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

Band: 48 (1968)

Heft: 1: Symposium "Zone Ivrea-Verbano"

Artikel: Rb-Sr- und Pb-Isotopen-Bestimmungen an Gesteinen und Mineralien der Ivrea-Zone

Autor: Graeser, S. / Hunziker, J.C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-37761

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: 09.07.2025

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

Rb-Sr- und Pb-Isotopen-Bestimmungen an Gesteinen und Mineralien der Ivrea-Zone

Von *S. Graeser* und *J. C. Hunziker* (Bern)*)

Mit 7 Figuren und 4 Tabellen im Text

Abstract

Rb-Sr and Pb-isotope determinations have been carried out on rocks and minerals from the Ivrea zone, Southern Alps. The Pb-isotope measurements of trace lead from basic and ultramafic rocks yield strong evidence that these rocks originate in the upper mantle. The peridotite from Finero and the metagabbro from Anzola as well as the amphibolite from Nibbio have identical lead isotope abundances of $Pb^{206}/Pb^{204} = 18.10$, $Pb^{207}/Pb^{204} = 15.40$, $Pb^{208}/Pb^{204} = 37.60$. Isotope mixtures prove that during the gabbro intrusion a lead diffusion occurred from the gabbro into the host rock (stronalithe) at least as far as 6 meters.

The Rb-Sr-isotope measurements date three geological events: For the sedimentation period of the host rock (stronalithe) we determined a maximum age of about 1000 m. y. A metamorphic event was dated with 310 m. y. A biotite age of 185 m. y. indicates a rejuvenation. A minimum age of about 300 m. y. was estimated for the gabbro intrusion. A diffusion of CaO, Na_2O, Sr and Pb as a possible consequence of the intrusion is demonstrated. The thermal history of the Ivrea zone is discussed.

Einleitung

Die vorliegende isotopengeologische Arbeit ist gedacht als Beitrag zur Klärung der petrogenetischen Geschichte der Ivrea-Zone.

Schon Artini und Melzi (1900), V. Novarese (1906), ferner S. Franchi (1906), um nur die hauptsächlichsten zu nennen, hatten zu Anfang des 20. Jahrhunderts die Vorgeschichte der Ivrea-Zone in grossen Zügen erarbeitet.

Nach diesen Autoren ist die Anlage der Ivrea-Zone vortriadisch. Die wohl sicher permischen Quarzporphyre durchsetzen in der Gegend von Biella die Granite des Seengebirges. Andererseits ist der Granit von Quarna jünger als die Gneise und Kinzigitgneise der Strona-Zone und der Ivrea-Zone. Die basi-

*) Mineralogisch-petrographisches Institut, Alterslabor, Universität Bern.

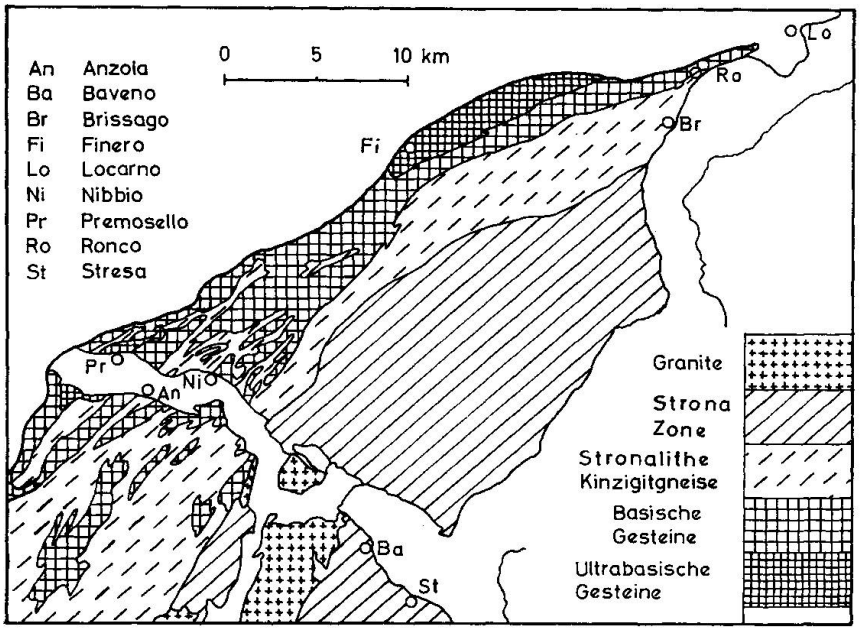

Fig. 1. Petrographisch-tektonische Übersichtsskizze nach: Geol. Generalkarte der Schweiz 1 : 200000, modifiziert nach P. Vogt 1962, B. Reinhard 1966 und R. Schmid 1967.

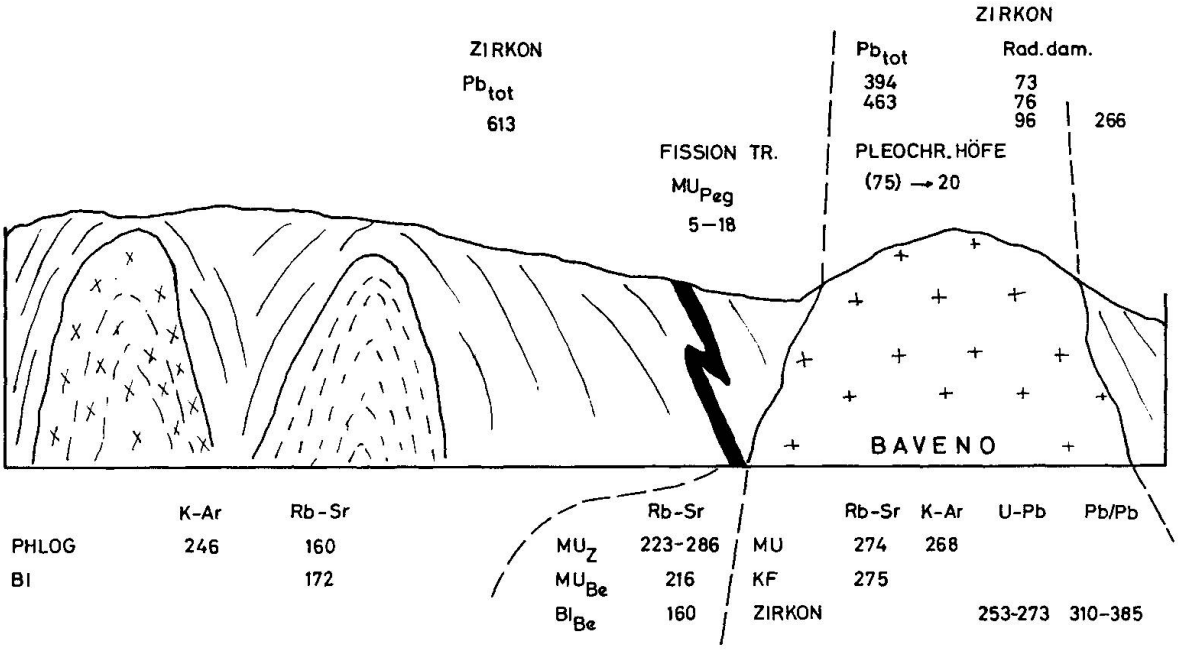

Fig. 2. Schematisches Profil durch die Ivrea-Zone mit Alterswerten (m. y.) aus der Literatur.

schen Gesteine wechseln z. T. lagenweise mit Kinzigitgneisen und Stronalithen ab, so dass man für die ganze Serie auf prätriadisches Alter schloss (Fig. 1 + 2).

