

Haben einige Eklogite der Typuslokalität in der Sau- und Koralpe außer der eo-Alpinen Metamorphose auch eine permische und eine variszische Metamorphose erlebt?

Andreas ERTL und Hans-Uwe HEEDE

Zusammenfassung: Anhand von Pb-U-, Sm-Nd-, Rb-Sr-, K-Ar- und Ar-Ar-Daten von einigen Eklogiten der Sau- und Koralpe wird diskutiert, ob die Isotopensysteme dieser Eklogite neben den Daten der eo-Alpinen (kretazischen) HP-Metamorphose auch Hinweise auf eine permische LP/HT-Metamorphose und eine variszische (UHP?) Metamorphose aufweisen.

Summary: It is discussed, if the isotope systems Pb-U, Sm-Nd, Rb-Sr, K-Ar and Ar-Ar give geochronological data from some Saualpe and Koralpe eclogites for a Permian LP/HT metamorphism and a Variscan (UHP?) metamorphism and not only for the eo-Alpine (Cretaceous) HP metamorphism.

1. Einleitung

Seit über drei Jahrzehnten gibt es zahlreiche Publikationen und Diskussionen über das Alter der Eklogitisierung der Eklogite in der Sau- und Koralpe. In den 70er Jahren wurde überwiegend eine Eklogitisierung während der variszischen Tektogenese postuliert. Anfang der 80er Jahre wurde unter anderem eine variszische und eine eo-Alpine Metamorphose diskutiert. Neue geochronologische Ergebnisse führten zu der Auffassung, dass die Eklogitisierung (der Gabbros) eo-alpin erfolgte, da in den höher metamorphen Einheiten der Sau- und Koralpe bisher keine geochronologischen Hinweise auf eine variszische Metamorphose vorlagen.

Da die jüngsten Pb-U- und ^{207}Pb - ^{206}Pb -Daten sowie die unteren Discordien-Schnittpunkte von Zirkonen aus den Eklogiten der Typlokalität Saualpe (Kupplerbrunn, Beilstein und Gertrusk) nur permische und variszische Alter ergeben (HEEDE, 1997), aber keine eo-alpinen Altersdaten, wurden mit überwiegend bereits publizierten Daten modell-

artige Isochronen und Discordien berechnet. Diese „neuen“ sowie bereits publizierten geochronologischen Daten zeigen auf, dass einige Eklogite der Sau- und Koralpe möglicherweise nicht nur eine eo-Alpine HP-Metamorphose mit einem thermischen Höhepunkt um 90 Ma erlebt haben (THÖNI, 1990; THÖNI & JAGOUTZ, 1992; THÖNI & JAGOUTZ, 1993; THÖNI & MILLER, 1996; MILLER & THÖNI, 1997; HÄBLER & THÖNI, 1998a), sondern auch eine permische temperaturbetonte Metamorphose um 270 Ma (vgl. SCHUSTER & al., 1998; vgl. BERKA & al., 1998) mit P-T-Bedingungen von ca. 4 kbar/590 °C (Disthenflasergneis, Saualpe; HÄBLER & THÖNI, 1998b) sowie eine variszische Metamorphose mit einer UHP-Metamorphose? (fragliche Quarz-Coesit-Paramorphosen: BEHRMANN & al., 1990; HEEDE, 1997; pers. Mitt. MILLER, 1998; pers. Mitt. NEUBAUER, 1998; ERTL, in Vorbereitung, gibt die P-T-Bedingungen von einigen Eklogiten der Sau- und Koralpe mit ca. 28–30 kbar/730 °C an). Das Bildungsalter des Eduktes des Eklogits Kupplerbrunn (Saualpe) wird mit 660 ± 40 Ma angenommen. Hinweise auf spätproterozoische Eduktalter der Eklogite Beilstein, Grünburger Bach und Gertrusk (Saualpe) liegen vor.

Durch die intensive eo-Alpine Metamorphose wurden prä-alpidische Signaturen in der Sau- und Koralpe weitgehend ausgelöscht (MORAUF, 1982). Bis auf Gesamtgesteinsisotopien aus dem Klieningfenster und aus dem Wolfsberger-Fenster, deuten – auch für die Gesamtgesteine – alle Daten auf ein frühalpidisches Öffnen des Rb-Sr-Isotopensystems hin (MORAUF, 1982). Der genannte Autor beschreibt ferner, dass der Nachweis einer vollständigen Homogenisation der Sr-Isotopen nicht erbracht werden kann. Von MORAUF (1981, 1982), FRANK & al. (1983) und RITTMANN (1984) konnte ebenfalls der Nachweis einer fast vollständigen eo-Alpinen Einstellung des K-Ar- (und Ar-Ar-) Isotopensystems der meisten Mineralphasen erbracht werden.

Ferner existieren starke Hinweise auf eine permische Öffnung des K-Ar- und des Rb-Sr-Systems. Verschiedene Rb-Sr-Gesamtgesteinsisochronen in der Sau- und Koralpe ergeben permische Altersdaten. Dies deutet möglicherweise auf eine permische Öffnung des Rb-Sr-Systems, sofern diese Gesteinsvarietäten (z. B. Koralpe: Plattengneise, Gneisserie; FRANK & al., 1983) nicht als permische Intrusionen interpretiert werden. In großen Teilen der Saualpe und teilweise auch in der Koralpe wird allerdings eine etwaige permische Gesamtgesteinsbeeinflussung des Rb-Sr-Systems durch die intensive eo-Alpine Metamorphose überdeckt, so dass die Gesamtgesteinsisochronen bestimmter Gesteine nur noch eo-Alpine Altersdaten ergeben (vgl. FRANK & al., 1983). Ferner ist auch eine permische Öffnung des (sonst relativ beständigen) Sm-Nd-Systems in manchen Mineralphasen nicht ganz auszuschließen. Dies erscheint bei einer über eine relativ lange Zeit (einige 10 Ma?) anhaltenden Temperierung von ca. 600 °C (vgl. HÄBLER & THÖNI, 1998b) nicht unwahrscheinlich.

Trotzdem sind Ausnahme- und Einzelfälle zu registrieren, bei denen vermutlich in Folge porphyroblastischer Korngrößen, mangelndem Fluiddurchsatz und lokal abweichender P-T-Bedingungen verschiedene Isotopensysteme nicht geöffnet wurden [im Zentrum mehrerer Zentimeter großer Muskovite, manchmal in Mineralphasen aus Metabasiten (vor allem in Granaten), vereinzelt lokale Gesamtgesteinsisochronen] und die Altersdaten noch permische und seltener auch variszische Alter erbringen.

Ein eindeutiger Beweis für eine ausgeprägte variszische Metamorphose kann auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten noch nicht erbracht werden. Um mehr Klarheit über die prä-*eo*-Alpinen Metamorphosen zu erhalten, sind weitere geochronologische Untersuchungen notwendig.

2. Pb-U- und ²⁰⁷Pb-²⁰⁶Pb-Daten

HEEDE (1997) publiziert Daten von geochronologischen Pb-U-Analysen von Zirkonen aus Eklogiten der Saualpe. Eine der wichtigsten Fragen bei der Analyse von Zirkonen aus magmatischen Gesteinen ist, ob es sich bei den untersuchten Fraktionen um detritär, während des Magmenaufstieges (bzw. der Platznahme) erworbene Zirkone des Metabasites handelt. Zirkone aus den Metapeliten (Disthenflasergneise, Schiefergneise, Glimmerschiefer) der Saualpe weisen durchschnittliche Urankonzentrationen von ca. 700 ppm (490–1020 ppm; HEEDE, 1997) auf. Zirkone aus den Metabasiten (Eklogite: Kupplerbrunn, Beilstein, Grünburger Bach, Gertrusk) besitzen durchschnittliche Urankonzentrationen von ca. 8 ppm [3–17 ppm; Zirkon-Kerne (mit ererbten älteren Komponenten) sind nur in zwei Fraktionen feststellbar: Eklogit Kupplerbrunn, Eklogit Beilstein: Urangehalt ca. 30 ppm; HEEDE, 1997]. Somit ist der durchschnittliche Urangehalt der Zirkone in den Eklogiten um den Faktor $\gg 10^2$ kleiner als in den Metapeliten. Es ist demzufolge unwahrscheinlich, dass es sich bei den untersuchten Zirkonfraktionen (die zum überwiegenden Teil keine Kerne erkennen lassen) um detritäre Zirkone aus Metapeliten handelt. Die (oben beschriebenen) Zirkonkristalle mit älteren Zirkon-Kernen weisen entschieden geringere Uran-Konzentrationen auf, als die uranärmsten Zirkone aus den Metapeliten der Saualpe.

