

Über neue geologische Aufnahmen in der östlichen Hälfte der Adamellogruppe.

Von Prof. Dr. WILHELM SALOMON
in Heidelberg.

(Vorgelegt von Hrn. KLEIN.)

II.

In dem ersten Theile dieses Berichtes¹ war gezeigt worden, dass die im Westen der Val Rendena an den Tonalit grenzenden Rendena-schiefer durch diesen intensiv metamorphosirt worden sind und sich, wenn man von der Strecke zwischen Pinzolo und der Malghetta im Meledriothale absieht, sicher stets in primärem Contacte mit dem Tiefengestein befinden.

Eine weitere zu lösende Frage war die nach dem Verhältniss desselben Schiefersystems zu den in der Gegend von Pinzolo auftretenden Granitmassen, die schon im ersten Theile dieser Arbeit wiederholt als Sabbionegranite aufgeführt worden sind. Die drei zu dieser Gruppe gehörigen Vorkommnisse sind durch LEPSIUS² und TELLER³ entdeckt und sofort als durchaus verschieden von dem Tonalit erkannt worden. Das erste im obersten Meledriothale gelegene ist bereits auf S. 180 und 181 erwähnt. Ich vermute, dass die auf S. 177 kurz aufgeführten granitischen und aplitischen Adern, die die krystallinen Schiefer unmittelbar bei Campiglio durchsetzen, entweder von dieser Masse selbst oder von einem anderen mit ihr eng zusammengehörigen Vorkommniss ausgehen. — Die bei Pinzolo gelegene Granitmasse des Monte Sabbione grenzt im Osten an die Judicarienverwerfung an.⁴ Im Westen und Norden aber be-

¹ Diese Berichte 1901, S. 170—185.

² Das westliche Südtirol. Berlin 1878. S. 193. Vergl. auch meinen Bericht I, S. 180 und 181.

³ Über porphyritische Eruptivgesteine aus den Tiroler Centralalpen. Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanst. 1886, S. 717—722. Vergl. auch STACHE, Verh. d. k. k. Geol. Reichsanst. 1879, S. 303 ff.

⁴ Vergl. S. 177 und 178.

findet sie sich, wie ich durch einige Begehungen nachweisen konnte, in primärem Contacte mit den Rendaschiefern. Denn ganz abgesehen von den auf S. 178 und 180 angeführten Beobachtungen über das Verhalten der nahe dem Sabbionegranit in beträchtlichen Massen in den krystallinen Schiefern auftretenden aplitähnlichen Gesteine zu diesen konnte ich am Westgehänge des Berges in der Gegend der Malga Fosadei eine unzweifelhafte vom Granit bewirkte Contactmetamorphose der Schiefer von wenigstens 1200 bis wenigstens 1440^m Höhe feststellen. Andalusitreiche, zum Theil auch Staurolith führende Gesteine, theils noch vom Habitus der Phyllite, theils mehr hornfelsähnlich struirt, sind dort ungemein weit verbreitet und dürften im W. und N. einen breiten Gürtel rings um den Granit bilden. Gegen die vom Granit eingenommene Hochregion hin treten auch oberhalb Fosadei gegen Malga Cioca und südwestlich von dieser wieder vielfach die auf S. 177, 178 und 180 citirten aplitähnlichen Gesteine auf, deren Lage an dieser Stelle zwischen dem eigentlichen Granit und den Schiefern mir dafür zu sprechen scheint, dass sie als eine eigenthümliche Rand- und Gangfacies des Granites zu deuten sind.

Die dritte und grösste der Sabbione-Granitmassen ist die des Corno alto, westlich von Pinzolo, über die wir in TELLER's schon citirter Arbeit eine Reihe von werthvollen Angaben finden. TELLER zeigte, dass entlang der Westgrenze der granitischen Gesteine sich durch den grössten Theil der Val Seniciaga und über den die Val di Borzago nördlich begrenzenden Kamm des Monte Fornace hinweg ein Streifen von »Phyllitgneissen« zwischen Granit und Tonalit einschleibt, während auf der Nordseite des Granitmassivs zwischen Val Seniciaga und Pinzolo der Granit unmittelbar auf dem in der Nähe der Grenze gneissartig struirten Tonalit zu ruhen scheint. Ich habe schon 1891 und dann wieder 1899 Val Seniciaga begangen, eine Anzahl von Stücken der Schieferzone zwischen Granit und Tonalit gesammelt und einen Theil davon auch bereits mikroskopisch untersucht. Dennoch bin ich bis jetzt nicht klar darüber, ob diese Schiefer eine Contactmetamorphose von einem der beiden Tiefengesteine oder gar von beiden, wie wahrscheinlich, erfahren haben. — Etwas mehr Licht über das gegenseitige Verhältniss der drei Gesteinsgruppen erhielt ich auf der Südseite des Granitmassivs in der Val di Borzago. Dort sind die die Fortsetzung der Seniciaga-Grenzzone bildenden krystallinen Schiefer des Rendasystems, wie schon auf S. 182–184 geschildert, intensiv vom Tonalit metamorphosirt. Auch fand ich in der Nähe der Grenze mehrfach in den Bächen Schieferblöcke mit schmalen Gängen von dioritischen Gesteinen, die zweifellos als Apo-

physen des Tonalites aufzufassen sind. Der Tonalit befindet sich also in primärem Contact mit den Schiefeln. — Steigt man vom Orte Borzago aus schräg in das gleichnamige Thal hinauf, so hat man bald nach der kleinen Capelle den ersten steilen Anstieg überwunden und beobachtet nun rechts am Wege in etwa 900^m Höhe ausgedehnte Aufschlüsse von Sabbionegrant, der demnach viel weiter als man bisher wusste, nach Süden reicht, ja nach meinen Beobachtungen sich wahrscheinlich auch noch südlich über das Borzagothal hinaus erstrecken wird. Der Granit entsendet in die Schiefer mehrere zum Theil nur wenige Decimeter mächtige, zum Theil 10^m erreichende, ja wohl noch übersteigende Gänge; er umschliesst grössere Schollen und kleine Bruchstücke der Schiefer und hat in ihnen eine stellenweise sehr ausgesprochene und auch hier gerade wie in der Tonalitcontactzone und am Sabbione durch das Zusammenauftreten von Andalusit und Staurolith charakterisirte Contactmetamorphose hervorgerufen. Beide Tiefengesteine haben also die Rendaschiefer intensiv durchbrochen und sind jünger als sie.

