GEOLOGICA SAXONICA
Journal of Central European Geology
52/53 (2007) 97–115

Smectite im Porphyrit von Wurgwitz bei Dresden (Sachsen, Deutschland)

Smectites in the porphyrite from Wurgwitz near Dresden (Saxony, Germany)

Michael Dietze [1], Frank Haubrich [2], Thomas Klinger [2], Bernd Ullrich [1]

[1] Professur für Angewandte Geologie, Institut für Geotechnik,
Technische Universität Dresden, George-Bähr-Straße, D-01069 Dresden, Germany
Bernd.Ullrich@tu-dresden.de

[2] Professur für Bodenkunde und Bodenschutz, Institut für Bodenkunde und Standortslehre,
Technische Universität Dresden, Mommsenstraße 13, D-01069 Dresden, Germany
haubrich@frsws10.forst.tu-dresden.de

Kurzfassung

Untersucht wurden intensiv grün gefärbte Füllungen auf herzynisch streichenden Klüften und Spalten sowie davon ausgehende tonig zersetzte (bentonitisierte) Bereiche des Wilsdruff-Potschappeler Porphyrites in einem Neuaufschluss bei Wurgwitz (Dresden, Sachsen) mittels Röntgendiffraktometrie (XRD), Thermoanalyse (Kombination DTA-TG-DTG), Rasterelektronenmikroskopie (REM), energiedispersiver Elektronenstrahlmikroanalyse (ESMA) und Röntgenfluoreszenzanalyse im REM (µXRF). Das tonige Material besteht hauptsächlich aus beidellitischem Smectit, Nontronit und Volkonskoit in einer feinteiligen Verwachsung. Lokal wurde außerdem ein Illit/Glimmer-Smectit-Wechsellagerungsmineral gefunden, das wahrscheinlich zusätzlich eine vermiculitische Komponente beinhaltet. Es handelt sich um hydrothermale Bildungen. In den tonigen Produkten konnte ein Netz von Röhren nachgewiesen werden in dem die hydrothermalen Lösungen zirkuliert sind. Die Herkunft des Chroms für die Bildung des Volkonskoites konnte nicht geklärt werden.

Abstract

Intensively green colored fillings on hercynic striking fissures and clayey alterated (bentonitized) areas of the Wilsdruff-Potschappel Porphyrite in a recently opened quarry near Wurgwitz (Dresden, Saxony) have been analysed by means of X-ray diffraction (XRD) and thermal analysis (including a combination of differential thermal analyses (DTA), thermal gravimetric analysis (TG) and derivative thermogravimetry (DTG)) as well as observations in the scanning electron microscope (SEM) coupled with an energy dispersive microanalytical spectrometer (EDS) and X-ray fluorescence spectroscopy (µXRF) to obtain element contents. The clayey material consists mainly of beidellitic smectite, nontronite and volkonskoite in a fine-grained intergrowth. Additionally an illite/mica-smectite mixed layer mineral was found locally which obviously includes a vermiculitic component accessorily. The minerals are of hydrothermal genesis. In the clayey products a network of tubes could be detected. Inside these tubes hydrothermal solutions are circulated. The origin of chrome for the formation of the volkonskoite could not be claryfied.

Aufschlussverhältnisse

Seit Ende des Jahres 2005 erfolgt in der Nähe der Gemeinde Wurgwitz, etwa 5 km westlich von Dresden, im Bereich der südwestlich exponierten Flanke des Wiederitz-Tales, der Neuaufschluss eines Steinbruches für die Schottergewinnung (Abb. 1). Das anstehende Gestein ist in der Geologischen Karte von Sachsen – Nr. 65 (Dalmer et al. 1922) als Hornblendeporphyrit ausgewiesen und gehört zum Deckenerguss des Wilsdruff-Potschappeler Porphyrites, der bereits von Naumann (1845) beschrieben und später von Bruhns (1886) petrographisch untersucht wurde. Der Porphyrit bildet zusammen mit dem Grundkonglomerat und dem Unkersdorfer Tuff die bis ca. 180 m mächtigen Unkersdorf-Potschappeler Schichten, die ältesten Ablagerungen des Permokarbons im Döhlener Becken (Reichel 1970). Nach Bruhns (1886) sowie Dalmer et al. (1922) erstreckt sich der Deckenerguss von Wilsdruff aus in ostsüdöstlicher Richtung über Kaufbach, Unkersdorf, Steinbach, Kesselsdorf, Wurgwitz und Kohlsdorf bis Potschappel und Burg auf einer Länge von 11 km und einer größten Breite (bei Unkersdorf) von 3 km. Nach Beeger & Quellmalz (1994) handelt es sich nach der heute gültigen Nomenklatur um einen Latit-Andesit. Das Gestein zeigt im frischen Anbruch eine dunkelrotbraune bis violette, feinkörnige bis felsitische Grundmasse mit makroskopisch gut erkennbaren, hellen, maximal wenige Millimeter langen, leistenförmigen, idiomorphen bis hypidiomorphen Feldspateinsprenglingen und einem partiell deutlichen Fließgefüge.

Bei mehreren Befahrungen des Steinbruches wurden auf einer herzynisch streichenden Kluftschar (Einfallwinkel zwischen 80 und 85 °, teilweise auch saiger, Einfallrichtung wechselnd zwischen Nordost und Südwest) intensiv grün gefärbte tonige Füllungen sowie von den Klüften ausgehend graue bis braune tonig zersetzte Bereiche beobachtet und beprobt (Abb. 2 und 3). Die streichende Erstreckung der Kluftschar (Kluftabstand zwischen 5 und 30 m) erfasst den gesamten Steinbruch über mehr als 200 m, insofern könnte es sich von der Dimension her um eine Störungszone handeln. Ein Zusammenhang zu der im NE-Teil des Döhlener Beckens befindlichen NW-SE streichenden Störungszone „Roter Ochse“ (Pietzsch 1962, Beeger & Quellmalz 1994) wird vermutet.

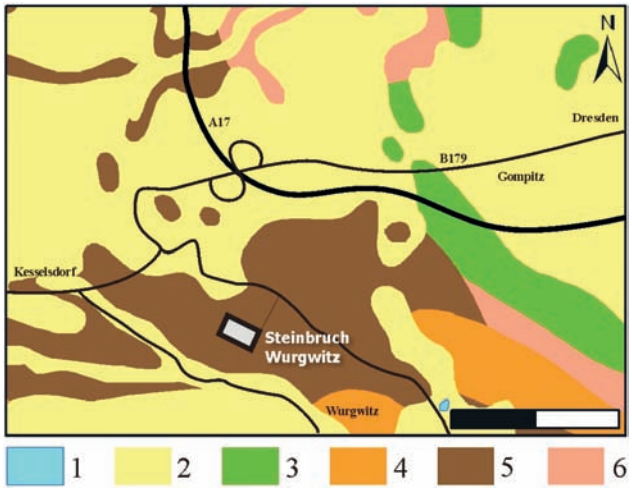


Abb. 1: Lage des neu aufgeschlossenen Steinbruches der Firma Faber in der Nähe von Wurgwitz mit den wichtigsten geologischen Einheiten; vereinfachte schematische Darstellung nach Dalmer et al. (1922). Legende: **1** – Wasserfläche, **2** – Quartär, **3** – Kreide (Sandsteine), **4** – Permokarbon (Konglomerate), **5** – Permokarbon (Porphyrit), **6** – Monzonit, Länge des Maßstabes 1 km.

Fig. 1: Location of the recently opened quarry of Faber company near Wurgwitz; map with most important geological formations; schematic illustration by Dalmer et al. (1922). Legend: **1** – water area, **2** – Quaternary, **3** – Cretaceous (sandstone), **4** – Permo-Carboniferous (conglomerate), **5** – Permo-Carboniferous (porphyrite), **6** – monzonite, length of scale 1 km.

Hinweise auf Umwandlungserscheinungen im Porphyrit sind bereits in der älteren Literatur zu finden. So erwähnt Naumann (1845) Veränderungen der Farbe des Gesteins: „… auf den verwitterten Klüften und Oberflächen erscheint es oft schmutzig fleischroth, isabellgelb oder gelblichgrau; zuweilen ist es auch auf allen Klüften berg- oder seladongrün gefärbt, ...“. In der gleichen Arbeit wird außerdem auf das Vorhandensein „… bis messinggelbe [r] Glimmerblättchen …“ hingewiesen. Bruhns (1886) beschreibt im Ergebnis seiner mikroskopischen Untersuchungen ausführlich die Zersetzung von Pyroxenen, die er als Bastitisierung bezeichnet: „*Der Pyroxen verwandelt sich in eine faserige Substanz von z. Th. gelber, z. Th. graulich-grüner, z. Th. grasgrüner Farbe. Die Faserung ist in Längs- sowie Querschnitten sichtbar... In einigen Vorkommen ist der Pyroxen vollständig in Bastit umgewandelt und*

GEOLOGICA SAXONICA
Journal of Central European Geology 52/53 (2007) 97–115

Abb. 2: Grüne tonige Füllungen vom Typ 1 in einer herzynisch streichenden Kluftschar im Porphyrit des Steinbruches Wurgwitz (Länge des Maßstabes 0,5 m).

Fig. 2: Green colored clayey fillings (type I) on hercynic striking fissures in the porphyrite of Wurgwitz quarry (length of scale 0,5 m).

