



Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopenuntersuchungen an Karbonatgesteinen aus dem mittleren Tauernfenster

Von GEORG LOTH, RUDOLF HÖLL, WOLFGANG GRAF & PETER TRIMBORN*)

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

*Salzburg
Osttirol
Tauernfenster
Schieferhülle
Karbonatgesteine
Isotope*

*Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 122, 151, 152*

Inhalt

Zusammenfassung	465
Abstract	465
1. Einleitung	466
2. Methodik	467
3. Auswertung der Meßergebnisse	467
3.1. Karbonatgesteine aus der Serie der alten Gneise und aus dem Zwölferzug	467
3.2. Karbonatgesteine der Habachgruppe	468
3.3. Mesozoische Karbonatgesteine entlang des Tauernnordrandes	470
4. Schlußfolgerungen	471
Dank	471
Literatur	472

Zusammenfassung

Insgesamt 26 Karbonatgesteinsproben aus mehreren geologischen Einheiten der Älteren und der Jüngeren Schieferhülle des mittleren Tauernfensters wurden bezüglich ihrer Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopengehalte untersucht. Die isotopengeochemischen Untersuchungen hatten das Ziel, einen Beitrag zur Klärung der Genese dieser Karbonatgesteine zu erbringen.

Aus den ermittelten $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werten werden folgende Rückschlüsse gezogen: Die (Karbonat-)Chloritschiefer der Eruptivgesteinsfolge der Habachgruppe im vorderen Felber- und Stubachtal können als Tuffite interpretiert werden. Sie sind als vulkanogene Edukte mit Beimengung karbonatischer Sedimente erklärbar. Die Karbonatgesteine in der Eruptivgesteinsfolge der Knappenwandmulde sowie sämtliche Karbonatgesteinsproben aus permomesozoischen Einheiten am Tauernnordrand sind sedimentären Ursprungs. Die Sedimente des Hochstegenkalks und des Hachelkopfmarmors wurden im marinen Milieu abgelagert. Für Marmore in der Basisschieferfolge der Habachgruppe im Bereich der Scheelitlagerstätte Felbertal sowie in der „Altkristallin-Formation“ kann keine sichere genetische Zuordnung vorgenommen werden. Eine metamorphe Reequilibrierung der Isotopenverhältnisse kann nicht ausgeschlossen werden.

Investigations on Carbon and Oxygen Isotopes in Carbonate Rocks of the Middle Tauern Window

Abstract

A total of 26 samples of carbonate rocks from several geological units of the older and younger schist cover („Schieferhülle“) of the middle Tauern Window has been analyzed for carbon and oxygen isotopic composition. These investigations contribute to the genetic interpretation of these rocks.

The following conclusions have been drawn using the $\delta^{13}\text{C}$ - and $\delta^{18}\text{O}$ -values: (Carbonate-)chlorite schists in a magmatic sequence („Eruptivgesteinsfolge“) of the Habach Group in the lower Felber and Stubach Valleys are interpreted as meta-tuffites. They can be described as volcanoclastic material mixed with carbonate sediments. The carbonate rocks in the „Eruptivgesteinsfolge“ of the „Knappenwand“ Syncline and all samples from

*) Anschrift der Verfasser: Dipl.-Geol. GEORG LOTH, Prof. Dr. RUDOLF HÖLL, Universität München, Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie, Luisenstraße 37, D-80333 München; Dr. WOLFGANG GRAF, Dipl.-Phys. PETER TRIMBORN, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH Neuherberg, Institut für Hydrologie, Postfach 1129, D-85758 Oberschleißheim.

Permo-Mesozoic units at the northern rim of the Tauern Window are metasediments. The sediments of the „Hochstegen“ Marble and „Hachelkopf“ Marble were deposited in a marine environment. Marbles in the „Basisschieferfolge“ of the Habach Group in the Felbertal scheelite deposit and in the „Altkristallin Formation“ cannot be interpreted genetically with certainty. This might be attributed to a metamorphic reequilibration of the isotope ratios.

1. Einleitung

Für die genetische Deutung karbonatischer Gesteine im mittleren Teil des Tauernfensters wurden die $\delta^{13}C$ - und $\delta^{18}O$ -Werte von 26 Karbonatgesteinsproben aus folgenden Einheiten der Älteren und der Jüngeren Tauernschieferhülle bestimmt (Abb. 1):

- **Habachgruppe**
Eruptivgesteinsfolge im vorderen Felber- und Stubachtal, Basisschieferfolge im Bereich der Scheelitlagerstätte Felbertal, Eruptivgesteinsfolge der Knappenwandmulde im Obersulzbachtal.
- **„Altkristallin“**
Zwölferzug, Serie der alten Gneise.
- **Permomesozoische Einheiten**
Jüngere Schieferhülle im vorderen Stubachtal, Wensns-Veitlehener Kalkzug, Hachelkopfmarmor, Hochstegenkalk, Krimmler Trias.

Karbonatgesteine sind in der Habachgruppe selten: Der in Schlieren angereicherte Karbonatanteil der (Karbonat-)Chloritschiefer (LOTH, 1991) der zur

Habachgruppe gehörigen Eruptivgesteinsfolge (HÖLL, 1975) im Bereich des vorderen Felber- und Stubachtales wurde schwerpunktmäßig bearbeitet. Diese (Karbonat-) Chloritschiefer repräsentieren einen mengenmäßig bedeutsamen Teil der Eruptivgesteinsfolge im Bereich des Birkkogels. Mehrere Proben vom Birkkogel-Nordgrat sowie eine etwa 5 cm mächtige Marmorlage aus dem Großbrucker Graben (Felbertal-Osthang) wurden untersucht.

Zum Vergleich der Isotopenverhältnisse dienten Proben von dm-mächtigen Karbonatlagen in Prasiniten der Eruptivgesteinsfolge südöstlich Mittersill (im Graben südlich Schloß Lambach, 890 m SH; GLASER, 1991).

Weitere Karbonatgesteinsvorkommen innerhalb der Habachgruppe sind aus dem Bereich der Scheelitlagerstätte Felbertal (in der Basisschieferfolge des „Westfeldes“, Teilsohle 1100 m) und aus der Knappenwandmulde im Obersulzbachtal bekannt. Das letztere Vorkommen bildet eine bis 5 m mächtige Einschaltung innerhalb der Eruptivgesteinsfolge (AGNESBERGER, 1988). Pro-

