

## 5. Zum Gebirgsbau der Alpen beiderseits des Rheines.

VON HERRN A. ROTHPLETZ in München.

Hierzu Tafel VI. u. VII.

Wer immer sich mit Alpengeologie befasst hat, kennt die aussergewöhnlichen Schwierigkeiten, welche man hier zu überwinden hat, um irgend eine Frage von grösserer Tragweite allseitig beantworten zu können. Diese Schwierigkeiten sind weniger in den Mühseligkeiten, mit welchen die Begehung hoher Berge verknüpft ist, als darin zu suchen, dass die Alpen in ihrer grossen Ausdehnung, von der Riviera bis zur Leitha, durchaus ein einheitliches Ganze sind, und dass somit zur richtigen Beurtheilung auch nur localer Verhältnisse die Kenntniss des Ganzen erfordert wird. Wie wenigen aber ist es gegeben, die gesammten Alpen geologisch zu durchwandern? Der daraus entspringende Mangel eigener Anschauung ist einerseits eine Quelle steter Hemmnisse, Missverständnisse und Irrthümer, deren bleibende Spuren uns in der Alpenliteratur zahlreich genug aufbewahrt sind; andererseits kann er den bedächtigen Alpengeologen verleiten, seinen Arbeiten sogar einen vorläufigen Abschluss zu versagen und dieselben nur immer von Neuem zu prüfen und weiter auszudehnen, wobei es ihm allerdings stets gelingen wird, seine Anschauungen zu modificiren und zu verbessern, nicht bloss weil er neue Beobachtungen zu machen Zeit findet, sondern weil überhaupt mit der Zeit sich gewisse Anschauungen klären oder zum wenigsten ändern.

Das zutreffendste Beispiel eines solchen bedächtigen Mannes ist uns ARNOLD ESCHER VON DER LINTH, der die Alpengeologie zwar in grossartigster Weise gefördert, den aber seine Bedächtigkeit doch daran verhindert hat, die Ergebnisse derjenigen Beschäftigung, welcher er sein ganzes Leben hauptsächlich gewidmet hat, nämlich der geologischen Erforschung des Alpenlandes zwischen Reuss und Rhein, zusammenfassend zu veröffentlichen. Der Verlust, welcher hieraus der Geologie erwachsen ist, wurde zwar theilweise durch die nachträglichen Publicationen seiner Schüler, welche unter dem Einflusse seiner Anschauungen herangewachsen waren und nun den reichhal-

tigen schriftlichen Nachlass ihres Lehrers benutzen konnten, wieder gut gemacht, aber immerhin haben ESCHER's Ansichten, indem sie durch dieses Medium passirten, mancherlei Veränderungen erfahren, die nicht alle auf denselben reichen Schatz von Erfahrungen gegründet sind. Zugleich trat ein ausgesprochener Hang zum Speculiren in den Vordergrund. La jeune école de Zurich, wie sie GREPPIN nannte, hat uns nach ESCHER's Tod in verhältnissmässig kurzer Zeit mit einer erstaunlichen Menge neuer Lehrsätze und neuer Hypothesen überrascht, als deren Wirkungssphäre nicht nur der enge Raum der Ost-Schweiz, sondern die ganze Erdkugel beansprucht wird. Freilich haben sich bereits eine Anzahl namhafter Geologen gegen die neuen Lehren erklärt, aber noch viel auffallender als dieser Widerspruch, in welchen die Menschen gerathen sind, ist derjenige, in welchen man die ost-schweizerischen Nordalpen mit den übrigen Alpen gesetzt hat.

Während es bekannt ist, dass überall in den Alpen die sedimentären Schichten, wo immer sie beträchtliche Lagerungsveränderungen erlitten haben, einerseits stark gebogen und gefaltet, andererseits aber auf langen und tiefen Spalten auseinandergerissen und verschoben, d. h. verworfen worden sind, soll zwischen Reuss und Rhein „keine einzige irgendwie bedeutende Verwerfung“ existiren, statt dessen aber jede Dislocation sich als Schichtenfaltung äussern, die in der sogen. „Glarner Doppelfalte“ ihren Gipfelpunkt erreicht habe. Damit ist also zweifelsohne ein Gegensatz zwischen diesem engeren Gebiete und dem übrigen Theil der Alpen aufgestellt, und wenn man sich dabei nicht zufrieden geben will, sondern an der Einheit des alpinen Gebirgsbaues festhält, so wird man schliessen müssen, dass auf der einen oder anderen Seite Irrthümer begangen worden sind, dass also der Widerspruch nicht in der Sache, sondern in den Menschen liegt.

Wirklich haben sich bereits mehrere auf diesen Standpunkt gestellt. Gross war der Eifer, aber bisher gering das Ergebniss der Versuche, welche gemacht worden sind, um der Glarner Doppelfalte analoge Verhältnisse auch anderwärts in den Alpen wiederzufinden. Am meisten schien das Berner Oberland zu versprechen, allein theils sind diese Arbeiten noch nicht abgeschlossen, theils haben sich bereits widerstreitende Meinungen dabei hervorgethan. Im Gegensatz zu diesen Bestrebungen haben andere es unternommen, zu zeigen, dass die Tektonik im Gebiete der angeblichen Doppelfalte durchaus von derjenigen anderer Gegenden nicht abweiche; aber auch der Erfolg dieser Versuche ist zweifelhaft geblieben.

· Dass endlich schon vor 30 Jahren BERNHARD STUDER die richtige Lösung des Widerspruches gefunden habe, daran hat

man nicht etwa gezweifelt, sondern man vergass in unserer raschlebigen Zeit überhaupt ganz, dass diese Lösung gegeben worden war.

Schon während mehrerer Sommer hat mich der Gebirgsbau der Nordalpen beschäftigt. Bei der Versammlung der schweizer. naturforschenden Gesellschaft zu Aarau vor zwei Jahren habe ich eine Mittheilung<sup>1)</sup> darüber gemacht, dass in den schweizerischen Nordalpen Verwerfungen eine viel grössere tektonische Rolle spielen, als man neuerdings anzunehmen geneigt ist. Fortgesetzte Studien haben mich in dieser Auffassung bestärkt, und eine eingehende Untersuchung der bayerischen und tiroler Nordalpen im vergangenen Sommer hat mir einen Einblick in die tektonische Uebereinstimmung der Alpen beiderseits des Rheines gewährt. In Aarau hatte ich darauf hingewiesen, dass der Nachweis von Verwerfungsspalten und insbesondere die genaue Feststellung der Dislocationen, zu denen sie Veranlassung gegeben haben, sehr mühsam ist, und dass eine erspriessliche Förderung dieses für die Tektonik so wichtigen Nachweises nur aus gemeinsamer Arbeit hervorgehen könne. Leider haben die in den schweizerischen Nordalpen gegenwärtig thätigen Geologen kein Entgegenkommen gezeigt, theils weil sie in diesem Gebiete noch nie Verwerfungen gefunden haben wollten, theils weil sie dieselben für sehr untergeordnete Erscheinungen hielten. Da es somit den Anschein hat, dass ich die damals gestellte Aufgabe allein zu lösen habe, und da dies eine Arbeit ist, die noch Jahre von Zeit erfordert, selbst wenn sie nur ganz im Größten fertiggestellt werden soll, so habe ich mich zu dieser vorläufigen Veröffentlichung entschlossen, welche, wie ich ausdrücklich hervorheben will, nicht den Zweck hat, eine Schilderung des Gebirgsbaues zu beiden Seiten des Rheines zu geben, sondern nur in grossen Zügen auf die tektonische Gleichartigkeit hinweisen soll.

Um dieses Ziel zu erreichen ist es zunächst nöthig, die Stratigraphie unserer Gegend zu besprechen, damit wir die Altersfolge und die ursprüngliche gegenseitige Lagerung der verschiedenen Schichten feststellend eine sichere Basis gewinnen zur Beurtheilung der nachträglichen Lagerungsstörungen, welche zum gegenwärtigen Gebirgsbaue geführt haben, und die wir in einem zweiten Abschnitte betrachten werden. Dem Einflusse, den dieselben noch ausserdem auf die heutige Oberflächengestaltung gewonnen haben, ist dann der dritte Abschnitt gewidmet.

<sup>1)</sup> Comptes rendus de la soc. helvétique, in Archives des sciences physiques et naturelles. Genève 1881. pag. 69.

## I. Die Stratigraphie beiderseits des Rheines.

Dass das Rheinthal eine wichtige stratigraphische Grenze für die Verbreitung mehrerer Schichtengruppen bildet, ist eine längst erkannte Thatsache. Besonders ist das Fehlen der triasischen und rhätischen Schichten westlich des Rheines sehr auffallend.

Ich ordne die vorhandenen Schichten in folgende, zu unserer Betrachtung geeignete Gruppen:

1. Molasse (Miocän und Ober-Oligocän).
2. Eocän (Eocän, Flysch und Unter-Oligocän).
3. Kreide.
4. Jura.
5. Rhät und Trias.
6. Dolomit und Verrucano (Perm).
7. Carbon und Silur.
8. Phyllit, Glimmerschiefer und Gneiss (archaische Schiefer).

1. Die Molasse bildet ein unter sich concordantes Schichtensystem, welches alle Ablagerungen von oberoligocänem (aquitane) bis zu obermiocänem Alter in sich begreift. Zur Molasse-Zeit muss an Stelle der Alpen bereits ein Gebirge existirt haben, denn die Nagelfluhen lassen vielfach Kalksteine und krystallinische Schiefergesteine, die im Innern der Alpen anstehen, in ihren Geröllen erkennen. Nirgends aber am Nordrande der Alpen trifft man die Molasse ungestört auf älteren Formationen aufruhend; eine bedeutende Verwerfungsspalte tritt überall zwischen sie und die älteren Gesteine, so dass sie nicht nur abwechselnd bald an Eocän, bald an Kreide oder Jura angrenzt, sondern häufig sogar von diesen älteren Gebilden überlagert wird, da dieselben auf südwärts geneigter Verwerfungsspalte der Molasse an- oder vielmehr aufgelagert sind.

Nordwärts der Alpen, im Juragebirge, liegen dieselben Molasseschichten theils auf Kreide, theils auf jurassischen Schichten verschiedenen Alters, während eocäne Ablagerungen sich nicht dazwischen schieben. Man darf daraus schliessen, dass sich die Molasse discordant auf den älteren Schichten ausgebreitet hat und ihre Unterlage in Folge von Erosion eine ungleichförmige war. Ferner muss man annehmen, dass die gegenwärtige südliche Verbreitungsgrenze der Molasse nicht zugleich die südliche Grenze angiebt, bis zu welcher die Molasseablagerungen ursprünglich gereicht haben.

2. Unter-Eocän sind im weiteren Sinne der österreichischen Geologen alle eocänen und unteroligocänen, also auf alle Fälle auch der gesammte Flysch, zusammengefasst. Obwohl die stratigraphische Verwickelung hier noch nicht aller Orten glücklich gelöst ist, so scheint doch Gleichförmigkeit in der Lagerung dieser Schichten mit Sicherheit angenommen werden zu können. Ueberlagerung durch die jüngere Molasse findet nirgends statt, weil, wie bereits erwähnt, letztere durch die grosse alpine Randspalte von den eigentlichen Alpen ausgeschlossen ist. Als Unterlage des Eocän trifft man vielerorts die oberste Kreidestufe — Seewerkalk —, aber ebenso oft auch tiefere Etagen der Kreide oder des Jura, so dass Discordanz der Lagerung zweifellos ist. Im Gebiet des Muveran liegt das Eocän nach RENEVIER abwechselnd auf Urgon, Aptien und Gault; nach GILLIBRON in der Umgebung des Simmenthales bald auf oberen, bald auf unteren Kreidehorizonten, stellenweise sogar auf Jura; nach KAUFMANN am Pilatus meist auf Urgon; am Sentis allerdings nach ESCHER stets auf Seewerkalk, aber weiter südlich am Tödi und an der Windgälle, sowie am Titlis und bei Innertkirchen direct auf oberem Jura, während ostwärts gegen Ragatz zwischen Jura und Eocän gewöhnlich wieder Kreide eingeschaltet ist. Am ganzen Nordrande der bayerischen Alpen scheint Eocän wie in der Sentiskette concordant der Kreide aufgelagert, während im Innern der Alpen sich Discordanz geltend macht, indem als Liegendes sich rhätische und triasische Gesteine einstellen.

Diese Discordanz zwischen den eocänen und älteren Schichten tritt also nicht als einfache Transgression auf, sondern kann nur durch zwischenfallende Erosion erklärt werden. Damit im Zusammenhang steht, dass nach MEYER-EYMAR in diesen Theilen der Alpen die untersten eocänen Stufen bis herauf zu derjenigen des Grobkalkes (parisien) meist ganz fehlen.

Zieht man die Verbreitung des Eocän in Betracht, so giebt sich von Salzburg im Osten bis zum Genfer See im Westen eine auffallend scharf begrenzte alpine Randzone zu erkennen, auf welche das Eocän hauptsächlich beschränkt ist. Im Osten wenig breit, erweitert sich diese Zone nach Westen hin, besonders vom Allgäu an, und sie verliert gleichzeitig etwas von ihrer scharfen Begrenzung. Besonders in der Westschweiz machen sich im Süden dieser Randzone kleine isolirte Eocänpartieen geltend, die aber meist durch die schwache Entfaltung ihrer Schichten ausgezeichnet sind. Im Osten ist nur ein südlicher Ausläufer des Erwähnten werth, nämlich die grosse Bucht, die das Tertiär mitten hinein in die altriasischen Formationen bis Reit im Winkel, Häring und Ratten-

berg entsendet. Jedoch betheiligen sich dabei nicht mehr eigentlich eocäne, sondern nur unteroligocäne Ablagerungen.

Von grösserer Bedeutung hingegen ist die südliche Einbuchtung zwischen Silvretta und Reuss, an der sich die Nummulitenbildungen und Flyschschiefer von zum Theil jedenfalls mitteleocänem Alter betheiligen. Die südliche Grenze derselben fällt in die Bündner Schiefer Graubündens und ist wegen der Schwierigkeit, welche diese Gesteine Altersbestimmungen entgegengesetzten, bisher noch nicht genau festgestellt worden. Wir wollen diese Bucht, auf welche ich später zurückkommen muss, die rheinische Eocänbucht nennen.

3. Die Kreideschichten scheinen überall in unserem Gebiete concordant auf dem oberen Jura zu liegen, und wo von oben her nicht nachträgliche Abtragung stattgefunden hat, sind sie meist in ihrer vollständigen Entwicklung vorhanden. Im Gebiete der rheinischen Eocänbucht ist es allerdings noch nicht überall gelungen, diese Regelmässigkeit mit Sicherheit nachzuweisen, es hat dies aber wohl hauptsächlich in den gewaltigen Lagerungsstörungen, denen das Gebirge gerade dort ausgesetzt war, seinen Grund. Im Jura und in den Freiburger Alpen scheinen einige, wenn auch unbedeutende Discordanzen zwischen Kreide und Jura zu existiren, die aber in der „alpinen“ Facies des Neocom wohl ganz fehlen dürften.

Oestlich des Allgäu gewinnt diese Formation eine von der schweizerischen sehr abweichende Faciesausbildung, welche aber für unsere Aufgabe nicht mehr in Betracht kommt.

4. Der Jura ist als unter sich völlig concordantes Schichtensystem entwickelt, an welchem sich Malm, Dogger und Lias betheiligen. In den schweizerischen Kalkalpen ist zwar wegen Mangels und schlechter Erhaltung der Versteinerungen die Schichtenfolge nur schwer zu entwirren, aber den eifrigen Nachforschungen Mösch's verdanken wir doch schon die Erkenntniss, dass hier der Jura vollständig entwickelt ist und dass, wo die oberen Stufen fehlen, Erosion die Ursache ist, welche an der discordanten Auflagerung jüngerer Schichten erkannt werden kann. Ferner macht sich innerhalb der jurassischen Ablagerung eine gewisse Transgression geltend, welche an dem localen Verschwinden des Lias leicht erkannt wird, und auf deren Vorhandensein und weite Erstreckung nach Osten bis an die russische Grenze schon vor langem SUBSS aufmerksam gemacht hat, während NEUMAYR dieselbe sogar durch Russland bis nach Indien hin verfolgt hat. Damit im Zusammenhang steht die Thatsache der discordanten Auflagerung des Jura auf dem viel älteren Röthidolomit und Verrucano, welche, wie wir sehen werden, den Perm vertreten. Wo hingegen, wie dies östlich des Rheines der Fall ist, über dem Perm noch alle

triasischen und rhätischen Schichten entwickelt sind, da lagert der Jura concordant auf letzteren auf und niemals fehlt dann der Lias. Die Verschiedenheit des Untergrundes macht sich übrigens auch in der petrographischen Entwicklung des Jura zu beiden Seiten des Rheines bemerkbar. Die mächtigen rechtsrheinischen Adnether Kalke und Allgäuschiefer sucht man vergebens im linksrheinischen Lias. Die noch grösseren Verschiedenheiten im oberen Jura können wir hier ausser acht lassen, weil sie sich erst ziemlich weit östlich vom Rhein hervorthun.

5. Rhät und Trias sind linksrheinisch zunächst gar nicht vorhanden. Erst am Mythen tritt vielleicht etwas Rhät auf, obwohl die wenigen Pflanzenreste nichts entscheiden und die concordante Ueberlagerung durch braunen Jura, also das Fehlen des Lias, eher dafür sprechen, dass die fraglichen Schieferletten liasisch seien, wofür man sich auch auf den Typus der Pflanzen berufen könnte. Zweifelloser Rhät existirt nur westlich vom Thuner See. Anders ist die Entwicklung im Osten des Rheines, wo sofort Rhät und Trias in wohl charakterisirten und sehr mächtigen Schichtenserien auftreten. Wir gliedern:

Rhät mit Dachsteinkalk, Kössener Schichten und Hauptdolomit.

Obere Trias (Keuper) mit Raibler Schichten, Arlbergkalk und Partnachschiefer.

Untere Trias mit Virgloriakalk (Muschelkalk).

Das Liegende besteht theils aus Verrucano, theils aus Gneiss. Das gänzliche Fehlen dieser mächtigen Ablagerungen im Westen kann nicht durch Erosion erklärt werden. Wenn aber E. von Mojsisovics<sup>1)</sup> ausspricht, dass „die Rheinlinie südlich bis Reichenau und der Lauf des Hinterrheines als die westliche Ablagerungsgrenze des austro-alpinen Triasmeeres aufzufassen seien“, so kann man dem nur bedingungsweise beistimmen. Denn es kann nicht bezweifelt werden, dass die Rheinlinie wenigstens südlich bis Chur einer Verwerfungslinie entspricht, und dass, wenn schon die austro-alpine Trias hier herum ihr westliches Ende erreicht haben mag, jetzt nach der gewaltigen Zusammenschiebung der Massen ihre scharfe Begrenzung im Lichtensteinischen ebenso wie die im Rhäticon Folge von Dislocationsspalten ist. Darum fällt auch die Triasgrenze keineswegs, wie doch nach Mojsisovics anzunehmen wäre, überall mit der Rheinlinie zusammen, sondern weicht im

<sup>1)</sup> Beiträge zur topischen Geologie, 1873 im Jahrb. der k. k. geol. Reichsanstalt. Wien, Bd. 23. pag. 137.

Prättigäu und Schanfigg nach Osten zurück, weil dort ein neues Senkungsgebiet über den Rhein herüberreicht.

Die angeführte Gliederung des Rhätes und der Trias schliesst sich genau an diejenige von RICHTHOFEN an, der in den Arlberger Kalken ein Aequivalent des Wettersteinkalkes sieht, während MOJSISOVICs den Arlbergkalk nur als Einlagerung in den Raibler Schichten gelten lassen will und eine transgredirende Lagerung der Carditaschiefer und des Hauptdolomites über der älteren Trias annimmt. Mir scheint diese Annahme noch nicht genügend begründet zu sein. Die ungeheuer gestörten Lagerungsverhältnisse lassen oft gewisse Schichten unsichtbar werden, ohne dass sie doch fehlen. Beispiele dieser Art werden wir sogleich zu besprechen Gelegenheit finden. Uebrigens ist die Frage nach dieser Transgression für unsere specielle Untersuchung von untergeordneter Bedeutung, ebenso wie diejenige, ob man den Hauptdolomit schon zum Rhät oder noch zur oberen Trias rechnen wolle. Da es für die Profile wünschenswerth war, den Hauptdolomit mit dem Rhät zu vereinigen, so haben wir sie auch hier beisammen lassen wollen. Wichtiger ist es hervorzuheben, dass der Virgloriakalk discordant auf Verrucano und Gneiss liegt und dass weiter nach Osten sich concordant unter ihn noch die untersten triasischen Stufen, die Aequivalente des Buntsandsteins, einschoben. Wo die untere Trias, weiter im Osten, vollständig entwickelt ist, hat man gewöhnlich folgende Profile:

Wulstige Plattenkalke.	}	Virgloriakalk = Muschel-	}	= Bunt-
Dickbankige, schwarze Kalke.		kalk.		
Rauchwackenartiger Kalk mit	}	Guttensteiner	}	= Bunt-
<i>Naticella costata</i> .		Kalk.		
Rothe u. gelbliche, oft schieferige Sandsteine.	}	Werfener	}	= Bunt-
Fein- bis grobkörnige, rothe Sandsteine, ganz petrefactenleer.		Schichten.		

