

Paläomagnetische Untersuchungen in der Rechnitzer Fenstergruppe

Von E. MÁRTON*, H. J. MAURITSCH** & A. PAHR***

Mit 12 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung

In den drei östlichsten Fenstern der Alpen, Möltern, Rechnitz und Eisenberg wurden paläomagnetische Untersuchungen durchgeführt, um neue Gesichtspunkte für die Tektonik dieses Raumes zu finden. Pilotuntersuchungen ergaben Magnetit und Pyrrhotin als Trägerminerale der natürlichen remanenten Magnetisierung (NRM). Die Temperaturdifferenz zwischen den Blockierungstemperaturen beider Trägerminerale erlaubte für den Eisenberg eine Abschätzung der Geschwindigkeit der tektonischen Bewegungen. Die Paläomagnetischen Richtungen, die strikten Auswahlkriterien unterworfen wurden, ergaben zwei Rotationssinne, einmal im Gegenuhrzeiger- und einmal im Uhrzeigersinn.

Im Gegenuhrzeigersinn rotierten die Wechseleinheit, das Sinnersdorfer Konglomerat und der Serpentin von Bernstein. Alle dem Pennin zugerechneten Gebiete fallen in die Uhrzeigersinnrotation, wobei zwei unterschiedliche Beträge identifizierbar sind. Messungen der Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität ergaben zwei Phasen der Deformation, in ca. N-S und W-E-Richtung. Eine Zuordnung im Sinne der B-Achsenrichtung und daraus abgeleitet in eine „höhere“ und eine „tiefere“ Einheit im Pennin, konnte nicht nachgewiesen werden.

Summary

In the easternmost windows of the Alps, the windows of Möltern, Rechnitz and Eisenberg, paleomagnetic investigations were carried out to find further indications for the tectonic evolution of this area. Pilot experiments established magnetite and pyrrhotite as carrier minerals in the highly metamorphosed tectonic units. With two minerals with different blocking-temperatures the possibility arose, to estimate the speed of tectonic movements. The paleomagnetic directions, judged by very strict elimination criteria, show one group of counterclockwise and two groups of clockwise rotations in comparison with present north. These directions are proved as young Alpidic (20 Ma) metamorphose directions. Counterclockwise rotations are seen for the Wechsel unit, the Sinnersdorfer conglomerate (Carpathian) and the Serpentine of Bernstein whereas all the others, in particular the Penninic units, show clockwise rotations. In the latter one, one can distinguish two groupings. The

Adresse der Verfasser:

* Geophysical Institute, Eötvös Loránd, H-1145 Budapest

** Institut für Geophysik, Montanuniversität, A-8700 Leoben

*** Oberschützen 246, A-7432 Oberschützen

magnetic fabric analysis established two phases of deformation, one in N-S and one in W-E direction. A distribution associated to the two distinct b-axis directions respectively to a "upper" and a "lower" unit was not found.

Inhalt

Einleitung	186
Geologischer Rahmen	187
Die Probennahme	190
Gesteinsmagnetische Untersuchungen	190
Paläomagnetische Ergebnisse	198
Diskussion	200
Literatur	205

Einleitung

Zu den seit längerer Zeit schon bekannten penninischen Fenstern in den Ostalpen (Gargellen-, Unterengadiner- und Tauernfenster) ist seit der Mitte dieses Jahrhunderts die Rechnitzer Fenstergruppe (Fenster von Möltern, Bernstein, Rechnitz und Eisenberg) hinzugekommen (W. J. SCHMIDT, 1951). Den (unterostalpinen) Rahmen bilden die Gesteine der (tektonisch) tieferen Wechsel-Einheit, teils die der höheren Grobneiseinheit. Die Fenster von Rechnitz und Eisenberg sind größtenteils von tertiären Ablagerungen (Miozän und jünger) umgeben, das Eisenbergfenster grenzt im Norden an das oberostalpine Paläozoikum von Hannersdorf, das dem Grazer Paläozoikum zugerechnet wird (Abb. 1).

Die Zielsetzung der paläomagnetischen Untersuchungen im Rechnitzer Fenster war, einen Beitrag zur Klärung der schwierigen Tektonik zu leisten, die durch zwei definierte B-Achsenrichtungen zum Ausdruck kommt. Es war von Beginn der Untersuchungen an klar, daß dieses Ziel nur erreicht werden kann, wenn eindeutige Magnetisierungsrichtungen isoliert werden können. Das heißt, daß Metamorphosen während des alpinen Orogens entweder primäre Richtungen erhalten ließen oder, was wahrscheinlicher war, eine komplette Überprägung verursachten.

Dieser Zielsetzung folgend wurden zwei Probennahmecampanen durchgeführt. Die erste sollte eine gleichmäßige Abdeckung der „Oberen“ und „Unteren“ Einheit des Rechnitzer Pennins bringen. Diese Untersuchungen bzw. die Auswertung der Meßergebnisse, zeigte sehr bald, daß die Isolierung einer primären Magnetisierungsrichtung unmöglich war, und eine Zuordnung zu einzelnen Einheiten daher nicht klar ableitbar ist. Neben diesem negativen Befund haben die Ergebnisse aber gezeigt, daß im Gegensatz zu einer ungefähr dem heutigen Erdfeld entsprechenden Magnetisierungsrichtung, die nach einer tertiären Metamorphose bzw. Deformation zu erwarten gewesen wäre, die Magnetisierungsrichtungen Rotationen gegen die heutige Erdfeldrichtung zeigen. Dieses Ergebnis führte dazu, in einer zweiten Probenahmecampanne weitere Einheiten der Umrahmung des Rechnitzer Fensters zu beproben, wobei sowohl die tertiären Sedimente, als auch Wechselinheit und Grazer Paläozoikum eingeschlossen wurden.

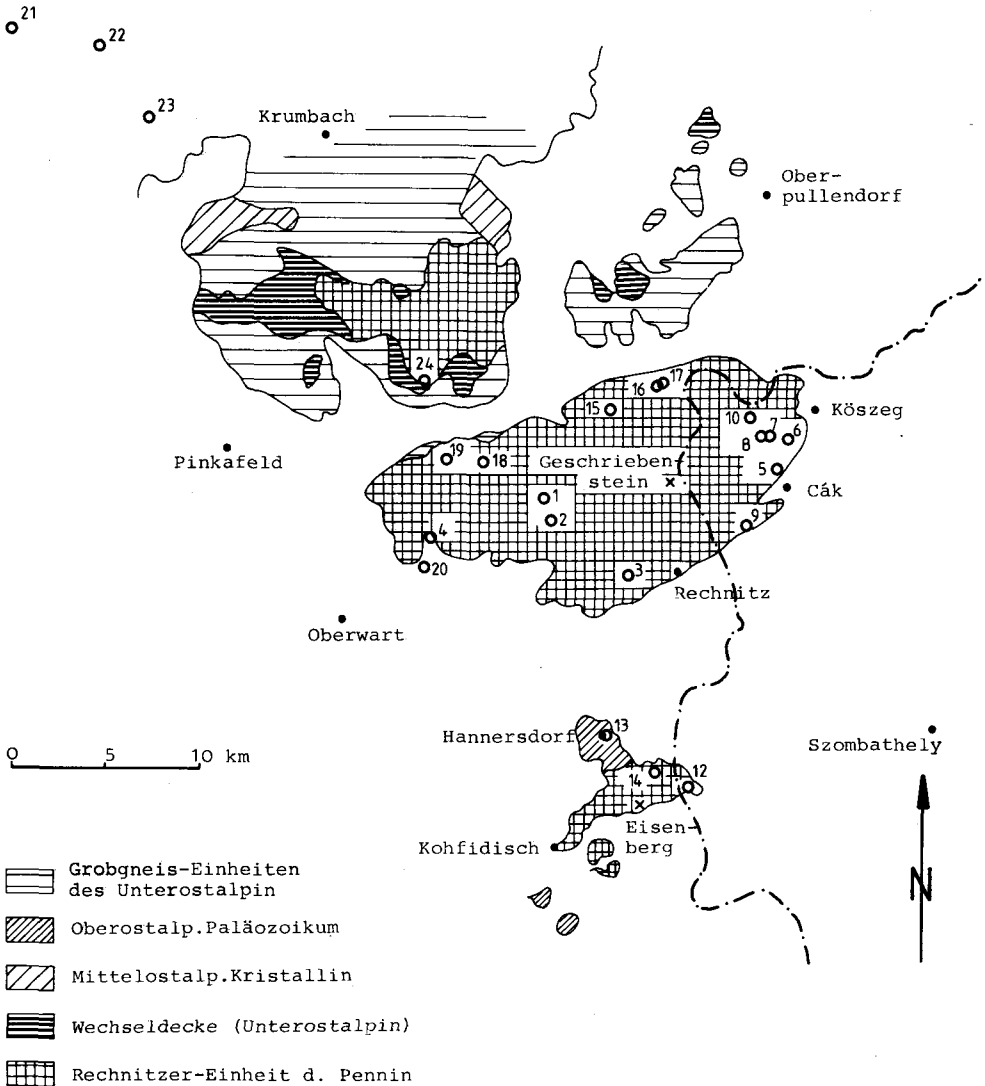


Abb. I: Geologische Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit Probenahmepunkten.