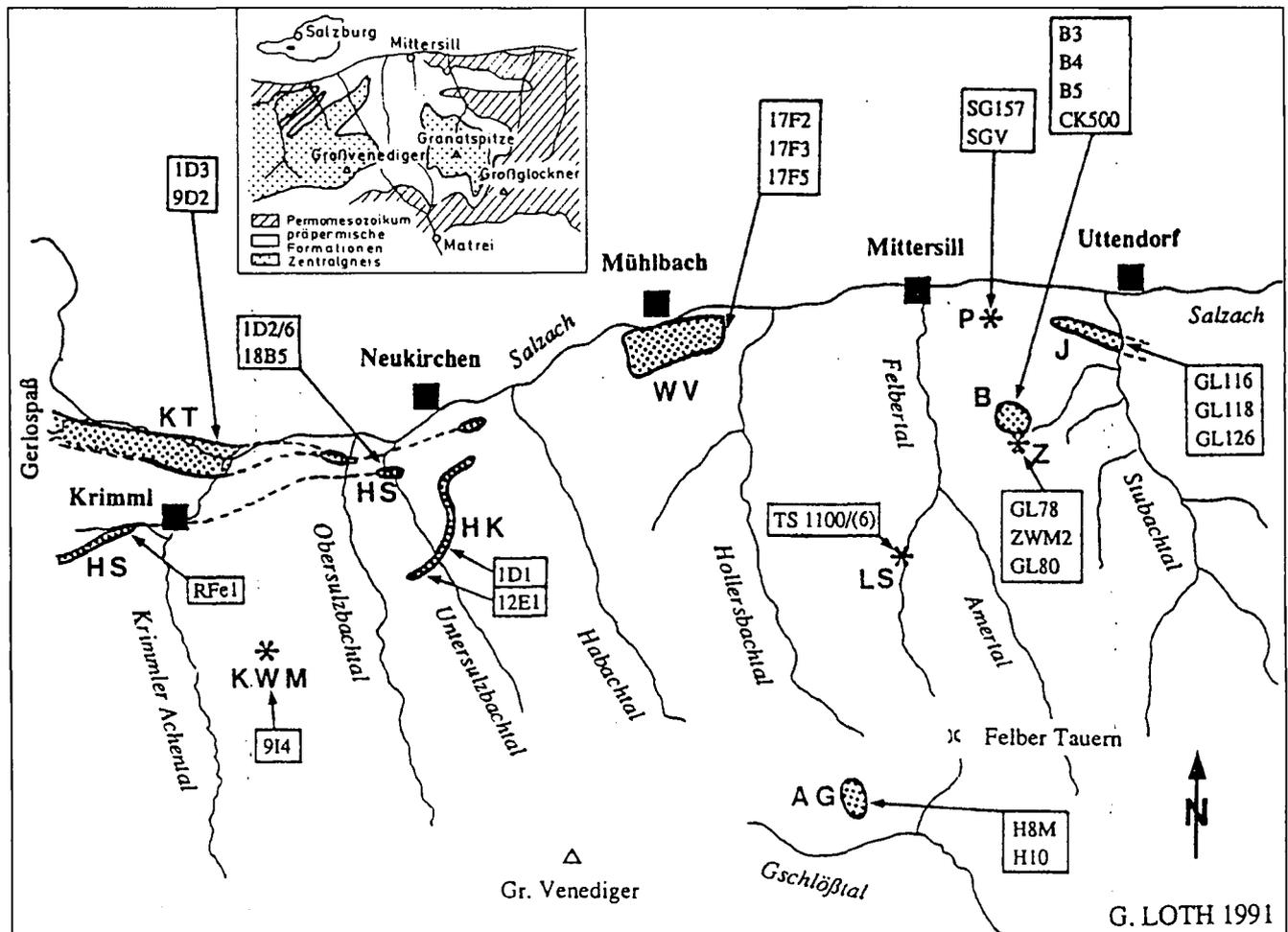


Abb. 1. Übersichtskarte der nördlichen mittleren Hohen Tauern mit der Lage der untersuchten Karbonatgesteinsvorkommen. KT = Krimmler Trias, HS = Hochstegenkalk, KWM = Knappenwandmulde, HK = Hachelkopfmarmor, WV = Wensns-Veitlehener Kalkzug, AG = Serie der alten Gneise, LS = Scheelitlagerstätte Felbertal, Z = Zwölferzug, B = Eruptivgesteinsfolge im Bereich des Birkkogels, P = Karbonatvorkommen in Prasiniten der Eruptivgesteinsfolge, J = Karbonatgesteinserie der Jüngeren Schieferhülle.

ben beider Lokalitäten wurden in die Untersuchungen einbezogen.

In der oberproterozoischen Habachphyllitfolge (REITZ & HÖLL, 1988; REITZ et al., 1989; GLASER, 1991) sind keine Karbonatgesteine nachgewiesen.

Karbonatgesteine aus dem Zwölferzug bildeten einen weiteren Schwerpunkt der Isotopenmessungen. FRANK (1965) erwähnt eine geringmächtige Marmorlage 100 m südlich des Zwölferkogels. Zwei etwa 10 cm mächtige Lagen sowie ein größerer, bis 1,5 m mächtiger und etwa 3,5 m langer Körper finden sich am Grat auf halbem Weg zwischen Birkkogel und Zwölferkogel (KRONBERGER, 1989). LOTH (1991) hat diese Marmorvorkommen ausführlich beschrieben. Der Gesteinsinhalt des von Amphiboliten mengenmäßig dominierten Zwölferzuges als Teil der altkristallinen Amphibolitfolge (FRASL & FRANK, 1966) weist mindestens zwei metamorphe Überprägungen auf (PESTAL, 1983; v. QUADT, 1992). Karbonatgesteine aus der ebenfalls altkristallinen „Serie der alten Gneise“ (FRASL & FRANK, 1966) dienen für Vergleichsuntersuchungen. Diese Karbonatvorkommen stellen Einschaltungen in Paragneisen dar (FRANK et al., 1987). Sedimentäre Kalke als Edukte dieser Gesteine sind aus feldgeologischen Gründen wahrscheinlich. Die untersuchten Proben stammen vom Gschlößtal-Nordhang im Bereich „Innerer First“.

Weitere Messungen wurden an Proben von folgenden fünf mesozoischen Karbonatgesteinsvorkommen durchgeführt: Karbonatgesteinsserie der Jüngeren Schieferhülle im vorderen Stubachtal, Wenss-Veitlehener Kalkzug, Hachelkopfmarmor, Hochstegenkalk und Krimmler Trias. Diese Einheiten erscheinen aufgrund ihrer ähnlichen Metamorphosegeschichte und Altersstellung für vergleichende Untersuchungen gut geeignet. Aufgrund des mesozoischen Alters und ihrer Lage am Tauernnordrand war nur eine schwach-metamorphe alpidische Überprägung dieser Gesteine zu erwarten. Es wurde postuliert, daß die Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopenverhältnisse während der Metamorphose nicht signifikant verändert wurden.

Die Schichtglieder der Karbonatgesteinsserie der Jüngeren Schieferhülle werden von FRASL & FRANK (1966) als flachmarine Bildungen interpretiert. Unsere Proben wurden im Bereich Ebenwaldalm/Enzinger Wand am Stubachtal-Westhang genommen.

Der Wenss-Veitlehener Kalkzug stellt einen bis etwa 3,5 km langen, E-W-verlaufenden Gesteinszug am Tauernnordrand südlich Mühlbach (Salzachtal) dar. Fossilfunde belegen die Einordnung in die Mitteltrias (FISCHER, 1955; FRASL, 1953, 1958). Die untersuchten Proben stammen aus dem Vittechgraben am Ostende des Vorkommens.

