

PT-Daten aus niedriggradigen Metavulkaniten der Tiefbohrung Hasselfelde 1-83 (Mittelharz)

THOMAS THEYE¹ & CARL.-HEINZ FRIEDEL²

¹ Institut für Mineralogie und Kristallchemie, Universität Stuttgart, Azenbergstr. 18, 70174 Stuttgart; thomas.theye@imi.uni-stuttgart.de

² Karl-Marx-Str. 56, 04158 Leipzig, chfriedel@gmx.de

Die Bohrung Hasselfelde 1/83 (gebohrt 1983 bis 1984) wurde ca. 1,5 km nördlich von Hasselfelde in der Tanner Zone angesetzt. Sie hatte das Ziel, das Liegende der Tanner Zone zu erkunden und damit einen Beitrag zu Fragen der Olisthostromverbreitung, der Rohstoffführung und zum Baustil des Mittelharzes zu leisten (Borsdorf et al. 1992, 1993). Mit einer Endteufe von 1777 m (wahre Teufe 1477 m) zählt sie zu den tiefsten Bohrungen des Harzes.

Nach Borsdorf et al. (1992, 1993) hatte die Bohrung die Tanner Zone nach 206 m durchteuft (Abb. 1). Darunter folgen bis 388 m Tiefe olisthostromale Tonschiefer mit einer zusammenhängenden Wechselfolge aus Tonschiefer und Kalkstein (Flinzkalk). Bis 516 m wurden Diabas des Unterkarbons (Deckdiabasintrusion) und von 589,8m bis 948 m eine Wechselfolge aus Vulkaniten (Diabas, Spilit, Tuff) und mitteldevonischen Tonschiefern aufgeschlossen. Dieser mitteldevonische Vulkanitkomplex wird als Äquivalent zum Spilit-Keratophyr-Vulkanismus im Bereich des Elbingeröder Komplexes angesehen (Borsdorf et al. 1993). Danach wurden im Wesentlichen nur noch mehr oder weniger olisthostromal ausgebildete Tonschiefer des Mittel- und Oberdevons erbohrt. Ab 1563 m schließt sich eine allochthone Abfolge aus Buntschiefer und Wissenbacher Schiefer an (Abb. 1).

Bei der ersten Interpretation wurde nahezu das gesamte Profil als olisthostromale Rutschmasse des Unterkarbons angesehen, in die intakte, nicht olisthostromal ausgebildete Einheiten als Großolistholithe oder (submarine) Gleitschollen eingeschaltet sind (Borsdorf et al. 1992, 1993). Von einigen der Erstbearbeiter wurde auch eine alternative Interpretation der Bohrung vorgenommen, indem der Profildbereich zwischen 292 m (Beginn Flinzkalk) bis 1557 m (Basis Wissenbacher Schiefer) nicht als Rutschmasse, sondern als annähernd intakte, stratigraphisch zusammenhängende Gesteinsabfolge aufgefasst wurde (Borsdorf et al. 1993, S. 59). Störungen und vor allem die Differenzen im Inkohlungsgrad (Vitrinitreflexion, %Rm: mittlere Reflexion) zeigen, dass das Profil bereichsweise noch nach dem Höhepunkt der (thermischen) Metamorphose tektonisch gestört worden ist. Diese Differenzen (Inkohlungssprünge) und Störungen mit Überschiebungscharakter (ältere Schichten über jüngere, s. Abb. 1 bei 1557 m) sind Indiz dafür, dass eine variszisch gestapelte Abfolge vorliegt (Estrada 2009).

Die erbohrten Lithologien wurden im Rahmen der damaligen Bearbeitung u.a. auch röntgenographisch untersucht. Bei den Vulkaniten zeigte sich, dass vor allem die Diabase häufig Prehnit enthielten. Dieses Index-Mineral niedriggradiger Metamorphose war sowohl im Deckdiabas des Unterkarbons als auch in den mitteldevonischen Diabasvorkommen festgestellt worden (Borsdorf et al. 1993).