Es wäre nun weiter festzustellen gewesen, in welchem Verhältniss der Tonalit zu den Graniten steht. Leider ist es mir aber bis jetzt nicht gelungen, Beobachtungen zu machen, die in dieser Hinsicht von Bedeutung wären. Petrographisch sind die beiden Gesteine durchaus verschieden. Selbst in der Val Seniciaga und oberhalb der Glasfabrik am Ausgange der Val di Genova, wo ich Gelegenheit hatte, beide in geringer Entfernung von einander zu beobachten, fehlen Übergänge vollständig. Auch sah ich hier ebenso wenig wie an der S. 181 citirten Stelle Einschlüsse oder Gänge des einen Gesteins im anderen. Aplitische und dunkel gefärbte Ganggesteine setzen in beiden auf; Schlierenknödel sind im Granit sehr viel seltener als im Tonalit. Dabei führt der Granit, wie schon TELLER erkannte, an einigen Stellen neben dunklem Glimmer auch hellen, und zwar, wie die mikroskopische Untersuchung zeigt, zum Theil zweifellos primären Glimmer¹, dagegen, soweit meine Beobachtungen reichen, nie Hornblende. Im Tonalit aber habe ich, soviele Tausende von Stücken ich seit 1888 untersucht habe, noch nie eine Spur von primärem hellen Glimmer finden können, während Hornblende ein in ihm weit verbreiteter Gemengtheil ist. Ich glaube in Folge dessen, dass die beiden Gesteine nicht in

¹ Aber nicht überall, wie TELLER glaubte. Am Sabbione z. B. sah ich keinen zweifellos primären Muscovit, ebenso wenig in einem Stück aus dem Thalgrunde von Val Seniciaga, dagegen sehr viel bei Malga S. Giuliano, wenig und möglicherweise nur auf Quetschzonen beschränkten am nordöstlichen Ausläufer des Corno alto zwischen Malga di Campo (auf den Karten fälschlich Campol) und dem Lago di Lamola.

einem syngenetischen Verbande zu stehen brauchen und halte einen beträchtlichen Altersunterschied für möglich. Vielleicht wird es noch bei den Revisionstouren gelingen, durch weitere Begehungen des Südgehänges der Val di Genova zwischen Pinzolo und Val Seniciaga Gänge oder Einschlüsse des einen Gesteines im anderen zu entdecken.

Über die Tektonik des Rendaschiefer-Gebirges wurden sehr zahlreiche neue Beobachtungen gemacht, da die älteren Angaben sich zum Theil widersprechen. Es muss übrigens hervorgehoben werden, dass dabei die STACHE'schen Mittheilungen im Wesentlichen bestätigt wurden.¹ STACHE gab ganz richtig an, dass der »zwischen der Linie der Porphyrdurchbrüche und der Grenzspalte des Tonalitgebirges gelegene Gneiss- und Glimmerschiefercomplex gefaltet ist und daher theils gegen den Tonalit einfallende, theils davon abfallende Schichtstellungen beobachten lässt. Unmittelbar an der Tonalitgrenze herrschen aber die westwärts gegen den Tonalit gerichteten Fallrichtungen vor«. Diese Thatsache belegte ich z. B. bei einer Wanderung von Pelugo in die Val S. Valentino hinein und hoch oben an deren Nordgehänge² entlang bis nach Malga Coël durch etwa 100 sorgfältige Compassmessungen, die nach vielen in den äusseren Theilen des Thales sehr wechselnden Resultaten hinter Malga Praino constant ungefähr nordöstliches Streichen bei sehr steilem unter den Tonalit gerichteten Fallen ergaben.³ Bei Pinzolo selbst zeigen die östlich und westlich des Thales anstehenden Schiefermassen sehr wechselnde Fallrichtungen. Steigt man aber auf der W.-Seite zu dem auf S. 179 dieser Arbeit beschriebenen Tonalit-contact in 915^m Höhe an, so beobachtet man erst unten am Gehänge ONO.- bez. NO.-Streichen bei mittlerem SO.-Fallen, unmittelbar neben dem Tonalit aber N.- bez. N25W.-Streichen bei steil nach Westen, also unter den Tonalit gerichteten Fallen der Schiefer-Structurflächen.⁴ Über die Bedeutung dieses mit wenigen Ausnahmen rings um das ganze Tonalitmassiv beobachteten trichterförmigen Einfallens der Sedimente unter die Tonalitgrenzfläche habe ich mich schon früher ausgesprochen.⁵

¹ Verhandl. d. k. k. Geol. Reichsanst. 1879, S. 303 ff.

² Die Hauptwege unten in den breiten Nebenthälern der Val Rendena zeigen fast gar keine Aufschlüsse.

³ Man vergleiche übrigens auch meine älteren Angaben in TSCHERMAK'S Min. u. Petrogr. Mittheil. XVII, 1897, S. 165 und die aus besonderen Gründen erst auf S. 736—739 dieser Arbeit angeführten Beobachtungen aus Val di Breguzzo. In Val di Borzago habe ich trotz mehrfacher Begehungen bisher nicht genug Beobachtungen über die Schichtstellungen in der Nähe des Contactes erhalten.

⁴ Doch berücksichtige man, dass nach S. 179—181 es zweifelhaft bleibt, ob der Contact hier primär ist.

⁵ Diese Berichte 1899, S. 31—33.

Ein weiterer Gegenstand der Untersuchungen war die Frage, ob die auf der Ostseite der Adamellogruppe in den Rendena-schiefern auftretenden Erzlagerstätten in einer genetischen Beziehung zu dem Tiefengestein stehen oder nicht. In der durch LEPSIUS' Mittheilungen über die Contactmetamorphose des Muschelkalkes bekannt gewordenen Val Buona di Daone fand ich innerhalb des Contacthofes mitten in den zu Marmor umgewandelten Schichten des Muschelkalkes einen mehrere Meter breiten Gang von Aplit, dessen eines Salband von einem wenige Decimeter mächtigen Pyritgange begleitet wird. Ausser dem Pyrit nehmen noch Quarz und eine offenbar durch die chemische Einwirkung des in Zersetzung begriffenen Pyrites aus einem unbekanntem ursprünglichen Mineral entstandene graue bis schwarze thonige Substanz an der Zusammensetzung des Erzganges Theil. Da ich in der Adamellogruppe derartige Aplitgänge niemals ausserhalb des Tonalitmassives bez. seiner Contactzone fand, so dürften der Aplit und die Pyritanhäufung längs seines einen Salbandes jedenfalls in einer syngenetischen Beziehung zum Tonalite stehen.

Die in den Erzlagerstätten der Val di Breguzzo auftretenden Erze sind, wenn ich mich auf die Angabe der von mir selbst gesehenen beschränke, Bleiglanz, Eisenkies, Kupferkies und etwas Zinkblende. G. VOM RATH¹ citirt Bleiglanz, Kupfer- und Magnetkies. — Von den genannten Erzen sollen nach den Mittheilungen eines alten Bergmannes in Breguzzo, von dem ich eine Reihe von Stücken erhielt, in einem in der Grube »S. Maria di sopra« und »di sotto« ausgebeuteten Gangsysteme Bleiglanz zusammen mit Quarz und wenig Kupferkies, nach VOM RATH auch Magnetkies auftreten. Von einer anderen Grube unterhalb der Cima Agosta auf dem rechten Ufer des Breguzzothales sollen mir gezeigte Stücke mit Eisenkies, Kupferkies und Zinkblende stammen. — Ich überzeugte mich davon, dass das Nebengestein des Erzganges von S. Teresa, der nach meinem Gewährsmann unter allen dortigen Erzvorkommnissen am weitesten von der Tonalitgrenze entfernt sein soll, zwar makroskopisch keine Spur von Contactmetamorphose aufweist, wohl aber mikroskopisch; denn ich fand darin Krystalle des in unserer Gegend ausserhalb der Contactzone ganz fehlenden Staurolithes. Das betreffende Gestein lag also jedenfalls bereits in dem Bereiche der vom Tonalit ausgehenden metamorphosirenden Agentien. Ebenso soll sich nach Mittheilungen von Hirten ein angeblich goldführendes Erzvorkommen, in Wirklichkeit wohl nur ein gemeiner Pyritgang, auf dem hohen Kamm zwischen Val S. Valentino und Val di Borzago in ganz geringer Entfernung vom Tonalit befinden. — Doch