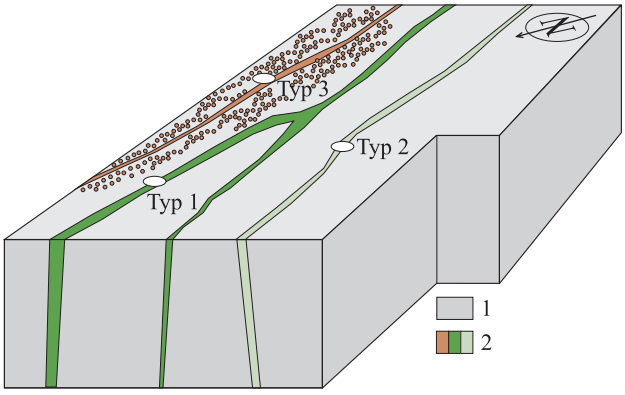


Abb. 3: Schematische Darstellung der drei Erscheinungsformen der tonigen Umwandlungsprodukte im Porphyrit. Legende: **1** – Porphyrit; **2** – mineralisierte Kluftschar

Fig. 3: Schematic illustration of the three types of clayey alteration products in the porphyrite. Legend: **1** – porphyrite; **2** – fissures with mineralisation.

dieses Mineral gewinnt hier eine solche Entwicklung, dass es schon makroskopisch in Form stark glänzender, mit lebhaftem Schiller versehender Blättchen hervortritt." Besonders ausgeprägt wurde dieser Prozess im Porphyrit von Kesselsdorf beobachtet, sodass Bruhns (1886) dieses Gestein als die gesonderte Varietät „Bastit führender Feldspathporphyrit von Kesselsdorf" ausweist. Auch Dalmer et al. (1922) erwähnen ein „bastitartiges Umwandlungsprodukt" im Porphyrit von Kesselsdorf und eine mikroskopisch beobachtete Zersetzung von Plagioklasen zu einer glimmerigen Substanz. In der neueren Literatur gibt es bei Beeger & Quellmalz (1994) einen Hinweis auf hydrothermal bedingte Bleichungshöfe im frischen Gestein. Thalheim et al. (1991) beschreiben röntgenographisch belegte Funde von Nontronit als Produkte der autohydrothermalen Zersetzung des Porphyrites.

Untersuchungsmethodik und Probenmaterial

Die Untersuchung der Proben erfolgte mittels Röntgendiffraktometrie (XRD), Thermoanalyse (DTA-TG-DTG), Rasterelektronenmikroskopie (REM), energiedispersiver Elektronenstrahlmikroanalyse (ESMA), Röntgenfluoreszenzanalyse im REM (µXRF) mit den in Tab. 1 zusammengestellten Geräten und Untersuchungsbedingungen.

Das gewonnene Probenmaterial kann nach den Ergebnissen der makroskopischen Bemusterung im Gelände und den im Stereomikroskop bei der Probenpräparation beobachteten Gefügen mindestens drei unterschiedlichen Erscheinungsformen zugeordnet werden (Abb. 3). Ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen diesen makroskopischen Ausbildungen und dem analysierten Mineralbestand konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Beobachtet wurden:

1. Kluft- und Spaltenfüllungen im Porphyrit, bis zu mehreren Zentimetern mächtig, mit einem tonigen Material. Die Bruchflächen zeigen im bergfeuchten Zustand eine kräftige dunkelgrüne Farbe mit einem deutlichen Fettglanz. Von Bruchflächen begrenzte Partikel erscheinen dicht und haben mitunter ein specksteinähnliches Aussehen. Unter dem Stereomikroskop ist erkennbar, dass das Farbspektrum der Partikel in den Bruchflächen punktuell von weiß und hellgrau über hellgrün bis zu einem kräftigen dunkelgrün reicht. Im Material sind keine Relikte des Porpyritgefüges sichtbar, die

Röntgendiffraktometrie-Aufnahmegerät 1 (Pulverpräparate)	
Aufnahmegerät 1:	SIEMENS-Diffraktometer D5000, CoKα, 40 kV, 30 mA
Auswertung:	Geräteeigene Software Diffracplus Basic 4.0 #1 - EVA
Aufnahmebedingungen:	Winkelbereich 2 - 80° 2ϑ, step scan 4,0 s und 6,0 s, step size 0,03°, Blenden V6 bis V20 bzw. Festblenden, Rotation des Probentisches 30 rpm
Probenpräparation:	Pulverpräparate, Material < 0,063 mm (handgemörsert)
quantitative Analyse:	Material < 0,020 mm (handgemörsert), Al_2O_3-Standard, Berechnung mit Autoquan
Röntgendiffraktometrie-Aufnahmegerät 2 (Texturpräparate)	
Aufnahmegerät 2:	SEIFERT-Diffraktometer XRD 3000 TT, CuKα, 40 kV, 30 mA
Auswertung:	Export zu Diffracplus Basic 4.0 #1 - EVA
Aufnahmebedingungen:	Winkelbereich 2,5–30° 2ϑ, step scan 15,0 s, step size 0,03°, Primärblenden 3 und 6 mm, Sekundärblenden 0,5 und 0,3 mm
Probenpräparation:	Texturpräparate von Suspensionen des < 63 µm gemörserten Materiales - luft-trocken, belegt mit Ethylenglycol, belegt mit Glycerin, getempert bei 550 °C, nur für die Identifizierung der Schichtsilikate
Thermoanalyse in der Kombination DTA-TG-DTG	
Aufnahmegerät:	NETZSCH STA 409 PG Luxx®
Probenhalter:	Platin-Iridium-Tiegel mit Deckel
Ofenatmosphäre:	Luft, statisch
DTA-TG-Messung:	mit Korrekturkurve (geräteintern) erstellt für den jeweils verwendeten Tiegel (Tiegel 1 bis Tiegel 6)
Referenzmaterial:	Al_2O_3 (geglüht bei 1500 °C)
Aufheizgeschwindigkeit:	10 K/min bzw. stufenweise Temperung ohne Haltezeit
Probenpräparation:	Pulverschüttung lose, unverdichtet, Tiegel leicht geklopft, Proben handgemörsert (< 0,063 mm)
Probenmasse:	maximal 250 mg (materialspezifisch)
Anmerkung:	Alle Temperaturangaben im Text zu den Ergebnissen der Thermoanalyse wurden auf die letzte Stelle vor dem Komma gerundet.
Rasterelektronenmikroskopie (REM)	
Aufnahmegerät:	ZEISS EVO 50 mit Wolframkathode
Aufnahmebedingungen:	20 kV, SE, BSE, Hochvakuum
Probenpräparation:	Aluminiumprobenträger; Bruchstücke; Streupräparate; polierte Anschliffe; polierte Dünnschliffe; Fixierung mit Leitkohlenstoff; Bedampfung mit Kohlenstoff und/oder Gold
Energiedispersive Elektronenstrahlmikroanalyse (ESMA)	
Aufnahmegerät:	ROENTEC Detektor XFlash 3001
Auswertung:	Quantax 1.7
Aufnahmebedingungen:	Hochvakuum, 20 keV, Meßzeit 200 s, quantitative Analyse standardlos
Röntgenfluoreszenzanalyse im REM (µXRF)	
Aufnahmegeräte:	iMOXS IfG Berlin, Anregungsquelle Rh-Röntgenröhre, ROENTEC Detektor XFlash 3001
Auswertung:	iMOXS 1_45
Aufnahmebedingungen:	Hochvakuum, 40 kV, 650 µA, Meßzeit 200 s, quantitative Analyse standardlos

darauf hinweisen würden, dass es sich um umgewandelten Porphyrit handeln könnte. In die tonige Grundmasse ist ein Netz von weißen und ockerfarbenen, an den Oberflächen strukturierten, röhrenartigen Hohlräumen eingelagert. Partiell sind auf Mikroklüften Manganabscheidungen vorhanden, die zu einer Braunfärbung des Materiales führen können. In diesen Bereichen wurden außerdem sporadisch verteilte Kristallblasten von Kalifeldspat und einem nicht näher bestimmbaren teilweise vanadiumhaltigen (bis ca. 2 % V_2O_5) Titanmineral festgestellt. Die Manganbildungen können auch als eigenständige weniger als einen Millimeter mächtige Abscheidungen in Klüften des Porphyrites auftreten.

2. Kluft- und Spaltenfüllungen bzw. Gangbildungen (bis ca. 10 cm mächtig) im Porphyrit mit Baryt im Zentrum und mehrere Millimeter mächtigen Abscheidungen des grünen tonigen Materials (siehe Erscheinungsform 1) an den beiden Salbändern. Die makroskopisch durchgängig grün erscheinenden Bruchflächen zeigen unter dem Stereomikroskop innige Verwachsungen von dunkelgrünen und nahezu weißen Bereichen, die nicht separiert werden konnten. Vereinzelt gibt es nesterartige Einlagerungen des tonigen Materiales im Baryt. Im Bereich des Salbandes ist lokal ein Netz von ockerfarbenen, an den Oberflächen glatten, röhrenartigen Hohlräumen eingelagert. Auch bei diesen Bildungen gibt es vom Gefüge her keine Anhaltspunkte dafür, dass es sich um umgewandelten Porphyrit handeln könnte.