Staub (1949) interpretiert die Ivrea-Zone als alpine Wurzelzone und nahm für die Granite von Baveno und Mont'Orfano tertiäres Alter an. Nach P. Walter (1950) stellen die basischen Gesteine der Ivrea-Zone Ophiolithe dar.

J. SCHILLING (1957) deutet den Gabbro von Anzola als magmatisches, synkinematisch intrudiertes herzynisches Gestein mit granoblastischer Struktur.

Versuchen wir auf Grund von isotopengeologischen Daten etwas zur Klärung des Problems zu sagen, müssen wir uns zunächst die früheren Altersarbeiten in Erinnerung rufen.

Der sicherlich best untersuchte Körper der Zone ist der Granitstock von Baveno/Mont'Orfano (siehe Fig. 1 + 2).

JÄGER und FAUL (1959, 1960) finden mit Rb-Sr und K-Ar Altersbestimmungen an Glimmern und Kalifeldspat um 270 m. y. PASTEELS (1964) findet an Zirkonen des Baveno-Granits schwach diskordante U-Pb-Alterswerte von ebenfalls 270 m. y. Die höheren Pb-Pb-Alterswerte von 385 m. y. am Mont' Orfano-Granit interpretiert PASTEELS als zum Teil ererbtes Blei. DEUTSCH, PICCIOTTO und NIGGLI (1958) bestimmen an diesen Graniten mit der Methode der pleochroitischen Höfe einen Alterswert von 75 m. y., bezogen auf 30 m. y. beim Elba-Granodiorit. FERRARA, HIRT, MARINELLI und TONGIORGI (1961) erhielten allerdings mit der Rb-Sr-Methode für den Elba-Granodiorit nur 7 m. y.; damit erniedrigt sich der Alterswert für Baveno auf ungefähr 20 m. y. Im Gegensatz dazu stellt PASTEELS (1960) am alpin geschonten Habkern-Granit mit pleochroitischen Höfen ein Alter von 300 m. y. fest. Daraus geht deutlich hervor, dass der Granit von Baveno alpin noch etwas mitgemacht hat.

BUCHS et al. (1962) machten an Zirkonen Altersbestimmungen nach der Gesamtbleimethode. Sie fanden für den Baveno- und Mont'Orfano-Granit 394 und 463 m. y., für einen Strona-Gneis 613 m. y. Es handelt sich bei diesen Messungen nicht um Isotopenbestimmungen; die Alterswerte mögen durch Bleiverlust und gewöhnliches Blei verfälscht sein. Mit der Strahlenschadenmethode an Zirkonen findet CHESSEX (1964) an denselben Graniten 73, 76 und 96 m. y., an einem Strona-Gneis 266 m. y. Diese Methode reagiert empfindlich auf jüngere Einflüsse. HANSON et al. (1966) finden an Pegmatit-Glimmern der Dervio-Olgiasca-Zone K-Ar-Alterswerte von 200—240 m. y. Die zum Teil höheren Rb-Sr-Alter interpretieren diese Autoren als Verfälschung durch hohes Anfangsstrontium in diesen Pegmatiten. JÄGER et al. (1967) datiert mit Rb-Sr den Muskowit eines Pegmatits von Brissago mit 216 m. y. und den Biotit eines Pegmatits von Ronco mit 160 m. y.

Mit der "fission track"-Methode finden MILLER und JÄGER (1968) durchwegs Alterswerte zwischen 5 und 18 m. y., auch am Muskowit von Brissago wurde ein junger Alterswert gefunden. Dies deutet wieder auf eine alpine Beeinflussung in diesem Gebiet.

Der Phlogopit aus dem Peridotit von Finero wurde von KRUMMENACHER et al. (1960) mit K-Ar auf 246 ± 4 m. y. bestimmt. JÄGER (1962) fand mit Rb-Sr am Phlogopit von Finero 160 ± 100 m. y. und an einem Biotit aus dem Amphibolit von Albo/Nibbio 172 ± 13 m. y. (Albo/Nibbio wurde als eine spätere Phase interpretiert).

Blei-Isotopen-Messungen

a) Methodisches

Die geringen Bleimengen der Gesteine wurden nach dem von MASUDA (1962) entwickelten Verfahren gewonnen. Dazu wird das fein gemahlene Gesteinsmaterial mit 5% ultrareinem Kohlepulver gemischt und in einem Quarzrohr 1 Stunde lang unter Vakuum auf 1000° C ausgeheizt. Das dabei verdampfende Blei setzt sich an einem wassergekühlten Kühlfinger ab und wird von diesem in heisser Salpetersäure (2%ig) abgelöst. Hierauf wird das Blei in Gegenwart von KCN extrahiert. Die Extraktion mit Dithizon gestattet dann eine ungefähre Abschätzung der Blei-Ausbeute. In Tab. 1 sind die kolorimetrisch ermittelten Blei-Gehalte zusammengestellt.

Tabelle 1. *Kolorimetrisch geschätzte Blei-Konzentrationen*

KAW Nr.	Gestein, Lokalität	Pb-Konzentration (ppm)
81	Phlogopit-Peridotit, Finero	0,8
446b	Gabbro, Anzola, W	0,3
446a	Gabbro, Anzola, Zentrum	0,4
446	Gabbro, Anzola, E	0,4
488	Amphibolit, Nibbio	0,4
447	Stronalith, Anzola, 2 m W Kontakt	2,4
478	Stronalith, Anzola, 6 m W Kontakt	0,5
471	Stronalith, Anzola, 300 m W Kontakt	5
487	Gabbronorit, Premosello	2,5

Das extrahierte Blei wurde als PbS auf ein Re-Bändchen aufgetragen und mit dem Atlas CH 4-Massenspektrometer gemessen (vgl. GRAESER, 1968). Die zur Messung verwendeten Blei-Mengen lagen zwischen 3 und 20 μg.

Im Falle der Bleimessungen von basischen und ultrabasischen Gesteinen sind dabei folgende Überlegungen von Bedeutung:

1. Falls sämtliches Uran im Zirkon konzentriert ist, und bei dem Verdampfungsprozess kein radiogenes Zerfalls-Blei aus dem Zirkon herausgeholt würde, erhielte man die Ausgangszusammensetzung des Spurenbleies, das ursprüngliche μ-Verhältnis (U^{238}/Pb^{204}), und das Modellalter würde den Zeitpunkt der Intrusion datieren.

2. War hingegen das Uran nicht ausschliesslich im Zirkon konzentriert, und wurde bei der Evaporisation zudem noch radiogenes Blei, das infolge geologischer Vorgänge aus dem Zirkon herausdiffundiert ist, ausgedampft, so erhält man ein Blei, aus dessen Isotopen-Zusammensetzung ein verjüngtes Modellalter resultiert, dessen μ-Wert jedoch nur unwesentlich erhöht worden ist.