¹ Zeitschr. d. Deutschen Geol. Ges. 1864, S. 264.

darf nicht unerwähnt bleiben, dass G. vom RATH von der rechten Breguzzothalseite noch unterhalb der Einmündung der Val d'Arnò, also von einer Stelle, die wahrscheinlich keine Contactmetamorphose der Schiefer aufweisen dürfte, einen Bleiglanzgang citirt. Und auch für die westlich von Verdesina im Thale des Rio Finale auftretenden Erzlagerstätten, die ich noch nicht selbst besuchen konnte, ist eine Lage ausserhalb der Contactzone bisher wenigstens nicht auszuschliessen. — Die Spath-eisensteinlager und -gänge, die auf der Westseite der Adamellogruppe besonders im Servino, aber auch im Perm auftreten, stehen keinesfalls in irgend einer Beziehung zu dem Tonalit. Übrigens fand ich zwischen Pinzolo und Caderzone einen losen Block von Phyllit mit sich gabelnden Trümmern von Eisenspath, was es wahrscheinlich macht, dass analoge Lagerstätten auch auf der Ostseite, und zwar hier als Gänge in älteren Ablagerungen, vorkommen.

Die bisher mitgetheilten Beobachtungen beziehen sich auf die den Tonalit von der Val di Breguzzo an im Osten und Nordosten umgrenzenden krystallinen Schiefer. Eine bisher noch ungelöste Frage ist nun die, warum die südlich von der Val di Breguzzo im Contacte mit dem Tonalit befindliche Trias in diesem Thale plötzlich den krystallinen Schiefnern Platz macht und nach Norden zu westlich der Judicarienlinie völlig verschwindet. G. vom RATH beschrieb das von ihm in seiner ganzen Ausdehnung begangene Breguzzothal schon 1864.¹ Er beobachtete bereits, dass das Streichen der krystallinen Schiefer des Thales der Tonalitgrenze parallel läuft und glaubte, dass das Fallen überall SO. gerichtet sei, während der Fallwinkel vom Ausgange des Thales gegen den Tonalit hin von 30° auf 75–85° zunehme. »Auch die Grenzfläche zwischen Schiefer und Tonalit, welche im obersten Hintergrunde des Thales liegt, setzt in gleicher Weise nieder.« LEPSIUS² nahm an, dass in der Val d'Arnò, einem rechten südlichen Seitenthale der Val di Breguzzo »der untere Muschelkalk dem Glimmerschiefer mit Verwerfung anliege«. Und auch an einer anderen Stelle³ sagt er: »Interessant ist die Verwerfung zwischen der Trias und dem Glimmerschiefer, welche vom Casino Arno her quer durch das obere Arnothal hinüber zum NO.-Abhange des Monte Giuglia zieht«. BITTNER⁴ scheint gleichfalls ein Abschneiden an einer Verwerfung anzunehmen; denn er sagt⁵: »Thalabwärts (unterhalb der Malga am Ostabhang des Monte Penna auf der Südseite des Breguzzothales)

¹ A. a. O. S. 263–264.

² Das westliche Südtirol. Berlin, 1878, S. 202.

³ A. a. O. S. 211.

⁴ Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanst. Wien, 1881.

⁵ A. a. O. S. 223.

schneidet dieses Vorkommen (von Rauchwacken und Werfener Schiefen) aber schon unmittelbar bei dieser Malga — sowie auch ostwärts oberhalb derselben — ab an sehr alt aussehendem, zum Theil gneissartig ausgebildetem Glimmerschiefer des Val Breguzzo«. Auf S. 230 hebt er hingegen eine Beobachtung hervor, die besonders im Hinblick auf die im Folgenden zu schildernden Verhältnisse von Bedeutung ist. Vom unteren Muschelkalk sprechend sagt er: »Gegenüber seiner riesig mächtigen Entwicklung im Val Daone erscheint seine geringe Mächtigkeit an der Abdachung gegen Val Breguzzo um so auffallender; insbesondere ist er ausserordentlich reducirt an der Ostseite des Monte Penna, und hier könnte man bei den thatsächlich sehr gestörten Lagerungsverhältnissen an der Grenze von unterer Trias und Glimmerschiefer leicht geneigt sein, diese anscheinend geringe Mächtigkeit mit Zuhilfenahme von Brüchen und Verwerfungen erklären zu wollen, wenn andererseits nicht gerade hier wieder stellenweise die vollkommen ungestörte Überlagerung und das Vorhandensein sämtlicher Schichtglieder vom Werfener Schiefer an durch den Zellendolomit zum unteren und oberen Muschelkalk u. s. f. für das Gegentheil, d. h. für das thatsächliche Vorhandensein der Gesamtmächtigkeit des unteren Muschelkalks an diesen Stellen spräche«. Auf S. 273 heisst es aber wieder von einer Stelle zwischen Monte Giugia und Monte Penna, dass »hier etwa der aus Val d'Arnò erwähnte, die Masse des Monte Penna im NO. abschneidende Bruch durchsetzen wird. Übrigens habe ich diesen Abhang viel zu flüchtig begangen, um hier etwas Bestimmtes aussagen zu können«. Auf ihren Karten lassen sowohl BITTNER wie LEPSIUS die Trias nicht mehr in den obersten Thalkessel der Val di Breguzzo hineinreichen. Doch scheint aus ihren Darstellungen hervorzugehen, dass sie beide den nördlichen Hauptzweig des Thales nicht mehr selbst begehen konnten. Anders verhält es sich mit REYER¹, der ebenso wie G. vom RATH das ganze Breguzzothal durchwanderte und sich ausdrücklich über die Stellung der Schiefer- und Tonalitbänke an der Grenze ausspricht: »Auf der Südseite des Thales scheint der Schiefer² mit etwa 50° vom Tonalit weg zu fallen; auf der N.-Seite aber fällt er 60–80°, local streicht er auch N.–NW. und fällt 70° O. bis senkrecht. Die Schichtköpfe des Schiefers und die concordant ausstossenden steil aufgestellten Bänke des Tonalit³ bilden hochaufragende Zinnen und Käme. Von der Malga Trivena wandert man durch Tonalit bis zu einer kleinen sumpfigen Wiese, welche den Schluss des Thales bildet.« Über die Ursache des Abschneidens der Trias zwischen Val d'Arnò und Val di

¹ Neues Jahrb. f. Min. Beil. Bd. 1881. S. 421.

² NB. Es ist immer nur von krystallinen Schiefen die Rede.

³ Auch bei REYER gesperrt gedruckt.