3. Grauer (gebleichter), graubrauner, brauner und rotbrauner tonig zersetzter/umgewandelter Porphyrit. Die rotbraune Färbung entsteht durch Haematitabscheidungen im Bereich der Mikroklüftung und des Matrixporenraumes. Der Umwandlungsprozess geht in der Regel von Klüften und Spalten aus, die mit dem grünen tonigen Material (siehe Erscheinungsform 1) gefüllt sein können. Relativ häufig sind unveränderte Porphyritrelikte im Zersetzungsprodukt vorhanden. Makroskopisch wird der Eindruck vermittelt, dass die Umwandlung in den grauen Bereichen nahezu vollständig erfolgt ist, aber auch hier ist noch unzersetztes Gestein vorhanden. Außerdem sind im tonigen Zersatz – einerseits lokal in der Matrix und andererseits im Bereich der Mikroklüftung – nesterartige Abscheidungen eines weiteren grünen tonigen Materiales mit zum Teil faseriger Ausbildung und einem mehr glasigen Glanz zu beobachten. Auf den Kluftoberflächen gibt es Beläge von Mangankrusten (Braunfärbung) und in der Grundmasse treten sporadisch verteilt Barytblasten auf. Das ursprüngliche Gefüge des Porphyrites ist erhalten geblieben und auf den Bruchflächen deutlich erkennbar. In den Gesteinszersatz ist lokal ein Netz von ockerfarbenen, an den Oberflächen glatten, röhrenartigen Hohlräumen eingelagert.

Ergebnisse der Untersuchungen

Mineralbestand und chemische Zusammensetzung (Tab. 2) des unveränderten Ausgangsgesteines entsprechen in den untersuchten Bereichen im Wesentlichen einem Andesit. Ein Vergleich mit in der Literatur dokumentierten chemischen Daten belegt die relativ große Variabilität der Zusammensetzung des Gesteines (Tab. 3). Bruhns (1886) liefert hierzu folgende Beschreibung: „Die Gesteine zeigen eine so grosse Mannichfaltigkeit der Ausbildung, dass es kaum zwei Aufschlüsse in diesem ganzen Gebiet giebt, welche genau dasselbe darböten. Dabei gehen die besonders contrastirenden Typen so allmählich ineinander über, sind durch

Tab. 1: Geräte, Messbedingungen und Probenpräparation für die Röntgendiffraktometrie (XRD), Thermoanalyse (DTA-TG-DTG), Rasterelektronenmikroskopie (REM), energiedispersive Elektronenstrahlmikroanalyse (ESMA) und Röntgenfluoreszenzanalyse im REM (µXRF).

Tab. 1: Equipment, measurement conditions and sample preparation for X-Ray diffraction (XRD), differential thermal analysis (DTA_TG_DTG), scanning electron microscope (SEM) coupled with an energy dispersive microanalytical spectrometer (EDS) and) and X-ray fluorescence spectroscopy (µXRF).

Tab. 2: Mineralbestand und chemische Zusammensetzung einer Handstückprobe des unveränderten Porphyrites aus dem Steinbruch Faber bei Wurgwitz (1 – ESMA-Analysen am Dünnschliff, 2 – AAS am Totalaufschluss, 3 – RFA an Presstablette, n. b. – nicht bestimmt).

Tab. 2: Mineral constituents and chemical composition of an unaltered porphyrite hand specimen from quarry of Faber company near Wurgwitz (1 – EDS-analysis of a thin section, 2 – AAS of total chemical dissolution, 3 – RFA of pressing pill , n. b. – no data)

Mineralbestand (XRD)		**chemische Zusammensetzung in Masse-%**			
Mineral	Masse-%	Oxide	1	2	3
Quarz	15	Na_2O	4,02	3,38	2,85
Albit	15	MgO	2,43	1,78	2,50
Andesin	20	Al_2O_3	16,53	13,36	15,00
Sanidin	30	SiO_2	65,68	n. b.	64,80
Biotit	2	P_2O_5	0,05	0,23	0,21
Hornblende	2	K_2O	4,46	3,97	4,25
Haematit	2	CaO	1,89	1,70	1,60
Glasphase	14	TiO_2	0,73	0,69	0,66
Apatit	Spuren	MnO	0,27	0,08	0,07
Titanminerale	Spuren	Fe_2O_3	4,39	3,53	4,20
Summe	100	Summe	100,45	–	96,14

eine solche Reihe von Zwischengliedern miteinander verknüpft, dass es nicht möglich ist, scharfe Grenzen zwischen den einzelnen Modificationen zu ziehen." Im Ergebnis seiner petrographischen Untersuchungen weist Bruhns (1886) fünf Gesteinsvarietäten aus und ordnet diesen entsprechende Typuslokalitäten zu. Diese Untergliederung wird später von Dalmer et al. (1922) unverändert in die Erläuterungen zum geologischen Kartenblatt Wilsdruff übernommen:

1. Hornblendeporphyrit (Pt) von Potschappel.
2. Glimmerporphyrit (Ptg) von Wilsdruff.
3. Bastit führender Porphyrit (Ptb) von Kesselsdorf.
4. Pyroxen-Hornblendeporphyrit (Pth) von Unkersdorf.
5. Pyroxenporphyrit (Ptp) von Kaufbach.

Zwischen den einzelnen Varietäten sind nach Bruhns (1886) mehrere Übergangsgesteine als Verbindungsglieder vorhanden. So zwischen dem Hornblendeporphyrit von Potschappel und dem Glimmerporphyrit von Wilsdruff einerseits sowie dem Bastit führenden Porphyrit von Kesselsdorf andererseits. Außerdem zwischen dem zuletzt genannten und dem Pyroxen-Hornblendeporphyrit von Unkersdorf.

Die Klassifizierung der vorliegenden Probe erfolgte nach dem Mineralbestand mit Hilfe des QAPF-Diagrammes (Feld 9, Le Maitre 2004) und die Unterscheidung Basalt/Andesit nach der chemischen Zusammensetzung über das TAS-Diagramm (SiO_2- und Alkaligehalte, Le Maitre 2004). Die Feldspäte der Grundmasse werden hauptsächlich durch Sanidin und Andesin gebildet, wobei letzterer meist von Albit umrandet ist. Als Feldspateinsprenglinge wurden beobachtet: Reine Albite, Verwachsungen von Albit und Andesin, zonar aufgebaute Feldspäte mit einer Abfolge Andesin (Kern) – Albit – Andesin (Rand), Albite mit Einschlüssen (Entmischungen) von Kalifeldspat. Die Hornblendeeinsprenglinge sind Magnesium betont (ca. 25 % MgO) und weisen nur geringe Eisen- und Calciumgehalte (ca. 2–3 % Fe_2O_3 und CaO) auf. Die Hornblendekristalle sind oft korrodiert und zeigen Säume von Eisenoxiden, die wahrscheinlich durch den auch röntgenographisch im gesamten Gestein nachgewiesenen Haematit gebildet werden (Abb. 4). Bruhns (1886) hat diese Erscheinungen ebenfalls beobachtet und als Opaciträndер bezeichnet.

Der Mineralbestand der tonigen Kluft- und Spaltenfüllungen sowie des tonig zersetzten Porphyrites wird von Smectiten der Montmorillonit-Vermiculit-

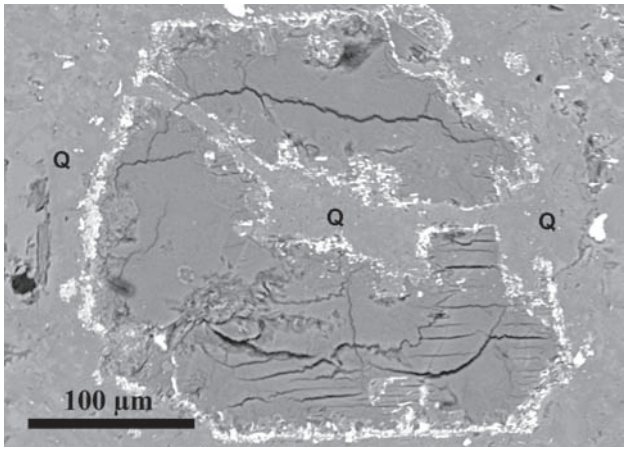


Abb. 4: Hornblendeeinsprengling mit hellem Eisenoxidsaum sowie von Quarz (Q) umschlossen und durchdrungen im unveränderten Porphyrit (REM BSE-Bild).

Fig. 4: SEM BSE-picture of a hornblende phenocryst with a resplendent border of iron oxide in the unalterated porphyrite. Quartz (Q) encloses and penetrates the hornblende.

Gruppe (9.EC.25.; Strunz & Nickel 2001) dominiert. Vereinzelt wurde als weiteres Schichtsilikat Glimmer beobachtet. In den grünen Kluft- und Spaltenfüllungen (1. und 2. der Probenbemusterung) ist außer den Smectiten nur noch bis ca. 1 % Quarz nachweisbar. In den tonigen Zersätzen (3. der Probenbemusterung) hängt der Anteil der Nichttonminerale vom jeweiligen Umwandlungsgrad des Porphyrites ab. Ermittelt wurden Gehalte in einem Wertebereich von rund 20 % bis 45 %. Insofern können diese Umwandlungsprodukte des Porphyrites als Bentonit oder bentonitisierter Porphyrit bezeichnet werden. In den weniger stark bentonitisierten Gesteinspartien sind noch alle Feldspäte (Albit, Andesin und Sanidin) vorhanden. Die Plagioklasgehalte erscheinen in der Summe stärker reduziert (Albit auf ca. 30 % und Andesin auf etwa 50 % der Ausgangsmenge) als der Sanidin (ca. 50 % der Ausgangsmenge). In den nahezu vollständig umgewandelten Bereichen sind die Plagioklase in der Regel nur noch in Spuren nachweisbar, Sanidin ist mit ca. 30 % der Ausgangsmenge noch vorhanden.

