

Paläomagnetische Untersuchungen in der Zone Ivrea-Verbano (Prov. Novara, Norditalien) : vorläufige Ergebnisse

Autor(en): **Heller, F. / Schmid, R.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **54 (1974)**

Heft 1

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-42195>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Paläomagnetische Untersuchungen in der Zone Ivrea-Verbano (Prov. Novara, Norditalien): Vorläufige Ergebnisse*)

Von *F. Heller***) und *R. Schmid****) (Zürich)

Mit 11 Figuren und 1 Tabelle im Text

Abstract

8 of 12 sites within the mafic and ultramafic metamorphites of the Ivrea zone carry stable components of natural remanent magnetization (NRM). The NRM directions, which always form an angle smaller than 45° relative to the layering of the rocks, are regionally different, thus suggesting a post-magnetization deformation of the zone. Presumably the zone already was steeply inclined during the time of magnetization. Furthermore, the NRM data of both the pre-Permian metamorphites and the Tertiary andesite near Biella indicate an anti-clockwise block rotation of the whole area investigated. In addition, the andesite layer has been tilted from an originally horizontal position to nearly vertical now.

A. EINFÜHRUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die paläomagnetische Untersuchungsmethode hat sich als brauchbares Mittel erwiesen, die Bewegung geologischer Körper nach ihrer Magnetisierung nachzuweisen. Es wurden bisher fast ausschliesslich datierbare, unmetamorphe Gesteine verwendet, da deren Entstehungsgeschichte besser überschaubar ist als diejenige metamorpher Gesteine. Wenn aber der vollständige Bewegungsablauf eines ursprünglich sehr tief liegenden, jetzt an der Erdoberfläche aufgeschlossenen Krustenteils ermittelt werden soll, ist man gezwungen, auch metamorphe Gesteine beizuziehen. Denn die allenfalls vorhandenen Eruptivgesteine sind meist zu einem viel späteren Zeitpunkt, also in den seit seiner Metamorphose eventuell bereits verstellten Krustenteil, intrudiert.

Solche Verhältnisse trifft man in der Zone von Ivrea-Verbano an. Diese

*) Mitteilung Nr. 87 aus dem Institut für Geophysik, ETH Zürich.

**) Inst. für Geophysik, ETH-Aussenstation Höggerberg, Postfach 266, 8049 Zürich.

***) Institut für Kristallographie und Petrographie, ETH, Sonneggstr. 5, 8006 Zürich.

Zone besteht fast ausschliesslich aus basischen und pelitischen Metamorphiten in Amphibolit- bis Granulitfazies. Die granulitfazielle Metamorphose dürfte sich aufgrund von Isotopenuntersuchungen an Monaziten und Zirkonen (KÖPPEL, 1974) sowie an granulitischen Metapeliten (GRAESER und HUNZIKER, 1968) vor mehr als 290 my abgespielt haben und vermutlich nicht älter sein als 450 my. Die bisher bekannten Glimmer- und Amphibolalter aus Ivreagesteinen variieren von 160 bis 250 my. Wir nehmen deshalb an, dass diese Gesteine vor mehr als 150 my über die 300°C-Isotherme herausgehoben wurden.

Bei der Interpretation der paläomagnetischen Messungen gehen wir von der Annahme aus, dass die Metamorphite eine thermoremanente Magnetisierung besitzen, deren Blockungstemperatur nahe unterhalb der Curietemperatur liegt. Da in metamorphen Gesteinen meist titanarmer Magnetit als hauptsächlichlicher Magnetisierungsträger zu finden ist, würde unter obiger Voraussetzung der Hauptmagnetisierungsprozess knapp unterhalb 600°C ablaufen. Wir rechnen deshalb damit, dass die Richtung der natürlichen Remanenz der Ivreagesteine einer präjurassischen, vermutlich paläozoischen Feldrichtung zuzuordnen ist. Eventuell mögliche Remagnetisierungsvorgänge in späterer Zeit können erst dann in Betracht gezogen werden, wenn experimentelle Aussagen über das Temperaturverhalten der remanenten Magnetisierung vorliegen.

Die phanerozoische Polwanderungskurve in bezug auf Europa wurde u. a. von SMITH et al. (1973) kompiliert und von BRIDEN et al. (1973) ergänzt. Für das Gebiet der Ivreazone ergeben sich daraus für die verschiedenen geologischen Epochen Magnetisierungsrichtungen, wie sie z. B. in Fig. 6 dargestellt sind. Die Arbeiten von ZIJDERVELD et al. (1970) und anderen haben jedoch gezeigt, dass im Bereich der Südalpen eventuell mit abnormalen Deklinationswerten zu rechnen ist. So wurde festgestellt, dass die Bozener Quarzporphyre um 50° im Gegenuhrzeigersinn gegenüber Resteuropa gedreht wurden. Ähnliche Gegenuhrzeigerrotationen wurden für die tertiären Intrusionen des Bergeller Granits (HELLER, 1973) und des Syeno-Monzonits von Biella (HEINIGER und HELLER, 1973) nachgewiesen.

B. PROBENENTNAHME

Die zylindrischen Proben für die magnetischen Messungen (Einzelprobe: Höhe = 2,25 cm, Durchmesser = 2,54 cm) wurden in vier Regionen des basischen Hauptzuges der Ivreazone (Fig. 1) gebohrt, in der

- I Valle Cannobina (bei Finero);
- II Valle d'Ossola (bei den Kirchen Megolo und Candoglia, sowie im Steinbruch Anzola);
- III Valle Sesia (bei Balmuccia) und Valle Mastallone (bei Sabbia und Cravagliana);
- IV Valle Sessera (auf der Strada panoramica di Zegna, bei San Bernardo).