Die rothen Sandsteine, welche petrographisch dem Buntsandstein Süddeutschlands auffallend gleichen, werden manchmal auch als Grödener Sandstein bezeichnet, ohne dass irgend welche palaeontologische Anhaltspunkte hierfür vorgebracht werden können. Nachdem man aber jetzt weiss, dass der Grödener Sandstein von den Werfener (Seisser und Campiler) Schichten durch die Bellerophonkalke getrennt wird, ist eine solche nur auf äusserliche Ausbildungsähnlichkeiten gegründete Parallelisirung nicht mehr berechtigt, da zwischen den tieferen rothen und den höheren schieferigen Sandsteinen weder eine Kalkablagerung noch überhaupt irgend eine scharfe

Grenze nachzuweisen ist. Dahingegen werden wir im Liegenden dieser Schichten sogleich eine Gesteinslage kennen lernen, welche viel eher zum Vergleich mit den Grödener Schichten herangezogen werden darf.

6. Verrucano und Dolomit. Beginnen wir unsere Betrachtung dieses viel besprochenen und viel verkannten Schichtensystemes zunächst in der Schweiz, so gilt es da vorerst die Zusammengehörigkeit desselben festzuhalten. Wo diese Schichtenserie vollständig entwickelt ist, besteht sie zu unterst stets aus z. Th. conglomeratartigen Arkosen, Arkoseschiefer und Thonschiefern von rothen, grünen und schwärzlichen Farben. Kleine Knauer, Linsen und Lager von Dolomit und dolomitischem Kalk sind häufig eingelagert und vergrössern sich in den höheren Horizonten zu mehrere Meter starken und weit anhaltenden Bänken, die sich petrographisch von den höheren Röthidolomitbänken nicht unterscheiden lassen. Die letzteren entstehen eben durch Ueberhandnahme der ersteren, in Folge dessen die Verrucanogesteine schliesslich zum Werthe blosser Einlagerungen oder Zwischenlagen herabsinken. In dieser höheren Zone stellen sich noch intensiv grüne und rothe Thonschiefer von manchmal wetzsteinartiger Beschaffenheit ein, die sog. Quartenschiefer, welche sich durch ihr feineres und gleichmässigeres Korn von den Verrucanoschiefern unterscheiden. Da diese ganz petrefactenlosen Schichten nur nach ihren verschiedenen Gesteinslagen gegliedert werden können, so ist es von vornherein unwahrscheinlich, dass eine minutiöse Gliederung sich an mehreren Orten in gleicher Weise werde durchführen lassen. Versuche, die in diesem Sinne gemacht worden sind, haben keinen wirklichen Erfolg gehabt. Nur soviel kann man mit Sicherheit aufstellen, dass zu unterst die Verrucanoschiefer und Arkosen, zu oberst Dolomit und Quartenschiefer vorherrschen, und danach lässt sich, wenn schon scharfe Grenzen durchaus nicht existiren, doch sehr natürlich eine untere Verrucano- und eine obere Dolomitetage unterscheiden. Die scharfe Gliederung, welche HEM versucht hat, in Sockelschichten, Hauptröthidolomit, Quartenschiefer und oberen Röthikalk und Dolomit lässt sich nicht aufrecht erhalten, selbst ganz abgesehen davon, dass dabei die unteren, dolomitarmen Verrucanoschichten ganz abgetrennt und mit den carbonischen Gesteinen, sowie den echt krystallinischen Gneissen und Glimmerschiefern zusammengeworfen werden. Diese Abtrennung ist aus einem petrographischen Irrthum entsprungen, den ich schon früher aufgeklärt habe<sup>1)</sup>; und dass auch westlich der Reuss

<sup>1)</sup> Die Steinkohlenflora des Tödi in N. Denkschriften der schweiz. naturf. Ges. 1880.

jene Gliederung nicht durchgeführt werden kann, hat BALTZER<sup>1)</sup> erklärt.

Weiterhin hat man auch, durch gewisse petrographische Aehnlichkeiten verleitet, der Meinung Ausdruck verliehen, der Quartenschiefer entspräche vielleicht dem Keuper, der Röthidolomit oder Vanskalk dem Muschelkalk und der Verrucano dem Rothliegenden. Allein die berührte Wechsellagerung der Dolomite, Quartenschiefer und Verrucanogesteine macht eine solche Parallelisirung im höchsten Grade unwahrscheinlich.

Auf schweizerischem Gebiet lässt sich über die Alterszugehörigkeit nur mit Sicherheit soviel sagen, dass Verrucano und Dolomit jünger als Carbon und älter als Lias sind. Letzterer liegt an vielen Orten unmittelbar über der Dolomitetage. Oft aber ist auch der braune Jura das Hangende, und der Lias fehlt dann ganz; oft aber fehlt auch die Dolomitetage, und Lias oder Dogger ruhen direct auf Verrucano. Im Kärpfgebiet z. B. liegen nach HEIM die Magereusschichten (Ober-Lias) unmittelbar auf Verrucano. Im Berner Oberland scheint der Dolomit transgredirend zu lagern, indem er oft auf Gneiss aufrucht und erst im Weiterstreichen sich auf den Verrucano heraufzieht. Letzterer ist besonders mächtig nur ganz im Westen — im Rhônethal und ganz im Osten zwischen Linth und Rhein entwickelt, und da es gerade auch dort ist, dass man darunter pflanzenführende, carbonische Ablagerungen gefunden hat, so ist es nicht unwahrscheinlich, dass diese Gebiete schon in so früher Zeit Oberflächen-Depressionen dargestellt haben.

Als Resultate können wir kurz zusammenfassen: Discordanz zwischen Verrucano und älteren Gesteinen; Transgression der Dolomitetage über die Verrucanoetage; Erosion, verbunden mit theilweiser und auch ganzer Wegführung dieser zwei Stufen. Darauf Ablagerung des Unteren Lias und dann transgredirend Oberlias und Brauner Jura etc.

Wenden wir uns nun nach dem Osten, so finden wir schon am Rhein genauere Anhaltspunkte zur Altersbestimmung. MOJSISOVICs hat dort den Muschelkalk über Quartenschiefer liegend getroffen. Ob man nun aber diesen Schiefer zum Perm oder zum Buntsandstein rechnen müsse, bleibt im Rhäticon zweifelhaft, weil dort palaeontologisch bestimmbare Schichten unter dem Muschelkalk nicht mehr vorkommen. Günstiger liegen die Verhältnisse in Tirol, wo die Trias ganz vollständig entwickelt ist, und gleichwohl in ihrem Liegenden noch Verrucano-ähnliche Gesteine und Dolomite auftreten, die petrogra-

<sup>1)</sup> A. BALTZER, Der mechanische Contact von Gneiss und Kalk im Berner Oberland 1880; in Beiträgen zur geol. Karte der Schweiz.

phisch mit den Gesteinen der Verrucano- und Röthidolomit-  
 etage die grösste Aehnlichkeit haben.

Sobald wir aber diese Tiroler Gesteine mit denen des  
 Verrucano zu identificiren berechtigt sind, so ergibt sich für  
 alle diese Gesteine eine Zwischenstellung zwischen Carbon  
 und Buntsandstein, d. h. ein permisches Alter. Die Wichtig-  
 keit des Gegenstandes erfordert ein näheres Eingehen.

### Die Permformation in Nord-Tirol.

Der Strich Landes zwischen Brixlegg und Salfelden ist  
 von den Geologen von jeher stiefmütterlich behandelt worden.  
 Zur Zeit als GÜMBEL und RICHTHOFEN so erfolgreich die baie-  
 rischen und vorarlberger Alpen untersuchten, war zwar die  
 benannte Gegend Gegenstand der Bemühungen des Freiherrn  
 VON ANDRIAN, aber dieselben haben zu keinerlei Publicationen  
 geführt. GÜMBEL selbst hat diese Region in seiner Beschrei-  
 bung des bayerischen Alpengebirges nur gestreift. Später hatte  
 in den Jahren 1869 und 1870 MOJSISOVICS im Auftrage der  
 österreichischen geolog. Reichsanstalt die dortigen Aufnahmen  
 zu machen, allein er konnte sich in dem versteinerungslosen  
 Gebiete nicht heimisch fühlen, und bezeichnete <sup>1)</sup> das Ergebniss  
 selbst als eine „keineswegs abgeschlossene“ Generalübersicht.  
 Neuestens ist dann die Umgebung von Brixlegg von CATHEIN  
 monographisch bearbeitet worden, jedoch stand auch hierbei,  
 wie sich gleich zeigen wird, die Cardinalfrage unter keinem  
 günstigen Stern. Als ich im vergangenen Sommer diese Gegend  
 mit der GÜMBEL'schen Karte in der Hand besuchte, war ich nicht  
 wenig erstaunt, in Strichen, wo Muschelkalk angegeben ist,  
 Gesteine zu treffen, die mich auf den ersten Blick schon auf  
 das Lebhafteste an unseren schweizerischen Verrucano und  
 Röthidolomit erinnerten. Ich habe dann, soweit es die überaus  
 ungünstigen Witterungsverhältnisse und meine Zeit erlaubten,  
 versucht, durch genauere Begehung einiger Querprofile eine  
 Vorstellung von der Natur dieser Gesteine und der Tektonik  
 des Gebirges zu gewinnen. Wenn ich das Ergebniss hier  
 mittheile, so bin ich mir einerseits vollkommen bewusst, dass  
 vollständige Klarheit in diese Verhältnisse erst durch eine  
 systematische Begehung des ganzen Districtes gebracht werden  
 kann. Aber andererseits glaube ich doch bereits mit Sicher-  
 heit auf einige Punkte von allgemeinerer Bedeutung aufmerksam  
 machen zu können. Dieselben werden sich am besten aus einer  
 Besprechung der begangenen Profile ergeben.

<sup>1)</sup> Beiträge zur topischen Geologie der Alpen; Jahrb. d. k. k. geol.  
 Reichsanstalt 1871. Bd. 21. pag. 207.

## 1. Umgebung von Brixlegg.

Die kleine tektonische Skizze und die drei Profile (Taf. VII. Fig. 4, 6, 7 und 11), an welche ich meine Bemerkungen anknüpfen will, haben keineswegs den Zweck einer ganz correcten Wiedergabe der Oberflächenverbreitung der einzelnen, unterschiedenen Etagen. Die Genauigkeit der Grenz- und Verwerfungslinien ist nicht überall dieselbe, und sie sind an einigen Orten lediglich nach den Angaben von PICHLER und CATHREIN eingetragen, besonders in der Region zwischen Silberberg, Brunn und Winkl. Immerhin wird die Skizze dem mit der Gegend nicht bekannten einen richtigen Ueberblick über die Tektonik geben. Auch habe ich mich von der Existenz jeder Etage und jeder Verwerfungslinie, die eingetragen ist, an Ort und Stelle überzeugt, nur die Grenzen der Etagen und der Verlauf der Verwerfungslinien sind etwas schematisch gezeichnet; um so deutlicher wird man aber auch daraus die Art des Gebirgsbaues erkennen.

Zur Erklärung der Schichtenscala sei Folgendes vorausgeschickt: Als älteste Gesteine treten Thonschiefer — sog. Wildschönauer Schiefer oder Grauwackenschiefer — auf, die jedenfalls jünger als Phyllit sind, und die man für gleichalterig mit denjenigen Schiefeln hält, in welchen bei Dienten silurische Kalke eingelagert sind. Auf sie folgt ein mächtiger und erzeicher Dolomit oder dolomitischer Kalk — der sogen. Schwazer Kalk —, auf dessen Dolomitnatur ( $\text{CaCO}_3 : \text{MgCO}_3 = 55 : 37$ ) CATHREIN mit Recht aufmerksam gemacht hat. Darüber liegt rother Sandstein, durchaus vom Charakter des Buntsandsteines, wie er überall längs der Kalkalpen die Basis der Trias bildet. Seine obere Grenze besteht aus Rauhwacke, die PICHLER und CATHREIN für Aequivalente des Guttensteiner Kalkes ansprechen zu dürfen glauben. Der folgende knollige Kalk mit *Encrinurus*-Stielgliedern und *Daonella parthanensis* stellt den Virgloriakalk dar. Die untere Trias ist also vollständig und normal entwickelt. Die Partnachschieften und der Wettersteinkalk hingegen, welche nun folgen sollten und die wirklich auch auf der anderen Seite des Innthales vorhanden sind, fehlen hier vollständig. Erst die Raibler oder PICHLER's Carditaschichten setzen die Serie fort. Das Vorkommen von *Halobia rugosa* beweist nach MOJSISOVICS, dass dies nicht, wie PICHLER vermuthete, dessen untere, sondern die oberen Carditaschichten sind. Als jüngstes Glied folgt dann der Hauptdolomit mit seiner charakteristischen monotonen Ausbildung. CATHREIN hat angenommen, dass die Carditaschichten concordant auf dem Virgloriakalk lägen, ohne den vorhandenen Hiatus zu bemerken oder zu besprechen. MOJSISOVICS hingegen hat zwei verschie-

dene Erklärungsversuche gewagt. Der erste stammt aus dem Jahre 1871.<sup>1)</sup> Es werden Raibler Schichten und Hauptdolomit irrthümlich als Partnach-Schichten und Partnach-Dolomit gedeutet, die concordant auf Muschelkalk lägen, während beide zusammen discordant auf dem rothen Sandstein ruhen sollen, der als Grödener Sandstein dem Rothliegenden zugezählt wird. Und da der Partnach-Dolomit transgredirend gelagert sei, so komme es, dass zwischen ihm und dem Grödener Sandstein der Muschelkalk stellenweise (bei Sommerau) fehle. Durch einfache Discordanz, d. h. durch die Existenz „klippenförmiger Riffe von Gertrauder (Schwazer) Kalk und Grödener Sandstein“ werden die Inseln älterer Gesteine bei Brixlegg, Winkl und Sommerau „mitten in der ungestörten Schichtfolge der Partnach-Schichten oder des Partnach-Dolomites“ erklärt.

Der zweite Erklärungsversuch ist 3 Jahre jünger.<sup>2)</sup> Hier wird die Gegend von Brixlegg zur Vorarlberger Facies gezogen, in welcher die Schichtenfolge sein soll: Virgloriakalk, Bactryllien-Schiefer (Wengener Schiefer) nach oben mit Kalk und Sandstein wechsellagernd und die Fauna der Carditaschichten aufnehmend, zu oberst vorherrschend dunkle Kalke und Dolomite (Arlbergkalk) und dann Hauptdolomit. Nun ist es freilich auffallend, dass weder vom Arlbergkalk noch von den Bactryllien-Mergeln bisher eine Spur konnte gefunden werden. Auch hat Mojsisovics bei Aufstellung dieser Faciesbildung offenbar geglaubt, dass die stratigraphische Lage der Schichten, in welchen die *Halobia rugosa* bei Mehren gefunden worden ist, zweifellos die der „unteren Carditaschichten“ PICHLER's sei, und er hat darum gerade aus dieser Stelle „die Erkenntniss“ gewonnen, „dass die unteren Carditaschichten stratigraphisch mit den oberen Carditaschichten identisch sind.“ Da nun aber die Schichten von Mehren gar nicht auf Muschelkalk concordant aufliegen, so ist natürlich der darauf gegründete Schluss hinfällig.

Um den Grund des Fehlens der mitteltriasischen Stufen zu erkennen, unternehmen wir von Rattenberg ausgehend eine Wanderung. Das Schloss steht auf dunklen, dünnen Dolomitbänken mit schieferigen Zwischenlagen, in denen beim Tunnelbau PICHLER<sup>3)</sup> die *Cardita crenulata* in vielen Exemplaren gefunden hat. Die Schichten streichen von ONO. nach WSW. und fallen steil nach S. Der südlich sich anschliessende, 909 Meter hohe Berg besteht aus Dolomit, welcher bei gleichem Fallen und Streichen concordant über jenen Cardita-

1) Jahrbuch der geol. Reichsanstalt Bd. 21. pag. 209.

2) Ebendasselbst 1874. Bd. 24. pag. 107.

3) Zur Geognosie Tirols, 1. Folge 1859. pag. 153 u. 3. Folge pag. 21.

(Raibler-) Dolomiten liegt und zweifellos Hauptdolomit ist. Er bildet den hohen, gegen das Innthal jäh abfallenden Bergzug, welcher bei Brixlegg beginnt und bis zum Maukenthal ununterbrochen fortsetzt. Das Mariahilfbergl bei Brixlegg besteht jedoch nur auf der Nordhälfte aus diesem Dolomit, während die Südseite mit dem Capellenhügel von Schwazer Dolomit aufgebaut wird. Diese unerwartete Association wird uns sofort erklärlich, wenn wir bis zum jenseitigen Mühlbühel weitergehen, der auf seiner Nordseite ebenfalls aus Hauptdolomit besteht, während die Südseite nicht aus Schwazer Dolomit, sondern aus Muschelkalk gebildet wird. Der theils N-S., theils NO-SW. streicht und auf der SO.-Seite des Hügels regelmässig von rothem Sandstein unterlagert wird. Das Liegende dieses Buntsandsteines ist zunächst durch die breite Thalsohle des Alpbaches verdeckt, aber jenseits derselben kommt sofort Wildschönauer Schiefer zum Vorschein. Da nun am Mariahilfbergl Schwazer Dolomit ansteht und dem Streichen nach die durch die Thalsohle verdeckten Zwischenschichten gerade dort zu suchen sein würden, so ist man wohl berechtigt, hier die normale Schichtenfolge — Wildschönauer Schiefer, Schwazer Dolomit, Buntsandstein und Muschelkalk — anzunehmen, welche alle nördlich an Hauptdolomit angrenzen. Dass diese Grenze, wie schon hieraus geschlossen werden darf, wirklich Folge einer Verwerfung ist, sieht man aber unmittelbar am Mühlbühel (Taf. VII. Fig. 6). Der gänzlich zerklüftete, zertrümmerte und ausserdem von Menschenhänden noch vielfach beim Erzsuchen durchlöcherter Dolomit der Nordseite schneidet an Kalk haarscharf mit einer fast saigern Trennungsoberfläche ab, die längs des ganzen Hügels sehr gut verfolgt und nur als Verwerfungskluft gedeutet werden kann. Die Verwerfungsspalte, welche diese älteren Schichten südlich begrenzt, ist zwar nicht ebenso schön aufgeschlossen, tritt aber gleichwohl im Süden des Mühlbühels sehr deutlich hervor. Wir haben es hier also nicht mit einem alten Riff zu thun, an welches sich der Hauptdolomit discordant anlagerte, sondern mit einer Scholle älteren Gebirges, welche durch jüngere Schichten hindurch heraufgestossen worden ist, also jedenfalls etwas ähnliches wie die „Klippen“ der Carpathen. Der Hauptdolomit setzt westwärts noch bis Au fort und bei Mehren kommen nochmals die Raibler Schichten mit *Halobia rugosa* darin vor. Die genauere Tektonik dieses Dolomitzuges ist freilich noch dunkel, weil vielorts eine Schichtung in dem stark brecciös zerdrückten Gesteine nicht mehr erkannt werden kann. Dass im Süden und im Norden die Raibler Schichten auftauchen, deutet eher auf mehrfache Zerstückelung durch Verwerfungen als auf muldenförmige Schichtenbiegung, für welche keinerlei Beobachtun-

gen sprechen. Südlich von Mehren grenzt der Hauptdolomit wieder an Muschelkalk an, doch ist der unmittelbare Contact nicht aufgeschlossen, aber da der Muschelkalk theils bei saigerer Stellung N-S streicht, theils am linken Gehänge des Alpbaches zu N-S streichenden liegenden Falten zusammengepresst ist, so muss in der WSW-ONO streichenden Grenze zwischen Muschelkalk und Dolomit ebenfalls eine Verwerfungsspalte gesehen werden. Westlich des Alpbaches hat man von da ab bis zum Reither Kogel die normale Schichtenfolge des Muschelkalkes, Buntsandsteines, Schwazer Dolomites und Wildschönauer Schiefers, während östlich bei Alpsteg hinter dem Muschelkalk bereits wieder Hauptdolomit ansteht, und erst nachdem man diesen quer durchschritten hat, gelangt man in die gleiche Schichtenfolge wie links des Baches, nur mit dem Unterschiede, dass diese ganze Serie bedeutend nach Süden zurückgeschoben ist in Folge einer N-S streichenden Verwerfungsspalte, die auch schon CATHREIN gesehen hat. Im Westen dieser Spalte streichen die Schichten ungefähr von O. nach W., im Osten derselben von NO. nach SW.; sie fallen aber beiderseits widersinnig nach S. und SO., so dass die älteren scheinbar die jüngeren sind.