Geologischer Rahmen

Die Gesteine der Rechnitzer Fenstergruppe sind die eines ehemaligen Ozeanbodens: Größtenteils marine Sedimente mesozoischen Alters mit Einschaltungen von Ophiolithen, im Zuge der alpidischen Orogenese metamorph geworden zu Kalkphyllit, Kalkserizitschiefer, Quarzphyllit, Quarzit, Serpentin, Metagabbro, Grünschiefer. Neben Tiefseeablagerungen (Radiolarit) gibt es auch strandnahe Bildungen (Konglomerat von Cák).

Zur Tektonik kann festgestellt werden, daß größtenteils ausgesprochene Schup-

penstruktur herrscht, wobei meist die Ophiolithe im Profil die höchsten Schuppen darstellen. Die allgemein Ost–West verlaufenden B-Achsen lassen auf Einengung in Süd–Nord-Richtung schließen. Umso überraschender war, daß sich im Nordostteil des Rechnitzer Fensters im Bereich einer tektonisch „tieferen“ Einheit des Pennins durchwegs B-Achsenrichtungen NNE–SSW fanden, also eine ältere Einengung in etwa Ost–West-Richtung stattgefunden haben mußte.

In weiterer Folge ergab sich, daß an der Westseite dieses Nord–Süd strukturierten Bereiches Anzeichen für eine nach Westen abtauchende Subduktion vorhanden sind, die für die Ost–West-Einengung und damit für die Querstrukturen in diesem Raum verantwortlich ist (A. PAHR 1980).

Für die vermutete Subduktionszone sprachen auch einerseits gravimetrische Messungen, es konnten aber auch petrologische Beweise für eine Hochdruckmetamorphose erbracht werden (F. KOLLER & A. PAHR 1980, F. KOLLER 1985).

Auf Grund der Forschungsergebnisse von F. KOLLER (1985) und F. KOLLER & A. PAHR (1980) kann aus den Metabasiten eine „komplexe“ Metamorphose im Pennin von Rechnitz abgeleitet werden.

a) Ozeanische Metamorphose

Auf Grund von magmatischen Relikten nimmt Koller als ältestes Ereignis ozeanische Metamorphose der Metabasite an im Temperaturbereich von 750° C bis 500° C mit Bildung von Amphibolen (Barroisit, Pargasit, Mg-Hornblende). Da das Alter der begleitenden Sedimente von H. P. SCHÖNLAUB 1973 auf Grund von stratigraphisch verwertbaren Schwamm-Spiculae mit dem Grenzbereich Untere Kreide–Oberkreide angegeben wird, und die intrudierenden Magmatite jünger sein müssen, kann sich diese Gesteine beeinflussende ozeanische Metamorphose etwa in der oberen Kreidezeit abgespielt haben.

b) Hochdruckmetamorphose (alt-alpidisch)

Die mit dem Subduktionsvorgängen verknüpfte Hochdruckmetamorphose wird auf Grund von K/Ar Datierung an zonar gebauten Crossit-Riebeckit Mischkristallen für den Zeitraum von 65 ± 6 ma (W. FRANK in F. KOLLER 1985) angenommen (Mischalter). Die dabei gebildeten Mineralparagenesen (Ferroglaukophan, Crossit, Stilpnomelan, Formrelikte nach Lawsonit u. a.) lassen auf Bildungstemperaturen von 330° C bis 370° C bei einem Druck von 6–8 Kb schließen, wobei die Druckkomponente auch höhere Werte erreicht haben kann. Diese Hochdruckmetamorphose entspricht einer Versenkung der penninischen ozeanischen Kruste in Tiefen von mindestens 15–25 km.

Diese Hochdruckmetamorphose läßt sich derzeit in einer (z. T. durch auflagerndes Tertiär unterbrochenen) NNE–SSW Erstreckung von ca. 40 km nachweisen.

c) Regionalmetamorphose (jung-alpidisch)

Sie erfolgte im Temperaturintervall von 390° C–430° C bei Drücken unter 3 Kb (Grünschieferfazies), mit anscheinender Temperaturzunahme gegen Süden. Sie wird in Zusammenhang gebracht mit einer sehr ausgeprägten Einengung mit Nordvergenz, entsprechend einer Kollisionsphase (Kontinent–Kontinentkollision) mit Bildung von Ost–West bis Nordost–Südwest verlaufenden B-Achsen und Ausbildung von Schuppenstrukturen. K/Ar Datierungen an dabei gebildeten Hellglimmern ergaben 10–22 Ma (W. FRANK in F. KOLLER 1985).

Tab. 1: Tabelle der Gesteinstypen und tektonischen Einheiten

Aufschluß-Nr.	Lokalität	Tektonische Einheit	Proben-zahl	Gesteinstype	Bemerkung
HA 4	Schlaining	Pennin, höhere Einheit	4	Grünschiefer	
HA 8	Szabóhegy	Pennin, tiefere Einheit	5	Karbonatschiefer	b-Achse 225/26
HA 10	Hétforrás	Pennin, tiefere Einheit	7	Grünschiefer	neg. Falten- test 340/03 b-Achse 275/00
HA 12	Eisenberg	Pennin, tiefere Einheit	17	Grünschiefer (Pyrit, Pyrrhotin, Magnetit)	
HA 14	Burg	Pennin, tiefere Einheit	4	Grünschiefer (Pyrrhotin, Magnetit)	
HA 18	Steinwandriegel	Pennin, höhere Einheit	16	Karbonatschiefer wechsel- lagernd mit Phylliten	b-Achse 358/10
HA 19	Goberling	Karpath, Sinnersdorfer Konglomerat	11	Sandstein	b-Achse 010/20
HA 22	St. Corona	Wechseleinheit	11	Albit-Chloritschiefer	b-Achse 220/20
HA 24	Bernstein	Pennin, höhere Einheit	14	Serpentinite	
HA 25	Pinkafeld	Sarmat	7	Sedimente	

Die Probennahme

In Tab. 1 sind sowohl die Probennahmepunkte, die Gesteinsart, die Probenzahl, die B-Achsenorientierung, sowie die tektonische Einheit verzeichnet. Dieser Tabelle kann entnommen werden, daß die in Frage stehenden tektonischen Einheiten vollständig beprobt wurden. Es zeigt ferner, daß außer dem Penninikum und den Unterostalpinen Einheiten ebenso die tertiären Sedimente in die Betrachtung einbezogen wurden.

Die Probennahme wurde mit einer Handkernbohrmaschine vorgenommen, wobei die Orientierung der Kerne mit Hilfe des Magnetkompasses erfolgte. Von diesen Kernen wurden zwei Referenzproben mit je 25 mm Länge (Kerndurchmesser 25 mm) geschnitten und in den Laboratorien in Budapest und in Gams/Steiermark unabhängig voneinander gemessen. Diese unabhängige Vorgangsweise war unbedingt erforderlich, da das Material sehr schwierig zu beurteilen ist, und nur eine unabhängig erarbeitete Magnetisierungsrichtung die innerhalb eines Kernes zusammenpaßt, als verlässlich bezeichnet werden kann. Zur reinen Kernorientierung wurden ebenfalls, wo immer es möglich war, Schicht- bzw. Schieferungsflächen, sowie B-Achsen eingemessen.

Die Messungen der remanenten Magnetisierung der beprobten Gesteine wurde an einem Spinnermagnetometer Type JR4 vorgenommen. In beiden Labors stehen Schwestergeräte, so daß von der Instrumentierung eine Vergleichbarkeit gegeben war. Für die thermische Abmagnetisierung wurde im Labor in Budapest ein Schonstedt-Gerät verwendet, im Labor in Gams ein Eigenbau-Ofen mit einem Restfeld von $H_{\text{Rest}} < 4 \text{ nT}$. Für die Wechselfeldabmagnetisierung wurde in Budapest ein Eigenbau-Gerät verwendet, während in Gams ein Tumbler-Gerät der Firma Highmoore verwendung fand. Zu den letztgenannten Geräten ist festzustellen, daß das Gerät in Budapest statisch mißt, daß heißt, daß die drei Komponenten x, y und z nacheinander aber bei ruhender Probe gemessen werden. Im Gegensatz dazu wird die Probe in der Apparatur in Gams in zwei Ebenen gedreht und damit gleichzeitig in drei Achsenrichtungen abmagnetisiert. Diese Feststellung wird deshalb getroffen, da bei Rotationsabmagnetisierung manchmal Störeffekte auftreten, die bei der Interpretation abweichender Meßdaten in Betracht gezogen werden müssen. Die magnetische Suszeptibilität, sowie die Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität wurde in Budapest auf einem Gerät der Type KLY-1 und KLY-2 der Firma Geofyzika/Brünn gemessen, während für die Messung der magnetischen Suszeptibilität in Gams ein Gerät der Firma Digico verwendet wurde.