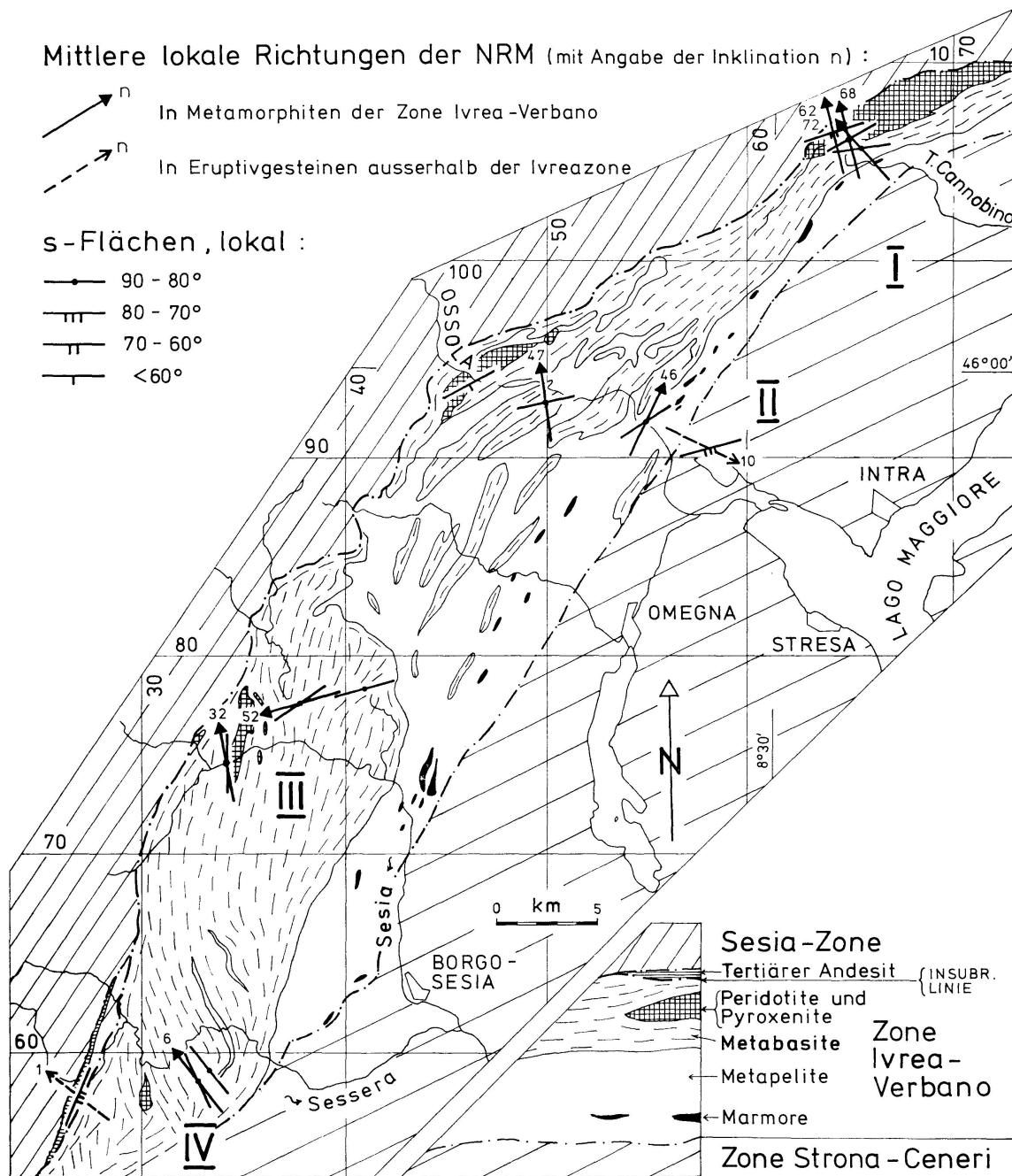


Fig. 1. Geologische Übersichtskarte mit Angabe der stabilen NRM-Richtungen und des lokalen Streichens der Stoffbänderung.

An allen Bohrlokalitäten liegen granulitfazielle Metabasite und Ultramafitite vor. Nur die Lokalität Nr. 8 (s. Tab. 1) liegt bereits im amphibolitfaziellen Teil der Ivreazone. Diese Lokalität beinhaltet neben Amphibolit auch Metapelit. Alle Proben weisen kristalloblastische Gefüge auf, bis auf die Proben der Lokalitäten Nr. 5 und Nr. 9, die blastokataklastisch sind und auch schon äusserlich Spuren relativ starker mechanischer Deformation erkennen lassen.

Proben der Lokalität Nr. 13 weisen ebenfalls eine Besonderheit auf: In ihnen sind die Pyroxene von einer jüngeren Mineralassoziaton Biotit + Erz + Granat umsäumt.

Neben Proben aus den Metamorphiten der Ivreazone wurden auch noch Proben aus einem basischen Gang der Strona-Ceneri-Zone bei Mergozzo und aus der Andesitlage nördlich von Biella entnommen. Die Andesitlage weist ein Alter von nur 31 ± 2 my auf (SCHEURING et al., 1974). Sie liegt zwischen der Ivrea- und der Sesia-Zone, im Bereich der Insubrischen Linie.

An den Bohrstellen selbst sowie im Umkreis von 1 bis 2 km jeder Bohrlokalität wurde das Fallazimut der Stoffbänderung gemessen. Aus diesen Messungen wurde ein lokales und ein regionales s-Flächenazimut bestimmt (s. Tab. 1). Die lokale Orientierung der s-Flächen ist überdies in die Fig. 1 eingezeichnet worden.

C. MAGNETISCHE MESSUNGEN

In dieser vorläufigen Mitteilung werden nur Art und Ergebnis der Messungen der natürlichen remanenten Magnetisierung (NRM) beschrieben. Eine ausführliche Beschreibung, die sich detailliert mit weiteren gesteinsmagnetischen Parametern wie Viskosität, Anfangssuszeptibilität, Anisotropie der Anfangsuszeptibilität sowie NRM in Abhängigkeit von der Temperatur auseinandersetzen wird, folgt später.

Die NRM der Einzelproben – pro Lokalität wurden 3 bis 6 Bohrkerne mit ca. 8 bis 20 Einzelproben gewonnen – wurde mit einem DIGICO-Spinnermagnetometer gemessen. Die Stabilität der NRM wurde mittels der für paläomagnetische Untersuchungen üblichen Methode der progressiven Wechselfeldabmagnetisierung getestet. Die statistische Behandlung der Messresultate bezüglich der Richtungsdispersion der NRM-Vektoren erfolgte nach dem von FISHER (1953) entwickelten Verfahren.