Schlagen wir nun, wiederum von Rattenberg ausgehend, eine andere, östliche Richtung ein, so überschreiten wir, am Berg nach Mauken herauf, ebenfalls zuerst mächtige Massen des Hauptdolomites und gelangen auf der Südseite dieses Höhenzuges sofort in echten Buntsandstein, von derselben petrographischen Beschaffenheit wie der bei St. Gertraud sie zeigt. Südlich ragt ein Zug von Schwazer Dolomit auf, und bei Winkl hat CATHREIN sogar noch Wildschönauer Schiefer gefunden, wodurch wir mit Ausnahme des fehlenden Muschelkalkes, der aber nach CATHREIN rechts vom Maukenbache ebenfalls vorhanden sein soll, hier genau dieselbe Schichtenfolge wie bei Brixlegg durchschreiten können. Auch gelangen wir, wie dort, alsbald von neuem in Hauptdolomit und weiter südlich wieder in Buntsandstein und den Schwazer Dolomit der Gratspitz, welcher bei Alpbach von Wildschönauer Schiefer eingefasst wird. Also wiederum mit Ausnahme des fehlenden Muschelkalkes dieselbe Folge wie südlich von Brixlegg. Dass auch hier die Grenzen zwischen Hauptdolomit und den älteren Gesteinen von Verwerfungsspalten gebildet sind, geht sowohl aus der Analogie mit den Brixlegger Verhältnissen als auch aus der horizontalen Verbreitung der einzelnen Horizonte, wie sie die Skizze andeutet, hervor. Von den „isoklinalen Falten-systemen“ mit „Schenkelverquetsungen und Faltenverwerfungen“, welche CATHREIN gesehen haben will, ist keine Spur vorhanden. Besonderes Gewicht ist auf das Resultat zu legen,

dass das Fehlen verschiedener Glieder zwischen der untersten und obersten Trias nicht Folge von transgredirender Lagerung ist. Wird die geologisch noch fast unbekanntes Wildschönau einmal genauer untersucht, so gelingt es vielleicht, dort noch Spuren der Partnachschichten und des Wettersteinkalkes zu finden. Für unsere Untersuchung das wichtigste Resultat ist, dass zwischen Buntsandstein und Wildschönauer Schiefer der Schwazer Dolomit eingeschaltet ist. Dieser Dolomit wird petrographisch dadurch höchst merkwürdig, dass er durchweg zu einer kleinstückigen Breccie zerdrückt ist. Die einzelnen, eckigen und unregelmässig contourirten Fragmente sind aber alle durch ein mächtig entwickeltes Bindemittel fest zusammengefügt. Dasselbe besteht aus einem grosskrystallinischen Gemenge von Kalk-, Magnesia- und Eisencarbonaten sowie Fahlerz mit seinen vielfachen Zersetzungsproducten. Die einzelnen Fragmente sind, ehe sie wieder fest verkittet wurden, bedeutend gegeneinander verschoben worden, so dass fast nirgends mehr auch nur Spuren der ursprünglichen Schichtung erkannt werden können. Ueberall gegen die obere Grenze des Dolomites, also gegen den Buntsandstein hin, zeigt jenes Bindemittel eine wesentliche Veränderung. Zunächst wird es stark eisenschüssig und nimmt intensiv rothe Färbungen an, dann verliert es mehr und mehr seinen krystallinischen Habitus, wird lettig und sandsteinartig und schliesslich kann man gar nicht mehr im Zweifel sein, dass wirkliches Sandsteinmaterial das Bindemittel der Breccie geliefert habe. In diesen höchsten Lagen zeigen die einzelnen Dolomitfragmente häufig nicht mehr scharfkantige, sondern gerundete Formen, was jedenfalls einer von aussen her thätigen auflösenden Wirkung zuzuschreiben ist, die von dem Bindemittel ausging. In solchen Fällen erhält das Gestein ein conglomeratartiges Aussehen, und man muss sich hüten, es geradezu für ein Conglomerat anzusprechen. Es sind das ganz ähnliche Erscheinungen, wie die, welche ich von Hainichen in Sachsen als Amphibolschieferbreccien<sup>1)</sup> beschrieben habe.

## 2. Die hohe Salve.

Dieser Berg liegt 4 Meilen östlich von Brixlegg. Wir besteigen ihn von Hopfgarten aus; statt aber den gewöhnlichen Reitweg zu nehmen, wählen wir das kleine Thälchen gleich hinter der Kirche zum Aufstieg. Zunächst steht Thonschiefer vom Charakter des Wildschönauer Schiefers an. Die kleine Kalkeinlagerung, welche die GUMBEL'sche Karte da angiebt,

<sup>1)</sup> Ueber mechanische Gesteinsumwandlungen bei Hainichen in Sachsen; diese Zeitschrift 1879. pag. 374.

war nicht zu finden. Der Schiefer ist äusserst feinerdig, mit glänzenden, grünlichen und violetten Schieferungsflächen, die durch Quarzknauer vielfach unterbrochen werden. Sericitische Glimmerhäute durchschwärmen das Gestein. Von der Schichtung ist im eigentlichen Schiefer nichts zu sehen, dahingegen kommen zuweilen einige Millimeter starke Schichten mit Schieferzwischenlagen vor, die ein etwas gröberes Korn und in sich keine Schieferigkeit mehr besitzen. In solchen Fällen schien mir die Schieferungsfläche mit der Schichtfläche immer zusammenzufallen. Oft sind die Schieferungsflächen ziemlich eben, oft aber auch hin und her gebogen und auf das regelmässigste zu cristagalliähnlichen Gestalten geknickt. Mit den Thonschiefern, welche die carbonischen Ablagerungen der Alpen zu begleiten pflegen, hat dieser Schiefer wenig Aehnlichkeit. Ich halte ihn für älter.

Höher oben am Berge und auf diesem Schiefer ruhend, stellt sich ein anderer ein, der den casannaartigen Schiefnern des schweizerischen Verrucano merkwürdig ähnlich sieht. Man könnte versucht sein, in ihm einen quarzitischen Sericitschiefer zu sehen, weil er von talkähnlichen Sericithäuten ganz durchwebt ist, die sich um kleine und grössere Quarzkörner legen. Das Gestein ist aber schon stark zersetzt, und kleine, mehligte Partien in demselben lassen auf die ursprüngliche Mitwesenheit von Feldspathkörnern schliessen. Ein guter Theil der Quarzkörner scheint ferner klastischer Natur zu sein, gerade so wie das ja auch bei den Verrucanoschiefern der Fall ist. Jedenfalls kann erst die mikroskopische Untersuchung darüber volle Klarheit verschaffen. Die Grenze zwischen dem tieferen und diesem sericitischen Schiefer zieht sich von W. nach O. schräg am Berg herauf. Der letztere Schiefer hält in ziemlich gleichförmiger Entwicklung bis zu den Grünholzer Hütten herauf an, dann folgen sericitische Conglomerate, welche wiederum den Verrucanoconglomeraten sehr ähnlich sind. Wie diese haben sie das Eigenthümliche, dass die Gerölle in einer bald mehr arkose- bald mehr schieferthonartigen Masse nicht allzu häufig eingebettet liegen. Von Geröllen fand ich solche aus Quarz, dichten, rothen und weissen Quarziten und Kalkstein. Meist sind sie nicht über nussgross. Da alles Wiesensland oder Wald ist, so fehlen leider zusammenhängende Aufschlüsse. Doch trifft man häufig genug einzelne anstehende Felspartien, um sich zu überzeugen, dass diese conglomeratartigen Gesteine alsbald intensiv rothen Schieferletten Platz machen, in welche sich dünne, weissliche bis graue Kalkfasern und Lager einschalten, so dass eine Art von grobem Kalkschiefer entsteht, der freilich sehr wenig schiefrig ist. Darüber folgen, ziemlich mächtig, graue bis weissliche, aussen gelblich

verwitternde, dickbankige bis dünnplattige Dolomite und hierauf abermals Schieferletten und Conglomerate, die bis zur Einsattelung zwischen der kleinen und grossen Salve heraufreichen. Dort auf dem Kamm findet man dann, also als hängendes Glied — einen weissen, brecciösen Dolomit, ganz von der Ausbildung des Schwazer Dolomites bei Brixlegg, und wie dieser Fahlerz führend. Hier endigt die kleine Salve mit einem Steilabsturz nach Norden über den hinaus das nördliche Berggehänge ganz von Moränenschutt bedeckt ist. Anstehendes Gestein trifft man hingegen ostwärts, also mehr im Streichen, und zwar ist es jener gelblich verwitternde Dolomit, der eine grosse Aehnlichkeit mit dem Röthidolomit hat; er zieht sich längs des Kammes herauf bis auf den Gipfel der Hohen Salve, endigt dann aber auf der anderen Seite im Streichen mit einem plötzlichen Steilabsturz, über den hinaus er sich nicht mehr verbreitet. Dieses jähe Ende ist die Folge einer von S. nach N. streichenden Verwerfungsspalte. Nach W. hingegen konnte dieser Dolomitzug bis zum Plateau von Itter verfolgt werden.

Der nördliche Abfall der Hohen Salve ist, wie bereits bemerkt, von Moränenschutt so bedeckt, dass anstehendes Gestein nicht gefunden werden konnte. Erst weiter draussen die kleineren Hügel, welche bei Hausberg die Gehänge des Thales von Söll bilden, lassen wieder anstehendes Gestein und zwar echten Buntsandstein erkennen. In seinem Liegenden stellt sich eine derjenigen ganz ähnliche Bildung ein, welche wir bei Brixlegg kennen gelernt haben, nämlich eine conglomeratartige Dolomitbreccie, deren stark vortretendes Bindemittel aus Material des Buntsandsteines besteht, so dass, wo die Dolomitfragmente rundliche Contouren besitzen, wirklich das Bild eines Conglomerates entsteht. Wenn schon die Einsenkung zwischen diesen Hügeln und der kleinen Salve diese Dolomitbreccie von dem Dolomit vom Typus des Schwazer Dolomites trennt, so ist man nach den Erfahrungen, die wir bei Brixlegg gemacht haben, doch berechtigt, in der Breccie die hängendsten Partien jenes Dolomites zu vermuthen.

Mit Hinzunahme des jenseitigen Thalgehänges haben wir also hier, vom Jüngeren zum Aelteren fortschreitend, folgende Schichtenfolge; nördliche Thalseite: Wettersteinkalk; Muschelkalk; Buntsandstein, welcher auf die südliche Thalseite herüberreicht; Schwazer Dolomit, zu oberst conglomeratartig; rothes Conglomerat und Schieferthon; Dolomit in Bänken und Platten; rother Schieferthon und Conglomerat mit Kalklinsen, die nach unten ausbleiben; sericitischer Verrucanoschiefer; Thonschiefer vom Typus der Wildschönauer Schiefer.

Discordanz der Lagerung existirt zwischen letzterem Gestein

und dem Verrucanoschiefer, sowie zwischen dem Schwazer Dolomit und Buntsandstein. Die liegende Grenze des letzteren streicht SW-NO., während der Dolomit von O. nach W. streicht. In Erweiterung des Brixlegger Profiles schiebt sich also hier zwischen Wildschönauer Schiefer und Schwazer Dolomit noch eine Serie von Schiefern, Conglomeraten, Kalken und Dolomiten ein, die petrographisch den schweizerischen Verrucanogesteinen auffallend ähneln. Diese Aehnlichkeit liegt übrigens hauptsächlich in den ursprünglichen Gemengtheilen. Ich habe früher schon<sup>1)</sup> darauf hingewiesen, dass alle die sericitischen Glimmerhäute, welche die Verrucanogesteine durchschwärmen und ihnen oft ein so gneissähnliches Aussehen verleihen, Neubildungen — secundäre oder, wenn man den Begriff so allgemein fassen will, metamorphische Bildungen sind, durch welche der ursprüngliche Charakter der Schieferthone, Thonschiefer, Arkosen und Conglomerate verschleiert worden ist. Hier — an der Hohen Salve — ist der ursprüngliche Charakter aber noch besser gewahrt, und die secundären Bildungen, obwohl vorhanden und von derselben Qualität wie in der Schweiz, treten mehr zurück. Jene Aehnlichkeit ist eine wesentliche, diese Unähnlichkeit eine unwesentliche. Wie in der Schweiz können wir eine untere Zone der Schieferthone und Conglomerate (hier local auch mit Kalklinsen) und eine obere der Dolomite unterscheiden. Das ganze System liegt hier unter dem Buntsandstein, dort über dem Carbon und kann somit nur von permischem Alter sein. Als Perm aufgefasst, schliesst es sich auf's engste dem Perm Deutschlands an, welcher ebenfalls aus einer unteren Zone der Conglomerate und Schieferthone und einer oberen der Dolomite (Rothliegendes und Zechstein) besteht.

Mit südalpinem, hangendem Bellerophonkalk und liegendem Grödener Sandstein liegt der Vergleich auf offener Hand. Aber freilich fällt auch sofort die Verschiedenheit auf. Wie der nordalpine Verrucano mehr dem Rothliegenden Deutschlands als dem Grödener Sandstein in seiner petrographischen Entwicklung gleicht, so zeigt auch der hangende Buntsandstein der Nordalpen mehr Beziehungen zu dem Süddeutschlands als zu den Seisser und Campiler Schichten. Es gewinnt so den Anschein, als ob schon damals die Alpen eine Scheidung hervorgerufen hätten.

### 3. Der Gscheesberg bei Kitzbühel.

Schon Mojsisovics<sup>2)</sup> hat von diesem Berge ein Profil gegeben. Ich habe ein neues gezeichnet, das in einigen Punkten

<sup>1)</sup> Die Steinkohlenformation am Tödi 1880.

<sup>2)</sup> Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt Bd. 21. t. 7. f. 14.

von dem seinen abweicht. (Taf. VII. Fig. 9.) In der Wasserschlucht, welche sich direct vom Gscheesberg herab nach Kitzbühel zieht, steht zunächst wieder jener grünlich-violette Wildschönauer Thonschiefer an. Zu oberst in der Schlucht links ragt eine hohe Felswand von rothem Sandstein und Schieferletten mit meist saiger gestellten Schichtbänken empor. Dieses rothe, in Folge von Verwitterung leicht in losen Blöcken abbrechende Gestein hat fast stets dünne, einige Millimeter bis Centimeter starke Kalklinsen von hellgrauen bis weissen Farben parallel der Schichtung eingelagert. Wo dieselben häufig sind, entsteht ein gebänderter Kalk-Schieferthon oder Kalk-Sandsteinschiefer, genau von derselben Beschaffenheit, wie wir ihn an der Hohen Salve getroffen haben. Gewöhnlich ist diese regelmässige Bänderung aber nicht deutlich, weil das Gestein, ähnlich wie der Schwazer Dolomit, gänzlich brecciös geworden ist, so dass die einzelnen Fragmente von Kalklinsen und rothem Gestein, wirr durcheinander geschoben sind. Auch hier hat sich auf diese Weise ein conglomeratähnliches Aussehen herausgebildet, das den vorsichtigen Beobachter indessen nicht täuschen kann. Hat man diese rothe Felswand erstiegen, so gelangt man auf eine flach ansteigende Bergterrasse, auf welcher trotz der Wald- und Wiesenbedeckung anstehender Dolomit vom Charakter desjenigen, der den Gipfel der Hohen Salve bildet, sichtbar wird. Dann folgt eine neue Felswand, mit denselben Gesteinen, als die, welche die untere Wand zusammensetzen. Nur dass die Schichten flach ( $10^{\circ}$  in SW.) in den Berg fallen und minder brecciös verdrückt sind. Nach oben tritt an Stelle der Kalklinsen und Lager zuweilen schon Dolomit, und auf der jenseitigen Abflachung des Berges stellt sich als hangendstes Glied der Gipfeldolomit der Hohen Salve in mächtiger Lage ein. Noch jüngere Schichten (etwa die Schwazer Dolomite) kann man hier nicht zu treffen erwarten, weil das gegenüberliegende Berggehänge nicht aus jüngeren, sondern aus den älteren Thonschiefern zusammengesetzt ist. Der Gscheesberg trägt also nur die tieferen permischen Schichten, deren nähere Tektonik das Profil andeutet. Wie diese Gesteine, besonders im NO., ganz brecciös verdrückt sind, so ist die ganze Ablagerung selbst wahrscheinlich zerrissen, der nordöstliche Theil steht saiger, der südwestliche ist flach geneigt.

Damit schliessen wir die Betrachtung des Tiroler Perms ab und resumiren kurz: Uebereinstimmend mit dem Verrucano der Schweiz ist 1. die discordante Auflagerung auf älteren Gesteinen; 2. die Gliederung in eine untere Verrucano-stufe und in eine obere Dolomitstufe; 3. die transgredirende Lagerung der oberen Dolomitstufe (bei Brixlegg).

7. Carbon und Silur sind palaeontologisch nur an wenigen Punkten nachgewiesen. Immerhin aber sind uns diese Punkte wegen der Altersbestimmung des Verrucano sehr wichtig gewesen. Gewöhnlich ist man geneigt, die Wildschönauer Schiefer für silurisch zu halten, und in diesem Falle hätte das Silur in Tirol eine ziemlich grosse Verbreitung. Andere haben wohl auch noch jüngere Gesteine darin vermuthet, indessen fehlen positive Anhaltspunkte. In der Schweiz sind sichere Beweise für die Anwesenheit von Gesteinen der Uebergangsformation bisher nicht erbracht worden; doch ist es nicht unmöglich, dass gewisse schwarze Thon- und Alaunschiefer, welche man summarisch zum Verrucano gestellt hat, und gewisse grau-wackenähnliche Gesteine, welche an der Furca den „casanna-ähnlichen“ Glimmerschiefern einverleibt wurden, dahin gehören.

8. Die archaischen Schiefer bestehen links des Rheines aus Gneiss und Glimmerschiefer mit vielen Einlagerungen von Hornblendeschiefern, Gabbros, Serpentin, Marmor u. s. w., während rechts des Rheines als hangendstes Glied noch der mächtig entwickelte Phyllit hinzutritt.

### Rückblick.

Das bisherige zu kurzer Uebersicht zusammenfassend, er giebt sich folgendes Bild: Die älteren krystallinischen Schiefer der Mittelzone bilden die Basis der nördlichen Kalkalpen. Im Osten treten noch mächtige Schiefermassen von vielleicht silurischem Alter und im Westen locale carbonische Ablagerungen hinzu. Discordant breitet sich über diese verschiedenen Formationen die Permformation aus, deren Dolomitstufe über die Verrucanostufe stellenweise transgredirt. Die besonders mächtigen Massen der Verrucanostufe zwischen Rhein und Linth, sowie im Rhônethal deuten Depressionsgebiete damaliger Zeit an. Discordant hierüber und stellenweise auch direct auf älteren Gebilden liegen die unter sich concordanten Schichten der Trias, des Rhätes und des Jura. Der Buntsandstein reicht von Osten her nur bis in die Nähe von Vorarlberg; Muschelkalk und Keuper reichen transgredirend bis zum Rhein. Durch Transgression greift wiederum der Jura noch weiter westwärts und dehnt sich ganz über die schweizerischen Nord-Kalkalpen aus. Damit sind die Ostalpen als triasisches Depressionsgebiet charakterisirt. Ferner greift in der Schweiz brauner und weisser Jura über Lias, aber dieses Mal nicht in westlicher, sondern in südlicher Richtung gegen die inneren Alpen zu transgredirend. Die Kreide liegt ebenfalls concordant auf Jura, jedoch ostwärts des Lech ändern sich ihre Faciesausbildung und zugleich auch ihre Lagerungsverhältnisse. Erst

mit dem Eocän macht sich wieder eine discordante Auflagegerung bemerkbar, die in den äusseren Alpen nur schwach ist, gegen das Innere der Alpen aber rasch an Bedeutung zunimmt, so dass dort das Eocän bald auf älterer Kreide, bald auf Jura aufliegt. Gleichzeitig macht sich zwischen Reuss und Rhein ein buchtenförmig in die Alpen eingreifendes Depressionsgebiet geltend. Die Molasse endlich ist durchweg subalpin.