Ergänzend zu den vorhin erwähnten Routineverfahren in der Paläomagnetik wurden im Labor Gams der Einfluß der Metamorphose bzw. die Veränderung der Magnetisierungsrichtung in Abhängigkeit steigender Temperatur und gegebener Anisotropie des Gesteins überprüft.

Gesteinsmagnetische Untersuchungen

Als Reinigungsverfahren wurden die Wechselfeldabmagnetisierung und die thermische Abmagnetisierung verwendet. In einigen Fällen ergab die Wechselfeldabmagnetisierung keinen zufriedenstellenden Reinigungseffekt der Richtung, sodaß eine Weiterführung mit der thermischen Abmagnetisierung erforderlich war.

Steinwandriegel

In Abb. 1a, die das Reinigungsergebnis einer Probe vom Steinwandriegel (Steinbruch ca. 2,5 km ENE Goberling) zeigt, kann man deutlich erkennen, daß eine Wechselfeldabmagnetisierung bis 1000 Oe nur einen gewissen Trend zum Koordinatensprung zeigt, nicht aber eine Abnahme der Intensität gegen Null. Auf Grund dieses Ergebnisses wurde die thermische Abmagnetisierung angewandt (Abb. 1b) die eine Weiterführung der Richtungen bzw. der Richtungsänderung mit steigender Temperatur zeigt. Es kann deutlich gesehen werden, daß die Richtungen bis zu 150° C starke Änderungen zeigen, und danach bis 350° C eine Ursprungsgerade bilden. Dieses Verhalten wird unterstützt durch die Abb. 1c, die eine Abnahme der Intensität bis 150° C zeigt. Etwa 40% der verbliebenen Intensität zeigen den Beginn

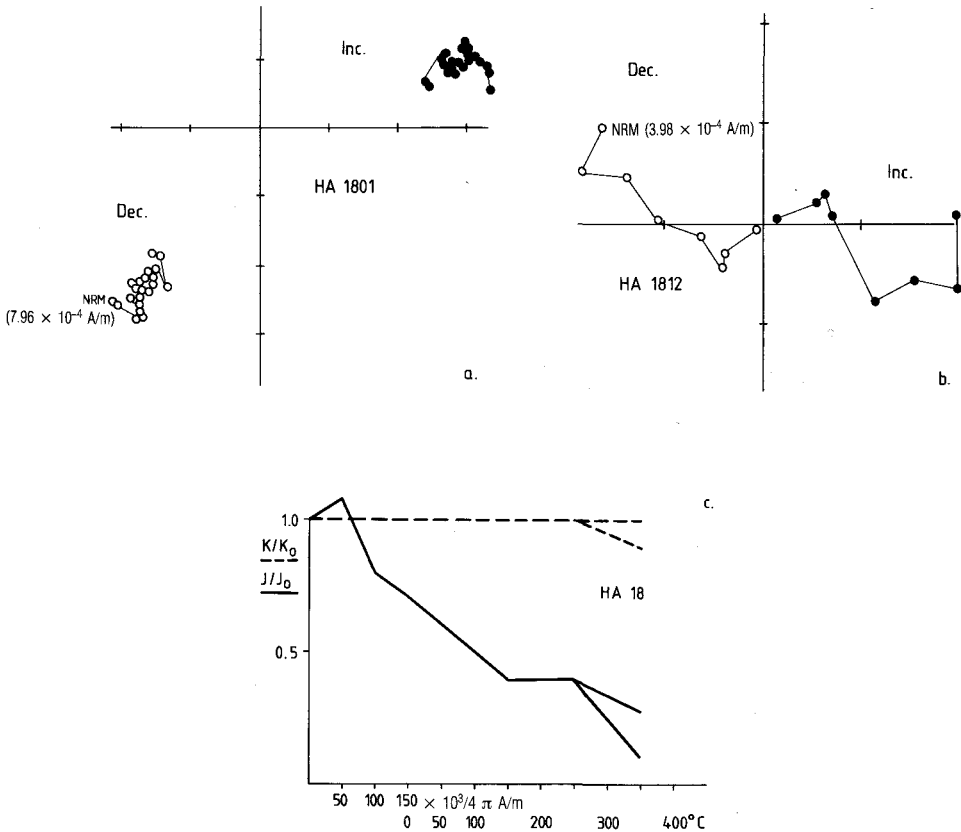
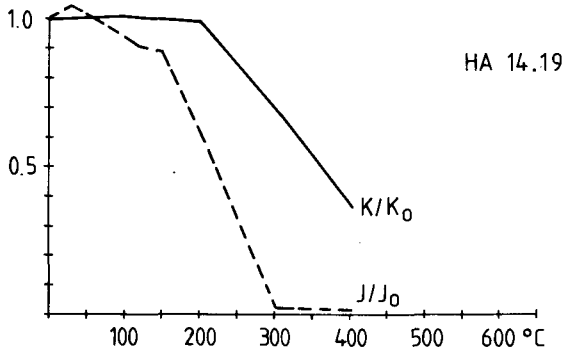
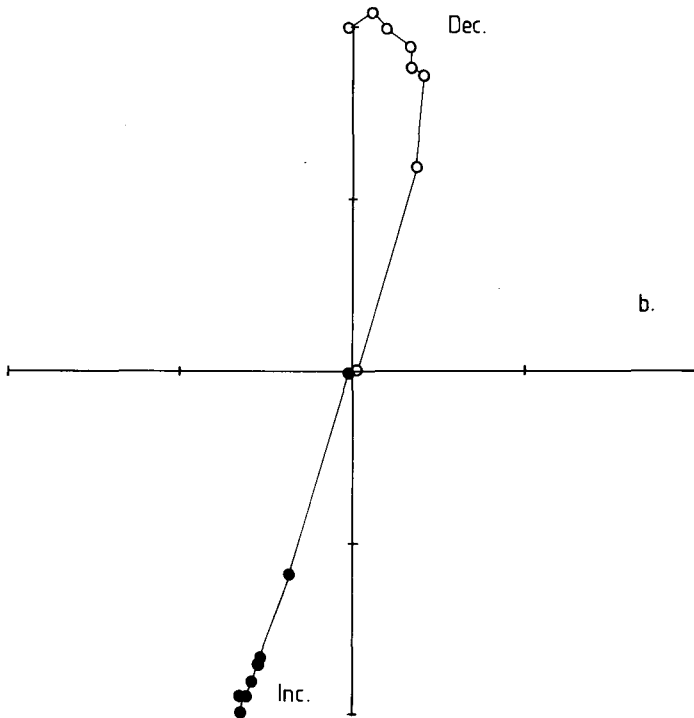


Abb. 1: Reinigungsverhalten einer Probe vom Steinwandriegel (ca. 2,5 km ENE Goberling)
 a) Wechselfeldreinigung
 b) Thermische Reinigung
 c) Änderung der normierten Intensität und Suszeptibilität mit steigender Wechsel-
 feldstärke und Temperatur

der Ursprungsrichtung an, die bei 350° C erreicht wird. Zwischen 250° C und 350° C zeigt die Abnahme der Suszeptibilität, Oxidationseffekte an. Die beiden Meßwerte am Ende der Kurve zeigen die unterschiedlichen Intensitäts- bzw. Suszeptibilitätswerte aber bei gleichbleibender Richtung nach einer Wiederholung der



a.



b.

Abb. 2: Reinigungsverhalten einer Probe von Burg (ca. 800 m SSE Burg)
 a) Normierte Intensität und Suszeptibilität über Temperatur
 b) Zijdervelddiagramm der abmagnetisierten Vektorrichtungen

thermischen Abmagnetisierung bei gleicher Temperatur und entgegengesetzter Probenorientierung im Reinigungsgerät. Diese Experimente sind fallweise notwendig, um die Stabilität der remanenten Magnetisierung in Abhängigkeit der Reinigungsrichtung zu überprüfen. Die stabile Endrichtung weist darauf hin, daß diese Richtung mit der bei der Metamorphose aufgeprägten Richtung verglichen werden kann.

Burg

Aus dem Steinbruch Burg – ca. 800 m SSE von der Ortschaft Burg (11 km S von Rechnitz) – wird ein Beispiel einer Grünschieferprobe gezeigt (Abb. 2a, 2b). Wie sehr oft in diesen Gesteinen sind Sulfide vorherrschend im Erzbestand. Pyrrhotin dürfte auf Grund der raschen Abnahme der Intensität bei 300° C Trägermineral sein.

In einigen Proben jedoch, wie zum Beispiel die Probe HA 12/2, HA 12/11 und HA 12/8 vom Eisenberg SSE Hannersdorf (Abb. 3c, d, e) zeigen durch ihr Reinigungsverhalten einerseits, sowie Sättigungsverhalten andererseits, daß Magnetit als wesentliches Trägermineral vorkommt. In der Abb. 3d für die Probe HA 12/2 kann gezeigt werden, daß nach der Abmagnetisierung des Pyrrhotin bei 300° C etwa 50% der remanenten Magnetisierung von Magnetit getragen wird. In der Abb. 3e zeigt die Probe HA 12/11 eine Blockierungstemperatur für Magnetit. Die Sättigungskurve in Abb. 3c zeigt ebenfalls ein klares Sättigungsverhalten von Magnetit, d. h. 100% der Sättigung sind bereits bei 0,4 Tesla erreicht.

