Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 7 (1927)

Heft: 1

Artikel: Radioaktivität der Intrusivgesteine des Aarmassivs

Autor: Hirschi, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-9031

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 28.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Radioaktivität der Intrusivgesteine des Aarmassivs.

Mit einer Kartenskizze.

Von *H. Hirschi.*

Fortsetzung.

Die letzten Mitteilungen über diese Studien erschienen im Heft 1, Band V dieser Zeitschrift. Wegen längerer Landesabwesenheit haben die Radioaktivitätsmessungen einen Unterbruch erfahren.

Nun ist noch eine Serie von Intrusivgesteinen (Tiefengesteinen) auf Radium und Thorium untersucht worden, womit vorläufig ein Abschluß in den radioaktiven Untersuchungen des Aarmassivs gemacht wird.

Eine Übersichtskarte des intrusiven Aarmassivs gibt die Lage aller bisher untersuchten Gesteinsvorkommen und in einer tabellarischen Zusammenstellung sind alle untersuchten Gesteinsvorkommen und radioaktiven Werte vereinigt, sodaß sich nunmehr einige, früher in Aussicht gestellte Schlußfolgerungen ziehen lassen.

Die ebenfalls für radioaktive Messungen in Aussicht genommenen Ganggesteine werden später zusammen mit ebensolchen des Gotthardmassivs bearbeitet.

Folgende Gesteine sind noch untersucht worden:

Diorit von Alp Punteglias (= Puntaiglas) Monzonitisch-syenitische Gesteine vom Gliemsstöckli (Puntegliasgebiet) Granit von ebenda Granit von Val Rusein	Östliches Aarmassiv.[1])

Wie früher geschehen, werden geologisches Auftreten, petrographische und chemische Beschreibung den radioaktiven Meßresultaten vorausgeschickt.

---

[1]) Eine ausführliche, vielversprechende petrographische und chemische Beschreibung der Gesteine des östlichen Aarmassivs dürfen wir noch von Dr. Fr. Weber erwarten, auf dessen schöne Kartenblätter 100 A, 102 A und B. der Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz speziell hingewiesen wird.

Diorit von der Alp Punteglias.

Dieser fällt als etwa 1 km mächtige Tafel, flankiert von Quarzporphyren, steil nach SE ein.

Dieses Gestein wurde zuerst von *Leo Wehrli*[2]) beschrieben. Der für diese Untersuchung verwendete Diorit, der nahe der Brücke auf der Alp Punteglias gesammelt wurde, ist makroskopisch ziemlich dunkel, mittelgrobkörnig, mit schwarzgrüner Hornblende in Prismen und Fetzen, welche in einer rötlichgrauen bis grünlichgrauen, matten Grundmasse liegen. Nur die Hornblende, welche etwa die Hälfte des Gesteins ausmacht, trägt mattglänzende Spaltflächen. Vielfach hat das Gestein einen schlierigen Habitus und Pyritadern.

Mikroskopisches: Struktur hypidiomorph-körnig.

Plagioklase: Sind zu einem großen Teil zersetzt, doch liegen in der Grundmasse noch scharf lamellierte Reste, mäßig von Sericit und Epidoten durchsetzt, die dem Labrador bis Anorthit angehören.

Hornblende: Pleochroismus lichtgelblichgrün bis blaugrün, c/n_γ (auf 010) 17—18°. Sie tritt in zwei Generationen auf, wovon die größern Individuen sehr unrein sind, oft erfüllt von linear angeordneten Einschlüssen. Meist ist sie an den Rändern oder in wolkigen Partien etwas stärker pleochroitisch. Die kleinen Hornblendeprismen oder -Fetzen sind dagegen ziemlich rein und stark pleochroitisch. In der Prismenzone ist sie meist idiomorph entwickelt auf den Endflächen ausgefranst.

Epidot (Pistazit und Zoisit), *Chlorit, Sericit, Hornblende*fasern und vereinzelte *Quarz*körner bauen die filzige Grundmasse auf.

Magnetit und *Pyrit* sind verbreitet.

Titanit erscheint in fetzigen, trüben Aggregaten.

Der Chemismus der Dioritzone, welche von Disentis bis zu den Brigelserhörnern sich hinzieht, wird durch die hier folgende Durchschnittsanalyse gekennzeichnet.[2])

SiO_2	49.04	MgO	4.50
TiO_2	1.99	CaO	8.80
Al_2O_3	18.19	Na_2O	4.39
Fe_2O_3	3.85	K_2O	1.20
FeO	5.78	H_2O (110 +)	1.50

[2]) Siehe Analyse Leo Wehrli, Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz. Neue Folge VI. Lieferung. Ferner: Grubenmann und Hezner, Zusammenstellung chemischer Gesteinsanalysen, Vierteljahresschrift der Naturf. Ges. Zürich, Jahrgang 61, 1916.

Monzonitisch-syenitische Gesteine vom Gliemsstöckli (Puntegliasgebiet).

Diese bilden am Gliemsstöckli eine ca. 400 m breite Masse, begleitet von Graniten, welche diese syenitisch-monzonitischen Gesteine durchbrechen. Die letztern werden als ersterstarrtes, basisches Differentiat des aargranitischen Magmas aufgefaßt, ebenso wie die Diorite dieses Gebietes und die Kalisyenite am Piz Giuf.

Die monzonitischen (lamproitisch-yogoitischen) Gesteine sind recht wechselvoll und neigen einerseits gegen Quarzsyenit, andererseits gegen Diorit hin. Es wurden drei verschiedene Typen für die radioaktiven Messungen verwendet.

Typus 1 (lamproitisch) ist makroskopisch grobkörnig, dunkelgrün, weißgrau gesprenkelt, bestehend aus schwarzgrüner Hornblende, Tafeln von grünlichbraunem Biotit, die zwischen einigen mm und 1 cm schwanken. Große, etwas perlmutterglänzende Kalifeldspatfelder sind völlig von dunkeln Gemengteilen durchwachsen. Pyritkörnchen sind sichtbar, dagegen fehlt hier der sonst so charakteristische Titanit.

Mikroskopisches: Struktur hypidiomorph-körnig bis pegmatitisch.

Der *Orthoklas* ist oft perthitisch oder mikroperthitisch und füllt wie der Quarz unregelmäßige Räume zwischen den übrigen Gemengteilen aus.

Plagioklase fehlen oft vollständig oder, wo vorhanden, entsprechen sie feinlamelliertem Albit bis Oligoklas, welche teilweise völlig sericitisiert sind.