Der Hochstegenkalk wird von FRASL & FRANK (1966) als karbonatische Schwellenfazies interpretiert. Für die Hochstegenkalkfolge wird ein oberjurassisches Alter angenommen (KLEBELSBERG, 1940; SCHÖNLAUB et al., 1975; KIESSLING, 1992). Für die Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopenmessungen wurden Proben von der neuen Gerlosstraße westlich Krimml und vom Ausgang des Untersulzbachtales verwendet.

Der Hachelkopfmarmor bildet einen etwa 4 km langen, unzusammenhängenden Gesteinszug im Bereich des Untersulzbachtales. Er wird als Fortsetzung der Hochstegenkalkfolge interpretiert (FRASL, 1953; FRASL & FRANK, 1966). Untersucht wurden Proben aus der Brandrinne (Untersulzbachtal-Westseite) und aus dem Kendigraben (Untersulzbachtal-Ostseite).

Die Krimmler Trias wird vorwiegend von Dolomitmarmoren, untergeordnet von Kalkmarmoren aufgebaut. Das triassische Alter ist durch Fossilfunde von DIENER (1900) und FRASL (1953) belegt. Die Probennahme beschränkte sich auf das Ostende der „Nößlachwand“ bei Vorderkrimml.

2. Methodik

Die im Institut für Hydrologie am GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in Neuherberg an einem Massenspektrometer vom Typ Delta-S der Firma Finnigan MAT bestimmten $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ - und $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisse werden im folgenden als Abweichung von einem internationalen Standard in Promille (sog. „ δ -Werte“) (HOEFS, 1973a) wiedergegeben. Die δ -Wert-Formel für ^{13}C lautet:

$$\delta^{13}\text{C}(\text{Probe}) = 1000 \cdot \frac{^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}(\text{Probe}) - ^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}(\text{Standard})}{^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}(\text{Standard})} \text{ [‰]}$$

Für die Kohlenstoffisotope wurde der „PDB-Standard“ (Belemnitella americana der kretazischen Peedee-Formation, South Carolina; CRAIG, 1957), für die Sauerstoffisotope neben dem „PDB-Standard“ auch der „SMOW“ (Standard Mean Ocean Water; HOEFS, 1973a; FAURE, 1977) verwendet. Nach FRIEDMAN & O'NEILL (1977) erfolgt die Umrechnung des $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) in den $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) mit der Formel

$$\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW}) = \delta^{18}\text{O}(\text{PDB}) \cdot 1,03086 + 30,86$$

Die Eichung der Meßwerte auf den PDB-Standard wurde mit dem Isotopenstandard „Kalkstein KH-2“ der Akademie der Wissenschaften, Zentralinstitut für Isotopen- und Strahlenforschung Leipzig ($\delta^{13}\text{C} = 1,97 \text{ ‰}$ (PDB), $\delta^{18}\text{O} = -2,96 \text{ ‰}$ (PDB) = $+27,81 \text{ ‰}$ (SMOW)) überprüft.

Mit einer statistischen Sicherheit von 95 % (2σ) liegen die Fehlergrenzen der Messungen bei $\pm 0,1 \text{ ‰}$ (PDB).

3. Auswertung der Meßergebnisse

3.1. Karbonatgesteine aus der Serie der alten Gneise und aus dem Zwölferzug

Die Marmore aus den mächtigen Metasedimentfolgen der Serie der alten Gneise zeigen eine für Karbonatite typische isotopische Zusammensetzung (Abb. 2). Die Meßwerte liegen teilweise im Feld für „unalterierte, nicht differenzierte Karbonatite“ nach TAYLOR et al. (1967). Eine Probe hat erhöhte $\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Die Marmore aus der Serie der alten Gneise können aufgrund des Geländebefundes als ehemalige sedimentäre Karbonatgesteine interpretiert werden. Der Bereich des „Karbonatitfeldes“ repräsentiert nicht ausschließlich die Isotopenzusammensetzung von Karbonatiten. Es kann eine Änderung der C- und O-Isotopenverhältnisse durch die Metamorphose postuliert werden. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen DEINES & GOLD (1969) bei der Untersuchung der kontaktmetamorphen Änderung des „Trenton limestone“ in Quebec (Abb. 2). Auch AGRINIER et al. (1985) postulieren eine metamorphosebedingte Änderung der C- und O-Isotopenverhältnisse (Abb. 2). Eine Änderung der Isotopengehalte analog DEINES & GOLD (1969) und AGRINIER et al. (1985) ist aufgrund

Abb. 2.
Meßwerte der Karbonatgesteinsproben aus dem Zwölferzug und der Serie der alten Gneise.

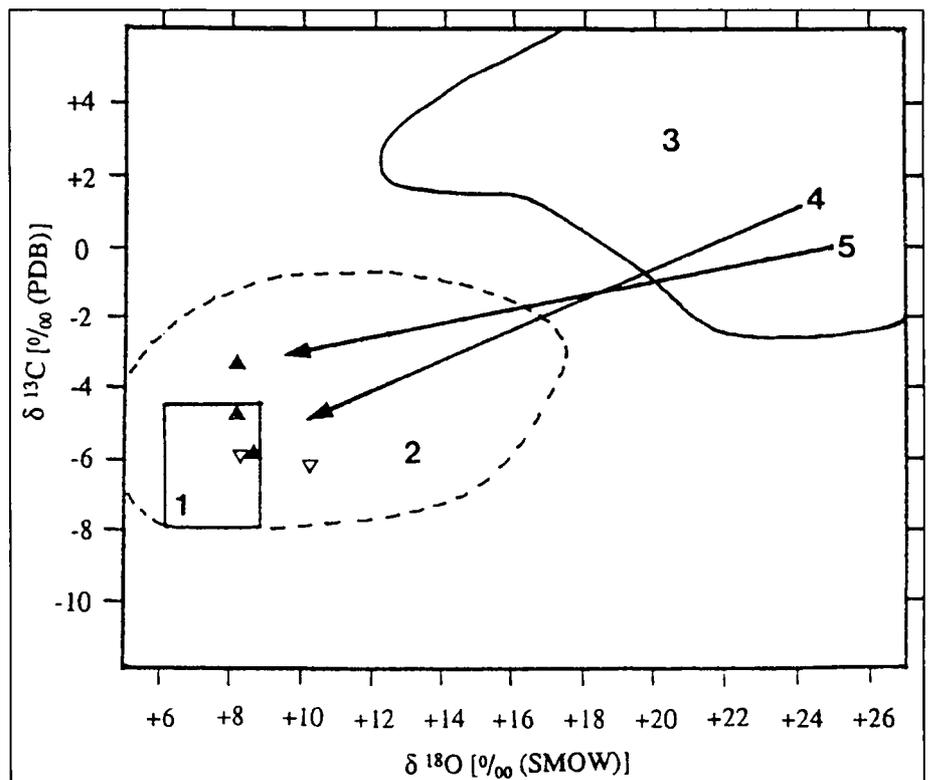
▲ = Karbonatgesteine aus dem Zwölferzug; ▽ = Karbonatgesteine aus Metasedimenten der Serie der alten Gneise;

Feld 1 = Isotopische Zusammensetzung nicht alterierter Karbonatite nach TAYLOR et al. (1967).