Breguzzo äussert sich REYER nicht. LÖWL¹, der letzte Forscher, der sich meines Wissens über diese Frage aussprach, glaubte, wohl wesentlich auf Grund der hier geschilderten Angaben, auf der W.-Seite des Adamellomassivs eine WNW. gerichtete Verwerfung annehmen zu müssen und sagte von ihr: »Die Verlängerung der Bruchlinie trifft dort (am Ostrande des Tonalitgebirges) in dem südlichen Thalaste von Breguzzo (Val d'Arnò) die bekannte Stelle, wo der Gneiss als Hülle des Tonalits sprungweise durch die Trias abgelöst wird.« — Dass eine solche Verwerfung auf der W.-Seite der Adamellogruppe nicht vorhanden ist, habe ich schon früher gezeigt. Sehen wir nun, wie die Verhältnisse auf der O.-Seite liegen.

Nach all den im Vorhergehenden mitgetheilten Beobachtungen erwartete ich gleichfalls zwischen dem obersten Thalabschnitt der Val di Breguzzo und der Val d'Arnò eine Trias und Perm von den Rendena-schiefern trennende Verwerfung zu finden und beging daher beide Thäler, um den Verlauf der Verwerfung genau festzustellen.² Zunächst beobachtete ich nun zu meinem Erstaunen, dass der Grödener Sandstein das Arnòthal in seiner unteren Hälfte nach Norden überschreitet, ja dass auch die gesammte Trias vom Servino aufwärts bis zum Esinokalk in die zwischen dem Hauptzweige des Arnòthales bei Malga Magiassone und dem Hauptzweige des Breguzzothales gelegene Val Boldone³ hineinstreicht. Noch grösser aber war meine Verwunderung, als ich im obersten Thalkessel der Val di Breguzzo zwischen den krystallinen Schiefen und dem Tonalit ganz normal Grödener Sandstein, Werfener Schichten und beträchtliche Massen der über dem Servino folgenden, hier natürlich in blendend weissen Marmor umgewandelten Schichten der mittleren Trias fand. Ja, diese Zone beschränkt sich nicht einmal auf die Südseite der Val di Breguzzo, sondern zieht sich noch auf ihrer Nordseite gegen den Toff bianco genannten Gipfel des Kammes zwischen Val Breguzzo und Val S. Valentino hinauf. Ich gebe der Controle und des grossen Interesses wegen, dass die Lagerungsverhältnisse im Breguzzothal beanspruchen, meine Beobachtungen etwas ausführlicher wieder. Wir stiegen von Bondo in Judicarien zu der 1615^m hoch gelegenen Malga Lodránega am N.-Abhänge des Breguzzothales hinauf, wanderten hoch am Hange entlang bis zur Malgola und stiegen von dort nach S. Teresa hinunter,

¹ PETERMANN's Mittheil. 1893, S. 14 in Heft IV.

² Ich hatte bei dieser und anderen Wanderungen des Jahres 1900 die Freude, meine Schüler, die HH. Dr. O. H. ERDMANNSDÖRFFER und stud. geol. H. PHILIPP in die alpine Geologie einführen zu können und danke ihnen auch an dieser Stelle für die bei den Aufsammlungen und Beobachtungen gewährte Hülfe.

³ Der österreichischen Generalstabskarte in 1:75000.

um nun auf dem Hauptwege des Thales den obersten Thalkessel zu erreichen. Aus einer grossen Zahl sorgfältiger Compassmessungen, welche in Folge der starken Faltungen der Rendaschiefer nöthig war, ging hervor, dass das Streichen, von wenigen unwesentlichen Ausnahmen abgesehen, stets zwischen NO. und ONO. bei mässigem bis mittlerem SO.-Fallen schwankt, wie schon G. VOM RATH angegeben hat. Gegen Malga Malgola hin wendet es sich allmählich immer mehr nach NNO. (gewöhnlich etwa N. 35 O.) bei immer noch nicht sehr starkem SO.-Fallen. Bei S. Teresa stellen sich die ersten allerdings nur mikroskopisch erkennbaren Anzeichen der Contactmetamorphose ein. Hinter S. Teresa, wo ich unmittelbar neben dem Stollen des erwähnten Ganges noch einmal N. 75 O. bei mittlerem SSO.-Fallen beobachtete, wendet sich das Streichen immer mehr von NO. gegen N., ja es herrscht schliesslich etwa N. 10 O. vor, wenn auch unmittelbar in der Nähe der von REYER erwähnten nicht mehr weit vom Tonalit entfernten Malga Trivena (1619^m) noch stellenweise N. 15–25 O., ja einmal sogar N. 40 O. beobachtet wurde. Das Streichen passt sich also auch hier, wie ich das nun schon so oft aus der Umgebung des Tonalitmassivs beschrieben habe, dem Streichen der Tonalitgrenzfläche möglichst an. Was das Fallen betrifft, so bleibt es noch nach S. Teresa eine Strecke weit südöstlich gerichtet, wird aber immer steiler und schlägt schon lange vor Trivena nach der NW.-Richtung um. Es ist also dort unter den Tonalit gerichtet, bleibt aber sehr steil und nimmt oberhalb der Malga von Neuem SO.-Richtung bei nur unbedeutender Abweichung von der Verticalen an. Jenseits der Malga, in geringer Entfernung, folgte nun aber auf diese naturgemäss hochgradig metamorphosirten, auf der letzten Strecke meist vollständig zu Hornfelsen umgewandelten Rendaschiefer¹ nicht Tonalit, wie G. VOM RATH und REYER angaben, sondern Perm und Trias. Freilich treten auch diese Ablagerungen in dem charakteristischen Habitus, der ihnen in der innersten Contactzone des Tonalites überall eigen ist, nämlich als Hornfelse bez. als Marmor auf. Sehr auffällig ist auch hier die von BITTNER bereits vom Ostgehänge des Monte Penna hervorgehobene geringe Mächtigkeit der einzelnen Bildungen. Der Grödener Sandstein und der Servino entsprechen genau den am stärksten metamorphosischen Typen der wenig entfernten Val

¹ Die ersten grossen Andalusite und Staurolithe sah ich nach dem zweiten Drittel des Weges von Malga Stablei nach Malga Acquaforte. Echte Hornfelse, ausgezeichnet durch Cordierit- und Andalusit-Reichthum sah ich zuerst bei dem steilen Anstieg von Acquaforte nach Trivena; und damit scheinen auch in diesem Thal, wie auf S. 183 beschrieben, die Staurolithe ganz zu verschwinden, die Dimensionen der Andalusitkrystalle wieder abzunehmen.

