren, entwickeln sich im dickplattigen Klammkalk mit glatten Bewegungsflächen, an denen die plattige Absonderung erfolgt, zwar auch steile Wände, doch treten sie nie so nahe aneinander heran. Auch die Annäherung an die Erosionsbasis wirkt verschärfend auf das Klammphänomen. In der Schuppenzone bewirken Klammkalkzüge nur dort klammähnliche Strecken, wo sie genügend breit sind. Dieser Umstand spricht sehr für den grossen Einfluss des petrographischen Faktors auf die Klammbildung. Am Nordende der Liechtensteinklamm, wo zwei morphologisch extrem verschiedenwertige Zonen, der Klammkalk und die Mylonitzone, unmittelbar aneinandergrenzen, wurde die Entstehung des Klammprofiles besonders begünstigt, da der Unterschied in der Erosionsleistung der Ache in den beiden Bereichen recht gross sein musste.

Erosionskolke konnten sich in den zwei extremen Strecken der Liechtensteinklamm bis in 200 m Höhe über dem heutigen Achenniveau erhalten. Setzen wir die 3 Kolkserien der Oberen Klamm zu den 3 postglazialen Terrassen an der untersten Achenstrecke in Beziehung, lassen sie sich als Ausdruck eines unstetigen Erosionsvorganges betrachten, der vielleicht durch Hebung angeregt wurde.

Das Querprofil der Liechtensteinklamm ist mehrfach gegliedert. Das jüngste, engste Klammprofil ist in 700 m Höhe in ein Schluchtprofil eingesenkt und darüber folgen immer breiter geöffnete Querschnitte, die durch Knicke in 800, 860 und 940 m voneinander getrennt werden. Aus den Beziehungen zu älteren Salzachtalbodenresten ergibt sich für das oberste Profil ein wahrscheinlich präglaziales Alter. Jede der Profilsohlen wurde im folgenden Interglazial fluviatil zerschnitten und in den Eiszeiten glazial erweitert. Die Höhenabstände zwischen den Talsohlen entsprechen durchaus möglichen Tiefenerosionsleistungen, da sich allein für das Postglazial 60 m ergeben. Das widerständige Gestein beschränkte die Ache auf reine Tiefenerosion, so dass eine stärkere Abschrägung der Klammwände noch nicht möglich war.

Spuren glazialer Glättung und Rundung sind nur über dem Niveau von 860 m feststellbar, wo sich der Gletscher freier bewegen und den Talquerschnitt selbst im Klammkalk verbreitern konnte. Tiefer unten aber war die Gletscherwirkung gering, weshalb sich hier ältere, hoch über dem Achenspiegel gelegene Flusserosionsnischen zu erhalten vermochten.

#### Die Kitzlochklamm:

Im Bereich dieser Klamm, deren Formung viele Ähnlichkeiten mit der der Liechtensteinklamm hat, splittert sich die Radstädter Einheit an ihrem Westende in eine Reihe schmaler Klammkalk- und Phyllitzüge auf.

Die unterste Laufstrecke der Ache liegt in der tektonisch stark beanspruchten Grauwackenzone. Das Tal ist hier eine Schlucht. Auf eine an die Klammüberschiebung geknüpfte Lettenzone folgt gegen S die Klammserie. Sie beginnt mit einer 130 m breiten nördlichen Klammkalkzone, in der die Untere Klamm liegt. Nach einer wesentlichen Profilerweiterung folgt die 180 m breite Hauptkammkalkzone mit der oberen Klamm. Nach S schliesst eine Schuppenzone an, in der 10 schmale Klammkalkstreifen einer reich differenzierten Phyllitserie eingeschaltet sind.

Alle Klammkalkzüge an der Raurisache streichen W-E und werden mit Ausnahme einer kurzen Strecke am oberen Klammende von der Ache unter hohem Winkel gequert. Sie sinken im Streichen flach nach W ab. Nahe der Klammüberschiebung fällt der Klammkalk steil N, saiger oder überkippt S, nach aufwärts wird das Einfallen flacher, Quetsch- und Trümmerzonen treten zurück. Das Gestein ist dem

W-E-Streichen der B - Achsen folgend griffelig-stengelig, dünn- oder dickplattig ausgebildet; die Platten sind durch Bewegungsflächen voneinander getrennt. Die Verfältelung ist viel schwächer als in der Liechtensteinklamm. Auch Längsstörungen treten zurück. Nur bei Pt. 1066 sinken die Schollen an Harnischflächen, die das Gesteinsstreichen diskordant abschneiden, nach W ab. Kleine Blattverschiebungen sind häufig und bewirken vielfach ein asymmetrisches Talprofil. Jeweils ist der E-Flügel weiter nach N vorgeschoben. Alle diese Störungen waren für die Anlage des Achenweges wichtig.

Zwischen dem nördlichen und dem Hauptkammkalkzug durchsetzen grosse mit Mylonitzonen verbundene, vorwiegend steil N fallende Klüfte die ganze Höhe der Klammwände. An ihnen sinkt der nördliche gegenüber dem Hauptklammkalkzug um etwa 70 m ab. An den Bewegungsflächen treten verschmierte Grün schiefer und Grauwacken auf.

Die Talquerprofile zeigen enge Beziehungen zu den geologisch-tektonischen Verhältnissen:

In der Unteren Klamm, wo dem Klammkalk Zerrüttungs- und Kalkphyllit-zonen eingeschaltet sind, ist das Klammprofil nicht so extrem eng wie in der Oberen Klamm. Da der nördliche Klammkalkzug absinkt, sind die Klammwände nur 80 m hoch.