Der Verlauf der Abmagnetisierungskurven der NRM-Intensität ist in Fig. 2 dargestellt. Zunächst fallen die stark unterschiedlichen Anfangsintensitäten der NRM auf, die um mehrere Zehnerpotenzen schwanken. Die Ursache dafür liegt in grossen Suszeptibilitätsunterschieden einerseits, wie sie in Gesteinen der untersuchten Mannigfaltigkeit auch zu erwarten sind. Andererseits sind sicher auch isothermale Magnetisierungsvorgänge (Blitzschlag) in Betracht zu ziehen. Weitere Mechanismen sind unklar, doch fällt auf, dass die blastokataklastischen Gesteine der Lokalitäten Nr. 5 und Nr. 9 ausserordentlich hohe NRM-Intensitäten aufweisen. Die Abmagnetisierungskurven fast aller Gesteinstypen zeigen einen enormen Intensitätsabfall schon bei niedrigen Wechselfeldamplituden. Häufig werden 10% der Anfangsintensität vor Erreichen eines Spitzenwertes des abmagnetisierenden Feldes $\tilde{H}_{\text{peak}} = 100$ Oe unterschritten,

Tabelle I. Zusammenstellung der paläomagnetischen und strukturellen Daten

Region Nr.	s-Flächen regional. Fall- azimut	Lokalität		s-Flächen lokales Fall- azimut	Gesteinstyp	Proben- zahl	D ₀ , I ₀ lokal	α _{95,0} k ₀	D _{opt} , I _{opt} lokal	α _{95, opt} k _{opt}	H _{opt} (Oe)	D _{opt} , I _{opt} regional	α _{95, reg} k _{reg}	
		Koord. Absz./ Ord.	Nr.											
I I I I I Valle Cannobina	341/70	64.0/ 6.5	1	350/85	Hornblende- Peridotit	7	293/-10	78 1	instabil			338/68	11 16	
		64.2/ 6.5	2	161/68	Pyr.-Gran.-Hbld.- Plag.-Fels	3	37/ 17	85 3	347/ 62	27 21	200			
		65.0/ 6.2	3	330/82	Phlogopit- Peridotit	5	281/-34	90 1	167/-68	22 13	300			
		65.1/ 6.0	4	334/68	Gran.-Pyr.-Hbld.- Plag.-Fels	6	92/-37	42 6	instabil			400		
		65.4/ 5.7	5	352/85	Mylonit. Hbld.- Pyr.-Plag.-Fels	6	231/ 61	83 2	320/ 72	20 15				
II		57.6/90.3	7	151/75	Basischer Gang (Bi., Hbld., Plag.)	5	146/ 13	63 2	instabil					
II II II II Valle d'Ossola	147/90	55.1/92.0	8	326/83	a: Amphibolit b: Gran.-führender Sill.-Bi.-Plag.- Gneis	2 2	54/ 24	23 17	26/ 46	14 44	300	9/48	12 22	
		46.1/93.8	9	152/40	Gran.-Pyr.-Plag.- Fels	3	300/-13	90 1	instabil					
		49.8/92.8	10	168/85	Pyr.-Hbld.-Plag.- Fels	6	58/ 12	41 3	353/ 47	18 28	200			
		34.2/74.7	11	270/84	Lherzolith	6	359/ 3	72 2	348/ 33	18 15	200	348/33	18 15	
III III IIIB Val Sesia	298/86	40.9/78.5	12	165/82	Pyr.-Hbld.-Plag.- Fels	3	261/-53	67 4	instabil					
		37.8/77.6	13	325/88	Stark erzhaltiger Gran.-Pyr.- Plag.-Fels	5	62/-52	86 1	74/-52	24 11	500	254/52	24 11	
		33.3/59.2	14	53/81	Quarzführender Pyr.-Plag.-Fels	3	121/ 34	24 27	instabil				324/ 6	16 62
IV IV IV Valle di Sessera	250/90	32.7/58.5	15	246/89	Pyroxenit	3	147/-1	18 47	144/-6	16 62	1200			
		26.8/57.9	16		Andesit	4	245/-3	14 43	129/-1	14 46	300			