Feld 2 = Isotopische Zusammensetzung von Karbonatiten nach Daten von BAERTSCHI (1957), TAYLOR et al. (1967), DEINES & GOLD (1973) und ANDERSEN (1987).

Feld 3 = Isotopische Zusammensetzung mariner Kalke nach Daten von ENGEL et al. (1958), KEITH & WEBER (1964) und BEAUCHAMP et al. (1987).

4 = Metamorphe Evolution der Isotopenzusammensetzung sedimentärer Karbonatgesteine in Richtung „Karbonatitfeld“ nach DEINES & GOLD (1969); 5 = Metamorphe Evolution der Isotopenzusammensetzung sedimentärer Karbonatgesteine in Richtung „Karbonatitfeld“ nach AGRINIER et al. (1985).



unserer Befunde für die untersuchten Marmore aus der Serie der alten Gneise anzunehmen. Die Serie der alten Gneise wurde mindestens zweimal metamorph überprägt. Das thermische Maximum der alpidischen Metamorphose liegt im Bereich des Gschlößtal-Nordhanges etwa bei 580–600°C (HOERNES & FRIEDRICHSEN, 1974).

Die Marmore des Zwölferzuges zeigen ähnliche Isotopengehalte wie die Marmore aus der Serie der alten Gneise. Die Meßwerte liegen ebenfalls im Bereich des „Karbonatitfeldes“ (Abb. 2). Ähnliche C- und O-Isotopenkonzentrationen beschreiben AGRINIER et al. (1985) aus Marmorlagen in Amphiboliten der „western gneiss region“ Norwegens. Diese Marmorlagen weisen unterschiedliche isotopische Zusammensetzungen auf: Sie liegen teilweise ebenfalls im Bereich des „Karbonatitfeldes“, teils im Feld der marinen Kalke. AGRINIER et al. (1985) postulieren eine metamorphosebedingte Änderung der C- und O-Isotopenverhältnisse (Abb. 2). Die $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Marmore des Zwölferzuges erlauben keine eindeutige genetische Zuordnung. Auch der Geländebefund bietet keine sicheren Hinweise für die Genese dieser Karbonatgesteine. Gegen eine Herkunft aus Karbonatiten sprechen alle sonstigen Daten. Die Frage nach der Herkunft der Marmorlagen des Zwölferzuges muß offen bleiben. Sedimentäre Kalke als Edukte dieser Marmore können jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Der Zwölferzug und die Serie der alten Gneise gehören beide zur „Altkristallin-Formation“ im Sinne von FRASL (1958). Aufgrund der ähnlichen Metamorphosegeschichte kann für beide Einheiten unter Vorbehalt eine durch die amphibolitfazielle Metamorphose bedingte Änderung der C- und O-Isotopenkonzentrationen postuliert werden.

3.2. Karbonatgesteine der Habachgruppe

Die Karbonatlagen aus den (Karbonat-)Chloritschiefern der Eruptivgesteinsfolge des vorderen Felber- und Stuibachtales liegen bezüglich ihrer isotopischen Zusammen-

setzung zwischen dem „Feld der marinen Kalke“ und dem „Karbonatitfeld“. Teilweise haben sie C- und O-Isotopengehalte, welche von metamorphen Kalksteinen bekannt sind (Abb. 3). Ähnliche $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zeigt ein Marmorkörper aus der Eruptivgesteinsfolge der Knapenwandmulde. Der Geländebefund spricht bei diesem Marmorvorkommen für dessen Herkunft aus sedimentären Kalken (AIGNESBERGER, 1988). Für den Karbonatanteil der (Karbonat-)Chloritschiefer sind mehrere Möglichkeiten zu diskutieren: Sedimentäre Entstehung oder Spilitisierung oder metamorphe Bildung. Die C- und O-Isotopengehalte sind am besten mit der Annahme eines sedimentären karbonatischen Eduktes vereinbar, bei gleichzeitiger Postulierung einer schwachen gerichteten Änderung der Isotopengehalte vermutlich während der Metamorphose. Die Isotopengehalte sprechen gegen die Charakterisierung der untersuchten Karbonatlagen als Karbonatfraktion spilitischer Gesteine. Die von HOEFS (1973b) untersuchten Karbonate aus Spiliten zeigen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -11,4 und -2,4 ‰ (PDB) sowie $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen +20,35 und +30,34 ‰ (SMOW) (Abb. 3). Da bei einer metamorphen Änderung der Isotopenkonzentrationen das Verhältnis schweres Isotop/leichtes Isotop kleiner wird, ist ein „shift“ von einer „relativ schwereren“ zu einer „relativ leichteren“ Zusammensetzung zu erwarten. Die gemessenen Isotopenverhältnisse repräsentieren jedoch im Vergleich zu den von HOEFS (1973b) untersuchten Spilit-Karbonaten hohe $\delta^{13}\text{C}$ -Werte. Es ist daher unwahrscheinlich, daß die Karbonatlagen der (Karbonat-)Chloritschiefer eine Karbonatfraktion metamorpher spilitischer Gesteine darstellen. Die von SCHOELL et al. (1972, 1975) untersuchten metamorph gebildeten Karbonate aus dem Tauernfenster weisen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -6,6 und -4,6 ‰ (PDB) und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen +7,1 und +8,9 ‰ (SMOW) auf. Diese $\delta^{18}\text{O}$ -Werte stimmen überein mit den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten der von FRIEDRICHSEN & MORTEANI (1979) untersuchten Calcite aus alpinen Klüften. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der CO_2 -Fraktion der Flüssigkeitseinschlüsse von Kluffquar-

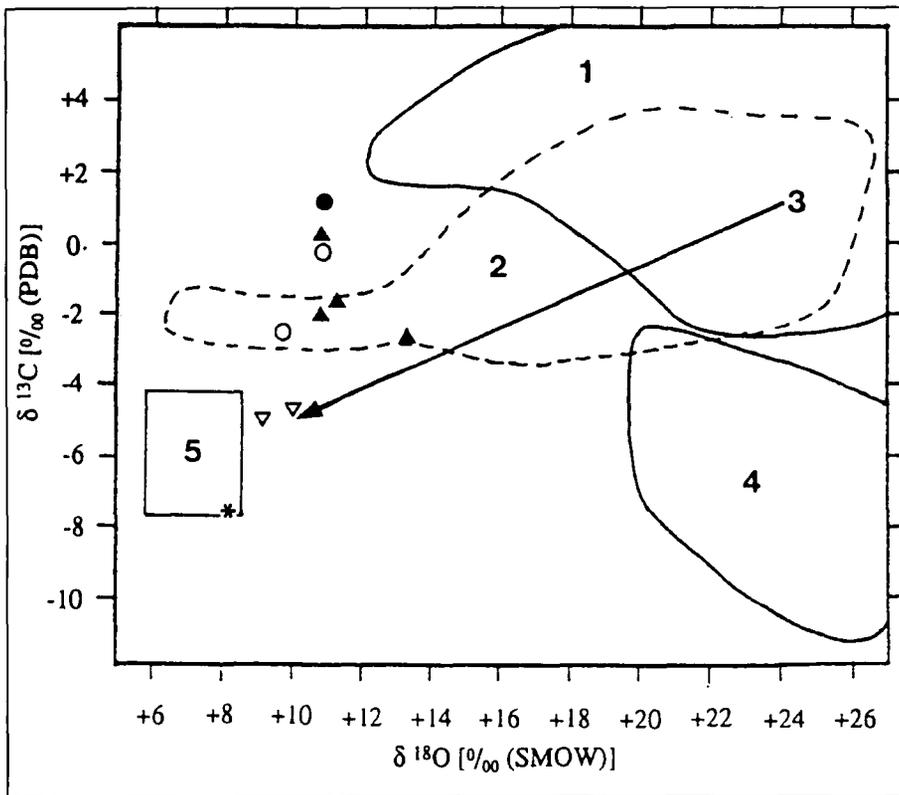


Abb. 3. Meßwerte der Karbonatgesteinsproben aus der Habachgruppe.