Bei Betrachtung der Richtungen kann eine Zweikomponentenmagnetisierung unterschieden werden, wobei die weiche Komponente auf Verwitterungseffekte zurückzuführen sein dürfte. Die Ursprungsgerade zeigt eine mit der Abnahme der Intensität einhergehende Richtung. Diese Richtung entspricht der bei der Metamorphose aufgeprägten remanenten Magnetisierung.

Bernstein

Aus dem Steinbruch in Bernstein wurden Proben entnommen um die Richtung und generelle Eignung der Serpentine für paläomagnetische Untersuchungen zu testen. Die Reinigungsversuche (Abb. 4a) beweisen die erfolgreiche Abmagnetisierung der natürlichen remanenten Magnetisierung, allerdings mit der Einschränkung, daß keine klare Ursprungsgerade erreicht werden kann. Im zweiten Quadranten ergibt sich ein Feld von Streuwerten, das in Abb. 4b im Detail, d. h. im größeren Maßstab gezeichnet wird. Es zeigt sich ein mittlerer Trend der zweifellos bei etwas zunehmender Intensität vom Ursprung weg und nicht zum Ursprung hin gerichtet ist. Die Abnahme der Intensität der Magnetisierung sowie das Verhalten der magnetischen Suszeptibilität, das in Abb. 4c gezeigt wird beweist, daß grobkörniger Magnetit das Trägermineral ist. Bei 50 Oe verliert dieser Magnetit bereits rund 80% seiner Intensität und verläuft danach allmählich gegen eine Blockierungstemperatur die über 400° C liegt. Die Suszeptibilität bleibt mehr oder weniger konstant, sodaß keine chemischen Veränderungen des Trägerminerals für die Streuungen in der Richtung verantwortlich gemacht werden können. Vielmehr ist das weiche Verhalten des Magnetites selbst dafür verantwortlich. Diese hohe Instabilität bzw. Überprägung durch eine viskose Komponente ist auch verantwortlich für die lange

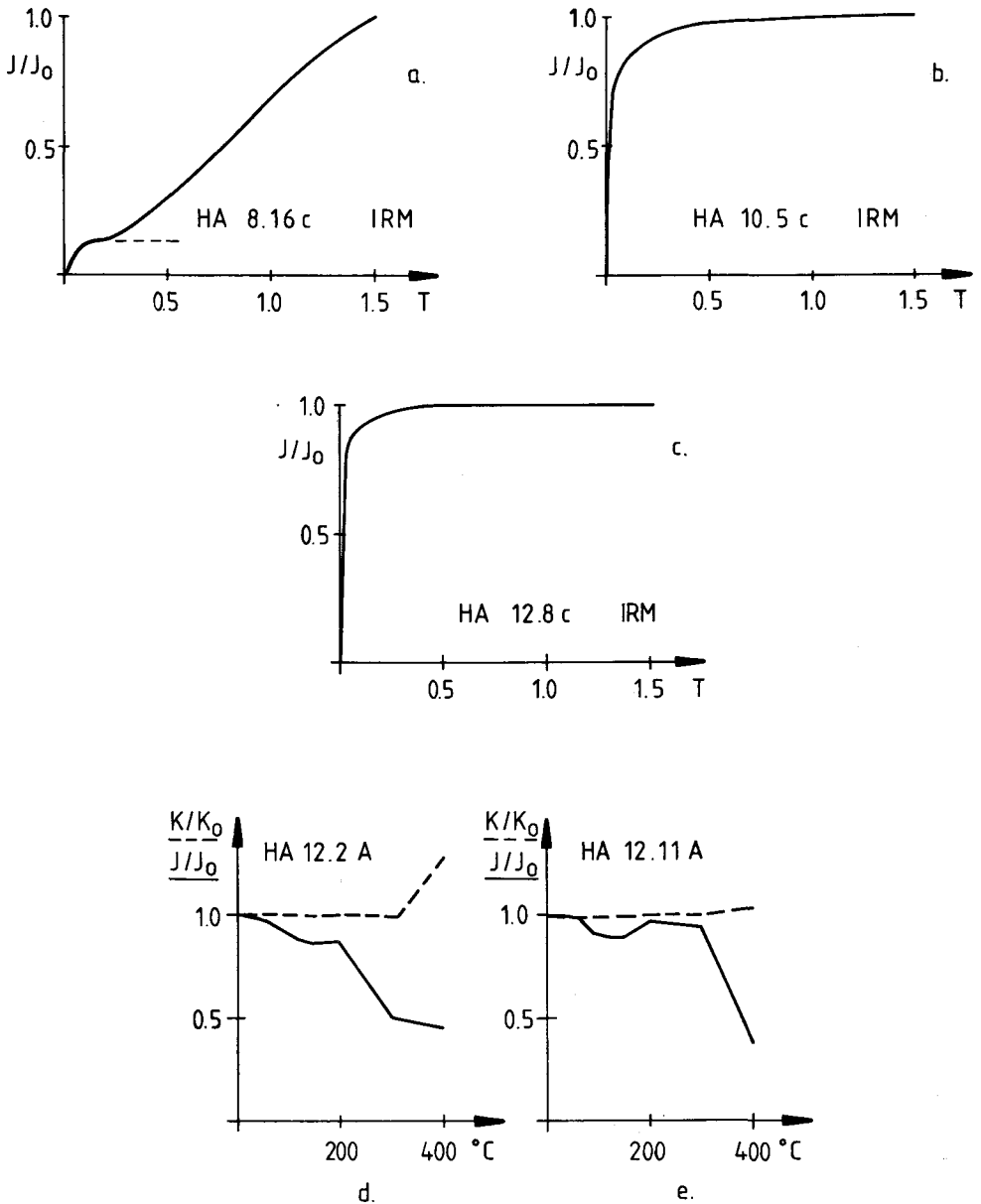


Abb. 3: a) Sättigungsverhalten einer Probe von Steinwandriegel
Magnetit und Hämatit als Trägermineral
b) Sättigungsverhalten einer Probe von Hetforrás (ca. 3 km W Kőszeg)
Magnetit als Trägermineral
c) Sättigungsverhalten einer Probe vom Eisenberg (ca. 17 km S zu W Rechnitz)
Magnetit als Trägermineral
d) e) Thermische Abmagnetisierung von Grünschiefern des Eisenberges. Normierte Intensität und Suszeptibilität über steigender Temperatur.