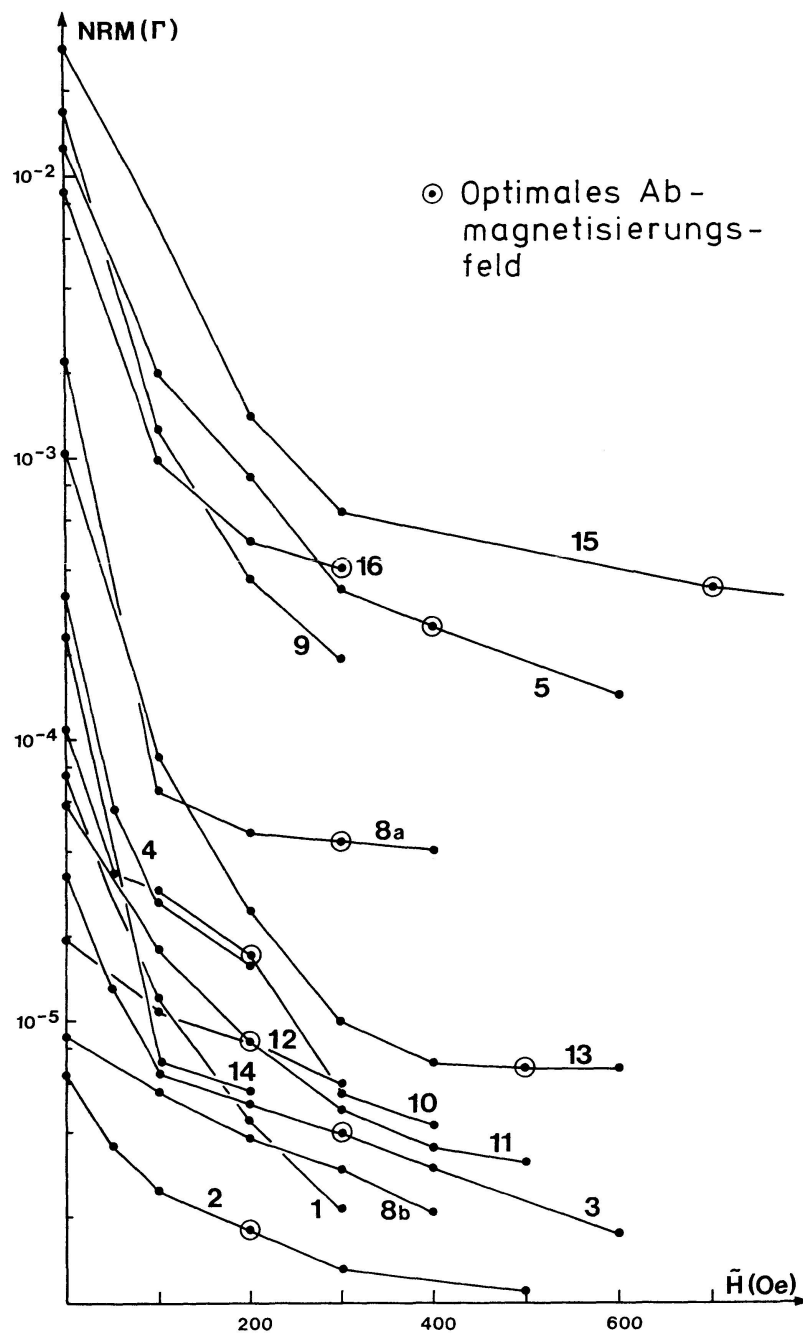


Fig. 2. Mittlere Abmagnetisierungskurven für die Proben der Lokalitäten Nr. 1 bis Nr. 16.

was darauf hinweist, dass höherkoerzitive Anteile der Magnetisierung gegenüber niedrigkoerzitiven stark in den Hintergrund treten. Ausserdem wird in vielen Fällen das Auftreten viskoser remanenter Magnetisierung während des Abmagnetisierens beobachtet.

Für paläomagnetische Aussagen ist die Richtungsverteilung des NRM-Vektors von grösster Bedeutung. Bei den von uns verwendeten Proben ist die Dispersion der NRM-Richtungen (D_0, I_0) vor dem Abmagnetisieren ausser-

ordentlich hoch. Als Mass für die Dispersion dient in Tab. 1 α_{95} , der halbe Öffnungswinkel des Vertrauenskegels, innerhalb dessen mit einer statistischen Sicherheit von 95% die gemessene NRM-Richtung liegt. Der Grund für hohe Werte von α_{95} liegt im Auftreten instabiler Magnetisierungskomponenten, die vielfache Ursachen haben können. Bei $\frac{2}{3}$ aller Lokalitäten reduziert die fortschreitende Abmagnetisierung die hohe Anfangsdispersion. So beträgt der Öffnungswinkel vor dem Abmagnetisieren von 3 Proben der Lokalität Nr. 2 $\alpha_{95,0} = 85^\circ$; nach Anlegen einer Spitzenfeldstärke $\tilde{H}_{\text{peak}} = 200$ Oe wird der optimal kleinste Öffnungswinkel $\alpha_{95,\text{opt}} = 27^\circ$ erreicht (vgl. Fig. 3 und Tab. 1). In Tab. 1 werden diejenigen lokalen Abmagnetisierungsfeldstärken aufgeführt,

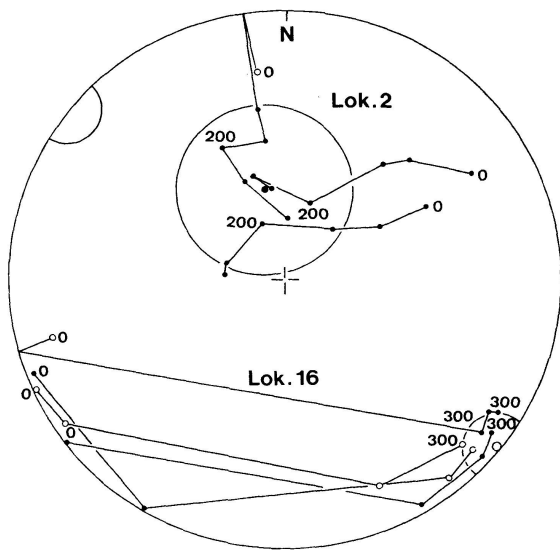


Fig. 3. Richtungsänderung der NRM von 3 Einzelproben der Lokalität Nr. 2 und von 4 Einzelproben der Lokalität Nr. 16 bei fortschreitender Abmagnetisierung.

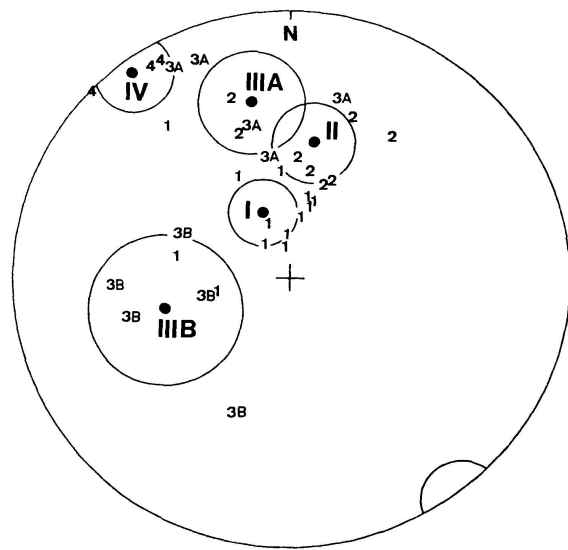


Fig. 4. Stabile NRM-Richtungen in Ivrea-Gesteinen aus den Fundregionen I bis IV sowie daraus bestimmte mittlere Magnetisierungsrichtungen mit eingezeichneten α_{95} -Vertrauenskegeln (eigentlich sollten die Kegelschnitte als Ellipsen und nicht als Kreise dargestellt werden).

Legende zu den Fig. 4 bis 11

- Mittlere NRM-Richtungen der Regionen I bis IV.
 - Normale auf die mittlere s-Flächen-Lage einer Region.
 - ▲ Mittlere Lage der Normalen auf die an den einzelnen Lokalitäten einer Region eingemessenen s-Flächen.
 - ★ Mittlere NRM-Richtung der Bozener Quarzporphyre.
 - ⊙ Mittlere NRM-Richtungen des Syeno-Monzonits von Biella und des Bergeller Granits.
 - Für den Bereich der Ivreazone berechnete NRM-Richtungen von Ordovizium bis Kreide.
- DZS Achse, um welche die s-Flächen angeordnet sind.
 DZM Achse, um welche die Magnetisierungsrichtungen angeordnet sind.