Eine erneute Durchsicht des Probenmaterials zeigte, dass sowohl im Deckdiabas als auch im mitteldevonischen Vulkanitkomplex neben Prehnit auch Chlorit und Pumpellyit auftreten und damit Metamorphosebedingungen der Prehnit-Pumpellyit-Fazies angezeigt werden. Diese Mineralparagenese ist vor allem in sowie in der Umgebung von hydrothermalen Gängen zu beobachten. Hier kann davon ausgegangen werden, dass sich trotz der niedrigen Metamorphosetemperaturen Mineralgleichgewichte eingestellt haben. Dementsprechend wurde für eine nähere petrologische Untersuchung eine Gang führende Probe aus 750 m Tiefe

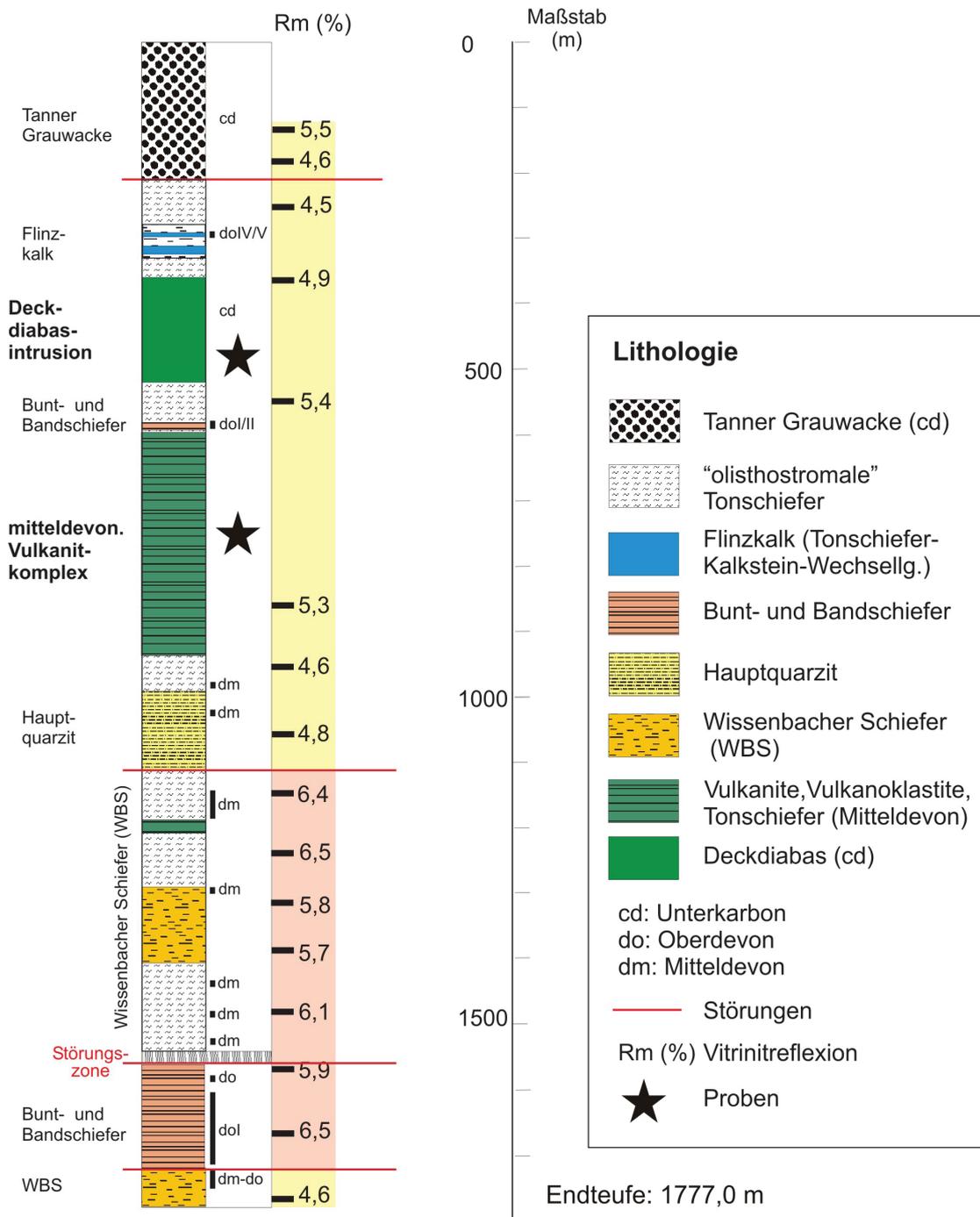


Abb. 1: Lithoprofil der Bohrung Hasselfelde 1-83 (nach Estrada 2009). Störung nahe 1100 m ergänzt (Friedel 1996, S. 70-72). Weitere Erläuterung im Text. Sterne: Lokation der untersuchten Proben.

ausgewählt (Probe 11-03-2011, mitteldevonischer Diabas, Abb. 1). In dieser Probe ist ein Gang vorhanden, der überwiegend aus Prehnit, Pumpellyit und Chlorit besteht (Abb. 2). In geringeren Anteilen sind noch Quarz, Albit, Titanit und Calcit vorhanden sowie Pyrit, der von Pyrrhotin verdrängt wird. Nur elektronenmikroskopisch kann Aktinolith nachgewiesen werden. Dieser ist zumeist als dünner Saum auf reliktschen Augit aufgewachsen (Abb. 2d). Die gleichen Minerale sind auch in der direkten Umgebung der Gänge zu beobachten. Zusätzlich sind dort als magmatische Relikte teilweise oder vollständig umgewandelte Augite, Plagioklase und Ilmenite zu erkennen, die ein intersertal-ophitisches, selten ophitisch-porphyrisches Gefüge aufweisen.

Die Mineralanalysen wurden mit einer Elektronenstrahl-Mikrosonde vom Typ Cameca SX100 angefertigt. Beispielanalysen sind in der Tabelle 1 angegeben. Danach ist Chlorit durch einen relativ hohen Si-Gehalt gekennzeichnet. Dieser kann möglicherweise auf einen geringen Smektitanteil zurückgeführt werden. Aktinolith und Pumpellyit haben intermediäre Fe/Mg-Verhältnisse. Der Albit hat nahezu die Zusammensetzung des Endglieds. Die magmatisch gebildeten Klinopyroxene weisen eisenreichen Ränder auf.

PT-Berechnung

In der näher untersuchten Probe aus dem mitteldevonischen Vulkanitkomplex sind keinerlei Hinweise auf ein Ungleichgewicht zwischen Prehnit, Pumpellyit, Aktinolith, Chlorit, Albit und Quarz zu erkennen. Zur Ermittlung der Druck-Temperaturbedingungen wurde ein Druck-Temperatur-Pseudoschnitt für eine konstante Gesteinszusammensetzung mittels der Software *Perple_X* (Connolly 2005) berechnet. Grundlage dazu war der thermodynamische Datensatz