Aus den Ergebnissen der Röntgendiffraktometrie kann abgleitet werden, dass in den Kluft- und Spaltenfüllungen sowie in den Umwandlungsprodukten mindestens zwei verschiedene Smectite, die durch ein unterschiedliches Quellverhalten gekennzeichnet sind, vorhanden sein müssen. Hinsichtlich der methodischen Fragestellungen zur röntgenographischen Identifizierung von quellfähigen Phasen und der Merkmalszuordnung sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (z. B. Jasmund & Lagaly 1993, Köster 1995, Moore & Reynolds 1997, Tomita et al. 1988). Identifiziert wurden:

1. Smectite mit typischem „Montmorillonitverhalten"; Röntgenreflexe d(001) im lufttrockenen Zustand bei ca. 14,5 Å; nach Behandlung mit Ethylenglycol ca. 17 Å; nach thermischer Behandlung bei 550 °C ca. 10 Å (Abb. 5). Diese Smectite wurden sowohl in den grünen Kluft- und Spaltenfüllungen als auch in den tonigen Zersätzen nachgewiesen.
2. Smectite mit einer unvollständigen Quellung; Röntgenreflexe d(001) im lufttrockenen Zustand mit einer Bande von ca. 10 bis 14,5 Å; nach Behandlung mit Ethylenglycol ca. 15,5 Å; nach thermischer Behandlung bei 550 °C zwei Reflexe bei ca. 12 Å und ca. 10 Å (Abb. 6). Diese Smectite wurden nur in den tonigen Zersätzen gefunden.

Aus der thermischen Charakteristik (Abb. 7 und 8) der Proben mit dem bereits beschriebenen Quellungsverhalten ergibt sich eine weitere Differenzierung. Die Zuordnung der einzelnen Reaktionen erfolgte entsprechend den in der Literatur publizierten thermischen Daten zu quellfähigen Dreischichtsilikaten (z. B. Ivanova 1961, Mackenzie 1957, 1970, 1972, Smykatz-Kloss 1974, 1982, Ullrich 1994):

1. Alle Proben mit einem „Montmorillonitverhalten" zeigen eine deutliche doppelstufige Dehydration. Die Maxima der ersten endothermen Reaktion liegen zwischen 155–160 °C und die der zweiten endothermen Reaktion bei 220–225 °C.
2. Bei den Proben mit einer unvollständigen Quellung ist die zweite Stufe der Dehydration nur noch undeutlich ausgebildet. Die Maxima der ersten endothermen Reaktion liegen zwischen 135–140 °C und die der zweiten bei 200–215 °C.
3. Die Dehydroxylation der Proben mit „Montmorillonitverhalten" verläuft entweder einstufig (Maxima der Endothermie 660–675 °C) oder zweistufig (ers-

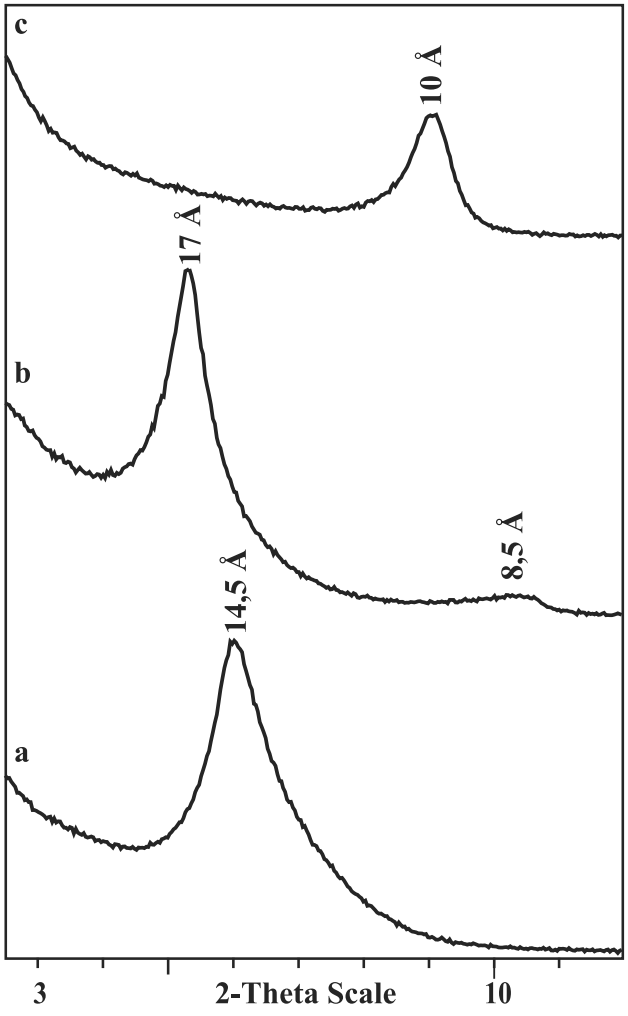


Abb. 5: Röntgendiffraktogramme der quellfähigen Phasen mit typischem „Montmorillonitverhalten" bei natürlicher Ionenbelegung. a – lufttrocken; b – nach Behandlung mit Ethylenglycol; c – nach thermischer Behandlung bis 550 °C

Fig. 5: X-ray diffractograms of swelling phases with a typical „montmorillonite behaviour" by natural cation saturation (a – air dried, b – ethylene glycol solvated, c – after thermal treatment up to 550 °C).

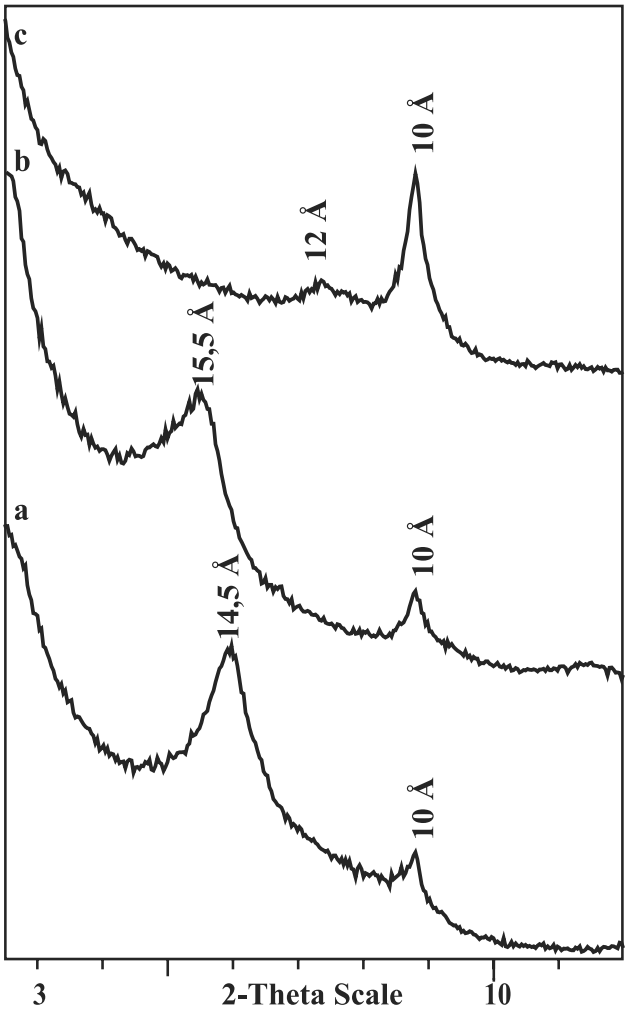


Abb. 6: Röntgendiffraktogramme der quellfähigen Phasen mit einer unvollständigen Quellung bei natürlicher Ionenbelegung. a – lufttrocken; b – nach Behandlung mit Ethylenglycol; c – nach thermischer Behandlung bis 550 °C

Fig. 6: X-ray diffractograms of swelling phases with an incomplete swelling by natural cation saturation (a – air dried, b – ethylene glycol solvated, c – after thermal treatment up to 550 °C).

tes Maximum bei etwa 575 °C, zweites Maximum zwischen 660 und 675 °C).

4. Die Dehydroxylation der Proben mit einer unvollständigen Quellung verläuft grundsätzlich einstufig mit Maximumtemperaturen der endothermen Reaktion zwischen 575 und 585 °C.
5. Die oberhalb 800 °C registrierten Reaktionen des Strukturzerfalles zeigen bei den Proben mit „Montmorillonitverhalten" die für Dreischichtsilikate typische Kombination einer endothermen und exothermen Reaktion ohne einen weiteren Masseverlust.
6. Bei den Proben mit einer unvollständigen Quellung wird bei der endothermen Reaktion des Strukturzerfalles zwischen 800 und 900 °C ein deutlicher Masseverlust gemessen.