Bei den stereographischen Darstellungen handelt es sich um Lambertsche Projektionen der unteren Halbkugel.

nach deren Anlegen die geringste Streuung der NRM-Richtungen und damit optimal kleines α_{95} erhalten wird. Der Mittelwert dieser Richtungen (D_{opt} , I_{opt}) repräsentiert die stabile, lokaltypische Magnetisierungsrichtung. Da bei einem Drittel aller untersuchten Lokalitäten α_{95} nicht verkleinert werden konnte, mussten diese Lokalitäten ausgeschieden werden. Sie werden in Tab. 1 als instabil bezeichnet. Ebenso ausgeschieden wurden Proben mit grossen viskosen Remanenzanteilen.

Die optimalen mittleren Richtungen der NRM (D_{opt} , I_{opt}) an den einzelnen Lokalitäten sind in Tab. 1 zusammen mit den zugehörigen Öffnungswinkeln der Vertrauenskegel $\alpha_{95, \text{opt}}$ wiedergegeben. In Fig. 4 sind die optimalen NRM-Richtungen stereographisch dargestellt, zusammen mit den resultierenden regionalen Mittelwerten und deren Vertrauenskreisen. Ohne Rücksicht auf den gemessenen Richtungssinn des NRM-Vektors wurde in allen stereographischen Figuren der Durchstosspunkt dieses Vektors auf der unteren Halbkugel projiziert.

Zum Mittelwert der Region IIIB sei bemerkt, dass diese Richtung nur unter Anwendung subjektiver Kriterien, nach der Ausscheidung von 2 stark divergierenden Einzelproben, zustandekam. Die angegebenen Zahlenwerte sind deshalb mit Vorsicht zu verwenden. Wir betrachten nur den Mittelwert der Subregion IIIA als repräsentativ für die Region III.

Die optimalen mittleren regionalen NRM-Vektoren sind bei einer statistischen Sicherheit von 95% signifikant verschieden, da sich ihre Vertrauenskegel nur in einem Fall überschneiden. Die Anwendung von WATSONS (1956) F-Test zeigt jedoch, dass auch dieser Fall als statistisch signifikant verschieden angesehen werden muss.

Schliesslich sei nochmals betont, dass die hier gegebenen Daten als vorläufige betrachtet werden müssen. Die Anzahl der bisherigen Messwerte ist etwas klein, und bei einem Teil der untersuchten Lokalitäten ist die Richtungsdispersion der NRM selbst im optimalen Zustand noch relativ gross. Ausserdem ist die detaillierte Untersuchung weiterer gesteinsmagnetischer Parameter noch nicht abgeschlossen.

D. INTERPRETATION DER MESSERGEBNISSE

a) Andesit

Der tertiäre Andesit besitzt eine stabile Magnetisierungsrichtung (Tab. 1), die zunächst vollkommen abweicht von Werten, wie sie aus der Literatur für diese Zeit bekannt sind. Wenn aber die Andesitlage um ihre Streichrichtung herum nach NW in horizontale Lage gedreht wird (s. Fig. 5), erhält man eine Richtung, die innerhalb des Vertrauensbereiches mit der des Bergeller Granits oder der des Syeno-Monzonits von Biella zusammenfällt. Gegenüber gleich-

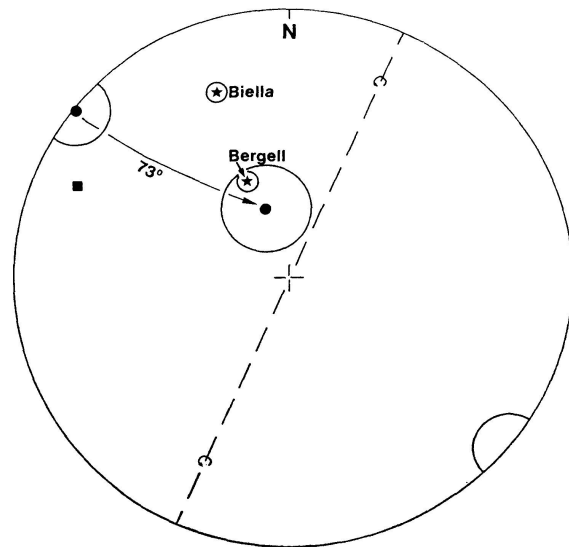


Fig. 5. Gemessene und rotierte mittlere NRM-Richtung des tertiären Andesits von Biella (Lok. Nr. 16). Die rotierte Magnetisierungsrichtung entsteht, wenn die Andesitlage um ihre Streichrichtung nach NW horizontal gelegt wird.

altrigen mitteleuropäischen Werten ist diese schichtlagenkorrigierte NRM des Andesits um ca. 30° im Gegenuhrzeigersinn rotiert.

Ein Blick auf das geologische Querprofil der Vulkanitlage und der angrenzenden Gesteine (AHRENDT, 1972, S. 74 oder SCHEURING et al., 1974) lässt erkennen, was obige Korrektur bedeutet: Die Vulkanitserie, die gegen den Sesiagneiss hin viele Einschlüsse dieses Gesteins enthält, dürfte horizontal auf dem Gneiss abgelagert worden sein und erst später durch eine Kippung um ca. 70° in ihre heutige subvertikale Lage gelangt sein. Der Andesit stellt also wahrscheinlich keine Spaltenfüllung dar, wie dies AHRENDT (1972) vermutet. Ob die Vulkanitserie hingegen eine Synklinale bildet, wie dies CARRARO (1966) annimmt, können erst weitere magnetische Messungen zeigen. Geologische Argumente, die für eine nachträgliche Verstellung des Andesitkörpers gegenüber dem Syeno-Monzonit von Biella sprechen, werden von SCHEURING et al. (1974) angegeben.

b) Metamorphite der Ivreazone

Aus strukturellen Untersuchungen der Ivreazone, die noch nicht vollständig abgeschlossen sind, geht hervor, dass das im Uhrzeigersinn gemessene, mittlere Streichazimut der steilstehenden Stoffbänderung der Metabasite meist etwas kleiner ist als dasjenige der Insubrischen Störungszone. Die Stoffbänderung wird deshalb häufig diskordant von dieser Störung abgeschnitten. Der mittlere Streichwert der Stoffbänderung ändert sich aber von SW nach NE im gleichen Sinn und um ähnliche Beträge wie derjenige der Insubrischen Linie resp. des Alpenbogens. Wir vermuteten von Anfang an, dass das deutliche Umbiegen der Streichrichtung nicht zur ursprünglichen Anlage des Ivreakomplexes gehörte, sondern erst später aufgeprägt wurde. Im weiteren war zu vermuten, dass die Stoffbänderung ursprünglich vorwiegend S-N bis SE-NW strich,