▲ = Karbonatlagen der (Karbonat-)Chloritschiefer, Eruptivgesteinsfolge; ▽ = Karbonatlagen in Prasiniten südöstlich Mittersill, Eruptivgesteinsfolge; ● = Marmore der Knappenwandmulde, Eruptivgesteinsfolge; ○ = Marmore der Knappenwandmulde (Meßwerte von CARL, 1988); * = Marmorlagen innerhalb der Basisschieferfolge im Bereich der Scheelitlagerstätte Felbental.

Feld 1 = Isotopische Zusammensetzung mariner Kalke nach Daten von ENGEL et al. (1958), KEITH & WEBER (1964) und BEAUCHAMP et al. (1987).

Feld 2 = Isotopische Zusammensetzung metamorpher Kalksteine nach Daten von ENGEL et al. (1958), SCHOELL et al. (1975), RYE et al. (1976) und AGRINIER et al. (1985).

3 = Metamorphe Evolution sedimentärer Karbonatgesteine in Richtung „Karbonatitfeld“ nach DEINES & GOLD (1969).

Feld 4 = Isotopische Zusammensetzung der Karbonatfraktion von Spiliten nach HOEFS (1973b).

Feld 5 = Isotopische Zusammensetzung nicht alterierter Karbonatite nach TAYLOR et al. (1967).

zen (-7 bis -1,5 ‰ (PDB)) betrachten HOEFS & MORTEANI (1979) als typisch für die isotopische Zusammensetzung der alpidischen metamorphen fluiden Phase im Tauernfenster. Für eine Metamorphosetemperatur zwischen 400 und 500°C im Bereich des Birkkogels (HOERNES & FRIEDRICHSEN, 1974; LOTH, 1991) ergeben sich nach BOTTINGA (1969) Fraktionierungsfaktoren für $\text{CO}_2/\text{CaCO}_3$ von $1000 \ln \alpha(A,B) = 2,7$ bis $2,8$ ‰. Nach der Formel

$$\delta(\text{CO}_2) - \delta(\text{CaCO}_3) = 1000 \ln \alpha(\text{CO}_2, \text{CaCO}_3) \quad (\text{BOTTINGA, 1969})$$

kann unter Verwendung der Werte von HOEFS & MORTEANI (1979) die theoretische C-Isotopenzusammensetzung während der Metamorphose im Bereich des Birkkogels gebildeter Calcite berechnet werden:

$$\begin{aligned} \delta(\text{CaCO}_3) &= \delta(\text{CO}_2) - 1000 \ln \alpha(\text{CO}_2, \text{CaCO}_3) \\ \text{Maximum-}\delta(\text{CaCO}_3) &= (-1,5 - 2,7) \text{ ‰ (PDB)} = -4,2 \text{ ‰ (PDB)} \\ \text{Minimum-}\delta(\text{CaCO}_3) &= (-7,0 - 2,8) \text{ ‰ (PDB)} = -9,8 \text{ ‰ (PDB)} \end{aligned}$$

Die theoretischen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte metamorph gebildeter Calcite im Bereich des Birkkogels sollten $\leq 4,2$ ‰ (PDB) sein, sofern die Werte von HOEFS & MORTEANI (1979) die typische Kohlenstoff-Isotopenzusammensetzung der CO_2 -Fraktion der metamorphen fluiden Phase im Tauernfenster darstellen. Unter dieser Prämisse ist die Bildung der Karbonatfraktion der (Karbonat-)Chloritschiefer während der Metamorphose unwahrscheinlich.

Die (Karbonat-)Chloritschiefer aus dem Bereich des Birkkogels werden aufgrund der feldgeologischen und der petrographischen Daten sowie der vorliegenden isotopengeochemischen Befunde als Tuffite interpretiert. Sie sind erklärbar als basische bis intermediäre Vulkanite mit Verunreinigungen durch karbonatische Sedimente.

Die zum Vergleich mit den (Karbonat-)Chloritschiefern untersuchten Karbonatlagen in Prasiniten der Eruptivgesteinsfolge südöstlich Mittersill weisen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von -4,64 bis -4,84 ‰ (PDB) und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von +9,03 bis +9,92 ‰ (SMOW) auf. Sie liegen am Rand des „Karbonatitfeldes“ (Abb. 3). Für diese Isotopengehalte sind meta-

morphe Änderungen analog jenen der Marmore aus der Serie der alten Gneise und aus dem Zwölferzug anzunehmen. Wegen des verhältnismäßig geringen Metamorphosegrades (um 400°C; GLASER, 1991) werden jedoch keine deutlichen Änderungen erwartet. Die vorliegenden Daten können bei Annahme eines sedimentären karbonatischen Eduktes möglicherweise jedoch eine deutliche Änderung der Isotopenzusammensetzung aus einem weiten Feld für karbonatische Sedimente im $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm implizieren. Wir sind der Auffassung, daß die Frage nach der Herkunft der Karbonate in den Prasiniten mit Hilfe der C- und O-Isotopenuntersuchungen nicht mit hinreichender Sicherheit geklärt werden kann, möchten jedoch ein sedimentäres Edukt nicht ausschließen.

Die $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Marmore aus der Basisschieferfolge im Bereich der Scheelitlagerstätte Felbental liegen im „Karbonatitfeld“ (Abb. 3). Aufgrund der Vergesellschaftung dieser Gesteine mit den Metasedimenten der Basisschieferfolge ist eine sedimentäre Entstehung naheliegend (HÖLL, 1975).

Die für sedimentäre Kalke ungewöhnlichen Meßwerte sind jedoch nur durch eine markante metamorphe Änderung der Isotopengehalte erklärbar (Abb. 2 und 3). Die Metamorphosetemperaturen liegen im Bereich der Scheelitlagerstätte Felbental über 550°C (HÖLL, 1975, GILG et al., 1989). Der Metamorphosegrad ist somit im Lagerstättenbereich deutlich höher als im Bereich des Birkkogels oder der Prasinite südöstlich Mittersill. Nach MCCAIG et al. (1990) ist auch die tektonische Beanspruchung der Gesteine während der Metamorphose für die Änderung der Isotopengehalte von Bedeutung. Die beprobten Marmore aus der Basisschieferfolge im Bereich der Scheelitlagerstätte sind nur wenige Meter von einer Überschiebungsbahn entfernt („Basisschieferschuppe“ auf Teilsohle 1100). Dennoch ist nach unserer Auffassung eine hydrothermale oder metamorphe Bildung dieser Marmore aufgrund der Isotopenzusammensetzung nicht mit hinreichender Sicherheit ausschließbar.