## II. Der Gebirgsbau beiderseits des Rheines.

Es empfiehlt sich zuerst den Gebirgsbau im Osten des Rheines zu betrachten, theils weil hier, wie wir soeben gesehen haben, die mesozoischen Schichten viel vollkommener entwickelt sind, theils weil die tektonische Auffassung durch vortreffliche Arbeiten für diese Gegend eine grosse Klarheit und Sicherheit gewonnen hat.

Als allgemeiner Ausdruck der Tektonik lässt sich, wenn man von allen genetischen Hypothesen absieht, folgendes aufstellen: Nördlich der centralen, älteren Schiefer liegen die Gesteine der palaeo-, meso- und cänozoischen Formationen in mehreren, zur Centralaxe der Alpen annähernd parallelen Zügen angeordnet, von denen jeder einzelne seinen selbstständigen Schichtenbau besitzt. Die Selbstständigkeit der einzelnen Züge ist durch grosse Längsspalten bedingt, welche das ehemals zusammenhängende Gebirge streifenweise durchschnitten und in eine Anzahl länglicher Schollen zerlegt haben. Jede dieser Schollen hat als Ganzes gegenüber den anderen Schollen Dislocationen erfahren, wobei im Allgemeinen die Regel hervortritt, dass die Schollen, je näher der alpinen Mittelzone, um so stärker in verticaler Richtung gehoben sind, während sie meistens gleichzeitig in horizontaler Richtung eine Bewegung nach Norden gemacht haben müssen, weil die thatsächlich beobachtete Resultirende beider Componenten gewöhnlich eine nach Norden gerichtete Ueberschiebung der inneren über die äusseren Schollen darstellt.

Neben dieser äusseren Ortsveränderung haben die einzelnen Schollen auch innere Formveränderungen erlitten, welche sich zunächst in oft gewaltigen Schichtenbiegungen äussern. Auch hier lässt sich die Regel erkennen, dass sowohl die einfacheren Schichtenaufbiegungen als auch die complicirteren Schichtenfaltungen mit der Längsrichtung der Alpen annähernd parallel laufen. Die Art der Schichtenbiegungen ist in unmittelbarer angrenzenden Schollen oft eine sehr verschiedenartige. Weitere Formveränderungen sind bedingt durch Längsspalten von secundärer Bedeutung, welche den Schichtenzusammenhang

der einzelnen Schollen bald nur stellenweise, bald der ganzen Länge nach zwar aufgehoben haben, aber doch nur so wenig, dass die Einheit des Schichtenbaues und der äusseren Ortsbewegung der Gesamtscholle dadurch dicht verdeckt worden ist. Immerhin wird es manchmal schwierig, die Grenze zwischen jenen Haupt-Längsspalten und denjenigen secundärer Bedeutung zu ziehen, was auf einen nur graduellen Unterschied beider hinweist.

Dieser grossartige aber einfache Bau wird vielfach complicirt durch hinzutretende Nebenerscheinungen, von denen zwei Arten tektonisch besonders wichtig sind. Die eine besteht in dem inselartigen Hervortreten isolirter kleinerer Einzelschollen in Mitten oder zu Seiten der grösseren Längsschollen. Wo diese Einzelschollen im Verhältniss zu ihrer Umgebung nicht eine Senkung, sondern eine Hebung erfahren haben, kann man sie Klippen nennen. Wo sie sich zu grösseren Mengen schaaren, tritt der durch die Längsschollen bedingte Charakter im Gebirgsbau fast ganz zurück, wie z. B. in der Umgebung von Berchtesgaden.

Die andere Art von tektonischen Nebenerscheinungen bilden die auf Querspalten erfolgten Dislocationen. Die Richtung derselben ist meist mehr oder weniger rechtwinkelig zu derjenigen der Längsspalten, so dass durch sie sowohl die Längsschollen als auch deren Längsfalten quer durchschnitten und verworfen werden. Die gegenseitige Verschiebungsrichtung ist aber auch hier wie bei den Längsverwerfungen im Wesentlichen neben der vertikalen eine nord-südliche horizontale, was auf eine gemeinsame Entstehungs-Ursache beider schliessen lässt.

Diese erwähnten tektonischen Eigenthümlichkeiten gehören alle nur dem alpinen Gebirgsbau an und haben sich darum, wie das Gebirge der Alpen selbst, erst in neogener Tertiärzeit herausgebildet. Aber schon vorher hatten praealpine Gebirgsdislocationen stattgefunden, die, wie aus den vorstehenden stratigraphischen Betrachtungen hervorgegangen ist, ganz andere orographische Folgen hatten und darum wohl auch anderen Verbreitungsgesetzen unterworfen waren. Es ist kaum zu bezweifeln, dass diese praealpinen Dislocationen ebenfalls sich in Verwerfungen und Schichtenbiegungen geäussert haben, aber die gewaltigen Dimensionen der späteren alpinen Dislocationen haben sie häufig bis zur Unkenntlichkeit entstellt, während auf ihre Existenz hinwiederum manches Räthselhafte und kaum Entwirrbare im alpinen Gebirgsbau zurückgeführt werden darf. Dieser Umstand legt uns in der Deutung alpiner Profile, besonders wenn es sich um die Details handelt, die äusserste Vorsicht auf.

Durchgehen wir zur Erläuterung des Gesagten an Hand der GÜMBEL'schen Karte die bayerischen Nordalpen, so sehen wir zunächst die Alpen nördlich gegen die stark zusammengestauchte Molasse mit einer bedeutenden Dislocationsspalte abschneiden. Die Spalte fällt mehr oder minder steil gegen Süden ein, und in ihrem Hangenden liegen abwechselnd Eocän und Kreide, so dass die Molasse im Liegenden unter diese älteren Gesteine einzufallen den Anschein hat. Dieser Ueberschiebung ist das plötzliche steile Aufsteigen der bayerischen Alpen aus der vorliegenden Hochebene zuzuschreiben. Kreide und Eocän bilden eine im Osten recht schmale, im Westen sich verbreiternde Scholle, deren Schichten zu einem System von meist nach Norden überhängenden Falten eng zusammengepresst sind, während von älteren Schichten nur etwas Jura zu Tage tritt. Die Verbreitung des Eocäns in den bayerischen Alpen beschränkt sich fast ausschliesslich auf diese Randscholle; besonders und ausnahmslos gilt dies für den Flysch.

Südlich grenzen an die Randscholle triasische, rhätische und liasische Schichten an, welche wiederum auf meist südwärts einfallender Verwerfungsspalte auf die jüngeren Eocän- und Kreideschichten hinaufgeschoben sind. Stellenweise jedoch legen sich noch kleinere, schmale Schollen oberjurassischer Gesteine trennend zwischen jene beiden. In der südlich folgenden, breiten Entfaltung triasischer, rhätischer und liasischer Gesteine ist es noch nicht immer möglich, die Hauptspalten von denen secundärer Bedeutung durchweg zu unterscheiden. Gleichwohl kann man sich in jedem Querprofil leicht von der Existenz mehrerer Längsschollen in dieser Zone überzeugen. Wir wollen zum Beleg hierfür ein solches Profil genauer durchgehen.

Murnau am Staffel-See liegt auf den untersten Molasse-schichten, die hier steil nach Süden einfallen. Auf der anderen Seite der Loisach ragen Eocän und Kreide der Randscholle zu steilen Vorbergen empor. Im Süden lagert sich eine jurassische Zwischenscholle mit den Ohlstatter Wetzschiefen an. Darauf folgt, wiederum durch eine Verwerfungsspalte getrennt, eine breite Scholle von triasischen, rhätischen und liasischen Schichten, die zu drei grossen, parallelen Falten zusammengestaucht sind. Besonders die südlichste dieser Falten ist stark nach Norden übergeneigt. Am nördlichen Rande dieser Scholle treten allerdings mehrfach, nicht unbedeutende, localere Verwerfungen auf, durch welche wahrscheinlich auch die Kreide des Illingsteines in diese Zone mit hereingezogen ist. Allein es sind dies vermuthlich nur secundäre Verwerfungen. Die südliche Grenze dieser Scholle liegt zwischen Partenkirchen und dem Barmsee, allwo sich die grosse Wetter-

steinscholle anschliesst, die orographisch so bedeutsam hervortritt und aus mehreren Schichtenmulden besteht. Zwischen ihr und der grossen Mieminger Scholle, mit welcher die Kalkalpen ihre südliche Grenze erreichen, schiebt sich auf der Südseite der Reinthaler Schroffen eine schmale Versenkungsscholle ein, durch welche Kreide und Jura in einfach muldenförmiger Lagerung zwischen die gewaltigen Massen des Wettersteinkalkes eingeklemmt sind.

Wir haben also in diesem Profil mindestens sechs Haupt-Längsschollen getroffen, von denen jede einen selbstständigen Schichtenbau besitzt. Jedes andere Querprofil würde uns Aehnliches zeigen, nur dass Zahl und Form der Schollen variiren. Wir wenden uns direct dem engeren Gebiete unserer Untersuchung zu — dem Vorarlberg und Allgäu. Nach den Angaben von RICHTHOFFEN, GÜMBEL, MOJSISOVICs und VACEK, welch in allen Hauptpunkten übereinstimmen, sind die zwei Profile I. und II. auf Taf. VI. zusammengestellt.

Das östlichere Profil I. beginnt im Norden mit der subalpinen, südwärts einfallenden Molasse, die im Bolgenacher Thal durch die grosse Randspalte (A) schräg abgeschnitten wird. Zwischen der Spalte A und B liegt die hier sehr breite Randscholle des Eocäns und der Kreide mit ihren nach Nord etwas überhängenden Falten. Zwei Secundär-Spalten sind auf dem Profile sichtbar, von denen vielleicht die nördlichere schon zu den Hauptspalten gezählt werden dürfte. Bei B hat eine Ueberschiebung des Rhäts über Eocän stattgefunden, und die nun folgende triasisch-liasische Zone bis C, wo die Kalkalpen gegen die krystallinischen Gesteine der Mittelzone abschliessen, zeigt 5 Verwerfungsspalten, die fast alle nach Süden geneigt sind. Obwohl diese Secundär-Spalten schon eine grosse tektonische Bedeutung gewinnen, so bleibt sich der Schichtenbau innerhalb derselben doch zu sehr gleich, als dass man in ihnen Hauptspalten sehen könnte. Der Spalte zwischen Lechthal und Warthorn gebührt unter denselben jedenfalls der erste Rang. Im Profil II. ist die Spalte A nur punktirt, weil sie durch die Rheinalluvionen verdeckt wird. Die noch breitere Randscholle des Eocäns und der Kreide, durch erhebliche Secundär-Spalten nicht gestört, erhebt sich sogleich in schönen Falten aus der Rheinebene und wird von Spalte B ganz wie auf Profil I. südlich begrenzt. Zwischen B und C liegt die Trias-Lias-Scholle, hier viel schmäler und nur durch eine Secundär-Spalte durchschnitten. Nach MOJSISOVICs kommen am Klamper Schroffen und südlich des Palüd-Thales noch je eine Spalte vor, allein die Sprunghöhe dieser Verwerfungen ist auf unserer Profillinie so gering, dass ich es vorgezogen habe, der Uebersichtlichkeit wegen dieselben wegzulassen. Mit

der Spalte C schliesst sich die Triasscholle nicht wie in Profil I. an die krystallinischen Schiefer, sondern von neuem an Eocän an, welches, wie die Uebersichtsskizze lehrt, dem Prättigäuer Senkungsfeld angehört. Jene Skizze ergänzt unsere Profile und zeigt die Spalten A, B und C in ihrem Streichen. B und C sind im Illthal durch eine Querspalte getrennt und im Osten derselben nach Norden vorgeschoben.

Mit Profil III. stehen wir bereits auf der westlichen Seite des Rheines, treffen aber auch da Spalte A gleicherweise entwickelt und hierauf die Eocän-Kreide-Rand-Scholle mit den zwei Secundär-Spalten des Wallensees. Schon im Osten des Rheines an der Canisfluh taucht unter der Kreide local Ober-Jura auf, allein hier am Wallensee sieht man den ganzen Jura bis herab zum Lias zu Tage gehen und unter diesem kommt weiter südwärts Perm in mächtiger Entfaltung zum Vorschein. Die Ursache dieser Abweichung erkennt man leicht in dem Umstand, dass die Spalte B hier nicht südwärts, sondern flach nordwärts geneigt ist, in Folge dessen hier nicht von Süden her ältere Schichten über die Randzone, sondern letztere über die inneren Schollen geschoben worden sind. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die Scholle zwischen B und C im Osten des Rheines nur ältere Schichten, aber kein Eocän mehr, im Westen hingegen Eocän in grosser Mächtigkeit enthält. Wir haben im ersten Theile unserer Abhandlung gesehen, dass zwischen Reuss und Rhein das Eocän seiner Zeit eine Bucht gebildet hat und damit erklärt sich das Vorhandensein dieser Schichten in den inneren Zonen.

Unser Profil III. reicht nicht mehr bis zur Spalte C, welche hier mit dem Vorder-Rheinthal zusammenfällt.

Ganz ähnliche Verhältnisse bietet uns Profil IV., in welchem auch der Schichtenbau im Süden der Spalte B angegeben wurde. Er ist in der Hauptsache derselbe wie in der Verlängerung des Profiles III., nur dass in letzterem unter dem Oberen Jura stellenweise Unter-Jura und stets Perm liegen und dass weiter südlich die Spalte C auftritt, die hier nicht mehr in's Profil fällt, aber auf der Uebersichts-Skizze angedeutet ist. Noch sei, um Missverständnissen vorzubeugen, bemerkt, dass die Liniirung des Eocäns auf Profil III. unterhalb der Spalte B nur die Schieferung, durchaus aber nicht die Schichtung wiedergeben soll.

Zwischen Spalte A, welche die Molasse von der Randzone abtrennt, und B liegt auch auf Profil IV. die Eocän-Kreidezone. Auch hier kommen noch die älteren Formationen bis auf's Perm zum Vorschein, und ebenso ist die ganze Scholle nach Süden über das Eocän der inneren Zone geschoben, aber die Ueberschiebungsfläche ist bei weitem nicht mehr so flach geneigt

und der Betrag der Bewegung in horizontaler Richtung lange nicht mehr so bedeutend. Innerhalb der Randzone zeigen sich kleinere Verwerfungen, von denen diejenige zwischen Faulenstock und Klingenstein nur secundärer Natur sind. Uebrigens ist die Schichtenlage des letzteren Berges etwas zweifelhaft. Die kleinen Schollen des Mythen hingegen sind eine ganz besondere Erscheinung, die zu den Klippebildungen gerechnet werden muss und später besprochen werden soll.

Vergleichen wir die bis dahin aus Profil III. und IV. für den Westen des Rheines gewonnenen tektonischen Resultate mit der im Eingang dieses Abschnittes gegebenen allgemeinen Schilderung des Gebirgsbaues im Osten, so ergibt sich bereits jetzt in allen Hauptpunkten eine auffallende Uebereinstimmung. Grosse Längsspalten haben Längsschollen abgetrennt, die übereinander geschoben worden sind. Innerhalb der einzelnen Schollen sind die Schichten gebogen und gefaltet, auch durch Secundär-Spalten nochmals zerrissen. Neben den Längsschollen treten kleinere Schollen („Klippen“) auf, und dass auch Querspalten eine nicht unbedeutende Rolle spielen, deutet die Uebersichts-Skizze an und wird alsbald noch besonders besprochen werden. Den einzig grösseren Unterschied sahen wir nur darin, dass die Trennungsspalte zwischen der Randscholle und den inneren Zonen, welche rechts vom Rhein nach Süden geneigt ist, links vom Rhein umgekehrt eine Neigung nach N. besitzt, in Folge dessen hier die älteren über die jüngeren Schichten nicht von N. nach S., sondern von S. nach N. geschoben worden sind. Diese Ausnahme von der Regel scheint in diesem Maasstabe wirklich nur auf das Land zwischen Reuss und Rhein beschränkt zu sein, denn in den westlichen Schweizer-Alpen ist so etwas noch nicht constatirt worden. Immerhin kann man hierin einen wesentlichen Unterschied in der Tektonik nicht sehen, und wir könnten darum, in unserer Betrachtung fortfahrend, noch die in der Skizze eingetragenen Verwerfungsspalten besprechen, die grosse Längsspalte Chur-Tavetsch-Furca begründen, auf die Wahrscheinlichkeit einer Spalte Chur-Sarganz-Wallensee-Züricher See hinweisen und damit einen Blick auf die Thal- und Seebildung gewinnen. Allein mit meinen vorausgehenden Erörterungen habe ich bereits das Gebiet der sogen. Glarner Doppelfalte berührt, und die Erscheinung, welche ich als eine südwärts gerichtete Ueberschiebung gedeutet habe, hat eine literarische Geschichte, welche ich umsoweniger ignoriren kann, als Ansichten geäussert worden sind, die mit meiner Auffassung durchaus nicht übereinstimmen und die sich am besten mit den Worten HEIM's <sup>1)</sup> charakterisiren lassen: „Mit

<sup>1)</sup> A. HEIM, Mechanismus der Gebirgsbildung I. pag. 230.

wirklichen Verwerfungen können wir zur Erklärung der Erscheinungen der Glarner Doppelfalte gar nichts ausrichten. Wir finden nirgends Spuren von anderen als ganz localen, bedeutungslosen Verwerfungen.... ESCHER<sup>1)</sup> hat nirgends Verwerfungen von gebirgsbaulicher Bedeutung gefunden, ebenso wenig THEOBALD, BALTZER oder ich.“ Hiermit ist der Widerspruch genugsam manifestirt, und es lässt sich nicht vermeiden, das unbegründet Erscheinende jener anderen Auffassung nachzuweisen, wobei ich mich besonders gegen HEIM's Argumentation zu wenden veranlasst sehe.

Sollten meine rein sachlichen Einwendungen Herrn HEIM zu einer Erwiderung veranlassen, in welcher er den richtigen Ton so wenig träfe wie in seiner letzten Entgegnung<sup>2)</sup> gegen meinen Aufsatz „Der Bergsturz von Elm“, so würde mein erneutes Schweigen dieselbe Antwort bedeuten wie damals, wo ohnehin eine Erwiderung überflüssig war, da Herr HEIM den einzigen sachlichen Einwand, den er vorgebracht hatte, alsbald selbst widerlegte und zurückgenommen hat.<sup>3)</sup>

#### Die sogen. Glarner Doppelfalte.

In Kürze lässt sich die berührte, von der meinigen abweichende Auffassung folgendermaassen wiedergeben: Zwischen Rhein und Reuss haben alle gebirgsbildenden Schichten-Dislocationen in Form von Schichtenbiegungen, niemals aber von Verwerfungen auf Spalten stattgefunden. Dabei sind die Schichten zu einer gewaltigen Doppelfalte zusammengestaucht worden, und zwar so, dass eine liegende Südfalte und eine liegende Nordfalte mit ihren Gewölben sich zugekehrt sind und berühren, während ihre Muldenschenkel miteinander zusammenhängen. Da alle Schichten der Mulden- und Mittelschenkel, zum Theil auch der Gewölbeschenkel unter solcher Belastung

<sup>1)</sup> HEIM (l. c. II. pag. 94) berichtet, dass ARNOLD ESCHER ihm einst sagte: „ich habe in meinem Leben in den Alpen noch niemals eine echte, zweifellose, grössere Verwerfung gesehen.“ Offenbar muss ESCHER in jenem Augenblicke seine eigenen früheren Publicationen vergessen haben. In seinen so vortrefflichen geologischen Bemerkungen über Vorarlberg lesen wir: (pag. 56) „dass die am Fitznauerstock stattfindende, theilweise wenigstens regelmässige Wiederholung der Gebirgs-glieder sich, ohne in Unnatur zu verfallen, nicht durch Gewölbebiegung erklären lässt, sondern dass hier wohl eine eigentliche Schiebung der Schichten A und B (der Fig. 10) hin stattgefunden haben muss; und es ist überhaupt möglich, dass auch andere hier in Betracht gekommene Fälle abnormer Lagerung in die Kategorie solcher eigentlicher Ueberschiebungen und nicht in diejenige von überkippten und verschobenen Gewölben gehören...“ Die Stelle lässt an Deutlichkeit nichts zu wünschen übrig.