Quarz füllt als kleine und größere Felder die Zwischenräume und ist durchzogen von schnurförmig angeordneten Flüssigkeitseinschlüssen mit besonders schönen, zuckenden Libellen.

Biotit und Hornblende, die über 50 % des Gesteins ausmachen, sind gleichzeitig auskristallisiert und untereinander in mannigfachster, oft zierlicher Weise verwachsen. Der Pleochroismus des Biotits ist grünlichgelb bis dunkelgrünbraun. *Radiohalos* sind im Biotit seltener wie in der Hornblende. Hof um grünlichtrübes Aggregat (0,027 × 0,06 mm) mißt 0,027—0,03, ein anderer um grünliches, doppelbrechendes Aggregat (0,016 × 0,0216) = 0,017 mm, beide in Schnitten || (001).

Hornblende ist in der Prismenzone idiomorph und oft verzwillingt. $c/n\gamma = 16°$. Der Pleochroismus ist nicht sehr kräftig von gelblichgrün bis bläulichgrün.

	mm			mm
Radiohalos:	0,027	verschwommen,	um zirkonartigen Kern von	0,054 × 0,05
	0,022	kräftig	Kern dunkel	0,006 × 0,011
	0,0217	„	„ durchsichtig, schwach doppelbr.	0,0054 × 0,027
	0,017		„ opak	0,004 × 0,007
	0,017		„ undeutlich	0,0043 × 0,0055
	0,014		„ zirkonartig	0,054 × 0,05
	0,012		„ „	0,054 × 0,081

Alle in Schnitten angenähert parallel c.

Apatit ist ziemlich reichlich in scharfen oder gerundeten Säulchen, die bis 1 mm Länge erreichen. Vereinzelte rötlichbraune, trübe Körner scheinen *Zirkon* zu sein. *Magnetit* und *Pyrit* sind verbreitet, letzterer oft von Magnetit umhüllt.

Titanit ist sehr spärlich und wird offenbar durch den häufig sichtbaren, flaschengrünen *Rutil* ersetzt. *Epidote,* darunter *Orthit* (lichtbraun bis rötlichbraun), sind selten. Letzterer zeigt keine Halos gegenüber Biotit.

Typus 2 (yogoitisch) ist dunkelgrüngrau, mittel- bis feinkörnig, führt viel Hornblende und tiefbraunen, glänzenden Biotit, neben sehr viel Titanit in unregelmäßigen Fetzen. Kalifeldspat in größern Feldern ist schwach perlmutterglänzend und wie in Varietät 1 völlig durchwachsen mit dunkeln Gemengteilen. Die Plagioklase sind schwach grün und unregelmäßig begrenzt.

Mikroskopisch ist dieses Gestein ähnlich wie 1, nur sind die dunkeln Gemengteile zurücktretend (etwa $^1/_3$ des Gesteins betragend) und weniger idiomorph umgrenzt.

Die *Plagioklase* sind reichlicher wie in 1 und gehören zum Oligoklasalbit bis Andesin. Teilweise sind sie stark bis völlig sericitisiert, scharf idiomorph gegenüber Titanit, die basischeren auch gegenüber Hornblende.

Orthoklas füllt spärlich Zwischenräume aus, während der *Quarz* bis auf kleine Spuren fehlt.

Titanit ist sehr reichlich, teilweise in großen Feldern, oder kleinen Fetzen und Strängen. Er ist deutlich pleochroitisch und trägt nicht selten Zwillingsstreifung. *Calcit* tritt in größeren Feldern auf.

Pyrit, Magnetit oder *Ilmenit* sind nicht selten. Das Gestein ist von feinen, mit sauern Gemengteilen ausgefüllten Klüften durchzogen.

Typus 3 (yogoitisch) ist dunkel-grünlichgrau, mittelgrob bis feinkörnig, mit viel kleinschuppigem Biotit neben zurücktretender, schlanker Hornblende, vereinzelten Orthoklasfetzen, grünlichgrauen, mattglänzenden Plagioklasen als Grundmasse, und braunen bis honiggelben, glänzenden, großen Titanitaggregaten.

Mikroskopisches: Struktur ist hypidiomorph-körnig.

Orthoklas, gelegentlich etwas mikroperthitisch, füllt in großen Feldern die Zwischenräume aus.

Die *Plagioklase* sind frischer, etwas saurer und besser entwickelt wie in 2 und reichlicher lamelliert.

Quarz ist hier häufiger wie in 1 und 2, bildet große Felder mit viel Flüssigkeitseinschlüssen.

Biotit und *Hornblende,* welche etwa 40 % des Gesteins ausmachen, sind dieselben wie in 1 und 2. Bei der Hornblende ist, wie übrigens auch bei einzelnen Plagioklasen, ein deutlich zonarer Aufbau zu beobachten. Halos nur vereinzelt und sehr schwach angedeutet.

Der sehr reichlich anwesende *Titanit* bildet Körner, Fetzen und kranzförmige Aggregate um Biotit, in welchem er auch Spaltrisse ausfüllt. Größere Titanitfelder in Quarz und Orthoklas sind scharfkantig begrenzt. Die spärlichen Erzkörner sind vorwiegend *Pyrit.*

Zirkon in größern, schwachrötlichen Kristallen ist von groben Spaltrissen durchzogen. Wo dieser an Biotit oder Hornblende grenzt, sind keine Halos zu beobachten. *Apatit* ist wiederum reichlich vorhanden in Säulchen bis zu 1 mm.

Der Chemismus dieser monzonitischen Gesteine wird durch die hier folgenden zwei Analysen gegeben. Analyse a entspricht den yogoitischen Monzoniten, b einem basischen, lamproitischen Typus (Typus 1 oben).

	a	b		a	b
SiO_2	53.65	49.25	CaO	6.90	7.48
TiO_2	1.78	1.32	Na_2O	4.33	2.65
Al_2O_3	14.29	9.26	K_2O	3.28	3.22
Fe_3O_3	1.01	2.07	H_2O -110^0	0.09	0.37
FeO	6.01	6.91	H_2O $+110^0$	1.65	2.36
MgO	6.00	13.84	P_2O_5	0.85	1.38

Granit vom Gliemsstöckli (Puntaiglas-Gletscher).

Am Gliemsstöckli und Piz Tgietschen kommen zwischen monzonitischen Gesteinen schmale Zonen aus Graniten vor, welche nach

Fr. Weber (l. c.) dem Aaregranit bezw. dem sauren Granit der zentralen Intrusivzone angehören.