Daone, des Lago d'Arnò, des Forcellinapasses und anderer Orte; aber während der Grödener Sandstein der Val Daone 3–400^m, der Servino der Val Daone weit über 100^m Mächtigkeit besitzt, erreicht hier der Grödener Sandstein höchstens 50, der Servino wahrscheinlich noch nicht einmal 6–8^m. Die Schichtstellung des Grödener Sandsteins ist, wie gewöhnlich, nicht mit Sicherheit zu erkennen. In dem Servino und den zwischen diesem und dem Tonalit folgenden dünnschichtigen Marmorbänken maass ich an mehreren Stellen N. 25 O.-Streichen bei 80° SO.-Fallen, N. 40 O.-Streichen bei ähnlich steilem, nicht näher bestimmtem SO.-Fallen, am Contacte mit dem Tonalit N. 19 O.-Streichen bei ebenfalls steilem SO.-Fallen. Was die Beschaffenheit der einzelnen Schichtcomplexe betrifft, so ist der Grödener Sandstein zum Theil als grobes Conglomerat entwickelt mit hier ebenfalls hochgradig metamorphosirten Phyllitgeröllen sowie Geröllen eines grobkörnigen Feldspathamphibolites, die auf den ersten Blick an manche Schlierenknödel des Tonalites erinnern, aber zweifellos amphibolitischen Einlagerungen der krystallinen Schiefer entstammen.¹ Der Servino zeigt die charakteristische dünnschichtige Bänderung der einzelnen Hornfelslagen, wie sie in ähnlicher, aber immer noch verschiedener Weise nur noch bei den metamorphen Wengener Schichten der innersten Contactzone auftritt. Die über dem Servino folgenden Marmorlagen sind sehr rein und enthalten nur relativ wenig Silicate, darunter übrigens stellenweise grosse gelbgrüne Knollen einer dem Pseudophit von Markkirch im Elsass² sehr ähnlichen Substanz. Der Marmor ist dünnplattiger, als es bei dem contactmetamorphen Äquivalent des Zellendolomites normal ist. Er entspricht in seinem Aussehen mehr den normalen Umwandlungsproducten des unteren Muschelkalkes. Doch bemerke ich, dass auch auf der Westseite der Adamellogruppe, z. B. am Monte Elto³ eine Facies des Zellendolomites entwickelt ist, die ungefähr dieselben dünnplattigen Marmorschichten liefern würde, wie wir sie im Trivenakessel finden. — Die Mächtigkeit des Marmors habe ich leider nicht genau bestimmt; doch dürfte sie nach meinen Notizen und Eintragungen auf der Karte möglicherweise 200^m erreichen. Würde diese Ziffer der Gesamtmächtigkeit von Zellendolomit und unterem Muschelkalk entsprechen, so wäre sie gleichfalls viel geringer als in der Val Daone. Doch lässt sich das natürlich nicht ermitteln, da der Marmor vom Tonalit abgeschnitten wird.

¹ Amphibolite sind in allen drei Systemen der krystallinen Schiefer rings um die Adamellogruppe häufig. Vergl. z. B. Zeitschr. D. Geol. Ges. 1890, S. 535. — Diese Berichte 1896, S. 1037.

² Vergl. ГРОТН, das Gneissgebiet von Markkirch im Ober-Elsass. Abhandl. zur geolog. Specialkarte von Elsass-Lothringen. I. 1877, S. 453–458.

³ Diese Berichte 1896, S. 1041.

Es ist dabei hervorzuheben, dass sich die Marmorschichten vollständig concordant auf den Servino legen und dass dieser offenbar ebenso concordant auf dem Grödener Sandstein liegt, während die sicher ursprünglich zwischen diesem letzteren und den Rendenaschiefern vorhandene Discordanz durch das Andrücken der Sedimente an den Tonalit und die damit verbundene »Ausbügelung«¹ der Schichten unkenntlich geworden ist. Zur Annahme von Störungen oder Sedimentationsunterbrechungen zwischen dem Grödener Sandstein, dem Servino und den Marmorschichten fehlt jeder Grund. Die auffällige Reduction der Schichtsysteme in der Val di Breguzzo und nach BITTNER am Osthange des Monte Penna sowie das reichliche Auftreten von groben Geröllen im Grödener Sandstein deuten vielmehr übereinstimmend darauf hin, dass wir uns in dieser Gegend in der Nähe einer alten Insel des Perm- und Triasmeeres befinden und dass gegen die Küste hin die Mächtigkeit der Sedimente schnell abnimmt. Dadurch erklärt sich dann auch ganz ungezwungen der etwas wechselnde petrographische Charakter des Zellendolomithorizontes. Dass wirklich zur Zeit des Perm und wenigstens auch der mittleren Trias in unserem Alpentheile Inseln bez. Landbarren vorhanden waren, darauf deuten eine ganze Reihe von Thatsachen, wie die Pflanzenreste im sandigen Muschelkalk der Val di Bresimo² und der Umgebung von Tione, die Conglomerate im unteren Muschelkalk der Dolomitenregion³, das Auftreten von Gyps bez. Anhydrit im Zellendolomite, einige von BITTNER⁴ angeführte und noch eine ganze Reihe von anderen hier nicht näher zu besprechenden Thatsachen. Ich werde diese Frage in meiner Adamello-Monographie noch eingehender behandeln. Jedenfalls ist aber schon durch die vorhergehenden Mittheilungen die Abnahme der Mächtigkeit von Trias und Perm zwischen Val Daone und Val di Breguzzo zur Genüge erklärt, und wir sehen, dass genau in derselben Weise, wie sich auf der Westseite der Adamellogruppe ein schmaler Zug von Trias- und Permbildungen zwischen dem Tonalit und den krystallinen Schiefern weit nach Norden verfolgen lässt, dasselbe auch wenigstens für das südlichste Stück der Ostflanke gilt. Der Grund, warum Perm und Trias zwischen Val di Breguzzo und Val S. Valentino ganz verschwinden, ist vom Südgehänge des Thalkessels von Trivena aus deutlich zu übersehen. Man erkennt von dort, dass die ja in der ganzen Gegend zweifellos primäre Tonalit-

¹ Vergl. S. 176 in diesen Berichten.

² Vergl. LEPSIUS, Südtirol, S. 47 und 298.

³ VON MOJSISOVICS, Dolomitriffe, S. 46. — SALOMON, Marimolata, S. 14.

⁴ A. a. O. S. 226—227.

grenze zwar das Thal noch in NNO.-Richtung kreuzt, auf der Nordflanke aber gegen den Toff bianco hin sich gegen ONO. wendet und so die hier ohnedies stark reducirten Perm-Trias-Schichten abschneidet. Eine eigentliche Verwerfung, wenn man nicht etwa ganz ungewöhnlicher Weise die primäre Contactfläche des Tonalites mit den Sedimenten als eine solche bezeichnen will, ist nicht vorhanden. Ein derartig unregelmässiger, die Schichten der anstossenden Sedimente schräg schneidender Verlauf der Tonalitgrenze ist übrigens keineswegs auf die Val di Breguzzo beschränkt. Ich habe ihn schon früher von mehreren Grenzpunkten des Massivs, z. B. von der unmittelbar nördlich anstossenden Val S. Valentino und aus der Gegend zwischen Val Malga und Val Gallinera beschrieben.¹

Die geschilderten Beobachtungen haben eine gewisse Bedeutung auch für die Auffassung der Schichtstellungen im Breguzzothal. Dem beobachteten Fallen nach würde man nämlich zu dem Schlusse kommen², dass die Schichten sich auf den Tonalit auflegen. Aus ihrer Reihenfolge aber geht hervor, dass sie überkippt sind und dass man in Folge dessen trotz ihres steil nach SO. vom Tonalit weggerichteten Fallens sagen muss, dass sie unter den Tonalit einfallen. Die Ursache der Überkipfung kann aber nur in dem von der eingepressten Tiefengesteinsmasse ausgeübten Seitendruck gesucht werden, der hier offenbar in der Tiefe stärker wirkte als in höherem Niveau. Die sehr interessanten Schlussfolgerungen, die sich daraus für den Mechanismus der Intrusion ergeben, muss ich leider auch noch späteren ausführlicheren Auseinandersetzungen vorbehalten.