Tabelle 2. *Blei-Isotopen-Zusammensetzungen von Gesteinen der Ivrea-Zone*

KAW Nr.	Gestein, Lokalität	gemess. Menge, μ g	$\frac{Pb^{206}}{Pb^{204}}$	$\frac{Pb^{207}}{Pb^{204}}$	$\frac{Pb^{208}}{Pb^{204}}$	Modell-alter in Mio Jahren	μ	κ
81	Peridotit, Finero	~15	18,08	15,41	37,78	160	8,93	3,97
446	Gabbro, Anzola, E	3—4	18,11	15,40	37,62	120	8,91	3,88
446a	Gabbro, Anzola, Zentr.	2—3	18,1	15,4	37,5			
488	Amphibolit, Nibbio	8—10	18,09	15,40	37,61	140	8,92	3,88
447	Stronalith, Anzola (2 m NW v. Kontakt)	~10	18,37	15,56	38,59	130	9,20	4,20
478	Stronalith, Anzola (6 m NW v. Kontakt)	4—5	18,37	15,55	38,57	120	9,17	4,19
471	Stronalith, Anzola (300 m NW v. Kontakt)	15—20	18,66	15,72	39,39	120	9,47	4,41
487	Gabbronorit, Premosello	10—12	18,62	15,55	38,43	−70	9,15	3,98

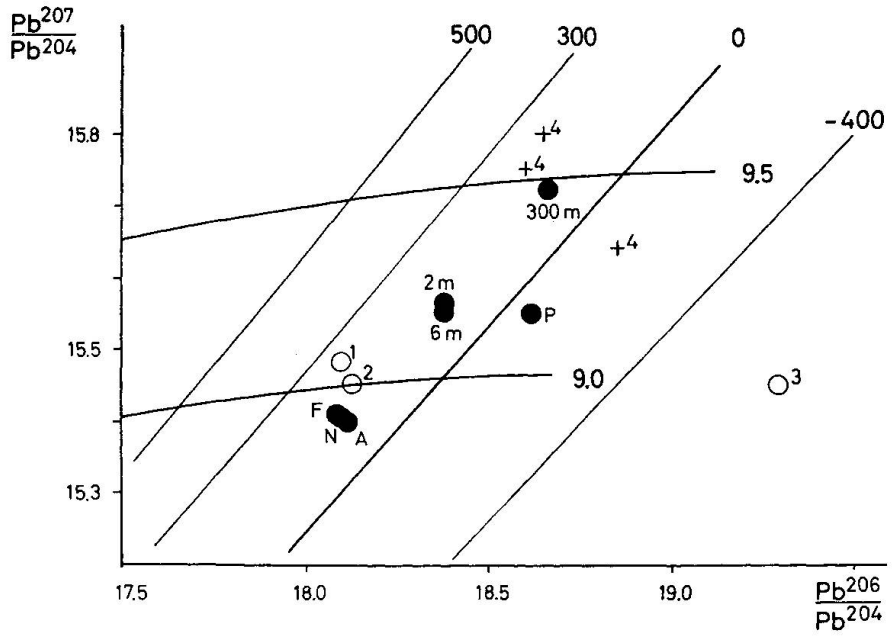

Fig. 3. Houtermans Diagramm für gewöhnliches Blei. A = Gabbro von Anzola, F = Peridotit von Finero. N = Amphibolit von Nibbio, P = Gabbronorit von Premosello. 3 Proben der Stronalithe mit Angaben der Entfernung vom Kontakt (2 m, 6 m, 300 m), 1, 2, 3 siehe Tabelle 3. 4 = Blei aus Feldspäten des Baltimore-Gneises.

Die verhältnismässig jungen Modellalter für die basischen und ultrabasischen Gesteine (die nach dem HOUTERMANS-Diagramm berechnet wurden) lassen vermuten, dass für unseren Fall die zweite Variante zutrifft (Tab. 2, Fig. 3).

Für das Blei aus dem Nebengestein des Gabbros von Anzola, die Stronalithe, gilt — mit gewissen Vorbehalten — das oben gesagte. Auch hier wurde bei dem Evaporisationsprozess teilweise radiogenes Blei mitextrahiert, daher die jungen Modellalter. Ähnliche Verjüngungen der Blei-Modellalter konnten häufig festgestellt werden. DOE et al. (1965) fanden zum Beispiel, dass Blei aus Feldspäten präkambrischer Gneise bei Baltimore, Maryland, in der Folge einer paläozoischen Metamorphose völlig verjüngt wurden, während die Rb-Sr-Alter überhaupt nicht beeinflusst wurden. Der Einfluss des Zirkon-Bleies auf das Blei der Stronalithe dürfte gering gewesen sein. Nimmt man an, dass die Gesteine ca. 100 ppm Zirkon enthalten, die Zirkone sehr uranreich waren und sämtliches Blei abgegeben hätten, so würde dies den Messwert um höchstens 0,5% verändern. Der μ-Wert wurde dabei wohl nur unwesentlich verändert und ist charakteristisch für ein Blei der oberen Kruste.

b) Resultate

Die Blei-Isotopen-Zusammensetzungen von einigen basischen und ultrabasischen Gesteinen der Ivrea-Zone sind in Tab. 2 aufgeführt. Die gemessenen Werte lassen einige sehr wichtige Tatsachen erkennen:

1. Der Peridotit von Finero, der Gabbro von Anzola und der Amphibolit von Nibbio lieferten identische Blei-Isotopen-Zusammensetzungen des Spuren-Bleies.

2. Die Isotopen-Zusammensetzungen von Spuren-Blei der basischen und ultrabasischen Gesteine von Anzola und Finero zeigen alle ein spezielles Charakteristikum: die Werte für das Isotopen-Verhältnis Pb^{207}/Pb^{204} sind ausserordentlich niedrig im Vergleich zu demjenigen von Pb^{206}/Pb^{204}. Zudem sind die μ-Werte ($= U^{238}/Pb^{204}$ heute) bedeutend niedriger als sie z. B. für gewöhnliche Bleiglanze bestimmt wurden. μ-Zahlen (nach dem HOUTERMANS-Modell) für Blei aus Bleiglanzen verschiedenen Alters liegen fast ausschliesslich bei Werten über 9,3, während unsere Spuren-Bleie bei ca. 8,9 liegen (vgl. Fig. 3).

3. In 300 m Entfernung vom Kontakt mit dem Gabbro-Körper wurde in den Stronalithen bei Anzola ein Blei gefunden, das zwar stark verjüngt ist, dessen μ-Wert von 9,47 aber gut übereinstimmt mit den Werten, wie sie für gewöhnliches Krusten-Blei üblich sind.

4. Der Gabbronorit von Premosello könnte ursprünglich ein ähnliches Blei besessen haben wie die Gesteine von Finero und Anzola, das jedoch stark durch radiogenes Blei verunreinigt worden ist. Darauf deutet schon die relativ hohe Blei-Konzentration von ca. 2,5 ppm.

c) *Geologische Bedeutung*

Die ausserordentlich gute Übereinstimmung der Blei-Isotopen-Zusammensetzung der Gesteine von Finero, Anzola und Nibbio lässt auf eine sehr enge Verwandtschaft schliessen. Man kann daraus auch folgern, dass für den Amphibolit von Nibbio eine Genese als Para-Amphibolit nicht in Frage kommt.