Nach HEEDE (1997) [Tab. 10, S. 79] zählen die Zirkone aus den Eklogiten der Saualpe, im Vergleich mit Metabasiten anderer Lokalitäten zu den Zirkonen mit den niedrigsten Urangehalten. Die Zirkonkristalle der Eklogite der Saualpe haben unterschiedliche Morphologien. Einerseits gibt es langprismatische Kristalle (mit einem Längen-/Breitenverhältnis $>3:1$), andererseits können die Kristalle auch kurzprismatisch, rundlich aber auch xenomorph sein. Die langprismatischen Zirkone werden meistens als magmatische Bildungen, kurzprismatische, xenomorphe und rundliche Zirkone werden als metamorphe Rekristallite (MEZGER & KROGSTAD, 1997) interpretiert. Der einfachste Grund für eine Diskordanz im Concordiadiagramm ist das Anwachsen von neuen Zirkonanteilen um ältere Zirkonkerne, wie dies häufig in hochgradig metamorphen Gesteinen beobachtet wird (MEZGER & KROGSTAD, 1997). Diese Autoren beschreiben weiters, dass Zirkone, die in metamorphen Gesteinen wachsen, generell zu niedrigeren U-Konzentrationen (\leq einige 100 ppm) tendieren, als magmatische Zirkone (U-Konzentrationen bis einige 1000 ppm). Daher könnte es sich bei den sehr U-armen Zirkonen der Saualpe eher um metamorph gewachsene Zirkone (bzw. auch an magmatischen Zirkonen angewachsene Zirkone) handeln, obwohl nur SHRIMP-Zirkonanalysen weitere Erkenntnisse

bringen werden. In vielen metamorphen Gesteinen liegen die Pb-U-Daten der Zirkone näher zum unteren Schnittpunkt der Discordia im Concordia-Diagramm, wobei der untere Schnittpunkt konventionell als Zeitpunkt einer Metamorphose und, im Idealfall, der obere Schnittpunkt als Protolithalter interpretiert werden können (WENDT & al., 1994; HÖLZL & al., 1994; CHIARENZELLI & McLELLAND, 1993). Untere Schnittpunktalter ergeben nur dann signifikante Werte, wenn sie von Zirkonen mit niedrigem Uragehalt (<100 ppm) definiert werden (MEZGER & KROGSTAD, 1997).

Eine neu berechnete Discordia im Concordiadiagramm (unter Verwendung aller Zirkonfraktionen vom Kupplerbrunn; HEEDE, 1997) ergibt für den Eklogit Kupplerbrunn ein oberes Schnittpunktalter von 660 ± 40 Ma und ein unteres Schnittpunktalter von 242 ± 4 Ma. Das obere Schnittpunktalter wird als mögliches Eduktalter diskutiert. Auch für den Eklogit Gertrusk ergibt sich eine Discordia (bei Verwendung aller Zirkonfraktionen) mit einem oberen Schnittpunktalter von ca. 700 Ma (HEEDE, 1997), die innerhalb des Fehlers mit dem oberen Schnittpunktalter der Discordia des Eklogits Kupplerbrunn übereinstimmt.

Vergleichbare Alter gibt THÖNI (1999) zusammenfassend von Zirkonen aus eklogitischen Amphiboliten des Zentralen Tauernfensters (oberes Schnittpunktalter im Pb-U-Concordiadiagramm) mit $657 + 14/-15$ Ma an, wobei eine Sm-Nd-Isochrone ein Alter von 644 ± 12 Ma widerspiegelt (VON QUADT, 1992). Von KLÖTZLI & KOLLER (1998) werden Zirkonkerne mit einem durchschnittlichen Alter von 630 Ma aus verschiedenen granitischen Gesteinen der Böhmisches Masse, Österreich, beschrieben. Es wird daher von KLÖTZLI & KOLLER (1998) eine erhöhte magmatische Aktivität in diesem Zeitraum angenommen.

Das untere Schnittpunktalter der Discordia des Eklogits Kupplerbrunn mit ca. 240 Ma könnte mit der permischen Hochtemperatur-Metamorphose korreliert werden. Dieses Alter stimmt mit einer Rb-Sr-Isochrone verschiedener Mineralfraktionen (Kleinbereichsprofil) des gebänderten Eklogites Kirchberg, Saualpe, überein. Dieser Eklogit weist eine unvollständige Homogenisierung bei ca. 240 Ma auf (THÖNI & JAGOUTZ, 1992). Die jüngsten permischen Pegmatite der Sau- und Koralpe intrudierten bei ca. 240 Ma (MORAUF, 1981; HEEDE, 1997). HEEDE (1997) gibt für verschiedene Eklogite der Saualpe untere Schnittpunktalter (Concordiagramme) von ca. 280–245 Ma (je nach Eklogit und Verwendung von Datenpunkten) an, wobei diese Alter möglicherweise die länger andauernde permische Metamorphose anzeigen. SCHUSTER & al. (1998) gehen davon aus, dass der Höhepunkt der temperaturbetonten permischen Metamorphose im Wölzer Komplex vor ca. 270 Ma erreicht wurde. HEEDE (1997) berechnet für eine Disthenflasergneisprobe der Saualpe (Hofkogel, Probe KS 3) einen unteren Discordien-Schnittpunkt von ca. 276 ± 1 Ma, was als weiteres Indiz für eine permische Metamorphose interpretiert wird.

In Tabelle 1 werden von verschiedenen Zirkonfraktionen der Eklogite Kupplerbrunn, Beilstein und Grünburger Bach (Saualpe) $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Alter bzw. $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ -Alter um 660 Ma (690–620 Ma) angegeben, die als Eduktalter interpretiert werden.

Die zwei Zirkonfraktionen mit den älteren Kernen (siehe Tab. 1) ergeben verjüngte $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ -Alter von ca. 670–620 Ma. Magmatische, vollständig rekristallisierte Zir-

| Eklogit (Zirkonfraktion) | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ -Alter | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Alter |
|--|---|--|
| Kupplerbrunn, Zirkone mit alter ererbter Komponente, 60–80 mm (Probe 8-4) | 671 ± 7 Ma | ca. 1,4 Ga |
| Kupplerbrunn, langprismat. Zirkonfraktion, klar, farblos, einschlussfrei, mit gering genarbtten Prismenfl., 125–160 mm (Probe 8-8) | 281 ± 9 Ma | 616 ± 8 Ma |
| Kupplerbrunn, kurzprismat. Zirkonfraktion, klar, farblos, einschlussfrei, 80–100 mm (Probe 8-3) | 278 ± 10 Ma | 677 ± 14 Ma |
| Kupplerbrunn, langprismat. Zirkonfraktion, klar, farblos, einschlussfrei, mit gering genarbtten Prismenfl., <100 mm (Probe 8-10) | 356 ± 10 Ma | 637 ± 12 Ma |
| Beilstein, langprismat. Zirkonfraktion, farblos, klar, mit älteren grauen Kernen, <180 mm (Probe 2-7) | 624 ± 9 Ma | ca. 1,3 Ga |
| Beilstein, langprismat. Zirkonfraktion, farblos, klar, genarbte Prismenflächen, 180–250 mm (Probe 2-12) | 232 ± 21 Ma | 651 ± 12 Ma |
| Grünburger Bach, splittrige Fragmente, Gesamtkonfraktion, <180 mm (Probe 6-5*) | 175 ± 10 Ma | 689 ± 16 Ma |

Tab. 1: $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ -Alter und $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Alter verschiedener Zirkonfraktionen der Eklogite Kupplerbrunn, Beilstein und Grünburger Bach, Saualpe. Die Probennummern beziehen sich auf die Zirkonfraktionen in HEEDE (1997).