Makroskopisch ist der Granit mittelgrobkörnig, grauweiß, zeigt vereinzelte idiomorphe, stark durchwachsene Kalifeldspäte, eingestreuten, teilweise chloritisierten Biotit, viel typisch rötlichgrauen, etwas opalisierenden Quarz in großen und kleinen Körnern, grauweißen Plagioklas und wenig strohgelben Titanit.

Mikroskopisches: Struktur hypidiomorph-körnig.

Kalifeldspäte sind *Orthoklas* und *Mikroklin,* ersterer mit Andeutungen von perthitischen Durchwachsungen, letzterer mit schöner Gitterung. Oft bilden zierliche myrmekitische Bildungen die Grenze zwischen Orthoklas und Plagioklas, doch gibt es auch Myrmekitbildungen mitten im Orthoklas.

Die *Plagioklase* gehören vorwiegend zum Albit bis Oligoklas.

Quarz ist in größern Feldern undulös und erweist sich als gleichzeitige Bildung mit Orthoklas.

Biotit, meist wohlbegrenzte Blättchen bildend, ist zur Hälfte in Chlorit umgewandelt. Frisch trägt er einen tiefrotbraunen bis strohgelben Pleochroismus. Die völlig chloritisierten Biotitschüppchen sind nicht selten von verschwommenen *Radiohalos* erfüllt mit Hofbreiten von 0,01—0,015 mm. Sie umgeben epidotartige Kerne von 0,005—0,022 mm Durchmesser. Höfe ohne Kern erreichen Durchmesser bis zu 0,08 mm, was auf Thorium hinweist. Um Zirkon sind nur sehr schwache, verschwommene Höfe zu konstatieren von Maximum 0,011 mm Breite.

Magnetit ist sehr spärlich, *Zirkon* bildet meist größere, trübe Kristalle von 0,06 × 0,012 mm, die oft schön zonar aufgebaut sind.

Titanit ist fetzig und wenig häufig, *Orthit* erscheint in großen, schönen, idiomorphen Individuen (0,08 × 0,18 mm), mit merkwürdiger Felderteilung (hell- und tiefrotbraun). Einschlüsse im Orthit sind völlig sericitisiert.

Die chemische Zusammensetzung ergibt sich aus der hier folgenden Analyse[3]):

SiO_2	68.21	CaO	1.86
TiO_2	.24	Na_2O	4.29
Al_2O_3	16.36	K_2O	5.81
Fe_2O_3	.77	H_2O — 110°	.11
FeO	.98	H_2O +	.60
MgO	.58		

[3]) Vierteljahresschrift Naturf. Ges. Zürich, 1916, pag. 153.

Granit von Val Rusein.

Als südwestliche Fortsetzung der schmalen Granitzone in den syenitischen Gesteinen am Punteglias-Gletscher, Piz Glievers u. s. w., erscheint nach *Fr. Weber* nördlich der Syenitzone, welche Val Rusein schneidet, Granit in etwa 1 Kilometer Mächtigkeit.

Makroskopisch trägt dieser Granit einen ganz andern Habitus wie der eben beschriebene Granit vom Gliemsstöckli. Er ist ziemlich feinkörnig, lichtgrau, gneisig-aplitisch, führt ziemlich viel lichtbraunen bis zu Muscovit entfärbten Glimmer, einige etwas hervortretende Feldspattafeln und matten Sandquarz.

Mikroskopisches: Struktur hypidiomorph-körnig.

Die Kalifeldspäte sind *Orthoklas* (teilweise als Mikroperthit) und schön gegitterter *Mikroklin,* beide ziemlich reichlich in xenomorpher Ausbildung.

Die *Plagioklase* gehören dem Albit bis Oligoklas an, die sauern Glieder sind vorherrschend. Nicht selten sind sie von Myrmekitbildungen umsäumt. Zwillingslamellierung ist spärlich und nur verschwommen, zonarer Aufbau gelegentlich wahrnehmbar. Innen sind sie zonenweise meist stark umgewandelt in Sericit und Epidot. Resorptionserscheinungen sind an den Plagioklasen verbreitet, wobei der Quarz auch runde Löcher im Innern ausfüllt.

Quarz bildet lappig-verzahnte Aggregate mit gebrochen-undulöser Auslöschung.

Der *Biotit* ist lichtgrünlichgelb bis grünlichbraun, vergesellschaftet mit Epidot (Pistazit und Zoisit). Sagenitgewebe sind nicht selten. Vereinzelt um epidotartige Kerne sind verschwommene Halos bis 0,022 mm Breite.

Reichlich ist der *Muscovit,* doch gegenüber *Biotit* untergeordnet; beide sind oft parallel der Basis verwachsen.

Apatit ist ziemlich selten; *Erze* fehlen bis auf kleinste Spuren. *Epidote*-Pistazit und Zoisite- sind reichlich vorhanden, z. T. als primäre Bildungen.

Chemisch ist dieses Gestein noch nicht untersucht.

Elektrometrische Meßresultate.

I. An Gesteinspulvern.

Die α-satte Gesteinspulverfläche betrug wie früher[5]) 67 cm², das Pulvergewicht 18 g, die Kapazität des Elektrometersystems 4 cm, der Inhalt der zylindrischen Ionisationskammer 1 Liter.

[4]) Vierteljahresschrift Naturf. Ges. Zürich, 1916, pag. 155.

[5]) Diese Zeitschrift, Bd. IV, 1924, und Bd. V, 1925.

	Ionisationseffekt ESE
Diorit von Alp Punteglias	$<$ 0,5
Granit vom Gliemsstöckli	1,0
Granit von Val Rusein	0,7
Monzonite vom Gliemsstöckli	0,5

II. An Gesteinslösungen.

Es wurden 20 g Gesteinspulver mit 110 g Natriumkaliumkarbonat (3 : 1) geschmolzen. Nach etwa 20 Minuten war die Schmelze völlig im Fluß, wonach diese noch weitere 40 Minuten auf Siedetemperatur blieb. Wie früher (l. c.) wurde eine alkalische und eine saure Lösung von gewöhnlich 500—600 ccm hergestellt. Wird der Schmelzkuchen so lange in destilliertem Wasser bei normaler Temperatur belassen, bis er völlig zerfallen ist, was bei öfterm Umrühren in 2—3 Wochen der Fall ist, dann ist die durch Doppelfilter filtrierte alkalische Lösung fast frei von Emanationen.

Meßmethoden, Apparaturen und Eichpräparate blieben die frühern. Die gewonnenen Resultate sind in der nachfolgenden Tabelle vereinigt.

