



Die Böhmisches Masse in Österreich: Was gibt es Neues?

FRIEDRICH FINGER¹ & GERHARD SCHUBERT²

4 Abbildungen, 1 Tabelle

Gewidmet unserem Lehrer und Mentor, Herrn Prof. GÜNTHER FRASL (1924–2003),
Gründer und Ordinarius des Instituts für Geologie und Paläontologie der Universität Salzburg
in den Jahren 1967 bis 1992.

Böhmische Masse
Variszisches Gebirge
Rheische Suture
Plattentektonik
Geochronologie

Inhalt

Zusammenfassung	167
Abstract	167
Einleitung	168
Plattentektonischer Hintergrund	168
Die Stellung der Drosendorfer Einheit im tektonischen Bau des Waldviertels	168
Argumente für eine bruno-vistulische Abstammung der Drosendorfer Einheit	171
Die Rolle der Gföhler Einheit	172
Der Südböhmische Batholith und das Bavarikum	173
Literatur	176

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird die Geologie der Böhmisches Masse in Österreich unter Berücksichtigung der aktuellen geochronologischen Datenlage rekapituliert. Neben den traditionellen Sichtweisen werden moderne plattentektonische Konzepte, wie die mögliche Korrelation der Waldviertler Drosendorfer Einheit mit dem Moravikum, erörtert. Das variszische Geschehen wird in den Rahmen eines unterkarbonischen Subduktions-Kollisions-Szenarios an der Rheischen Suture gestellt, unter Beteiligung einer avalonischen (bruno-vistulischen) und einer armorikanischen Kontinentalmasse. Des Weiteren wird auf die Bedeutung der oberkarbonischen bavarischen Phase der variszischen Orogenese hingewiesen.

The Bohemian Massif in Austria: What is new?

Abstract

The geology of the Austrian part of the Bohemian Massif is recapitulated in this paper under consideration of the most recent geochronological data. In addition to traditional views, we discuss new plate tectonic concepts that involve a possible correlation of the Drosendorf and the Moravian unit. The Variscan events are interpreted within the framework of a Lower Carboniferous subduction-collision scenario at the Rhenic suture, involving Avalonian (Bruno-Vistulian) and Armorican crustal fragments. Furthermore, the significance of the Upper Carboniferous Bavarian phase of the Variscan orogeny is highlighted.

1 FRIEDRICH FINGER: Universität Salzburg, Hellbrunnerstrasse 34, 5020 Salzburg. friedrich.finger@sbg.ac.at

2 GERHARD SCHUBERT: Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. gerhard.schubert@geologie.ac.at

Einleitung

Die geologische Ebene der hydrogeologischen Themenkarte im Anhang (Beilage 1) untergliedert das Kristallin der Böhmisches Masse in die beiden Großeinheiten *Moldanubikum* und *Moravo-Silesikum* (*Bruno-Vistulikum*) sowie die *spätvariszische Granitmasse des Südböhmischen Batholiths* innerhalb des Moldanubikums. Dem geologisch versierten Betrachter wird auffallen, dass – übrigens erstmals in einer geologischen Übersichtskarte von Österreich – von der traditionellen Trennlinie zwischen Moldanubikum und Moravikum an der Hangendgrenze des moravischen Bittescher Gneiskörpers abgegangen wurde. Stattdessen wurde die Bunte Serie des Waldviertels (Drosendorfer Einheit einschließlich Dobragneis), die nach bisheriger Lehrmeinung ohne Abstriche in das Moldanubikum eingegliedert war, zusammen mit dem klassischen Moravikum zu einer moravo-silesischen bzw. bruno-vistulischen Einheit kombiniert. Diese Vorgangsweise folgt einem Vorschlag von MATURA (2003). Wir werden im Folgenden begründen, warum wir dieses neue Gliederungskonzept prinzipiell für richtungswesend halten, und dabei vor allem plattentektonische Argumente ins Treffen führen.

Generell hat die wissenschaftliche Forschung in der Böhmisches Masse in den letzten Jahren viele neue Denkanstöße erhalten. In der österreichischen Fachliteratur sind diese rezenteren Forschungsansätze bisher noch kaum verarbeitet. Aufgabe dieses Artikels ist es somit auch, eine aktualisierte Bibliografie zu liefern und die wichtigsten Neuerungen für den heimischen Leserkreis kurz zu referieren, mit dem Versuch, Unterschiede und Zusammenhänge zu den früheren Sichtweisen darzustellen.

Plattentektonischer Hintergrund

Dem weltweiten Trend folgend, wurde auch das mitteleuropäische Variszikum in den letzten beiden Jahrzehnten unter Zuhilfenahme plattentektonischer Modellvorstellungen interpretiert. Nach aktueller Vorstellung setzt sich das variszische Orogen aus mehreren unabhängigen Mikrokontinenten (allochthonen Terranen) zusammen, welche sich im Altpaläozoikum und Devon schrittweise vom Gondwana-Nordrand ablösten (Abb. 1). Im Zuge der devonisch-karbonischen Konvergenz von Gondwana und Baltika verschmolzen diese Terrane in neuer Anordnung zum variszischen Gebirge (TAIT et al., 1997; ZULAUF, 1997; FRANKE, 2000; WINCHESTER et al., 2002; KRONER & ROMER, 2013; STAMPFLI et al., 2013).

Ein wichtiger Bestandteil des variszischen Orogens ist der vom südamerikanischen Sektor Gondwanas herstammende bandförmige Mikrokontinent *Avalonia*. Dieser ist im frühen Silur bereits nahe an Baltika herangedriftet (Abb. 1) und bildet später die nördliche Flanke der Varisziden. Die große kadmische Kontinentalmasse des Bruno-Vistulikums (DUDEK, 1980; ZIEGLER, 1986; KALVODA et al., 2007; KALVODA & BÁBEK, 2010), welche weite Teile Mährens unterlagert und sich nach Auffassung der Autoren in das Waldviertel fortsetzt (Moravikum und Drosendorfer Einheit), kann dieser avalonischen Nordflanke der Varisziden zugerechnet werden (ZIEGLER, 1986; FINGER et al., 2000; FRANKE & ŽELAŽNIEWICZ, 2000).

Von Günther Frasl wurde schon früh die Konzeption vertreten, dass das Moravikum ein variszisch reaktivierter Randteil der bruno-vistulischen Kontinentmasse ist (FRASL, 1989, 1991). Ein starkes Argument für eine avalonische bzw. „südamerikanische“ Abkunft des Moravikums haben später FRIEDL et al. (2000) durch den Nachweis ererbter mesoproterozoischer Zirkonrelikte im Bittescher Gneis geliefert. Diese mesoproterozoischen Zirkonrelikte gelten heute allgemein als diagnostisch für Avalonia (NANCE & MURPHY, 1996; ŽELAŽNIEWICZ et al., 2009; MAZUR et al., 2010; DÖRR et al., 2014).

Die Hauptmasse des mitteleuropäischen Variszikums, nämlich der moldanubische Gürtel, das Saxothuringikum und das Bohemikum sind hingegen Bestandteile einer anderen plattentektonischen Domäne (*Armorika* nach TAIT et al., 1997 und WINCHESTER et al. 2002; *Galatia* nach STAMPFLI et al., 2013). Diese Einheiten stammen vom nordafrikanischen Sektor Gondwanas. Zu Beginn des Silurs waren sie wahrscheinlich noch mit Gondwana verbunden (Abb. 1). Ihre Ablösung führte in der Folge zur Öffnung der Palaeotethys (STAMPFLI et al., 2013). Im Zuge der variszischen Orogenese kollidierten diese armorikanisch/galatischen Einheiten dann mit den avalonischen Elementen im Vorfeld von Baltika. Dabei wurde der Rheische Ozean geschlossen (NANCE et al., 2010).

Für den österreichischen Teil der Böhmisches Masse stellt sich nun die Frage, wo genau diese wichtige Suture des Rheischen Ozeans einzuzeichnen ist. Zunehmend kristallisiert sich dabei heraus, dass die klassische Grenze zwischen dem Moldanubikum und dem Moravikum, wie sie bis dato in jedem Lehrbuch zu finden war, nicht mit dieser rheischen Suture identisch ist, sondern dass auch die Drosendorfer Einheit noch zur avalonischen Domäne gehört.

Die Stellung der Drosendorfer Einheit im tektonischen Bau des Waldviertels

Die großangelegte Kartierungskampagne der Geologischen Bundesanstalt in den 1960er- und 1970er Jahren, welche vor allem von Gerhard Fuchs, Alois Matura und Otto Thiele (1928–2013) getragen wurde, liefert bis heute das Basiswissen für tektonische Interpretationen. Wir geben hier zum Einstieg einen kurzen Überblick über die damals definierten geologischen Einheiten. Eine Zusammenfassung über die ältere Erforschungsgeschichte des Gebiets ist in WALDMANN (1951) und FUCHS & MATURA (1976) nachzulesen.

Die hochdruckmetamorphe *Gföhler Einheit* (FUCHS, 1976), mit den Granuliten und dem Gföhler Gneis als Hauptlithologien, befindet sich in tektonisch höchster Position (siehe Profil in Abbildung 2), wobei von FUCHS (1976) bekanntlich eine westvergente Platznahme mit Wurzelzone im östlichen Waldviertel postuliert wurde, während die meisten anderen Bearbeiter für die Hauptmasse der Waldviertler Gföhler Einheit eine komplett allochthone Natur mit Ost- oder Nordost-Transport Richtung Moravikum annehmen (Gföhler Decke nach THIELE, 1984). Eine an der Basis der Gföhler Einheit liegende Sequenz mit zahlreichen basischen Gesteinen (Amphibolite, Ultrabasite) wurde von THIELE (1984) als *Raabser Einheit* zusammengefasst und als Teildecke der Gföhler Decke angesehen.