GEOLOGICA SAXONICA
Journal of Central European Geology 52/53 (2007) 97–115

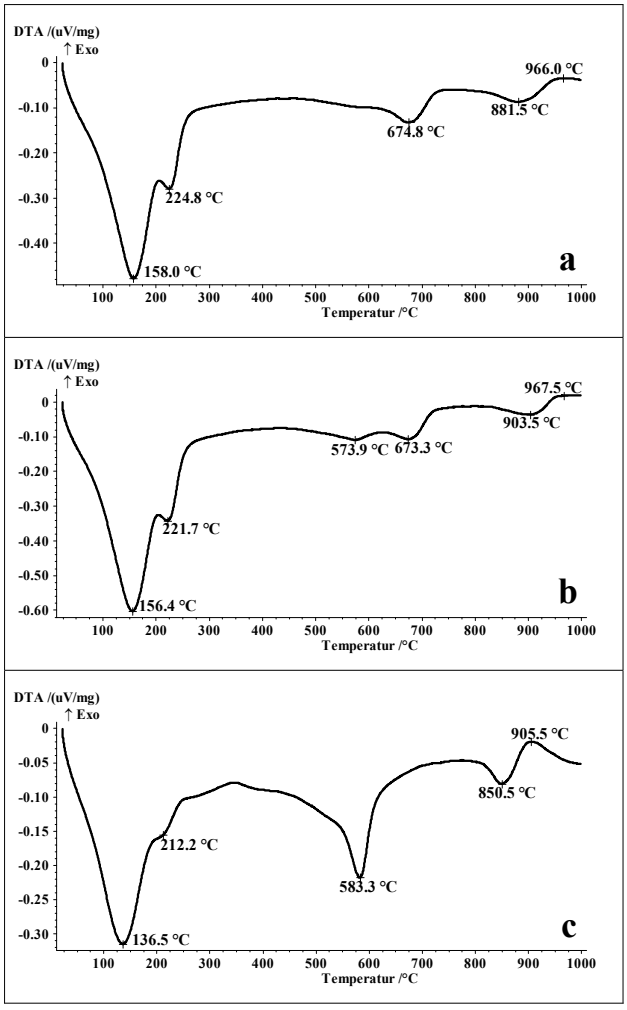


Abb. 7: DTA-Kurven ausgewählter Proben mit einem unterschiedlichen Quellungsverhalten. Die Kurven **a** und **b** sind Proben mit einem „Montmorillonitverhalten" zuzuordnen, die Kurve **c** einer Probe mit unvollständiger Quellung.

Fig. 7: DTA curves of selected samples with different swelling behaviour. The curves **a** and **b** are samples with a „montmorillonite behaviour". The curve **c** is a sample with an incomplete swelling.

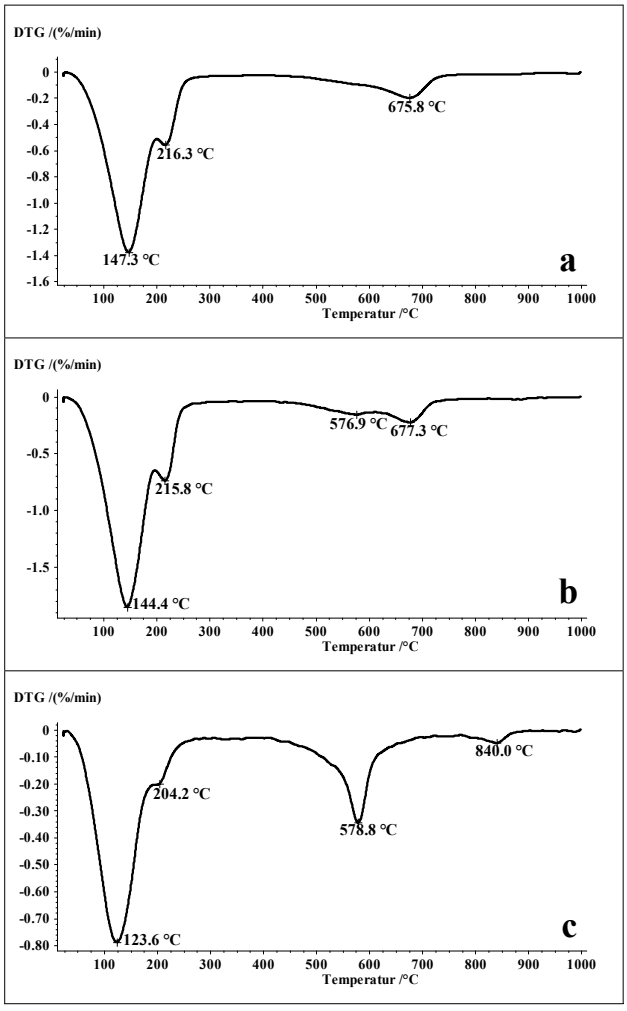


Abb. 8: DTG-Kurven ausgewählter Proben mit einem unterschiedlichen Quellungsverhalten. Die Kurven **a** und **b** sind Proben mit einem „Montmorillonitverhalten" zuzuordnen, die Kurve **c** einer Probe mit unvollständiger Quellung.

Fig. 8: DTG curves of selected samples with different swelling behaviour. The curves **a** and **b** are samples with a „montmorillonite behaviour". The curve **c** is a sample with an incomplete swelling.

Das thermische Verhalten der Proben mit einer unvollständigen Quellung ist demzufolge einheitlich. Der Verlauf der Dehydroxylation in den Proben mit „Montmorillonitverhalten" mit zwei endothermen Reaktionen zeigt an, dass mindestens zwei verschiedene Smectite in diesen Proben vorhanden sein müssen.

Entscheidend für die weitere Identifizierung der verschiedenen Phasen ist die chemische Zusammensetzung im Mikrobereich. Als problematisch hierfür erwiesen sich jedoch die Kornfeinheit und intensive Verwachsung der Minerale, so dass bei den ESMA-Untersuchungen „reine Minerale" für die Analytik praktisch nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung standen. Der mit dem Elektronenstrahl angeregte Bereich war in der Regel immer größer als das zu analysierende Partikel. Damit konnte nicht immer eindeutig geklärt werden, ob die

Tab. 3: Auswahl von in der Literatur dokumentierten Daten zur chemischen Zusammensetzung (Masse-%) des Potschappel-Wilsdruffer Porphyrites. **1** – Hornblendeporphyrit von Potschappel; **2** – Bastit führender Feldspatporphyrit von Kesselsdorf; **3** – Glimmerporphyrit von Wilsdruff; GV – Glühverlust; n.b. – nicht bestimmt.

Tab. 3: Selection of in the literature documented data about the chemical composition (mass-%) of porphyrite from Potschappel-Wilsdruff. **1** – Hornblende porphyrite of Potschappel, **2** – bastite bearing feldspar porphyrite of Kesselsdorf, **3** – mica porphyrite of Wilsdruff; GV – ignition loss; n. b. – no data.

Oxide	**Potschappel** [1)] **Bruhns (1886)**	**Kesselsdorf** [2)] **Bruhns (1886)**	**Wilsdruff** [3)] **Bruhns (1886)**	**Paul-Berndt-Grube (Qu. 13) Reichel (1970)**	**Paul-Berndt-Grube (Qu. 12) Reichel (1970)**
Na_2O	2,26	4,16	2,11	5,4	7,1
MgO	5,15	2,37	2,35	5,1	2,3
Al_2O_3	19,97	18,83	14,88	15,1	16,7
SiO_2	54,44	61,93	64,23	55,5	54,9
K_2O	3,58	2,72	3,01	3,1	2,5
CaO	3,11	4,46	1,85	3,0	5,5
TiO_2	n.b.	n.b.	n.b.	0,9	0,8
Fe_2O_3	7,52	3,24	8,46	3,6	1,7
FeO	0,52	1,24	0,44	4,6	2,4
GV	4,18	1,83	3,19	2,8	2,0

analysierten Elemente in der Mineralstruktur wirklich gegenseitig substituiert waren, oder ob nur aus benachbarten Partikeln unterschiedliche Anteile der Elemente analysiert wurden. Aus diesen Gründen wurde auf eine Berechnung von Mineralformeln verzichtet. Eine Auswahl von für die Phasenindentifizierung relevanten Analysen ist in den Tab. 4 und 5 enthalten.

Aus einer dunkelgrünen Kluftfüllung mit „Montmorillonitverhalten" konnten unter dem Mikroskop weiße Einlagerungen, die nahezu frei von grünen Anteilen waren, selektiert werden (Tab. 4, Spalte 1). Nach dem Quellverhalten (Abb. 5) und dem hohen Al_2O_3-Anteil ist dieses Mineral als beidellitischer Smectit, entweder als Beidellit oder aufgrund der nachgewiesenen, zum Teil noch deutlichen Magnesiumanteile (bis ca. 6 % MgO), auch als beidellitischer Montmorillonit anzusprechen. In den Spalten 2 bis 8 der Tab. 4 sind weitere Analysen dokumentiert, die die starke Variabilität der chemischen Zusammensetzung belegen. Die Analyse in Spalte zwei kommt den z. B. von Jasmund & Lagaly (1993), Newman (1987) sowie von Bailey (1988) publizierten Daten für einen Beidellit sehr nahe. Außer Magnesium können zusätzlich Eisen (bis ca. 5 % Fe_2O_3) und Chrom (bis ca. 6 % Cr_2O_3) enthalten sein, die zunehmend das Aluminium ersetzen. In einigen Fällen wurden auch geringe Vanadiumgehalte (bis ca. 0,5 % V_2O_5) detektiert. Das Mineral ist in allen Proben mit „Montmorillonitverhalten" nachweisbar. In den grauen und braunen bentonitisierten Bereichen des Porphyrites bildet der beidellitische Smectit die Hauptmenge.