Tabelle 3. *Blei-Isotopen-Zusammensetzungen basischer und ultrabasischer Gesteine*

Hualalai-Basalt, Hawaii	1*)	18,09	15,48	37,90	TILTON et al. (1956)
Plateau-Basalt, Idaho	2*)	18,12	15,45	38,08	PATTERSON et al. (1955)
Olivin-Bombe, Hawaii	3*)	19,29	15,45	37,95	TILTON et al. (1954)
Diopsid aus San Bernardino California		19,16	15,46	37,78	aus: RUSSEL and FARQUHAR (1960)
Olivin-Bomben Dreiser Weiher Deutschland	3a	19,43	15,30	37,38	

*) Vgl. Fig. 3 und 4.

Die etwas ungewöhnlichen Blei-Isotopen-Zusammensetzungen dieser Gesteine stellen keinen Einzelfall dar; man findet in der Literatur eine ganze Anzahl von ähnlichen, z. T. praktisch identischen Werten. Einige dieser Werte aus der Literatur sind in Tab. 3 zusammengestellt. Es wird allgemein angenommen, dass diese Gesteine nicht von der Erdkruste, sondern höchstwahrscheinlich vom oberen Mantel abstammen (TILTON et al. 1963). Die Entstehung solch ungewöhnlicher Isotopen-Zusammensetzungen ist problematisch. Sicher ist, dass man sie nicht einfach als Mischwerte mit radiogenem Blei erklären kann, weil in diesem Fall auch das Verhältnis Pb^{207}/Pb^{204} hätte erhöht werden müssen (und der μ-Wert normal sein müsste). Unserer Meinung nach liegt der Hauptgrund in der Uran-Armut der basischen und ultrabasischen Gesteine (sowie des oberen Mantels überhaupt). TILTON et al. (1963) geben für Peridotite eine mittlere Uran-Konzentration von 0,006 ppm an gegenüber 4,0 ppm in Graniten.

Erstaunlich ist vor allem die weltweite Ähnlichkeit der Blei-Isotopen-Verhältnisse dieser Gesteine, speziell der Verhältnisse Pb^{207}/Pb^{204} und Pb^{208}/Pb^{204}. In Fig. 4 wurden diese beiden Isotopen-Verhältnisse gegeneinander aufgetragen; in dieser Darstellung kommen die Blei-Isotopen-Zusammensetzungen von Gesteinen, die vermutlich aus dem oberen Mantel stammen, in ein engbegrenztes Feld zu liegen (vgl. Fig. 4).

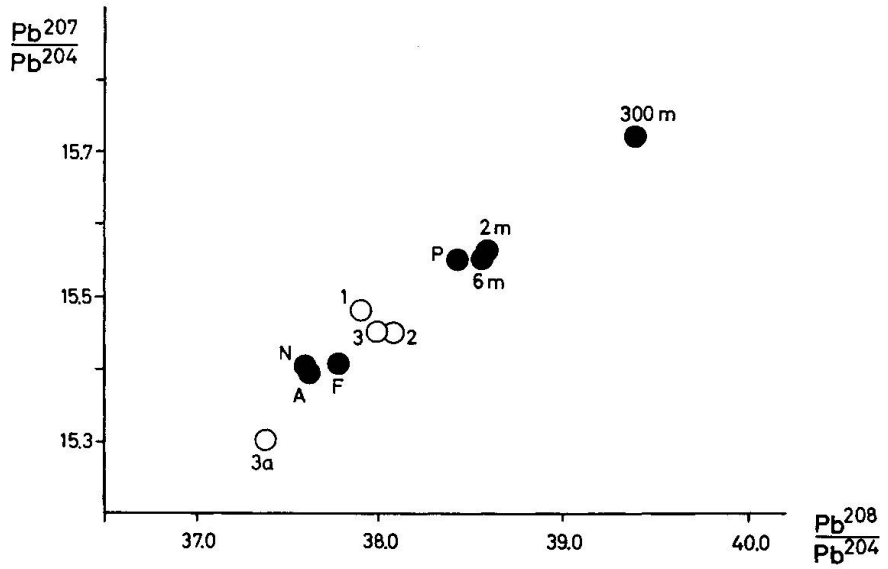

Fig. 4. Diagramm des Verhältnisses Pb 207/Pb 204 gegen Pb 208/Pb 204. Das Feld der vermutlichen Mantelbleie liegt unten links. Legende siehe Fig. 3.

Die Blei-Isotopen-Werte lassen noch folgende Feststellung zu: die früher mehrfach geäusserte Ansicht, dass der Gabbro von Anzola unter katametamorphen Bedingungen aus einem Mergel entstanden sei (HUTTENLOCHER, 1942) fällt dahin, da die in der Literatur angeführten Bleimessungen an Mergeln und anderen Sedimenten durchaus normale Isotopen-Zusammensetzungen und μ-Werte zeigen.

In den Stronalithen lässt sich in Kontaktnähe mit dem Gabbro eine eindeutige Kontaminierung durch das Gabbro-Blei feststellen. Wir nehmen an, dass die Isotopen-Zusammensetzung des Bleies in 300 m Entfernung vom Kontakt (KAW 471) unbeeinflusst geblieben ist (vgl. hiezu DOE et al. 1963). Aus diesem Blei und dem Gabbro-Blei lassen sich die Isotopen-Zusammensetzungen von KAW 447 (2 m Entfernung vom Kontakt) und KAW 478 (6 m Entfernung) berechnen, und zwar erhält man diese Werte durch Mischungen im Verhältnis von ungefähr 1 : 1. Aus den stark verschiedenen Blei-Konzentrationen der beiden Stronalith-Proben (KAW 447 = 2,4 ppm; KAW 471 = 0,5 ppm) ist die Abnahme der Blei-Zufuhr mit steigender Entfernung vom Gabbro-Körper abschätzbar. Diese Blei-Wanderung erfolgte übrigens nur in Richtung vom Gabbro ins Nebengestein und nicht in umgekehrtem Sinn, wie eine Blei-Messung aus dem Zentrum des Gabbro-Körpers beweist: die Isotopen-Zusammensetzung des Bleies vom Zentrum des Gabbros ist identisch mit derjenigen des Bleies vom Rande.

Der Gabbronorit von Premosello besass ursprünglich wohl ein Blei mit ähnlicher Isotopen-Zusammensetzung wie die Gesteine von Finero und Anzola. Da das Gestein jedoch ziemlich stark verschiefert ist und von Mylonitgängen durchzogen wird (SCHILLING, 1957), wurde sein Spurenblei stark kontaminiert.

Der niedere μ-Wert dieses Bleies lässte ebenfalls noch eine Verwandtschaft mit demjenigen der übrigen basischen und ultrabasischen Gesteine vermuten.