Östliches Aarmassiv	Radium pro g Gestein $\times 10^{-12}$ g	Uran pro g Gestein $\times 10^{-5}$ g	Thorium pro g Gestein $\times 10^{-5}$ g	Verwendete Substanzmenge g	Ionisations effekt an den Gesteinspulvern in stat. Einheiten $\times 10^{-5}$ Pulverfl. 67 cm²
Diorit von Alp Puntaiglas	2.6	0,75	$<$0,5	20,00	$<$ 0,5
Monzonit-Syenit vom Gliemsstöckli Typus 1	2.0	0.6	—	„	0.5
„ 2	2.0	0.6	1.7	„	0.5
„ 3	1.5	0.4	0.95	„	0.5
Granit vom Gliemsstöckli	2.2	0.6	4.5	„	1.0
Granit vom Val Rusein	2.0	0.6	2.2	„	0.7

Diskussion der Resultate.

Im Band IV dieser Zeitschrift, pag. 86 und ff., sind einige Punkte erörtert worden, welche wir hier einbeziehen werden.

Das Aarmassiv im weitern Sinne ist petrogenetisch ziemlich kompliziert. Obwohl die auftretenden Eruptivgesteine im allgemeinen den neuern Auffassungen über die Differentiation der Magmen entsprechen, gibt es doch viele unter ihnen, die zufolge

verschiedener Metamorphosen (Kontakt- und Dynamometamorphosen) schwer zu deuten sind.

Noch schwieriger gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Gehalt an radioaktiven Stoffen zur Klärung petrogenetischer Fragen herangezogen werden soll, indem die Gegenwart genannter Stoffe von verschiedenen, teilweise noch wenig studierten Vorgängen abhängig ist. Aus dem Nachfolgenden ergeben sich die Komplikationen, welche der Interpretation des Gehaltes an radioaktiven Stoffen entgegentreten. Man wird ferner erkennen, daß in einem Massiv wie das Aarmassiv noch viel systematisches Studium notwendig ist, um radioaktive Meßresultate petrogenetisch auszuwerten. Was bis dahin an diesen Untersuchungen getan ist, kann nur als erste Orientierung dienen.

Über den Chemismus der Intrusivgesteine des Aarmassivs orientieren besonders die Arbeiten von *P. Niggli:* Chemismus der zentralen Aargranite[6]) und die Gesteins- und Mineralprovinzen,[7]) auf welche verwiesen wird.

Die Intrusionsverhältnisse im Aarmassiv, sowie die dabei wirksam gewesenen pneumatolytisch-hydrothermalen Wirkungen alpiner Granitintrusionen finden namentlich in den Studien von *E. Hugi*[8]) eine zusammenfassendere, klare Darstellung.

Die bisherigen geologischen Aufnahmen im Aarmassiv haben zu folgender Sukzession der Intrusionen während dem Carbon geführt[9]):

I. Intrusion der nördlichen Granite, unteres Carbon: Erstfeldergranitgneis, zwischen Unter- und Ober-Carbon: Innertkirchnergranit, Gasterngranit.

II. Intrusion der gabbroiden, dioritischen, granodioritischen und syenitischen Differentiationen.

III. Intrusion des Zentralgranits (Ober-Carbon).

---

[6]) Diese Zeitschrift, Bd. IV, pag. 337—351, und Petrographische Provinzen der Schweiz, Vierteljahresschrift Naturf. Ges. Zürich, LXIV, 1919.

[7]) Verlag von Gebr. Borntræger, 1923.

[8]) E. Hugi, Das Aarmassiv ein Beispiel alpiner Granitintrusion. Verh. der Schweiz. Naturf. Ges. , Bern 1922.

Pneumatolytisch-hydrothermale Wirkungen alpiner Granitintrusionen. Eclogae Helvetiae, Vol. XVI, No. 4, 1921.

[9]) Siehe auch J. Kœnigsberger: Erläuterungen zur geolog. und mineralog. Karte des östlichen Aaremassivs, 1910, und: Zum Alter der Gneismetamorphose in den Alpen und deren Beziehung zum Carbon. Geolog. Rundschau, Bd. XVIIa, 1926.

Unter III. werden auch die sog. südlichen Granite einbezogen, welche als Wiwannigranit (Granit de Baltschieder) und südlicher Grimselgranit bezeichnet sind. Allgemein wird ferner angenommen, daß die unter II. aufgeführten Magmatypen Differentiate der letzten großen Intrusionsperiode darstellen. Beispielsweise denkt man sich den Syenit kaum erstarrt, als die Intrusion des Aargranits erfolgte.

Diese aus den geologischen Beobachtungen im Aarmassiv sich ergebende Intrusionsreihe würde sich also mit unsern Erfahrungen und Anschauungen über den Differentiationsverlauf der Magmen decken. Eine solche normalerweise zu erwartende Differentiationsreihe ist indessen im Aarmassiv nur vereinzelt zu begegnen (man vergleiche westliches und östliches Aarmassiv). Für die große Lückenhaftigkeit können aber nicht ausschließlich die tertiären tektonischen Vorgänge und die Erosion verantwortlich gemacht werden. Die physikalischen Bedingungen zur Zeit der Differentiation und Intrusion werden auch kaum im ganzen Bereich des jetzigen Aarmassivs die gleichen gewesen sein, wodurch die Differentiation regional gewissen Änderungen unterworfen war. Was über das ganze, beinahe 100 km sich erstreckende, zentrale Massiv außergewöhnlich einheitlich erscheint, ist nur der, das endgültige Restmagma darstellende, typische Aargranit in seiner chemischen und petrographischen Homogenität.

Aus rein geologisch-petrographischen Gründen sollen die auf radioaktive Substanzen untersuchten Gesteine in verschiedene Gruppen zerlegt werden:

1. Zentraler Aargranit	a) saure Randfacies	(1—3, 8, 16, 17)
	b) normaler Typus	(4, 6, 7, 7a, 9, 10, 11)
	c) nicht normale Typen infolge Einschmelzungen, Injektionen usw.	(12—14, 15 z. T., 18—20)
2. Südlicher Granit		(21, 22)
3. Nördliche Granite		(23, 24, 25)
4. Syenitische Gesteine		(26, 27, 28)
5. Diorit		(29)

Die syenitischen und dioritischen Gesteine lassen sich auf der Skizze nur in zwei größern Vorkommen andeuten.

