

DAS ALTER DER METAMORPHOSE VON METABASITEN UND EKLOGITEN IN KOR- UND SAUALPE.

Arbeitsbericht 1982 von Ch. MILLER* (S15/05) und W. FRANK** (S15/02)

In den bisher publizierten Schemata¹ über die Metamorphosegeschichte des Kor- und Saualpenkristallins (vgl. z. B. WEISSENBACH 1975) werden zwei Metamorphosen im Hochkristallin unterschieden.

Eine temperaturbetonte andalusitführende und eine Mittel-(Hoch)druckmetamorphose, die mit intensiver Deformation (zeitgleich mit Plattengneisdeformation) verbunden war. Die Eklogitbildung kann nach dieser Gliederung nur mit dem zweiten Ereignis in Zusammenhang gebracht werden. Sie ist damit offensichtlich als variszisch anzusehen, da die Auffassung, daß die gesamte postandalusitische Interntektonik und Metamorphose ein alpines, kretazisches Alter besitzt, sich nicht durchsetzen konnte. Diese letztere Auffassung (WEISSENBACH 1969, Vortrag in Innsbruck) enthält jedoch einen richtigen und sehr wesentlichen Ansatzpunkt. Wie die Untersuchungen der letzten Jahre gezeigt haben (vgl. FRANK et al. dieses Heft) ist nämlich eindeutig geklärt, daß die disthenführende zweite Hauptmetamorphose in zwei zeitlich unterscheidbare Ereignisse zu unterteilen ist.

Das ältere Ereignis korreliert mit der Hauptmetamorphose und Haupttektonik von Stub- und Gleinalpe und ist geochronologisch nachweislich variszisch. Das jüngere Ereignis korreliert mit der Plattengneistektonik und ist kretazisch. Aus der detaillierten Kenntnis der variszischen Metamorphoseentwicklungsgeschichte, die nun durch frühere Arbeiten (WEISSENBACH 1965, KLEINSCHMIDT 1968, NEUGEBAUER 1970) und die neuen Untersuchungen großräumig bekannt sind, geht recht klar hervor, daß das variszische tektonische Ereignis den erstmaligen Einbau der als paläozoisch aufgefaßten bunten Serie (bis Devon, ? Unterkarbon reichend, Metabasitfolgen, saure ? vulkanogene Magmatite, Glimmerschiefer, Quarzitische Serien, und Karbonate) in eine einförmige, sandig tonige Sedimentfolge mit z. T. schon vorhandener hochgradiger Metamorphose (hier Andalusit-, Sillimanit-führend) bedeutet. Sehr charakteristische weitverbreitete Details dieser variszischen Kristallisationsgeschichte weisen darauf hin, daß die variszische Tektonik mit einer sehr raschen Versenkung begann und einer progressiven Metamorphose langsam ausklang. Die Zusammenstauchung der Kruste war außerordentlich intensiv und es liegt nahe, in diesem Prozeß den Anbau eines ? Inselbogens (vulkanogene Serie der Gleinalm) an den Rand eines Kontinents zu sehen, der mit Subduktionsvorgängen verbunden gewesen sein könnte.

* Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck.

** Institut für Geologie der Universität Wien.

Aus der allgemeinen Kenntnis über die Eklogitbildung ist es verständlich, daß mit dem vorhin geschilderten Vorgang am ehesten die Eklogitbildung erklärt werden könnte. Demnach sollten die Eklogite in diesem Kristallin variszisch entstanden sein. Verschiedene Beobachtungen lassen jedoch auch eine Korrelation mit der dritten Hauptmetamorphose und der Plattengneistektonik möglich bis wahrscheinlich erscheinen.

Diese Ausgangssituation war maßgeblich, um mit gezielten petrographischen und geochronologischen Untersuchungen zur Einordnung der Eklogite im Kristallin von Kor- und Saualpe zu beginnen. Erste, z. T. vorläufige Ergebnisse werden hier berichtet.

Für diese Untersuchungen wurden vor allem textuell möglichst einfache Gesteine ausgesucht. Die ausgewählten Vorkommen wurden schon von früheren Bearbeitern (BECK-MANNAGETTA 1961, HERITSCH 1973, 1980, RICHTER 1973, WEISSENBACH 1965, 1975) beschrieben, eine kurze Charakterisierung ist weiter unten gegeben.