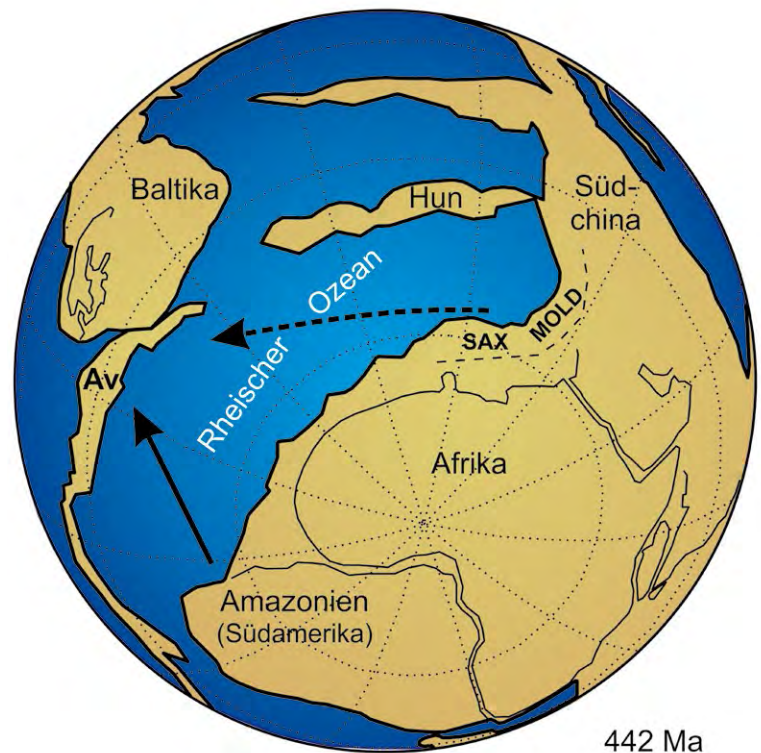


Abb. 1.
Rekonstruktion der Kontinentverteilung zu Beginn des Silur (442 Ma) nach STAMPFLI et al. (2013). Das bandförmige avalonische Terrane (Av), welches in seinem Ostabschnitt das Bruno-Vistulikum bzw. Moravo-Silesikum mit sich führt, ist vom südamerikanischen Sektor von Gondwana in Richtung Baltika abgewandert (Pfeil). Die Hauptmasse der heutigen Varisziden liegt hingegen noch am nördlichen Gondwana-Rand im Vorfeld von Nordafrika. Das Abdriften dieser Einheiten in Richtung Baltika steht noch bevor (Öffnung der Palaeotethys; strichliert angedeutet). MOLD, SAX: vermutete Positionen des Moldanubikums und Saxothuringikums.

Darunter folgt dann das „tiefere Moldanubikum“ (Drosendorfer Decke nach THIELE, 1984) mit der *Bunten Serie* (*Drosendorfer Einheit* nach FUCHS, 1976), die durch eine bunte Wechselfolge von Marmoren, Quarziten, Amphiboliten, Paragneisen, Grafitchiefer und Orthogneisen in den Regionalkarten sehr markant hervortritt. Am westlichen Ende der Bunten Serie liegt der große Dobragneiskörper, an welchen wiederum die vielfach Cordierit führenden Paragneise der sogenannten *Monotonen Serie* oder *Ostrong-Einheit* anschließen (FUCHS, 1976; LINNER, 1996).

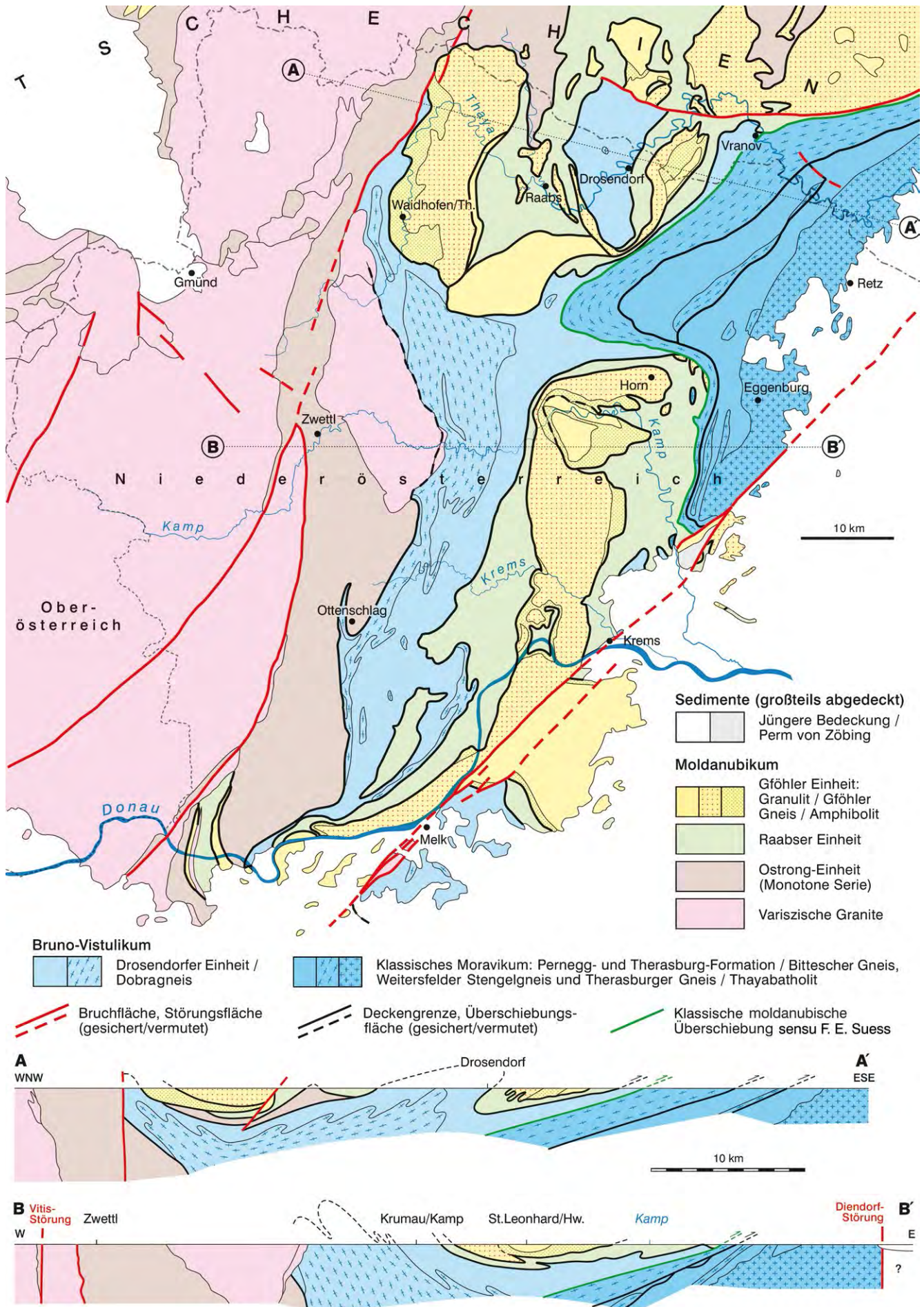
Es ist zu beachten, dass FUCHS (1976, 1991) die Bunte Serie (*Drosendorfer Einheit*) lediglich als das westliche tektonische Unterlager der Gföhler Einheit definiert, entsprechend seinem Konzept einer Einwurzelung der Gföhler Einheit im Osten. THIELE (1976, 1984) und auch MATURA (1976) zeichnen die Bunte Serie hingegen muldenförmig unter der Gföhler Einheit durch und interpretieren gewisse Marmor führende Einheiten im Hangenden des Bittescher Gneises (z.B. die Vranov-Einheit) ebenfalls als Bunte Serie. Vor allem in den tektonischen Profilen von MATURA (1976, 2003) kommt diese Vorstellung eines muldenförmigen tektonischen Baus sehr deutlich zum Ausdruck (Abb. 2). Zwischen Drosendorfer Einheit und der westlich angrenzenden Ostrong-Einheit zeichnet MATURA (2003), ebenso wie FUCHS (1976), eine tektonische Grenze ein, während THIELE (1984) eher an einen Primärzusammenhang denkt und beide zu einer Drosendorfer Decke zusammenfasst.

FUCHS (1976) fordert für das Waldviertel eine zumindest zweiphasige Entwicklungsgeschichte mit zwei deutlich getrennten Orogenesephasen (intramoldanubischer Bau versus moravische Unterschiebung). Hingegen hält beispielsweise THIELE (1984) ein Zustandekommen der gesamten Tektonik in einem Guss, also während der variszischen Orogenese, für wahrscheinlich. Ein ähnliches Konzept ver-

treten später FRITZ & NEUBAUER (1993). Der muldenförmige tektonische Bau wird von FRITZ & NEUBAUER (1993) durch die moravische Unterschiebung im Osten, in Kombination mit einer kompressiven Rückschubung von Bunter Serie und Dobragneis am Westflügel erklärt.

Schon in den 1960er Jahren hat Günther Frasl (siehe z.B. FRASL, 1968) die Diskussion eröffnet, ob die beiden Großeinheiten Moldanubikum und Moravikum (im klassischen Sinne von Franz Eduard Suess (1867–1941)) in Lithologie und Metamorphosegrad wirklich so unterschiedlich sind, wie das in der Literatur oft idealisiert dargestellt wurde. Nach eingehendem Studium der variszischen Metamorphosezonierung im Moravikum, welche an Stärke gegen Westen zunimmt, stellte FRASL (1970) fest, dass beispielsweise im Bereich des Messener Bogens ein nahezu kontinuierlicher Temperaturübergang in das höher metamorphe Moldanubikum gegeben ist. Weiters verweist Frasl schon damals auf die lithologische Ähnlichkeit zwischen dem moldanubischen Dobragneis und dem moravischen Bittescher Gneis. Noch konsequenter in seiner Aussage ist dann MATURA (1976), der in Profilschnitten den Bittescher Gneis im Untergrund der Waldviertler Mulde direkt mit dem Dobragneis zusammenführt. Diese Interpretation bildet später eine wesentliche Grundlage für das platten-tektonische Model von FINGER & STEYRER (1995), in welchem die Drosendorfer Einheit zusammen mit dem Moravikum als passiver Kontinentalrand des Bruno-Vistulikums gedeutet wird (Abb. 3).