<sup>2)</sup> Diese Zeitschrift Bd. 34. (1882) pag. 74.

<sup>3)</sup> Ibid., Briefl. Mittheil. pag. 435.

gestanden haben, dass die Gesteine derselben dadurch in den „latent plastischen Zustand“ übergeführt waren, so erfolgten diese Schichtenbiegungen zumeist durch Umformung ohne Bruch und ohne „Spalten-Verwerfungen“. Dabei wurden die Mittelschenkel, insbesondere der Nordfalte, in hervorragender Weise ausgewalzt und die ursprünglich über 1000 Meter starke Schichtenlage des Jura und der Kreide meist auf eine 1—4 Meter starke Lage, stellenweise auch auf 0 reducirt.

In unserem Profil III. entspräche also die Linie B dem ausgewalzten Mittelschenkel, unter dem der Muldenschenkel und über dem der Gewölbeschenkel läge. Alle Schichten über B sind im Mittelschenkel ausgewalzt und auf die Dicke der Linie B reducirt. Im Mittelschenkel soll die faltende Kraft streckend, im Gewölbe- und Muldenschenkel hingegen stauend gewirkt haben, und hieraus wird die gewundene Schichtenlage in diesen letzteren Schenkeln und die ebenplattige Form des Mittelschenkels abgeleitet.

Die ganze Theorie der Faltenbildung mit Ausquetschung der Mittelschenkel und ebenso die Theorie des latent-plastischen Zustandes und der bruchlosen Gesteinsumformung sind in erster Instanz aufgestellt worden, um die vermeintliche Thatsache der Glarner Doppelfalte zu erklären. Diese Theorien sind nicht aus mechanischen Experimenten abgeleitet, sondern einfach hypothetisch deducirt worden, und obwohl sie mit unseren bisherigen Erfahrungen und physikalischen Vorstellungen im Widerspruch stehen, so sollen sie doch durch die tektonischen Verhältnisse der Glarner Doppelfalte, für die sie allein eine Erklärung zu geben im Stande seien, genugsam gerechtfertigt werden. Es versteht sich somit von selbst, dass sie mit der Doppelfalte stehen und fallen.

Bereits im Vorhergehenden habe ich gezeigt, dass die angebliche Nordfalte als einfache Ueberschiebung auf einer Verwerfungsspalte aufzufassen sei. Es liegt mir nun noch ob zu zeigen, warum der von anderen angetretene Beweis der Faltung nicht geleistet worden ist.

Obwohl die Südfalte von mir hier nicht besprochen worden ist, so will ich doch in Kürze darauf hinweisen, dass dort nur eine C förmige und, wie es scheint, durch Verwerfungsspalten noch mehrfach gestörte Schichtenbiegung gesehen werden kann. Die nach Norden einfallenden Schichten des Perms, des Jura, der Kreide und des Eocäns wenden sich im Norden des Vorder-Rheinthaals C förmig um, so dass eine grosse liegende, nach Norden offene Mulde entsteht, nicht viel anders als dies auf Profil IV. am Grossen Ruchen zu sehen ist. Die Behauptung, dass der obere Muldenschenkel sich nochmals nach Süden über sich selbst zusückerle, gründet sich lediglich darauf, dass am

Gipfel des Piz Mar der Verrucano von Röthidolomit, etwas Quartenschiefer und einem unreinen, dunklen Kalkschiefer ohne Petrefacten, der aber als Lias gedeutet wird, überlagert ist. Bedenkt man nun aber, dass Dolomit und Quartenschiefer-ähnliche Gesteine oft im Verrucano Einlagerungen bilden und dass „etwas unreiner dunkler Kalkschiefer“ noch lange kein Lias zu sein braucht, so wird man denen vielleicht nicht Unrecht geben können, welche eine so bedeutende Schichtenumbiegung nicht eher anzunehmen gewillt sind, als bis bessere Beweise hierfür erbracht sein werden.

In jedem Fall, ob man nun in den obersten Schichten mit uns den oberen liegenden Muldenschenkel oder mit HEIM den Mittelschenkel sieht, sind die Schichten dieses Schenkels normal und in umgekehrter Reihenfolge entwickelt, so dass zu ihrer Erklärung eine besondere Theorie der Ausquetschungen nicht nöthig erscheint.

Wenden wir uns nun wieder der „Nordfalte“ zu, so ist zunächst die Cardinalfrage zu beantworten, ob nämlich wirklich die Schichtenserie, welche über dem angeblichen Mittelschenkel normal liegt, in dessen Gebiete in umgekehrter Reihenfolge getroffen wird. Man hat einige Punkte genannt, an denen so etwas zu sehen sein soll. Zunächst machte man auf das dünne Kalkbänkchen der Lochseiten aufmerksam, welches zwar nicht überall, wie fälschlicher Weise auf HEIM's Karte angegeben ist, aber doch meistens zwischen Verrucano und liegendem Eocän eingeschaltet ist und in dem man „mechanisch metamorphosirten“ Jurakalk erkennen zu können glaubt. Des Weiteren soll zwischen diesem „Jurakalk“ und dem Verrucano stellenweise etwas Röthidolomit auftreten. Allerdings würden dann noch immer Lias, Dogger und Kreide zur Vollständigkeit des umgedrehten Profiles fehlen, aber selbst jener Röthidolomit scheint nicht einmal authentisch zu sein. Die Angaben über ihn sind unbestimmt, und es erscheint zweifelhaft, ob seine Dolomitnatur nachgewiesen worden ist. Vom Kalkstöckli heisst es<sup>1)</sup>: „An demselben kann man in der etwa 18 Meter dicken Kalklage eine untere, dem Lochseitenkalk entsprechende und eine obere röthidolomitische Lage erkennen.“ Der schweizerische Feldgeologen-Verein hat unter Führung des Herrn HEIM im Herbst 1882 diese Stelle besucht. Ich fand folgendes Profil von unten nach oben: Eocäner Schiefer, dessen Schieferung wie gewöhnlich nach SO. (nach HEIM's Messung genauer 28° nach SSO.) einfällt, darüber mit sehr unregelmässiger, ausgezackter, wenn schon scharfer Contactgrenze ein hellfarbiger, aber gewöhnlich etwas dunkelgeflamter, von Calcitadern ganz

<sup>1)</sup> HEIM, l. c. I. pag. 158.

durchschwärmter, stark brecciöser Kalkstein, welcher nach oben mit einer auffallend ebenen Fläche an den überlagernden Verrucanoschiefer angrenzt. Etwa 1—2 Zoll tief zeigte dieser Kalkstein unter dem Verrucano eine gelbliche, durch Eisengehalt bedingte Färbung. Ferner war der Verrucano in seinen alleruntersten Partien kalkhaltig und zeigte auch einige kleine Kalklinsen, ebenfalls von gelblicher Farbe, eingelagert. Diese 1 bis 2 Zoll starke, gelbe Kalkschicht hat Herr HEIM an Ort und Stelle für seine „röthidolomitische Lage“ erklärt. Es ist aber kein Dolomit, sondern Kalkstein, der mit Salzsäure betupft sofort lebhaft aufbraust.<sup>1)</sup> Eine ähnliche Verwechslung dürfte auch an den Grauen Hörnern gemacht worden sein, von wo ebenfalls unter dem Verrucano und über dem Lochseitenkalk Röthidolomit signalisirt wurde. Der Dolomit am Klausenpass endlich hat gar keine Beweiskraft, weil die Natur der hangenden Schiefer zweifelhaft ist.

Es giebt im weiten Gebiet der Nordfalte überhaupt nur eine Stelle, wo unter dem Verrucano und über dem Lochseitenkalk Röthidolomit, Quartenschiefer und Dogger mit Sicherheit nachgewiesen sind, und diese Stelle hat darum eine für die Faltheorie erhöhte Bedeutung. Allein die Schichtenlage ist hier keineswegs so, wie jene Theorie sie erfordert, und A. ESCHER VON DER LINTH hat sich während mehrerer Tage vergebens bemüht, Klarheit in die verwickelten Verhältnisse zu bringen. HEIM, der ergänzende Beobachtungen nicht gemacht zu haben scheint, giebt eine auf ESCHER'S Notizen gestützte Beschreibung, welche aber die gewohnte Klarheit vermissen lässt. Sein bilderreiches Werk enthält für diese Gegend weder Profil noch Abbildung. „ESCHER gelangte nicht dazu,

<sup>1)</sup> In dem Protokoll der geolog. Section (Compte rendu etc. de la soc. helv. des sc. nat. in Archives des sc. phys. et nat. Genève 1882. pag. 26), von welchem es heisst, dass nach seiner Verlesung alle Mitglieder der zweitägigen Excursion ihre Zustimmung zu demselben gegeben hätten, steht: „au-dessus (du calcaire) vient la sernifite avec des fragments dolomitiques, puis immédiatement la sernifite rouge, verte ou violette“. Ich muss hierzu bemerken, dass eine solche Stelle zwar in dem verlesenen und von HEIM verfassten Protokoll stand, dass ich aber sofort erklärte, meine Zustimmung nur geben zu können, wenn diese Stelle gestrichen werde, weil der angebliche Dolomit Kalkstein sei. Ich war erbötig, jeden Zweifler an den gemeinsam gesammelten Handstücken davon zu überzeugen. Herr HEIM hat, ohne den geringsten Widerspruch, sich sogleich bereit erklärt, die Stelle wegzulassen; um so mehr muss ich mich wundern, dieselbe nun doch gedruckt zu finden. Obwohl ich an sich solchen Protokollen wenig Werth beilege, da ja wissenschaftliche Fragen durch Mehrheitsbeschlüsse nicht entschieden werden können, so bin ich zu diesem Protest gegen ein solches Verfahren doch gezwungen, weil mein Name unter den Zustimmenden angeführt ist.

den Schichtenwirrwarr hier vollständig aufzulösen, es bleibt dies einer späteren Untersuchung, welche an Hand einer Karte in grösserem Maassstabe arbeiten muss, vorbehalten.“<sup>1)</sup> Auch die spätere Controverse HEIM-VACEK hat uns über diesen Punkt in demselben Dunkel gelassen. Immerhin kann man sich am Abfall des Bützistöckli gegen das Durnachthal leicht davon überzeugen, dass Röthidolomit und Quartenschiefer, brauner Jura mit Echinodermenbreccie und Eisenoolith, sowie Schiltkalk im Verrucano eine mehrfach gefälte, liegende Mulde bilden, welche ebenso wie der Verrucano selbst durch die ganz ebene, schwach nach NW. geneigte Ueberschiebungsfäche vom Lochseitenkalk und Eocän getrennt sind. Der Lochseitenkalk theiligt sich also an der kleinen unterjurassischen Falte im Verrucano gar nicht und darum können diese unterjurassischen Schichten auch nicht als Reste des ausgequetschten Mittelschenkels gelten.

Es ergibt sich demnach, dass noch nirgends diejenigen Schichten nachgewiesen worden sind, welche die ehemalige Existenz eines Mittelschenkels auch nur wahrscheinlich machen könnten, es wäre denn, man wollte diese Schichten im Lochseitenkalk erkennen. Wir wollen darum erst noch diesen etwas genauer betrachten.

#### Was ist Lochseitenkalk?

Ich beschränke diesen Begriff, den man unberechtigter Weise allzusehr ausgedehnt hat, auf die dünne, meist nur bis einige, selten bis 20 oder mehr Meter starke Kalkbank, welche im Gebiete der sogen. Nordfalte auf der schwach nach NW. geneigten Grenzfläche zwischen Verrucano und eocänem Schiefer vielorts eingeschaltet ist. Alle die mächtigen Kalklager der Südfalte, ferner die mächtigen Kalklager des Saasberges und des Kammerberges, Klausen-Passes und Gries-Stockes rechne ich nicht dazu, weil sie eine ganz andere Lage haben.

Der Kalk vom Klausenpass zieht sich ganz unabhängig vom hangenden Verrucano südwärts nach dem Griesstock mitten in's Eocängebiet hinein, und der Kalk vom Saasberg, der oberjurassische Petrefacten einschliessen soll, wird überhaupt von Verrucano gar nicht, wohl aber von Eocän überlagert. In der eigentlichen Lochseitenbank — welche als reducirter Mittelschenkel gedeutet worden ist — hat man noch niemals Petrefacten gefunden, und die Anhänger der Auswalzungstheorie können auch niemals hoffen solche zu finden, weil bei der Auswalzung des ursprünglich mehrere Hundert Meter mächtigen Hochgebirgskalkes zu dem nur noch einige Meter

<sup>1)</sup> HEIM, l. c. I. pag. 161.

starken Lochseitenkalk, alle Belemniten und Ammoniten zu so langen und dünnen Bindfaden und Bändern ausgezogen worden sein müssten, dass ihre Wiedererkennung unmöglich wäre.

A. ESCHER nannte das Lochseiten-Gestein „veränderten Kalkstein“ und dachte dabei an Hochgebirgskalk. Aber im Gefühle der Unsicherheit dieser Vermuthung hat er nie aufgehört, nach sicheren Beweisen für seine Annahme zu suchen. Positiver traten bereits seine Schüler auf. BALTZER<sup>1)</sup> nennt dieses Kalkbänkchen schon kurzweg Oberjura, erkennt aber allerdings an, dass „weitere Petrefactenaufschlüsse wünschbar wären.“ Er hält ihn für „mechanisch metamorphosirt“. „Offenbar war es die bei der (während der Ueberfaltung entstehenden) Friction erzeugte, höhere Temperatur, welche den dunklen, dichten, an organischen Humussubstanzen reichen Hochgebirgskalk in den krystallinischen hellen Lochseitenkalk umwandelte.“ BALTZER fügt jedoch hinzu, dass die ebenplattige Form der Kalkbank, welche mit den gekröseartigen Biegungen des darunter liegenden Eocänes in einem auffallenden Widerspruch steht, vorläufig noch unaufgeklärt bleibe.

Mit grösserer Sicherheit tritt HEIM auf. Für ihn sind Jura, Kreide und Röthidolomit einfach im Mittelschenkel durch bruchlose Umformung ausgewalzt; „der Lochseitenkalk ist durch die auswalzende Bewegung, welcher er zwischen Eocän und Verrucano ausgesetzt war, vorwiegend aus Jurakalk entstanden.“<sup>2)</sup> Hier fällt zunächst das „Vorwiegend“ auf, aus dem offenbar geschlossen werden darf, dass im Lochseitenkalk auch noch die ausgewalzten Kreide- und Röthidolomitschichten, wenn auch quantitativ zurücktretend, enthalten sind. Es würde dies wenigstens durchaus mit jener Theorie und damit übereinstimmen, dass auch die Kreide mächtige, dem Jurakalk an Festigkeit gleiche Kalksteine enthält und dass der Röthidolomit wegen „seiner bedeutend grösseren Festigkeit und Zähigkeit“<sup>3)</sup> mehr als der Hochgebirgskalk vor starker mechanischer Metamorphose geschützt war. Gleichwohl erklärt uns HEIM an anderer Stelle (pag. 142), dass der Lochseitenkalk lediglich als mechanisch reducirter Hochgebirgskalk angesehen werden darf. Ich kann diesen in HEIM's Worten liegenden Widerspruch nicht lösen, wollte aber doch darauf aufmerksam machen.

HEIM fährt auf pag. 223 folgendermaassen weiter: „In den Eocänschichten, wo durch unregelmässige Bewegungen local Zug in's Spiel kam, finden wir dichte Netze von Adern aus

<sup>1)</sup> A. BALTZER, Ein Beitrag zur Kenntniss der Glarner Schlinge; N. Jahrb. für Mineralogie 1876. pag. 126.

<sup>2)</sup> A. HEIM, l. c. I. pag. 223.

<sup>3)</sup> l. c. I. pag. 159.

Zerreissungen hervorgegangen. Im Lochseitenkalk sind makroskopisch eigentliche Adern selten. Der letztere wurde eben nicht einfach gestreckt, sondern ausgewalzt, wodurch in der localen Kraftäusserung stets nur Druck, nicht Zug zur Wirkung gelangte. Alles Ineinanderkneten der Schichten, die innere Zermalmung, die sich in der Disposition, sandig zu zerfallen, kundgiebt und was wir sonst im Mittelschenkel beobachten, erklärt sich vollständig durch die enormen Differentialbewegungen, welche unter grosser Belastung im Lochseitenkalk thätig gewesen sind.“

Es ist dies eine Erklärung aus einer Theorie heraus, welche folgendermaassen formulirt wird <sup>1)</sup>: „In einer gewissen Tiefe unter der Erdoberfläche sind die Gesteine weit über ihre Festigkeit hinaus belastet, dieser Druck pflanzt sich nach allen Richtungen fort, so dass ein allgemeiner, dem hydrostatischen Drucke entsprechender Gebirgsdruck allseitig auf die Gesteintheilchen einwirkt. Dadurch sind dort die sprödesten Gesteine in einen latent plastischen Zustand versetzt. Tritt eine Gleichgewichtsstörung durch eine neue Kraft — den gebirgsbildenden Horizontalschub — hinzu, so tritt die mechanische Umformung in dieser Tiefe ohne Bruch, in zu geringen Tiefen bei den spröderen Materialien mit Bruch ein.“

Nach HEIM waren nun die Gesteine des Mittelschenkels bei ihrer Biegung resp. Auswalgung, in solcher Tiefe, dass sie latent plastisch sich verhielten. Darum muss dort bruchlose Umformung stattgefunden haben. „Adern sind gleichbedeutend mit alter Zerklüftung“ (II. pag. 15) und beweisen Umformung mit Bruch. Adern dürften sich also im Mittelschenkel nicht oder doch nur ganz untergeordnet zeigen. Was sagt hierzu der thatsächliche Befund?

Betrachten wir zunächst den Eocänschiefer unter dem Lochseitenkalk, so ergibt sich, dass er nicht nur sehr viele Calcitadern enthält, sondern dass er oftmals von solchen geradezu netzförmig in allen Richtungen und dichtgedrängt durchschwärmt wird. Nirgends fehlen sie. HEIM erklärt diesen Umstand kurzer Hand dadurch, dass „durch unregelmässige Bewegungen local Zug in's Spiel kam“, lässt aber gänzlich un- aufgeklärt, erstens warum hier mehr als im Lochseitenkalk solche unregelmässige Bewegungen in's Spiel kamen und zweitens, wieso derartige unregelmässige Bewegungen den latent plastischen Zustand der Gesteine local aufheben konnten. Mir scheinen hier Theorie und Thatsachen in einen unauflösbaren Widerspruch gerathen zu sein.

Im Lochseitenkalk sollen entsprechend der Theorie eigent-

<sup>1)</sup> A. HEIM, l. c. II. pag. 92.

liche Adern selten sein. Hören wir zunächst die Beschreibung, welche HELM auf pag. 140 giebt. „An den meisten Stellen ist der Lochseitenkalk krystallinisch feinkörnig, marmorartig geworden und von einer Menge weisslicher, selten gelblicher und röthlicher Flecken, Adern und Streifen durchzogen. .... Ob Luchsingen unter dem Glärnisch fand BALTZER den Lochseitenkalk in loco in ein Haufwerk rhomboëdrischer Täfelchen zerspalten, oder wenigstens von vielen Klüftchen durchsetzt. Manchmal wird der Lochseitenkalk sogar fast innerlich pulverig zerrieben und theilweise wieder calcitisch verkittet, oder er geht durch innere Zertrümmerung und Stellungsveränderung der Trümmer in eine Breccie über. .... Talkig glänzende, schiefrige Partien oder Epidotadern durchziehen nicht selten die Kalkbank. .... Die gleichen Erscheinungen, die schon makroskopisch zu sehen sind, wiederholen sich in Dünnschliffen im Kleinen. Feinkrystallinische Lagen wechseln mit mikrodichten (was ist das?) Lagen ab — alle sind stark gequetscht, gebogen und an zahllosen, mikroskopischen Verwerfungen verschoben, so dass in manchen Proben selten ein Kubikmillimeter neben seinem ursprünglichen Nachbar unverschoben geblieben ist. Wirkliche Adern mit Secretionen sind sehr selten, es fehlte der Raum zu klaffenden Rissen.“

Die Theorie verlangt, dass keine Adern da seien; die Beschreibung HELM's erzählt zwar wiederholt von Calcit- und Epidotadern, aber es sollen dies keine wirklichen Adern sein. Worin sie sich aber von wirklichen Adern unterscheiden und was überhaupt das Wesen der unwirklichen Adern sei, wird nicht angegeben. Wenn wir Mineralgänge und Trümmer zu den wirklichen Adern rechnen, so ist der Lochseitenkalk aller Orten ganz erfüllt von solchen, und man braucht, um sich davon zu überzeugen, keineswegs zum Mikroskop zu greifen. Indessen war es gewiss nicht der Fehler der Dünnschliffe, welche Herr HELM mir vor einem Jahr vorzulegen die Güte hatte, wenn Herr HELM die wirklichen Adern darin nicht gesehen hat.