Rb-Sr-Isotopenmessungen

a) Resultate

Nach einer ersten Sondierung an über 100 Vorproben aus vier Profilen durch die Ivrea-Zone wurde das Hauptgewicht der Untersuchungen auf die Kontakte des Gabbros von Anzola gelegt. Die Rb-Sr-Verhältnisse waren auch hier noch recht ungünstig; wir hatten somit einen grossen Absolutfehler auf der einzelnen Bestimmung, jedoch versprach die Gesamtgesteins-Isochronenmethode genauere Resultate. Die drei Grossproben (je ca. 40 kg) in einer Entfernung von 2 m, 300 m und 500 m nordwestlich vom Kontakt Gabbro/Strona-

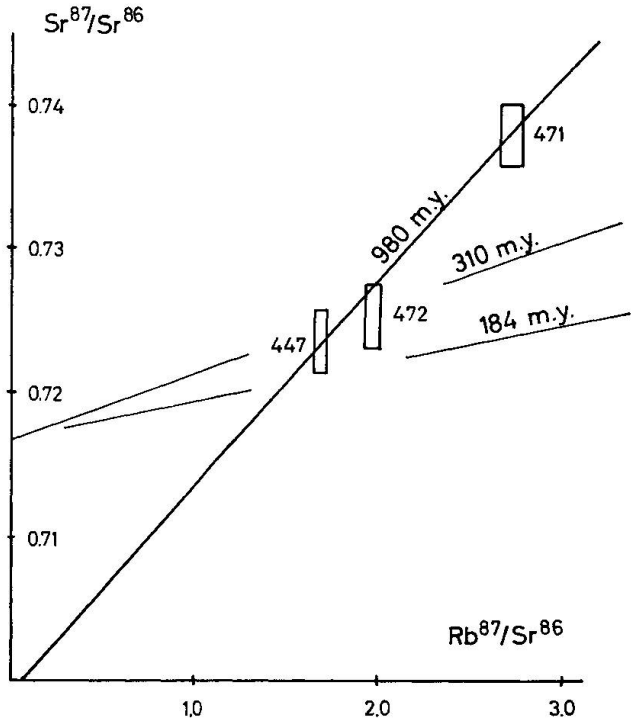

Fig. 5. Nicolaysen-Diagramm der 3 analysierten Stronalith-Grossproben.

lith gaben für sich allein keinen genauen Alterswert. Auf dem Nicolaysen-Diagramm aufgetragen, kann man eine Gerade durch die drei Punkte ziehen (siehe Fig. 5), welche bei 0,698 die Ordinate schneidet und ein Maximalalter von 980 m. y. ergibt. Wegen der relativ niederen Rb-Sr-Verhältnisse kann die Gerade jedoch auch anders gelegt werden; dies würde ein höheres Anfangsstrontium und einen niedrigeren Alterswert liefern. Das Anfangs-Sr 87/Sr 86-Verhältnis von 0,698 stellt den niederst möglichen Wert dar, und damit hat die Gerade die Bedeutung eines Maximalalters. Da wohl kaum Zweifel an der sedimentären Natur der Stronalithe vorliegen, kann man dieses Maximalalter

verschieden interpretieren. Als Alter des Hinterlandes vor der Sedimentation bei Vorwiegen klastischer Gemengteile im Sediment oder als Alter der Sedimentation bei Vorwiegen pelitischer Gemengteile. Auf alle Fälle bedeutet dieser Alterswert das Maximalalter der Sedimentation; neutral ausgedrückt können wir die rund 1000 m.y. als Maximalalter der chemischen Bildung des Gesteines interpretieren.

Die starke Bänderung der Stronalithe versprach mit der Gesamtgesteinsisochronenmethode weitere Resultate. Zunächst wurde das Problem in der von Nicolaysen seit 1961 benutzten und von ALLSOPP, ULRICH und NICOLAYSEN (1967) und VON KROGH et al. (1967) beschriebenen Methode in Angriff genommen.

2 bis 7 m nordwestlich des Kontaktes des Gabbros von Anzola wurden in gebänderten Stronalithen Proben entnommen und teilweise in 1 cm dünne Scheiben geschnitten, so dass 10 Proben entstanden. An diesen 10 Proben wurden Gesamtgesteins-Rb-Sr-Messungen ausgeführt. Die auf Grund des normalen Anfangs-Strontiums (Sr 87/Sr 86 = 0,709) berechneten Alter streuen zwischen 385 m.y. und 1600 m.y. Auf dem Nicolaysen-Diagramm (Fig. 6) erhalten wir eine mehr oder weniger lineare Anordnung der 10 Punkte. Acht der zehn analysierten Proben liegen auf der nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate ermittelten Geraden. Diese Gerade definiert einen Alterswert von 310 m.y. und ein Anfangsstrontium von 0,717. Das im Vergleich zu den Grossproben stark erhöhte Anfangsstrontium zeigt uns schon allein, dass wir nicht

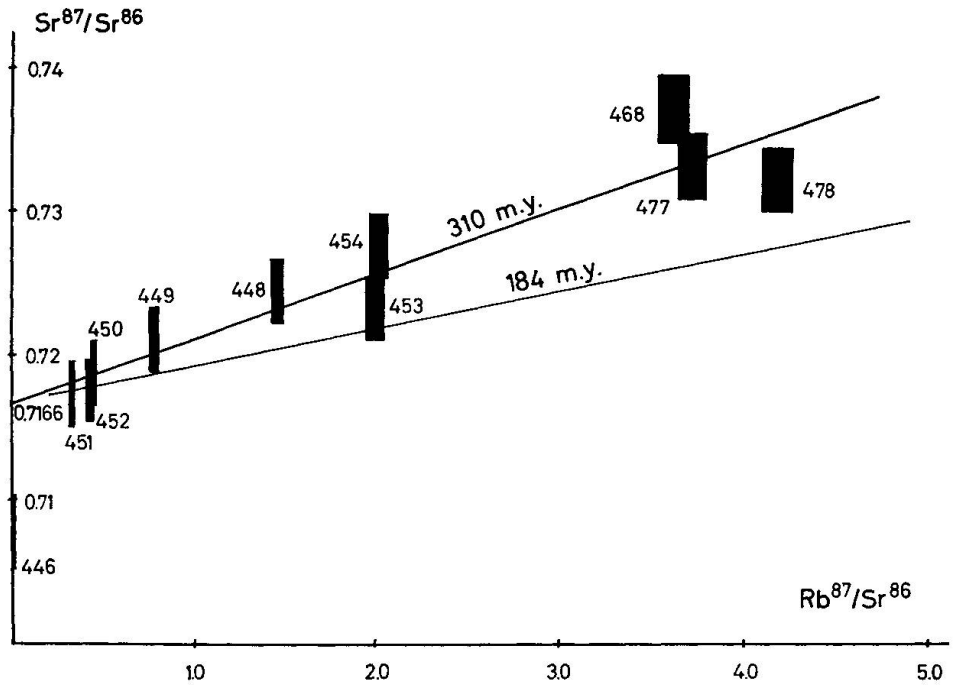

Fig. 6. Nicolaysen-Diagramm der 10 analysierten Stronalith-Scheiben, sowie der daraus stammenden Biotite.