kone ergeben $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Alter von ca. 690–620 Ma. Diese Altersdaten werden als Protolithalter dieser Eklogite interpretiert und liegen innerhalb des Fehlers des bereits erwähnten oberen Schnittpunktalters von 660 ± 40 Ma. Altersdaten von verschiedenen Eklogiten, die der variszischen Metamorphose zugeordnet werden, sind in Tabelle 2 angegeben. Möglicherweise wurden diese Metabasite während der variszischen Metamorphose eklogitisiert. Da für die eo-Alpine Metamorphose P-T-Bedingungen von maximal 16–20 kbar/630–700 °C (MILLER, 1990; THÖNI & MILLER, 1996; GREGUREK & al., 1997; MILLER & THÖNI, 1997; HÄBLER & THÖNI, 1998) bestimmt wurden, in vielen Eklogiten aber fragliche Quarz-Coesit-Paramorphosen (BEHRMANN & al., 1990; HEEDE, 1997; pers. Mitt. MILLER, 1998; pers. Mitt. NEUBAUER, 1998) und Pyropanteile von bis zu 40–52 Mol.-% (MILLER, 1990; HEEDE, 1997) in den Granaten auftreten, die sonst nur in UHP-Eklogiten (Dora-Maira Massiv, Westalpen, CHOPIN & al., 1991; NAKAMURA & BANNO, 1997; Dabie mountains, Zentral China, ZHANG & LIU, 1994; WANG & al., 1999; Ötztal, Tirol, MILLER & THÖNI, 1995) vorkommen, wird eine mögliche UHP-Metamorphose (ERTL, in Vorbereitung) in der Sau- und Koralpe der variszischen Metamorphose zugeordnet. Während der

| Eklogit (Zirkonfraktion) | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ -Alter | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Alter |
|---|---|--|
| Kupplerbrunn, Gesamtfraktion, farblos, klar, einschlussfrei, <150 mm (Probe 8-1) | 284 ± 11 Ma | 387 ± 7 Ma |
| Kupplerbrunn, rundliche Zirkonfraktion, farblos, klar, einschlussfrei, <180 mm (Probe 8-6) | 240 ± 30 Ma | 327 ± 3 Ma |
| Kupplerbrunn, Gesamtfraktion, farblos, klar, mit (Rutil-) Einschlüssen, <180 mm (Probe 8-7) | 234 ± 19 Ma | 399 ± 4 Ma |
| Beilstein, kurzprismat. Zirkonfraktion, farblos, klar, glatte Prismenflächen, <180 mm (Probe 2-3) | 228 ± 12 Ma | 380 ± 10 Ma |
| Beilstein, kurzprismat. Zirkonfraktion, farblos, klar, genarbte Prismenflächen, <180 mm (Probe 2-2) | 229 ± 10 Ma | 393 ± 16 Ma |
| Beilstein, splittrige Zirkonfragmente und Xenoblasten, <180 mm (Probe 2-1) | 208 ± 15 Ma | 378 ± 5 Ma |
| Grünburger Bach, gelbliche Gesamtfraktion (Probe 6-4) | 201 ± 10 Ma | 384 ± 6 Ma |
| Grünburger Bach, kurzprismat. Zirkonfraktion, farblos, klar (Probe 6-2) | 142 ± 8 Ma | 330 ± 3 Ma |
| Gertrusk, kurzprismat. Zirkonfraktion, farblos, klar, einschlussfrei (Probe 69-3B) | 253 ± 2 Ma | 344 ± 2 Ma |

Tab. 2: $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ -Alter und $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Alter verschiedener Zirkonfraktionen der Eklogite Kupplerbrunn, Beilstein, Grünburger Bach und Gertrusk, Saualpe. Die Probennummern beziehen sich auf die Zirkonfraktionen in HEEDE (1997).

nachfolgenden permischen Hochtemperatur-Metamorphose rekristallisierten vermutlich die polymorphen Quarz-Coesit-Paramorphosen vollständig, sodass kein polymorpher Quarz bisher festgestellt werden konnte.

HEEDE (1997) beschreibt die Tendenz der retrograden Überformung der in Tab. 2 angegebenen Eklogite wie folgt: Kupplerbrunn ≤ Beilstein < Gertrusk < Grünburger Bach, wobei das Vorkommen Grünburger Bach den höchsten Anteil an Symplektiten (Omphacit, der zu Diopsid und Plagioklas zerfallen ist) aufweist (HEEDE, 1997).

In den aus wenig retrograd (amphibolitfaziell) überformten Bereichen der Eklogite Kupplerbrunn, Beilstein und Gertrusk entnommenen Proben haben die Zirkonfraktionen mit den niedrigsten Altersdaten $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ -Alter von ca. 250–210 Ma und $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Alter von ca. 320–240 Ma. Somit ergeben die jüngsten Zirkone für die erwähnten Eklogite nur permische bzw. variszische Altersdaten. Nur der zum Teil stark retrograd überprägte

Eklogit Grünburger Bach besitzt Zirkonfraktionen mit $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -Alter von 90 Ma und $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Alter von 180 Ma, somit eo-Alpine Altersdaten bzw. Mischalter (?). Das würde bedeuten, dass in den Eklogiten Kupplerbrunn, Beilstein und Gertrusk anscheinend während der eo-Alpinen Metamorphose kaum Zirkone (von den untersuchten Zirkonfraktionen in HEEDE, 1997) rekristallisiert sind. Nur der Eklogit Grünburger Bach (der zonenweise vollständig amphibolitisiert wurde; HEEDE, 1997) wurde während der eo-Alpinen Metamorphose stärker amphibolitfaziell überprägt (vermutlich war höherer Fluiddurchsatz vorhanden). Dies würde mit den von HEEDE (1997) beschriebenen Schlibfunden übereinstimmen, wo beobachtet wurde, dass die eklogitischen Zirkone vorwiegend als Einschlüsse in Granat und Omphacit auftreten. Ferner sind im Eklogit des Grünburger Bachs verstärkt Zirkone in den Symplektitzonen aufzufinden. SCHMÄDICKE & al. (1992) weisen in Symplektiten von Eklogiten des Erzgebirges ungewöhnlich viele Zirkone nach und führen diese Häufung darauf zurück, dass Omphacite bis ca. 330 ppm, retrograde Diopside aber nur bis ca. 60 ppm Zr in das Kristallgitter einbauen können.

In fast allen untersuchten Eklogiten sind somit die jüngsten Zirkone der untersuchten Zirkonfraktionen während der permischen temperaturbetonten Metamorphose rekristallisiert. Die $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Alter dieser Zirkonfraktionen liegen bei ca. 280–240 Ma, die $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ -Alter bei ca. 280–210 Ma (HEEDE, 1997).

Die Altersdaten der Zirkonfraktionen, die während der variszischen Metamorphose rekristallisiert sind, liegen bei ca. 400–330 Ma (siehe Tab. 1 und Tab. 2). Übereinstimmend gibt es auch in den umgebenden Metapeliten variszisch kristallisierte Zirkone. Im Disthenflasergneis Hofkogel weisen Zirkonfraktionen mit $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Altern von ca. 400 Ma, 390 Ma und 370 Ma (HEEDE, 1997) auf. Im Disthen-Stauroolith-Schiefergneis wurden Zirkonfraktionen mit $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Altern von ca. 390 Ma, 380 Ma und 360 Ma (HEEDE, 1997) nachgewiesen.

Zwei kurzprismatische Zirkonfraktionen (Probe 69-6, Eklogit Gertrusk; Probe 8-2, Eklogit Kupplerbrunn; HEEDE, 1997) ergaben $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Alter von ca. 450–440 Ma. Obwohl es, bis auf eine neu berechnete Rb-Sr-Gesamtgesteinsisochrone von Metapeliten aus der Koralpe (Plattengneis Stainz WR 93T23Kb, Glimmerschiefer Hohl WR 94T47KH, Glimmerschiefer Schwanberg WR 94T38K; Rb-Sr-Daten und Probennummern aus MILLER & THÖNI, 1997) mit 451 ± 8 Ma kaum weitere Hinweise (Isotopendaten) gibt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Isotopensignaturen auf eine kaledonische Metamorphose hinweisen. Während dieser Metamorphose könnten auch in den Metabasiten Zirkone rekristallisiert sein. Ein (mit dem Gesamtgestein korrigierter) Rb-Sr-Alterswert eines Muskovits (>2 mm) aus einem Gneis von der nördlichen Koralpe mit ca. 430 Ma (WAP 988; FRANK & al., 1983) kann als primär magmatisches Alter, aber auch als Abkühlalter der kaledonischen Metamorphose interpretiert werden. Die kaledonische Metamorphose könnte auch mit der temperaturbetonten Metamorphose (I. Metamorphose), die von FRANK & al. (1983) beschrieben wird, korreliert werden (vgl. MILLER, 1990). WEISSENBACH (1965) beschreibt „alten“ Kyanit (Disthen) der prätektonischen (bezogen auf die eo-Alpine Metamorphose) Kristallisation (die jetzt der variszischen Metamorphose zugeordnet wird) aus Disthenflasergneisen und benennt diese Kristallisa-

tionsphase mit Kr Ia. Hypothetisch wäre möglich, dass dieser Kyanit aus Andalusit hervorgegangen ist, der sich während der kaledonischen Metamorphose gebildet hat.