Ich habe nie im Lochseitenkalk weder eine regelmässige Schichtung, noch eine der Schichtung entsprechende bankförmige Absonderung gesehen. Die Zerklüftung ist stets eine unregelmässig polygonale und das Gestein von Calcitadern in allen Richtungen durchschwärmt, so dass oft mehr als die Hälfte der ganzen Masse aus Gangbildungen besteht. Der brecciöse Charakter des Lochseitenkalkes ist stets evident.

Der Kalk von der Lochseiten selbst, woher er den Namen bekommen hat, ist von PFAFF <sup>1)</sup> eingehend analysirt wor-

<sup>1)</sup> Einige Beobachtungen über den Lochseitenkalk, diese Zeitschrift Bd. XXXII. 1880. pag. 536.

den, und wir verdanken dieser Arbeit die Kenntniss, dass erstens dieses Gestein dort von Calcitadern ganz durchschwärmt ist, wovon man sich an Ort und Stelle übrigens sehr leicht überzeugt, und zweitens, dass über die Hälfte seiner procentarischen Zusammensetzung nicht kohlenaurer Kalk, sondern Schiefermaterial ist, so dass PFAFF geradezu die Bezeichnung Schieferkalk für das ganze Gestein anwendet. In der That muss man zugeben, dass an der bezeichneten Localität eine wirkliche, scharfbegrenzte Kalkbank, wie sie anderwärts zweifelsohne vorkommt, fehlt; der eocäne Schiefer, an sich schon immer an Calcitadern reich, wird nach oben mehr und mehr von solchen durchsetzt, so dass schliesslich die Schiefermasse selbst ganz zurücktritt, und das Gestein fast nur noch aus einem Adergewirre besteht, das man als Lochseitenkalk bezeichnet hat, welches aber hier nur wenige Zoll stark ist.

Die Verhältnisse an den Lochseiten lassen somit kaum eine andere Auffassung möglich erscheinen, als die, dass der dortige Kalk eine Gangbildung ist, welche die grosse Verwerfungsspalte begleitet, auf der die grosse alpine Randscholle auf die innere Glarner Scholle hinaufgeschoben worden ist. Vor 25 Jahren schrieb C. FR. NAUMANN in seinem Lehrbuch der Geognosie (I. pag. 928) ganz ohne Rücksicht auf unseren Fall im Capitel, das von den Verwerfungen handelt, einen Satz nieder, der so augenscheinlich auf unsere Stelle passt, dass ich mich nicht enthalten kann, ihn hier abzudrucken: „Es lässt sich voraussetzen, dass diese rutschenden Bewegungen grosser Gebirgtheile, welche längs einer sie trennenden Spalte eingetreten sind, eine mehr oder weniger auffallende mechanische Einwirkung auf die Spaltenwände und die zunächst angrenzenden Gesteinsmassen ausgeübt haben müssen; und die Erfahrung bestätigt diese Voraussetzung vollkommen. Die Wände der Dislocationsspalten wurden durch die gewaltsame und unter einem ungeheuren Drucke vollzogene Bewegung abgeglättet und polirt; ihre gegenseitig hervorragenden Theile wurden zerquetscht und zerrieben; die angrenzenden Schichtenenden wurden einerseits aufwärts, andererseits abwärts geschleift, geknickt, gestaucht, zerbrochen und zermalmt, und der durch alle diese Operationen gelieferte, theils gröbere, theils feinere, mit unwiderstehlicher Kraft ineinander gewürgte, gepresste und gequetschte Steinschutt, stellt nun eigenthümliche, dem Laufe der Dislocationsspalte folgende gangartige Gebilde dar, welche meist nach allen Richtungen von Rutsch- und Quetschflächen durchzogen werden, deren Frictionsstreifen, eben so wie diejenigen der Spaltenwände selbst, in ihrer Richtung die Richtung der stattgefundenen Bewegung erkennen lassen.“

Es liegt sehr nahe, den Schluss, der für Lochseiten gilt,

zu verallgemeinern und den gesammten Lochseitenkalk, in der von mir gegebenen engeren Fassung für eine Gangbildung zu erklären. In der That kenne ich noch mehrere Orte, wo dieser Kalk wahrscheinlich nichts weiter als eine solche Gangbildung ist, aber andererseits scheint doch auch noch immer verschiedenartiges in ihm enthalten zu sein. Sicherheit kann darüber nur erlangt werden, wenn genaue petrographische Untersuchungen auch noch von anderen Localitäten gemacht sind. Aber soviel können wir bereits jetzt mit Gewissheit aussprechen, dass keinerlei Anhaltspunkt vorliegt, um im eigentlichen Lochseitenkalk ausgewalzten Jura oder gar auch noch Kreide und Röthidolomit vermuthen zu lassen. In meinen Profilen III. und IV. liegt also der Verrucano der nördlichen Randscholle wirklich unmittelbar auf dem Eocän der südlicheren Scholle. Von einer Schichtenfalte mit ausgewalzten oder gar ganz ausgequetschtem Mittelschenkel ist keine Spur vorhanden.

Das Vorkommen von Jura zwischen den Schichtköpfen des fast horizontalen Quadersandsteins und dem auf einer um  $30^{\circ}$  geneigten Kluftfläche überschobenen Granit in Sachsen und Böhmen giebt uns, falls ein Theil des Lochseitenkalkes sich wirklich als Jura herausstellen sollte, einen Fingerzeig zur Erklärung dieser jurassischen Zwischenlagerung hier in den Alpen.

Wer ferner an der grossen Flachheit der Ueberschiebung Anstoss nehmen wollte, dem sei in's Gedächtniss zurückgerufen, dass ähnlich flache Ueberschiebungen an anderen Orten constatirt sind. So jene Granitueberschiebung und die Ueberschiebung von Devon und Unter-Carbon über Ober-Carbon in Nordfrankreich, welche nach GOSSELET stellenweise auf einer  $8-12^{\circ}$  geneigten Kluft stattgefunden hat. Eine ähnliche Erscheinung mit um  $30^{\circ}$  geneigter Kluft habe ich bei Frankenberg in Sachsen<sup>1)</sup> nachgewiesen.

Aus den bisherigen Angaben geht bereits zur Genüge hervor, dass der Verrucano wirklich den eocänen Schiefer<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Erläuterungen zu Section Frankenberg-Hainichen der geolog. Spezialkarte von Sachsen 1881. pag. 35.

<sup>2)</sup> Wichtig wäre es festzustellen, in welchem Altersverhältniss die überlagerten Eocängesteine zu den tieferen und südlicheren Particeen dieser Formation stehen. Leider hat die neuere Geologie von Glarus noch gar nichts gethan, um das Eocän palaeontologisch zu gliedern und so, da versteinerungsreiche Horizonte fast nirgends fehlen, eine feste Vorstellung der Tektonik zu gewinnen. Fast alles, was wir hierüber wissen, verdanken wir den älteren und unvollendet gebliebenen Untersuchungen ESCHER's. Auch die angestrengtesten Bemühungen, schöne Profile in diesem Gebiete zu zeichnen, müssen an dieser Unkenntniss scheitern, die zu beseitigen als eine der ersten Aufgaben einer monographischen Bearbeitung jener Gegend erscheint.

überlagert. Erst von TRÖGER und später von VACEK ist diese Thatsache geleugnet worden, allein mit Unrecht. Schon seit Beginn der Alpengeologie weiss man durch CONRAD ESCHER'S und L. v. BUCH'S Untersuchungen, dass hier zu oberst der Verrucano, darunter eine Kalkbank und darunter der eocäne Schiefer liegt, nur gebrauchte man andere Namen. Aber bereits damals hat BUCH den Verrucano mit dem Rothliegenden verglichen, und der eocäne Schiefer hiess Grauwackenschiefer, bis bald darauf die Fische darin gefunden wurden, welche erst auf cretaceisches, dann auf eocänes Alter schliessen liessen. Aber immer blieb diese Ueberlagerung eine unbestrittene Thatsache; jetzt ist sie zwar nicht mehr unbestritten, aber darum doch noch Thatsache. CONRAD ESCHER, der Vater ARNOLD'S, hat dann zur Zeit der Hebungskratere auf den kreisförmigen Wall aufmerksam gemacht, welchen das Kalkgebirge „wie ein colossaler Kraterand“ um den Bezirk des Verrucano und eocänen Schiefers formt, und es ist im Wesentlichen CONRAD'S Auffassung, welche B. STUDER im ersten Bande der Geologie der Schweiz im Jahre 1851 (pag. 423) wiedergegeben hat und die als „vulkanische Hypothese“ oder als die „Hypothese der eruptiven Deckenbildung“ irrthümlich von den Anhängern der Doppelfalte als die STUDER'SCHE Auslegung bekämpft worden ist. Es ist merkwürdigerweise von BALTZER, HEIM und noch Anderen ganz übersehen worden, dass im zweiten Bande seiner Geologie, welche zwei Jahre später erschien, STUDER ausführlicher auf diesen Punkt zurückkam und an Hand mehrerer Profil-Abbildungen eine Erklärung gab, die jedenfalls frühere Aeusserungen corrigiren sollte.<sup>1)</sup> „Der Flysch, der in grosser Ausdehnung die Grundlage des Kärpfstockes und der Grauen Hörner bildet, ist die Fortsetzung der Nummuliten-Sandsteine und Schiefer, die wir vom Joch an, auf der Grenze der ersten und zweiten Kalkkette, auf den Surenen und am Klausenpass, kennen gelernt haben. Ueber ihnen liegt in Glarus constant eine wenig mächtige Kalkbildung, verwachsen, feinkörnig, weiss und grau geflammt, bis dunkelgrau, meist dünn geschichtet. Ob wir diesen Kalk, da er oft enge mit der Grundlage verwachsen ist, als metamorphischen Nummulitenkalk betrachten dürfen, oder ob er älter ist, muss unentschieden bleiben. ESCHER glaubt auf ihn einige Belemniten und einen *Ammonites polylocus* oder *plicatilis* beziehen zu können, die er am Panixerpass gefunden hat, und daher die Formation als Oxfordkalk betrachten zu dürfen, ist aber doch nicht sicher, dass keine Verwechslung zwischen verschiedenen Kalksteinen stattfindet. Bei den ohnehin genugsam verwickelten Verhältnissen

<sup>1)</sup> Pag. 189.

dieser Gebirge scheint es wohl am einfachsten bis auf bessere Belehrung, diesen Kalk mit der eocänen Grundlage zu vereinigen. Der so massenhaft entwickelte Verrucano zeigt sich in ähnlicher Lage zwischen der Flyschgrundlage und dem höher folgenden Unterjura, bereits auch am Joch und deutlicher noch am Klausenpass und Glärnisch. Ueber dem Verrucano beginnt dann von neuem die Formationsfolge, vom Unterjura aufwärts zur Kreide. In den westlichen Gebirgen, vom Joch bis Glarus, kann man nicht anstehen, das Verhältniss der ersten zur zweiten Kalkkette und das Eingreifen des Nummuliten-Sandsteines in die Grundlage der letzteren durch eine Verwerfung und theilweise Ueberschiebung zu erklären.... Wesentlich verschieden kann aber auch im mittleren Glarus, am Kärpfstock und an den grauen Hörnern, der Hergang nicht gewesen sein; die Lagerungsgesetze sind dieselben wie in den westlichen Gegenden, nur sind die Flysch- und Verrucanobildungen weit mächtiger und die Ueberschiebung erstreckt sich beinahe über den ganzen Canton.“

Das ist STUDER's Erklärung der tektonischen Verhältnisse im Gebiete der sogen. Nordfalte; sie ist einfach und klar; sie bringt die Ost- mit der Westschweiz in Zusammenhang und Uebereinstimmung, und ich brauche es wohl nicht erst hinzuzusetzen, dass meine eigenen diesbezüglichen Darlegungen in diesem Aufsätze eigentlich nur weitere Ausführungen der von STUDER angedeuteten Gedanken sind.

Der Glanz des Neuen hatte STUDER's schlichte Worte so sehr — bis zur Vergessenheit — verdeckt, dass es nöthig war, sie hier förmlich wieder auszugraben.

#### Die Rhein-Rhône-Verwerfungsspalte.

Wir verlassen damit das Gebiet der grossen Glarner Ueberschiebung und wollen unsere Aufmerksamkeit nun der Rhein-Rhône-Verwerfungsspalte zuwenden. Ihre Richtung ist im Vorder-Rheinthal durch die geologische Verschiedenheit beider Thalseiten deutlich markirt; im Urseren-Thal und Ober-Wallis ist es die schmal-streifenförmige Juraversenkung, welche die Verwerfung vollkommen charakterisirt. Zwar haben auch dort die Faltentheoretiker den Jura durch eine gewaltige, zusammengepresste Falte zwischen die krystallinischen Massive des Gotthard und Finsteraarhorn hineinconstruirt, aber sie waren nicht im Stande, für diese Construction stichhaltige Gründe zu geben. Hören wir, was dem gegenüber K. von FRITSCH sagt, der das Gotthardgebiet speciell untersucht und aufgenommen hat <sup>1)</sup>: „Nirgends in der ganzen Erstreckung des

<sup>1)</sup> KARL v. FRITSCH, Das Gotthardgebiet, in Beiträge zur geolog. Karte der Schweiz 1873. pag. 106.

besprochenen Gebietes (Walliser und Urseren Thal) findet sich ein Anhalt zur Annahme einer muldenförmigen Lagerung. Ueberall scheint eine einfache Schichtenfolge entwickelt zu sein. Die Kalkschichten des Walliser und Urseren Thales sind nach ihrer Bildung aufgerichtet worden. Diese Aufrichtung (durch Hebung oder Senkung oder durch beide Bewegungen) kann nicht sie allein betroffen haben. Sie sind jetzt an mehreren Stellen übergreifend bedeckt von Gesteinen der Finsteraarhorngruppe. Sie sind nicht durch eine gleichmässige Bewegung der ganzen umgebenden Gebirgsmassen zu einer Mulde zusammengepresst worden. Daraus darf wohl auf eine gegenseitige Verschiebung der Centralmasse des St. Gotthard, auf der diese Kalkschichten ursprünglich aufgelegt zu haben scheinen, gegen die Centralmasse des Finsteraarhornes geschlossen werden.“

Vor zwei Jahren habe ich die Thäler zwischen Andermatt und Viesch, besonders mit Rücksicht auf diese Lagerungsverhältnisse, besucht und habe als das gewöhnliche Normalprofil fast überall dort gefunden von Süden nach Norden: Gneiss des Gotthardmassives, Glimmerschiefer, starkwellig zusammengebogen, mit sehr wechselndem Streichen und Fallen; an einer Stelle grauwacken- und thonschieferähnliche Gesteine muldenförmig eingelagert (neben der Poststrasse oberhalb Realp); Rauhwackenartiger Dolomit, meist nach Norden einfallend; Jurakalke mit derselben Neigung, zuweilen auch saiger stehend; Gneiss des Finsteraarhorn-Massives, gegen den der Jura einfällt.

Es steht dies mit der Auffassung von K. v. FRITSCH in vollkommener Uebereinstimmung und kann nur durch eine Verwerfungsspalte erklärt werden, welche den Jura vom Finsteraarhorn-Massiv trennt.

Gleichwohl hat STAPFF <sup>1)</sup> neuerdings wieder der Muldenhypothese das Wort geredet, aber freilich hat auch er, ebensowenig wie seine Vorgänger, die muldenförmige Schichtenbiegung gesehen. Trotzdem glaubt er sogar eine doppelte Mulde annehmen zu müssen. Seine Beweisführung ist folgende: „Als die jüngsten Schichten der Mulde betrachten wir die Altekircher Cipoline, welche jetzt so allgemein der jurassischen Formation zugetheilt werden, dass die schwarzen Schiefer, welche die Cipoline unmittelbar unterlagern, ungezwungen als liasisch gelten dürfen.“ Und da nun der Cipolin im Gotthard-Tunnel in zwei Lagern zwischen drei Schieferlagen liegt, welche alle in der Hauptsache saiger stehen, so lässt sich das nach STAPFF nur durch

<sup>1)</sup> Geologisches Profil in der Ebene des Gotthard-Tunnels. Zürich 1880.

eine eng zusammengepresste Doppelmulde mit parallelen, vertical stehenden Schenkeln erklären.

Man sieht sofort, dass der an sich richtige Schluss von zwei Voraussetzungen ausgeht, die beide unbegründet und wahrscheinlich unrichtig sind. Die erste Voraussetzung betrifft die Altersbestimmung. Bekanntlich stützt sich dieselbe lediglich auf einige der Art nach unbestimmbare Belemniten, welche A. ESCHER auf der Furca gefunden hat. K. v. FRITSCH hat ausserdem noch im Urserenthal undeutliche Crinoidenstiele gesehen, auf deren Vorhandensein im Gotthard - Cipolin auch STAPFF aufmerksam gemacht hat. Mit Zuhülfenahme der petrographischen Entwicklung dieser Schichten haben nun diese äusserst unbestimmten palaeontologischen Andeutungen zur Vermuthung eines jurasischen Alters geführt — aber keineswegs dürfen darum diese Kalksteine in bestimmterer Weise dem Dogger oder Malm zugewiesen werden, sie können ebenso gut dem Lias oder gar noch anderen Formationen angehören. Die darauf gegründete Altersbestimmung der schwarzen Schiefer ist also völlig unsicher.

Die zweite Voraussetzung besteht in der Annahme, dass der Schiefer, welchen der Tunnel mit Cipolin abwechselnd durchfahren hat, den letzteren unterteufe, also älter sei. Die Erfahrung, dass gerade die Belemniten - führenden Kalke und Marmore der Furca ebenfalls mit schwarzen Schiefeln wechselagern, welche insgesamt mässig nach Norden und gegen den Gneiss des Galenstockes fallen, spricht entschieden gegen STAPFF's Vermuthung.

Hiermit beschliessen wir die Besprechung der Längsspalten, welche auf unserer Uebersichtskarte angedeutet sind, und ich habe dazu nur noch zu bemerken, dass, wenn die ehemalige Continuität der mit A bezeichneten Spalte über das Rheinthal hinüber im höchsten Grade wahrscheinlich ist, dies doch für die Spalten B und C minder sicher erscheint. Vermuthungen legt schon die Uebersichtsskizze nahe genug. Sichere Anhaltspunkte können erst von weiteren Untersuchungen erwartet werden.

#### Die Querspalten.

Auch die Querspalten spielen in diesem Theil der Alpen eine bedeutende tektonische Rolle, doch muss ich meine Mittheilungen über sie in noch höherem Grade, als ich dies für die Längsspalten bereits gethan habe, als vorläufige bezeichnen. Ich beschränke mich auf das Wenige, was die Uebersichtsskizze angebt.

Schon CONRAD ESCHER hat auf die geologische Verschiedenartigkeit der beiden Flanken des Linththales hingewiesen. Wie

verschiedenartig gleich eingangs der Bau des Schild auf der einen und der des Glärnisch auf der anderen Seite! Am Fusse der Rautispitz liegen deutliche Andeutungen einer Verwerfung im Sinne einer Versenkung parallel dem Thale. Möscli freilich will eher eine Faltenausquetschung darin sehen, aber gleichwohl, abgesehen von dieser mehr theoretischen Differenz, zeichnet er im Profil ganz richtig die Versenkung. Auch der räthselhafte oberjurassische Soolhügel spricht für eine Versenkung. Weiter oben im Thal streicht zu beiden Seiten, schwach nach Süden ansteigend, die Ueberschiebungskluft aus, auf welcher der Verrucano auf die Flyschschiefer geschoben ist. Linksseitig beginnt diese Kluft bei Schwanden in einer Höhe von 900 Metern über Meer und hebt sich dann bis Stachelbad allmählich auf eine Höhe von 1150 Meter; rechtsseitig hingegen liegt bei Lochseiten die Kluft nur 600 Meter über Meer, steigt aber bis zu den Höhen gegenüber von Stachelbad auf 2000 Meter. Daraus ergibt sich für beide Thalseiten eine sehr verschiedene Lage der Ueberschiebungsspalte, womit zugleich der bedeutende Unterschied in der Mächtigkeit des Verrucano zusammenfällt.

Die erste Anlage des Linththales scheint deshalb mit einer oder mehreren sich combinirenden Querspalten zusammenzufallen.