Tabelle 4. *Rb/Sr Analysenresultate und Alterswerte an Mineralien und Gesteinen der Ivrea-Zone*

KAW Nr.	m vom Kontakt	Gestein, Lokalität	Mineral	Rb^{87} ppm	Sr^{87*} ppm	% rad	Sr comm ppm	Alter in Mio Jahren	Sr^{87}/Sr^{86}	Rb^{87}/Sr^{86}	Korr. Alter in Mio Jahr.
472	500	Stronalith, Anzola	Gesamt-Gest.	22,6	0,185	2,2	118	555 ± 500	0,7252	1,9730	
471	300	,, ,,	,,	33,8	0,357	3,9	128	715 ± 370	0,7379	2,7285	980
447	2	,, ,,	,,	23,6	0,200	2,0	143	575 ± 585	0,7235	1,6945	
448	2,1	,, ,,	,,	20,0	0,206	2,1	142	695 ± 680	0,7244	1,4510	
449	2,1	,, ,,	,,	14,6	0,225	1,7	192	1040 ± 1260	0,7212	0,7824	
450	2,1	,, ,,	,,	9,2	0,193	1,3	207	1410 ± 2170	0,7187	0,4518	
451	2,1	,, ,,	,,	13,0	0,310	1,1	390	1600 ± 2890	0,7172	0,3423	
452	2,1	,, ,,	,,	9,5	0,202	1,3	226	1290 ± 2500	0,7175	0,4357	
453	2,1	,, ,,	,,	23,8	0,204	1,9	148	580 ± 595	0,7233	1,9959	310
454	2,3	,, ,,	,,	22,1	0,144	2,5	113	440 ± 355	0,7276	2,0187	
477	4	,, ,,	,,	33,0	0,212	3,3	91,5	440 ± 270	0,7332	3,7189	
478	6	,, ,,	,,	25,7	0,145	3,2	63,4	385 ± 240	0,7325	4,1669	
468	7	,, ,,	,,	33,3	0,259	3,8	131	530 ± 275	0,7371	3,6051	
447	2	,, ,,	Biotit	180	0,490	20,6	27,3	185 ± 15	0,8976	66,185	
		,, ,,	,,	181	0,498	21,1	27,0	187 ± 16			184
448–454	2—2,3	,, ,,	,,	182	0,502	34,7	13,7	187 ± 9	1,0860	136,45	
446	—	Gabbro, Anzola	Gesamt-Gest.	0,15	—	—	129	—	0,7083	0,012	—
484	—	Pegmatit, Candoglia	Muskowit	118	0,410	42,2	2,33	236 ± 10	1,229	521,24	—

die primäre Bildung des Gesteins datieren, sondern ein Metamorphoseereignis, welches eine Neueinstellung der Rb- und Sr-Isotopen im Gestein bewirkte.

Ein drittes Ereignis konnten wir mit einem Biotit aus der Stronalith-Grossprobe 2 m vom Kontakt (KAW 447) datieren und mit einem Biotit aus der gebänderten Probe 2,1—2,3 m vom Kontakt (KAW 448—454). Diese Biotite ergaben ein Alter von 186 und 187 m. y. Korrigiert mit dem Anfangs-Strontium (Sr 87/Sr 86 = 0,717), das vor 310 m. y. in diesen Gesteinen existierte, ergibt das ein Alter von 184 m. y. (siehe Fig. 5 und 6). Ein Alterswert von 172 ± 13 m. y. wurde auch bereits im Amphibolit von Albo/Nibbio gefunden. Wir interpretieren daher die rund 180 m. y. als Alter eines geologischen Ereignisses und nicht als Mischalter.

Als unabhängiges Problem wurde noch der Muskowit aus einem Pegmatit der Gangfolge des Baveno-Mont'Orfano-Granits datiert. Der Muskowit-Turmalin-Granat-Beryll-Pegmatit ist auf dem Strässchen von Candoglia nach den Marmorbrüchen aufgeschlossen. Der Muskowit ergibt ein Alter von 236 ± 10 m.y. Der Altersunterschied von 35 m.y. zum Baveno-Granit ist erstaunlich und kann vorläufig noch nicht interpretiert werden, passt aber gut zum Alter des Muskowits von Brissago und denjenigen aus der Dervio-Olgiasca-Zone.

b) Interpretation

Wir fassen den Meta-Gabbro als ursprünglich magmatisches Gestein auf, was neben der petrographischen Evidenz den Bleimessungen am besten gerecht wird. Dies steht auch nicht im Widerspruch zu den Sr-Messungen am Gabbro von Anzola. P. M. Hurley (1968) gibt für das heutige Mantel-Sr 87/Sr 86-Verhältnis einen Wert von 0,7035. Berechnet man das Sr 87/Sr 86-Verhältnis des Gabbros von Anzola mit den von Hurley verwendeten Konstanten, so ergibt sich ein Wert von 0,707. Da unsere Messungen nicht bezogen sind auf den von Hurley verwendeten Standard, ist diese Differenz nicht signifikant.

Die zeitliche Einordnung der Gabbro-Intrusion bleibt nach wie vor problematisch. Wir fanden in den Stronalithen ein Maximalalter von 1000 m. y., ein Metamorphosealter von 310 m.y. und eine Verjüngung in den Biotiten von 184 m.y. Der Gabbro könnte irgendwann zwischen der Sedimentation der Stronalithe und der herzynischen Metamorphose vor 310 m.y. eingedrungen sein, er könnte auch gleich alt sein wie die Metamorphose. Die Möglichkeit, dass der Gabbro jünger ist als die herzynische Metamorphose, eventuell 180 m. y., muss verneint werden, da die kontaktnahen Stronalithscheiben ihre „Erinnerung" an die herzynische Metamorphose sonst nicht behalten hätten. Das Rb-Sr-System hätte sich bei der Intrusion neu eingestellt. Der Gabbro muss also vor mindesten 310 m. y. intrudiert sein.

Um diesen Fragenkomplex näher zu beleuchten, wurden Ca-, Na- und K-Bestimmungen an sämtlichen Proben vorgenommen. Die Resultate sind auf