Die grosse Profilerweiterung zwischen Unterer und Oberer Klamm ist an breitere Zwischenschaltungen von Phylliten und Schiefern und an beiderseits von oben nach unten durchgreifende, mit Mylonitzonen verbundene Störungen geknüpft.

In der Oberen Klamm ist der Klammkalk ungeschiefert und dickplattig. Er hat zahlreiche Quarz- und spärlichere Kalzitadern. Die Klammwände sind 160 m hoch, der Klammkalkzug viel breiter als in der Unteren Klamm. Pralle, glatte Wände, deren N- und S-Abfälle Bewegungsflächen folgen, treten nahe aneinander, überhängende Felsen aber fehlen. Es entwickelte sich eine 40 m hohe Wasserfallstufe.

Das gegenüber der Liechtensteinklamm etwas breitere Querprofil hat verschiedene Ursachen:

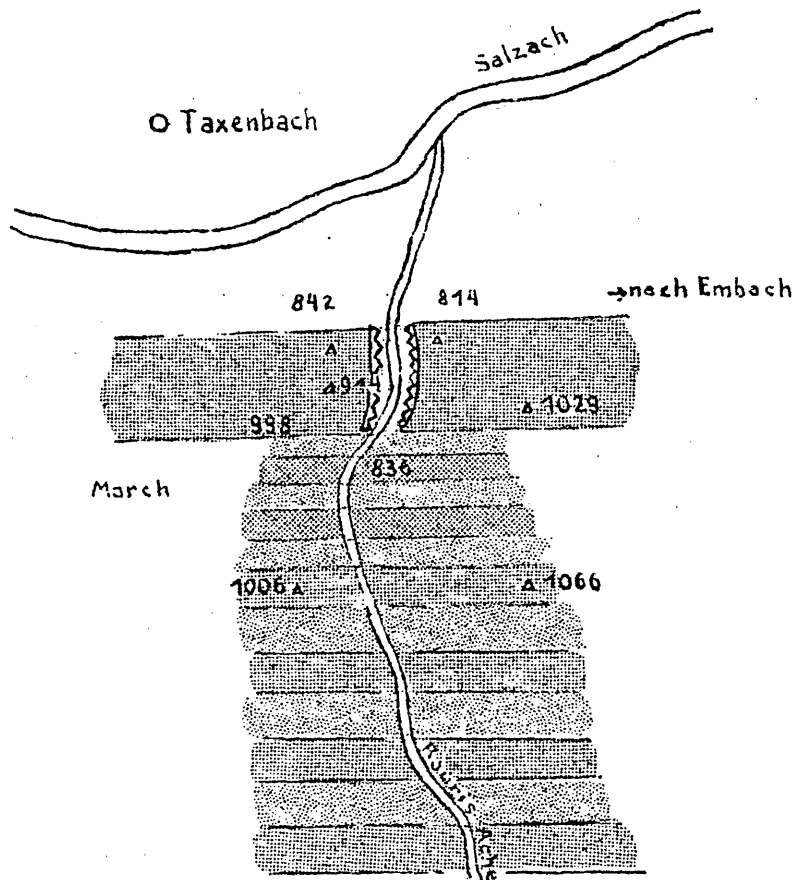
Die Klammkalkzüge sind schmaler, die Gesteinslagerung ruhiger, Einschaltungen von Phyllit- und Mylonitzonen häufiger und die Ache ist wasserreicher ( $7,5 \text{ m}^3/\text{sec}$ ).

Südlich der Oberen Klamm folgt die Ache auf kurze Strecke dem Streichen des Klammkalkes; das Querprofil wird breiter.

Nördlicher und Hauptklammkalkzug vereinigen sich morphologisch zu einem deutlichen etwa 320 m breiten Riegel, dessen Rücken im N 180 m, im S 140 m über das Achenniveau aufragt. Darin sind als Ausdruck des mehrfachen Wechsels glazialer und fluviatiler Erosion mehrere Querprofile ineinandergeschachtelt. Zu oberst ist das präglaziale Niveau der Hochfläche von Embach in 1000 m, bis 980 m folgt ein breites Sohlental, bis 900 m ein schmaleres, bis

# Schemat. geologische Skizze der Kitzlochklamm

1:25.000







860 m ein Schluchtprofil und von hier an deutlichem Knick absetzend das jüngste Klammprofil. Die höheren Querschnitte tragen deutliche Spuren glazialer Bearbeitung (zugerundete Oberkanten, rund gebuckelte Felsflächen). In der rezenten Klamm, wo jede Eismwirkung fehlte, ist die Tallichte am geringsten. Das Ausmass der postglazialen Tiefenerosion beträgt wie in der Liechtensteinklamm etwa 60 m. Fluviatile Kolke sind bis 100 m über der Ache häufig zu beobachten, wenn auch nicht so schöne Kolkserien wie in der Liechtensteinklamm auftreten.

In der Schuppenzone südlich der Klamm, wo der Serizitphyllit bei weitem überwiegt, sind auftretende kleine Felsbänder vielfach von Störungen durchsetzt. Dem Wechsel von Klammkalk-Phyllit entspricht eine Abfolge von Schluchtstrecken mit Felsabfällen und von Kerbtalabschnitten mit sanften Böschungen. Richtige Klammprofile entwickeln sich nicht mehr, weil die Klammkalkzüge zu schmal sind. Sie bedingen höchstens ein etwas gesteigertes Gefälle der Ache.