3. Sm-Nd-Daten

THÖNI (1990) beschreibt, dass Isotopenuntersuchungen an den Eklogiten der Saualpe für alle untersuchten Isotopensysteme sehr komplexe Muster ergeben, und erwähnt die außergewöhnlich niedrigen Konzentrationen an lithophilen Elementen in den Hochdruckphasen, insbesondere Granat und Omphacit (Cpx). THÖNI (1990) vermutet, dass Fluide, die durch Entwässerungsreaktionen im Zuge der thermischen Anpassung aus den Nebengesteinen freigesetzt wurden, die Isotopie vieler Eklogite verändert haben könnten. Die Freisetzung der fluiden Phasen kann sich während der relativ lang andauernden (ca. 280–240 Ma?, Höhepunkt bei ca. 270 Ma; vgl. SCHUSTER & al., 1998; BERKA & al., 1998) permischen Hochtemperatur-Metamorphose zugetragen haben, bei der Temperaturen bis ca. 600 °C (HABLER & THÖNI, 1998b) erreicht wurden. THÖNI & JAGOUTZ (1992) beschreiben, dass die Klinopyroxene (Cpx) während der Eklogitisierung der Metabasite teilweise geschlossene Systeme (für das Sm-Nd-Isotopensystem) blieben. Die angesprochenen Probleme wirken sich darin aus, dass Grt-WR-Isochronen (Sm-Nd-Isotopensystem, Eklogite Sau- und Koralpe) „Altersdaten“ von ca. 110–40 Ma und isotopische Ungleichgewichte widerspiegeln (Sm-Nd-Daten aus: THÖNI & JAGOUTZ, 1992; MILLER & THÖNI, 1997). Eine eo-Alpine Öffnung des Sm-Nd-Isotopensystems von Granat ist wahrscheinlich auszuschliessen, da Grt-WR-Isochronen der (permischen) Pegmatite immer permische und nie eo-Alpine oder verjüngte Altersdaten ergeben (THÖNI & MILLER, 1996).

In Tabelle 3 sind einige Isochronen (aufgrund des geringen „Spreads“ teilweise schlecht definiert) zwischen verschiedenen eklogitischen Mineralphasen mit variszischen Altersdaten angegeben.

Sm-Nd-Isochronen von Granat, Omphacit, Amphibol, Zoisit (Typ-3 Eklogit Hohl, Probe 87T28 und Probe 94T46KH; Typ-3 Eklogit Mauthnereck, Probe 89T12) und WR (Gesamtgestein) ergeben Isochronenalter von ca. 100 Ma (MILLER & THÖNI, 1997). Da die Sm-Nd- und Nd-Nd-Werte von WR, Omphacit, Amphibol und Zoisit nahe beinander liegen (geringer Spread), werden die Steigungen dieser Isochronen hauptsächlich durch die Granatfraktionen bestimmt. Als repräsentative Granatzusammensetzungen der Granatfraktionen der Typ-3 Eklogite Hohl (87T28) und Mauthnereck (89T12) werden von MILLER & THÖNI (1997) Mischgranate mit 26–28 Mol.-% Pyropanteil angegeben. Dieser Pyropanteil entspricht Granaten die in HP-überprägten Metabasiten und Metapeliten auftreten können, ist aber zu gering um ein eindeutiges Indiz für eine UHP-Überprägung darzustellen (ERTL, in Vorbereitung). Es besteht somit kein Zweifel, dass die von MILLER & THÖNI (1997) untersuchten Granatfraktionen dieser Typ-3 Eklogite während der eo-Alpinen HP-Metamorphose kristallisiert sind.

| Mineralphasen, Eklogite | Isochronenalter |
|---|-----------------|
| Cpx (Mauthnereck) - Phe (Mauthnereck) | 335 ± 40 Ma |
| Cpx (Kupplerbrunn) - Amp (Kupplerbrunn) | 410 ± 99 Ma |

Tab. 3: Sm-Nd-Isochronenalter zwischen Mineralphasen des Eklogits Mauthnereck (Typ-3, Cpx, Phe: 89T12), Koralpe und des Eklogits Kupplerbrunn (Typ-2, Cpx: 86T09; Amp: 88T35), Saualpe. Sm-Nd-Daten und Probennummern aus THÖNI & JAGOUTZ (1992) und MILLER & THÖNI (1997).

| WR-WR-Gesamtgesteinsisochronen | Isochronenalter |
|--|-----------------|
| Eklogit Weckbecker – Amphibolit Brandrücken Glimmerschiefer NE Rauscher Hütte – Glimmerschiefer | 364 ± 14 Ma |
| S Große Saualpe – Glimmerschiefer E Sandofen | 352 ± 78 Ma |

Tab. 4: Sm-Nd-Isochronenalter verschiedener Gesamtgesteinsisochronen unter Verwendung folgender Lithologien: Eklogit Weckbecker (Typ-4, 87T19), Amphibolit Brandrücken (95T18K), Koralpe, Glimmerschiefer NE Rauscher Hütte (90T137), Glimmerschiefer S Große Saualpe (89T22), Glimmerschiefer E Sandofen (90T132). Sm-Nd-Daten und Probennummern aus THÖNI & JAGOUTZ (1992), THÖNI & MILLER (1996) und MILLER & THÖNI (1997).

Es ist allerdings durchaus möglich, dass (einschlussreiche) Granatkerne mancher Eklogite der Sau- und Koralpe mit Pyropanteilen von ca. 40–50 Mol.-% während einer variszischen UHP-Metamorphose kristallisiert sind. Die höchsten beschriebenen Pyropanteile haben Mischgranate aus dem Eklogit Hohl, Koralpe (Kyanit-Eklogit, 52 Mol.-% Pyropanteil; MILLER, 1990), dem Eklogit Kupplerbrunn, Saualpe (Kyanit-Eklogit, 50 Mol.-% Pyropanteil; MILLER, 1990), dem Eklogit Jurkikogel-Beilstein (Kyanit-Eklogit, 44 Mol.-% Pyropanteil; HEEDE, 1997), dem Eklogit Grünburger Bach (43 Mol.-% Pyropanteil; MILLER, 1990), und dem Eklogit Kirchberg (Kyanit-Eklogit, 41 Mol.-%; MILLER, 1990). In den Eklogiten Kirchberg, Jurkikogel-Beilstein und bei Gertrusk wurden fragile Quarz-Coesit-Paramorphosen beobachtet (BEHRMANN & al., 1990; HEEDE, 1997; pers. Mitt. MILLER, 1998; pers. Mitt. NEUBAUER, 1998).

Eine andere Möglichkeit, prä-alpidisches Geschehen zu erfassen, ist die Untersuchung der Gesamtgesteine. Es wurden sowohl mit Sm-Nd-Gesamtgesteinsisochronen von Eklogiten, als auch von Metapeliten variszische Altersdaten berechnet, die in Tabelle 4 wiedergegeben werden.

Sm-Nd-Gesamtgesteinsisotopien von Metabasiten in der Sau- und Koralpe haben praktisch immer zu geringe Spreads um sinnvolle Isochronen berechnen zu können. Eine Ausnahme bilden hier zwei Metabasite aus der Koralpe, die von einem gemeinsamen Magmenkörper abstammen könnten (ähnliche ϵ -Nd-Werte; MILLER & THÖNI, 1997): der Eklogit Weckbecker (bei Gams) und der z. T. eklogitogene Amphibolit Weinebene

(weitgehend retrograd überprägter Eklogit). Beide Metabasite wurden innerhalb mylonitischer Metapelite (eo-Alpine Scherzone) stark geschiefert. Eine Zweipunktisochrone der Gesamtgesteine ergibt hier ein gut definiertes Alter von 364 ± 14 Ma. Dieses Alter wird als Hinweis auf eine variszische Metamorphose interpretiert. Interessant erscheint, dass dieses Alter sehr nahe bei dem Alterswert von 362 ± 29 Ma der von MILLER & THÖNI (1995) beschriebenen Sm-Nd-Isochrone von 14 (variszisch eklogitisierten) Fe-Eklogiten (WR) aus dem Austroalpinen Ötztal Basement liegt. MILLER & THÖNI (1995) beschreiben, dass der Druckhöhepunkt dieser UHP-überprägten Eklogite wahrscheinlich zwischen 360 und 350 Ma erreicht wurde.