Die grosse Rheinquerspalte von Chur bis Lindau ist ernsthaft mit Gründen wohl noch nie bestritten worden. Wohl hat man ihre Bedeutung — besonders zeitlich — überschätzt. Aber Mojsisovics hat sich, wie mir scheint, nur gegen diese Ueberschätzung ausgesprochen. Die absolute Verschiedenheit beider Thalseiten, die sich sogar bis auf die Kreidefalten der Randscholle erstreckt, ist hier maassgebend.

Unterhalb Ragatz zweigt sich eine andere Spalte in das Thal des Wallen-See's ab. Bei Sargans fehlt zwischen dem Verrucano der einen und dem weissen Jura der anderen Thalseite der Ausstrich der permischen Dolomitzone, des Lias und Dogger, welcher bei der geringen Breite des Thales unmöglich als unter den Alluvionen liegend gedacht werden kann. Ueberhaupt macht sich im ganzen Thal eine verschiedene Tektonik der beiden Gehänge bemerklich. Von Heiligkreuz bis zum Wallen-See streichen zur rechten Seite mit dem fast ebenen Thalboden parallel Doggerschichten zu Tage aus, auf der linken Seite gegenüber trifft man hingegen erst Verrucano dann Dolomit, Lias und Dogger; diese Schichten streichen also nicht mit der Thalrichtung parallel. Längs des Wallen-See's hat man links folgende Schichtenfolge: Dogger, Lias, Dolomit, Verrucano, dann weissen Jura und Kreide. Man kann also weder sagen, dass diese Schichten parallel der Seeaxe streichen, noch dass sie überhaupt regelmässig aufeinander folgen. Dahin-

gegen macht sich auf dem jenseitigen Ufer, von Anfang bis zu Ende, ein mit der Seeaxe fast paralleles Streichen sehr regelmässig geltend. Die Streichlinie convergirt nach Westen nur um Weniges mit dem Seeufer, so dass die oberen Kreideschichten, welche über Wallenstadt die Gipfel der Churfürsten krönen, sich, langsam an den Bergen nach W. herabziehend, bei Wesen im Wasserspiegel netzen. Auf diese Weise giebt sich eine wesentliche tektonische Trennung zwischen der Churfürstengruppe einerseits und der Spitzmeilen- und Mürtchenstockgruppe andererseits zu erkennen. Dazu tritt dann noch oberhalb Quinten (siehe Profil III.) eine dem See parallel laufende, nicht unbedeutende Versenkung, die man zwar als ausgequetschte Faltenbildung zu deuten versucht hat, die aber gewiss nur eine gewöhnliche Verwerfung ist.

Von Wesen aus, wo die Wallenstadter mit der Linththaler Spalte und der Längsspalte A unserer Skizze zusammentrifft, habe ich dieselbe über Bilten, Pfäffikon, Au und Zürich, also immer längs des linken Ufers des Züricher See's weiter gezogen. Ich habe dazu folgende Beweggründe: Die beiden Seeufer sind geologisch durchaus nicht miteinander correspondirend. Der orographische Gegensatz beider, der in den hohen, schroffen Bergketten des Albis einerseits und den niederen, flachausgedehnten, rechtsseitigen Höhenzügen andererseits seinen Ausdruck findet, scheint begründet in einer Versenkung der östlichen Gebirgsteile. Sowohl der rechtsufrige Sandstein von Bollingen als auch die Nagelfluhbank von Rapperschwyl und Ufnau fehlen auf dem linken Ufer, wenn man sie in ihrer verlängerten Streichrichtung sucht. Schon früher <sup>1)</sup> habe ich gezeigt, dass das Züricher Seebecken eine verhältnissmässig junge Bildung ist, die ungefähr in die zweite Glacial-Periode fällt. Die Kiese von Dietikon und die zu „löcheriger Nagelfluh“ versinterten Gerölle der Halbinsel Au stellen Alluvionen dar, die sich vor Entstehung des Seebeckens und während der interglacialen Periode gebildet haben. Es ist nun sehr bemerkenswerth, dass während von diesen interglacialen Alluvionen sich auf dem linken See-Ufer noch Reste erhalten haben, man auf dem rechten Ufer bisher vergebens nach solchen gesucht hat. Dazu kommt noch, dass das Seeufer, welches sich gewöhnlich flach in die Tiefe neigt, gerade da, wo jene Alluvionen stehen geblieben sind, ganz steil in den See abfällt.

Denken wir uns nun, wozu das Vorhergehende zu berechtigen scheint, das Terrain rechts der Spalte habe eine Senkung erfahren, so müssen die Alluvionen des durch die Spalte der

<sup>1)</sup> Das Diluvium um Paris, in N. Denkschr. der schweiz. naturf. Ges. 1881. pag. 19.

Länge nach halbirten Thales links der Spalte in ihrer Lage verblieben, die rechts der Spalte aber in die Tiefe versunken sein, wo sie sich, vom Wasser des See's bedeckt, unseren Augen entziehen. Dadurch erklärt sich auch das Steilufer im Westen, und die isolirten Reste von Alluvionen, die in späterer Zeit durch Erosion meist weggeführt oder von den Moränen der folgenden Eiszeit verdeckt worden sind. Auf der erhöht gebliebenen linken Hälfte des alten Thalbodens hat sich dann in späterer Zeit nach Ablagerung gewaltiger Moränen die Sihl ihr Bett eingerissen, deren Parallelität im unteren Verlauf mit dem Züricher See eine so auffallende Erscheinung ist.

Ferner mag darauf hingewiesen sein, dass das Pechkohlenflötz von Käpfnach, welches am linken Seeufer sein östliches Ende erreicht, am rechten Ufer vergeblich gesucht worden ist. Man kann zwar in diesem Fehlen nicht unbedingt einen Beweis für die von uns supponirte Versenkung sehen, weil die Kohlenflötze der Molasse gewöhnlich im Streichen nicht weit aushalten, aber umgekehrt kann man auch der Vermuthung Raum geben, dass wenn das Flötz überhaupt noch ostwärts weiter streicht, man es nicht auf der Höhe des Seespiegels, sondern 100 bis 200 Meter tiefer unten zu suchen habe.

Allgemeinere Schlüsse, welche dieser Abschnitt gestattet, verspare ich auf das Schlusscapitel.

### **III. Einfluss des Gebirgsbaues auf die Thal- und Seebildung.**

Gerade so wie ich bisher bei Besprechung des Gebirgsbaues vorwiegend die vorhandenen Verwerfungen berücksichtigt habe, ebenso werde ich jetzt bei Behandlung des Einflusses, welchen der Gebirgsbau auf die Thalbildung ausgeübt hat, fast ausschliesslich nur die Rolle, welche die Verwerfungen dabei gespielt haben, besprechen. Auch kann ich mich dabei auf einzelne Beispiele beschränken, da mein Zweck nur der ist, zu zeigen, dass die Herausbildung der orographischen Verhältnisse zu beiden Seiten des Rheines unter denselben Bedingungen vor sich gegangen ist.

Dass die Thäler in der Form, wie sie gegenwärtig vorliegen, alle der Erosion des Wassers ihre Entstehung verdanken, dass sie darum alle Erosionsthäler genannt werden könnten, wenn überhaupt eine solche Namensverlängerung wünschenswerth wäre, das ist eine altbekannte Thatsache. Nur diejenigen, welche gewohnt sind, die Fortschritte der Wissenschaft erst von dem Zeitpunkte an zu datiren, an welchem sie diese Fortschritte in sich aufgenommen haben, mögen darum an ein

höchst vortreffliches Büchlein erinnert werden, das 1791 in Weimar erschienen ist unter dem Titel: „Geologischer Versuch über die Bildung der Thäler durch Ströme.“

Wir wissen, dass die Thäler ihre Geschichte haben und dass neben den klimatischen und hydrographischen es hauptsächlich die topographischen Veränderungen waren, welche auf diese Geschichte ihren bestimmenden Einfluss geübt haben. Die topographischen Veränderungen aber sind zumeist durch Veränderungen im Gebirgsbau bedingt. Hebungen und Senkungen des Bodens durch Verwerfungen oder Schichtenbiegungen vergrösserten oder verringerten das Gefälle der erodirenden Wasser, zertheilten einfache Thäler in mehrere, vereinigten mehrere zu einem, wendeten ganze Thäler in ihrem Gefälle um, entziehen anderen das fließende Gewässer und liessen sie absterben, verwandeln Haupt- in Seitenthäler und Seiten- in Hauptthäler, formen andere in Seebecken um und so fort.

Noch weiter zurück greift die Frage nach der ersten Anlage der Thäler. In werdenden Gebirgen sind es hauptsächlich wieder die Gesteinsdislocationen, welche die Oberflächenbeschaffenheit bestimmen und damit den die Tiefe suchenden Gewässern den Weg vorschreiben. Jedes kleine Wassergerinsel trägt da die Keime zu einem grossen Strome in sich, aus jeder Bodenfurche kann ein tiefes Thal werden, es hängt das hauptsächlich vom weiteren Verlaufe der Dislocationen ab. Ebenso können Thäler, die schon Bedeutung erlangt haben, mitten aus ihrer Carriere herausgerissen und in Berge umgewandelt werden. Das Zurückgehen auf die erste Anlage eines Thaales hat darum durchaus nicht diejenige Wichtigkeit und Bedeutung, die man ihm vielleicht auf den ersten Blick zuschreiben möchte. Maassgebender ist die Gesammtheit aller Dislocationen, wie sie in der Zeit sich folgend, ein Thal begünstigt oder geschädigt haben. Den besten Ausdruck für diese Gesammtheit giebt uns der Gebirgsbau, wie er jetzt als das Resultat aller Einzel-Dislocationen vor uns liegt.

Die Schwierigkeiten, welche es macht, den Gebirgsbau der Alpen genau bis in's Einzelne zu erfassen, haben wir im vorhergehenden Abschnitte kennen gelernt; wie viel grösser aber müssen nun erst die Schwierigkeiten sein, aus diesem Gebirgsbau die Geschichte der einzelnen Thäler zu reconstruiren? Dennoch lässt sich schon jetzt in grossen Zügen die Abhängigkeit der alpinen Thäler vom Gebirgsbau erkennen. Gebiete constanter Dislocationen von bestimmter Richtung werden uns durch die Streichrichtung von Längsfalten und -Mulden, sowie von Verwerfungsspalten angezeigt. Ihr Zusammenfallen mit Hauptthalrichtungen berechtigt zur Vermuthung eines gene-

tischen Zusammenhanges. Ein Blick auf die Uebersichtsskizze lehrt, dass eine Anzahl von Hauptthälern mit Verwerfungsspalten coincidiren, lässt aber auch zugleich erkennen, dass diese Spalten nur einer bestimmten Art von Verwerfungen angehören. Mit Ueberschiebungsspalten haben die Thäler sowenig zu thun als mit sattelförmigen Schichtenaufbiegungen.

Seine gründlichen Untersuchungen der bairischen Alpen fasst mit Bezug auf die Thalbildung GÜMBEL in folgenden Worten zusammen<sup>1)</sup>: „Aus der hebenden und zusammenfallenden Wirkung entwickelten sich gleichzeitig die zerspaltenden und die zerklüftenden Kräfte, letztere in senkrechter Richtung zu ersteren. Während jene vorzugsweise den Längsthälern ihren Ursprung geben, zogen diese zu den Querthälern die ersten Linien und überlieferten sie so vorbereitet der Erosion zur weiteren Ausbildung. Daraus erhellt der innige Zusammenhang zwischen Schichtenstellung und Thalrichtung, wie wir ihn in den Alpen so schön ausgeprägt finden.“ Zahlreiche Belege für diese Sätze finden sich im Texte und in den Profilen des angeführten Werkes. Gleichwohl will ich aus jenem Gebiete ein Beispiel näher beschreiben, theils weil es dort fehlt, theils weil es höchst klar die Verhältnisse erkennen lässt.

Die Loisach fließt von Ehrwald, in dessen Nähe sie ihre Quellen hat, erst eine Strecke weit in rein nördlicher Richtung bis zum Arlesberg, wo sie die Naidernach in sich aufnimmt, welche von Westen aus der Richtung des Plan-See's herkommt. Hier dreht sich die Loisach um 90 Grad und nimmt bis Garmisch den westöstlichen Lauf der Naidernach an.

Das bereits sehr tiefe und breite Thal hat bei letzterem Ort eine Art von directer Verlängerung über Partenkirchen, Gerold und den Barmsee, allein die Loisach läuft nicht in derselben weiter, empfängt vielmehr aus ihr ein Seitengewässer — den Kankerbach, welcher also gerade der Loisach entgegen von Ost nach West fließt, und seinen Ursprung auf der Wasserscheide zwischen Loisach und Isargebiet hat. Diese Wasserscheide ist dort aber sehr flach und besteht nicht aus einem festen Bergücken, sondern aus einer Reihe welliger Hügel, welche aus mächtigen Moränenmassen aufgebaut sind und auf deren östlicher Abdachung der Kranzbach nach Osten fließt und gerade dort in die Isar einmündet, wo dieser breite Strom bei Walgau seine nördliche Thalrichtung plötzlich in eine östliche ändert. Vom Zusammenfluss des Walchenbaches mit der Isar zieht sich also ganz geradlinig ein Längsthal von Osten nach Westen 12 Meilen weit bis zum Plan-See. Die Neigung der Sohle in

<sup>1)</sup> C. W. GÜMBEL, Geognost. Beschreibung des bairischen Alpengebirges 1861. pag. 856.

diesem Längsthal ist aber weder eine gleichförmige noch eine gleichsinnige. Vom Barmsee ostwärts ist sie nach Osten, westwärts aber nach Westen gerichtet, wodurch dieser Punkt zur Wasserscheide wird. Die westwärts laufenden Gewässer kommen aber nur bis Partenkirchen und treffen dort auf einen entgegenströmenden Fluss, weil vom Plan-See bis Partenkirchen die Thalsole wieder entgegengesetzte Neigung hat. Die so sich entgegen- und zusammenfliessenden Wasser stauen sich nun aber keineswegs zu einem See auf, sondern die hohen Felswände des Kramer- und Eckenberges, welche die nördliche Thalwand bilden, öffnen sich bei Partenkirchen orographisch ganz unerwartet zu einem breiten, tiefen und fast gerade nach Norden gerichteten Thale, durch welches die beengten Gewässer einen bequemen Ausweg finden.

Untersucht man dieses zu seiner Länge unverhältnissmässig tiefe und breite Querthal auf seine geologische Constitution, so ergibt sich folgendes Resultat. Das Thal durchquert eine gewaltige Schichtenmulde, wie Fig. 3 auf Taf. VII. zeigt. Der mächtige Hauptdolomit, die Kössener Schichten, Lias und Jura sind links des Thales zu einer normalen Mulde zusammengestaut. Dieselbe setzt auf die rechten Thalseite herüber, zeigt dort aber eine Neigung nach Norden überzuhängen. Das Thal selbst besitzt beiderseitig je eine höher liegende Terrasse, welche theils aus Hauptdolomit, theils aus Kössener Schichten aufgebaut sind (Fig. 2 und 3). Bei Garmisch aber streichen die Kössener Schichten ebenso wie bei Partenkirchen direct gegen den Hauptdolomit mit widersinnigem Fallen, während weiter unten die Kössener Schichten der grossen Längsmulde in unerwarteten Contact mit Hauptdolomit kommen. Daraus ergibt sich, dass längs dieses Querthales eine Gebirgsscholle eine Versenkung erlitten hat und dass diese versunkene Scholle etwas breiter ist als die heutige Thalsole. Denkt man sich dieselbe in ihren ursprünglichen Zusammenhang mit der grossen Längsspalte zurückversetzt, so müsste der Kramer- und Eckenberg da continüirlich zusammenhängen, wo jetzt das breite Loischthal unterhalb Garmisch liegt.

Der Zusammenhang von Thalbildung und Verwerfung ist hier wohl unbestreitbar. Betreten wir nun wieder den Schweizer Boden, so sehen wir, dass mit unserer Längsspalte C das Walliser, Ursener und Vorder-Rheinthal zusammenfällt, während die Querthäler des Rheines, der Linth, Limmat und des Wallen-See's mit Querspalten parallel laufen. Der Nachweis dieser Coincidenz genügt nach dem, was ich vorher bemerkt habe, vollständig zur Feststellung einer ursächlichen Beziehung dieser Thäler zu jenen Verwerfungen.

Es bleibt mir aber noch übrig, einige Worte über das

Verknüpftheit des Züricher und Wallen-See's mit der Spalte Ragatz-Zürich hinzuzufügen. Die Skizze giebt die Maximal-Ausdehnung des Züricher See's an, welche er in vorhistorischer Zeit besessen haben muss. Bereits habe ich die Gründe auseinandergesetzt, warum das Molasse-Terrain im Osten der Spalte eine Senkung erfahren haben muss, und gezeigt, dass eine solche Senkung jedenfalls nach der interglacialen Periode stattgefunden hat. Schon frühere Bewegungen auf dieser Spalte mögen mit der Richtung dieses Theiles des Limmatthales genetisch zusammenhängen, mit der jüngsten Senkung aber ist jedenfalls die Entstehung des Seebeckens verknüpft. Die prae-existirende Thalmulde wurde durch dieselbe eine Strecke weit tiefer gelegt, während im Norden, von Dietikon an gegen Baden, die Thalsohle stehen blieb; in Folge dessen konnten die Wasser unterhalb Zürich nicht mehr ungestört weiter fließen, sie wurden gestaut und sammelten sich zu einem See an, dessen Spiegel bis zur Höhe der stehengebliebenen Thalsohle anstieg.

Etwas anders liegen die Verhältnisse am Wallensee, der einer viel localeren Depression seine Entstehung verdankt. Wie die Skizze und Profil III. andeuten, sank eine schmale von nahe beisammenliegenden Spalten begrenzte Scholle in die Tiefe, wodurch die alte Thalsohle auch hier zum Sammelbassin für die zufließenden Wasser wurde.

#### IV. Schlussfolgerungen.

Bis dahin habe ich mich bemüht, den Boden der That-sachen und der Beobachtung so wenig als möglich zu verlassen, und ich bin dabei zu dem Ergebniss gelangt, dass der Gebirgsbau beiderseits des Rheines in allen wesentlichen Punkten derselbe sei. Von der sicheren Basis dieses positiven Resultates aus mag es uns zum Schluss wohl gestattet sein, den Blick auch etwas weiter schweifen zu lassen in der Hoffnung, dass uns der gewonnene Standpunkt neue Einblicke und Fernsichten gewähre.

##### 1. Die Südrichtung der Glarner Ueberschiebung.

Es ist schon früher hervorgehoben worden, dass die Nordalpen zwischen Reuss und Rhein darin eine Besonderheit besitzen, dass auf einer ihrer grossen Längsspalten ausnahmsweise eine sehr erhebliche Ueberschiebung in südlicher Richtung stattgefunden hat. Es liess sich aber constatiren, dass gleichzeitig damit ein tief buchtenartiges Eingreifen des Eocäns in die Alpen verbunden sei, und es ist uns dadurch nahegelegt

worden, an einen ursächlichen Zusammenhang beider Erscheinungen zu denken.

Die in den Nordalpen herrschenden Ueberschiebungen nach Norden stehen bekanntlich mit der Annahme eines horizontal nach Norden wirkenden Druckes, der gegenwärtig mit Vorliebe zur Erklärung der alpinen Verhältnisse angenommen wird, in vollständigem Einklang. Nun hat aber Süsss auf Unregelmässigkeiten im Bau der Ostalpen hingewiesen, die da eintreten, wo die älteren Gebirgsmassen des Böhmerwaldes den Alpen nahe liegen, und er hat diese Unregelmässigkeiten auf den Widerstand zurückgeführt, welchen jene älteren Vorgebirge gegen die nach Norden vordrängenden Alpen ausgeübt haben. Ziehen wir nun vom Tödi aus rechtwinkelig zur Streichrichtung der Glarner Ueberschiebung eine Linie, so trifft deren Verlängerung gerade auf den Vorsprung, welchen das alte Schwarzwaldmassiv in der Gegend von Waldshut nach Süden entsendet. Man könnte also annehmen, dass der Widerstand dieses Massivs hier local das nördliche Vorwärtsrücken in den Alpen gehindert und so die alpine Randscholle auf die von Süden her nachdrängende innere Scholle hinaufgeschoben habe. Allein es erscheint eine derartige Zumuthung an das Schwarzwaldgebirge doch zu gewagt. Gerechtfertigter wird sie erst, wenn man noch folgendes hinzunimmt: Zur Eocän-Zeit muss zwischen Reuss und Rhein ein Depressionsgebiet existirt haben, in welchem die mächtigen Flyschschiefer, Sandsteine und Nummulitenkalke zur Ablagerung gelangten, während die Gebiete im Osten und Westen schon ganz oder beinahe ganz aus dem Eocän-Meere emporragten. Bei der nun folgenden Alpenaufrichtung fand die sich nordwärts bewegende Randscholle den geringsten Nachhalt in diesem Depressionsgebiete und gleichzeitig der vom Schwarzwald ausgehende Gegendruck den geringsten Widerstand, so dass auf diese Weise gerade hier eine Ueberschiebung in südlicher Richtung sich ereignen konnte.