In den meisten Fällen bildet nur eine Generation von Mineralien angenäherte Gleichgewichtsparagenesen. Die Schätzung der Bildungsbedingungen der Eklogite (650–700°C, 13–15 kb) ist durch analytische und experimentelle Unsicherheiten und Effekte der Kationenordnung im Omphacit mit großen Unsicherheiten behaftet.

Tabelle 1 zeigt, daß es sich bei den untersuchten Proben um tholeiitische Metabasite handelt. Die Metabasite lassen sich zwar auf Grund der Spurenelementgehalte mit modernen Ozeanbodenbasalten (H11, H12, W4, WAP1149, GE1, GE2) bzw. mit Basalten ozeanischer Inseln (W2, Fyk236) vergleichen, doch sollen erst weitere Untersuchungen die Frage nach dem geotektonischen Milieu der Magmenentstehung abklären.

Kurzbeschreibung der untersuchten Vorkommen:

B9 (Bärofen W Schwanberg)

Mittel- bis grobkörniger, wenig deformierter Metagabbro (Cpx–Plag). Wie von HERITSCH (1973) beschrieben, zeigen die undulös auslöschenden Plagioklase eine beginnende Umwandlung zu Kya–Zoi–Qtz. Die Klinopyroxene sind durch Deformationslamellen, Entmischungslamellen von Orthopyroxen und durch zahlreiche Entmischungsmikrolithe von Ilmenit charakterisiert. An der Grenze Plag/Cpx kam es zur Bildung Spinell-führender Coronas.

H8 (Hohl)

Der feinkörnige, inhomogene Amphiboleklogit (Gar–Omp–Amp–Zoi–Kya–Qtz–Rut) stammt aus dem eklogitischen Metagabbro von Hohl (HERITSCH, 1973), und zwar aus einer geringmächtigen Scherzone, deren Lineation der Plattengneislineation richtungsmäßig entspricht. Idiomorphe, kaum zonare Granate bilden Coronatexturen um equigranulare Areale mit Omp + Amp + Qtz, während Zoi + Kya + Qtz eine straffe Regelung mit einer die Deformation überdauernden Kristallisation aufweisen.

H11 (Hohl)

Homogener, mittelkörniger, paralleltexturierter Amphiboleklogit (Gar–Omp–Amp–Zoi–

Qtz-Rut-Pyrit). Die Granate sind durch zentral gehäufte Einschlüsse (Qtz, Rut, Zirkon) und Zonarbau charakterisiert (Kern: Py 24 Gross 28 Spess 2.6 – Rand: Py 28 Gross 24 Spess 0.8). Die Pyroxene zeigen randlich beginnenden Zerfall zu Symplektit (Plag: An 12 + Cpx: Jd + Ac = 13).

H12 (Hohl)

Mittelkörniger, homogener Amphiboleklogit (Omp-Gar-Amp-Zoi-Qtz-Rut). Omp und Zoi definieren eine Paralleltextur. Amp bildet bis cm große, ebenfalls in s eingeregelter, unregelmäßig begrenzte Poikiloblasten, ohne daß Reaktionsbeziehungen mit anderen Phasen ersichtlich sind. Die einschlußarmen Granate sind hypidiomorph und weisen einen wenig ausgeprägten Zonarbau auf (Kern: Py 28.5 Gross 23 Spess 1.5 – Rand: Py 29.3 Gross 21 Spess 1.3).

WAP1149 (Weinebene)

Feinkörniger Amphibolit (Amp-Epi-Plag-Gar-Chl-Qtz-Rut-Ap-Pyrit) mit Plattengneislination.

W2, FYK236 (Steinbruch Weckbecker, Gams)

Feinkörnige, heteroblastische, paralleltexturierte Amphiboleklogite (Amp-Omp-Gar-Zoi-Qtz-Sph-Ap-Graphit) mit einem im wesentlichen durch wechselnden Amphibolgehalt bedingten Lagenbau. Nach Untersuchungen von FREY (1983) läßt sich die ausgeprägte Einregelung von Omp und Amp auf die Plattengneistektonik beziehen. Die Symplektit (Di + Plag)-Bildung aus Omp ist einem späteren statischen Ereignis zuzuordnen.