Ein Nachsatz ist hier angebracht: So fortschrittlich und wichtig die von Fuchs, Matura und Thiele definierten Einheiten für das tektonische Verständnis des österreichischen Anteils der Böhmisches Masse waren und sind, so sehr verwirrend und unglücklich geriet der spätere Versuch internationaler Arbeitsgruppen, genau diese geologischen Begriffe aus dem Waldviertel auf weite Teile der südlichen



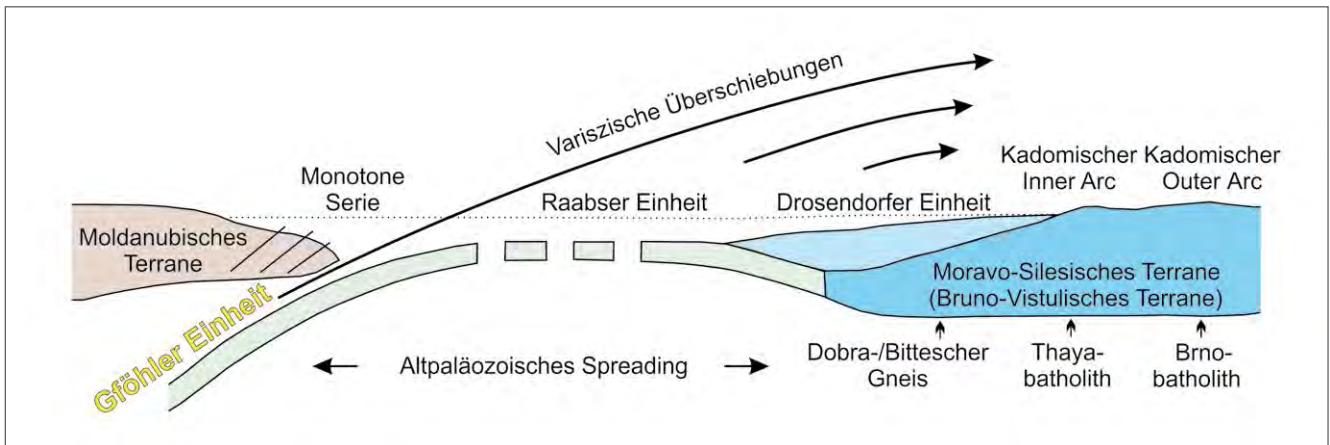


Abb. 3. Das hier abgebildete Modell von FINGER & STEYRER (1995) stellt einen der ersten Versuche dar, den geologischen Bau des Waldviertels mit moderner Plattentektonik zu verbinden. Zentrales Element dieses Modells ist, dass die Raabser Einheit (THIELE, 1984) als erhaltener Rest eines variszisch subduzierten altpaläozoischen Ozeans gedeutet wird. Moravikum und Drosendorfer Einheit bilden den passiven Rand einer bruno-vistulischen bzw. moravo-silesischen Kontinentalplatte, welcher dann bei der variszischen Orogenese mit einem aktiven moldanubischen Kontinentalrand kollidierte. Diese Vorstellung passt ausgezeichnet in das aktuelle Bild moderner globaltektonischer Rekonstruktionen für das variszische Orogen (karbonische Kollision von Armorika/Galatia mit avalonischen Kontinentalfragmenten – STAMPFLI et al., 2013).

Böhmischen Masse bis in den Prager und Regensburger Raum auszuweiten (z.B. FRANKE, 1989, 2000). Bis zu einem gewissen Grad ist das noch für die Gföhler Einheit nachvollziehbar, als Sammelbegriff für alle allochthonen Hochdruck-Hochtemperaturgesteine im Moldanubikum der Böhmischen Masse. Völlig ungeeignet ist aber die Verwendung des Namens Drosendorfer Einheit für das gesamte nicht-hochdruckmetamorphe Moldanubikum Böhmens und Bayerns, handelt es sich bei der Originaleinheit im Waldviertel doch womöglich um ein bruno-vistulisches Element, welches dann vom übrigen Moldanubikum klar abzugrenzen wäre (siehe dazu die Diskussion in FINGER et al., 2007a). Aber auch die Hochdruckeinheiten des böhmischen Moldanubikums (z.B. bei Český Krumlov, Písek oder Kutná Hora) haben höchstwahrscheinlich ihre eigene geologische Entwicklung und sind nicht direkt mit der spezifischen tektonischen Situation im Waldviertel zu parallelisieren, die sehr stark von der Unterschiebung und Indentor-Wirkung der bruno-vistulischen Platte geprägt ist. Wie später noch ausgeführt wird, ist die Interpretation von TOLLMANN (1982), der alle Hochdruckeinheiten der südlichen Böhmischen Masse zu einer riesigen Gföhler Decke kombiniert, vermutlich nicht haltbar.

Argumente für eine bruno-vistulische Abstammung der Drosendorfer Einheit

Ganz große Bedeutung kommt natürlich der Frage zu, ob der Dobragneis und der Bittescher Gneis wirklich zu parallelisieren sind, nämlich im Sinne eines ehemals zusammenhängenden magmatischen Systems. Was den Bittescher Gneis betrifft, so kann dessen kadomisches (spätproterozoisches) Protolith-Alter (MORAUF & JÄGER, 1982) heute als gesichert gelten (FRIEDL et al., 2000, 2004). Hingegen scheinen Teile des Dobragneises auf ein wesentlich älteres magmatisches Edukt zurückzugehen, mit Zirkonaltern von

1,38 Ga (GEBAUER & FRIEDL, 1994). Obzwar Sm-Nd Isotopendaten (LIEW & HOFFMANN, 1988) durchaus eine verwandte Krustenentwicklung erkennen lassen, ist der erhoffte geochronologische Beweis zur Parallelisierung von Dobragneis und Bittescher Gneis mittels Zirkondatierungen bisher ausgeblieben. Nichtsdestoweniger lässt das von GEBAUER & FRIEDL (1994) gefundene mesoproterozoische Zirkonalter (1,38 Ga) auf eine Zugehörigkeit des Dobragneises zu Avalonia bzw. zur bruno-vistulischen Einheit schließen (FRIEDL et al., 2004). Auch bei einer aktuellen Untersuchung der Universität Salzburg konnten wieder diese mesoproterozoische Zirkonkomponenten im Dobragneis festgestellt werden.

Zu erwähnen ist, dass der Dobragneis nach neuesten Befunden (LINDNER & FINGER, 2015) nicht als einheitlicher Körper gesehen werden darf. Er zerfällt in zumindest zwei unterschiedliche magmatische Suiten. Jene Teile des Dobragneiskörpers, die dem Bittescher Gneis geochemisch am ähnlichsten sind, werden erst jetzt geochronologisch bearbeitet und könnten unter Umständen tatsächlich ein kadomisches Bildungsalter aufweisen, wie erste noch unpublizierte Daten vermuten lassen. Man darf auf den Ausgang dieser laufenden Untersuchungen jedenfalls sehr gespannt sein.

Ein weiteres Argument für eine Zuordnung der Drosendorfer Einheit zu Avalonia haben geochronologische Untersuchungen an Zirkonen aus Quarziten und Paragneisen bei der Stadt Drosendorf erbracht (GERDES & FINGER, 2005). Abgesehen davon, dass dabei die bisher ältesten Zirkone Österreichs (3,4 Ga) entdeckt wurden, fanden sich nämlich wieder die für Avalonia diagnostischen mesoproterozoischen Zirkonkomponenten. Wie mehrfach gezeigt wurde, sind solche Zirkonalter in anderen Teilen des Moldanubikums, wie auch im Bohemikum oder Saxothuringikum, im Allgemeinen nicht vorhanden (ZEH et al., 2001; LINNEMANN et al., 2004; DROST et al., 2004; STRNAD & MIHALJEVIČ, 2005; KOŠLER et al., 2014). Die letztgenannten armorikanisch/galatischen Anteile des variszischen Gürtels weisen in ihrem Zirkonalterspektrum immer eine sehr charakteristische Lücke zwischen etwa 1 und 1,8 Ga auf, wie sie auch

◀ Abb. 2. Geologisch-tektonische Übersichtskarte des Waldviertels mit zwei Profilschnitten (leicht modifiziert nach einer Vorlage von MATURA, 2003).

für Nordafrika typisch ist (DÖRR et al., 2014). Übrigens wurde diese „mesoproterozoische Lücke“ auch bei Proben aus der Waldviertler Ostrong-Einheit festgestellt (FINGER et al., 2007b), was die tektonische Abgrenzung dieser Einheit von der Drosendorfer Einheit rechtfertigt.

Schließlich wurde eine mesoproterozoische Zirkonpopulation (1,25 Ga) vor kurzem auch in einem plagioklasreichen Gneis im Nahebereich des Waidhofener Amphibolitkörpers gefunden (MAYER et al., 2013). Ursprünglich wurde dieses Gestein als Teil der Raabser Einheit interpretiert (MAYER, 2004), jedoch legen neuere Einschätzungen eine Verbindung zur Drosendorfer Einheit nahe.

Zusammenfassend kann man also festhalten, dass die Zirkongeochronologie eine Zuordnung der Drosendorfer Einheit zu Avalonia und somit zur bruno-vistulischen Platte massiv unterstützt. Eine Zusammenlegung der Drosendorfer Einheit mit dem Moravikum (MATURA, 2003), wie sie in der vorliegenden hydrogeologischen Themenkarte vorgenommen wurde, erscheint somit ein guter Ansatz. Ob dabei ein einfaches Modell mit direkter Verbindung von Dobra- und Bittescher Gneis zur Anwendung kommen kann (MATURA, 1976), oder ob die Drosendorfer Einheit einen weitgehend eigenständigen tektonischen Span aus dem Randbereich der bruno-vistulischen Platte bildet (FINGER et al., 2007a), bleibt zu diskutieren.

Das Konzept einer plattentektonischen Verbindung von Drosendorfer Einheit und Moravikum ist nicht zuletzt auch deshalb attraktiv, da dieses zu einer einfachen Rückwicklung des Waldviertler Deckenbaus führt (FRITZ & NEUBAUER, 1993; FINGER & STEYRER, 1995; FRITZ, 1996): Die über der Drosendorfer Einheit liegende, amphibolitreiche Raabser Einheit (THIELE, 1984) kann dann nämlich zwanglos als ozeanische (rheische) Suturzone zwischen Bruno-Vistulikum (Avalonia) und Moldanubikum (Armorika/Galatia) gedeutet werden (FINGER & VON QUADT, 1995). Gleichzeitig können die darüber liegenden Hochdruckgesteine der Waldviertler Gföhler Einheit aus einer unter das Moldanubikum abtauchenden Subduktionszone bezogen werden (Abb. 3).