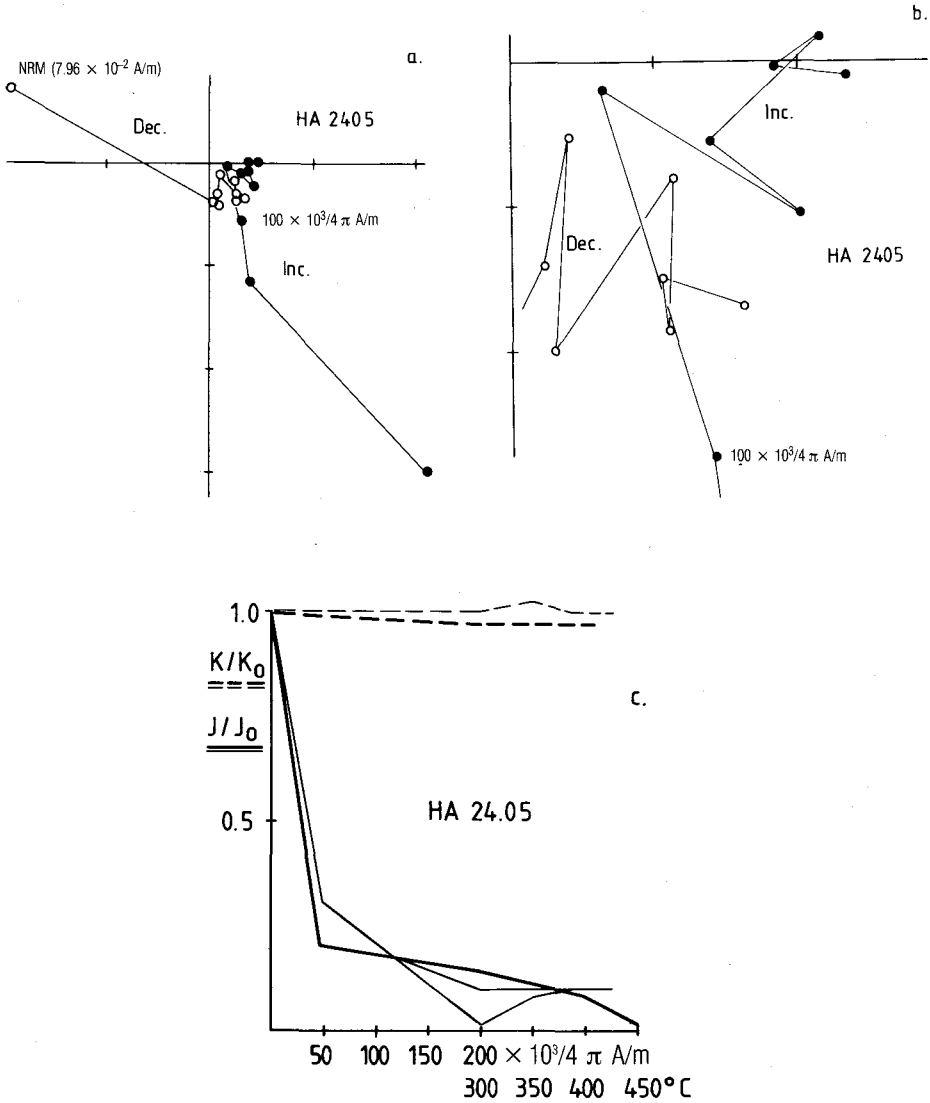


Abb. 4: a) Zijdervelddiagramm – Abmagnetisierungsverhalten einer Serpentinprobe aus Bernstein.
 b) Vergrößerter Zentralbereich des Zijdervelddiagrammes um die Streuung deutlicher zu zeigen.
 c) Normierte Intensität und Suszeptibilität in Abhängigkeit der Temperatur und der Probenorientierung.

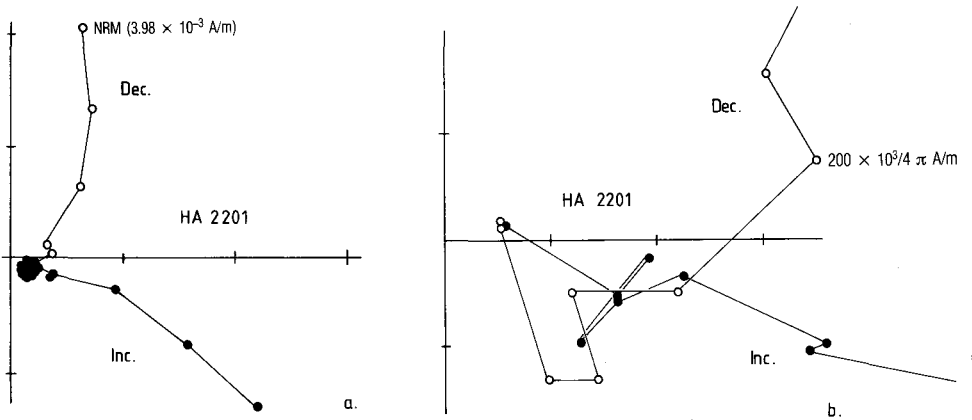


Abb. 5: a) Zijdervelddiagramm des Abmagnetisierungsverhaltens einer Probe aus der Wechseleinheit (Albit-Chlorit-Schiefer)
 b) Vergrößerter Zentralbereich

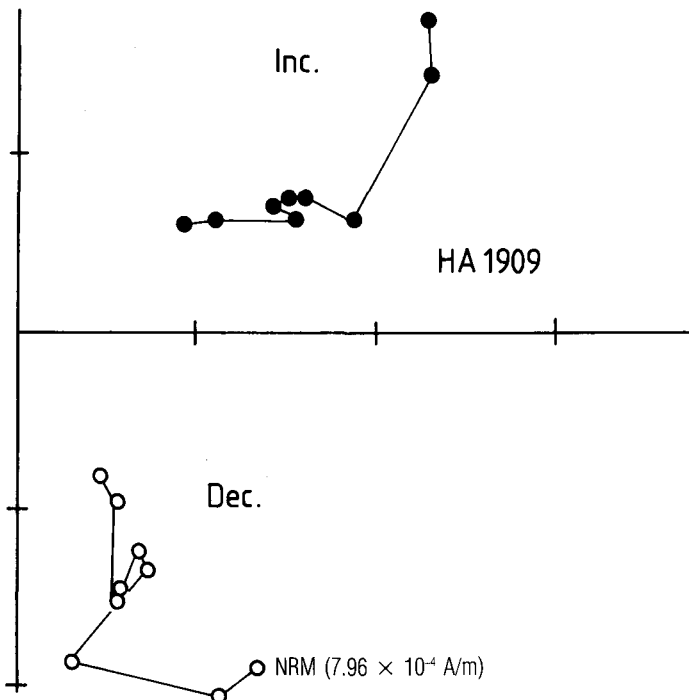


Abb. 6: Zijdervelddiagramm einer thermisch abmagnetisierten Probe aus der Sinnersdorfer Serie.

Meßzeit, da oft erst nach einer Meßdauer von 20 min. und mehr für eine Komponente, eine stabile Meßrichtung erhalten werden kann.

St. Corona

Bei St. Corona wurden an dem Straßenaufschluß in der untersten Serpentine N von St. Corona Proben eines Albit-Chlorit-Schiefers genommen. Das Reinigungsverhalten wird in der Abb. 5a, 5b dargestellt, und zeigt eine erfolgreiche Reinigung,

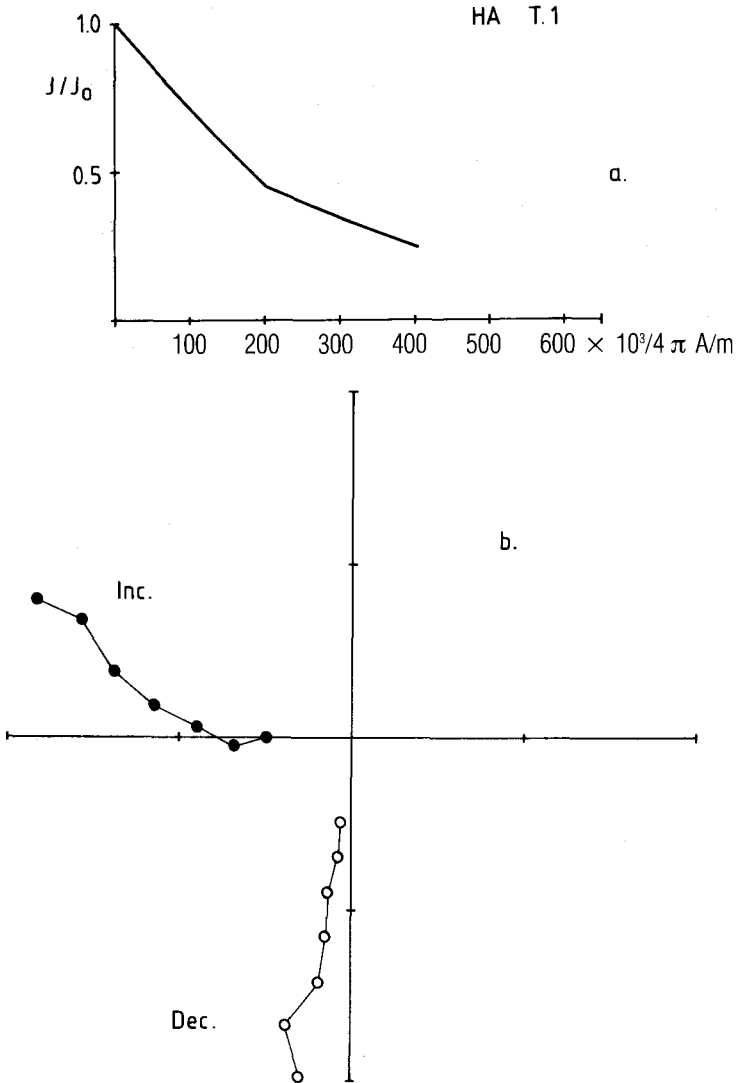


Abb. 7: a) Normierte Intensität und
 b) Zijdervelddiagramm einer Probe von Sarmat-Sedimenten bei Wechselfeldreinigung.

wobei Wechselfeld- und thermische Abmagnetisierung zur Anwendung kamen. Nach etwa 100° C stellt sich eine ungefähr gegen den Ursprung laufende Gerade ein, wengleich auch hier festgehalten werden muß, daß die Streuung im zweiten Quadranten ähnlich dem vorhin gegebenen Beispiel ziemlich groß ist.

Goberling

Am Langriegel etwa 1 km N von Goberling wurden Sandsteine des Karpat entnommen. Diese Proben sollten in Ergänzung zu den metamorphen Gesteinen die Möglichkeit geben, die Rotationen in jungen nicht metamorphen Gesteinen zu überprüfen, oder zumindest die zeitliche Einstufung ermöglichen. Das Reinigungsverhalten zeigt eine erfolgreiche Abmagnetisierung einer weichen Sekundärkomponente, die nach ungefähr 150 Oe eliminiert war (Abb. 6). Danach stellt sich mit einer geringen Streuung eine mittlere Gerade gegen den Ursprung ein. Wengleich auch eine vollständige Abmagnetisierung nicht erreicht wurde, kann doch eine vernünftige Endrichtung der Remanenz festgehalten werden.