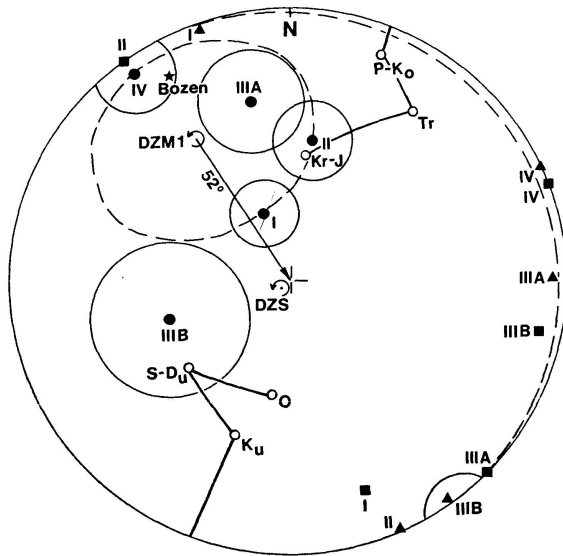


Fig. 6. Lage der regionalen NRM-Richtungen und der regionalen s-Flächen sowie der Mittel der lokalen s-Flächen.

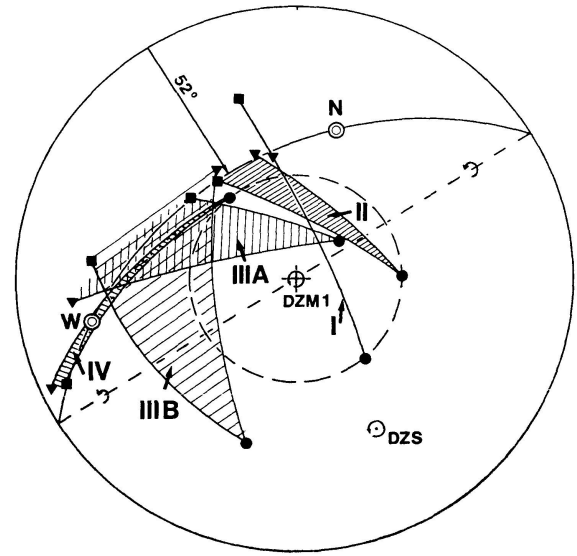


Fig. 7. Ansicht der linearen und planaren Elemente der Fig. 6 in der Projektionsrichtung DZM 1.

denn an jenen Stellen, an denen ein mehr NE-gerichtetes Streichen vorherrscht, also besonders am NE-Ende der Ivreazone, trifft man auch auf ausgeprägte mylonitische Flaser- und Schiefertexturen, die eine starke Längung in Längsrichtung der Zone und eine starke Einengung senkrecht dazu widerspiegeln. Man erhält den Eindruck einer flexurartigen Umbiegung der ursprünglich S-N bis SE-NW streichenden Zone.

Inwieweit diese Vermutungen durch die paläomagnetischen Messungen bestätigt werden, zeigen die Fig. 6 und 7. In diesen Figuren sind die mittleren Magnetisierungsrichtungen sowie die mittleren lokalen und regionalen s-Flächen-Pole der Regionen I bis IV in ein stereographisches Netz eingetragen. Bereits in der normalen Lambertschen Projektion von oben (Fig. 6), besser aber noch in der Projektion vom Punkt DZM 1 (Fig. 7) aus ergibt sich folgendes:

- a) Alle s-Flächen stehen ungefähr parallel zu einer vertikal stehenden Achse DZS.
- b) Die Magnetisierungsrichtungen – wie erwähnt: statistisch signifikant verschieden – kann man sich auf einem Kegelmantel angeordnet denken. Die Drehachse DZM 1 dieses Kegels ist nicht genau bestimmbar (ungefähre Lage: s. Fig. 6).
- c) Die Magnetisierungsrichtungen der Region IV, der südwestlichsten Region mit SSE-NNW-Streichen, liegt einer permo-karbonischen Richtung sehr nahe. Die gute Übereinstimmung mit dem Wert der Bozener Quarzporphyre zeigt, dass die Region IV gegenüber Resteuropa ebenfalls um ca. 50° im Gegenuhrzeigersinn gedreht sein dürfte.
- d) Die Magnetisierungsrichtungen der Regionen I bis IV sind im gleichen

Sinn und um ähnliche Beträge gegeneinander verdreht wie die zugehörigen lokalen und regionalen s-Flächen-Pole, wenn man von Region III B absieht.
 e) Der Winkel zwischen regionaler oder lokaler s-Flächen-Normale und zugehöriger Magnetisierungsrichtung ist ziemlich konstant; er beträgt $67^\circ \pm 22^\circ$.

Wenn man annimmt, dass die von uns ermittelten stabilen Magnetisierungsrichtungen tatsächlich reelle Abbilder einer ehemaligen Feldrichtung sind, können aus diesen Beobachtungen zunächst folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Die gute Konstanz des Winkels zwischen der Magnetisierungsrichtung und der Normalen auf die Bändertextur der Metabasite weist darauf hin, dass diese Bändertextur zur Zeit der Magnetisierung in allen vier Regionen in einem ähnlichen Winkel zur Richtung des damaligen Erdmagnetfeldes lag. Die möglichen Abweichungen betragen ca. $\pm 22^\circ$.
2. Da die Achse, um welche die Magnetisierungsrichtungen angeordnet sind, nicht mit DZS zusammenfällt, andererseits aber der Richtungssinn, in dem die Magnetisierungsrichtungen und die zugehörigen s-Flächen gedreht erscheinen, stets derselbe ist, muss angenommen werden, dass die heutige Anordnung dieser planaren und linearen Elemente aus einer Verbiegung der Ivreazone um eine oder mehrere Achsen entstand. Dabei wäre es möglich, dass zuvor das Bänderstreichen nicht überall entlang der gesamten Ivreazone einheitlich war, d. h. dass die angegebene Toleranz von $\pm 22^\circ$ tatsächlich ausgenutzt gewesen wäre.
3. Die Feststellung c) bestärkt uns in der Annahme, dass Region IV am ehesten die ursprüngliche Lage der Stoffbänderung vorweist.