Ich hätte nun noch eine ganze Reihe mir wichtig erscheinender Ergebnisse der in den letzten beiden Jahren gemachten Aufnahmen zu schildern, will mich aber mit Rücksicht auf den verfügbaren Raum kurz fassen. In erster Linie ist hervorzuheben, dass sich nach meinen Beobachtungen der Esinokalk nicht etwa, wie man bisher glaubte, auf die Ostseite der Val Daone beschränkt. Ich habe ihn vielmehr, soweit das überhaupt die Lagerung der Schichten gestattet, fast continuirlich von der Val Daone aus nach Westen bis zum Caffarothal verfolgen können, bis zu dem ich ihm schon früher von Breno im Westen ausgehend gefolgt war. Er ist ein an seiner petrographischen Beschaffenheit wie an seiner Lage über den Buchensteinen und Wengener Schichten stets leicht erkennbares Glied der Contactzone in Val Redotem, Val della Nuova, der obersten Val Aperta, am Monte Rema und Doja und westlich von ihnen. Er zieht sich also

¹ TSCHERMAK'S Mittheilungen, 1891, XII, S. 415. Ebenda 1897, XVII, S. 165 und 167-169.

² Wie G. VOM RATH und REYER.

auf der ganzen Südseite des Adamellomassivs entlang, während man ihn früher nur von der Ostseite der Val Daone und aus der unmittelbaren Umgebung von Breno kannte¹. Übrigens ist seine Mächtigkeit starken Schwankungen unterworfen, was auf intensivem Facieswechsel beruht. In der obersten Val Aperta wird er zum Theil von den ihn stets regelmässig unterlagernden Wengener Schichten vertreten, so dass diese zu beträchtlicher Mächtigkeit anschwellen und die Grenzfläche zwischen ihnen und dem Esinokalk mit ihrer Auflagerungsfläche auf den Buchensteiner Schichten einen nicht unbedeutlichen Winkel bildet. Auch die eigenthümliche schon von BITTNER² erwähnte und für eine in der Nähe von Störungen entstandene Reibungsbreccie gehaltene Bildung in der Nähe des Lago della Nuova ist nichts anderes als eine primäre, wahrscheinlich an relativ steilen Hängen von Diploporenanhäufungen des Esinoniveaus entstandene Brandungsbreccie, die lange vor der Intrusion des Tonalites und den tertiären Gebirgsbewegungen vorhanden war. Sie besteht nämlich nach meinen Untersuchungen aus Bruchstücken von Esinokalk, der ebenso wie das die Fragmente verkittende etwas thonreichere Cement durch die Contactmetamorphose hochgradig umgewandelt ist. In dem Cement liegen unregelmässig verstreut prachtvoll scharfe Nadeln eines hellen, zum Tremolit zu stellenden Amphiboles.

Ausser dem Facieswechsel des Esinokalkniveaus, der intensiven Contactmetamorphose der Schichtsysteme und der durch diese hervorgerufenen meist vollständigen Zerstörung der Versteinerungen³ erschweren auch noch zahlreiche Störungen das Verständniss des Gebirgsbaues in der Nähe des Tonalitmassivs. Und zwar kommen nicht nur einfache Verwerfungen, sondern auch echte Überschiebungen vor. Ja diese letzteren bewirken mitunter eine vollständige Wiederholung der Schichtserie innerhalb der Contactzone, sehr schön z. B. im Kamm des Monte Rema, ja möglicherweise auch des Monte Doja, wo das berühmte Profil von LEPSIUS, das zuerst auf die ungemein interessanten Verhältnisse dieser Gegend aufmerksam machte, eine kleine Correctur erfahren muss; denn es folgen dort über den Knollenkalken der Buchensteiner Schichten noch Wengener Schichten, Esinokalke und unmittelbar am Tonalit entweder Raibler Schichten oder ein älteres durch Überschiebung dorthin gebrachtes Schichtsystem, das ich dann

¹ Nur CACCIAMALI machte schon 1898 (Rivista mensile Club alpino italiano p. 335) auf das Vorkommen des Esinokalkes in der Contactzone südlich des Adamellomassivs westlich der Val Caffaro aufmerksam.

² A. a. O. S. 365, Anm. 1.

³ Doch fand ich am Gehänge des Monte Doja im contactmetamorphen Muschelkalk einen recht gut erhaltenen Crinoidenkelch.

freilich seiner petrographischen Beschaffenheit nach nicht mit Sicherheit identificiren kann.

Eine Störung ganz eigenthümlicher Art bewirkt es, dass die Wengener Schichten des Pissalat genannten Berges westlich des Lavaneck unmittelbar auf Zellendolomit in scheinbar ganz flacher Lagerung aufliegen. Das Fehlen der ganzen Muschelkalkreihe und der Buchensteiner Schichten kann hier nur darauf beruhen, dass die Wengener Schichten an einer sehr flachen Verwerfung, die die Schichtserie schräg durchschneidet, über Buchensteiner Schichten und Muschelkalk hinweg auf den Zellendolomit geglitten sind; denn in ganz geringer horizontaler Entfernung von dem betreffenden prachtvoll aufgeschlossenen Punkte ist die ganze Schichtreihe normal entwickelt.

Von meinen sehr zahlreichen Beobachtungen über die Contactmineralien will ich nur erwähnen, dass ich den Dipyr, den ich in meinem letzten darauf bezüglichen Bericht¹ östlich der Val Blumone nur von einem Punkte citiren konnte, jetzt durch die ganze Grenzregion des Tonalites von Val Blumone bis Val Buona di Daone an allen Stellen sah, wo Muschelkalk und zwar nicht bloss seine untere Abtheilung, wie ich früher annahm, sondern auch die obere an der Zusammensetzung der äusseren Contactzone theilnimmt.

Neu ist ferner auch der Nachweis echter Lagergänge von Tonalit in der metamorphen Trias der Val Buona di Daone. Sie erinnern in ihren geologischen Verhältnissen sehr an die früher von mir beschriebenen Lagergänge von Tonalit in der Trias der Gegend westlich des Lago d'Arnò.²

Weiter sei noch kurz erwähnt, dass ich in dem Triasprofile Esine-Cividate in der Val Camonica³ den Prezzokalk Judicariens, also das Niveau des Ceratites trinodosus jetzt mit Sicherheit nachgewiesen habe und ihn auch von einigen Stellen der Triascontactzone westlich der Val Caffaro zu kennen glaube.