#### Die Gasteinerklamm.

Sie liegt im mächtigsten und höchsten Teil der Klammkalkzone. Eine Laufstrecke im Pinzgauer Phyllit fehlt, denn die Gasteiner Ache mündet bei Lend unmittelbar über der Salzach mit der 40 m hohen Stufe des Lender Falles, die in einer schmalen nördlichen Klammkalkzone liegt. Nach S folgen zwei weitere geringmächtige Klammkalkzüge mit Kalk- und Fuscher Phylliteinschaltungen und dann die breite, tektonisch stark zerrüttete Serizitphyllitzone des Wegmacher Grabens mit dünnen Kalkphyllit- und Fuscher Phylliteinschaltungen, sowie Klammkalkstreifen von Holzscheiterstruktur. Bis hierher quert die Ache das Gesteinsstreichen.

Dann lenkt sie in das E-W-Streichen das fast 1 km breiten Hauptklammkalkzuges ein. Der Klammkalk ist hier stengelig, bis massig, die Längsachsen der Stengel folgen dem allgemeinen Gesteinsstreichen. Die Quarz- und Kalzitaderung ist viel spärlicher als in der Kitzlochklamm. Häufig sind lokale schieferige bis serizitische Einschaltungen im Klammkalk. An der Bahnbrücke beginnt der eigentümliche Gewölbebau der Klammserie. Die Ache biegt dann scharf in die N-S gerichtete eigentliche Klammstrecke um. Dem Klammkalk ist hier z.T. Kalkphyllit eingeschaltet, die Aderung spärlich.

Dann folgt plötzlich die grosse Profilerweiterung bei Klammstein mit tiefeingreifenden Nischen beiderseits der Ache. Bei der Ruine Klammstein engt der Klammkalkzug Plattenwand - Pt. 1276 das Tal wieder ein, aber ohne dass eine Klamm entsteht. Dann folgt eine Talweitung in Serizitphyllit und kristallinen Schiefen und schliesslich der südliche Klammkalkzug des Hörndlrückens und der Neufangwand, der zur grösseren Einheit des Schuhflicker-Rauchkögerlzuges gehört. Da diese Klammkalkzone durch eine Ver-

zweigung der Serizitphyllitmulde des Rauchkögerls unterbrochen wird, verengt sich das Tal nur wenig. Südlich des letztgenannten Klammkalkzuges folgt wieder eine Talweitung mit sanften Formen in einer differenzierten Phyllit- und Schieferzone.

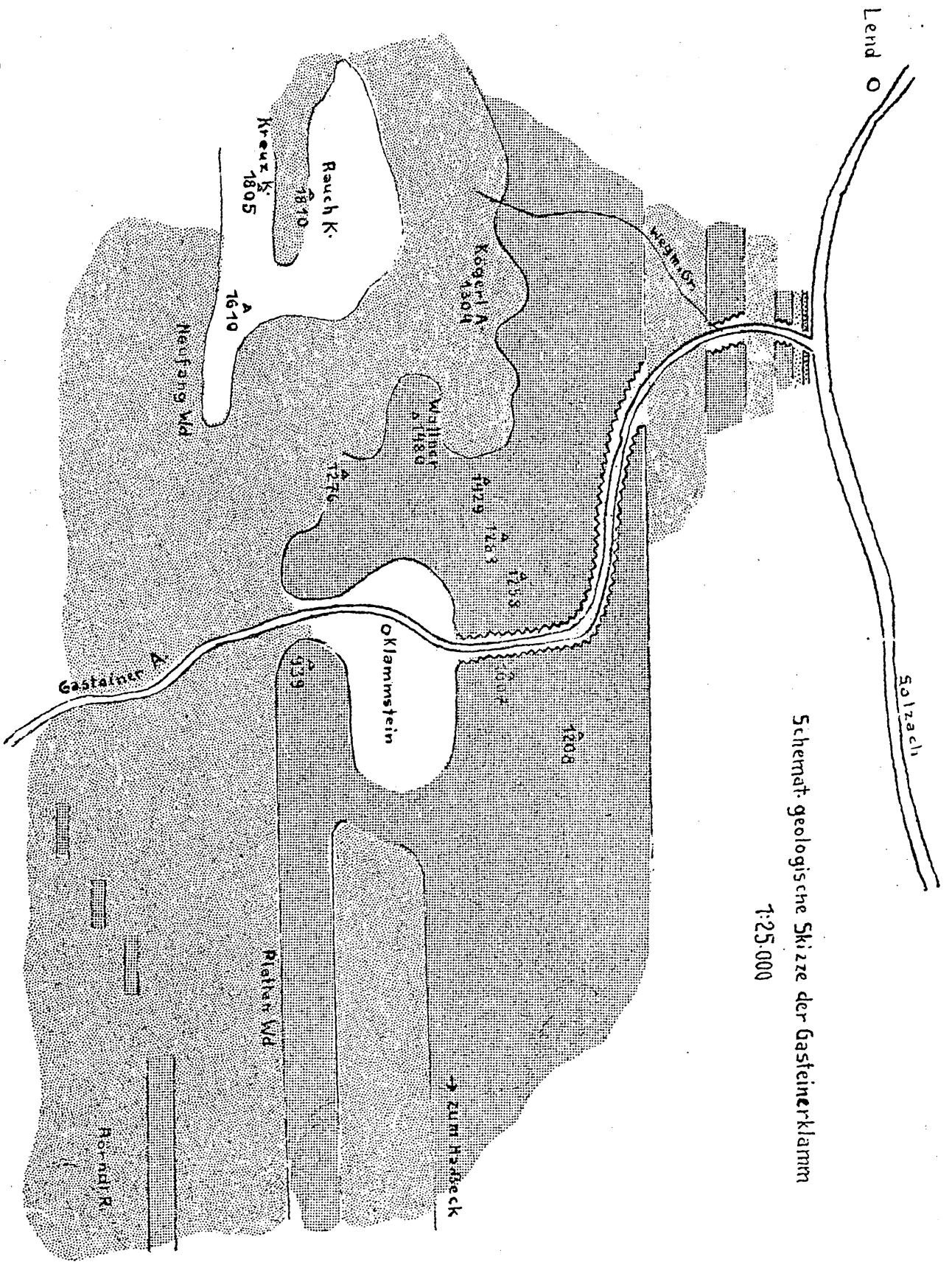
Das Streichen der gesamten Klammserie ist im Mittel W-E. Die B-Achsen kommen in der häufig vertretenen, konkordant orientierten Holzscheiter- oder stengeligen Struktur des Klammkalkes und seinen ebenso W-E streichenden Fältelungsachsen gut zum Ausdruck. Die Holzscheiter- oder stengelige Struktur spricht für eine Bewegung zwischen starren Becken. Das Einfallen der Gesteine ist als Ausdruck einer tektonischen Einengung im N saiger oder überkippt S. Die Kleinverfältelung ist viel schwächer als in der Liechtensteinklamm. Gegen S bedingt der Gewölbebau im Zentrum der Aufwölbung eine teilweise ganz flache Gesteinslagerung. An ihrem N- und S-Flügel aber herrscht zunehmend steileres N- beziehungsweise S-bis saigeres Einfallen. Im Hauptklammkalkzug treten fünf Gewölbe auf, gegen S folgt dann noch das Gewölbe der Plattenwand und des Hörndlrückens. Der Gewölbebau bedingt schalige Absonderung des Gesteins und erleichtert die Höhlenbildung. Die Ursache der gegenüber den Nachbarklamm grosszügigeren Tektonik ist vielleicht darin zu sehen, dass der Druck der Klammdecke nach N zwar sehr gross, aber nahe dem Meridian der Ankogel-Hochalmskulptation, wo eine alte Tendenz zur Hebung vorliegt, eine Ausweichmöglichkeit nach oben gegeben war.