Die Rolle der Gföhler Einheit

Die Frage, ob die Gföhler Einheit (FUCHS, 1976) west- oder ostwärts auf die Bunte Serie (Drosendorfer Einheit) aufgeschoben wurde, ist in mehreren Arbeiten von Gerhard Fuchs und Otto Thiele in überaus engagierter, spannender und lehrreicher Weise thematisiert worden. Die meisten späteren Bearbeiter geben letzterer Annahme den Vorzug, u.a. weil sich diese, wie zuvor ausgeführt, besser mit den variszischen plattentektonischen Gegebenheiten vereinbaren lässt.

TOLLMANN (1982) hat den Begriff der Gföhler Einheit erstmals auf weite Teile Mährens und Südböhmens ausgedehnt und postuliert eine riesige Gföhler Decke, welche praktisch das ganze Moldanubikum zwischen Prag und der Donau wurzellos überlagert haben soll (Abb. 4). Dieses Modell wurde in der Folge auf internationaler Ebene sehr hofiert (FRANKE, 1989, 2000), während in den letzten Jahren zunehmend Stimmen dagegen laut werden. So präsentiert beispielsweise die tschechische Forschergruppe um Karel Schulmann strukturgeologische Argumente für einen steilen diapirartigen Aufstieg der Granulitmasse von Český

Krumlov (FRANĚK et al., 2006). Gleichzeitig weisen mehrere neue Arbeiten auf den Umstand hin, dass die moldanubischen Hochdruckeinheiten vielfach in räumlicher Verbindung mit bestimmten kalireichen Plutoniten aus dem Erdmantel stehen, den sogenannten Durbachitplutoniten (JANOŮŠEK & HOLUB, 2007; FINGER et al., 2007a; VON RAUMER et al., 2014). Der selektive Aufstieg dieser Magmen in der Nähe von Vorkommen von Hochdruckgesteinen ist im Rahmen eines Deckenmodells im Sinne von TOLLMANN (1982) nicht vernünftig erklärbar (Abb. 4). Vielmehr ist anzunehmen, dass die Durbachitplutone die steilen Exhumationskanäle der Hochdruckgesteine für ihren eigenen Aufstieg nützten.

Während die Schulmann-Gruppe auch für die Gföhler Gneise und Granulite des Waldviertels eine diapirartige Tiefenstruktur postuliert (RACEK et al., 2006), stellen die meisten österreichischen Bearbeiter den Deckencharakter der Waldviertler Gföhler Einheit bis dato nicht in Frage (FRITZ & NEUBAUER, 1993; FINGER & STEYRER, 1995; FRITZ, 1996; MATURA, 2003; FINGER et al., 2007a). Angelehnt an THIELE (1984) erscheint uns folgendes Szenario am wahrscheinlichsten: Nach steilem Aufstieg aus einer Subduktionszone in die Mittelkruste werden große Teile der Gföhler Einheit infolge der sukzessiven Unterschiebung durch die bruno-vistulische Platte als Decke gegen Nordosten transportiert (siehe Abbildung 4). Dementsprechend sind hier im Waldviertel auch einige der durbachitischen Begleitintrusionen, wie z.B. der Wolfshofer Gneis (Intrusionsalter 338 ± 4 Ma nach FRIEDL, 1997), noch massiv in die regionale Deformation mit einbezogen (FRANK et al., 1990).

Als Faktum kann gelten, dass zumindest Teile der Gföhler Einheit nicht nur hohen Drucken (> 12 kbar), sondern auch extrem hohen Metamorphosetemperaturen ausgesetzt waren (für die Granulite werden z.B. 1.000 °C angenommen – O'BRIEN, 2000; KRENN & FINGER, 2010). Das erfordert besondere tektonothermische Verhältnisse in der Subduktionszone, die durch ein Abbrechen der subduzierten Platte (slab break-off) und ein dadurch bedingtes Hochsteigen der heißen Asthenosphäre zustande gekommen sein könnten (Abb. 4). Ein solches Szenario könnte u.a. auch das rapide intrusionsartige Aufsteigen der Gesteine (nämlich in partiell geschmolzenem Zustand – ROBERTS & FINGER, 1997) aus der Subduktionszone in die überlagernde moldanubische Mittelkruste erklären. Neuere Arbeiten aus dem tschechischen Teil des Moldanubikums (FARYAD et al., 2010, 2015) belegen übrigens eine eklogitfaziale Vorgeschiechte für einige der böhmischen Hochdruck-Hochtemperaturgranulite und unterstreichen damit umso mehr die Verbindung zu einer Subduktionszone. Alternative Modelle, wonach die böhmischen Granulite lediglich eine karbonisch mobilisierte alte Unterkruste repräsentieren, erscheinen somit immer weniger realistisch.

Die Exhumation der Waldviertler Gföhler Einheit ist wahrscheinlich zwischen 345 und 335 Ma erfolgt (FRANK et al., 1990; KLÖTZLI et al., 2000), während das Subduktionsstadium (prograde Hochdruckmetamorphose) vielleicht schon 10–30 Ma vorher anzusetzen ist (FINGER et al., 2007a). Hier tappt die Geochronologie allerdings noch ziemlich im Dunkeln und die Subduktionsphase könnte der Exhumationsphase ebenso gut auch unmittelbar vorausgegangen sein und z.B. nur 345 Ma alt sein (siehe Diskussion in FRIEDL et al., 2011).

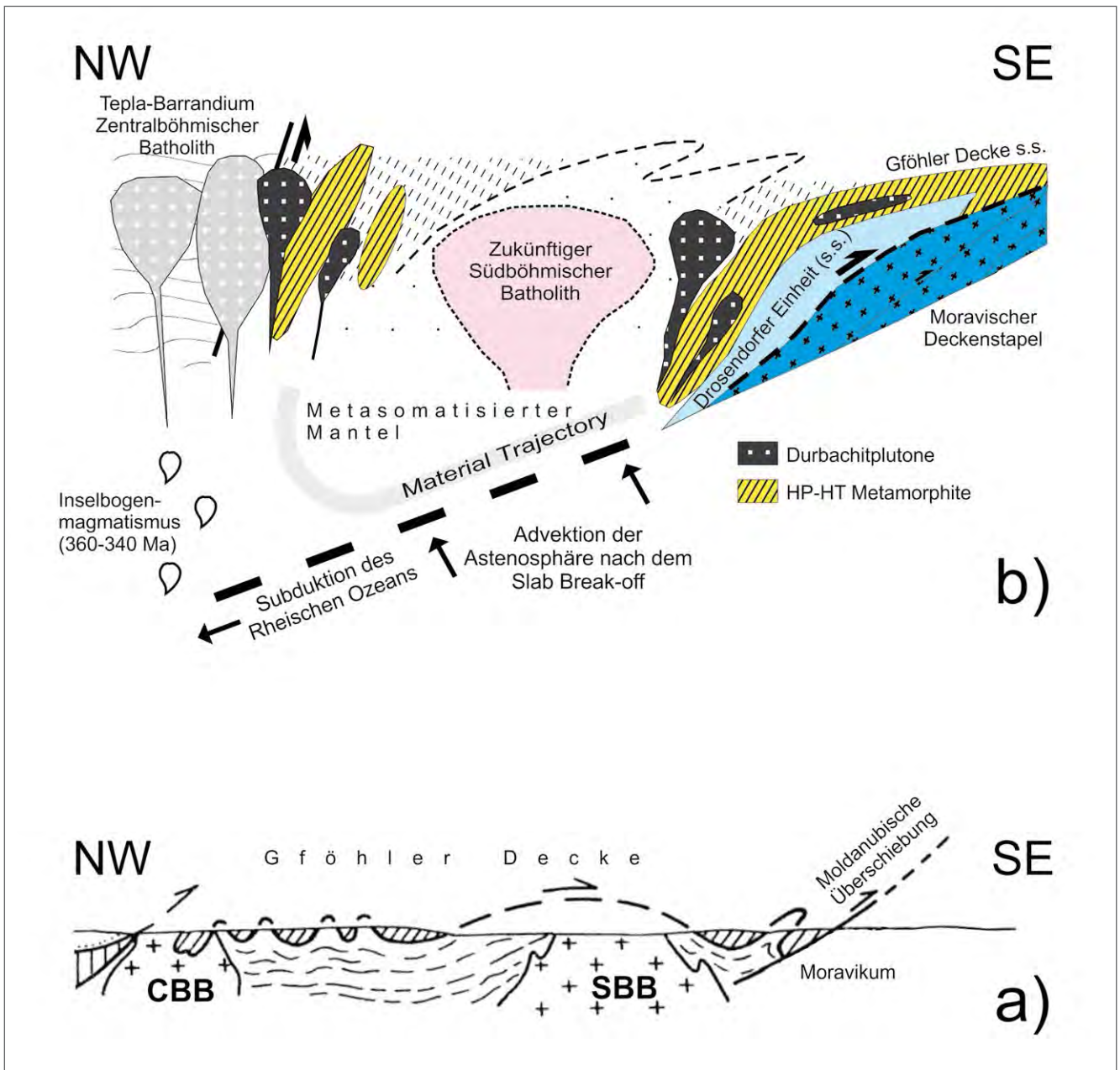


Abb. 4.
 Zwei gegensätzliche Konzeptionen zur Platznahme der Hochdruckgesteine der Gföhler Einheit.
 A: Das vielzitierte Modell von TOLLMANN (1982) postuliert die Existenz einer riesigen, flachliegenden Gföhler Decke, welche das Moldanubikum vom Prager Raum bis hin zum Moravikum überspannt haben soll und später teilweise erodiert wurde (CBB: Zentralböhmischer Batholith; SBB: Südböhmischer Batholith – Abbildung aus FRANKE, 1989, leicht modifiziert).
 B: Demgegenüber steht die Möglichkeit eines steilen Aufstiegs der moldanubischen Hochdruckeinheiten an mehreren Stellen, wobei an den Exhumationskanälen der Hochdruckgesteine die Durbachitplutone nachdringen (aus FINGER et al., 2007a). Sowohl die (besonders heiße) Granulitbildung wie auch die Durbachite könnten mit dem Prozess eines Slab Break-Off in Verbindung stehen. Die Kollisionsprozesse mit der bruno-vistulischen Platte führen in der Folge dazu, dass große Teile der Waldviertler Gföhler Einheit, im Unterschied zu weiter westlich gelegenen Vorkommen von Hochdruckgesteinen (z.B. bei Český Krumlov), nachträglich noch einen ausgeprägten Deckencharakter erhalten. Die Waldviertler Mulde (in der Abbildung nicht gezeigt) wird durch Rücküberschiebungen ausgeformt (FRITZ & NEUBAUER, 1993).