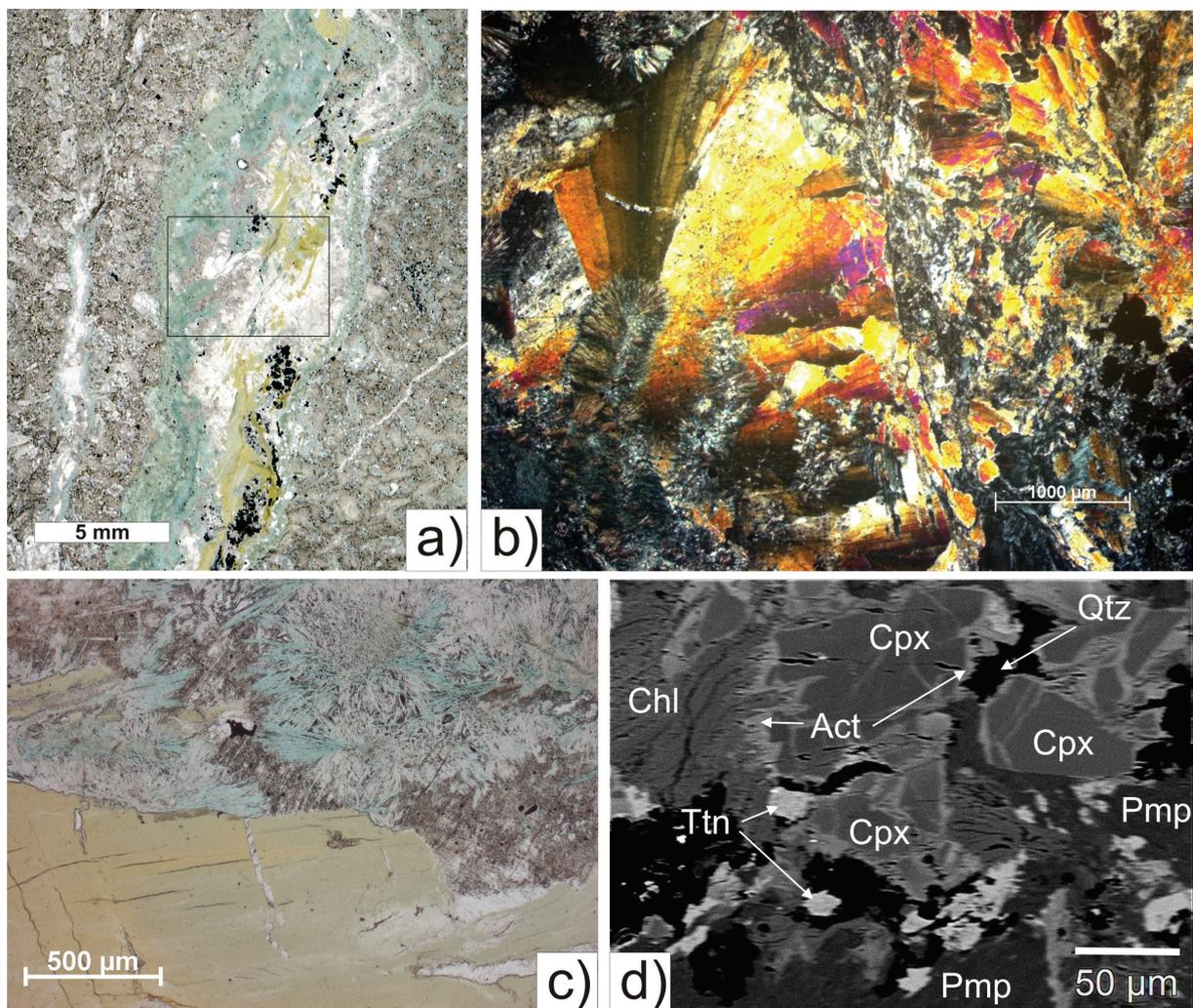


Abb. 2: a) Gang im dichten Diabas aus grünlichem Pumpellyit, farblosem Prehnit, hellbräunlichem Chlorit und Pyrit, b) Unter gekreuzte Polarisatoren ist Prehnit an den bunten Interferenzfarben der oft radial angeordneten Kristalle zu erkennen, c) textuelles Gleichgewicht zwischen bräunlichem Chlorit, grünlichem Pumpellyit und farblosem, hier mit dunklen Partikeln durchstäubtem Prehnit, d) am Rand des Gangbereichs wächst faseriger Aktinolith auf magmatische Klinopyroxenrelikte auf, Probe 11-03-2011, Mitteldevonischer Vulkanitkomplex (aus ca. 750 m Tiefe, vgl. Abb. 1).