Die bis 3 mm großen, idiomorphen Granate sind zonar (Kern: Py 14.5 Gross 35 Spess 4.8 – Rand: Py 20 Gross 30 Spess 1.5) und zeigen neben zahlreichen Einschlüssen von Omp, Amp, Zoi, Qtz, Sph vereinzelt auch Plag (An 10).

W4 (Weckbecker)

Grobkörniger Granatamphibolit (Amp-Gar-Zoi-Rut) mit idioblastischer Paralleltextur. Die Granate sind einschlußreich mit folgenden Phasen: Amp (= Amp_{se})-Qtz-Chl-Plag (An 9–15).

H24 (Fürpaß)

Mittelkörniger, paralleltexturierter Amphiboleklogit (Gar-Omp-Amp-Zoi-Qtz-Rut) mit „Gleichgewichts“-Kornkontakten. Die Granate sind einschlußarm und kaum zonar (Kern: Py 32 Gross 22.8 Spess 1.7 – Rand: Py 33.7 Gross 21.6 Spess 1.7).

H22 (Fürpaß)

Grobkörniger massiger Granatamphibolit (Amp-Zoi-Qtz-Ga-Plag-Rut), in welchem eine Paralleltextur durch subparallel eingeregelter Zoi-Idioblasten angedeutet wird. Granat (Py 30) tritt in einschlußfreien Körnern unterschiedlicher Größe, oft unregelmäßig begrenzt, vorwiegend als Einschluß in Amp auf.

GE1, GE2 (Gertrusk, Saualpe)

Mittelkörniger, massiger Eklogit (Gar-Omp-Epi-Qtz-Rut-Zirkon-Apatit) mit bereichs-

Tabelle 1: Chemismus von Metabasiten aus Kor- und Saualpe.

	Bärofen		H o h l		Fürpaß		Weckbecker		Gams	Weinebene	Gertrusk	
	B 9	H 8	H 11	H 12	H 22	H 24	W 2	W 4	FYK 235	WAP 1149	GE 1	GE 2
SiO ₂	50.35	50.73	50.34	49.09	53.36	49.22	46.85	44.56	46.45	46.18	48.05	46.65
TiO ₂	.59	.63	1.33	1.60	.44	1.09	1.39	.97	1.32	1.10	2.05	2.08
Al ₂ O ₃	11.08	16.18	15.30	14.67	15.51	13.99	15.54	15.86	14.89	16.60	14.31	15.26
Fe ₂ O ₃	2.07	1.45	2.42	2.72	2.27	2.37	1.91	1.44	1.51	3.03	4.08	2.68
FeO	6.45	5.85	6.95	8.35	4.90	7.50	6.90	8.25	7.15	6.30	8.95	9.85
MnO	.19	.14	.16	.18	.15	.18	.15	.16	.17	.15	.24	.23
MgO	12.63	8.66	7.44	7.59	8.53	8.57	8.25	13.33	8.25	9.12	8.78	6.37
CaO	14.08	12.98	11.72	11.81	10.14	12.33	13.72	10.08	15.45	13.07	9.24	12.17
Na ₂ O	1.25	1.69	2.63	2.50	2.97	3.52	2.72	2.35	2.05	1.83	1.88	2.88
K ₂ O	.02	.02	.07	.02	.23	.04	.29	.31	.21	.20	.25	.09
P ₂ O ₅	.03	.06	.13	.16	.03	.05	.19	.08	.18	.12	.19	.18
H ₂ O ⁺	.63	.95	1.20	1.17	1.13	1.03	1.51	1.44	1.49	1.30	1.60	1.19
CO ₂	.08	.05	.05	.06	.10	.05	.13	.02	.18	.04	.05	.04
C	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.09	.01	.04	.01	.00	.00
Total	99.45	99.39	99.74	99.92	99.76	99.94	99.64	98.86	99.34	99.05	99.67	99.67
Trace Elements in ppm												
Nb	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Zr	17	23	80	97	37	20	97	57	96	59	129	130
Y	13	10	24	33	5	13	16	16	17	18	36	38
Sr	61	111	174	91	211	46	234	109	245	171	49	182
Rb	0	0	1	0	1	0	2	1	2	2	3	1
Pb	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ga	5	8	12	11	10	8	11	8	10	10	12	16
Zn	42	26	46	38	80	44	71	61	71	56	192	123
Cu	101	30	18	16	24	67	5	21	4	70	193	3
Ni	129	80	74	69	65	84	275	404	255	113	64	73
CO	46	29	42	48	35	39	51	63	49	49	60	58
Cr	617	294	232	205	143	203	663	895	622	326	220	206
V	320	233	255	308	201	405	223	180	263	236	332	291
Ce	0	0	0	1	0	0	0	2	14	0	13	20
Nd	0	0	0	10	0	0	9	0	10	3	15	18
Ba	14	4	8	9	11	2	18	6	23	20	16	13
La	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sc	61	39	42	46	41	51	35	34	35	35	51	49
S	23	92	0	0	424	925	67	0	0	0	0	0