Der Südböhmische Batholith und das Bavarikum

Die aktuelle Forschung bestätigt in vielerlei Hinsicht die frühen Vorstellungen von FUCHS (1962, 1976), THIELE (1962) und FUCHS & THIELE (1968), wonach im Bavarikum (FUCHS, 1976), also im westlichen Mühlviertel und im Sauald, ein älterer NNE gerichteter Gebirgsbau durch jungvariszische orogene Prozesse weitgehend überprägt wurde, und zwar unter Ausbildung markanter NW–SE verlaufender

Strukturen. Diese „bavarische Phase der variszischen Orogenese“ (FINGER et al., 2007a) ist deutlich jünger als die variszischen Subduktions- und Kollisionsvorgänge im Waldviertel. So ist die hochgradige Metamorphose/Anatexis im Bavarikum zwischen 330 und 315 Ma datiert (Tab. 1), während der Deckenstapel im Waldviertel schon vor 330 Ma eine postkollisionale Exhumation, Abkühlung und Erosion durchmachte. Letzteres ist durch zahlreiche Glimmerabkühlalter klar belegt (DALLMAYER et al., 1992; FRITZ et al., 1996; SCHARBERT et al., 1997; KLÖTZLI et al., 2000).

Plutonische Gesteine				
Weinsberger Granit	Kirchberg, SE Gmünd	328 ± 1	Mnz, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Weinsberger Granit	Altweitra S, B 41 N Weitra	328 ± 5	Mnz, ID-TIMS, ETH Zürich	FRIEDL (1997)
Weinsberger Granit	Naarntal, Stbr. Korninger, S Bad Zell	327 ± 5	Mnz, ID-TIMS, ETH Zürich	FRIEDL (1997)
Weinsberger Granit	Stbr. in Ardagger, S Grein	327 ± 5	Mnz, ID-TIMS, ETH Zürich	FRIEDL (1997)
Weinsberger Granit	Mitterschlag, W Groß Gerungs	323 ± 4	Mnz, ID-TIMS, ETH Zürich	FRIEDL (1997)
Weinsberger Granit	Pregarten, Pfahlmühle	323 ± 1	Zrn, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Weinsberger Granit	Oberneukirchen, Mühlviertel	323 ± 1	Mnz, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Weinsberger Granit	Sarleinsbach, westl. Mühlviertel	322 ± 4	Zrn, SHRIMP, Univ. WA, Perth	FRIEDL et al. (2004)
Weinsberger Granit	Sarleinsbach, westl. Mühlviertel	323 ± 1	Zrn, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Eisgarner Granit	Stbr. Unteraalfang, NNE Schrems	328 ± 1	Mnz, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Eisgarner Granit	Stbr. Falkendorf W, NNE Schrems	327 ± 4	Mnz, ID-TIMS, ETH Zürich	FRIEDL et al. (1996)
Eisgarner Granit	Stbr. Racov, SE Pelhrimov, CZ	327 ± 1	Mnz, ID-TIMS, Boise State Univ.	ŽÁK et al. (2011)
Sulzberg Granit	alter Stbr. W vom Bärenstein	326 ± 1	Mnz, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Gebhartser Diorit*	Stbr. 0.5 km NE Gebharts	328 ± 1	Zrn, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Migmatgranit	Uttendorf, SW Helfenberg	323 ± 1	Zrn, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Diorit*	Julbach, westl. Mühlviertel	318 ± 2	Zrn, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Diorit*	Haibach, S Reichenau i.M.	316 ± 1	Zrn, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Altenberger Granit	Stbr. im Katzgraben, N Linz	315 ± 1	Mnz, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Haibacher Granit	Stbr. E Haibach ob der Donau	316 ± 1	Mnz, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Mauthausener Granit	Stbr. Bettelberg Mauthausen	316 ± 1	Mnz, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2003)
Peuerbacher Tonalit	Stbr. Oberantlang, NE St. Willibald	314 ± 3	Mnz, ID-TIMS, ETH Zürich	FRIEDL (1997)
Peuerbacher Granit	Stbr. Frankengrub, N Peuerbach	322 ± 12	Mnz, ID-TIMS, ETH Zürich	FRIEDL (1997)
Schärdinger Granit	Stbr. Gopperding, SE Schärding	319 ± 10	Mnz, ID-TIMS, ETH Zürich	FRIEDL (1997)
Freistädter Granodiorit	Freistadt, E (grobe Variante)	302 ± 2	Mnz, ID-TIMS, ETH Zürich	FRIEDL et al. (1992)
Metamorphosealter				
Anatexit (Perlgneis)	Oberschwarzenberg, NW Aigen i.M.	328,2 ± 1,4	Mnz, ID-TIMS, Univ. Frankfurt	FINGER et al. (2013)
Anatexit (Perlgneis)	Vatersreith, E Oberkappel	322,2 ± 0,5	Mnz, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2006)
Anatexit (Perlgneis)	Puchenau bei Linz	315,2 ± 0,5	Mnz, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2006)
Anatexit (Perlgneis)	St. Aegidi, Sauwald	316,6 ± 0,6	Mnz, ID-TIMS, NERC Keyworth	GERDES et al. (2006)
* diese dunklen Gesteine mit der Feldbezeichnung Diorit sind streng petrografisch gesehen oft Tonalite oder Granodiorite				

Tab. 1.

Kompilation von U-Pb Zirkon- und Monazitaltern (Angaben in Ma) aus dem österreichischen Teil des südböhmischen Batholiths bzw. Bavarikums. Weiters finden sich Informationen über Messmethodik und Labor. Bei den Daten handelt es sich durchwegs um hochwertige Konkordiaalter. Alter mit größeren Fehlern (> 3 Ma) sind z.T. obere Einstichalter (berechnet meist aus subkonkordanten Datenpunkten mit Diskordiafixierung bei Null).

Die in mehreren magmatischen Schüben erfolgte Bildung des *Südböhmischen Batholiths* wurde in der österreichischen Fachliteratur über lange Jahre viel zu früh angesetzt. Noch bis vor kurzem wurde beispielsweise für den Weinsberger Granit, dem vom Feldfund her ältesten Granittyp des Batholiths (FRASL & FINGER, 1988), ein Bildungsalter von ~ 350 Ma referiert (SCHARBERT, 1987; FRANK et al., 1990; PETRAKAKIS, 1997; KOLLER & KLÖTZLI, 1998; KLÖTZLI et al., 2000), obwohl ein derartig hohes Alter den Datierungen der Metamorphose im Waldviertel (meist Alter

um 340 Ma) allein wegen des bestehenden Intrusivkontakts (FUCHS & MATURA, 1976; ZEITLHOFER et al., 2014) eklatant widersprach. Die um etwa 20–30 Ma überhöhten geochronologischen Alter für den Weinsberger Granit wurden z.T. durch uneinheitliche $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Initialwerte vorge-tauscht, wie FINGER & VON QUADT (1992) zeigen konnten. Auch spielten wohl unerkannte ererbte Zirkonkomponenten eine störende Rolle (KLÖTZLI et al., 2001). Erst moderne und umfangreiche U-Pb Zirkon- und Monazitdatierungen (FRIEDL, 1997; GERDES et al., 2003) haben diese gravie-

renden methodischen Probleme überwunden. In Tabelle 1 findet sich eine Zusammenstellung dieser bisher leider nur in Konferenzabstracts veröffentlichten Zirkon- und Monazitalter. Aus den Daten ist abzulesen, dass die Bildung des Batholiths im Norden und Osten beginnt, und zwar mit ersten Intrusionsschüben von Weinsberger Granit (330–328 Ma). Diesen folgt unmittelbar die Intrusion des zweiglimmerigen Eisgarner Granits (326–328 Ma), welcher die dominante Granitart im Nordteil des Batholiths darstellt. Der Batholith wächst anschließend nach Südwesten. So bildeten sich die großen Körper von Weinsberger Granit bei Freistadt, Pregarten und im westlichen Mühlviertel erst deutlich später, nämlich bei 322 Ma (FINGER et al., 2003). Wie schon FUCHS & THIELE (1968) feststellten, ist der Weinsberger Granit im westlichen Mühlviertel (Mühlzone) noch hochtemperiert deformiert, also synorogen intrudiert in Bezug auf die bavarische Orogenese (FRASL & FINGER, 1988).

Viele der sogenannten Feinkorngranite des Batholiths (z.B. der Mauthausener Granit) intrudierten dann bei etwa 316–317 Ma, und zwar oftmals mit scharfen Grenzen und diskordant in den älteren Weinsberger Granit, welcher zu dieser Zeit offenbar schon weitgehend abgekühlt war. Eine rasche Heraushebung des Batholiths während seiner Bildung ist somit wahrscheinlich (FRASL & FINGER, 1988). Den letzten großen Pluton bilden die Teilintrusionen von Freistädter Granodiorit mit einem Alter von 302 Ma (FRIEDL et al., 1992).