Pinkafeld

Etwa 1 km NE von Pinkafeld wurden unterhalb der Straße nach Wiesfleck Sande bzw. sehr weiche Sandsteine beprobt, um junge Rotationen in nichtmetamorphen Serien nachzuweisen. Wie das Abmagnetisierungsverhalten zeigt, sind die Proben sowohl in Intensität (Abb. 7a) als auch Richtung (Abb. 7b) erfolgreich gereinigt worden.

Paläomagnetische Ergebnisse

Um in metamorphen Gesteinen paläomagnetische Richtungen zu erhalten bzw. zu verstehen, ist es notwendig, die Stabilität der remanenten Magnetisierung innerhalb eines Probenkernes, eines Aufschlusses oder auch einer tektonischen Einheit zu überprüfen. Aus diesem Grund wurde von Beginn, also der Probennahme an, so vorgegangen, daß jeder Kern zwei Referenzproben ergab, wobei eine Probe in Budapest, die andere in Gams gemessen wurde. Aus dem Vergleich beider Meßergebnisse ergab sich ein wichtiges Kriterium der Ausscheidung von Daten, da nur innerhalb gewisser Streubereiche liegende Magnetisierungsrichtungen akzeptiert wurden. Aus dieser Gegenüberstellung ging hervor, daß ein Großteil der Proben nicht verwendet werden konnte, da keine konsistente Magnetisierungsrichtung innerhalb eines Kernes gefunden werden konnte. Aus den akzeptierbaren Kernen wurden Mittelwerte bestimmt; mit der Anzahl der Proben wurde ein Aufschlußmittelwert gerechnet. Die statistischen Kriterien für die Güte dieser Mittelwerte folgen der Statistik von R. A. FISHER (1953). Demnach stellten sich für die einzelnen Aufschlüsse in den bearbeiteten tektonischen Einheiten Ergebnisse bei unterschiedlichen Temperaturen ein. Je nach Eignung des Gesteines für paläomagnetische Ergebnisse wurden diese Endrichtungen bei teilweise 100 Oe, 100° C oder 300° C–400° C erreicht. Eine Ausnahme bildet die hohe Temperatur von 475° C bei den Proben von Eisenberg.

In der Tab. 2 sind sowohl die tektonisch unkorrigierten, sowie korrigierten Werte der Aufschlußmittelwerte angeführt. Es ist jedoch aus den bisherigen Ergebnissen

Tab. 2:

Aufschluß-Nr.	F-Daten			B-Daten			Reinigung			
	N/Ne	Dec	Inc	k	α_{95}	Dec		Inc	k	α_{95}
Penninikum										
HA 3	11/5	43	-6	6	33,6	43	5	6	33,6	300° C
HA 4	10/6	319	-57	4	40,8	330	-34	4	40,8	300° C
HA 6	13/10	301	-37	11	15,2	322	-26	11	15,2	150-350° C
HA 8	17/13	95	-2	5	19,6	95	7	5	19,6	300-400° C
HA 10	25/12	113	-3	7	11,7	114	7	6	18,8	150-400° C
HA 18	17/14	214	-29	18	9,6	187	-36	18	96	300° C 200-600 Oe
Eisenberg										
HA 12	26/17	286	-24	17	8,8	283	-31	17	8,8	450-475° C
HA 14	26/7	232	-23	18	14,4	228	-23	18	14,4	250-350° C
HA 14	25/19	89	2	4	18,9	91	-12	4	18,9	150° C
Bernstein										
HA 24	19/19	287	54	8	12,9					NRM
	19/15	248	68	6	16,9					50 Oe
	19/14	139	-24	6	19,9					300-425° C
Grazer Paläozoikum										
HA 13	8/4	133	47	84	10,0	145	12	51	13,0	50-150° C
Wechelseinheit										
HA 22	13/11	60	-24	23	9,7	67	4	23	9,7	250-525° C
Tertiärsedimente										
HA 19	9/5	123	-36	11	23,9	133	-54	11	23,9	300° C
HA 25	12/7	167	-42	7	25,0	165	-36	7	23,9	200 Oe

(N = entnommene Probenzahl, Ne = verwertete (effektive) Probenzahl)

ziemlich klar ersichtlich, daß die Magnetisierungsrichtung zweifellos eine jungalpidisch aufgeprägte Metamorphoserichtung ist, und daher für die Beurteilung von Rotationsbeträgen oder auch nur Tendenzen, die tektonisch nicht korrigierten Werte ein größeres Gewicht erhalten. Die in der Tab. 2 zusammengefaßten Ergebnisse zeigen, daß die Mittelwerte, und zwar unabhängig von den tektonischen Einheiten, offensichtlich zwei Polaritäten – normal im Sinne des heutigen Erdfeldes und invers im Sinne einer Feldumkehr – zeigen. Diese Polaritätsunterschiede sind von entscheidender Bedeutung, da sich daraus im Vergleich mit der heutigen Nordrichtung die Drehsinne im Uhrzeiger- bzw. im Gegenuhrzeigersinn ableiten lassen. Die Ergebnisse im statistischen Sinn sind darüberhinaus so gut, daß man begründet die Richtungsänderungen als signifikant bezeichnen darf. Ebenfalls aus der Tabelle zu entnehmen sind die „tektonisch korrigierten“ Werte dieser Magnetisierungsrichtungen. Die tektonische Korrektur wurde mit der Orientierung der Schieferungsflächen vorgenommen, wobei den Autoren bewußt ist, daß diese korrigierten Richtungen, wenn man die junge Metamorphose als Aufprägungsursache akzeptiert, von keiner großen Aussagekraft sind, jedoch für den Vergleich von einigem Interesse sein können.

Im Gegensatz zu allen anderen Aufschlüssen werden für den Eisenberg sowie für Bernstein mehrere Mittelwerte dargestellt. Im Falle von Eisenberg liegt die Ursache darin, daß zwei statistisch signifikante Gruppierungen von Richtungen festgehalten werden können. Da weiters für den Eisenberg ebenfalls signifikant zwei Trägerminerale für die Richtung verantwortlich scheinen, könnte sich aus der Korrelation der zweiphasigen Mineralisierung, sowie der zwei Gruppen der Richtungen eine sinnvolle Interpretation ergeben.

Im Fall von Bernstein entsprechen die drei Mittelwerte drei verschiedenen Reinigungsstufen. Während die natürliche remanente Magnetisierung sowie die Restmagnetisierung nach 50 Oe eine relativ gute Übereinstimmung zeigen, kann man nach 300° C–425° C einen deutlichen Trend in die umgekehrte Polarität feststellen. Wenngleich auch diese Richtung für die tektonische Interpretation nicht interessant scheint, zeigt sie doch, daß die Richtung der abmagnetisierten Mittelwerte in Richtung der umgekehrten Polarität verläuft.

Aus Gründen des besseren Verstehens der Rotationsrichtungen wurden inverse Richtungen der Normalrichtungen umgerechnet, um sie mit den anderen normal gerichteten Meßergebnissen besser vergleichen zu können. Ein typisches Beispiel dafür ist die Probe HA 24 nach 425° C, die vom zweiten in den vierten Quadranten gerechnet wurde.

Diskussion

Aus den mineralogisch-geologischen Bearbeitungen der letzten Jahre (F. KOLLER 1985 und A. PAHR & F. KOLLER 1980) ist bekannt, daß die Gesteine des Rechnitzer Fensters einer zumindest zweiphasigen Metamorphose unterzogen wurden. Von der Höhe der Metamorphosetemperatur kann für die paläomagnetischen Richtungen abgeleitet werden, daß die jungalpidische Metamorphose (19–22 Ma) die prägende war. Um die Wirkung einer Metamorphosetemperatur von 400° C auf den gegenwärtigen Mineralbestand zu überprüfen, wurden Laborexperimente durchgeführt. Wie die Abb. 8 zeigt, wurden Proben schrittweise in definierten Gleichfeldrichtun-

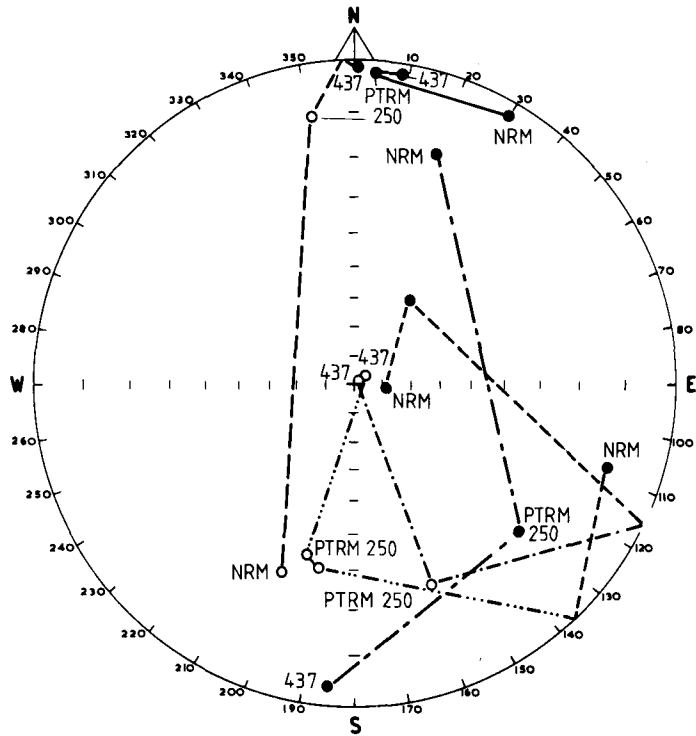


Abb. 8: Aufmagnetisierungsverhalten verschiedener Pilotproben aus dem Pennin des Rechnitzer Fensters. Zur besseren Übersicht sind nur zwei Temperaturen (250° C, 407° C) angegeben.