Diese Erklärung scheint mir vorläufig zu genügen. Wenn erst die tektonischen Verhältnisse vollständiger bekannt sein werden, wird sie sich wohl auch bestimmter formuliren lassen.

## 2. Zur Classification der Verwerfungen.

Wenn wir von bestimmter Richtung oder dem Betrage von Verwerfungen bisher öfters gesprochen haben, so versteht es sich von selbst, dass dabei nur relative Richtungen und Beträge gemeint waren, weil ja fast alle Massen unseres Festlandes schon Dislocationen ausgesetzt waren. Behalten wir dies im Auge, so können wir ganz allgemein sagen, dass Verwerfungen sich als Senkungen, Hebungen oder seitliche Verschie-

bungen von Gebirgsschollen äussern. Sind die Spalten, auf welchen die Verwerfungen stattfinden, nicht saiger, sondern geneigt, so wird die Hebung zur Ueberschiebung; die Senkung zum Herabgleiten. Ich glaube nicht, dass es nöthig ist, diese klaren und allgemein bekannten Verhältnisse durch eine neue Nomenclatur zu verdunkeln.

Helm hat diesen „Spaltenverwerfungen“ noch seine „Faltenverwerfungen“ hinzugefügt und leitet diesen neuen Begriff mit folgenden Worten ein <sup>1)</sup>: „Eine reine Verwerfung ohne Umknickung der Ränder entsteht nur dann, wenn eine Spalte schon sich fertig gebildet hat, bevor die Niveauschwankungen eintreten oder wenn die Niveauschwankung mit erdbebenartiger Erschütterung plötzlich wirkt und das Gestein leicht brüchig ist — wir wollen sie Spaltenverwerfung nennen. Wenn aber die faltenden Kräfte nicht schon eine Spalte an der betreffenden Stelle vorfinden, so muss fast immer erst eine Faltung entstehen, die nur durch Schärfe der Biegung und Uebertreibung derselben allmählich in Knickung, in Falte mit verquetschtem Mittelschenkel und hernach in Verschiebung mit Rutschstreifen übergeht und durch gänzliches Auswalzen des Mittelschenkels zur Verwerfung wird; dies ist die Faltenverwerfung.“

Sofern die Existenz solcher „Faltenverwerfungen“ sich hauptsächlich und in erster Linie auf die „Nordfalte“ der Glarner Doppelfalte stützen will, müssen wir uns nach den Erörterungen des zweiten Abschnittes diesem classificatorischen Vorschlag gegenüber entschieden ablehnend verhalten. Verwerfungen, welche durch das Stadium der Falten mit verquetschtem Mittelschenkel gelaufen sind, können noch nicht als erwiesen gelten. Aber auch mit der Definition der „Spaltenverwerfungen“ wird sich niemand, der die Verwerfungen in der Natur studirt hat, einverstanden erklären wollen. Verwerfungen „ohne Umknickung der Ränder“ gehören zu den äussersten Seltenheiten. Auch da wo die Schichten der verworfenen Schollen ganz gleichmässig eben oder schwach muldenförmig gelagert sind, zeigen sie in der Regel nahe der Verwerfungsspalte Biegungen, Knickungen, Zusammenstauchungen, Schlepplagen nach oben oder unten u. s. w., und doch kann in zahllosen solchen Fällen nicht einmal die Vermuthung einer „Faltenverwerfung“ aufkommen.

Zu jeder Verwerfung gehören eine Gebirgsscholle und Spalten. Auch diese haben verschiedenen Werth. Von Verwerfungsspalten habe ich im Laufe unserer Untersuchung die Längs- und die Querspalten besonders bezeichnet. Es sind

<sup>1)</sup> l. c. II. pag. 44.

das allgemein gebräuchliche Namen, die eine unmittelbare räumliche Beziehung zum Schichtenbau ausdrücken. Wohl in allen Kettengebirgen und muldenförmigen Becken machen sie sich bemerkbar. In anders gebauten Gegenden hat man andere räumliche Beziehungen hervorzuheben. Neben den das Alpengebirge beherrschenden grossen Längs- und Querspalten treten aber noch andere kleinere Verwerfungsspalten auf, die theils überhaupt keine tektonische Rolle spielen, theils zum gegenwärtigen Gebirgsbau in keiner directen Beziehung stehen. Letztere werde ich bei den „Klippen“ besprechen.

Man kann das ganze Gebirge der Alpen in eine Reihe von Längsschollen zerlegen, die durch die Längsspalten unmittelbar gegeben sind. Ausserdem kann man auch Querspalten unterscheiden, die gewissermaassen durch die Querspalten begrenzten Segmente der Längsschollen sind. Diesen den Gebirgsbau bestimmenden Schollen gesellen sich aber noch eine Reihe von kleineren Schollen bei, die eine sehr merkwürdige und fremdartige Erscheinung bilden. Man kann sie nach dem Vorgange Pusch's „Klippen“ nennen. Dieser Name ist für solche Gebilde zuerst in den Karpathen und angrenzenden Gebieten angewandt worden. FR. VON HAUER definiert <sup>1)</sup>: „unter einer Klippe verstehen wir eine isolirt aus dem Sandsteingebiet emporragende, meist kleine, aber oft steile Felsen bildende Gesteinsscholle, die bisweilen nur aus einem, oft aber auch aus mehreren concordant gelagerten Formationsgliedern besteht und ringsum von jüngeren, discordant gegen die Gesteine der Klippe gelagerten Sandsteinschichten umgeben ist. Jede Klippe für sich bildet eine tektonische Einheit und nicht selten beobachtet man, dass die Schichtenstellung, selbst bei ganz nahe nebeneinander liegenden Klippen, eine ganz verschiedene ist.“ Diese Definition, welche in objectiver Weise den Thatbestand zusammenfasst, scheint mir derjenigen vorzuziehen zu sein, welche NEUMAYER <sup>2)</sup> mit folgenden Worten gegeben hat: „die karpathischen Klippen sind Trümmer und Reste eines geborstenen Gewölbes, welche als Blöcke oder Schichtköpfe von Schollen und anstehenden Schichtmassen in jüngere Gesteine, von welchen sie überwölbt werden, in discordanter Lagerung hinein oder durch dieselben hindurch gepresst worden sind.“ Denn erstens ist der Beweis noch nicht erbracht, dass die karpathischen Klippen wirklich überall unter dem First dieses jüngeren Schichtengewölbes liegen, und zweitens ist die Zugehörigkeit der Klippengesteine zu einem ehemaligen, jetzt geborstenen Gewölbe rein hypothetisch.

<sup>1)</sup> Die Geologie der österr.-ungar. Monarchie 1878. pag. 461.

<sup>2)</sup> Jahrbuch der k. k. geol. Reichsanstalt 1871. Bd. 21. pag. 529.

Da auch ausserhalb der Karpathen und insbesondere in den Alpen das Vorhandensein von Klippen nachgewiesen worden ist, so möchte ich für alle diese Gebilde die HAUER'sche Definition in folgender Fassung verallgemeinern:

Unter einer Klippe verstehen wir eine in grössere Gebiete einheitlichen Gebirgsbaues isolirt aufragende Scholle von älteren Gesteinschichten, welche für sich eine tektonische Einheit bildet und ringsum von jüngeren, discordant angelagerten Schichten umgeben ist.

Es leuchtet ein, dass nach dieser Begriffsbestimmung die Mythenscholle auf unserem Profil IV. zu den Klippen gehört, wenn man dabei berücksichtigt, dass diese Scholle nicht länger als breit ist, während die umgebenden Flyschschiefer weithin, d. h. senkrecht zur Profilebene, sich continuirlich fortsetzen. Mit Recht hat MÖSCH die Mythenscholle, die Tithonscholle von Berglitten, die „exotischen Blöcke“ von Iberg und die vielen ähnlichen Gebilde in der alpinen Randzone der Schweiz als Klippen aufgefasst. Weiter im Innern der Schweizer-Alpen hat man noch keine Klippen beschrieben, aber sie werden sich schon finden lassen. In den bayerischen und tiroler Nordalpen sind sie gar nicht selten. Die kleine inselartige Scholle bei Brixlegg (Fig. 6. Taf. VII.) gehört dahin. Auch die Melaphyrvorkommnisse im Allgäu längs der grossen Verwerfungsspalte zwischen der eocänen Randzone und der inneren triasischen Scholle scheinen nach den Schilderungen GÜMBEL's Klippen zu sein, sicher wenigstens die Melaphyrinsel im Rettschwanger Thal. <sup>1)</sup>

Eine schön markirte Klippe trifft man beim Aufstieg zum Plumser Joch vom Riess aus. Fig. 8 auf Taf. VII. zeigt uns, wie mitten im Hauptdolomit, scharf begrenzt, eine kleine Scholle von Gesteinen der unteren Trias liegt. Im Süden ist der Contact mit dem Dolomit gut aufgeschlossen und in Fig. 10 abgebildet. Die Colorirung auf GÜMBEL's Karte ist hier nicht ganz richtig. Die grünen und rothen Sandsteinschiefer mit Einlagerungen von Gyps und schwarzem Schieferthone werden von GÜMBEL mit dem Berchtesgadener Salzgebirge zum Buntsandstein gestellt. Darüber folgt, wie das auch anderwärts die Regel ist, etwas Rauhwanke (t, in Fig. 10) und dann eine stark zerklüfteter, schwarzer Kalk, in dem man kleine, weisse, rundliche Kalkpünktchen wohl für Stielglieder von *Encrinurus gracilis* halten könnte. Indessen ist das Gestein sehr alterirt, und ich habe an Ort und Stelle keine Sicherheit betreffs der Deutung erlangen können. Von dem ganz anders streichenden

---

<sup>1)</sup> GÜMBEL, Geogn. Beschreibung des bayerischen Alpengebirges 1861. pag. 189, mit Abbildung.

und fallenden Hauptdolomit ist der schwarze Muschel(?) kalk durch einen 2—3 Meter breiten Brecciengang getrennt. Die Grösse der Breccienfragmente nimmt von beiden Salbändern her gegen die Mitte ab, auf der Dolomitseite sind es nur Dolomitfragmente, auf der Kalkseite nur Kalkfragmente, die sich nach der Mitte zu aber miteinander vermischen. Da die einen ganz hellfarbig, die anderen schwarz sind, so kann man sie stets sofort erkennen. Ein kalkiges Bindemittel hat die Fragmente zu einem festen Ganggestein zusammengefügt.

Die Klippen sind in den Alpen viel zu häufig als dass wir sie nur als ein nebensächliches, mehr zufälliges Element in dem Gebirgsbau betrachten dürften. Freilich ist ihr Zusammenhang mit der Entstehung der Alpen noch äusserst dunkel. Wie z. B. soll man sich die tithonische Klippenbildung am Berglitten erklären, wo mitten in einem Gebiete der scheinbar regelmässigsten Faltenbildungen, an denen sich die concordant lagernden Schichten von Jura, Kreide und Eocän betheiligen, aus den Flyschschiefern ganz unerwartet ein kleines Riff von brecciösem Jurakalk herausragt? Mit jener letzten Haupthebung der Alpen, bei der sich die grossen Längsfaltungen, die Längs- und Querspalten gebildet haben, scheint die Klippenbildung nicht zusammenzuhängen. Die Verwerfungsspalten, welche die Klippen umgeben, und auf denen diese durch die jüngere Bedeckung hindurch bis zu Tage kamen, haben offenbar einen anderen Werth als die übrigen weitgezogenen Spalten. Dazu kommt, dass in mehreren Fällen kleinere solcher Klippen wirklich inselartig im jüngeren Deckgebirge angetroffen worden sind, ohne dass sie mehr in der Tiefe mit gleichalterigen Gebilden zusammenhängen.

Wir haben im ersten Abschnitt gesehen, dass während der palaeo-, meso- und kaenozoischen Zeiträume die Alpen theils ganz, theils stellenweise periodisch Festland darstellten. Dieses zeitweilige locale Heraussteigen aus der Meeresbedeckung wurde wahrscheinlich von gebirgsähnlichen Hebungen begleitet, und diese letzteren dürften schon damals mit Verwerfungen verknüpft gewesen sein. Als nun die letzte grosse Hebung der Alpen anhub, bestanden die in verticaler Richtung aufeinanderliegenden Schichten nicht mehr in ihrer ursprünglichen horizontalen Continuität. Die Regelmässigkeit der Faltung musste an solchen Stellen unterbrochen werden. Praeexistirende Verwerfungsspalten konnten selbst gefaltet werden und praeexistirende Verwerfungsschollen konnten neuerdings solche Verrückungen erfahren, dass dadurch ihr ursprüngliches Verhältniss gänzlich unkenntlich wurde, während sie gleichzeitig in ihrer neuen Umgebung fremdartig, „exotisch“ erscheinen mussten. Wenn, was von weiteren Untersuchungen zu erwarten ist,

diese Vermuthung sich bestätigen sollte, so wären die „Klippen“ höchst werthvolle Reminiscenzen an ältere, praealpine Gebirgsbildungen.

### 3. Ueber bruchlose und plastische Gesteinsumformung.

Fast alle dislocirten Gesteine haben merkliche Formveränderungen erlitten. Entweder sind die ursprünglich zusammenhängenden Gesteinsschichten zerrissen, zerbrochen und gänzlich zertrümmert worden, wobei die einzelnen Trümmerfragmente mehr oder minder auffallend durcheinander geschoben wurden, oder die ursprüngliche Continuität ist nicht merklich gestört, aber die geometrische Form der Schichten wesentlich verändert worden. Im ersteren Fall resultiren Breccien — wie sie in den Alpen ungeheuer oft angetroffen werden — im zweiten Fall Schichtenbiegungen. Zwischen diesen zweierlei Arten von Umformungen giebt es Mittelstufen, sobald die Schichtenbiegungen gleichzeitig mit zahlreichen Gesteinszerreissungen verknüpft sind. Die Breccienbildung in ihrer reinsten Form ist lediglich eine Umformung durch Schichtenbruch, durch Zerreißen und Verdrücken des ganzen Gesteins. Die Schichtenbiegung in ihrer reinsten Form hingegen geht ohne Schichtenbruch, lediglich durch innere Veränderungen im Gesteine vor sich. Welcher Natur diese inneren Veränderungen sind, darüber gehen die Meinungen auseinander. Die einen rathen auf moleculare Veränderungen bedingt durch Druck, die anderen sehen die Erklärung in den beobachteten mikroskopisch kleinen Brüchen und Verschiebungen. Ich selbst habe in den von mir untersuchten und zum Theil beschriebenen Fällen auf letztere, jedoch zugleich auf die mit diesen in Verbindung stehenden chemischen Veränderungen hingewiesen, welche insbesondere bei chemisch leicht wandelbaren Gesteinen, wie Kalksteinen, einen bisher weit unterschätzten Factor bilden.

Wenn wir die durch die gebogenen und dabei nicht zertrümmerten Gesteinsschichten bewiesene Biagsamkeit der Gesteine mit anderen bekannten und uns geläufigen Erscheinungen vergleichen wollen, so fällt gewiss jedem zuerst die Ductilität gewisser Metalle und die Plasticität des Thones ein, welche auch das mit der Biagsamkeit der Gesteine gemein haben, dass wir von ihren inneren Vorgängen nur sehr wenig wissen.

Ich habe darum die Art der Gesteinsumformung bei reinen Schichtenbiegungen kurzweg eine „plastische“ genannt und GÜMBEL'S <sup>1)</sup> Vermuthung, dass ich darunter in dem gegebenen

<sup>1)</sup> C. W. GÜMBEL, Geognost. Mittheilungen aus den Alpen VII, in Sitzungsber. der k. baier. Akad. der Wissensch. 1880. Heft 4.

Falle nicht HEIM's bruchlose Umformung, sondern eine solche durch winzige Sprünge und Verschiebungen etc. verstanden habe, ist ganz richtig. Als ich jene Worte niederschrieb, war es mir nicht in den Sinn gekommen, dass man plastische und bruchlose Umformung miteinander identificiren würde. Nehmen wir z. B. den plastischen Thon zum Vorbild, so lässt sich leicht zeigen, dass gerade dieser einer „bruchlosen“ Umformung im Sinne HEIM's, d. h. einer gegenseitigen Verschiebung der Moleküle beim Kneten oder Formen nicht unterliegt. Die mikroskopische Untersuchung solcher Thone lehrt uns, dass sie theils aus winzigsten Mineralfragmenten, insbesondere von Quarz, theils aus einem krystallinischen Gemenge von Rutilnadelchen, Schüppchen und Körnchen von Eisenverbindungen, sowie wasserhellen, das Licht wegen ihrer äussersten Kleinheit nur sehr schwach doppeltbrechenden, wahrscheinlich kaolinartigen Krystallkörnchen oder Schüppchen bestehen. Eine wirklich amorphe, isotropische Grundmasse scheint nicht zu existiren. Auch in den Thonschiefern löste sich mir die angebliche Grundmasse des „porodin-amorphen Silicates“ stets — wenn nur der Schliiff dünn genug war — in ein krystallinisches Gemenge auf.

Niemand wird annehmen wollen, dass ein so beschaffener, plastischer Thon „bruchlos“ geformt wird, d. h. dass die Formveränderungen der ganzen Masse durch molekulare Verschiebungen bewerkstelligt werden. Die Kaolinkryställchen, die Rutilnadelchen, die Quarzkörnchen u. s. w. werden gewiss keine molekularen Verschiebungen erfahren, sondern sich selbst als Bewegungseinheiten verschoben. Die einzelnen Kryställchen oder Aggregate solcher würden unzweifelhaft bei heftigem Druck auseinander gerissen werden und zerstäuben, wie sie dies bei trockenem Thon auch wirklich thun, wenn nicht die durch die Capillarkräfte des porösen Gesteins angezogene Gesteinsfeuchtigkeit durch ihre Adhäsion an den verschobenen Theilchen und ihre eigene durch diese Verschiebungen nicht aufgehobene Cohäsion als ein beständiges Bindemittel wirkte. Gleichwohl muss man für die festen Theile kleine gegenseitige Verschiebungen und darum winzigste Sprünge und Risse im Thon annehmen, — also genau dasselbe, was wir bei „plastisch“ gebogenen Gesteinsschichten thatsächlich beobachten. Darum vermute ich, dass die Art der Umformung in beiden Fällen im Wesentlichen dieselbe ist; nur dass bei den härteren und minder locker-porösen Gesteinen die plastische Umformung eine viel stärkere und länger dauernde Druckwirkung verlangt, wobei die Rolle, welche im Thon der wässerigen Feuchtigkeit zukommt, hier vorwiegend von zum Theil recht complicirten chemischen Vorgängen — allerdings auch auf wässrigem

Wege — gespielt wird. Nur in diesem Sinne glaube ich, dass alle Gesteine einen gewissen Grad von Plasticität besitzen; von der „bruchlosen“ Umformung aber glaube ich, dass sie physikalisch unbegreiflich und thatsächlich unbewiesen ist.

---

### Inhaltsverzeichniss.

- Einleitung. — pag. 134.
- I. Die Stratigraphie beiderseits des Rheines. — pag. 137.  
 Die Permformation in Nordtirol. — pag. 144.  
 1. Umgebung von Brixlegg. — pag. 145.  
 2. Die Hohe Salve. — pag. 149.  
 3. Der Gscheesberg bei Kitzbühel. — pag. 152.  
 Rückblick. — pag. 154.
- II. Der Gebirgsbau beiderseits des Rheines. — pag. 155.  
 Die sog. Glarner Doppelfalte. — pag. 161.  
 Was ist Lochseitenkalk? — pag. 165.  
 Die Rhein-Rhône-Verwerfungsspalte. — pag. 172.  
 Die Querspalten. — pag. 174.
- III. Der Einfluss des Gebirgsbaues auf die Thal- und Seebildung. — pag. 177.
- IV. Schlussfolgerungen. — pag. 181.  
 1. Die Südrichtung der Glarner Ueberschiebung. — pag. 181.  
 2. Zur Classification der Verwerfungen. — pag. 182.  
 3. Ueber bruchlose und plastische Gesteinsumformung. — pag. 187.
-