Besonders interessant ist das relativ junge Alter der Metamorphose- und Anatexisprozesse im Sauwald südlich der Donau, welche erst bei ~ 316 Ma stattfanden (Tab. 1). Dementsprechend sind auch die vom Feldbefund her relativ ältesten Granite im Sauwald (Schärdinger und Peuerbacher Granit – THIELE, 1962; SCHUBERT, 1989) in absoluten Zahlen gesehen vergleichsweise jung (~ 316 Ma). Generell zeigt sich, auch im angrenzenden Bayern (SIEBEL et al., 2008), dass die hochtemperierte Metamorphose/Anatexis der bavarischen Orogenese zeitlich von Norden nach Süden wanderte und stets eng mit der Bildung der relativ älteren Granite eines Raumes verflochten ist. So ist die variszische Anatexis im Bereich der Böhmerwaldscholle bei Aigen/Schlägl etwa 328 Ma alt (FINGER et al., 2013) und wird dort von der Intrusion von Weinsberger- und Eisgarner Granit unmittelbar gefolgt. Geht man in das Gebiet südlich der Pfahlstörung (die Mühscholle nach FUCHS & THIELE, 1968), liegt das Alter der Anatexis (und der NW–SE Strukturprägung) bei 322 Ma, ebenso wie das Alter des dortigen Weinsberger Granits (Tab. 1). Und schließlich finden wir im Sauwald südlich der Donau sowohl für die Anatexis, wie auch für den Schärdinger und Peuerbacher Gra-

nit noch jüngere Alter. Das heißt, die Granite sind stets das unmittelbare Produkt der regionalen Krustenaufheizung. Die geochronologischen Daten zeigen somit zwei wichtige Fakten auf, nämlich erstens, dass die bavarische Orogenese zeitgleich mit der Bildung der Granite des Südböhmischen Batholiths anzusetzen ist, und zweitens, dass die thermische und tektonische Überprägung der älteren Kruste offenbar zonenweise Richtung Südwesten voranschritt.

Hervorzuheben ist, dass die bavarische Phase der variszischen Orogenese mit einem regional massiv erhöhten Wärmefluss einherging, dessen genaue Ursachen noch in Diskussion stehen (GERDES et al., 2000, 2006; HENK et al., 2000; KLEIN et al., 2008; ŽÁK et al., 2008). Auch die plattentektonische Signifikanz der bavarischen Phase der variszischen Orogenese wird derzeit noch sehr kontrovers diskutiert. Einige Autoren verbinden mit dem Bavarikum ein eigenes Terrane im plattentektonischen Sinn, mit völlig eigenständiger Lithologie und ohne wesentliche Gemeinsamkeiten mit den weiter nördlichen in Böhmen folgenden Serien (FIALA et al., 1995; SIEBEL et al., 2008). Hingegen vertreten FINGER et al. (2007a) in Anlehnung an die früheren Ideen von FUCHS (1976) die Ansicht, dass zumindest Teile des Bavarikums mit Serien in Süd- und Zentralböhmen korrelieren, und zwar im Sinne eines ursprünglich NNE gerichteten unterkarbonischen Gebirgsbaus, welcher erst im Zuge der spätvariszischen bavarischen Phase strukturell umgeprägt wurde. Vor allem im Passauer Wald können etliche überzeugende lithologische Anknüpfungspunkte zum nördlich anschließenden Moldanubikum gefunden werden: So können helle leptinitische Gneise bei Wegscheid auf Grund petrologischer und geochronologischer Daten zwanglos als überprägte Granulitvorkommen gedeutet werden (KLEIN, 2002; TEIPEL et al., 2012). Ferner lassen bestimmte anatektisch überprägte granitoide Gneise des Passauer Waldes bei Waldkirchen auf Grund von Zirkondatierungen eine Korrelation mit dem Zentralböhmischen Batholith erkennen (FINGER et al., 2010). Und schließlich haben die Gneise führenden Einheiten des Passauer Waldes (Kropfmühl Serie) mögliche Äquivalente in den Gneise führenden Gneisen von Český Krumlov (DILL, 1985).

Die bavarische Phase der variszischen Orogenese wäre demnach kein Kollisionsereignis im plattentektonischen Sinn, sondern es wurde zu dieser Zeit (also im frühen Oberkarbon) ein älterer variszischer Gebirgsbau thermisch reaktiviert. FINGER et al. (2009) spekulieren, dass die bavarische Orogenese durch eine sukzessive Ablösung von Mantellithosphäre (Delamination) ausgelöst wurde, also eine regionale Krustenaufheizung durch Aufdringen der Asthenosphäre widerspiegelt.

Literatur

- DALLMEYER, R.D., NEUBAUER, F. & HÖCK, V. (1992): Chronology of late Paleozoic tectonothermal activity in the southeastern Bohemian Massif, Austria (Moldanubian and Moravo-Silesian Zone): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral age controls. – *Tectonophysics*, **210**, 135–153, Amsterdam.
- DILL, H. (1985): Die Vererzung am Westrand der Böhmisches Masse – Metallogene in einer ensialischen Orogenzone. – *Geologisches Jahrbuch, Reihe D*, **73**, 1–461, Hannover.
- DÖRR, W., ZULAUF, G., GERDES, A., LAHAYE, Y. & KOWALCZYK, G. (2014): A hidden Tonian basement in the eastern Mediterranean: Age constraints from U–Pb data of magmatic and detrital zircons of the External Hellenides (Crete and Peloponnesus). – *Precambrian Research*, **258**, 83–108, Amsterdam.
- DROST, K., LINNEMANN, U., MCNAUGHTON, N.J., FATKA, O., KRAFT, P., GEHMLICH, M., TONK, C. & MAREK, J. (2004): New data on the Neoproterozoic–Cambrian geotectonic setting of the Teplá-Barrandian volcano-sedimentary successions: geochemistry, U–Pb zircon ages, and provenance (Bohemian Massif, Czech Republic). – *International Journal of Earth Sciences*, **93**, 742–757, Berlin.
- DUDEK, A. (1980): The crystalline basement block of the Outer Carpathians in Moravia: Bruno-Vistulicum. – *Rozprawy Československé akademie věd, Řada matematických a přírodních věd*, **90**, 3–85, Prague.
- FARYAD, S.W., NAHODILOVÁ, R. & DOLEJS, D. (2010): Incipient eclogite facies metamorphism in the Moldanubian granulites revealed by mineral inclusions in garnet. – *Lithos*, **144**, 54–69, Amsterdam.
- FARYAD, S.W., KACHLIK, V., SLAMA, J. & HOINKES, G. (2015): Implications of corona formation in a metatroctolite to the granulite facies overprint of HP-UHP rocks in the Moldanubian Zone (Bohemian Massif). – *Journal of Metamorphic Geology*, **33**, 295–310, Oxford.
- FIALA, J., FUCHS, G. & WENDT, J.I. (1995): Stratigraphy of the Moldanubian Zone. – In: DALLMEYER, R.D., FRANKE, W. & WEBER, K. (Eds.): *Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe*, 417–428, Berlin (Springer).
- FINGER, F. & STEYRER, H.P. (1995): A tectonic model for the eastern Variscides: indications from a chemical study of amphibolites in the south-eastern Bohemian Massif. – *Geologica Carpathica*, **46**, 137–150, Bratislava.
- FINGER, F. & VON QUADT, A. (1992): Wie alt ist der Weinsberger Granit – U/Pb vs Rb/Sr Geochronologie. – *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, **137**, 83–86, Wien.
- FINGER, F. & VON QUADT, A. (1995): U/Pb ages of zircons from a plagiogranite-gneiss in the south-eastern Bohemian Massif, Austria – further evidence for an important early Paleozoic rifting episode in the eastern Variscides. – *Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen*, **75**, 265–270, Zürich.
- FINGER, F., HANŽL, P., PIN, C., VON QUADT, A. & STEYRER, H.P. (2000): The Bruno-vistulian: Avalonian Precambrian sequence at the eastern end of the Central European Variscides? – In: FRANKE, W., HAAK, V., ONCKEN, O. & TANNER, D. (Eds.): *Orogenic Processes; Quantification and Modelling in the Variscan Belt*. – Geological Society of London, Special Publication, **179**, 103–112, London.
- FINGER, F., DOBLMAYR, P., FRIEDL, G., GERDES, A., KRENN, E. & VON QUADT, A. (2003): Petrology of the Weinsberg granite in the South Bohemian Batholith: New data from the mafic end members. – *Journal of the Czech Geological Society*, **48**, 46–47, Prague.
- FINGER, F., GERDES, A., JANOUŠEK, V., RENÉ, M. & RIEGLER, G. (2007a): Resolving the Variscan evolution of the Moldanubian sector of the Bohemian Massif: the significance of the Bavarian and the Moravo-Moldanubian tectonometamorphic phases. – *Journal of GEOsciences*, **52**, 9–28, Prague.
- FINGER, F., GERDES, A. & KNOP, E. (2007b): Constraints on the sedimentation age of the Monotonous Series in the Austrian part of the Bohemian Massif from U–Pb Laser ICP–MS zircon dating. – *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, **153**, 43, Wien.
- FINGER, F., GERDES, A., RENÉ, M. & RIEGLER, G. (2009): The Saxo-Danubian Granite Belt: Magmatic response to post-collisional delamination of mantle lithosphere below the south-western sector of the Bohemian Massif (Variscan Orogen). – *Geologica Carpathica*, **60**, 205–212, Bratislava.
- FINGER, F., DUNKLEY, D.J. & RENÉ, M. (2010): Remnants of Early Carboniferous I-type granodiorite plutons in the Bavarian Forest and their bearing on the tectonic interpretation of the south-western sector of the Bohemian Massif (Bavarian Zone). – *Journal of GEOsciences*, **55**, 321–332, Prague.
- FINGER, F., DÖRR, W., GERDES, A. & STARJAS MAYER, B. (2013): The Bavarian phase of the Variscan orogeny: Relations between migmatites and granites and potential causes for crustal melting. – *Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, **82**, 42, Hannover.
- FRANĚK, J., SCHULMANN, K. & LEXA, O. (2006): Kinematic and rheological model of exhumation of high pressure granulites in the Variscan orogenic root: example of the Blanský les granulite, Bohemian Massif, Czech Republic. – *Mineralogy and Petrology*, **86**, 253–276, Wien.
- FRANK, W., SCHARBERT, S., THÖNI, M., POPP, F. & HAMMER, S. (1990): Isotopengeologische Neuergebnisse zur Entwicklungsgeschichte der Böhmisches Masse. – *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, **3**, 185–228, Wien.
- FRANKE, W. (1989): Tectonostratigraphic units in the Variscan belt of Central Europe. – *Geological Society of America, Special Paper*, **230**, 67–90, Boulder.
- FRANKE, W. (2000): The middle-European segment of the Variscides: tectonostratigraphic units, terrane boundaries and plate tectonic evolution. – In: FRANKE, W., HAAK, V., ONCKEN, O. & TANNER, D. (Eds.): *Orogenic Processes: Quantification and Modelling in the Variscan Belt*. – Geological Society of London, Special Publication, **179**, 35–61, London.
- FRANKE, W. & ŻELAŻNIEWICZ, A. (2000): The eastern termination of the Variscides; terrane correlation and kinematic evolution. In: FRANKE, W., HAAK, V., ONCKEN, O. & TANNER, D. (Eds.): *Orogenic Processes; Quantification and Modelling in the Variscan Belt*. – Geological Society of London, Special Publication, **179**, 63–86, London.
- FRASL, G. (1968): The Bohemian Massif in Austria, Moravian Zone. – *Guide to Excursion 32c, International Geology Congress, XXIII. Session*, 13–24, Prague.
- FRASL, G. (1970): Zur Metamorphose und Abgrenzung der Moravischen Zone im niederösterreichischen Waldviertel. – *Nachrichten der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, **2**, 55–60, Hannover.
- FRASL, G. (1989): Zur Entstehung der Moravischen Zone. – *Abstract zur Tagung AG „Geologie der Metamorphite“ der Österreichischen Geologischen Gesellschaft*, 2 S., Wien.
- FRASL, G. (1991): Das Moravikum der Thaya-Kuppel als Teil der variszisch deformierten Randzone des Bruno-Vistulikums – eine Einführung. – *Arbeitsstagung der Geologischen Bundesanstalt*, **1991**, 49–62, Wien.
- FRASL, G. & FINGER, F. (1988): Führer zur Exkursion der Österreichischen Geologischen Gesellschaft ins Mühlviertel und in den Sauald. – *Reihe der Exkursionsführer der Österreichischen Geologischen Gesellschaft*, 30 S., Wien.