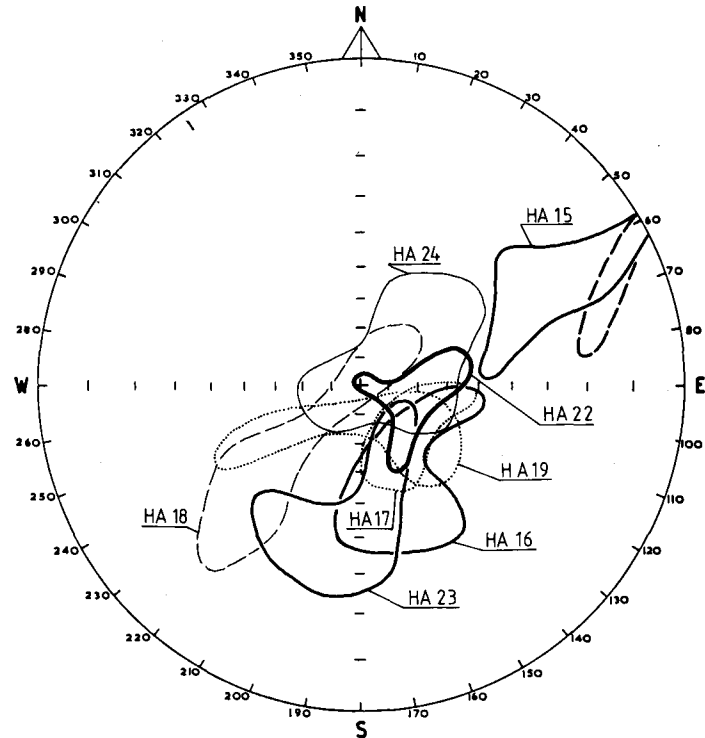


Abb. 9: Streubereiche der B-Achsen der untersuchten Aufschlüsse in heutiger Lage.

gen erwärmt, wobei die Magnetisierungsrichtung nach jedem Schritt der Erwärmung gemessen wurde. Es konnte der Beweis erbracht werden, daß die vorliegenden Gesteine zu 80% bei 250° C und zu 100% bei 400° C neu orientiert waren. Daraus ergibt sich für die Interpretation der paläomagnetischen Ergebnisse der einwandfreie Schluß, daß die Richtungen die in den Gesteinen konserviert wurden, der jungalpidischen Metamorphose entsprechen. Es ist weiters der Schluß zulässig, daß die Streuungen in den paläomagnetischen Richtungen nicht mit einer Mehrkomponentenmagnetisierung, nämlich einer vormetamorphen und einer nachmetamorphen Richtung erklärt werden kann, sondern daß die Ursachen einer in verschiedenen Zusammensetzungen der Trägerminerale, der Aufprägungsalter sowie tektonischer Beeinflussungen liegen.

Ein weiterer Gesichtspunkt für die in der Abb. 8 dargestellten Laborexperimente war aber auch, den Einfluß der Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität auf die remanente Magnetisierung bzw. deren Richtung zu überprüfen. Die Anisotropie der Suszeptibilität war im allgemeinen gering und erreichte in einigen Ausnahmen maximal 20%. Beim Laborexperiment wurde eine bekannte Schieferungsflächenorientierung in eine bekannte Magnetfeldrichtung gebracht und die aufgeprägte Magnetisierung in Abhängigkeit von dieser Orientierung untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, daß die Anisotropie der Suszeptibilität ganz offensichtlich keinen nennenswerten Einfluß auf die Richtung der Remanenz gibt, zumindest keinen Einfluß der über den bereits festgestellten Streubereich der Remanenzrichtungen hinaus geht. Die Gesteine mit den hohen Anisotropien wurden in der paläomagnetischen Diskussion nicht mehr verwendet, da sie auf Grund der hohen Streuung der Remanenzrichtungswerte für eine weitere Bearbeitung nicht mehr in Frage kommen. Die Suszeptibilitätswerte jener Aufschlüsse die in die weitere Bearbeitung eingingen, lagen unter 10%.

Die Verteilung der Minimumachse der Anisotropieellipsoide, die die Richtung der Hauptdeformationsrichtung widerspiegeln (Abb. 9), wurden mit den mittleren Orientierungsrichtungen der Schieferungsflächen der beprobten Aufschlüsse verglichen. Dieser Vergleich ergab keine Beziehung zwischen diesen Orientierungen. Dies läßt den Schluß zu, daß die Minimumachsen die Richtung der Deformation, nicht aber den Einfluß der fortschreitenden Metamorphose widerspiegeln. Die elongierte Verteilung der Minimumachsen erklärt sich aus der Schwierigkeit, Schicht- bzw. Schieferungsflächenorientierungen im Kleinbereich eines Kernes zu messen, sodaß die Streuung jener der Flächenorientierungen um eine mittlere Richtung eines Aufschlusses entspricht. Demnach gibt die Elongationsrichtung eine spätere Deformationsrichtung an. Rotiert man die Minimumachsenverteilung um die aus den Remanenzrichtungen bekannten Rotationsbeträge (Abb. 10) in die miozäne Situation, können noch deutlicher zwei Vorzugsrichtungen erkannt werden, die zwei Deformationsphasen zugeschrieben werden.

Faßt man alle bisher dargelegten Ergebnisse zusammen, so kann festgestellt werden, daß die in Abb. 11 gezeigten Mittelwerte der charakteristischen remanenten Magnetisierung nicht auf eine Mehrkomponentenmagnetisierung zurückzuführen sind, nicht durch extreme Anisotropieeffekte beeinflusst sind, und außerdem den Kriterien für eine statistische Signifikanz paläomagnetischer Ergebnisse entsprechen. Es soll jedoch nicht verschwiegen werden, daß einige der Aufschlüsse entweder