Es würde einen schönen Erfolg der radioaktiven Messungen bedeuten, so der Gehalt der Gesteine an Uran/Thorium mit gewissen geologischen Beobachtungen und Anschauungen, ferner mit den petrochemischen bezw. petrogenetischen Auffassungen in Über-

einstimmung gebracht werden könnte. Beispielsweise einmal, daß gewisse miteinander petrographisch und chemisch übereinstimmende Intrusivmassen geologisch verschiedener Zonen auch Übereinstimmung zeigten im Gehalt an radioaktiven Stoffen, oder daß jedem Differentiat eines Magmaherdes eine bestimmte Menge an radioaktiven Substanzen zukäme. In beiden Fällen würden sich Möglichkeiten auftun, aus dem Gehalt an genannten Substanzen dort Entscheide geologisch-petrographischer Art zu treffen, wo andere Beobachtungsmethoden mit Unsicherheiten zu kämpfen haben.

Vielleicht, daß die radioaktiven Stoffe eines Gesteins auch in der wichtigen Frage, in welcher Tiefe ein Magma zur Differentiation gelangt, oder aus welcher Tiefe es emporstieg, Auskunft zu geben vermögen. Namhafte Geophysiker sind nämlich der Ansicht, daß die radioaktiven Stoffe im Durchschnitt nur bis etwa 16 Kilometer Tiefe in ähnlicher, mittlerer Menge vorkommen können wie in den Oberflächengesteinen, da sonst der Wärmeverlust der Erde nach außen überkompensiert würde durch die radioaktive Wärmeproduktion, die Erde folglich sich mehr und mehr erhitzen müßte. Hier wäre es also sehr wichtig, Beweise erbringen zu können, daß gewisse hochradioaktive Eruptivgesteine aus bedeutend größern Tiefen wie 16 km hervorgebrochen sind. Es scheint, daß unsere alpinen Intrusivmassen geeignet sind, derartige Beweise zu liefern. (Vergleiche z. B. Faltungstiefgang und tertiäre Granitintrusion im Bergell: *Rud. Staub*,[10]) *Alb. Heim*[11]).)

Sämtliche radioaktiven Meßresultate sind nunmehr hier in einer Tabelle vereinigt im Zusammenhang mit einer geologisch-petrographischen Skizze. Außer den eigenen Meßresultaten sind auch die von *Joly*[12]) und *Poole*[13]) an Gesteinen des Gotthard- bezw. Lötschbergtunnels ermittelten Ra/Th-Werte wiedergegeben, ebenso zwei Meßresultate, welche unter Leitung des Verfassers von Herrn *W. Hügly*[14]) gewonnen wurden.

Außer den Radium-Uran- und Thoriumwerten ist, soweit chemische Analysen vorliegen, auch der Gehalt an K_2O, SiO_2, CaO und MgO mitberücksichtigt worden.

---

[10]) Rud. Staub, Über Gesteinsmetamorphosen in Graubünden. Vierteljahresschrift der Naturf. Ges. Zürich, 1920.

[11]) Alb. Heim, Geologie der Schweiz, und: Die Gipfelflur der Alpen. Neujahrsblatt der Naturf. Ges. Zürich auf das Jahr 1927.

[12]) l. c.

[13]) l. c.

[14]) W. Hügly, Petrogr.-geolog. Untersuchungen im östlichen Aarmassiv, zwischen Wendenjoch-Wassen-Erstfeld. Diss., Bern, 1927.

Nro. der Skizze	Gestein und Fundort	Pro g Gestein: Ra 10^{-12} g X	U 10^{-5} g X	Th 10^{-5} g X	K_2O %	SiO_2 %	CaO %	MgO %
1	Bietschhorngranit vom Jägihorn[15]	8.2[16]	2.4	2.3 3.3	4.55	74.35	.92	.24
2	Aargranit bei Gletsch[15]	6.4	1.9	1.3	5.13	75.39	.53	.07
3	„ Grimselpaßhöhe[15]	6.0	1.8	1.2				
4	„ Rätherichsboden, Grimselstraße[15] . .	5.3	1.6	2.4	4.64	73.48	1.31	.21
5	„ Gelmergasse, Grimselstraße[15] . .	7.5	2.2	2.0	4.35	77.04	.58	.02
6	„ Handeckfall, Grimselstraße . . .	4.6	1.3	1.4(?)	5.38	73.88	1.00	.33
7	„ Schwarzbrunnenbrücke, Grimselstraße .	4.2	1.2	2.4	—	—	—	—
7a	„ Tschingelbrücke, Grimselstraße . .	4.4[17]	1.3	2.7	—	—	—	—
8	„ Mittagfluh, Grimselstraße . . .	12.1	3.6	2.1	5.12	73.79	.45	.04
9	„ Am Bühl bei Göschenen, Reußtal[15] .	4.2	1 2	1.8	5.29	71.00	1.82	.11
10	„ Waßner Wald bei Gurtnellen, Reußtal[15]	4.7	1.3	1.6	5.08	73.20	1.02	.07
11	„ Station Gurtnellen, Reußtal . . .	4.7	1.3	—	—	—	—	—
12	„ Grimselpaßhöhe (Resorptionszone) .	12.9	3.8	0 9	—	—	—	—
13	„ Gneis südlich Grimselsee . . .	9.1	2.7	0.6(?)	4.69	65.46	3.14	.50
14	„ Spitallamm (porphyrartig), Grimselstraße	7.2	2.1	0.9	3.08	64.65	3.26	1.10
15	„ Gotthardtunnel[18]	5.0 8.5	1.4 2.5	1.7 2.0	—	—	—	—
16	„ Aplitische Randfacies, Grub, Gornerental (Reußtal)	7.6	2.2	—	—	—	—	—
17	„ Apophysen in kristallinen Schiefern, Disentis (Rheintal)	10.5 8.8	3.1 2.6	—	—	—	—	—
18	„ nicht normaler, Val Rusein (Rheintal) .	2.0	0.6	2.2	—	—	—	—
19	„ Gliemsstöckli, Punteglias-Gletscher	2.2	0.6	4.5	5.81	68.21	1.86	.58
20	„ „Puntegliasgranit“ bei Truns . . .	5.4	1.6	4.4	5.29	66.08	3.33	2.56
21	„ „Wiwannigranit“, Baltschiedertal (Wallis)[15]	3.7	1.0	1.3	4.59	72.65	1.49	.13
22	„ „Wiwannigranit“, zwischen Gletsch und Oberwald[15]	2.8	0.8	1.3	3.83	71.90	1.47	.91
23	„ „Gasterngranit“, Lötschbergtunnel, 7020 m vom N-Portal	4.1	1.2	1.4	4.06	67.74	1.79	1.21
23a	„ „Gasterngranit“, Lötschbergtunnel[19] .	2.4	—	—	—	—	—	—
24	„ „Innertkirchnergranit“, bei Innertkirchen	4.8	1.4	1.7	3.47	66.88	1.73	2.67
25	„ Erstfeldergranitgneis, Bergsturz Erstfeld	2.5	0.7	—	4.05	64.89	2.67	1.85
26	Biotithornblendesyenit (Lamprosyenit), zwischen Gletsch und Oberwald[15]	7.4	2.1	1.4	5.72	47.47	4.68	11.34
27	Kalisyenit, Piz Giuf	10.6[20] 22.2	3.1 6.5	2.8 —	7.54	59.58	4.74	4.19
28	Biotithornblendesyenite (Monzonite), Gliemsstöckli	2 2[21]	0.6	0,9; 1.5	3 48	53.65	6.90	6.00
	Puntegliasgletscher	2.0	0.6	—	3.22	49.25	7.48	13.84
29	Diorit, Alp Punteglias bei Truns	2.6	0.8	unter 0.5	1.20	49.04	8.80	5.50