Mit dem Gewölbebau hängt der Muldenbau zusammen. In solchen Mulden erhielten sich die von oben eintauchenden Serizitphyllite des Wegmacher Grabens, des Rauchkögerl- und Hasseckgebietes.

Wichtig sind häufig mit Mylonitzonen verbundene Störungen, an denen Schollen unter Bildung von Harnischflächen verstellt wurden. Von W und E her sinken die Klammkalkhöhen in Staffeln gegen die Ache ab. Diese biegt hier aus dem S-N - in den E-W gerichteten Lauf ein. Auch an Plattenwand und Hörndlrücken sinken die Schollen in Staffeln gegen W ab. In der Richtung von S nach N fallen die Höhen ebenfalls an Harnischflächen ab. Dazu kommen Blattverschiebungen längs der Ache zwischen Haupt- und nördlichsten Klammkalkzug, wobei der E-Flügel stärker gegen N vorgeschoben ist. Die Harnischflächen sind als Ausdruck einer E-W orientierten Gleitung in dieser Richtung gestriemt.

In der Gasteinerklamm ist ein grossartiges Störungsnetz ausgebildet. Die Gesteine sind stark tektonisch beansprucht, an den Störungszonen lebhaft durchfältelt und gestreckt. Druckschieferung und Gleitharnische sind häufig.

Das Querprofil zeigt enge Beziehung zur Stratigraphie und Tektonik. In der Zone des Lender Falles, wo die Erosionsbasis des Salzachtales am nächsten ist, der quer zur Ache streichende Klammkalk saiger steht und das Klammprofil nicht glazial erweitert wurde, liegt trotz der geringen Breite des Klammkalkzuges die



Schemat. geologische Skizze der Gaststeinerklamm  
1:25.000

Lend O

Salzach



extremste Klammstrecke vor. Hier dürfte sich auch der Einfluss der Hebung von Embach bemerkbar machen. Diese Bewegung und die Nähe der Erosionsbasis bewirken wohl auch in der Serizitphyllitzone des Wegmacher Grabens das Auftreten von Felskulissen und Kaskaden, denn südlich der Klamm treten im selben Gestein nur sehr gemässigte Böschungen auf.

Im Hauptklammkalkzug liegt die eigentliche Gasteinerklamm in einem richtigen 600 m hohen Riegel. Dass Klammphänomen ist aber nicht so extrem wie in der schmalen, niedrigen Zone des Lender Falles. Auf der W-E-Strecke, wo die Ache den B-Achsen folgt, ist das Profil breiter als in der N-S-Strecke.

Kolke konnten sich infolge häufiger phyllitischer Einschaltungen und der Wirkungen der Glazialerosion nur schlecht erhalten. Übereinander liegende Kolkserien fehlen überhaupt.

Die Spuren der Glazialerosion sind überall in der Hauptklamm auch in tieferen Lagen als gerundete Leisten und rundgebuckelte Felsflächen zu beobachten.

Das Querprofil der Gasteinerklamm ist im Vergleich zu den Nachbarklammern viel breiter. Glazialerosion und Interferenz mit tektonisch bedingten Staffeln verwischten die ineinanderschachtelung der Talquerschnitte. Der Gasteiner Gletscher ging während des Diluviums mehrfach durch die Klamm, wobei er das Profil erweiterte, die Wände glättete und fluviatil geschaffene Kolke beseitigte. In den Nachbarklammern konnten sich in die Einschnitte über der R-W-interglazialen Talsohle höchstens schmale Gletscherzungen legen, die nicht imstande waren alle höher gelegenen Kolke zu verwischen.