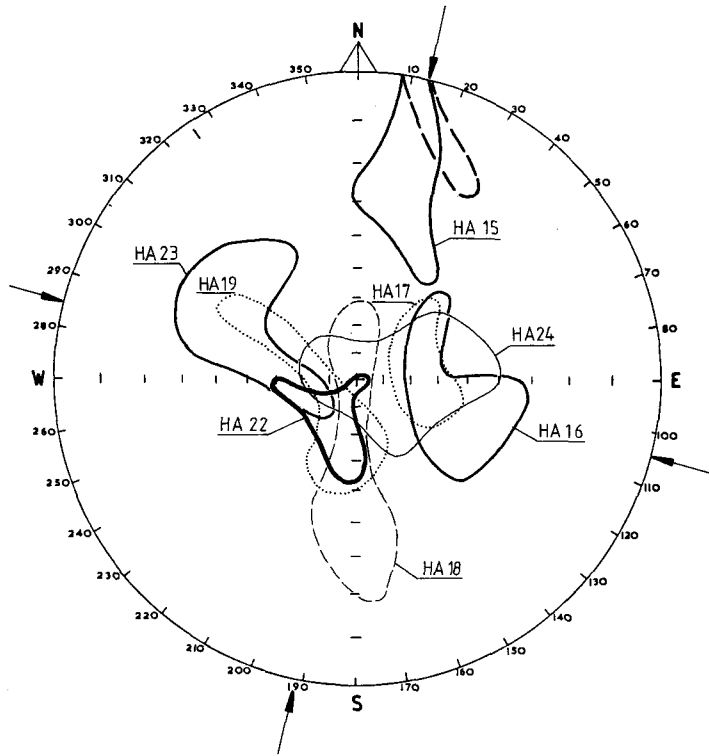


Abb. 10: Streubereiche der B-Achsen in gedrehter Lage

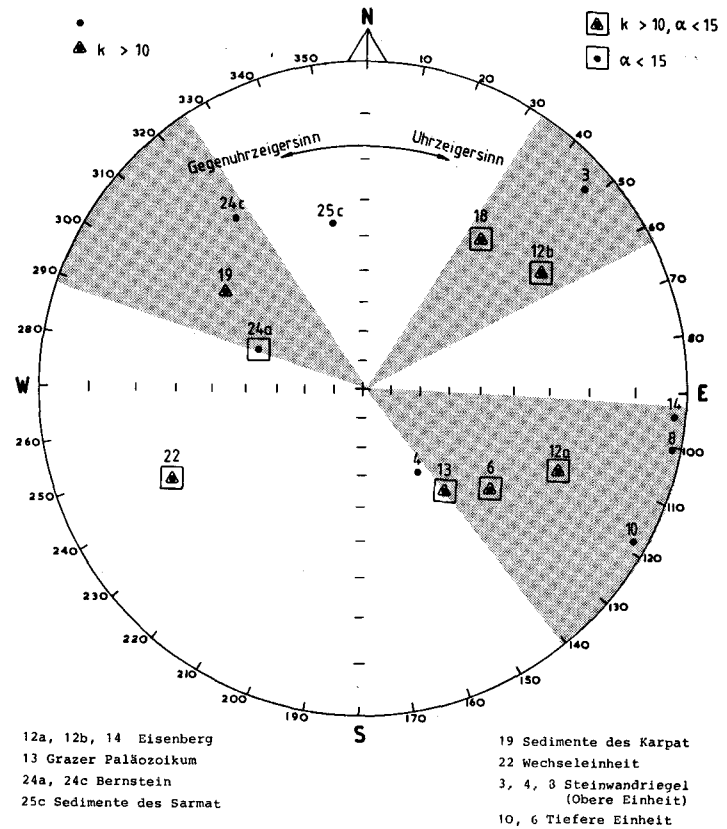


Abb. 11: Zusammenstellung der paläomagnetischen Richtungen. Schattiert sind die Rotationsgruppen. Alle Richtungen wurden auf positive Inklination umgerechnet und nach statistischen Parametern qualifiziert.

einen zu niedrigen Präzisionsfaktor (<5) oder einen zu großen α_{-95} ($>20^\circ$) zeigen. Diese Ergebnisse werden wegen der besseren Übersicht über alle Richtungen in der Tabelle 2 und in Abb. 11 gezeigt.

Beginnt man mit der tektonischen Interpretation dieser Abbildung, so muß man berücksichtigen, daß die Remanenzrichtungen nicht im normalen Sinn präzise Richtungen und, daraus abgeleitet, präzise Rotationsbeträge darstellen. Es ist jedoch ebenso klar festzustellen, daß es möglich war, Gruppen von Rotationstendenzen abzusondern und gegenüberzustellen. Danach können wir zwei Gruppen von Uhrzeigersinnrotationen sowie zumindest eine Gruppe von Gegenuhrzeigersinnrotationen festhalten. Zu den Gegenuhrzeigersinnrotationen gehören die Wechseleinheit, die Sedimente des Oberen Karpats von Goberling, sowie der Serpentin von Bernstein. Während der Wechsel eine überraschend gute Richtung ergab und allen statistischen Kriterien bestens entspricht, sind die Ergebnisse von Bernstein weniger signifikant, zeigen jedoch zweifelsfrei eine Rotation im Gegenuhrzeigersinn. Sie zeigt außerdem eine gute Übereinstimmung mit der Richtung der überlagernden Sedimente. Diese Rotationsrichtung scheint, wenn auch in wesentlich geringerem Ausmaß, von den Obersarmatergebnissen bestätigt. Der Serpentin von Bernstein als oberste Folge der oberen penninischen Einheit der Rechnitzer Fenstergruppe zeigt zweifellos, daß die gefundene Rotation die Folge der Überschiebung der Wechseleinheit auf das Pennin ist.

Der ersten Gruppe der Uhrzeigersinnrotationen, die im Mittelwert einen Rotationsbetrag gegenüber geographisch Nord von ungefähr 45° zeigt, gehören Richtungen vom Steinwandriegel, Markthodis, sowie dem Eisenberg an. Die Richtungen von Steinwandriegel geben ein sehr gut gruppierendes Ergebnis und bestätigen mit einer Gruppe vom Eisenberg diese Rotationstendenz. Für die Ergebnisse vom Eisenberg kann festgehalten werden, daß zwei Gruppierungen unterschieden werden können, deren eine zur geringeren und deren andere zur weiteren Uhrzeigersinnrotationsgruppe gehören.

Der zweiten Gruppe von Uhrzeigersinnrotationen gehören jene von Eisenberg, Grazer Paläozoikum, sowie den restlichen Aufschlüssen des Pennins des Rechnitzer Fensters an. Es ergibt sich nun die Frage, wie diese zwei verschiedenen Beträge von Uhrzeigersinnrotationen verstanden werden können. Eine mögliche Erklärung könnte darin liegen, daß die Gesteine einer Gruppe durch Magnetit als Trägermineral und die zweite Gruppe durch Pyrrhotin dominiert wird. Daraus folgt der Schluß, daß die Magnetisierungsrichtungen von Magnetit und Pyrrhotin zu unterschiedlichen Zeiten des tektonischen Ablaufes aufgeprägt worden sind. Das heißt, daß die magnetitführenden Schichten die ältere Magnetisierungsrichtung zeigen, während der Pyrrhotin bei weiterer Abkühlung, d. h. in späterer tektonischer Situation, magnetisiert wurde.

Wenn dieser Schluß richtig ist, dann könnte auch für die übrigen Vorkommen angenommen werden, daß die beiden Gruppierungen von Richtungen zwei tektonischen Phasen dieses Raumes entsprechen.

Was den Vergleich der Grünschiefer von Hannersdorf und Grazer Paläozoikum betrifft, so scheinen die vorliegenden Ergebnisse aufzuzeigen, daß die Magnetisierungsrichtung von Hannersdorf ebenso jung ist wie jene aus dem übrigen Pennin, nämlich jungalpisch. Daraus ergibt sich ferner, wenn man diese Richtungen mit

den Richtungen aus dem Grazer Paläozoikum (H. W. FLÜGEL, H. J. MAURITSCH, H. HEINZ & W. FRANK, 1980) vergleicht, daß diese Paläozoika gegenüber dem Grazer Paläozoikum einen Winkel von mehr als 90° im Uhrzeigersinn aufweisen. Da nun die Vulkanite miozänen Alters aus dem oststeirischen Becken mehr oder weniger Stabil Europa Tertiärrichtungen zeigen, kann gefolgert werden, daß auch das Paläozoikum seit der Abkühlzeit der Vulkanite keine nennenswerte Rotation ausführte. Falls Hannersdorf zum Grazer Paläozoikum gehört, was nach R. GRATZER (1985) u. a. möglich scheint, bleibt für diese Rotation ein sehr schmales Zeitintervall zwischen jungalpidischer Metamorphose (ungefähr 20 ma) und dem Abkühlungsalter der miozänen Vulkanite von Gleichenberg (ca. 15 ma) und erfolgte zeitgleich mit jener des Eisenberges.

Danksagung

Es ist den Autoren eine angenehme Pflicht dem Ministerium für Wissenschaft und Forschung in Wien, sowie dem Eötvös Lorand Geophysical Institute in Budapest für die Unterstützung bei der Durchführung des Projektes zu danken.

Literatur

- FISHER, R. A.: Dispersion on a sphere. – Proc. Roy. Soc. Lond. A., **217**, 295–305, 1953.
- FLÜGEL, H. W., MAURITSCH, H. J., HEINZ, H. & FRANK, W.: Paläomagnetische und radiometrische Daten aus dem Grazer Paläozoikum. – Mitt. österr. geol. Ges., **71/72**, 201–211, Wien 1980.
- FRANK, W. in KOLLER, F.: Petrologie und Geochemie der Ophiolite des Penninikums am Alpenostrand. – Jb. geol. BA., **128/1**, Wien 1985.
- GRATZER, R.: Vergleichbare Untersuchungen an Metabasiten im Raum Hannersdorf, Burgenland. – Sitzber., österr. Akad. Wiss., mathem.-natw. Kl., Abt. I, **194**, 6.–10. Heft, Wien 1985.
- KOLLER, F.: Petrologie und Geochemie der Ophiolite des Penninikums am Alpenostrand. – Jb. geol. BA., **128/1**, Wien 1985.
- KOLLER, F. & PAHR, A.: The Penninic Ophiolites on the Eastern End of the Alps.-Ofioliti, **5/1**, Bologna 1980.
- PAHR, A.: Die Fenster von Rechnitz, Bernstein und Möltern. – [In:] OBERHAUSER, R. [Red.]: Der Geologische Aufbau Österreichs, Wien (Geol. BA.) 1980.
- PAHR, A.: Das Burgenland – geologisches Grenzland zwischen Ostalpen, Karpaten und Pannonischem Becken. – Geogr. Jb Burgenland, **7**, Neusiedl a. See 1983.
- SCHMIDT, W. J.: Überblick über geologische Arbeiten in Österreich. – Z. dt. geol. Ges., **102** (1950), Hannover 1951.
- SCHÖNLAUB, H. P.: Schwamm-Spiculae aus dem Rechnitzer Schiefergebirge und ihr stratigraphischer Wert. – Jb. geol. BA., **116**, Wien 1973.

Bei der Schriftleitung eingelangt am 26. Mai 1987