Der kartographischen Darstellung wegen wurde der mir zum Theil noch unbekanntes Verlauf der Tonalitgrenzlinie zwischen Val di Breguzzo und Val Caffaro genau festgestellt; doch dürfte es zwecklos sein, ihn an dieser Stelle eingehend zu beschreiben, da ich die Hoffnung habe, der Monographie eine Karte im Maassstabe von 1:75000 begeben zu können.

Ich möchte diese Mittheilung nicht beschliessen, ohne wenigstens etwas näher auf eine Frage einzugehen, die ich in diesen Sitzungs-

¹ Diese Berichte 1899, S. 28–29.

² TSCHERMAK's Mittheilungen. XVII. 1897, S. 159.

³ Vergl. diese Berichte 1896, S. 1042–1043.

Berichten¹ schon einmal kurz gestreift habe und die mir bestimmt zu sein scheint, wieder einmal etwas mehr in den Vordergrund der wissenschaftlichen Discussion zu treten. Es ist die Frage, ob die Intrusion so gewaltiger Tiefengesteinsmassen wie z. B. des Tonalites der Adamellogruppe und der übrigen alpinen centralmassivischen Tiefengesteine nicht doch, wie man in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts annahm, einen beträchtlichen Antheil an der Gebirgsbildung hat, ja haben musste. Man hat diese Anschauung jetzt lange Zeit hindurch als vollständig unbegründet angesehen², obwohl doch schon die kuppelförmige Auftreibung der Schichtsysteme über den nordamericanischen Laccolithen zeigt, dass eine Hebung von Sedimentschichten durch intrusive Gesteinsmassen wirklich vorkommt und beträchtlichen Umfang erreichen kann. Ich möchte nun heute dieser Frage auf eine, wie mir scheint, neue Weise näher treten und führe zu diesem Zwecke die folgende Berechnung aus.

Der Tonalit war zweifellos zur Zeit seiner Intrusion von einer Kruste von Sedimenten bedeckt. In der südlichen Hälfte des Adamellomassivs lagen und liegen noch heute an einigen Stellen auf ihm Schichten der mittleren und oberen Trias. Die Schichtsysteme, die an ihn herantreten, spalten sich in der Nähe des Contactes. Ein Theil sinkt trichterförmig unter ihn ein, der obere Theil dagegen breitete sich als ein gewölbtes Dach über ihm aus. In der nördlichen Hälfte muss diese bedeckende Kruste aus dem gesammten Perm-Triassystem bestanden haben, ganz abgesehen davon, ob nicht über der Trias noch Jura, Kreide und ein Theil des Eocän, unter dem Perm krystalline Schiefer vorhanden waren oder nicht. Nun sind auf den höchsten Gipfeln des Massivs, dem Adamello und der Presanella, wie ich mich persönlich bei ihrer Besteigung überzeugte, keinerlei Reste der alten Sedimentdecke mehr vorhanden, obwohl sie die beträchtlichen Höhen von 3554 und 3564^m erreichen. Ja, der Tonalit dieser hohen Gipfel zeigt nicht einmal den Habitus der Grenzfacies, sondern den des normalen Kerntonalites. Es muss also die Contactfläche der Sedimente noch wenigstens um einige hundert Meter höher als die jetzigen Gipfel gelegen haben, wenigstens etwa in 4000^m Höhe. Berechnen wir nun die Mächtigkeit der Sedimente, wobei ich Mittelzahlen wähle, um mich keiner Übertreibung schuldig zu machen. Ich will das Perm, das in der Val Daone im Süden und in der

¹ 1899, S. 41.

² DIENER schreibt in seinen »Bemerkungen über die stratigraphische Stellung der Krimmler Schichten« u. s. w. (Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanst. Wien, 1900, S. 393): »Ansichten, die man längst todt und begraben wähnte, wie jene von der Hebung der Centralmassive durch tertiäre Granitintrusionen sind in jüngster Zeit wieder gleich Gespenstern aus der Vergangenheit aufgetaucht.«

Val Camonica im Westen Mächtigkeiten von 3–500^m erreicht, im Osten der Adamellogruppe aber, wie in diesem Bericht gezeigt, stark reducirt ist, über dem weit nach Westen gelegenen Adamello zu 200^m rechnen. Servino und Zellendolomit, die in der Val Camonica zusammen ungefähr 200–280^m umfassen, will ich auf 150^m veranschlagen. Dazu würde eine unbekannte Zahl von Metern für die Mächtigkeit der wahrscheinlich noch zwischen den Tonalit und das Perm eingeschalteten krystallinen Schiefer kommen. Vernachlässigen wir aber diese selbst ganz und gar, so ergibt sich doch immer noch als Minimum für die Höhe der unteren Fläche des Muschelkalkes über dem Adamello die Zahl von 4350^m. Sehen wir nun, in welcher Höhe dieselbe Fläche sich neben dem Tonalitmassiv befindet. Im Osten sind die Sedimente von dem Massiv durch die Judicarienlinie getrennt; und auch die Triassscholle von Breno wird durch die von mir beschriebene Verwerfung von Pillo im Norden abgeschnitten. Dagegen steht die Gebirgsscholle des Monte Elto westlich der Val Camonica in ununterbrochenem Zusammenhange mit dem Adamello; und in dem Elto erreichten die Triasstufen der ganzen Umgebung des Adamellomassivs gleichzeitig auch ihre grössten Höhenlagen. Der Muschelkalk liegt aber an dem Elto¹ in etwa 2150^m Höhe auf dem von mir als Eltodolomit bezeichneten stratigraphischen Aequivalente des Zellendolomites auf. Die Höhendifferenz zwischen der unteren Grenzfläche des Muschelkalkes auf dem Elto und über dem Adamello beträgt also etwa 2200^m. Dabei ist aber noch zu berücksichtigen, dass der Elto derjenige Punkt in der nicht durch Verwerfungen abgetrennten Umgebung der Adamellogruppe ist, an welcher diese Differenz ihren kleinsten Werth besitzt. Der Muschelkalk am Fusse des Concarena nördlich Breno würde viel grössere Werthe ergeben. Der Elto ist aber zu dem Vergleiche auch aus dem Grunde noch besonders geeignet, weil der Adamello annähernd im Streichen des Eltozuges liegt. Suchen wir nun nach einem Grunde für die um wenigstens 2200^m höhere Lage derselben Schicht über dem Tonalitmassiv im Verhältniss zu ihrer Lage neben dem Massiv, so wird bei dieser Präcisirung der Frage wohl Niemand den so oft für die grosse Höhe der Centralmassive verantwortlich gemachten grossen Erosionswiderstand der granitischen Gesteine nennen wollen; und es scheint mir kein anderer Grund möglich zu sein als der, dass die Intrusion des Tiefengesteines die Sedimente emporhob und zum Gebirge aufwölbte.

Gegen diese Annahme wurde aber nun lange Zeit hindurch angeführt, dass man ja keine Kraft kenne, die eine derartige Hebung

¹ Vergl. diese Berichte 1896, S. 1040 und 1041 und TSCHERMAK's Mittheilungen XVII. 1897. S. 156. Profil III.

zu leisten im Stande sei. Und in der That war die hebende Kraft der Eruptivmassen, wie man sie in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts voraussetzte, ein durchaus unklarer, beinahe mystischer Begriff. Ich will nun vor allen Dingen zu zeigen suchen, dass bei der Intrusion solcher Tiefengesteinsmassen in der That enorme hebende Kräfte thätig sein müssen und will zu diesem Behufe eine weitere Berechnung ausführen.