Die Querschnittsgestaltung der Gasteinerklamm des Hauptklammkalkzuges wirft folgende Probleme auf: Weshalb hat diese Klamm das breiteste Querprofil, obwohl sie im höchsten Klammkalkriegel und mächtigsten Klammkalkzug und so nahe der Hebungszone von Embach und der tiefen Erosionsbasis des Salzachtales liegt? Hiefür hat eine Reihe von Faktoren Bedeutung:

Im Scheitel der Gewölbe konnte die Erosion der Ache in die flach lagernden Trennungsfugen schaliger Absonderung eindringen. Der Fluss und der Gletscher brauchten nicht nur steil bis saiger stehende Gesteine zu queren. Das reich differenzierte Störungsnetz, die geringere Kleinverfältelung, das spärlichere Auftreten von Quarz- und Kalzitadern und die häufigen kalk- und serizitphyllitischen Einschaltungen erleichterten die Erosion. Eine Rolle spielte auch das Eintauchen der Serizitphyllitmulden von oben, die vielleicht in der Klammstrecke weiter hinabreichten, jedenfalls aber die erste Anlage des Achenweges begünstigten. Ferner folgt die Ache auf längere Strecke dem W-E Streichen des Hauptklammkalkzuges. Die Umbiegung in die N-S-Strecke ist durch Störungen vor-gezeichnet.

Massgebend für das breitere Profil war auch das mehrfache Durchgehen des Gasteiner Gletschers, der infolge eines grösseren Einzugsgebietes kräftiger erodieren konnte als der Rauris- und Grossarlgletscher. Ferner spielte der bedeutendere Wasserreichtum der Gasteiner Ache ( $10\text{m}^3/\text{sec.}$ ) eine Rolle. Dazu kommt das höhere Alter der Klamm. Hier konnte die Flusserosion schon prä-diluvial verbreiternd und vertiefend wirken.

Die Talweitung bei Klammstein ist durch Störung vorgezeichnet. Die Serizitphyllitzone in streichender Fortsetzung der Mulde zwischen Wallner und Pt. 1276 verläuft auf der östlichen Talseite zwischen Hauptklammkalkzug und Plattenwand von 1300 m Höhe an aufwärts gegen E. Sie mag für die erste Anlage eines E-W gerichteten Gerinnes Bedeutung gehabt haben, das an der Ausräumung der östlichen Nische mitwirkte.

Ein Vergleich der tektonisch-petrographischen und morphologischen Verhältnisse in den drei Klammern zeigt auch die Ursachen des besonders extremen Klammphänomens an der Grossarl Ache. Folgende Faktoren hatten da Bedeutung: Der Klammkalk ist besonders stark kristallin und reich an Kalzitadern, die Verfäلتelung enorm. Der Glösenberg - Stegbach - Klammkalkzug mit der Klammkalk und Kalkphyllitserie dazwischen bedingt eine fast 3 km lange Strecke kalkreichen Gesteins, in dem wesentliche Profilerweiterungen kaum möglich waren. Die Kombination Klammkalk und Kalkphyllit ist offenbar für die Ausbildung des Klammphänomens günstiger als die Schuppenzone verschiedener Phyllite + Klammkalk südlich der drei Klammern. Sodann treten in den extremen Klammstrecken nur ganz spärliche Zwischenschaltungen von Kalkphyllit auf, andere Phyllite fehlen überhaupt. Dazu kommt die geringe Wasserführung der Grossarl Ache ( $5\text{ m}^3/\text{sec}$ ) und die starke glaziale Übertiefung des Pongaus, welche die fluviatile Tiefenerosion gegenüber der Seitenerosion begünstigte.

Die vergleichende Betrachtung der drei Klammern ergibt, dass die petrographischen und tektonischen Verhältnisse, der dadurch bedingte Grad der fluviatilen und glazialen Erosionswirkung, die Entfernung von der Erosionsbasis, die Grösse der Wasserführung und die Mächtigkeit des diluvialen Gletschers die Intensität des Klammphänomens entscheidend beeinflussen. Vor allem ist auf die Bildung der Klammern an der Grenze zweier sehr verschieden widerständiger grosser Gesteinskomplexe, des Klammkalkes im S und des Pinzgauer Phyllits im N hinzuweisen.

#### Die Mündungsstufen.

Die Höhe der Mündungsstufe an der Grossarl Ache beträgt 123 m, an der Gasteiner Ache 166 m und an der Rauris Ache 142 m. Die Ursachen für die Stufenbildung sind ähnlich wie für die Klammbildung. Die gegenüber der wasserreicheren Salzach wasserärmeren Seitenbäche

waren durch den festen, quer streichenden, steil, oder saiger stehenden Klammkalk in der Tiefenerosion benachteiligt, während der Hauptfluss in mürbem, an der Klammüberschiebung völlig zerrüttetem Pinzgauer Phyllit arbeiten konnte. Der Klammkalk erweist sich stets als Wand- und Stufenbildner. Wo er fehlt, wie an der Tratten-, Dientenbach- oder Kleinarl-Achenmündung fehlen auch die Stufen trotz geringerer Wasserführung der Seitenbäche. Die untersten Abschnitte von Rauris- und Grossarltal, die im Pinzgauer Phyllit liegen, haben keine Stufe.