3.3. Mesozoische Karbonatgesteine entlang des Tauernnordrandes

Fast alle Meßwerte sämtlicher beprobter mesozoischer Karbonatgesteinsvorkommen (Jüngere Schieferhülle im vorderen Stubachtal, Wenns-Veitlehener Kalkzug, Hachelkopfmarmor, Hochstegenkalk, Krimmler Trias) liegen im Bereich der marinen Kalke nach ENGEL et al. (1958), KEITH & WEBER (1964) und BEAUCHAMP et al. (1987) (Abb. 4).

Die Isotopengehalte von Dolomiten sind im Gegensatz zu Kalksteinen ungewöhnlich variabel (HOEFS, 1973a).

Die Werte der drei untersuchten Dolomitmarmorproben (Tab. 1) weichen jedoch nicht systematisch von jenen der Kalkmarmore aus den entsprechenden Probenlokalitäten ab (Abb. 4).

Für die Unterscheidung mariner Kalke von Süßwasserkalken schlagen KEITH & WEBER (1964) folgende empirisch ermittelte Formel vor:

Tabelle 1.

δ-Werte der untersuchten Karbonatgesteine (D= Dolomitmarmore).
Sofern nicht anders angegeben, stellen die Proben Kalkmarmore dar.

Gesteinseinheit	Proben-Nr.	δ ¹³ C [‰ (PDB)]	δ ¹⁸ O [‰ (SMOW)]	δ ¹⁸ O [‰ (PDB)]
Zwölferzug	GL78	-4,79	+7,99	-22,19
	ZWM2	-3,29	+8,07	-22,11
	GL80	-5,89	+8,45	-21,74
Serie der alten Gneise	H8M	-6,15	+10,07	-20,17
	H10	-6,01	+8,17	-22,01
Eruptivgesteinsfolge (Birkkogel, vorderes Felber- und Stubachtal)	B3	-1,77	+11,28	-19,00
	B4	-2,07	+10,90	-19,37
	B5	-2,75	+13,39	-16,95
	CK500	+0,15	+10,94	-19,33
Prasinite der Eruptivge- steinsfolge (Mittersill)	SG157	-4,84	+9,03	-21,18
	SGV	-4,64	+9,92	-20,31
Knappenwandmulde	9I4	+1,18	+10,79	-19,47
Basisschiefer in der Scheelitlagerstätte	TS 1100/(6)	-7,61	+8,03	-22,15
Karbonatgesteinsserie (Jüngere Schieferhülle im Stubachtal)	GL116	+3,07	+23,91	-6,75
	GL118	+3,19	+21,64	-8,95
	GL126 (D)	+3,38	+23,42	-7,22
Wenns-Veitlehener Kalkzug	17F2	+2,64	+21,94	-8,65
	17F3 (D)	+2,84	+20,13	-10,41
	17F5	+2,03	+18,06	-12,42
Hochstegenkalk	1D2/6 (D)	+2,17	+14,73	-15,65
	18B5	+3,66	+17,83	-12,65
	RFel	+2,76	+19,08	-11,43
Hachelkopfmarmor	1D1	+3,07	+25,61	-5,10
	12E1	+0,42	+13,15	-17,18
Krimmler Trias	1D3	+2,62	+22,88	-7,74
	9D2	+3,12	+19,26	-11,25

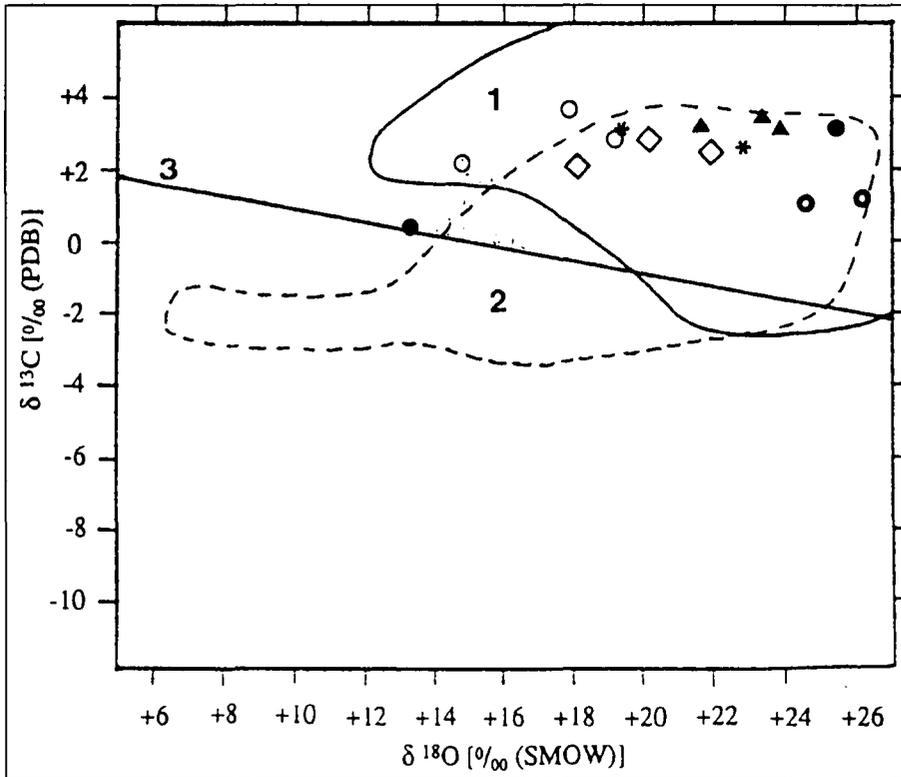


Abb. 4.
 Meßwerte der mesozoischen Karbonatgesteinsproben am Tauernnordrand.
 ▲ = Karbonatgesteinsserie der Jüngerer Schieferhülle im vorderen Stubachtal; ◇ = Wensn-Veitlehener Kalkzug; ● = Hachelkopfmarmor; ○ = Hachelkopfmarmor (Meßwerte von CARL, 1988); ○ = Hochstegenkalk; * = Krimmler Trias
 Feld 1 = Isotopische Zusammensetzung mariner Kalke nach Daten von ENGEL et al. (1958), KEITH & WEBER (1964) und BEAUCHAMP et al. (1987).
 Feld 2 = Isotopische Zusammensetzung metamorpher Kalksteine nach Daten von ENGEL et al. (1958), SCHOELL et al. (1975), RYE et al. (1976) und AGRINIER et al. (1985).
 3 = „Z = 120“-Linie zur Unterscheidung nachtriassischer mariner Kalke (oberhalb dieser Trennlinie) von Süßwasserkalken (unterhalb dieser Trennlinie) nach KEITH & WEBER (1964).

$$Z = 2,048 \cdot (\delta^{13}C + 50) + 0,498 \cdot (\delta^{18}O + 50)$$

wobei beide δ -Werte in [‰ (PDB)] angegeben werden. Der Z-Wert ist bei marinen Kalken größer als 120, bei Süßwasserkalken kleiner als 120.