weiser starker Amphibolsprossung (GE1) und Hellglimmer-Schlieren. Die bis cm großen Amphibolpoikiloblasten überwachsen Gar--Epi und Rut ohne erkennbare Reaktionsbeziehung, während Omp nur noch reliktsch, umgeben von Qtz und Plag (An18), in myrmekitisch aussehenden Korrosionsschläuchen auftritt. Die phengitischen Hellglimmer sind stets von einem diablastischen Saum von Biotit und Plag (An37) umgeben.

Geochronologische Untersuchungen

Die analysierten Hornblenden wurden möglichst sauber separiert, wobei zumeist auch ein händisches Auslesen der Verunreinigungen erfolgte. Die Argongehalte konnten am Labor für Kosmochronologie und Geochronologie der ETH Zürich gemessen werden. Mit der dafür verwendeten Anlage können kleine Ar-Mengen mit hoher Genauigkeit gemessen werden, die Mengenbestimmung erfolgt dabei nicht mit einem Ar³⁸-Spike, sondern mit einer sehr gut reproduzierbaren absoluten Intensitätseichung. Herrn Prof. Dr. SIGNER sei für das Angebot, die Anlage benutzen zu können und Herrn Dr. A. DEUTSCH für die apparative Einführung und Hilfe und wertvolle Diskussionen gedankt. Die Kaliumgehalte liegen derzeit noch als Meßwerte der EMS vor, sie werden im Wiener Labor mit der Isotopenverdünnungsmethode wiederholt werden. Die Ergebnisse sind daher nur als vorläufige zu bezeichnen, es sind jedoch nur geringe Verschiebungen, die keine Änderung der grundsätzlichen Interpretation zur Folge haben, zu erwarten.

Diskussion der Ergebnisse:

Betrachtet man die Ergebnistabelle so fallen zwei Gruppen auf: 2 Werte (H8, W4) sind deutlich höher (Ar⁴⁰-Überschuß) als die übrigen, die von 180–337 Ma streuen.

Die beiden hohen Werte stammen von Proben, deren Gefüge von der letzten tektonischen Hauptphase entscheidend geprägt wurde. H8 mit dem sehr hohen Ar⁴⁰-Überschuß stammt aus einer schmalen Zone aus dem mächtigen Metabasitkörper von Hohl, der noch schemenhaft die Gabbrostruktur erkennen läßt. Das Auftreten von Ar⁴⁰-Überschuß in jungen Durchbewegungszonen im Bereich älterer Gesteinskomplexe (Hohl) oder in Gesteinen mit fehlender Durchgasung mit fluider Phase (Plattengneis) ist eine häufige Erfahrung. Das Ergebnis weist somit darauf hin, daß diese Tektonik tatsächlich bei der letzten kretazischen Metamorphose erfolgte. Würde die kretazische Metamorphose nur ein thermisches Ereignis darstellen, wäre zu erwarten, daß solche Ar⁴⁰-Überschußgehalte abgebaut werden.

Vom rechnerischen Ergebnis her könnten die Werte um 180 Ma Mischalter darstellen. H12 zeigt jedoch keine nennenswerte Korngrößenabhängigkeit. Das Ar scheint demnach in dieser Probe, die eine jüngere Kristallisation an der Basis des Vorkommens von Hohl repräsentiert, weitestgehend gleichmäßig in den Hornblenden verteilt zu sein. Dies spricht dafür, daß während einer kretazischen Kristallisation dieser Hornblenden ein allgemeiner Ar⁴⁰-Überschuß-

Tabelle 2: K/Ar-Daten von Hornblenden aus Amphiboliten und Eklogiten im Bereich der Koralpe.