In den tonigen Kluftfüllungen, die in der Regel aus Verwachsungen weißer und dunkelgrüner Lamellen bestehen, ist das beidellitische Material nicht so stark vertreten; hier wird der Hauptanteil der Mineralabscheidungen durch Chrom- und Eisensmectite gebildet. Dabei ist stets eine intensive Verwachsung von Aggregaten unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung zu beobachten. Zwischen den Partikeln gibt es partiell scharfe Grenzen aber auch kontinuierliche Übergänge. Die Minerale können in unterschiedlichen Kombinationen auftreten. Beobachtet wurden vor allem Vergesellschaftungen von beidellitischem Smectit mit Chromsmectit. Außerdem wurden isolierte Vorkommen eines eisenreichen Smectites in beidellitischer Matrix im bentonitisierten Porphyrit sowie die Verwachsung von Aggregaten von beidellitischem Smectit, Chromsmectit und eisenreichem Smectit gefunden.

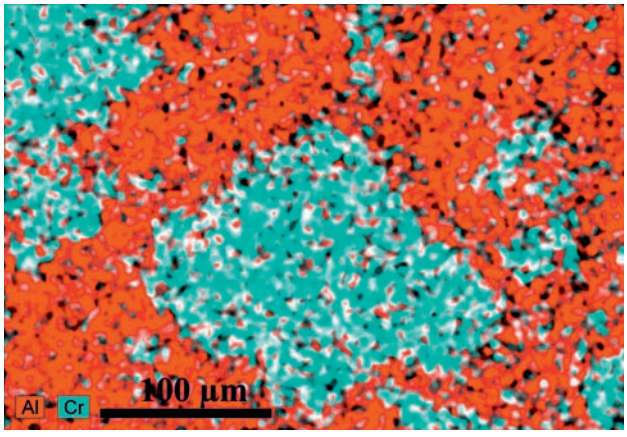


Abb. 9: Elementverteilung von Aluminium und Chrom in einer Verwachsung von beidellitischem Smectit (Tabelle 4, Spalte 9) und Volkonskoit (Tabelle 4, Spalten 10 und 11) mit zum Teil scharfen Grenzen (**rot** – Aluminium, **blau** – Chrom).

Fig. 9: Chemical element mapping of aluminium and chrome in an intergrow of beidellitic smectite (table 4, column 9) and volkonskoite (table 4, column 10 and 11) with partially sharp borders (**red** – aluminium, **blue** – chrome).

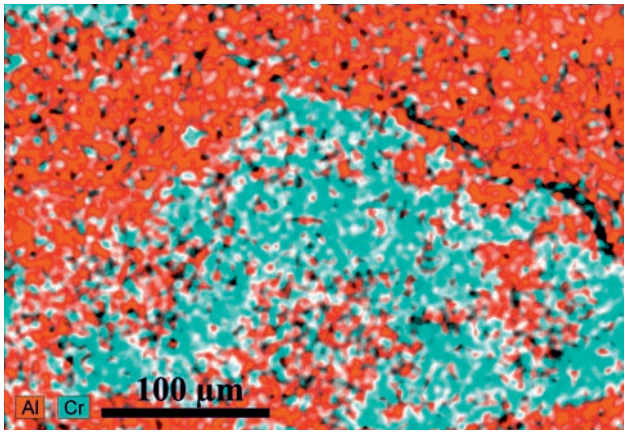


Abb. 10: Elementverteilung von Aluminium und Chrom in einer Verwachsung von beidellitischem Smectit und Volkonskoit mit einem allmählichen Übergang (**rot** – Aluminium, **blau** – Chrom, keine Analysendaten in Tabelle 4).

Fig. 10: Chemical element mapping of aluminium and chrome in an intergrow of beidellitic smectite and volkonskoite with diffus transition (**red** – aluminium, **blue** – chrome, no data of chemical analysis in table 4).

Zwei Darstellungen zur Elementverteilung von Aluminium und Chrom (Abb. 9 und 10) sollen dazu dienen, die Verwachsung des beidellitischen Smectites mit dem Chromsmectit etwas genauer zu beschreiben. Abb. 9 ist charakteristisch für das Auftreten von relativ „scharf begrenzten" Aggregaten von Chromsmectit in einer beidellitischen Grundmasse, während in Abb. 10 zwischen beiden Smectitarten ein mehr oder weniger allmählicher Übergang oder auch eine gegenseitige Verdrängung erkennbar ist. Das in Abb. 9 bei einer geringen Vergrößerung in der Elementverteilung noch relativ homogen erscheinende Smectitaggregat (Bildmitte) ist aus lamellenartigen Partikeln zusammengesetzt, die eine Korngröße von weniger als 0,5 µm aufweisen. Zwei Beispiele von Analysendaten des Aggregates sind in Tab. 4 (Spalten 10 und 11) enthalten. Entsprechend der – bei der REM-Untersuchung im BSE-Modus – gerade noch erkennbaren Kontrastunterschiede ist in diesem Aggregat ein Wechsel von Lamellen mit beidellitischem Charakter und Chromsmectit vorhanden, die auch mittels Punktanalyse nicht mehr einzeln erfasst werden können. Die Lamellen des Chromsmectites haben in diesem Aggregat den höheren Anteil. Auch die beidellitische Umgebung des Aggregates weist diesen Lamellenwechsel auf, jedoch mit einer Dominanz der beidellitischen Lamellen (Tab. 4, Spalte 9). Mit den in Tab. 4 (Spalten 12 bis 15) dokumentierten chemischen Analysen ist der Nachweis geführt, dass in den untersuchten Proben außer dem beidellitischen Smectit (Aluminiumendglied) auch der Volkonskoit (Chromendglied) in den Kluftfüllungen vorhanden ist. Chromgehalte über 20 % wurden jedoch nur sehr selten festgestellt. Ob zwischen beiden Mineralen auch Übergangsformen im Sinne echter Mischkristallbildungen existieren, konnte aufgrund der bereits beschriebenen Verwachsungsverhältnisse nicht geklärt werden. Die in Tab. 4 (z. B. Spalten 9 bis 11) enthaltenen unterschiedlichen Aluminium- und Chromgehalte sind nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand jeweils abhängig von der Anzahl der bei der Analyse erfassten unterschiedlichen Smectitlamellen. Unabhängig davon weisen die Magnesium- und Eisengehalte nur geringe Unterschiede auf.

Das Gefüge der Verwachsungen in der Kombination von beidellitischem Smectit, Chromsmectit und eisenreichem Smectit ist in den Abb. 11 bis 13 dargestellt. Die dazugehörigen Elementverteilungen mit Aluminium, Chrom und Eisen sind in den Abb. 14 bis 17

Tab. 4: Ergebnisse von ESMA-Analysen von Kluftfüllungen und tonigen Umwandlungsprodukten des Porphyrites von Wurgwitz (Masse-%).

Oxide	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Na_2O	n.n.	0,41	n.n.	0,71	1,86	n.n.	n.n.	n.n.	0,64	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MgO	4,58	5,31	3,70	3,30	4,46	5,87	5,79	5,95	3,12	6,56	6,46	5,74	6,41	4,94	5,74
Al_2O_3	26,58	24,40	30,80	23,88	24,92	21,46	22,08	19,21	22,25	22,7	19,20	14,88	14,74	13,80	14,69
SiO_2	62,44	64,00	59,77	62,00	58,49	60,83	58,42	48,62	62,40	60,30	57,19	57,54	52,53	53,73	47,73
P_2O_5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,53	0,20	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
K_2O	2,54	1,34	1,81	6,23	3,87	5,01	5,80	4,46	5,43	1,49	2,76	2,17	2,56	2,44	3,63
CaO	2,52	2,72	2,37	2,06	1,70	1,56	1,91	6,14	2,32	2,81	2,56	2,49	3,02	2,93	3,68
TiO_2	n.n.	0,09	n.n.	0,16	0,02	0,16	0,23	0,89	0,53	n.n.	n.n.	0,50	0,72	1,02	n.n.
V_2O_5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,20	0,38	0,45	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Cr_2O_3	0,17	n.n.	0,31	0,20	0,24	1,37	1,45	6,06	1,50	4,68	10,65	15,73	18,71	19,66	23,50
MnO	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,12	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Fe_2O_3	0,96	1,74	1,24	1,47	4,44	3,54	3,94	4,68	1,61	1,19	1,10	0,96	1,29	1,50	1,04
CuO	0,21	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Erläuterungen zu Tabelle 4: n.n. – nicht nachweisbar, **1** – selektierte weiße Einlagerung aus einer grünen Kluftfüllung mit „Montmorillonitverhalten“, **2 bis 8** – grauer zersetzter Porphyrit mit „Montmorillonitverhalten“, **9 bis 15** – Verwachsung von weißen und grünen Partikeln in einer grünen Kluftfüllung mit „Montmorillonitverhalten“

Tab. 5: Ergebnisse von ESMA-Analysen von Kluftfüllungen und tonigen Umwandlungsprodukten des Porphyrites von Wurgwitz (Masse-%).