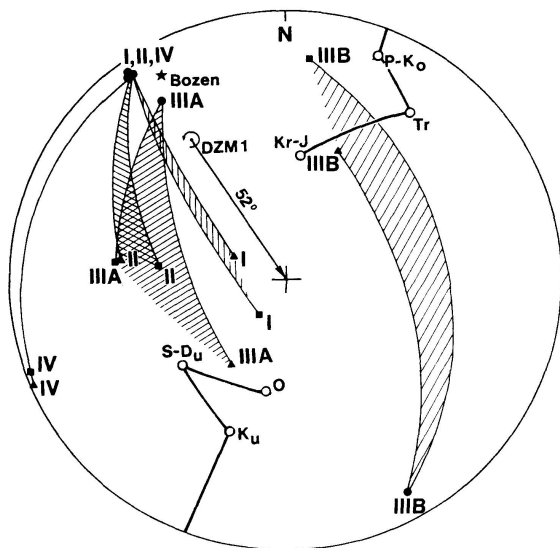


Fig. 8. Endlage der regionalen NRM-Richtungen und der s-Flächen der Fig. 6 nach Rotation der Magnetisierungsrichtungen um DZM1 nach IV.

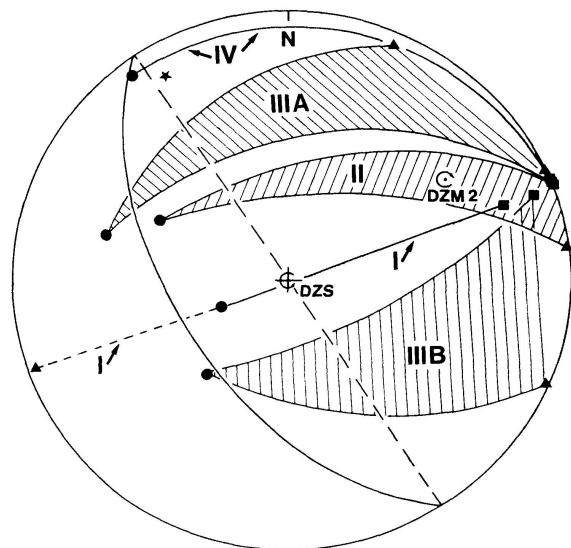


Fig. 9. Endlage der regionalen NRM-Richtungen und der s-Flächen der Fig. 6 nach Rotation der s-Flächen um DZS nach IV.

Im folgenden soll geprüft werden, wie die Endanordnung der Magnetisierungsrichtungen und s-Flächen aussieht, wenn Lineare und Planare möglichst vollständig mit denjenigen der Region IV zur Deckung gebracht werden.

Fig. 8 zeigt die Endlage der s-Flächen nach Drehen der Magnetisierungsrichtungen I, II, IIIA und IIIB um DZM1 in die nächstmögliche Position zur Magnetisierungsrichtung der Region IV.

In Fig. 9 ist die Endlage der Magnetisierungsrichtungen eingezeichnet, die resultiert, wenn die regionalen s-Flächen I, II, IIIA und IIIB um DZS nach dem regionalen s-Wert von Region IV gedreht werden. Wie man erkennt, streuen die Magnetisierungsrichtungen nun stärker als vorher. Sie liegen ungefähr auf einem Grosskreis. Die Streuung kann verkleinert werden, wenn diese Richtungen um eine zweite Achse DZM2 senkrecht zu dem Grosskreis nochmals rotiert werden. Das Ergebnis dieser zweimaligen Drehung ist in Fig. 10 wiedergegeben.

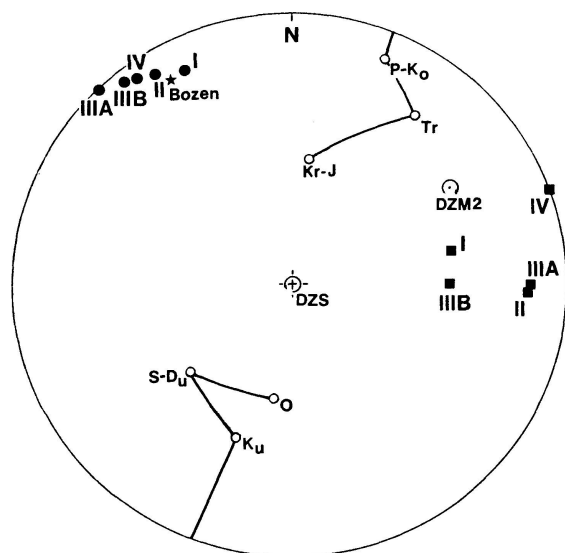


Fig. 10. Endlage der regionalen NRM-Richtungen und der s-Flächen der Fig. 9 nach Rotation der Magnetisierungsrichtungen um DZM2 nach IV.

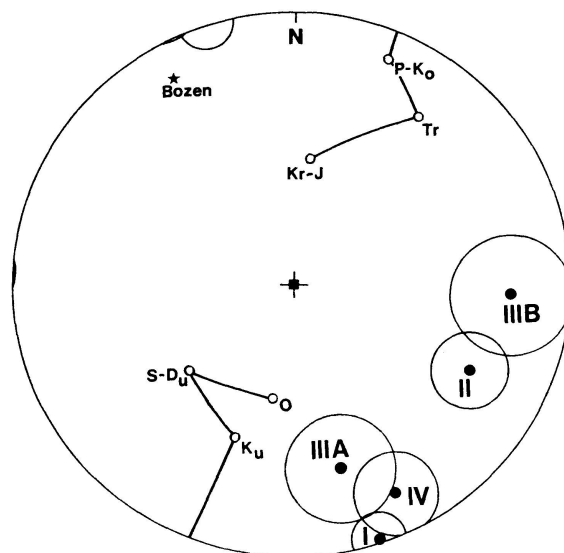


Fig. 11. Endlage der regionalen NRM-Richtungen nach Umklappen der regionalen s-Flächen um deren Streichrichtung nach SE und E in horizontale Lage.