von Holland & Powell (1998, überarbeitet 2004) sowie dazu konsistente Mischungsmodelle für Chlorit (Holland & Powell 1998) sowie Aktinolith und Pumpellyit (Massonne & Willner (2008)). Die chemische Zusammensetzung des Gangbereichs wurde berechnet auf Grundlage der abgeschätzten Mineralgehalte (10% Albit, 20% Prehnit, 10% Chlorit, 1 % Aktinolith, 36% Pumpellyit, 20% Quarz, 3% Titanit) und der analysierten Mineralzusammensetzungen (Tab. 1).

Tabelle 1: Mineralzusammensetzungen und berechnete sowie auf 100% normierte Zusammensetzung des Gangbereichs.

	Pu	Pre	Chl	act	Cpx Rand	Cpx Kern	Gang
SiO ₂	37.22	43.58	29.20	53.20	51.06	52.61	56.50
TiO ₂	0.07	0.00	0.03	0.02	0.75	0.82	1.05
Al ₂ O ₃	23.04	24.53	16.04	0.61	1.92	2.40	17.36
FeO	7.67	0.59	26.78	20.39	14.86	7.71	6.71
MnO	0.08	0.02	0.33	0.28	0.44	0.21	0.09
MgO	2.33	0.03	15.60	10.94	11.54	17.26	2.68
CaO	21.38	25.59	0.30	12.33	17.34	17.64	14.33
Na ₂ O	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	0.35	0.20	1.28
K ₂ O	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Summe	91.79	94.34	88.28	97.86	98.26	98.85	100.00
	O=12	O=11	O=14	O=23	O=6	O=6	
Si	2.950	3.019	3.072	7.902	1.980	1.954	
Ti	0.004	0.000	0.002	0.002	0.022	0.023	
Al	2.152	2.003	1.988	0.107	0.088	0.105	
Fe ³⁺	0.000	0.035	0.000	0.134	0.000	0.000	
Fe ²⁺	0.508	0.000	2.356	2.399	0.482	0.239	
Mn	0.005	0.001	0.030	0.035	0.014	0.007	
Mg	0.275	0.004	2.446	2.422	0.667	0.956	
Ca	1.816	1.899	0.034	1.962	0.721	0.702	
Na	0.000	0.002	0.002	0.025	0.027	0.014	
K	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	

Das Ergebnis der Berechnungen ist in Abb. 3 dargestellt. Danach tritt im Niedrigtemperaturbereich das Mineral Prehnit bei niedrigem Druck, dagegen Pumpellyit bei höheren Drücken auf. Beide Minerale werden bei höheren Temperaturen durch Epidot ersetzt. Die in der Probe beobachtete Paragenese Pumpellyit+Prehnit ist nur in einem relativ kleinen P-T-Bereich bei ca. 300°C zwischen 4 und 5 kbar stabil. Auf die hier errechnete geringe Überschneidung der Stabilitätsfelder von Pumpellyit und Prehnit hat bereits Frey et al. (1991) aufmerksam gemacht. Eine Unsicherheit der P-T-Angaben ergibt sich aus der Unsicherheit der thermodynamischen Daten, besonders der Mischungsmodelle, bei niedrigen Temperaturen. Die konservativ abgeschätzten Unsicherheiten sind ± 2 kbar, $\pm 30^\circ\text{C}$.