- FRIEDL, G. (1997): U/Pb Datierungen an Zirkonen und Monaziten aus Gesteinen vom österreichischen Anteil der Böhmisches Masse. – Dissertation Univ. Salzburg, 242 S., Salzburg.
- FRIEDL, G., VON QUADT, A., FRASL, G. & FINGER, F. (1992): Neue U/Pb Altersdaten aus der südlichen Böhmisches Masse. – Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie A, **11**, 217–218, Frankfurt.
- FRIEDL, G., VON QUADT, A. & FINGER, F. (1996): Timing der Intrusionstätigkeit im Südböhmischen Batholith. – Abstractband zum 6. Symposium für Tektonik-Strukturgeologie-Kristallinegeologie, Salzburg, 127–130, Salzburg.
- FRIEDL, G., FINGER, F., MCNAUGHTON, N.J. & FLETCHER, I.R. (2000): Deducing the ancestry of terranes: SHRIMP evidence for South America-derived Gondwana fragments in Central Europe. – *Geology*, **28**, 1035–1038, Boulder.
- FRIEDL, G., FINGER, F., PAQUETTE, J.L., VON QUADT, A., MCNAUGHTON, N.J. & FLETCHER, I.R. (2004): Pre-Variscan geological events in the Austrian part of the Bohemian Massif deduced from U-Pb zircon ages. – *International Journal of Earth Sciences*, **93**, 802–823, Berlin.
- FRIEDL, G., COOKE, R.A., FINGER, F., MCNAUGHTON, N.J. & FLETCHER, I.R. (2011): Timing of Variscan HP-HT metamorphism in the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif: U-Pb SHRIMP dating on multiply zoned zircons from a granulite from the Dunkelsteiner Wald Massif, Lower Austria. – *Mineralogy and Petrology*, **102**, 63–75, Wien.
- FRITZ, H. (1996): Geodynamic and tectonic evolution of the southeastern Bohemian Massif: the Thaya section (Austria). – *Mineralogy and Petrology*, **58**, 253–278, Wien.
- FRITZ, H. & NEUBAUER, F. (1993): Kinematics of crustal stacking and dispersion in the South-Eastern Bohemian Massif. – *Geologische Rundschau*, **82**, 556–565, Stuttgart.
- FRITZ, H., DALLMEYER, R.D. & NEUBAUER, F. (1996): Thick-skinned versus thin-skinned thrusting: Rheology controlled thrust propagation in the Variscan collisional belt (The southeastern Bohemian Massif, Czech Republic – Austria). – *Tectonics*, **15**, 1389–1413, Washington D.C.
- FUCHS, G. (1962): Zur Altersgliederung des Moldanubikums in Oberösterreich. – *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, **1962**, 96–117, Wien.
- FUCHS, G. (1976): Zur Entwicklung der Böhmisches Masse. – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **119**, 41–49, Wien.
- FUCHS, G. (1991): Das Bild der Böhmisches Masse im Umbruch. – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **134**, 701–710, Wien.
- FUCHS, G. & MATURA, A. (1976): Zur Geologie des Kristallins der südlichen Böhmisches Masse. – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **119**, 1–43, Wien.
- FUCHS, G. & THIELE, O. (1968): Erläuterungen zur Übersichtskarte des Kristallins im westlichen Mühlviertel und im Sauwald, Oberösterreich. – 96 S., Geol. B.-A., Wien.
- GEBAUER, D. & FRIEDL, G. (1994): A 1.38 Ga protolith age for the Dobra orthogneiss (Moldanubian Zone of the southern Bohemian Massif, NE-Austria): evidence from ion-microprobe (SHRIMP) dating of zircon. – *Journal of the Czech Geological Society*, **39**, 34–35, Prague.
- GERDES, A. & FINGER, F. (2005): Über die ältesten Zirkone Österreichs und neue Möglichkeiten in der Grundgebirgsforschung durch Einsatz moderner Laser-Ablation-ICP-MS Zirkonanalytik. – *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, **151**, 44, Wien.
- GERDES, A., WÖRNER, G. & HENK, A. (2000): Post-collisional granite generation and HT-HP metamorphism by radiogenic heating: the Variscan South Bohemian Batholith. – *Journal of the Geological Society of London*, **157**, 577–587, London.
- GERDES, A., FRIEDL, G., PARRISH, R.R. & FINGER, F. (2003): High-resolution geochronology of Variscan granite emplacement – the South Bohemian Batholith. – *Journal of the Czech Geological Society*, **48**, 53–54, Prague.
- GERDES, A., FINGER, F. & PARRISH, R.R. (2006): Southwestward progression of a late-orogenic heat front in the Moldanubian zone of the Bohemian Massif and formation of the Austro-Bavarian anatechite belt. – *Geophysical Research Abstracts*, **8**, 10698, Katlenburg-Lindau.
- HENK, A., VON BLANCKENBURG, F., FINGER, F., SCHALTEGGER, U. & ZULAUF, G. (2000): Syn-convergent high-temperature metamorphism and magmatism in the Variscides: a discussion of potential heat sources. – In: FRANKE, W., HAAK, V., ONCKEN, O. & TANNER, D. (Eds.): *Orogenic Processes: Quantification and Modelling in the Variscan Belt*. – Geological Society of London, Special Publication, **179**, 387–399, London.
- JANOUSĚK, V. & HOLUB, F.V. (2007): The causal link between HP-HT metamorphism and ultrapotassic magmatism in collisional orogens: case study from the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif. – *Proceedings of the Geologists' Association*, **118**, 75–86, Middlesex.
- KALVODA, J. & BÁBEK, O. (2010): The Margins of Laurussia in Central and Southeast Europe and Southwest Asia. – *Gondwana Research*, **17**, 526–545, Beijing.
- KALVODA, J., BÁBEK, O., FATKA, O., LEICHMANN, J., MELICHAR, R., NEHYBA, S. & ŠPAČEK, P. (2007): Bruno-vistulian terrane (Bohemian Massif, Central Europe) from late Proterozoic to late Paleozoic: a review. – *International Journal of Earth Sciences*, **97**, 497–518, Berlin.
- KLEIN, T. (2002): Geologische Kartierung zwischen Hauzenberg und Pisling (Blatt 7247 Hauzenberg) und Geothermobarometrische Untersuchungen am Hauzenberger Granit II und der südlich angrenzenden, moldanubischen Rahmengesteine. – Unpublizierte MSc thesis, Univ. Frankfurt, 188 S., Frankfurt.
- KLEIN, T., KIEHM, S., SIEBEL, W., SHANG, C.K., ROHRMÜLLER, J., DÖRR, W. & ZULAUF, G. (2008): Age and emplacement of late-Variscan granites of the western Bohemian Massif with main focus on the Hauzenberg granitoids (European Variscides, Germany). – *Lithos*, **102**, 478–507, Amsterdam.
- KLÖTZLI, U., FRANK, W., SCHARBERT, S. & THÖNI, M. (2000): Evolution of the SE Bohemian Massif based on geochronological data – a review. – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **141**, 377–394, Wien.
- KLÖTZLI, U., KOLLER, F., SCHARBERT, S. & HÖCK, V. (2001): Cadomian lower-crustal contributions to granite petrogenesis (South Bohemian Pluton, Lower Austria): constraints from zircon typology, and geochronology, whole-rock, and feldspar Pb-Sr isotope systematics. – *Journal of Petrology*, **42/9**, 1621–1642, Oxford.
- KOLLER, F. & KLÖTZLI, U. (1998): The evolution of the South Bohemian Pluton. – In: BREITER, K.: *Genetic significance of phosphorus in fractionated granites – excursion guide*, 129–135, Prague.
- KOŠLER, J., KONOPÁSEK, J., SLÁMA, J. & VRÁNA, S. (2014): U-Pb zircon provenance of Moldanubian metasediments in the Bohemian Massif. – *Journal of the Geological Society of London*, **171/1**, 83–95, London.
- KRENN, E. & FINGER, F. (2010): Unusually Y-rich monazite-(Ce) with 6–14 wt.% Y₂O₃ in a granulite from the Bohemian Massif: implications for high temperature monazite growth from the monazite-xenotime miscibility gap thermometry. – *Mineralogical Magazine*, **74/2**, 217–225, London.