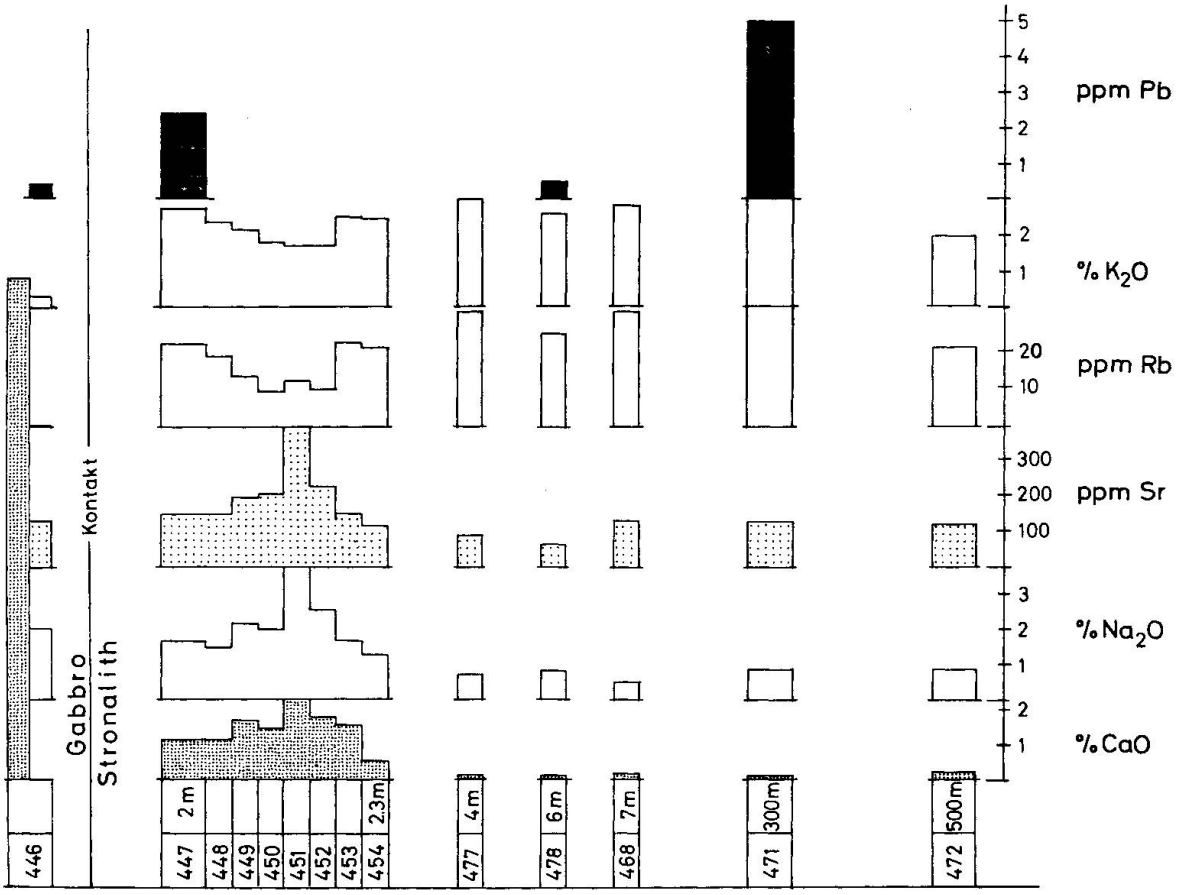

Fig. 7. CaO, Na_2O, K_2O, Sr, Rb^{87}, Pb — Variationsdiagramm der Gesteinsproben von Anzola.

Fig. 7 aufgetragen. Bemerkenswert ist die Parallelität zwischen Sr, CaO, Na_2O und zwischen Rb, K_2O. Auffallend sind ferner die erhöhten Konzentrationen von CaO und Na_2O in den Stronalithen 2 m vom Kontakt, die bei CaO den zehnfachen Wert der übrigen Stronalithe, bei Na_2O den dreifachen Wert erreichen. Die entsprechenden Strontiumwerte zeigen diese Erhöhung nicht so deutlich. Unter Berücksichtigung des Ca/Sr-Verhältnisses im Gabbro und unter der Annahme einer Diffusion von Ca, Na und Sr aus dem Gabbro in die Stronalithe wird dies aber gut verständlich. Die Sr/CaO-Verhältnisse im Gabbro sind 10 ppm Sr / 1 % CaO, wo hingegen in den kontaktfernen 5 Stronalithen 500 ppm Sr / 1 % CaO im Durchschnitt vorhanden sind. Betrachtet man die Proben 2—2,3 m vom Kontakt, so stellt man fest, dass 100 ppm Sr / 1 % CaO vorhanden sind; ein Zwischenwert zwischen Gabbro und Normalstronalith. Wir haben somit einen starken Hinweis auf Diffusion von Sr zusammen mit Na_2O und CaO aus dem Gabbro in die Stronalithe. Diese Wanderung wurde wohl bedingt durch die Intrusion des Gabbros, gibt uns aber für die zeitliche Einstufung desselben keinen weiteren Hinweis.

Das Ereignis vor 310 m.y., das immerhin einem weitgehenden Sr-Austausch zwischen den einzelnen Stronalithscheiben bedingt, ist sicher verknüpft mit einer Metamorphose. Diese Metamorphose kann aber nicht mit einer Degranitisierung verknüpft werden, da sonst auch Grossproben ihr vormetamorphes Alter verloren hätten. Eine Degranitisierung vor 1000 m.y. kann erst diskutiert werden, wenn weitere Grossproben gemessen sind. Wir können auch mit den bisherigen Daten eine eventuelle ältere Metamorphose in den Stronalithen nicht ausschliessen.

Gestützt auf die gleichen Pb-Isotopenwerte des Peridotits von Finero und des Gabbros von Anzola kann man die Arbeitshypothese aufstellen, dass beide Gesteine aus dem oberen Mantel stammen und von dort in die Kruste intrudiert sind. Nimmt man weiterhin an, dass beide Gesteine auch gleichzeitig intrudiert seien, so hat man auch für den Peridotit von Finero ein Minimalalter von 310 m.y. wie beim Gabbro von Anzola. Vorläufige Rb-Sr-Messungen am Peridotit haben ein Maximalalter von 290 m.y. ergeben. An diesem Problem wird noch weiter gearbeitet.

Zusammenfassung

Gestützt auf kombinierte Rb-Sr- und Pb-Isotopenuntersuchungen kommen wir zu folgendem Entwicklungsschema für die Ivrea-Zone:

Die Sedimente, die heute als Stronalithe vorliegen, sind maximal 1000 m.y. alt. Die Sedimentation könnte eventuell von einer Degranitisation gefolgt sein. Eine ältere Metamorphose könnte in den Stronalithen vorhanden sein, sie konnte jedoch bisher nicht nachgewiesen werden. Die basischen und ultrabasischen Gesteine können nicht aus der Kruste stammen. Auf Grund der Pb-Isotopenmessungen ist eine Herkunft aus dem oberen Mantel wahrscheinlich.

Vor 310 m.y. erfolgte eine starke Metamorphose mit weitgehender Sr-Homogenisierung, die allerdings nicht als Degranitisation interpretiert werden kann. Die Intrusion der basischen Gesteine ist älter oder gleich alt wie diese Metamorphose.

Vor 270 m.y. erfolgte die Intrusion der Granite und Granodiorite (Baveno etc.).

Vor 180 m.y. wurde Biotit für Rb-Sr ein geschlossenes System (Abkühlung des Gesteinskomplexes auf ca. 300° C).

Vor 20 m.y. "fission track"-Alter und Alter der pleochroitischen Höfe.

Für die thermische Vorgeschichte können wir demnach zwei mögliche Extremfälle aufstellen.

1. Einmalige Erwärmung durch die Intrusion von Mantelmaterial und darauf folgende kontinuierliche Abkühlung bis in subrezente Zeit.
2. Mehrfache Aufheizungen infolge regionalmetamorpher Vorgänge (vor 310 m.y., 180 m.y., 20 m.y.), wobei sämtliche Übergänge möglich sind.

Zur Abklärung dieser Punkte sind wir dabei, an geeigneten Proben weitere Messungen auszuführen.