[15]) Chemische Analyse und Ra/Th-Bestimmung von derselben Gesteinsprobe.

[16]) [17]) Zwei identische Resultate zweier Gesteinsproben.

[18]) 5.0 bezw. 1.4 Mittelwert von 5 Gesteinen 0—1000 m vom N-Portal, 8.5 bezw. 2.5 Mittelwert von 6 Gesteinen 1000—1900 m vom N-Portal nach *Joly*.

[19]) Mittel aus 6 Werten max. 2.9, min. 2.0. Gesteinsproben aus 4235—6415 m vom N-Portal nach *Poole*.

[20]) Mittel aus 4 Bestimmungen.

[21]) Mittel aus 2 ähnlichen Meßresultaten.

Wie stellen sich nun die radioaktiven Resultate zu den eben gemachten Darlegungen, was können wir von ihnen erwarten? Wir haben oben gesagt, daß nur die den Namen Aargranit tragende Intrusivmasse eine große Einheitlichkeit zeigt. Folglich läßt sich auch erwarten, daß die Verteilung der radioaktiven Stoffe darin eine einheitliche sei. Immerhin müssen im Aargranit doch noch unterschieden werden: normale, zentrale Facies, randliche saure Facies und letzte, saure Teilintrusionen in die normale Facies. Machen wir diese Ausscheidungen, so kommt in die radioaktiven Werte etwelche Ordnung. Bietschhorngranit (Tabelle No. 1), südlicher Grimselgranit (2, 3), Mittagfluhgranit (8), gewisse Proben aus dem Gotthardtunnel (15), aplitische Randfacies Grub (16), ferner die apophysischen Intrusionen bei Disentis (17) entsprechen der sauren Randfacies des Aargranits. Die hohen Ra-Werte liegen zwischen 7,6 und 12,9 $\times 10^{-12}$.

Der Granit von der Gelmergasse (5) ist eine saure Teilintrusion bezw. saure Differentiation innerhalb dem normalen Aargranit, sein Ra-Gehalt ist hoch (7,5 $\times 10^{-12}$), ebenso auch der Thoriumgehalt (2,0 $\times 10^{-5}$), welch letzterer allerdings auch vom normalen Granit erreicht wird.

Der normale Aargranit (4, 6, 7, 9, 10, 11), ebenso der Gastern- und Innertkirchnergranit der nördlichen Intrusivzone (23, 24) haben einen auffällig einheitlichen Ra-Gehalt (Mittel 4,8 $\times 10^{-12}$), während der Thoriumgehalt größere Schwankungen aufweist (1,2—2,7 $\times 10^{-5}$).

Hohe Ra-Werte (Mittel 8,4 $\times 10^{-12}$, max. 11,1, min. 6,1) zeigt die Zone, welche sich südlich dem normalen Granit anlegt, in welcher größere Einschmelzungen von basischen Vorläufern der Hauptintrusion (III) oder deren veränderte Produkte und verschiedenartige Injektionen anzutreffen sind (12, 13, 14 und Gotthardtunnel 1000—2000 m vom N-Portal).

Hinsichtlich Ra-Wert schließt sich der Puntegliasgranit (20) dem normalen Aargranit an, indessen erreicht der Th-Wert eine abnormale Höhe (4,4 $\times 10^{-5}$).

Niedrig im Ra-Wert sind die beiden südlichen Granite (21, 22), 2,8 und 3,7 $\times 10^{-12}$. Der erstere Wert nähert sich dem des Erstfeldergranits (25).

Von den kalireichen, syenitischen Gesteinen — Kalisyenit von Piz Giuf (27) und Lamprosyenit zwischen Gletsch und Oberwald (26) — sind die Ra-Werte 10,6—22,2 bezw. 7,4 $\times 10^{-12}$ ge-

funden worden, im erstern Gestein überdies einen hohen Th-Wert ($2{,}8 \times 10^{-5}$).

Die kaliärmern Monzonite (28) im Puntegliasgebiet haben auffällig niedern Ra-Gehalt ($2{,}0-2{,}2 \times 10^{-12}$), normaler ist dagegen der Ra-Wert ($2{,}6 \times 10^{-12}$) für den basischen Diorit (29) dieses Gebietes.

Aus der Norm für Ra- und Th-Werte, im Vergleich zum Aargranit im engern Sinn, fallen die beiden Granite 18 und 19 im östlichen Aarmassiv. Ihre niedern Ra-Werte 2,0 und $2{,}2 \times 10^{-12}$ zeigen Übereinstimmung mit den Monzoniten, ihre hohen Th-Werte von 2,6 und $4{,}5 \times 10^{-5}$ erinnern dagegen mehr an den syenitischen Puntegliasgranit.

Die höchsten Th-Werte des Aarmassivs liefert mithin dessen östlicher Teil. Die reichlich entwickelte magmatische Differentiation in diesem Teil des Massivs kommt auch in sehr variablen Werten an radioaktiven Substanzen zum Ausdruck.

Zusammenfassung.

Eine größere Zahl wohldefinierter, in mächtigern Massen auftretende Intrusivgesteine des Aarmassivs wurden auf radioaktive Stoffe untersucht. Diese Untersuchungen beschäftigen sich speziell mit der Frage, ob die Verteilung dieser Stoffe in den Eruptivgesteinen magmagenetischen Vorgängen entspricht.