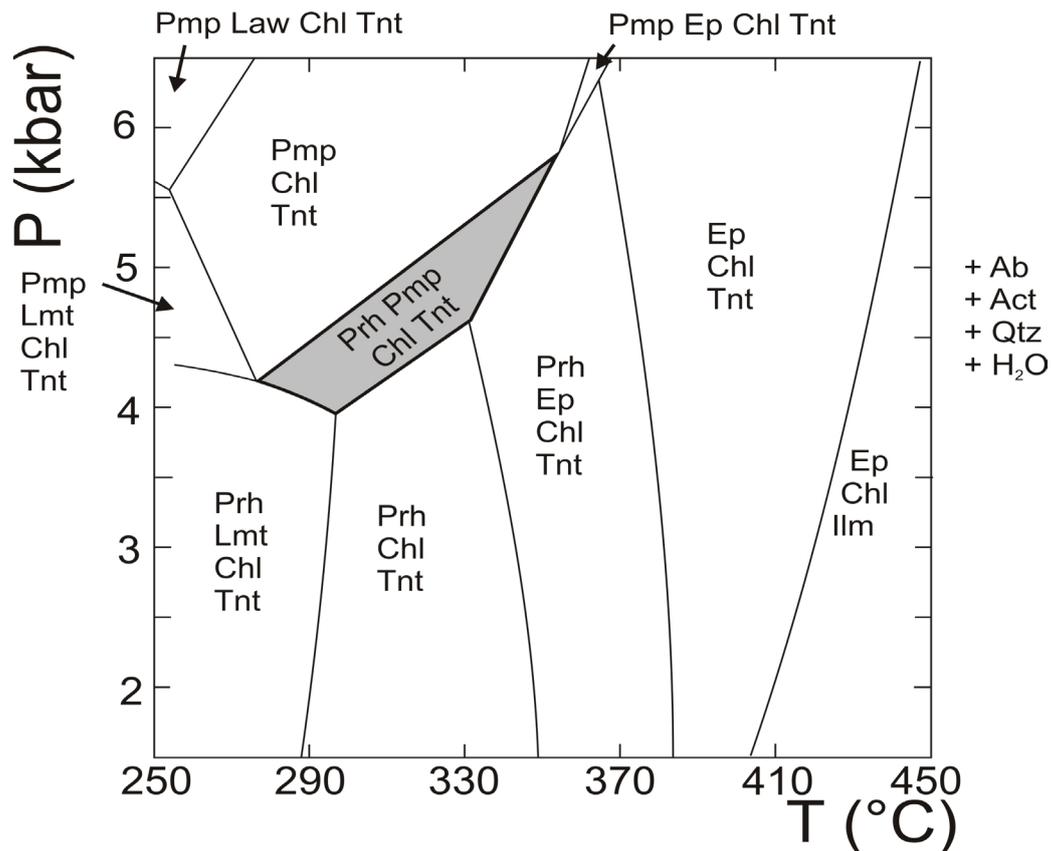


Abb. 3: P-T-Pseudoschnitt (etwas vereinfacht) für die in Tabelle 1 angegebene chemische Zusammensetzung des Gangs. Prehnit und Pumpellyit erscheinen gemeinsam nur in dem grau eingefärbten P-T-Bereich. Abkürzungen: Ab-Albit, Act-Aktinolith, Chl-Chlorit, Ep-Epidot, Ilm-Ilmenit, Lmt-Laumontit, Law-Lawsonit, Pmp-Pumpellyit, Prh-Prehnit, Qtz-Quarz, Tnt-Titanit.