Auf die Bedeutung der erdgeschichtlichen Zeit für die Isotopenverhältnisse von karbonatischen Sedimentgesteinen haben KEITH & WEBER (1964), WELTE et al. (1975), VEIZER & HOEFS (1976), JASPER & HAYES (1990), KUDRASS et al. (1991) sowie KENNETT & STOTT (1991) hingewiesen. Aufgrund der Altersabhängigkeit der Isotopenverhältnisse ist vorstehende Klassifizierung sedimentärer Karbonatgesteine nur für nachtriassische Ablagerungen zulässig (KEITH & WEBER, 1964). Von den untersuchten Gesteinseinheiten des Tauernfensters sind der Hachelkopfmarmor und der Hochstegenkalk als nachtriassisch einzustufen. Sämtliche Meßwerte dieser beiden Gesteinseinheiten liegen im Bereich der marinen Karbonatgesteine.

Die Isotopengehalte aller untersuchten mesozoischen Marmore zeigen keine signifikanten Abweichungen von jenen unmetamorpher Kalke (Abb. 4). Eine metamorphosebedingte, wesentliche Änderung der Isotopenkonzentrationen hat in diesen Marmoren offenbar nicht stattgefunden. Die Metamorphosetemperaturen in allen diesen Karbonatgesteinsvorkommen am Tauernnordrand waren wesentlich geringer (Hachelkopfmarmor um 450°C, sonst unter 400°C; HOERNES & FRIEDRICHSEN, 1974) als in der Serie der alten Gneise (bis 600°C; HOERNES & FRIEDRICHSEN, 1974) oder in der Scheelitlagerstätte Felbertal.

4. Schlußfolgerungen

Für die untersuchten Karbonatgesteine aus der Älteren und der Jüngerer Tauernschieferhülle kann eine Abhängigkeit der Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung vom Metamorphosegrad postuliert werden.

Die metamorphosebedingte Änderung der Isotopenzusammensetzung sedimentärer Kalke kann $\delta^{13}C$ - und $\delta^{18}O$ -Werte hervorrufen, die keine eindeutige Interpretation zulassen.

Für Aussagen über die Genese metamorpher Karbonatgesteine muß neben den C- und O-Isotopenverhältnissen auch der Geländebefund herangezogen werden.

Dank

Für zahlreiche zur Verfügung gestellte Proben von Karbonatgesteinen aus den mittleren Hohen Tauern möchten wir Herrn Dipl.-Geol. Michael KUPFERSCHMIED (München) danken.

Literatur

- AGRINIER, P., JAVOY, M., SMITH, D.C. & PINEAU, F.: Carbon and oxygen isotopes in eclogites, amphibolites, veins and marbles from the Western Gneiss Region, Norway. – Chem. Geol. Isot. Geosc., **52**, 145–162, Amsterdam 1985.
- AIGNESBERGER, G.: Die Geologie der Knappenwandmulde im Bereich des Obersulzbachtales und Krimmler Achentaales (Bundesland Salzburg / Österreich). Petrographie, Geochemie und Tektonik. – Unveröff. Diplomarbeit, 171 S., Univ. München 1988.
- ANDERSEN, T.: Mantle and crustal components in a carbonatite complex, and the evolution of carbonatite magma: REE and isotopic evidence from the Fen Complex, southeast Norway. – Chem. Geol. Isot. Geosc., **65**, 147–166, Amsterdam 1987.
- BAERTSCHI, P.: Messung und Deutung relativer Häufigkeitsvariationen von ^{18}O und ^{13}C in Karbonatgesteinen und Mineralien. – Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **37**, 73–152, Zürich 1957.
- BEAUCHAMP, B., OLDERSHAW, A.E. & KROUSE, H.R.: Upper Carboniferous and Upper Permian ^{13}C -enriched primary carbonates in the Sverdrup Basin, Canadian Arctic: Comparisons to coeval western North American Ocean margins. – Chem. Geol. Isot. Geosc., **65**, 391–413, Amsterdam 1987.