Es zeigte sich, daß nur der normale Aargranit (Facies engadinitisch mit Anklang an aplitische), wie er beispielsweise zwischen Spitallamm und Tschingelbrücke an der Grimselstraße und dem Nordportal vom Gotthardtunnel und Gurtnellen im Reußtal auftritt, einen einheitlichen, relativ hohen Gehalt an Uran/Radium besitzt, dem sich auch Granite der nördlichen Intrusivzone — Gasterngranit und Innertkirchnergranit — anschließen. Die saure Randfacies und die sauersten Differentiate des Aargranits haben einen noch höhern Gehalt an U/Ra wie der normale Aargranit.

Die höchsten und auch die niedrigsten U/Ra-Gehalte weisen die basischen Differentiate (normalsyenitischen, syenitgranitischen, lamprosyenitischen, monzonitischen) des aargranitischen Stammmagmas auf.

Unter der Norm für den Aargranit im engern Sinne liegen die Werte des U/Ra-Gehaltes bei den Graniten der südlichen Intrusionszone (z. B. Wiwannigranit), den sauren Graniten des östlichen Teils des Aarmassivs und beim Erstfeldergranitgneis.

Der Thoriumgehalt der aarmassivischen Intrusiva ist höchst veränderlich und kann vorläufig keine auffällige Gesetzmäßigkeit konstatiert werden. Bemerkenswert jedoch ist, daß die granitischen Gesteine im östlichen Aarmassiv die höchsten Thoriumwerte aufweisen, bis $4{,}5 \times 10^{-5}$.

Die Uran-Thoriummineralien treffen wir erfahrungsgemäß in den sauren Restmagmen angereichert, innerhalb welchen sie zu den Erstausscheidungen gehören. (Von den sekundären Anreicherungen durch hydrothermale Prozesse wird hier abgesehen.) Eine Anreicherung dieser Ausscheidungen kann aber auch — aus dem Gehalt basischer Gesteine an radioaktiven Elementen zu schließen — dort sich vollziehen, wo bereits erstarrte Magmafraktionen in größern Tiefen mit dem sauren Restmagma in Berührung bleiben, teilweise chemisch verändert und ummineralisiert werden. Bei einer teilweisen oder gänzlichen Einschmelzung (Assimilation) fördern gewisse Kerne die Ausfällung obgenannter Erstausscheidungen. So können schließlich auch kieselsäurearme Gesteine außergewöhnlich reich an radioaktiven Stoffen werden. (Kalisyenit von Piz Giuf, Puntegliasgranit, Grimselgranite zwischen Spitallamm und Totensee u. s. w.) Das aargranitische Restmagma ist verhältnismäßig reich an Kalium, sodaß auch die von diesem metamorphosierten Nebengesteine reich an Kalium sind. Allgemein finden wir daher im Bereich des intrusiven Aarmassivs und dessen Kontaktzonen eine enge Beziehung zwischen dem Kaliumgehalt und dem Gehalt an radioaktiven Elementen der Uran-Thoriumreihe. Da Kalium ein β-Strahler ist, wird dieses auch selbst zu den radioaktiven Elementen gerechnet. Daß in den Eruptivgesteinen hoher Kaliumgehalt fast ausnahmslos mit großen U/Th-Werten verknüpft ist, und zwar unabhängig vom Si-Gehalt, kann nicht ein Zufall sein, es liegen vielmehr genetische Ursachen dahinter.

Das Uran und seine Verbindungen sind in ihrem chemisch-physikalischen Verhalten etwas anders wie das Thorium und seine Verbindungen und vielleicht dürfte besonders die im allgemeinen größere Löslichkeit der erstern für deren größere Mobilität bestimmend sein. Die Gegensätze, welche sich in der Verteilung von Uran und Thorium bezw. in deren Folgeprodukten in den verschiedenen Gesteinen auftun, müssen noch abgeklärt werden. Die öfters auf Grund der sehr verschiedenen Lebensdauer von Thorium und Uran, oder der Annahme einer Abstammung des Thoriums von Uran geforderten relativen Mengenverhältnisse dieser beiden Urelemente, wird man aus verschiedenen Gründen nicht in den vor-

liegenden Eruptivgesteinen oder in den Gesteinen überhaupt erwarten wollen. Wir werden in einer spätern Arbeit über die sekundären Anreicherungen der radioaktiven Substanzen in den alpinen Intrusiva berichten, um die quantitativen Beziehungen zwischen Uran und Thorium zu beleuchten.

Die radioaktiven Messungen im Aarmassiv lassen sich zur Aufklärung des Differentiationsverlaufs des aarmassivischen Stammmagmas erst dann wirklich auswerten, wenn der Gehalt an radioaktiven Stoffen homologer Gesteinsserien anderer Magmaherde bekannt sein wird. Bei der Neuheit dieses Gebietes ist dies begreiflich. Es läßt sich aber im Voraus vermuten, daß die radioaktiven Messungen zur Lösung einer Hauptaufgabe mitwirken werden, darin bestehend, die Beziehungen zu ergründen zwischen geologisch-tektonischem Verhalten eines Erdrindenstückes und den innerhalb diesem sich abspielenden Differentiationen.

Im Aarmassiv weisen die Messungen vorläufig dahin, daß die dort vorliegenden Eruptivgesteine nicht immer ein normales Differentiat eines Stammagmas sind, vielmehr einzelne Eruptivmassen das Produkt aus Assimilation, bezw. Kontaktmetamorphismus in großen Tiefen, durch ein saures Restmagma darstellen. Dies gilt besonders für die Zone, in welcher der Puntegliasgranit, Giufsyenit, die syenitischen Gesteine der Schöllenen und die Gesteine zwischen Spitallamm und Totensee an der Grimsel liegen. Ähnliche Zonen wiederholen sich im Gebiet der nördlichen Granitintrusionen, ferner in der Injektionszone zwischen Gletsch und Oberwald u. s. w.