Oxide	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Na_2O	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,49	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MgO	4,58	7,67	5,77	4,82	4,51	5,82	4,64	6,10	5,96	7,25	2,45	4,51	5,10	7,13	16,66
Al_2O_3	24,40	13,56	17,31	26,15	16,55	16,26	13,95	14,04	13,39	12,52	7,56	4,27	10,97	21,92	28,88
SiO_2	64,52	53,38	60,61	63,61	59,77	58,64	61,04	55,30	60,12	50,51	50,59	51,37	55,90	50,87	48,69
P_2O_5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
K_2O	0,87	8,07	3,76	0,40	3,04	4,25	5,60	6,64	5,99	7,83	6,90	7,84	7,18	7,04	0,29
CaO	2,79	1,15	2,15	2,93	2,28	1,93	1,24	1,26	1,32	1,28	0,72	0,67	0,71	1,37	1,47
TiO_2	n.n.	0,36	n.n.	n.n.	n.n.	0,10	n.n.	n.n.	n.n.	0,40	n.n.	n.n.	n.n.	0,34	n.n.
V_2O_5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,32	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,15	0,40	0,11
Cr_2O_3	1,84	6,56	8,22	1,22	11,61	7,30	6,43	6,67	3,41	5,66	n.n.	n.n.	0,19	n.n.	0,17
MnO	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,68	0,22
Fe_2O_3	1,00	9,25	2,17	0,88	2,23	5,37	7,11	9,98	9,81	14,55	31,34	30,35	20,14	9,26	2,88
CuO	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Erläuterungen zu Tabelle 5: **n.n.** – nicht nachweisbar, **16 bis 25** – Verwachsung von weißen und grünen Partikeln in einer grünen Kluftfüllung mit „Montmorillonitverhalten“ (Abbildungen 11 bis 13), **26 bis 28** – selektierte grüne, faserige Einlagerungen im grauen, tonig zersetzten Porphyrit mit „Montmorillonitverhalten, **29 und 30** – Smectit mit unvollständiger Quellung im zersetzen Porphyrit

enthalten. Die Verwachsungsverhältnisse sind ähnlich den bereits beschriebenen mit dem Unterschied, dass eine eisenreiche Komponente hinzukommt. Teile der Aggregate liegen in einer wolkig aufgelösten Struktur vor. Die in Tab. 5 (Spalten 16 bis 25) dokumentierten chemischen Analysen zeigen die gleiche Problematik, dass reine Minerale kaum analysierbar und evtl. vorhandene Mischkristallbildungen nicht nachweisbar sind. Der beidellitischen Komponente können die Analysen in den Spalten 16 und 19 (Tab. 5) zugeordnet werden (entspricht den dunkelgrauen mit Al gekennzeichneten Bereichen in den Abb. 11 bis 13). Analysen von Abschnitten mit einem hohen Anteil an Volkonskoitlamellen sind in den Spalten 18 und 20 (Tab. 5) aufgeführt (entspricht den hellgrauen mit Cr gekennzeichneten, partiell wolkigen Bereichen in den Abb. 11 bis 13). Die Spalten 17 sowie 21 bis 25 enthalten Analysen der weißgrauen Bereiche in den Abb. 11 bis 13 (gekennzeichnet mit Fe oder Fe/Cr) mit einem hohen Anteil des eisenreichen Smectites, z. T. neben Volkonskoit. Der eisenreiche Smectit konnte als nesterartige Anreicherung aus dem bentonitisierten Porphyrit selektiert werden. Nach den in Tab. 5 (Spalten 26 bis 28) enthaltenen Analysendaten handelt es sich eindeutig um Nontronit mit unterschiedlichen Anteilen von Aluminium und Magnesium.

Die chemische Untersuchung der Smectite mit unvollständiger Quellung ermöglichte keine Klärung hinsichtlich der Phasenidentifizierung. Obwohl die Quelleigenschaften und das thermische Verhalten dieser Proben keine Differenzierung aufweisen, gibt es Bereiche mit einer unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung (Tab. 5, Spalten 29 und 30). Nach den chemischen Daten wäre der erste Bereich den mehr nontronitischen Smectiten und der zweite Bereich den beidellitischen Materialien zuzuordnen. Beide Minerale gehören jedoch nach ihren röntgenographischen Merkmalen zu den Smectiten mit einem „Montmorillonitverhalten“, was zu dieser Zuordnung im Widerspruch steht. Auffällig sind die partiell sehr hohen Magnesiumanteile. Teilbereiche der Proben erscheinen außerdem stark silifiziert, was sich in SiO_2-Gehalten bis zu 85 % dokumentiert.

Hinsichtlich der morphologischen Charakteristik unterscheidet sich der Nontronit durch seine faser- bis leistenförmige Ausbildung deutlich vom beidellitischen Smectit und dem Volkonskoit (Abb. 18 und 19). Zwischen dem beidellitischen Smectit und dem Volkonskoit konnten keine Unterschiede in der Morphologie der Partikel beobachtet werden. Einheitlich sind sowohl die bekannten Blättchen mit den typischen Quellungsmerkmalen („Knitterfalten“) im Randbereich (Abb. 20) als auch netzartige Gefüge (Abb. 21, „honeycomb structures“ nach Andrews 1980) zu beobachten.

Diskussion der Ergebnisse

Wie bereits eingangs erwähnt konnte zwischen den im Gelände beobachteten makroskopischen Erscheinungsformen der unterschiedlichen tonigen Bildungen und dem analysierten Mineralbestand kein Zusammenhang festgestellt werden. Die verschiedenen Smectite wurden in allen Ausbildungsformen in einer feinteiligen Verwachsung und mit unterschiedlichen Kombinationen, die selbst im mikroskopischen Bereich ständig wechseln, beobachtet. Anhand der dokumentierten Analysendaten ist das Vorkommen einer

Tab. 4: Results of EDS-analytics of fissure fillings and clayey alteration products of porphyrite from Wurgwitz (mass-%).

Explanations of table 4: **n. n.** – not evident, **1** – selection of a white particle in a green colored fissure filling with a “montmorillonite behaviour”, **2 to 8** – grey alteration product of porphyrite with a „montmorillonite behaviour”, **9 to 15** – intergrow of white and green particles in a green colored fissure filling with a „montmorillonite behaviour”.

Tab. 5: Results of EDS-analytics of fissure fillings and clayey alteration products of porphyrite from Wurgwitz (mass-%).

Explanations of table 5: **n. n.** – not evident, **16 to 25** – intergrow of white and green particles in a green colored fissure filling with a “montmorillonite behaviour” (figures 11 to 13), **26 to 29** – selection of green filamentous crystal aggregates in a grey clayey alteration product with a “montmorillonite behaviour”, **29 and 30** – smectite with an incomplete swelling in the alterated porphyrite.

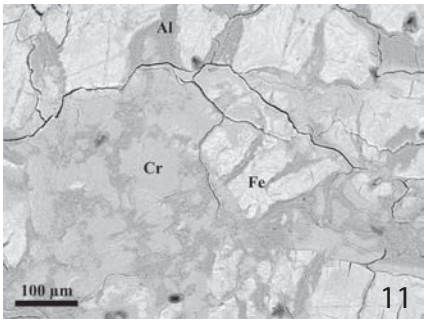
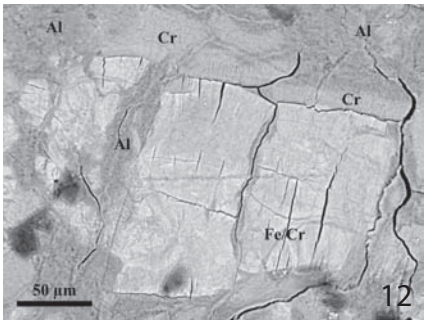
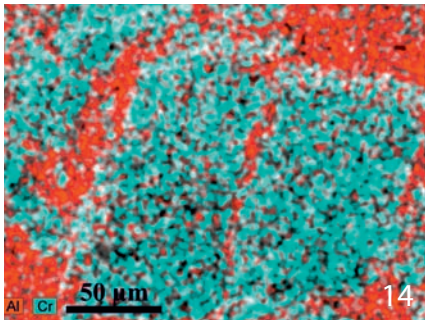
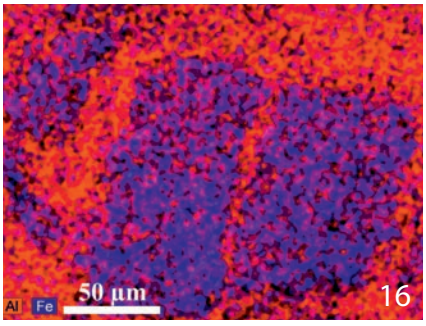


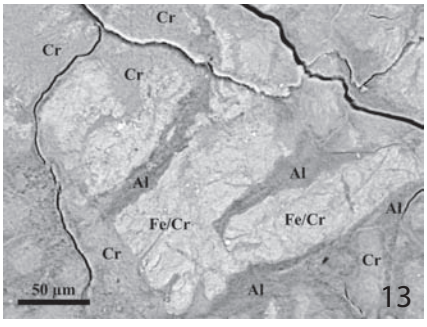
Abb. 11: Gefügeübersicht von Verwachsungen in der Kombination von beidellitischem Smectit, Volkonskoit und Nontronit. In den dunkelgrauen Bereichen (Al) dominiert der beidellitische Smectit, in den hellgrauen Flächen (Cr) sind überwiegend Volkonskoitlamellen vorhanden und in den grauweißen Flächen (Fe) vor allem Nontronit (REM BSE-Bild, Bildausschnitte in den Abbildungen 12 und 13).