Weiters ergibt eine neu berechnete Dreipunktisochrone von Glimmerschiefern aus dem zentralen Bereich der Saualpe einen Alterswert von 352 ± 78 Ma (Tab. 4), der ebenfalls als Hinweis auf die variszische Metamorphose interpretiert wird.

4. Rb-Sr-Daten

Obwohl die Rb-Sr-Isotopen während der permischen und der eo-Alpinen Metamorphose großteils homogenisiert wurden, konnten dennoch in einigen Eklogiten variszische Alterwerte errechnet werden. Manche Mineralphasen (bevorzugt Granate) wurden daher anscheinend während den nachfolgenden Metamorphosen nicht homogenisiert. Signifikanter Rb-Sr-Einbau scheint allerdings nicht in die Granatstruktur selbst, sondern in den in Granat eingeschlossenen Mineralphasen wie Omphacit, Phengit, Kyanit, Zoisit und Amphibol erfolgt zu sein, die hauptsächlich in den Granatkernen konzentriert sind (MILLER, 1990). Vor allem in den Eklogiten Kupplerbrunn, Gertrusk und Kirchberg finden sich variszische Altersdaten. Die Bänderung des Eklogites Kirchberg dürfte wesentlich dazu beigetragen haben, dass während der permischen Metamorphose (Homogenisation um ca. 240 Ma; THÖNI & JAGOUTZ, 1992) keine vollständige Homogenisierung aller Mineralphasen erfolgte. In Tabelle 5 sind Grt-WR-Isochronen (Rb-Sr-Isotopensystem) mit variszischen Altersdaten angegeben.

Wie in Tabelle 5 ersichtlich ist, ergeben Grt-WR-Isochronen der angegebenen Eklogite Altersdaten von ca. 400–330 Ma. In den meisten Fällen weisen Grt-WR-Isochronen (Rb-Sr-Isotopensystem) der Eklogite der Sau- und Koralpe aber entweder permo-triasische Alter (ca. 240–220 Ma) oder durch isotopische Ungleichgewichte sehr hohe „Altersdaten“ auf, da das Rb-Sr-Isotopensystem viel weniger resistent ist im Vergleich zum Sm-Nd-Isotopensystem.

In Tabelle 6 sind einige Gesamtgesteinsisochronen von Eklogiten und Metapeliten der Sau- und Koralpe zusammengestellt, die variszische Altersdaten ergeben.

Die sehr geringen Spreads der Gesamtgesteinsisotopien der Eklogite lassen auch mit dem Rb-Sr-Isotopensystem in der Mehrzahl der Fälle keine Berechnungen von relevanten Isochronen zu. Dennoch wurden vom Eklogit Mauthnereck, Koralpe, zwei Proben entnommen, deren Untersuchung deutlich unterschiedliche Werte für die Gesamt-

| Mineralphase – WR ₁ ; Eklogit | Isochronenalter |
|---|-----------------|
| Grt ₁ – WR ₁ ; Kupplerbrunn | 331 ± 6 Ma |
| Grt ₂ – WR ₂ ; Gertrusk | 388 ± 8 Ma |
| Grt ₃ – WR _{3A} ; Kirchberg | 388 ± 70 Ma |
| Grt ₃ – WR _{3B} ; Kirchberg | 397 ± 65 Ma |
| Amp – WR _{3A} ; Kirchberg | 350 ± 30 Ma |

Tab. 5: Rb-Sr-Isochronenalter verschiedener Mineralphasen (Grt, Amp) zu den Gesamtgesteinen (WR) der Eklogite (Sausalpe). Grt₁: 88T35, Grt₂: GE2, Grt₃: SK31b/4, Amp: SK31b/6; WR₁: 86T09, WR₂: GE2, WR_{3A}: SK31b/5 (Omp, Zoi, Ky), WR_{3B}: SK31b/3 (Omp, Zoi ± Amp). Rb-Sr-Daten und Probennummern aus THÖNI & JAGOUTZ (1992).

| WR-WR-Gesamtgesteinsisochronen | Isochronenalter |
|---|-----------------|
| Eklogit Mauthnereck A – Eklogit Mauthnereck B | 364 ± 14 Ma |
| Disth.-Staur.-Schiefergneis 1 – Disth.-Staur.-Schiefergneis 2 | 386 ± 112 Ma |
| Disthenflasergneis 1 – Disthenflasergneis 2 | 335 ± 211 Ma |
| Granat-Zweiglimmergneise: WR ₁ -WR ₂ -WR ₃ | 391 ± 160 Ma |

Tab. 6: Rb-Sr-Isochronenalter verschiedener Gesamtgesteinsisochronen folgender Eklogite und Metapelite: Eklogit Mauthnereck A (Koralpe, 89T11), Eklogit Mauthnereck B (Koralpe, 89T12), Disthen-Staurolith-Schiefergneis 1 (Reisbergerbach, Sausalpe, KAW 1330), Disthen-Staurolith-Schiefergneis 2 (E'Reisberger Halt, Sausalpe, KAW 1333), Disthenflasergneis 1 (Moserbach, Sausalpe, KAW 1332), Disthenflasergneis 2 (Haimburgerbach, Sausalpe, KAW 1340), WR₁ (Granat-Zweiglimmergneis Kliening, Sausalpe, KAW 1162), WR₂ (Granat-Zweiglimmergneis Kliening, Klieningfenster, Sausalpe, KAW 1167), WR₃ (Granat-Zweiglimmergneis Kuhgraben, Sausalpe, KAW 1164). Rb-Sr-Daten und Probennummern der Eklogite aus MILLER & THÖNI (1997) und der Metapelite aus MORAU (1982).

gesteine erbrachten (MILLER & THÖNI, 1997). Somit konnte eine gut definierte Rb-Sr-Isochrone mit einem Alterswert von 364 ± 14 Ma berechnet werden, der vollkommen mit dem Alterswert der Sm-Nd-Isochrone von 364 ± 14 Ma (zwischen zwei Metabasiten aus der Koralpe, Tab. 4) übereinstimmt.

Die Gesamtgesteinsisochrone der Granat-Zweiglimmergneise (Tab. 6) wurde mit drei Gesamtgesteinen aus dem Klieningfenster (unterlagernder Komplex des Sausalpenkristallins) berechnet (MORAU, 1982). Trotz der großen Fehler einiger Gesamtgesteinsisochronen von Tab. 6 deuten diese Isochronenalter an, dass auch die Disthenflasergneise und die Disthen-Staurolith-Schiefergneise eine variszische Metamorphose erlebt haben könnten. In den meisten Fällen überdecken allerdings die permische und die eo-Alpine Metamorphose etwaige variszische Altersdaten.

Für eine Rb-Sr-Gesamtgesteinsisochrone vom Granitgneis Wolfsberg, Koralpe, gibt MORAU (1980) das Isochronenalter mit 258 ± 11 Ma an. MORAU (1980) interpretiert dieses Alter als Bildungsalter und nicht als Metamorphosealter. Allerdings erwähnt er auch die Möglichkeit, dass es sich auch um einen Rb-armen variszischen Granit handeln könnte, der eine permische Metasomatose erfahren hat, dass es jedoch nicht möglich ist, dies mit einem Sr-Mischungsdiagramm zu beweisen oder zu verneinen [auch FRANK & al. (1983) beschreiben, dass „bei diesem relativ kleinen Körper des Wolfsberger Granitgneises die hohen Rb/Sr-Verhältnisse mit dem sehr niedrigen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Isochroneninitial von 0,7046 in deutlichem Widerspruch stehen und die Entstehung dieses im weiten Umkreis einzigen Orthogneises nicht befriedigend gelöst ist“]. MORAU (1982) beschreibt weiters, dass saure Gesteine viel rascher mit ihrem Rb-Sr-System reagieren, als basische Gesteine oder ehemalige Sedimente. Das Auftreten von Hellglimmern mit 3T-Modifikation spricht für eine druckbetonte Metamorphose (MORAU, 1980). Im Gesteinstyp, der am geringsten vergneist ist (feinkörniger Typ), hat sich der Phengit nur in 3T-Modifikation ausgebildet (MORAU, 1980). Im Augentyp, der stärker vergneist ist als der feinkörnige Typ, ist der Phengit zu gleichen Teilen sowohl in 3T- als auch in $2M_1$ -Modifikation ausgebildet (MORAU, 1980). Daraus kann geschlossen werden, dass mit zunehmender Vergneisung die 3T-Modifikation zur $2M_1$ -Modifikation umkristallisiert ist. Die Umwandlung von der 3T-Modifikation zur $2M_1$ -Modifikation kann bereits bei Temperaturen von ca. 650°C und bei einem Druck von ca. 2 kbar geschehen (SASSI & al., 1994; YODER & EUGSTER, 1955). Möglicherweise ist Phengit bereits während einer variszischen Metamorphose in 3T-Modifikation kristallisiert und erst eo-alpin teilweise (in den stärker vergneisten Gesteinstypen) zur $2M_1$ -Modifikation umkristallisiert. Die Rb-Sr-Isochronenalter der 3T-Phengite, die MORAU (1980) mit ca. 80 Ma angibt, dürften hier nicht signifikant sein, da es sich um „normale“ Gesteinsphengite ($<0,4$ mm) handelt, und eine Homogenisierung des Rb-Sr-Systems eo-alpin erst bei (mehreren cm) großen Glimmern nicht vollständig erfolgt (vgl. MORAU, 1981). Ob die Metamorphose, bei der sich Phengit in 3T-Modifikation bildete, nun der variszischen oder der eo-Alpinen Metamorphose zugeordnet werden kann, müssen wohl noch genauere Isotopenuntersuchungen (Sm-Nd-Isotopenuntersuchungen von Granatkernen aus dem Granitgneis) bzw. petrologische Untersuchungen klären.