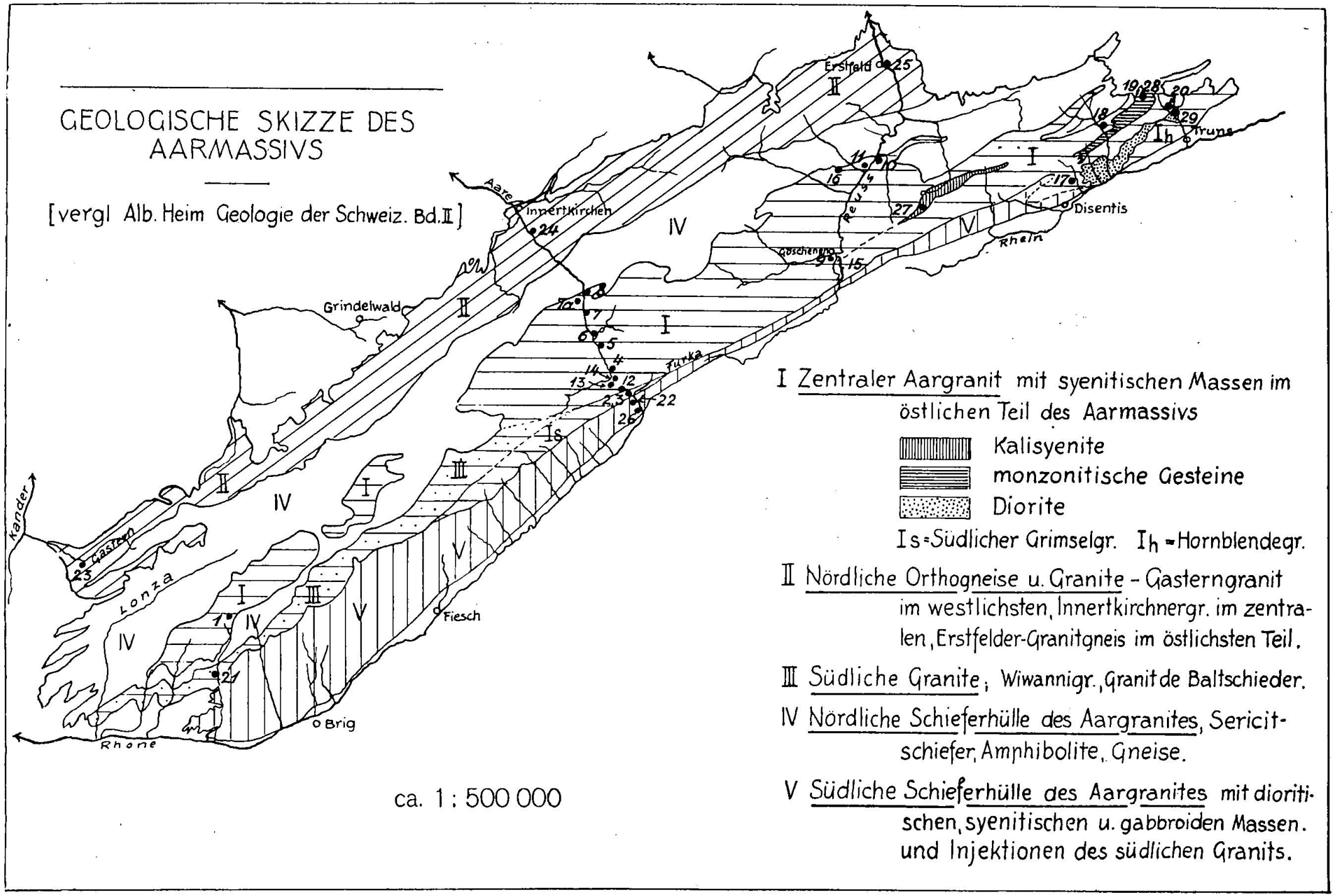
Das Alpenmassiv war auch während der Karbonperiode, im Verband mit den verschiedenen Intrusionen, größern Hebungen und Senkungen unterworfen, welche auf die petrogenetische Gestaltung der verschiedenen Eruptivgesteine mitbestimmend waren. Wie z. B. von *Rud. Staub*[1]) für das tertiäre Bergellermassiv dargelegt wurde, können bei solchen tektonischen Vorgängen verschiedenartige Gesteine wieder in eine Tiefe mit Schmelztemperatur gelangen, wo sich Reaktionen mit dem dort vorhandenen Magma ereignen.

Daß mit dem Gehalt an radioaktiven Stoffen also auch der ganze Fragenkomplex über die Genese des Gesteins in Beziehung steht, braucht nicht noch weiter betont zu werden. Es ist jedenfalls schade, wenn die zeitraubenden radioaktiven Messungen ausgeführt und veröffentlicht werden, ohne auch auf die oft sehr wechselvolle Genese des Gesteins und dessen chemische und mikroskopische Eigentümlichkeiten orientierend hinzuweisen. Einfach

werden die Verhältnisse wohl nur mitten eines großen Intrusivkernes sein, wo vornehmlich die Differentiation bestimmend wirkte.

Noch sehr viele und noch systematischere Untersuchungen wie die vorliegenden werden notwendig sein, um die Verteilungsgesetze der radioaktiven Substanzen zu ergründen. Und besonders wichtig wird es sein, solche Untersuchungen innerhalb und außerhalb tektonisch hergenommener Erdrindenteile (Orogenen), ferner an Gesteinsprovinzen verschiedenen Alters durchzuführen. Werden diese Untersuchungen mit den jeweiligen Erfahrungen in der Petrogenese verbunden, so sollten sich Resultate erzielen lassen, die, wie schon oben angedeutet, ihrerseits befruchtend auf die Petrogenese zurückwirken sollten. Schließlich werden sie auch in der Aufsuchung radioaktiver Erze leitend sein können, worüber Beispiele (Bergell in der Schweiz, Colorado, U. S. A. u. a. m.) schon vorliegen.

Spiez, April 1927.


GEOLOGISCHE SKIZZE DES AARMASSIVS
[vergl Alb. Heim Geologie der Schweiz. Bd. II]
Aare
Innertkirchen
Grindelwald
Erstfeld
Reuss
Göschenen
Turtmann
Rhein
Disentis
Truns
Kander
Gastern
Lonza
Fiesch
Brig
Rhone
ca. 1 : 500 000
I Zentraler Aargranit mit syenitischen Massen im östlichen Teil des Aarmassivs
Kalisyenite
monzonitische Gesteine
Diorite
Is = Südlicher Grimselgr. Ih = Hornblendegr.
II Nördliche Orthogneise u. Granite - Gasterngranit im westlichsten, Innertkirchnergr. im zentralen, Erstfelder-Granitgneis im östlichsten Teil.
III Südliche Granite; Wiwannigr., Granit de Baltschieder.
IV Nördliche Schieferhülle des Aargranites, Sericitschiefer, Amphibolite, Gneise.
V Südliche Schieferhülle des Aargranites mit dioritischen, syenitischen u. gabbroiden Massen. und Injektionen des südlichen Granits.