Glaziale Konfluenzwirkung war für die Stufenbildung von geringer Bedeutung, da die grössere Mächtigkeit des Hauptgletschers durch das stärkere Sohlengefälle der Seitengletscher nahezu kompensiert wurde und deren rechtwinkelige Einmündung in den Salzachgletscher in der Taxenbacher Enge Esstau und damit verringerte Glazialerosion bedingte. Nur der Grossarlgletscher konnte frei ins breite Pongauer Becken fliessen, weshalb das Profil besonders über dem präglazialen Talboden in der Liechtensteinklamm wesentlich breiter ist als in der Gasteinerklamm und auch die Stufenhöhe und das Gefälle trotz grosser Mächtigkeit des Klammkalkzuges geringer als an der Gasteinertalmündung.

Drei Beobachtungstatsachen sprechen für Beteiligung der Hebung an der Bildung der Rauris- und Gasteinertal-Mündungsstufe: Im mürben Serizitphyllit des wegmacher Grabens haben wir z.T. enge Klammprofile und Wasserfallstufen, während südlich der Klamm im selben Material nur stufenlose Schluchtstrecken auftreten. Im Rauristal ist der Höhenunterschied zwischen den M-R- und R-W-interglazialen Talbodenresten in Haupt- und Nebental um 20 m grösser als der zwischen den rezenten Talböden, weil die älteren Talsohlen von einer Aufbiegung betroffen wurden. Auch die wesentlich grösseren Stufenhöhen der beiden westlichen Talmündungen gegenüber der Grossarltalmündung mögen durch stärkere Hebungsvorgänge mitbedingt sein.

Der Klammriegel im Rauristal entstand allmählich, wobei die Glazialerosion eine wichtige Rolle spielte. Der Raurisgletscher stauete sich an ihm und am Salzachgletscher, wodurch die Erosionswirkung an dieser Stelle vermindert wurde, während sie weiter südlich die Talsohle tieferlegen konnte. Im selben Masse, als der Riegel höher wurde, vergrösserte sich der Gletscherstau daran und damit der Unterschied in der Glazialerosionswirkung im Bereiche des Klammkalkzuges und weiter oberhalb desselben. Durch diesen Prozess der Selbstverstärkung wuchs der Klammriegel immer höher über die jeweilige Talsohle empor. Weil er schon im letzten Interglazial 130 m hoch war (ein R-W-interglaziales Konglomerat südlich der Klamm tritt etwa 40 m über dem heutigen Achenspiegel auf), muss seine Bildung in früheren Epochen des Diluviums eingesetzt haben. Bereits der M-R-interglaziale Talboden stiess an ihm ab, den er um 50 m überragte. Auf seine allmähliche Bildung weist auch die Ineinanderschachtelung von Eintiefungsfolgen innerhalb