Nach einer, wenn auch nur rohen Messung, beträgt die vom Tonalit der Adamellogruppe eingenommene Horizontalfläche zwischen 600 und 700^{qkm}. Der höchste aus Tonalit bestehende Gipfel, die Presanella, hat eine Höhe von 3564^m; der niedrigste Aufschluss von Tonalit dürfte am Ausgang der Val di Genova bei Carisolo in ungefähr 785^m Höhe liegen, die Höhendifferenz beträgt also in der Presanella-gruppe genau 2779^m. Nun fallen aber die Tonalitgrenzflächen fast überall steil ab¹, so dass Tonalit jedenfalls noch in beträchtlichen Tiefen unter den tiefsten Aufschlüssen zu erwarten ist. Ich bleibe daher, wenn ich die verticale Mächtigkeit seiner Masse überall auf 3000^m ansetze, sicher weit hinter dem wirklichen Mittelwerthe zurück. Gehen wir aber dennoch von diesem Minimalwerth aus, so ergibt sich das Volumen der Tonalitmasse zu im Minimum $600 \cdot 3 = 1800^{\text{cbkm}}$. Das spezifische Gewicht des Tonalites beträgt nach G. VOM RATH² 2.724. Rechnen wir nur rund 2.7, so ergibt sich als Gesamtgewicht der Tonalitmasse der Adamellogruppe die Zahl von 4860 Milliarden Tonnen³, eine Zahl, die übrigens wahrscheinlich um ihren mehrfachen Betrag zu klein ist. — Diese Tonalitmasse lag nun vor ihrer »mise en place« in einem viel tieferen Niveau der festen Erdkruste, bez. unter dieser, und stieg bei der Intrusion bis in das Niveau des Esinokalkes hinauf. Wir haben keinen Anhaltspunkt dafür, wie tief sie ursprünglich lag. Jedenfalls muss sie weit über 2^{km}.5 unter den tiefsten jetzt in ihrer Nachbarschaft aufgeschlossenen und eine Contactmetamorphose aufweisenden krystallinen Schiefern gelegen haben. Denn deren Contactmetamorphose ist bestimmt erst bei der Intrusion entstanden, und die ersten Zeichen der Metamorphose sind in den krystallinen Schiefern häufig in 2^{km}.5 Entfernung von der Contactfläche wahrnehmbar. Nehmen wir also als Minimalzahl für die Tiefe des Tonalitmagmas unter den jetzt tiefsten Aufschlüssen contactmetamorpher krystalliner Schiefer 3^{km} an, so müssen wir zu dieser Zahl jetzt noch die gesammte Mächtigkeit der über diesen Aufschlüssen vorhan-

¹ Die Verringerung des Querschnittes nach unten vernachlässige ich hier, da die Rechnung dadurch nur ganz unwesentlich beeinflusst wird.

² A. a. O. S. 257.

³ Zu 1000^{kg}.

denen, vom Tonalit durchbrochenen Sedimente rechnen. Die tiefsten Aufschlüsse contactmetamorpher krystalliner Schiefer in der Adamello-gruppe finden sich am Ausgange der Val Gallinera bei Rino in der Val Camonica. Sie bestehen aus Edoloschiefern (Quarzlagen-Phylliten), die von einer von mir aufgefundenen und auf meine Veranlassung von meinem Freunde Dr. RIVA¹ beschriebenen Apophyse des Tonalites durchbrochen sind. Ihre Höhenlage beträgt nur 800^m über dem Meere. Darüber aber steigen die krystallinen Schiefer an den Hängen des Monte Aviole noch bis zu Höhen von 2350^m an, und wenn sie auch stark gefaltet sind, so dass die Höhendifferenz nicht ihre Mächtigkeit ergibt, so ist doch zu berücksichtigen, dass ihre Faltung im Wesentlichen schon lange vor der Tonalitintrusion vollzogen war. Wir dürfen also die Höhendifferenz als verticale Dicke des von ihnen bei der Intrusion des Tonalites zusammengesetzten und von diesem durchbrochenen Theiles der Erdkruste rechnen, wobei ich bemerke, dass diese Zahl von 1550^m sicher wesentlich hinter der wirklichen Zahl zurückbleibt. Über den krystallinen Schiefen lagen zur Zeit der Intrusion wohl in flacher Lagerung das Perm (wenigstens 200^m), Servino und Zellendolomit (wenigstens 150^m), der Muschelkalk, die Buchensteiner und Wengener Schichten, sowie der noch vom Tonalit durchbrochene Theil des Esinokalkes (zusammen wenigstens 350^m), wobei wir natürlich von den nicht mehr durchbrochenen Sedimenten absehen. Die Gesamtsumme der einzelnen Beträge (3000, 1550, 200, 150, 350^m) ist 5250^m. **Um wenigstens 5250^m ist also die im Minimum 4860 Milliarden Tonnen schwere Tonalit-Magmamasse bei ihrer Intrusion emporgehoben worden.** Und das ist eine Thatsache, keine Hypothese! Es muss also in der That eine enorme Kraft die Tiefengesteinsmagmen in die Höhe pressen, eine Kraft, von der man sich nur dann eine richtige Vorstellung machen wird, wenn man berücksichtigt, dass die hier angegebenen Minimalzahlen ja aller Wahrscheinlichkeit nach die eine noch nicht den vierten, die andere noch nicht den zwölften Theil der wirklichen Beträge erreichen.

Ich halte es nach dem Gesagten nicht für wunderbar, wenn dieselbe Kraft, welche so gewaltige Magmamassen um solche Beträge in die Höhe zu pressen vermag, auch die über den Magmamassen liegenden Sedimente um einige Tausende von Metern in die Höhe hebt, zu Gebirgen aufwölbt. Ja, ich würde es geradezu unbegreiflich finden, wenn dieser von unten nach oben mit solcher Energie wirkende Druck gerade an der unteren Schichtfläche der ersten nicht mehr von dem Magma durchbrochenen Schicht Halt machen würde.

¹ Atti Soc. ital. Scienze nat. Milano 1896. p. 139.

Fragen wir nun zum Schlusse nach der Ursache der Hebung des Magmas und der Sedimente, so erscheint es hier von vorn herein ausgeschlossen, sie in der Expansionskraft der im Magma enthaltenen Gase suchen zu wollen. Sie kann ihren Grund, wie BRÖGGER, ich und Andere schon früher ausgeführt haben, nur in dem hydrostatischen Druck besitzen, den das Einsinken benachbarter, wesentlich grösserer Theile der festen Erdkruste in den darunter befindlichen flüssigen Magma-massen hervorruft. Dieser Druck zwingt sie, in der Richtung des geringsten Widerstandes auszuweichen. — Das einsinkende Gebiet war, wie ich schon früher einmal zeigte¹, in unserem Falle das weite peri-adriatische Senkungsfeld.

¹ TSCHERMAK, Mitth. XVII, 1897. S. 242.