Probe	Mineral	Korngröße μ	Ar ⁴⁰ rad 10 ⁻⁶ ccm ³ /g	% rad	% K*	Alter*	Bemerkungen	
WAP 1149	feink. Amphibolit mit Platten-gneislineation Weinebene	Hbl	70–150	1,53	83	~0,2	187 ± 9	
H24	mk. Amphiboleklogit, lagig Stbr. Fürpaß	Hbl	150–250	2,02	74	0,14	337 ± 18	
H22	grobk. Granatamphibolit Stbr. Fürpaß	Hbl	150–250	2,70	82	0,32	205 ± 10	
H8	feink. Amphiboleklogit, junge Scherzone im eklogit. Metagabbro Hohl	Hbl	70–150	35,65	98	~0,2	2281 ± 93	deutlicher Ar ⁴⁰ Überschuß
H11	mk. Amphiboleklogit Aufschlußbasis Hohl	Hbl	150–250	2,52	87	0,22	273 ± 12	
H12	mk. Amphiboleklogit Aufschlußbasis Hohl	Hbl	150–250	1,41	68	0,19	181 ± 11	
H12	mk. Amphiboleklogit Aufschlußbasis Hohl	Hbl	250–420	1,44	49	0,19	185 ± 15	
W4	grobk. Granatamphibolit mit Plattengneistextur Stbr. Weckbecker	Hbl	150–250	5,59	92	0,28	452 ± 20	deutlicher Ar ⁴⁰ Überschuß
Ge2	mk. massiger Eklogit Gertrusk	Ga	150–250	0,069	38	≈ 0,02	87 ± 9	

* Die Kaliumgehalte wurden mit EMS (ARL, Innsbruck) bestimmt und können wie das damit errechnete Alter nur als vorläufige Werte betrachtet werden.

Zur Altersberechnung wurden die von STEIGER & JÄGER 1977 angegebenen Konstanten verwendet.

Partialdruck im Gestein vorhanden war. Dieser Überschuß ist mengenmäßig nicht groß, er entspricht der Menge, die ein Glimmer in etwa 2,5 Ma speichert. Bezeichnenderweise hat MORAUFF 1979 feststellen können, daß im Kor- und Saualpenkristallin ein leichter Ar^{40} -Überschuß weit verbreitet ist, indem K/Ar Glimmeralter oft um wenige Ma höher sind als die jeweiligen Rb/Sr Glimmeralter. Die Menge an Ar^{40} -Überschuß kann natürlich lokal stark variieren. H11 stammt aus der unmittelbaren Nachbarschaft von H12, liegt aber näher dem gabbroiden Kern, sie zeigt dieselbe Kristallisation wie H12, wenn auch einen geringfügig reliktschen Charakter. Der Alterswert von 273 Ma an den Hornblenden dieser Probe wird daher als Hinweis auf einen etwas höheren Ar-Überschuß aufgefaßt. Die Verhältnisse von Fürpaß sind im Hinblick auf die Bildung der Hornblenden derzeit nicht befriedigend zu interpretieren, da die Einordnung der Gefügeprägung in das generelle Schema uns noch unklar ist. Der sehr geringe Ar^{40} -Gehalt der Granate vom Gertrusk-Gipfel ist ein Hinweis, daß hier praktisch kein Überschuß-Argon in kretazischer Zeit vorhanden war und die übrigen Minerale dieses Gesteins vermutlich eine eindeutige Altersaussage bringen könnten.

Insgesamt sprechen diese Daten dafür, daß für einige Lokalitäten eine Neubildung von Hornblende zu kretazischer Zeit anzunehmen ist. Für die Bildung des Omphazits ist dies zumindest fallweise ebenso anzunehmen, z. B. bei W4, W2, FK232. Auch WEISSENBACH (1965) beschreibt, daß Omphazit in Feinkorneklogiten als relativ letzte Bildung ein straff geregeltes s von Zoisit und Erz ungestört überwächst. Daraus ergibt sich der begründete Verdacht, daß ein Teil der Eklogite im Koralmkristallin Neubildungen während der kretazischen Metamorphose und Deformation darstellen. Es ist anzunehmen, daß diese Neubildung der Paragenese auf Kosten schon vorhandener Eklogitkörper erfolgte.