- KRONER, U. & ROMER, R.L. (2013): Two Plates – Many Subduction Zones: The Variscan Orogeny reconsidered. – *Gondwana Research*, **24**, 298–329, Beijing.
- LIEW, T.C. & HOFFMANN, A.W. (1988): Precambrian crustal components, plutonic associations, plate environment of the Hercynian fold belt of Central Europe, indications from a Nd and Sm isotopic study. – *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **98**, 129–138, Berlin.
- LINDNER, M. & FINGER, F. (2015): Die präkambrischen Orthogneise des Waldviertels und ihre Geochemie. – *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, **161**, 13–142, Wien.
- LINNEMANN, U., MCNAUGHTON, N.J., ROMER, R.L., GEHMLICH, M., DROST, K. & TONK, C. (2004): West African provenance for Saxo-Thuringia (Bohemian Massif): did Armorica ever leave pre-Pangean Gondwana? U/Pb-SHRIMP zircon evidence and the Nd-isotopic record. – *International Journal of Earth Sciences*, **93**, 683–705, Berlin.
- LINNER, M. (1996): Metamorphism and partial melting of paragneisses of the Monotonous Group, SE Moldanubicum (Austria). – *Mineralogy and Petrology*, **58**, 215–234, Wien.
- MATURA, A. (1976): Hypothesen zum Bau und zur geologischen Geschichte des kristallinen Grundgebirges von Südwestmähren und des niederösterreichischen Waldviertels. – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **119**, 63–74, Wien.
- MATURA, A. (2003): Zur tektonischen Gliederung der variszischen Metamorphite im Waldviertel Niederösterreichs. – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **143**, 221–225, Wien.
- MAYER, A. (2004): Geologische und geochemische Untersuchungen an Amphiboliten im Raum Waidhofen (niederösterreichisches Moldanubikum). – *Diplomarbeit Univ. Salzburg*, 92 S., Salzburg.
- MAYER, A., GERDES, A., JANOUŠEK, V., STARIJAS, B., FINGER, F. & ERBAN, V. (2013): The Waidhofen Amphibolite Body in the Moldanubian Zone of Lower Austria: a relic of Proterozoic Avalonian crust? – Proceedings of the joint conference of the Czech and German geological societies held in Plzen (Pilsen), September 16 - 19, 2013, Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, **82**, 79, Hannover.
- MAZUR, S., KRONER, A., SZCZEPANSKI, J., TURNIAK, K., HANZL, P., MELICHAR, R., RODIONOV, N.V., PADERIN, I. & SERGEEV, S.A. (2010): Single zircon U-Pb ages and geochemistry of granitoid gneisses from SW Poland: evidence for an Avalonian affinity of the Brunian microcontinent. – *Geological Magazine*, **147/4**, 508–526, London.
- MORAU, W. & JÄGER, E. (1982): Rb-Sr whole rock ages for the Bitesch Gneiss, Moravikum. – *Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen*, **62**, 327–334, Zürich.
- NANCE, R.D. & MURPHY, J.B. (1996): Basement isotopic signatures and Neoproterozoic paleogeography of Avalonian-Cadomian and related terranes in the circum-North Atlantic. – In: NANCE, R.D. & THOMPSON, M.D. (Eds.): *Avalonian and related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic*. – *Geological Society of America, Special Paper*, **304**, 333–346, Boulder.
- NANCE, R.D., GUTIERREZ-ALONSO, G., DUNCAN KEPPIE, J., LINNEMANN, U., MURPHY, J.B., QUESADA, C., STRACHAN, R.A. & WOODCOCK, N.H. (2010): Evolution of the Rheic Ocean. – *Gondwana Research*, **17/2–3**, 194–222, Beijing.
- O'BRIEN, P.J. (2000): The fundamental Variscan problem: high-temperature metamorphism at different depths and high-pressure metamorphism at different temperatures. – In: FRANKE, W., HAAK, V., ONCKEN, O. & TANNER, D. (Eds.): *Orogenic Processes: Quantification and Modelling in the Variscan Belt*. – *Geological Society of London, Special Publication*, **179**, 369–386, London.
- PETRAKAKIS, K. (1997): Evolution of Moldanubian rocks in Austria: review and synthesis. – *Journal of Metamorphic Geology*, **15**, 203–222, Oxford.
- RACEK, M., ŠTÍPISKÁ, P., PITRA, P., SCHULMANN, K. & LEXA, O. (2006): Metamorphic record of burial and exhumation of orogenic lower and middle crust: a new tectonothermal model for the Drosendorf window (Bohemian Massif, Austria). – *Mineralogy and Petrology*, **86**, 221–251, Wien.
- ROBERTS, M.P. & FINGER, F. (1997): Do U-Pb zircon ages from granulites reflect peak metamorphic conditions? – *Geology*, **25**, 319–322, Boulder.
- SCHARBERT, S. (1987): Rb – Sr Untersuchungen granitoider Gesteine des Moldanubikums in Österreich. – *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, **132**, 21–37, Wien.
- SCHARBERT, S., BREITER, K. & FRANK, W. (1997): The cooling history of the southern Bohemian Massif. – *Journal of the Czech Geological Society*, **42**, 24, Prague.
- SCHUBERT, G. (1989): *Geologie und Petrographie des Peuerbacher Granits und seiner Umrahmung*. – *Diplomarbeit Univ. Salzburg*, 209 S., Salzburg.
- SIEBEL, W., SHANG, C., REITTER, E., ROHRMÜLLER, J. & BREITER, K. (2008): Two distinctive granite suites in the south-western Bohemian Massif and their record of emplacement. – *Journal of Petrology*, **49**, 1853–1870, Oxford.
- STAMPFLI, G.M., HOCHARD, C., VERARD, C., WILHEM, C. & VON RAUMER, J. (2013): The formation of Pangea. – *Tectonophysics*, **593**, 1–19, Amsterdam.
- STRNAD, L. & MIHALJEVIČ, M. (2005): Sedimentary provenance of Mid-Devonian clastic sediments in the Teplá-Barrandian Unit (Bohemian Massif): U-Pb and Pb-Pb geochronology of detrital zircons by laser ablation ICP-MS. – *Mineralogy and Petrology*, **84**, 47–68, Wien.
- TAIT, J.A., BACHTADSE, V., FRANKE, W. & SOFFEL, H.C. (1997): Geodynamic evolution of the European Variscan fold belt: palaeomagnetic and geological constraints. – *Geologische Rundschau*, **86**, 585–598, Stuttgart.
- TEIPEL, U., FINGER, F. & ROHRMÜLLER, J. (2012): Remnants of Moldanubian HP-HT granulites in the eastern part of the Bavarian Forest (southwestern Bohemian Massif): evidence from SHRIMP zircon dating and whole rock geochemistry. – *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, **163/2**, 137–152, Hannover.
- THIELE, O. (1962): Neue geologische Ergebnisse aus dem Sauwald (O.Ö.). – *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, **1962**, 117–129, Wien.
- THIELE, O. (1976): Ein westvergenger kaledonischer Deckenbau im niederösterreichischen Waldviertel? – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **119**, 75–81, Wien.
- THIELE, O. (1984): Zum Deckenbau und Achsenplan des Moldanubikums der Südlichen Böhmisches Masse (Österreich). – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **126/4**, 513–523, Wien.
- TOLLMANN, A. (1982): Grossräumiger variszischer Deckenbau im Moldanubikum und neue Gedanken zum Variszikum Europas. – *Geotektonische Forschungen*, **64**, 1–91, Stuttgart.
- VON RAUMER, J., FINGER, F., VESELA, P. & STAMPFLI, G.M. (2014): Durbachites-Vaugnerites – a geodynamic marker in the central European Variscan orogen. – *Terra Nova*, **26**, 85–95, Oxford.
- WALDMANN, L. (1951): Das außeralpine Grundgebirge Österreichs. – In: SCHAFFER, F.X.: *Geologie von Österreich*, 2. Auflage, 105 S., Wien (Deuticke).

- WINCHESTER, J.A., PHARAOH, T.C. & VERNIERS, J. (2002): Palaeozoic amalgamation of central Europe. An introduction and synthesis of new results from recent geological and geophysical investigations. – In: WINCHESTER, J.A., PHARAOH, T.C. & VERNIERS, J. (Eds.): Palaeozoic Amalgamation of Central Europe. – Geological Society of London, Special Publication, **201**, 1–18, London.
- ŽÁK J., VERNER K. & TYCOVÁ, P. (2008): Multiple magmatic fabrics in plutons: an overlooked tool for exploring interactions between magmatic processes and regional deformation? – Geological Magazine, **145**, 537–551, Cambridge.
- ŽÁK, J., VERNER, K., FINGER, F., FARYAD, S.W., CHLUPÁČOVÁ, M. & VESELOVSKÝ, F. (2011): The generation of voluminous S-type granites in the Moldanubian unit, Bohemian Massif, by rapid isothermal exhumation of the metapelitic middle crust. – Lithos, **121**, 25–40, Amsterdam.
- ZEH, A., BRAETZ, H., MILLAR, I.L. & WILLIAMS, I.S. (2001): A combined zircon SHRIMP and Sm–Nd isotope study of high-grade paragneisses from the Mid-German Crystalline Rise; evidence for northern Gondwanan and Grenvillian provenance. – Journal of the Geological Society of London, **158**, 983–994, London.
- ZEITLHOFER, H., SCHNEIDER, D., GRASEMANN, B., PETRAKAKIS, K. & THÖNI, M. (2014): Polyphase tectonics and late Variscan extension in Austria (Moldanubian Zone, Strudengau area). – International Journal of Earth Sciences, **103**, 83–102, Berlin.
- ŽELAŽNIEWICZ, A., BULA, Z., FANNING, M., SEGHEDI, A. & ZABA, J. (2009): More evidence on Neoproterozoic terranes in Southern Poland and southeastern Romania. – Geological Quarterly, **53**, 93–123, Warszawa.
- ZIEGLER, P.A. (1986): Geodynamic model for the Palaeozoic crustal consolidation of Western and Central Europe. – Tectonophysics, **126**, 303–328, Amsterdam.
- ZULAUF, G. (1997): Von der Anchizone bis zur Eklogitfazies: Angekippte Krustenprofile als Folge der cadomischen und variscischen Orogenese im Teplá-Barrandium (Böhmische Masse). – Geotektonische Forschungen, **89**, 1–302, Stuttgart.