Schlussfolgerungen

1. Die PT-Daten weisen auf einen Metamorphosebereich von ca. 300°C und 4,5 kbar, der damit nahe der Untergrenze der grünschieferfaziellen (epizonalen) Metamorphose liegt. Auch nach der Illitkristallinität steht die Bohrung nahe der Grenze zwischen Anchi- und Epizone.
2. Die berechnete Temperatur von $300 \pm 30^\circ\text{C}$ entspricht etwa den Temperaturen, wie sie auch aus den Inkohlungsdaten dieser Bohrung ableitbar sind (Rm: ca. 4,6-5,4%, Rmax: 6,4-6,6%, Borsdorf et al. 1993, vgl. Abb. 1).
3. Mit dem berechneten Druck von $4,5 \pm 2$ kbar liegt eine erste zuverlässige Druckangabe für den Mittelharz vor. Ähnliche Drücke wurden auch für die Metavulkanite des Elbingeröder Komplexes ermittelt, sie galten aus methodischen Gründen jedoch als weniger zuverlässig (Friedel 1996, 2009).
4. Die ermittelten Drücke weisen auf eine Versenkungstiefe von bis zu 17 km Tiefe während der variszischen Regionalmetamorphose. In diesem Krustenstockwerk herrscht ein spröd-duktilen Deformationsregime vor.
5. Unter den o.g. PT-Bedingungen wurden die Harzeinheiten im östlichen Mittelharz gestapelt. Die häufig vertretene Ansicht, dass (synsedimentäre/frühdiagenetische) submarine Gleitung eine wesentliche Rolle im Strukturbild des Harzes spielt, ist unter diesen Bedingungen kaum aufrecht zu halten. Vielmehr lassen die Metamorphosedaten tektonische Stapelung und Deckentektonik alpinen Typs erwarten.

6. Die PT-Bedingungen sollte auch bei der Diskussion über die Genese olisthostromaler Gefüge berücksichtigt werden, da bei vorherrschend spröd-duktilen Deformationsbedingungen tektonisch induzierte Block-in-Matrix-Gefüge (tektonische Melange, Huckriede et al. 2004) eine realistische Alternative oder Ergänzung zur bisherigen rein sedimentären Deutung dieser Gefüge darstellen.

Literatur

- Borsdorf, K.-H., Estrada, S., Schust, F. & Schwandtke, E. (1992): Ergebnisse neuer Forschungsbohrungen im östlichen Rhenoharz (Harz und Flechtingen-Roßlauer Scholle). – Zbl. Geol. Paläont. Teil 1, 1992 (1/2): 5-16.
- Borsdorf, K.-H., Estrada, S., Schust, F. & Schwandtke, E. (1993): Ergebnisse von in den Jahren 1983 und 1984 abgeteuften Forschungsbohrungen im Ostharz – Vorläufige Interpretation. - Unveröff. Bericht, BGR, Archivnr. 0128334, 92 S., Berlin/Hannover.
- Connolly, J.A.D. (2005): Computation of phase equilibria by linear programming: a tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. - Earth Planet. Sci. Lett. 236: 524–541.
- Estrada, S. (2009): Inkohlungswerte aus Tiefbohrungen – Indikatoren für den Baustil im Mittelharz. – GeoDresden 2009, SDGG, 63: 210.
- Friedel, C.-H. (1996): Tektonik und Metamorphose im östlichen Mittelharz. – Scientific Technical Reports STR96/07:1-195.
- Friedel, C.-H. (2009): Exkursionspunkt 1: Der Krockstein bei Neuwerk – Variszische Deformation und Metamorphose im Elbingeröder Komplex. – Exkurs.f. und Veröff. DGG (EDGG), 239: 33-37.
- Frey, M., de Capitani, C. & Liou, J.G. (1991): A new petrogenetic grid for low-grade metabasites. - J. metamorphic Geol., 9: 497-509.
- Holland, T.J.B., Baker, J. & Powell, R. (1998): Mixing properties and activity-composition relationships of chlorites in the system MgO-FeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O. Europ. J. Mineral., 10: 395-406.
- Holland, T.J.B. & Powell, R. (1998): An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. J. metamorphic Geol., 16: 309-43.
- Huckriede, H., Wemmer, K. & Ahrendt, H. (2004): Palaeogeography and tectonic structure of allochthonous units in the German part of the Rheno-Hercynian Belt (Central European Variscides). – Int. J. Earth Sci. (Geol. Rdsch.), 93: 414-431, Berlin.
- Massonne, H.-J. & Willner, A.P. (2008): Phase relations and dehydration behaviour of psammopelite and mid-ocean ridge basalt at very-low-grade to low-grade metamorphic conditions. Eur. J. Mineral., 20: 867-879.