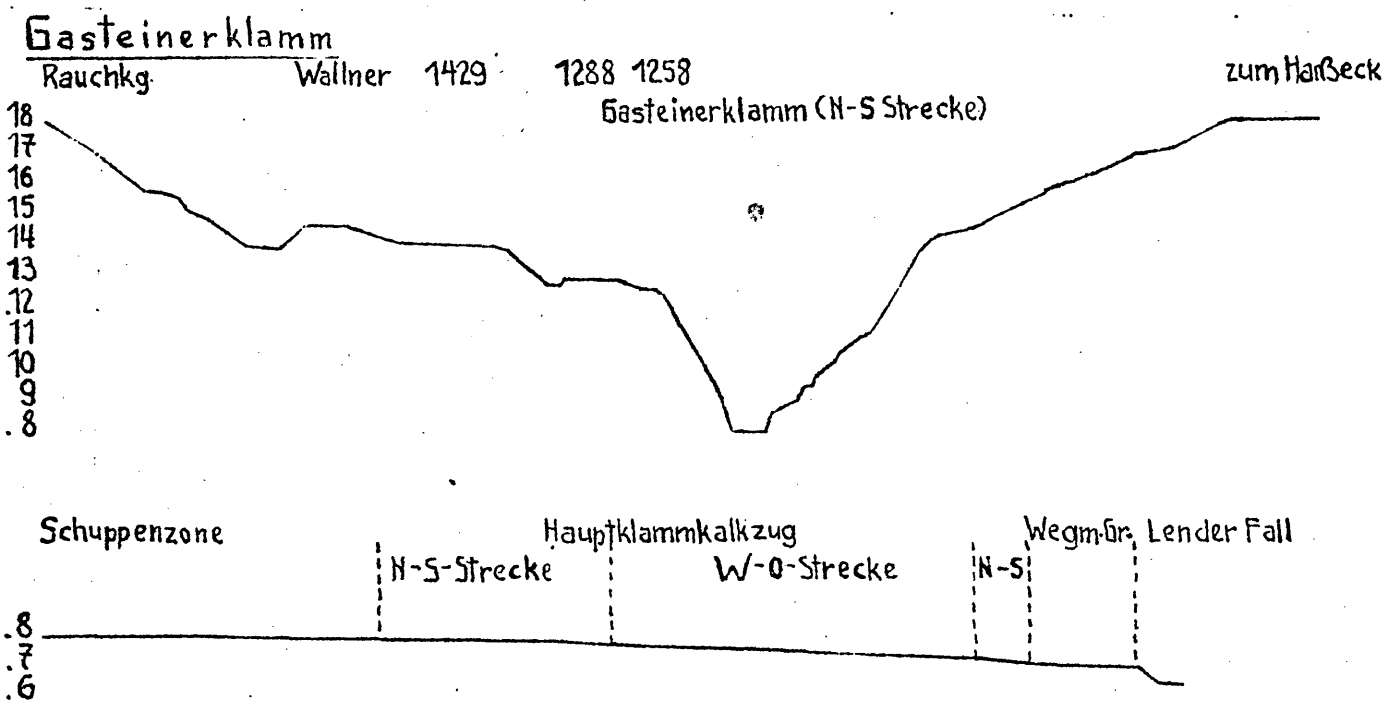
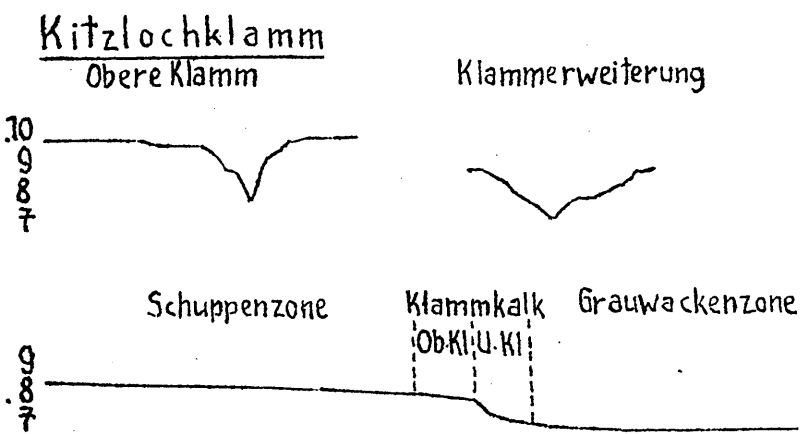
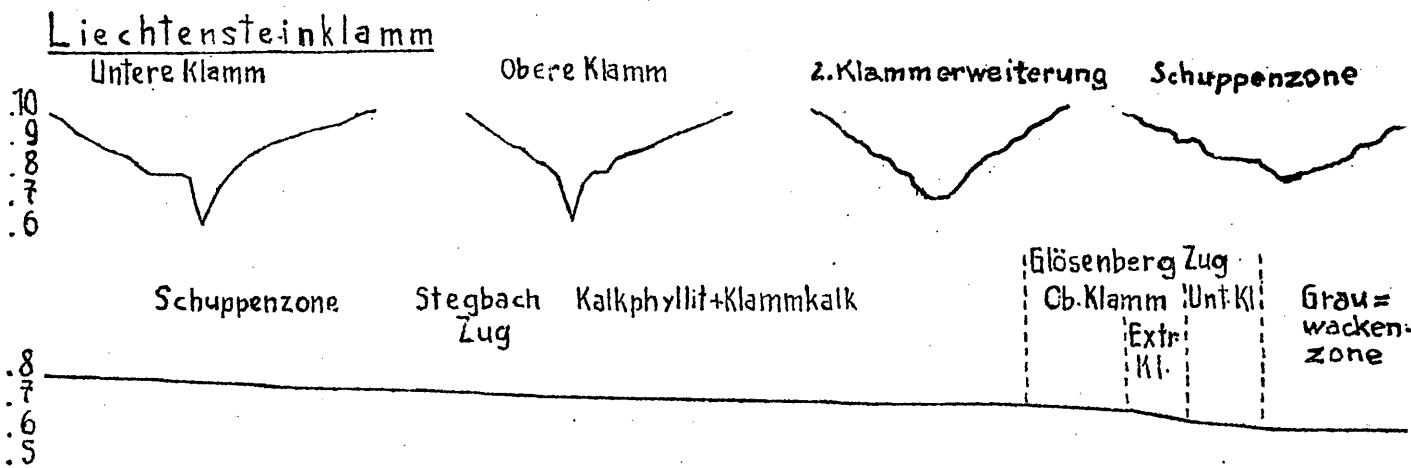
desselben. Da die Hebung erst im R-W-Interglazial begann, der Riegel aber schon früher nachweisbar ist und seine Breite mit der des nördlichen- und Hauptklammkalkzuges zusammenfällt, muss seine Entstehung vor allem petrographisch und durch die geschilderte selektive Glazialerosion bedingt sein. denn der Gesteinsgegensatz Klammkalk-Phyllit bestand schon lange vor dieser Dislokation. Es ist also mit dieser Stufe nicht der typische Fall einer umgewandelten Gefällssteile gegeben.

Im Gasteinertal erhebt sich der Riegel hoch über das Niveau des präglazialen Talbodens, dessen Reste südlich der Klamm in 1050 m nördlich in 900 m auftreten; war also schon vordiluvial da. Über dem Niveau der präglazialen Leisten gelegene Talbodenreste, die bereits an ihm absetzen, deuten auf sein noch höheres Alter. Aber seine Entstehung ist ähnlich wie im Rauristal in erster Linie gesteinsbedingt, da der Gesteinsgegensatz Klammkalk-Phyllit schon ursprünglich gegeben war. Eine Antezedenz des Durchbruches ist möglich, aber wegen der Schwierigkeit der Datierung älterer Talbodenreste infolge tektonischer Verstellungen kaum sicher nachweisbar.

Beim Grossarlthal war der Gefällsbruch nahe der Mündung schon präglazial vorhanden, da der Höhenunterschied zwischen dem präglazialen Talboden in Haupt- und Nebental 120 m beträgt. Die Stufe konnte sich bis heute an der Grenze morphologisch verschiedenwertiger Gesteine erhalten und ist somit hauptsächlich gesteinsbedingt. Der Riegel zwischen Stegbach-Glösenberg wurde ähnlich wie im Rauristal im Zuge der selektiv wirkenden Glazialerosion herauspräpariert. Seine Höhe erreicht ähnlich wie dort nur das Niveau des präglazialen Talbodens. Es ist somit auch hier nicht exakt nachzuweisen, dass die heutige Stufe aus der Umwandlung einer tektonisch bedingten präglazialen Gefällssteile entstand.