Ein klares Argument für solche voralpine Eklogite liegt bei dem Zug der südlich der Wein ebene (BECK-MANNAGETTA, Blatt Wolfsberg) vor. Die Eklogite waren in Schurfröschen der Fa. Minarex bestens aufgeschlossen und wir schließen uns ganz der Interpretation von Herrn Dr. R. GÖD, dem wir für die Proben und Schliffe bestens danken, an, daß die s-parallelen, sehr selten auch diskordanten Pegmatite mit Spodumen die schon vorhandenen, verformten Eklogite durchdrungen haben und selbst später keine nennenswerte Deformation erfuhren. Die Alterswerte dieser Pegmatite liegen derzeit noch nicht vor, doch ihre mineralogisch identischen Äquivalente am Oberrand des Kristallins von Radegund sind geochronologisch als variszische nachgewiesen.

Bezeichnenderweise wechsellagern die eben erwähnten Eklogite unter dem Plattengneis mit Glimmerschiefern, die eine Kristallisationsgeschichte wie die Gesteine des Wolfsberger Fensters bzw. der Stubalpe und somit eine Reihe typischer variszischer Relikte aufweisen. Aus der Fortsetzung dieses Eklogitzuges in Richtung auf die Unterkante des Hauptplattengneiszuges stammt die Probe WAP1149. Hier ist die Gefügeregelung gänzlich neu und entspricht der Plattengneislineation, Granat stellt in Umwandlung befindliche deformierte Relikte dar, Omphazit ist nicht mehr vorhanden. Rutil ... zusammen mit Ilmenit typisch im Plattengneis – ist die einzige Titan-

erzphase, während im sicher voralpinen Eklogitzug ausschließlich Titanit vorkommt. Der Alterswert der Hornblenden von 187 Ma dieses später amphibolitisierten Zuges weist somit wieder auf ihre kretazische Neubildung unter leichten Ar⁴⁰-Überschußbedingungen hin.

Insgesamt stützen diese Ergebnisse die Vorstellung, daß im südlichen Koralpenkristallin ein ehemals tief versenkter Krustenteil hochgepreßt und in Scherzonen nach Norden ausgedünnt wurde.

Literatur

- BECK-MANNAGETTA, P., 1961: Zur Deutung der Eklogite im Koralpenkristallin (Zentralalpen). – *TMPM*, 7, 437–450, Wien.
- HERITSCH, H., 1973: Die Bildungsbedingungen von alpinotypem Eklogitamphibolit und Metagabbro, erläutert an Gesteinen der Koralpe, Steiermark. – *TMPM*, 19, 213–271, Wien.
- 1980: Einführung zu Problemen der Petrologie der Koralpe. – *Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum*, 41, 213–248, Graz.
- KLEINSCHMIDT, G., 1968: Der geologische Aufbau der südlichen Saualpe in Kärnten im Grenzbereich von Phyllit- und Glimmerschiefergruppe. – Dissertation. 151 p., Math.-naturwiss. Fak. Univ. Tübingen.
- MORAU, W., 1979: Isotopengeologische Untersuchungen an Gesteinen der Koralpe und Saualpe. SE-Österreich. – Inauguraldiss. Phil. naturwiss. Fak. Univ. Bern, 115 p., Bern.
- NEUGEBAUER, J., 1970: Altpaläozoische Schichtfolge, Deckenbau und Metamorphoseablauf im südwestlichen Saualpenkristallin (Ostalpen). – *Geotekt. Forschungen*, 35, 23–93, Stuttgart.
- RICHTER, W., 1973: Vergleichende Untersuchungen an ostalpinen Eklogiten. – *TMPM*, 19, 1–50, Wien.
- WEISSENBACH, M., 1965: Geologie und Petrographie der eklogitführenden hochkristallinen Serien im zentralen Teil der Saualpe, Kärnten. – Dissertation. Fak. Naturwiss. u. Geisteswiss. Bergakademie Clausthal, 205 p., Clausthal.
- 1975: Gesteinsinhalt und Seriengliederung des Hochkristallins der Saualpe. – *Clausth. geol. Abh., Sdbd. 1*, 61–114, Clausthal.