5. K-Ar- und ^{40}Ar - ^{39}Ar -Daten

Es ist wahrscheinlich, dass K-Ar-Isotopendaten von möglicherweise variszischen Amphibolen (aus Eklogiten der Sau- und Koralpe) zuerst permisch und danach eo-alpin thermisch beeinflusst wurden (T_c -Amphibol ist ebenso hoch, wie T_c für das Rb-Sr-Isotopensystem bei Muskovit). So wäre zu erwarten, dass praktisch alle Amphibole meistens permisch-alpine Mischdaten (bzw. eo-Alpine Neukristallisation von Amphibolen mit leichten ^{40}Ar -Überschussbedingungen; MILLER & FRANK, 1983) wegen Überschussbedingungen

| Metabasit, Lokalität | Alter | Literatur |
|---|--------------|-----------------------|
| Eklogit Kupplerbrunn, Saualpe | 401 ± 15 Ma* | RITTMANN (1984) |
| Eklogit Fürpass, Koralpe (H24) | 337 ± 18 Ma | MILLER & FRANK (1983) |
| Eklogit Kupplerbrunn, Saualpe | 278 ± 9 Ma | RITTMANN (1984) |
| Eklogit Hohl, Koralpe (H11) | 273 ± 12 Ma | MILLER & FRANK (1983) |
| Amphibolit Weinebene, Koralpe (WAP1149, geschiefert) | 187 ± 9 Ma | MILLER & FRANK (1983) |

Tab. 7: K-Ar-Alter bzw. Isochronenalter (*) [^{40}Ar - $^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - ^{36}Ar] von Amphibolen aus Eklogiten und einem (eklogitogenen) Amphibolit aus der Sau- und Koralpe, mit zugehörigen Literaturangaben.

| Metapelite | Altersdaten | Literatur |
|------------------------------------|-------------|--------------------------------------|
| Glimmerschiefer-Plankogelkomplex | 1,9–1,0 Ga | KUNZ (1991), HEEDE (1997) |
| Spessartinquarzite | 1,0–0,62 Ga | HEEDE (1997) |
| Disthen-Stauroolith-Schiefergneise | 1,1–1,0 Ga | THÖNI & JAGOUTZ (1992), HEEDE (1997) |
| Disthenflasergneise | 1,3–1,0 Ga | THÖNI & JAGOUTZ (1992), HEEDE (1997) |
| Granat-Glimmerschiefer | 1,2–1,0 Ga | THÖNI & JAGOUTZ (1992) |

Tab. 8: Altersdaten (Nd_{CHUR} -Modellalter und obere Pb-U-Discordianschnittpunkte) verschiedener Metapelite der Sau- und Koralpe, mit zugehörigen Literaturangaben.

aufweisen. MILLER & FRANK (1983) und RITTMANN (1984) beschreiben K-Ar-Daten von eklogitischen Hornblenden (Amphibolen), von denen verschiedene Werte in Tabelle 7 angegeben sind. Es werden nur die Werte angeführt, bei denen die genannten Autoren vermuten, dass kein Überschussargon (^{40}Ar) entwickelt ist.

RITTMANN (1984) berechnet für primär eklogitische Amphibole aus dem Zentralbereich des Eklogits Kupplerbrunn, Saualpe, eine gut definierte Isochrone mit einem Alterswert von ca. 400 Ma (Tab. 7) und für pegmatoide Amphibole eine Isochrone mit einem Alterswert von $91,1 \pm 2,0$ Ma. RITTMANN (1984) beschreibt, dass bei einer angenommenen (spätjurassischen) Altersgleichheit der eklogitischen Präparate die unrealistisch große Exzessargon-Menge von ca. $1,8 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ -Amphibol in die Amphibole des Eklogits Kupplerbrunn diffundiert sein muss. Die Bilanzierung der wesentlich kleineren Exzessargon-Mengen der mit den Amphibolen des Eklogits Kupplerbrunn koexistierenden Mineralphasen Granat, Omphacit und Quarz ($0,12$ – $0,64 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ -Mineral) veranlassen RITTMANN (1984) zu der Überlegung, dass der Alterswert von ca. 400 Ma nicht zwangsläufig auf die Kontamination der Amphibole mit Überschuss- ^{40}Ar zurückgeführt werden muss, sondern auch als Hinweis auf die Eklogitisierung der Metabasite der Saualpe interpretiert werden kann. MILLER & FRANK (1983) führen für Amphibol vom

Eklogit Fürpass, Koralpe, ein Alter von ca. 340 Ma (Tab. 7) an. Trotzdem muss darauf hingewiesen werden, dass es sehr fraglich erscheint, dass K-Ar-Daten von vielleicht variszischen Amphibolen zwei nachfolgende Metamorphosen (mit Temperaturen um ca. 600 °C) unverändert überstehen.

Für Amphibole des Eklogits Hohl, Koralpe, geben MILLER & FRANK (1983) Altersdaten von 273 ± 12 Ma an, die innerhalb des Fehlers mit den von RITTMANN (1984) angegebenen Altersdaten von 278 ± 9 Ma (^{40}Ar - ^{39}Ar -Alter: 270 ± 2 Ma; RITTMANN, 1984), mit den von SCHUSTER & al. (1998) angegebenen Altersdaten der temperaturbetonten permischen Metamorphose im Wölzer Komplex mit ca. 270 Ma und mit den von HEEDE (1997) für eine Disthenflasergneisprobe (Pb-U-Daten) in der Saualpe angegebenen Altersdaten von ca. 276 ± 1 Ma übereinstimmen. Anscheinend wurde das K-Ar-Isotopensystem der untersuchten Amphibole des Eklogits Hohl permisch beeinflusst (homogenisiert).

Für Amphibole des Amphibolits Weinebene errechnen MILLER & FRANK (1983) „Altersdaten“ von ca. 190 Ma. Die genannten Autoren nehmen an, dass diese Amphibole erst eo-alpin unter leichten ^{40}Ar -Überschussbedingungen gebildet wurden. Da dieser Amphibolit „Plattengneislineation“ aufweist und konkordant zur Schieferung der umgebenden Metapelite eingeregelt wurde, ist tatsächlich anzunehmen, dass dieser Eklogit während der eo-Alpinen Metamorphose vollständig amphibolitisiert wurde. FRANK & al. (1983) beschreiben Argumente für ein kretazisches (eo-Alpines) Alter der „Plattengneistektonik“.