Dass bei der Zerschneidung der Stufen der Wechsel von Gletscher- und Flusserosion wirkte, zeigt die Ineinanderschachtelung mehrerer Querprofile unter dem Niveau des präglazialen Talbodens in allen drei Klammern, die von unten nach oben zunehmende Talbodenbreite und glaziale Zurundung der Oberkanten erkennen lassen. Das feste Gestein bewahrte die einzelnen Formen gut.

Das Längsprofil der Täler ist durch die Abfolge von Stufenfluren in den Schluchtstrecken und von Stufenabfällen in den Klammstrecken gekennzeichnet. Dies könnte durch mehrere Hebungsphasen erklärt werden, wenn nicht die geschilderte Differenzierung des Talweges so auffällig mit dem Wechsel von Klammkalk und Phyllit, bzw. grossen Störungszonen im Korrelation stünde und zwar so, dass die Stufenabfälle jeweils in wenig gestörtem Klammkalk liegen. Eine reinliche Scheidung dessen, was bei Entstehung solch un stetiger Profile auf Konto der Gesteinsqualität und der Störungen und was auf phasenhafte Hebung zu setzen ist, bleibt äusserst schwierig. Dass im Rauris- und Gasteinertal zwischen den einzelnen Stufenabfällen auch in weichem Gestein kein Talboden entstand



Quer- und Längsprofile der Klammern  
1:25.000



und die Stufen viel höher sind als an der Grossarlachenmündung, ist jedenfalls durch die Aufwölbung bei Embach zu erklären.

Sehr auffällig ist das Auftauchen der Klammkalkzone in einem Gebiet, das symmetrisch beiderseits des Meridians der Ankogel-Hochalm-Kulmination angeordnet und durch Tendenz zur Hebung gekennzeichnet ist. Das macht es wahrscheinlich, dass bei der Entstehung und Erhaltung aller drei Mündungsstufen Hebungsvorgänge mitbeteiligt sind.

Die besonders grosse Stufenhöhe an der Gasteinertalmündung hängt wohl mit dem unmittelbar über der Salzach befindlichen Klammkalkzug des Lender Falles zusammen, der eine lokale Erosionsbasis setzt. In den Nachbartälern liegt der nördlichste Klammkalkzug viel weiter von der Salzach entfernt. Auch die Lage im Meridian der Ankogel-Hochalmkulmination mag für die grosse Stufenhöhe wichtig sein.

#### D i s k u s s i o n zum Vortrag Dr. Pippan.

Dr. Lechner: Wie ist das Schmälerwerden nach oben in der Liechtensteinklamm zu erklären?

Dr. Pippan: Vielleicht durch Gesteinsunterschiede; übrigens handelt es sich nicht um eine durchgehende Erscheinung.

Dr. Lechner: Sind die durch Störungen bedingten Terrassen im Gasteinertal flächenhaft? (Dr. Pippan verneint dies). Sind die Brüche vormorphologisch?

Dr. Pippan: Dies lässt sich kaum entscheiden.

Dr. Braumüller: Welche Kriterien wurden zur Bestimmung der Sprunghöhe verwendet?

Dr. Pippan: Rein morphologische (die heutige Oberkante).

Dr. Braumüller: Wie steht es mit dem Bewegungssinn der angenommenen Störungen? Die Hebung bei Embach ist wohl zuzugeben, aber wo sind die Bewegungsflächen, die die Hebung zustandebrachten? Es müssen senkrecht gestriemte Harnische da sein, die aber fehlen. Ausserdem zeigen sich keine Verbiegungen. Vielleicht liegt ein Zusammenhang mit dem Aufsteigen der Tauernkuppel (Exner) vor? Daher auch die extreme Steilstellung der Kälke? Schwinnners Vorstellung von der Ost-West-Schiene ist zurückzuweisen; es handelt sich um westfallende Faltenachsen, die horizontal geschnitten sind. Eine Ost-Westverschiebung ist bei Ost-West-Achsen unmöglich.

Im neuen Stollen in der Kitzlochklamm fanden sich Rauchwacken und Gipsspuren im Serizitschiefer (Hinweis auf dessen mesozoisches Alter). Der Serizitschiefer ist im Stollen mit dunklem Fuscher Phyllit verfaltet.

Dr. Del-Negro: Wie steht es mit der rezenten Tiefenerosion in der Gasteiner Klamm?

Dr. Pippan: In der Hauptstrecke tritt sie stark zurück, da die Lender Teilstrecke die lokale Erosionsbasis bildete.

Dr. Del-Negro: Dem Nordende der Klammen folgt nach Heissel eine mylonitisierte Zone von Wagreiner Tertiär; es wäre denkbar, dass damit die Mündungsstufen zusammenhängen.

Wie ist der Verband der Fuscher Phyllite mit den Klammgesteinen zu denken?

Dr. Braumüller: Der Sandstein-Breccienzug stirnt im Fuscher Phyllit, der auch nördlich von ihm und auch noch zwischen den beiden Klammkalkzügen vorkommt. Der Serizitphyllit der Radstädter Decken ist mit dem Fuscher Phyllit verfigert. Die Radstädter Decken bohren sich also mit ihren Stirnen in den penninischen Fuscher Phyllit ein.