Es zeigt sich, dass von den geprüften Bewegungsmechanismen nur die einmalige Drehung um eine NW-fallende Achse oder eine zweimalige Drehung, zuerst um eine vertikale Achse und dann um eine NE-fallende Achse, ein einigermaßen befriedigendes Ergebnis erzielt, d. h. die Streuung der regionalen Magnetisierungsrichtungen verringert. In beiden Fällen ergibt sich ein mittleres S-N-Streichen und ein Übergang von steilem zu flacherem Einfallen der Stoffbänderung, wenn man vom SW-Teil der Ivreazone in den NE-Teil kommt. Im ersten Falle ist das Einfallen ostwärts, im zweiten Fall westwärts gerichtet.

In Fig. 11 ist schliesslich die Endstellung der Magnetisierungsrichtungen wiedergegeben für eine Drehung der s-Flächen um ihre Streichrichtung in eine horizontale Lage. Diese Bewegung entspricht der Umkehrung der aus seismischen und gravimetrischen Messungen postulierten Aufschiebung des Ivreakörpers aus dem Übergangsbereich Kruste/Mantel (BERCKHEMER et al., 1968 und GIESE, 1968). Bei dieser Korrektur ist die resultierende Streuung der Magnetisierungsrichtungen ebenso gross wie zuvor. Um sie zu vermindern, müsste eine zweite Drehung um eine vertikale Achse eingeführt werden. Ein solcher Drehvorgang wäre aber erst nach der Aufschiebung des Ivreakörpers möglich gewesen, da er erst nach dem Magnetisierungsprozess stattfinden konnte.

E. DISKUSSION

Die drei im vorangehenden Abschnitt skizzierten möglichen Deformationsvorgänge in der Ivreazone, von denen wir den ersten als unwahrscheinlich betrachten, gehen von folgenden Hypothesen aus:

1. Die von uns gemessenen stabilen NRM-Richtungen sind gleichzeitig entstanden, und zwar präjurassisch. Spätere Remagnetisierungsvorgänge werden ausgeschlossen.
2. Abgesehen von der unten erwähnten 50° -Rotation im Gegenuhrzeigersinn hat sich die Raumlage der Stoffbänderung im SW-Teil der Ivreazone (Valle Sessera) seit der Magnetisierung nicht wesentlich geändert.

Die erste Annahme scheint mindestens teilweise gerechtfertigt zu sein, da fast alle untersuchten Lokalitäten im granulitfaziellen Bereich der Ivreazone liegen.

Die zweite Annahme steht in gutem Übereinklang mit den paläomagnetischen Messungen. Die stabilen NRM-Werte im Gebiet der Valle Sessera zeigen eine permo-karbonische Richtung, deren Deklination wie die der Bozener Quarzporphyre um ca. 50° vom europäischen «Normalwert» im Gegenuhrzeigersinn abweicht. D. h., dass die im Abschnitt D ermittelten Drehachsen und hypothetischen Ursprungslagen der s-Flächen um ca. 50° im Uhrzeigersinn zu drehen wären, damit ihre «wahre» Raumlage zur Magnetisierungszeit festgelegt werden kann.

Der Schweizerische Nationalfonds ermöglichte einem von uns (R. S.) das Zustandekommen dieser Arbeit durch Gewährung eines Forschungskredits.

Literatur

- AHRENDT, H. (1972): Zur Stratigraphie, Petrographie und zum tektonischen Aufbau der Canavese-Zone und ihrer Lage zur Insubrischen Linie zwischen Biella und Cuorgné (Norditalien). *Göttinger Arb. Geol. Paläont.*, 11.
- BERCKHEMER, H. et al. (1968): Topographie des «Ivrea-Körpers», abgeleitet aus seismischen und gravimetrischen Daten. *SMPM*, 48, 235–246.
- BRIDEN, J. C., MORRIS, W. A. and PIPER, J. D. A. (1973): Palaeomagnetic Studies in the British Caledonides-VI, Regional and Global Implications. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.*, 34, 107–134.
- CARRARO, F. (1966): Scoperta di una serie carbonifera di copertura degli gneiss-Sesia. *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 85, 241–252.
- FISHER, R. A. (1953): Dispersion on a Sphere. *Proc. Roy. Soc. A*, 217, 295–305.
- GIESE, P. (1968): Die Struktur der Erdkruste im Bereich der Ivrea-Zone. Ein Vergleich verschiedener seismischer Interpretationen und der Versuch einer petrographisch-geologischen Deutung. *SMPM*, 48, 261–284.
- HEINIGER, CHR. und HELLER, F. (1973): Some New Palaeomagnetic Data from the Southern Alps. Vortrag EGS-Tagung Zürich.
- HELLER, F. (1973): Magnetic Anisotropy of Granitic Rocks of the Bergell Massif (Switzerland). *Earth Planet. Sci. Letters*, 20, 180–188.
- GRAESER, S. und HUNZIKER, J. C. (1968): Rb-Sr- und Pb-Isotopen-Bestimmungen an Gesteinen und Mineralien der Ivrea-Zone. *SMPM*, 48, 189–204.
- KÖPPEL, V. (1974): Isotopic U-Pb Ages of Monazites and Zircons from the Crust-Mantle Transition and Adjacent Units of the Ivrea and Ceneri Zones (Southern Alps, Italy). *Contr. Mineral. Petrol.*, 43, 55–70.
- SCHEURING, B., AHRENDT, H., HUNZIKER, J. C. und ZINGG, A. (1974): Palaeobotanical and Geochronological Evidence for the Alpine Age of the Metamorphism in the Sesia-Zone. *Geol. Rundschau*, 63/1.
- SMITH, P., BRIDEN, J. C. and DREWRY, G. E. (1973): Phanerozoic world maps. *Palaeontology*, Sp. Pap., 12, 1–42.
- WATSON, G. S. (1956): Analysis of dispersion on a sphere. *Monthly notices Roy. astr. Soc.*, *Geophys. Suppl.*, 7, 153–159.
- ZIJDERVELD, J. D. A., HAZEN, G. J. A., NARDIN, M. and VAN DER VOO, R. (1970): Shear in the Tethys and the Permian Palaeomagnetism in the Southern Alps, including New Results. *Tectonophysics*, 10, 639–661.

Manuskript eingegangen am 19. Februar 1974.