6. Diskussion

Die vorliegenden Daten, mit häufig modellartigem Charakter, stützen bei manchen Eklogiten der Sau- und Koralpe die Hypothese einer variszischen Eklogitisierung. Die Altersdaten in Tabelle 1 deuten auf eine präkambrische Protolithbildung, die durch den oberen Schnittpunkt einer Pb-U-Discordia (Zirkonfraktionen des Eklogits Kupplerbrunn, Saualpe) mit 660 ± 40 Ma definiert sein könnte. Interessant scheint eine ungefähre Überlappung mit den Altersdaten für Spessartinquarzite aus der Saualpe (Edukte bestanden wahrscheinlich aus hydrothermal vererzten Kiesel-schiefern und Tiefseetonen; KLEINSCHMIDT, 1975; SCHMEROLD, 1988) mit ca. 1040–620 Ma (HEEDE, 1997) zu sein. Die Sedimentation der Schiefergneisfolgen (mit akzessorischem Graphitpigment) der Sau- und Koralpe könnte, wenn man die Protolithalter einiger Eklogite (Kupplerbrunn, Grünburger Bach, Gertrusk, Beilstein) als präkambrisch akzeptiert, vor diesem Zeitraum erfolgt sein. Ergänzend sei hier angeführt, dass REITZ & HÖLL (1988) in Metasedimenten des Penninikums (Habachformation) Acritarchen mit Altern von ca. 670 Ma nachwiesen.

Als mögliche Eduktalter der verschiedenen Metapelite der Sau- und Koralpe (einschließlich des Plankogelkomplexes) werden von KUNZ (1991), THÖNI & JAGOUTZ (1992)

und HEEDE (1997) Altersdaten (obere Discordianschnittpunkte und Nd_{CHUR}-Modellalter) von ca. 1,9–0,62 Ga angegeben (siehe Tabelle 8).

Zusammenfassend betrachtet stellt sich abschließend die Frage, ob nun tatsächlich schon während der variszischen Metamorphose (Dauer von ca. 400–330 Ma?; Altersdaten siehe Tab. 1 bis Tab. 7) um ca. 360 Ma (siehe Tab. 4, 6), einige möglicherweise präkambrische (Protolithalter um ca. 660 Ma; vgl. auch Tab. 1) Metabasite eklogitisiert wurden (vgl. MILLER & FRANK, 1983; MILLER, 1990). Während der permischen Hochtemperatur-Metamorphose von ca. 280–240 Ma drangen Pegmatite (MORAUF, 1981; THÖNI & MILLER, 1996; HEEDE, 1997) und Gabbros (Bärofen und Gressenberg, Koralpe; MILLER & THÖNI, 1997) in die Schiefergneisfolgen ein. Die Pegmatite durchschlagen diskordant auch in einigen Fällen geschieferte Metabasite (Weinebene, Koralpe; MILLER & FRANK, 1983; NEUBAUER, pers. Mitt. 1999). Während der eo-Alpinen Metamorphose um ca. 90 Ma (THÖNI, 1990; THÖNI & JAGOUTZ, 1992; THÖNI & JAGOUTZ, 1993; THÖNI & MILLER, 1996; MILLER & THÖNI, 1997; HABLER & THÖNI, 1998a) wurden alle Einheiten von einer HP-Metamorphose überprägt. Viele Eklogite wurden während der eo-Alpinen Metamorphose teilweise bis vollständig amphibolitisiert, und spät- bis postdeformative Pegmatoide (Injektionen in Eklogiten und in Gneisen, die nicht als Bildungen aus Restschmelzen eines Plutons zu interpretieren sind) bildeten sich (MANBY & THIEDIG, 1988; THÖNI & JAGOUTZ, 1992; HEEDE, 1997). Möglicherweise erreichte der Metamorphosegrad in manchen Teilen der Sau- und Koralpe während der eo-Alpinen Metamorphose nur obere Amphibolitfazies. GREGUREK (1997) beschreibt ein eklogitfazielles Ereignis, das noch reliktsch zu erkennen ist, mit P-T-Bedingungen von >14–15 kbar/700–750 °C und eine nachfolgende amphibolitfazielle Überprägung mit P-T-Bedingungen von 7–10 kbar/600–650 °C. Es ist allerdings sehr schwierig die errechneten P-T-Bedingungen einer bestimmten Metamorphose zuzuordnen.

Die besser definierten variszischen Altersdaten konnten hauptsächlich in der Koralpe (eklogitogener Amphibolit Winebene, Eklogit Mauthnereck, Eklogit Weckbecker, Eklogit Fürpass) gefunden werden. Aber auch in Metabasiten der Sausalpe (Eklogit Kupplerbrunn, Eklogit Gertrusk, Eklogit Kirchberg, Eklogit Beilstein, Eklogit Grünburger Bach) wurden variszische Altersdaten bestimmt. Um weitere (variszische?) Daten zu erhalten, werden noch zusätzliche gezielte Isotopenuntersuchungen an möglichst wenig amphibolitisierten Eklogiten (mit Granaten die bis 40–50 Mol.-% Pyropanteil aufweisen) notwendig sein. Möglicherweise wurden die Isotopensysteme (Rb-Sr- und Sm-Nd-Isotopensystem) der Mineralphasen in den stärker geschieferten bzw. auch gebänderten Eklogiten (z. B.: Eklogit Kirchberg, Sausalpe) während der permischen und der eo-Alpinen Metamorphose nicht vollständig homogenisiert. In den Metapeliten variszische Mineralalter zu finden, wird sehr schwierig sein, da während der intensiven eo-Alpinen Metamorphose die meisten Mineralphasen rekristallisiert sind, überwachsen oder homogenisiert wurden. Es scheint schon schwierig zu sein, permische nichtpegmatitische Granatrelikte zu finden. Eine sehr geringe Möglichkeit besteht, dass die (meistens leider einschlusreichen) Kerne metapelitischer Granate mittels Sm-Nd-Isotopenuntersuchungen noch variszische Alter ergeben. GREGUREK (1997) weist darauf hin, dass oft beobachtete textuelle Hinweise in

Gesteinen des Koralpenkristallins (Metapelite der südlichen Koralpe) auf ein variszisches Metamorphoseereignis, Mineraleinschlüsse im Granat, sowie zwei getrennte Granatgenerationen, durch die starke alpidische Überprägung nicht quantifizierbar sind.

Um die angeführten variszischen Altersdaten aus der Sau- und Koralpe bestätigen zu können, werden noch weitere Isotopenuntersuchungen notwendig sein.

Dank: Die Autoren danken recht herzlich Univ.-Prof. Dr. M. THÖNI, Univ.-Prof. Dr. Ch. MILLER, Dr. R. SCHUSTER und Mag. Dr. D. GREGUREK für Literaturunterlagen bzw. Anregungen.

Literatur

- BEHRMANN J., BROSKINSKY D. & KNECHT S. (1990): Coesit in den Eklogiten der Saualpe? – Tektonik, Strukturgeologie, Kristallingeologie, Kristallingeologie III, 14–15.
- BERKA R., SCHMIDT K., SCHUSTER R. & FRANK W. (1998): Hercynian- and Permian metamorphism in the eastern part of the Austroalpine Basement Units (Eastern Alps). – Mitt. Österr. Min. Ges. **143**, 242–245.
- CHIARENZELLI J. R. & McLELLAND J. M. (1993): Granulite facies metamorphism, palaeoisotherms and disturbance of the U-Pb systematics of zircon in anorogenic plutonic rocks from the Adirondack Highlands. – J. metamorphic Geol. **11**, 59–70.
- CHOPIN C., HENRY C., MICHARD A. (1991): Geology and petrology of the coesit-bearing terrain, Dora Maira Massif, Western Alps. – Eur. J. Mineral. **3**, 263–291.
- ERTL A.: Druckabschätzungen von Metabasiten und Metapeliten mittels des Pyropanteiles in Granaten. – in Vorbereitung.
- FRANK W., ESTERLUS M., FREY I., JUNG G., KROHE A. & WEBER J. (1983): Die Entwicklungsgeschichte von Stub- und Koralpenkristallin und die Beziehung zum Grazer Paläozoikum. – Jahresber. 1982 Hochschulschwerpunkt **S15**, 263–293.
- GREGUREK, D. (1997): Geothermobarometrische Untersuchungen an den Gesteinen der südlichen Koralpe. – Mitt. Österr. Miner. Ges. **142**, 123–125.
- GREGUREK D., ABART R. & HOINKES G. (1997): Contrasting Eoalpine P-T evolutions in the southern Koralpe, Eastern Alps. – Mineral. Petrol. **60**, 61–80.
- HABLER G. & THÖNI M. (1998a): Alpine Metamorphose- und Strukturentwicklung der Gneisgruppe der NW Saualpe (Arbeitsgebiet N Knappenberg/Kärnten). – Mitt. Österr. Min. Ges. **143**, 287–290.
- HABLER G. & THÖNI M. (1998b): Die prämesozoische Niederdruckmetamorphose in der polymetamorphen Gneisgruppe der NW Saualpe (Arbeitsgebiet N von Knappenberg/Kärnten). – Mitt. Österr. Min. Ges. **143**, 291–293.
- HEEDE H.-U. (1997): Isotopengeologische Untersuchungen an Gesteinen des ostalpinen Saualpenkristallins, Kärnten, Österreich. – Münstersche Forsch. Geol. Paläont., 122 S.