- BOTTINGA, Y.: Calculated fractionation factors for carbon and hydrogen isotope exchange in the system calcite – carbon dioxide – graphite – methane – hydrogen – water vapor. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **33**, 49–64, Oxford 1969.
- CARL, R.R.B.: Die Geologie der vorderen Hollersbachtal-Westseite (Scharrrntal), Bundesland Salzburg / Österreich. Untersuchungen zur Petrologie, Lagerstättenkunde, Isotopengeochemie. – Unveröff. Diplomarbeit, 138 S., Univ. München 1988.
- CRAIG, H.: Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **12**, 133–149, Oxford 1957.
- DEINES, P. & GOLD, D.P.: The change in carbon and oxygen isotopic composition during contact metamorphism of Trenton Limestone by the Mount Royal Pluton. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **33**, 421–424, Oxford 1969.
- DEINES, P. & GOLD, D.P.: The isotopic composition of carbonatite and kimberlite carbonates and their bearing on the isotopic composition of deep-seated carbon. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **37**, 1709–1733, Oxford 1973.
- DIENER, C.: Einige Bemerkungen über die stratigraphische Stellung der Krimmler Schichten und über den Tauerngraben im Oberpinzgau. – *Jb. k.k. G.R.A.*, **50**, 45–51, Wien 1900.
- ENGEL, A.E.J., CLAYTON, R.N. & EPSTEIN, S.: Variations in isotopic composition of oxygen and carbon in Leadville Limestone (Mississippian, Colorado) and its hydrothermal and metamorphic phases. – *J. Geol.*, **66**, 374–393, Chicago 1958.
- FAURE, G.: Principles of isotope geology. – 2. Auflage, 589 S., New York (Wiley) 1977.
- FISCHER, H.: Der Wenns-Veitlehner-Kalk-Marmorzug. – *Verh. Geol. B.-A.*, **1955**, 187–197, Wien 1955.
- FRANK, W.: Die Geologie des Guggernbachtals. – Diss., 189 S., Univ. Wien 1965.
- FRANK, W., MILLER, C. & PESTAL, G.: Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50.000, Blatt 152 Matrei in Osttirol. – *Geol. B.-A.*, Wien 1987.
- FRASL, G.: Die beiden Sulzbachzungen. – *Jb. Geol. B.-A.*, **96**, 143–192, Wien 1953.
- FRASL, G.: Zur Seriengliederung der Schieferhülle in den mittleren Hohen Tauern. – *Jb. Geol. B.-A.*, **101**, 323–472, Wien 1958.
- FRASL, G. & FRANK, W.: Einführung in die Geologie und Petrographie des Penninikums im Tauernfenster unter besonderer Berücksichtigung des Mittelabschnittes im Oberpinzgau, Land Salzburg. – *Aufschluß, Sonderh.* **15**, Heidelberg 1966.
- FRIEDMAN, I. & O'NEILL, J.R.: Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. – *US Geol. Surv. prof. pap.*, **440-KK**, 17–24, Washington 1977.
- FRIEDRICHSEN, H. & MORTEANI, G.: Oxygen and hydrogen isotope studies on minerals from alpine fissures and their gneissic host rocks, western Tauern Window (Austria). – *Contr. Mineral. Petrol.*, **70**, 149–152, Berlin 1979.
- GLASER, S.: Die Geologie des Salzachtal-Südhangs bei Wilhelmsdorf (Bundesland Salzburg / Österreich) – Untersuchungen zur Petrographie, Tektonik und Kohlenstoff-Kristallinität. – Unveröff. Diplomarbeit, 83 S., Univ. München 1991.
- GILG, H.A., HÖLL, R., KUPFFERSCHMIED, M.P., REITZ, E., STÄRK, H. & WEBER-DIEFENBACH, K.: Die Basisschieferformation in der Habachgruppe im Felber- und Amertal (Tauernfenster, Salzburg). – *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, **81** (1988), 65–91, Wien 1989.
- HOEFS, J.: Stable isotope geochemistry. – 1. Auflage, 135 S., 37 Abb., Berlin (Springer) 1973a.
- HOEFS, J.: Ein Beitrag zur Isotopengeochemie des Kohlenstoffs in magmatischen Gesteinen. – *Contr. Mineral. Petrol.*, **41**, 277–300, Berlin 1973b.
- HOEFS, J. & MORTEANI, G.: The carbon isotopic composition of fluid inclusions in alpine fissure quartzes from the western Tauern Window (Tyrol, Austria). – *N. Jb. Min. Mh.* **1979/3**, 123–134, Stuttgart 1979.
- HOERNES, S. & FRIEDRICHSEN, H.: Oxygen isotope studies on metamorphic rocks of the western Hohe Tauern Area (Austria). – *Schweiz. Miner. Petr. Mitt.*, **54**, 769–788, Zürich 1974.
- HÖLL, R.: Die Scheelitlagerstätte Felbertal und der Vergleich mit anderen Scheelitvorkommen in den Ostalpen. – *Habilitations-schrift*, 114 S., Bayer. Akad. Wissensch. Math.-Nat.-wiss. Klasse, Abh. N.F., **H 157A**, München 1975.
- JASPER, J.P. & HAYES, J.M.: A carbon isotope record of CO₂ levels during the late quaternary. – *Nature*, **347**, 462–464, London 1990.
- KEITH, M.L. & WEBER, J.N.: Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **28**, 1787–1816, Oxford 1964.
- KENNETT, J.P. & STOTT, L.D.: Abrupt deep-sea warming, palaeoceanographic changes and benthic extinctions at the end of the Palaeocene. – *Nature*, **353**, 225–229, London 1991.
- KIESSLING, W.: Palaeontological and facial features of the Upper Jurassic Hochstegen Marble (Tauern Window, Eastern Alps). – *Terra nova*, **4/2**, 184–197, Oxford 1992.
- KLEBELSBERG, R.v.: Ein Ammonit aus dem Hochstegenkalk des Zillertals (Tirol). – *Zeitschr. Dt. Geol. Ges.*, **92**, 582–586, Stuttgart 1940.
- KRONBERGER, L.: Die Geologie des Felber- und Amertal-Osthanges zwischen Großbrucker Graben und Grüneckkogel (Bundesland Salzburg / Österreich): Petrographische, geochemische und tektonische Untersuchungen. – Unveröff. Diplomarbeit, 122 S., Univ. München 1989.
- KUDRASS, H.R., ERLLENKEUSER, H., VOLLBRECHT, R. & WEISS, W.: Global nature of the younger dryas cooling event inferred from oxygen isotope data from Sulu Sea cores. – *Nature*, **349**, 406–408, London 1991.
- LOTH, G.: Die Geologie des vorderen Stubachtal-Westhanges (Land Salzburg/Österreich) – Petrographische, tektonische und isotopengeochemische Untersuchungen. – Unveröff. Diplomarbeit, 98 S., Univ. München 1991.
- MCCAIG, A.M., WICKHAM, S.M. & TAYLOR, H.P.Jr.: Deep fluid circulation in alpine shear zones, Pyrenees, France: field and oxygen isotope studies. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **106**, 41–60, Berlin 1990.
- PESTAL, G.: Beitrag zur Kenntnis der Geologie in den Mittleren Hohen Tauern im Bereich des Amer- und des Felbertales (Pinzgau / Salzburg). – Diss., 117 S., Univ. Wien 1983.
- QUADT, A.v.: U-Pb zircon and Sm-Nd geochronology of mafic and ultramafic rocks from the central part of the Tauern Window (Eastern Alps). – *Contr. Mineral. Petrol.*, **110**, 57–67, Berlin 1992.
- REITZ, E. & HÖLL, R.: Jungproterozoische Mikrofossilien aus der Habachformation in den mittleren Hohen Tauern und im nordostbayerischen Grundgebirge. – *Jb. Geol. B.-A.*, **131**, 329–340, Wien 1988.
- REITZ, E., DANECK, T. & MILLER, H.: Ein Nachweis jungproterozoischen Alters von Schwarzphylliten am Tauern-Nordrand (Salzburg, Österreich) und seine Bedeutung für den Bau der Hohen Tauern. – *Jb. Geol. B.-A.*, **132**, 751–760, Wien 1989.
- RYE, R.O., SCHUILING, R.D., RYE, D.M. & JANSEN, J.B.H.: Carbon, hydrogen, and oxygen isotope studies of the regional metamorphic complex at Naxos, Greece. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**, 1031–1049, Oxford 1976.
- SCHOELL, M., MORTEANI, G. & HÖRMANN, P.K.: Relationship between carbonate mineralization and regional metamorphism in the western Tauern Area as deduced from ¹³C and ¹⁸O investigations on the carbonates. – *Fortschr. Miner.*, **50/Beih.** **3**, S. 126, Stuttgart 1972.
- SCHOELL, M., MORTEANI, G. & HÖRMANN, P.K.: ¹⁸O/¹⁶O and ¹³C/¹²C ratios of carbonates from gneisses, serpentinites and marbles of the Zillertaler Alpen, western Tauern Area (Austria). – *N. Jb. Min. Mh.*, **1975**, 444–459, Stuttgart 1975.
- SCHÖNLAUB, H., FRISCH, W. & FLAJS, G.: Neue Fossilfunde aus dem Hochstegenmarmor (Tauernfenster, Österreich). – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **1975**, 111–128, Stuttgart 1975.

TAYLOR, H.P., FRECHEN, J. & DEGENS, E.T.: Oxygen and carbon isotope studies of carbonatites from the Laacher See district, West Germany, and the Alnö district, Sweden. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **31**, 407–430, Oxford 1967.

VEIZER, J. & HOEFS, J.: The nature of $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ secular trends in sedimentary carbonate rocks. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**, 1387–1395, Oxford 1976.

WELTE, D.H., KALKREUTH, W. & HOEFS, J.: Age trend in carbon isotopic composition in Paleozoic sediments. – *Naturwissenschaften*, **62**, 482–483, Berlin 1975.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 26. Oktober 1992.