Die vorliegende Arbeit entstand in der unter der Leitung von Frl. Prof. E. Jäger stehenden Arbeitsgruppe am Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Bern. Frl. Prof. Jäger sind wir für Anregung, kritische Diskussion und Durchsicht des Manuskripts dankbar. Herrn Prof. Niggli danken wir ebenfalls für die Durchsicht des Manuskripts. Herrn Prof. Tilton verdanken wir den Hinweis auf die Blei-Evaporisationsmethode. Frl. E. Hiltbrand sind wir zu Dank für ihre Arbeit im Chemie-Labor verpflichtet. Der Schweiz. Nationalfonds und die Basler Forschungskommission ermöglichten durch ihre Beiträge das Entstehen dieser Arbeit. Herrn Moschini aus Ornavasso, dem Besitzer des Steinbruches vom Anzola, danken wir für seine grosszügige Unterstützung beim Sammeln der Proben.

Literatur

SMPM = Schweiz. Mineralog. u. Petrogr. Mitteilungen

ALLSOPP, H.L., T. Y. ULRYCH and L. O. NICOLAYSEN (1967): Dating some significant Events in the History of the Swaziland by the Rb-Sr Isochron-Method; Vortrag Edmonton Symposium on Geochronology 1967 (im Druck) in Canad. J. Earth Sci.

ARTINI, E. e G. MELZI (1900): Ricerche petrografiche e geologiche sulla Valsesia. R. Ist. lombard. Sci. e Lett., Cl. Sci. mat. nat. 18, 1986—1900.

BUCHS, A., R. CHESSEX, D. KRUMMENACHER et M. VUAGNAT (1962): Ages „plomb total" déterminés par fluorescence X sur les zircons de quelques roches des Alpes. SMPM 42/2.

CHESSEX, R. (1964): Déterminations d'âge sur les zircons de roches des Alpes et des Apennins par la méthode des „radiation damage", SMPM 44/1.

DEUTSCH, S., E. PICCIOTTO et E. NIGGLI (1958): Age des halos pléochroiques des granites de Baveno et Monte Organo. Experientia XIV/14.

DOE, B. R. and S. R. HART (1963): The effect of contact metamorphism on lead in potassium feldspars near the Eldora Stock, Colorado. J. Geophys. Res. 68, p. 3521—3530.

DOE, B. R., G. R. TILTON and C. A. HOPSON (1965): Lead isotopes in feldspars from selected granitic rocks associated with regional metamorphism. J. Geophys. Res. 70, p. 1947—1968.

GRAESER, S. (1968): Lead isotopes and minor elements in galenas and sulphosalts from Binnatal. Earth and Planet. Sci. Letters (in press).

FERRARA, G., B. HIRT, G. MARINELLI, E. TONGIORGI (1961): Primi risultati sulla determinazione con il metodo del rubidio-stronzio dell'età di alcuni minerali dell'Isola d'Elba.

FRANCHI, S. (1906): Appunti geologici sulla zona diorito-kinzigitica Ivrea-Verbano e sulla formazioni adiacenti. Boll. R. Com. Geol. d'Italia. XXX/VI, Roma.

HANSON, G. N., M. R. EL TAHLAWI and W. Weber (1966): K-Ar and Rb-Sr ages of pegmatites in the south central Alps. Earth and Planetary Sci. Letters 1, 407—413.

HOUTERMANS, F. G. (1947): Das Alter des Urans. Z. f. Naturf. 2a, p. 222.

HURLEY, P. M. (1968): Absolute abundance and distribution of Rb, K and Sr in the Earth. Geochim. et Cosmochim. Acta 32/3.

HUTTENLOCHER, H. (1942): Beiträge zur Petrographie des Gesteinszuges Ivrea-Verbano. Die gabbroiden Gesteine von Anzola. SMPM 22.

JÄGER, E. and H. FAUL (1959): Age measurements on some granites from the Alps. Bull. Geol. Soc. Amer. 70.

— (1960): Altersbestimmungen an einigen Schweizer Gesteinen und dem Granit von Baveno. SMPM, 40, 1.

JÄGER, E. (1962): Rb-Sr age determinations on Micas and Total Rocks from the Alps. J. Geophys. Res. 67/13.

JÄGER, E., E. NIGGLI und E. WENK (1967): Rb-Sr Altersbestimmungen an Glimmern der Zentralalpen. Beitr. geol. Karte Schweiz, NF, 134.

KROGH, T. E., G. L. DAVIS, L. T. ALDRICH and S. R. HART with A. STUEBER (1968): Geological History of the Grenville Province. Annual Report of the Director Geophys. Lab. Carnegie Inst., Year Book 1966/67.

KRUMMENACHER, D., J. F. EVERNDEN, M. VUAGNAT (1960): Sur l'âge absolu de la péridotite micacée de Finero (zone d'Ivrée). Arch. Sci Genève 13/3.

MASUDA, A. (1962): Experimental methods for determination of isotopic composition of lead in volcanic rocks. J. Earth Sci., Nagoya Univ. 10, p. 117—124.

MILLER, D., E. JÄGER (1968): Fission Track Ages of Some Swiss Alpine Micas (in press).

NOVARESE, V. (1906): La zona d'Ivrea. Boll. Soc. Geol. Ital. XXV.

PASTEELS, P. (1960): L'âge des halos pléochroiques du granite d'Habkern et de quelques roches du massiv de l'Aar. SMPM 40/2.

— (1964): Mesures d'âges sur les zircons de quelques roches des Alpes. SMPM 44/2.

PATTERSON, C., G. TILTON and M. INGHRAM (1955): Age of the Earth. Science 121/3134, p. 69—75.

REINHARDT, B. (1966): Geologie und Petrographie der Monte Rosa-Zone, der Sesia-Zone und des Canavese im Gebiet zwischen Valle d'Ossola und Valle Loana (Prov. di Novara, Italia). SMPM 46/2.

RUSSEL, R. D. and R. M. FARQUHAR (1960): Lead isotopes in Geology. Interscience Publishers, New York, London.

SCHILLING, J. (1957): Petrographisch-geologische Untersuchungen in der unteren Val d'Ossola. SMPM 37.

SCHMID, R. (1967): Zur Petrographie und Struktur der Zone Ivrea-Verbano zwischen Valle d'Ossola und Val Grande (Prov. di Novara, Italien). SMPM 47/2.

STAUB, R. (1949): Betrachtungen über den Bau der Südalpen. Eclogae geol. Helv. 42/2.

TILTON, G. R., C. Patterson and G. L. DAVIS (1954): Isotopic composition of lead in olivine bombs. Bull. Geol. Soc. America, 65/2, p. 1314—1315.

TILTON, G. R. and C. PATTERSON (1956): The isotopic composition of lead in ultramafic rocks (Abstract) Trans. Amer. Geophys. Union, 37, p. 361.

TILTON, G. R. and G. W. REED (1963): Radioactive heat production in eclogite and some ultramafic rocks. Earth Sci. and Meteoritics (dedication to Houtermans 60. birthday).

VOGT, P. (1962): Geologisch-petrographische Untersuchungen im Peridotitstock von Finero. SMPM 42/1.

WALTER, P. (1950): Das Ostende des basischen Gesteinszuges Ivrea-Verbano und die angrenzenden Teile der Tessiner Wurzelzone. SMPM 30.