- HÖLZL S., HOFMANN A. W., TODT W. & KÖHLER H. (1994): U-Pb geochronology of the Sri Lankan basement. – *Precambrian Research* **66**, 123–149.
- KALT A., HANEL M., SCHLEICHER H. & KRAMM U. (1994): Petrology and geochronology of eclogites from the Variscan Schwarzwald (F.R.G.). – *Contrib. Mineral. Petrol.* **115**, 287–302.
- KLEINSCHMIDT G. (1975): Die „Plankogelserie“ in der südlichen Koralpe unter besonderer Berücksichtigung von Manganquarziten. – *Verh. Geol. B.-A.* **1974, 2-2**, 351–362.
- KLÖTZLI U. S. & KOLLER F. (1998): Geochronology of pre-Variscan crustal remnants and their granitoid host rocks, South Bohemian Pluton, Austria. – *Mitt. Österr. Min. Ges.* **143**, 314–315.
- KUNZ P. (1991): Rb-Sr-Altersdatierungen an einem Staurolith-Granatglimmerschiefer der Plankogelserie (Kärnten/Österreich). – Unveröff. Dipl.-Arbeit (Teil B), Fachber. Geowiss. Univ. Münster, VIII + 97 S.
- MEZGER K. & KROGSTAD E. J. (1997): Interpretation of discordant U-Pb zircon ages: An evaluation. – *J. metamorphic Geol.* **15**, 127–140.
- MILLER Ch. (1990): Petrology of the type locality eclogites from the Koralpe and Saualpe (Eastern Alps), Austria. – *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* **70**, 287–300.
- MILLER Ch. & FRANK W. (1983): Das Alter der Metamorphose von Metabasiten und Eklogiten in Kor- und Saualpe. – *Jahresber. 1982 Hochschulschwerpunkt* **S15**, 229–236.
- MILLER Ch. & THÖNI M. (1995): Origin of eclogites from the Austroalpine Ötztal basement (Tirol, Austria): geochemistry and Sm-Nd vs. Rb-Sr isotope systematics. – *Chem. Geol.* **122**, 199–225.
- MILLER Ch. & THÖNI M. (1997): Eo-Alpine eclogitisation of permian MORB-type gabbros in the Koralpe (Eastern Alps, Austria): new geochronological, geochemical and petrological data. – *Chem. Geol.* **137**, 283–310.
- MORAUF W. (1980): Die permische Differentiation und die alpidische Metamorphose des Granitgneises von Wolfsberg, Koralpe, SE-Ostalpen, mit Rb-Sr- und K-Ar-Isotopenbestimmungen. – *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* **27**, 169–185.
- MORAUF W. (1981): Rb-Sr- und K-Ar-Isotopen-Alter an Pegmatiten aus Kor- und Saualpe, SE-Ostalpen, Österreich. – *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* **28**, 113–129.
- MORAUF W. (1982): Rb-Sr- und K-Ar-Evidenz für eine intensive alpidische Beeinflussung der Paragesteine in Kor- und Saualpe, SE-Ostalpen, Österreich. – *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* **29**, 255–282.
- NAKAMURA D. & BANNO S. (1997): Thermodynamic modelling of sodic pyroxene solid solution and its application in a garnet-omphacit-kyanite-coesite geothermobarometer for UHP metamorphic rocks. – *Contrib. Mineral. Petrol.* **130**, 93–102.
- REITZ E. & HÖLL R. (1988): Jungproterozoische Mikrofossilien aus der Habachformation in den mittleren Hohen Tauern und dem nordostbayrischen Grundgebirge. – *Jahrb. Geol. B.-A.* **131**, 329–340.
- RITTMANN K.-L. (1984): Argon in Hornblende, Biotit und Muskovit bei der geologischen Abkühlung – $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Untersuchungen. – Unveröff. Diss. Univ. Heidelberg, 278 S.
- SASSI F. P., GUIDOTTI C. V., RIEDER M. & DE PIERI R. (1994): On the occurrence of metamorphic $2M_1$ phengites: some thoughts on polytypism and crystallization conditions of 3T phengites. – *Eur. J. Mineral.* **6**, 151–160.

- SCHMÄDICKE E., OKRUSCH M. & SCHMIDT W. (1992): Eclogite facies rocks in the Saxonian Erzgebirge, Germany: High-pressure metamorphism under contrasting P-T conditions. – *Contrib. Mineral. Petrol.* **110**, 226–241.
- SCHMEROLD R. (1988): Die Plankogel-Serie im ostalpinen Kristallin von Kor- und Saualpe (Kärnten, Steiermark-Österreich) als ophiolitische Suture. – Unpubl. Diss. Fachber. Geow. Univ. Tübingen, 161 S., Tübingen.
- SCHUSTER R., SCHARBERT S. & ABART R. (1998): Permo-Triassic high temperature/low pressure metamorphism in Austroalpine Basement Units (Eastern Alps). – *Mitt. Österr. Min. Ges.* **143**, 383–386.
- THÖNI M. (1986): The Rb-Sr thin slab isochron method – an unreliable geochronologic method for dating geologic events in polymetamorphic terrains? – *Mem. Sci. Geol.* **38**, 283–352.
- THÖNI M. (1990): Isotopendaten an Eklogiten, Gabbros und Paragneisen des Ostalpinen Kristallins – ein vorläufiger Bericht. – *Österr. Beitr. Met. Geoph.* **1990, H.3**, 239–242.
- THÖNI M. (1999): A review of geochronological data from the Eastern Alps. – *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* **79**, 209–230.
- THÖNI M. & JAGOUTZ E. (1992): Some new aspects of dating eclogites in orogenic belts: Sm-Nd, Rb-Sr, and Pb-Pb isotopic results from the Austroalpine Saualpe and Koralpe type-locality (Carinthia/Styria, southeastern Austria). – *Geochim. Cosmochim. Acta* **56**, 347–368.
- THÖNI M. & JAGOUTZ E. (1993): Isotopic constraints for eo-Alpine high-P metamorphism in the Austroalpine nappes of the Eastern Alps: its bearing on Alpine orogenesis. – *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* **73**, 177–189.
- THÖNI M. & MILLER Ch. (1996): Garnet Sm-Nd data from the Saualpe and the Koralpe (Eastern Alps, Austria): chronological and P-T constraints on the thermal and tectonic history. – *J. metamorphic Geol.* **14**, 453–466.
- VON QUADT A. (1992): U-Pb zircon and Sm-Nd geochronology of mafic and ultramafic rocks from the central part of the Tauern Window (Eastern Alps). – *Contrib. Mineral. Petrol.* **110**, 57–67.
- WANG X., NEUBAUER F., GENSER J., DACHS E. & PROYER A. (1999): P-T-d path and exhumation of the UHP unit in eastern Dabie mountains, China. – *Geology*, in Druck.
- WEISSENBACH N. (1965): Geologie und Petrographie der eklogitführenden hochkristallinen Serien im zentralen Teil der Saualpe, Kärnten. – unveröff. Diss. Bergakad. Clausthal, 205 S., Clausthal-Zellerfeld.
- WENDT J. I., KRÖNER A., FIALA J. & TODT W. (1994): U-Pb zircon and Sm-Nd dating of Moldanubian HP/LT granulites from southern Bohemia, Czech Republic. – *J. Geol. Society London* **151**, 83–90.
- YODER H. S. & EUGSTER H. P. (1955): Synthetic and natural muscovites. – *Geochim. Cosmochim. Acta* **8**, 225–280.
- ZHANG R. Y. & LIU J. G. (1994): Coesite-bearing eclogite in Henan Province, central China: detailed petrography, claucophan stability and PT-path. – *Eur. J. Mineral.* **6**, 217–233.

Anschrift der Verfasser:

Andreas ERTL
 Institut für Mineralogie u. Kristallographie
 Geozentrum - Universität Wien
 Althanstraße 14, A-1090 Wien

Dr. Hans-Uwe HEEDE
 Geologisch-Paläontologisches Institut
 Westfälische Wilhelms-Universität Münster
 Corrensstraße 24, D-48149 Münster