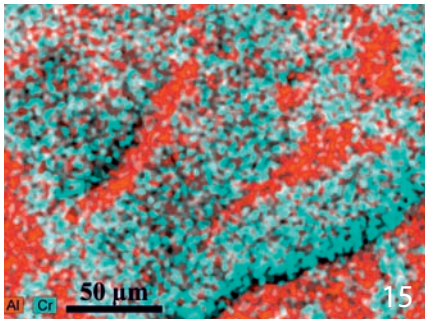
Fig. 11: Fabric of an intergrow of beidellitic smectite, volkonskoite and nontronite. Beidellitic smectite dominates in the dark-grey areas (Al), volkonskoite dominates in the light-grey areas (Cr) and (Fe) nontronite is the main component in the grey-white areas (SEM BSE-picture, parts of figure 11 in the figures 12 and 13).











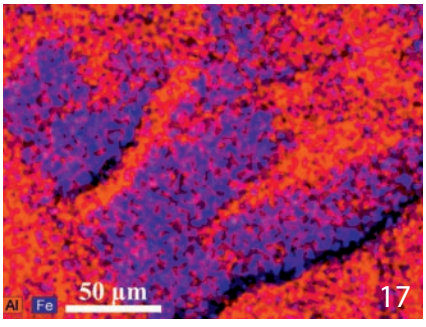


Abb. 12: Gefügeausschnitt aus Abbildung 11 (unterer rechter Bildrand). Der abgebildete Bereich besteht aus einer Verwachsung (Fe/Cr) von Volkonskoit (Cr) und Nontronit (Fe) in einer beidellitischen (Al) Umgebung (REM BSE-Bild).

Fig. 12: Part of the fabric of figure 11 (right bottom side of the picture). The SEM BSE-picture shows an intergrow (Fe/Cr) of volkonskoite (Cr) and nontronite (Fe) in a beidellitic matrix (Al).

Abb. 13: Gefügeausschnitt aus Abbildung 11 (Bildmitte). Der abgebildete Bereich besteht aus einer Verwachsung (Fe/Cr) von Volkonskoit (Cr) und überwiegend Nontronit (Fe) in einer teils beidellitischen (Al) teils volkonskoitischen (Cr) Umgebung (REM BSE-Bild).

Fig. 13: Part of the fabric of figure 11 (centre of the picture). The SEM BSE-picture shows an intergrow (Fe/Cr) of volkonskoite (Cr) and mainly nontronite (Fe) in a partially beidellitic (Al) or volkonskoitic matrix (Cr).

Abb. 14: Elementverteilung von Aluminium und Chrom zu Abbildung 12.

Fig. 14: Chemical element mapping of aluminium and chrome related to figure 12.

Abb. 15: Elementverteilung von Aluminium und Eisen zu Abbildung 12.

Fig. 15: Chemical element mapping of aluminium and iron related to figure 12.

Abb. 16: Elementverteilung von Aluminium und Chrom zu Abbildung 13.

Fig. 16: Chemical element mapping of aluminium and chrome related to figure 13.

Abb. 17: Elementverteilung von Aluminium und Eisen zu Abbildung 13.

Fig. 17: Chemical element mapping of aluminium and iron related to figure 13.

beidellitischen Komponente, von Nontronit und Volkonskoit als gesichert anzusehen. Dass zwischen diesen Mineralen, die alle zu den dioktaedrischen Smectiten gehören, Mischkristallbildungen vorhanden sind wird vermutet, kann aber aus den bereits dargelegten Gründen nicht nachgewiesen werden. In der Literatur sind sowohl Mischkristallbildungen zwischen Nontronit, Beidellit und Volkonskoit als auch Wechsellagerungsminerale beschrieben worden (z. B. Serdyushenko 1933, Newman 1987, Bailey 1988).

Funde von Nontronit sind aus verschiedenen Gegenden von Sachsen (z. B. Bautzen-Seidau in der Lausitz, Wolkenstein im Erzgebirge, Radeburg bei Meißen), insbesondere auch aus dem Döhlener Becken bekannt (Störr 1983, Kaden & Thalheim 1994, Thalheim et al. 1991). Nach den bei Bruhns (1886) sowie bei Dalmer et al. (1922) enthaltenen Beschreibungen der Bastitisierung des Porphyrites von Kesselsdorf ist anzunehmen, dass es sich hierbei ebenfalls um Nontronitbildungen handelt. Hier gibt es eine gute Übereinstimmung zu den partiell in den bentonitisierten Bereichen beobachteten nesterartigen, faserförmigen, dunkelgrünen Einlagerungen, die mitunter schon makroskopisch (auf jeden Fall aber im Lichtmikroskop) beobachten werden können.

Beidellitische Smectite (Beidellit und beidellitischer Montmorillonit) sind bisher vor allem im Zusammenhang mit den sächsischen Bentoniten beschrieben worden. Als Fundorte werden z. B. Mittelherwigsdorf und Ostritz in der Lausitz angegeben (Schomburg & Störr 1984, Henning & Störr 1986, Ullrich et al. 1988).

Für das Vorkommen von Volkonskoit gab es bisher in Sachsen keinen Nachweis. Auch in den Depots der Staatlichen Naturhistorischen Sammlungen, Museum für Mineralogie und Geologie Dresden sind keine Proben sächsischer chromhaltiger Smectite vorhanden (Thalheim, freundliche Mitteilung). Volkonskoit gehört wohl auch im globalen Maßstab zu den eher seltenen Mineralen (z. B. Jasmund & Lagaly 1993, Kossovskaja et al. 1996). Eine von Foord et al. (1987) veröffentlichte Zusammenstellung umfasste weltweit nur 21 beschriebene Fundorte, darunter ein deutscher (Groschlattengrün im Fichtelgebirge, Weiss et al. 1954, Hofmann et al. 1955). Nur vier der aufgeführten Volkonskoite werden von Foord et al. (1987) anhand der chemischen Zusammensetzung bestätigt, die restlichen werden als chromhaltige Smectite, Montmorillonite (auch Groschlattengrün) und Nontronite eingestuft. Die Bewertung erfolgte anhand der Definition des Volkonskoites als „a dioctahedral mineral of the smectite group containing chromium as the dominant trivalent (emphasis added) cation in the octahedral sheet“(Foord et al. 1987, 1988, Mackenzie 1988).

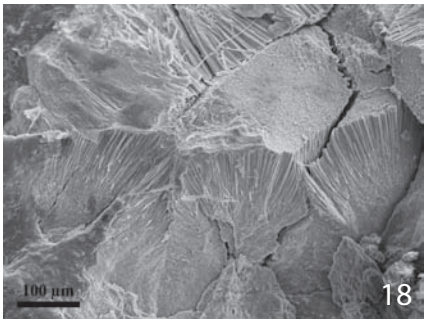
Die Erstbeschreibung dieses Minerals von einem Fundort „im Ochanskyi´schen Kreise des Gouvernements Perm“ (Typuslokalität) stammt von Kämmerer (1831). Er schreibt in seinen Mitteilungen an den Geheimen Rath v. Leonhard:

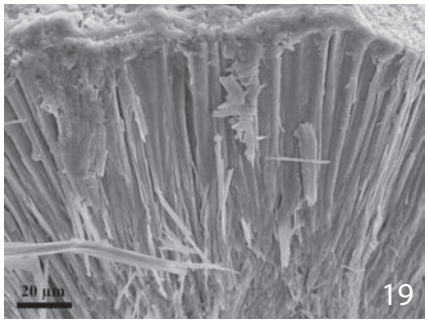
„Im vorigen Sommer wurde im Ochanskyi'schen Kreise des Gouvernements Perm ein neues Mineral entdeckt, das zu Ehren des Herrn Ministers des kaiserlichen Hofes, Fürsten Wolchonskoy, Wolchonskoit, benannt worden ist. Das Fossil ist derb, von blaugrüner Farbe, selbst an den Kanten nicht durchscheinend, Bruch unvollkommen muschelig; es fühlt sich etwas fettig an und klebt im frischen Bruche nur sehr wenig an den feuchten Lippen; Strich glänzend ohne die Farbe zu verändern.“

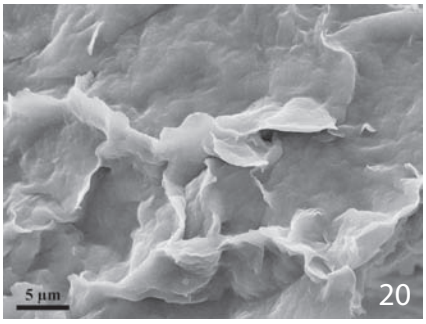
Kersten (1839) führte, nachdem Berthier (Berzelius 1835) das Material bereits teilweise chemisch charakterisiert hatte, eine der ersten nahezu vollständigen chemischen Analysen des Volkonskoites von der Typuslokalität durch. Allerdings fehlen auch hier noch die Alkalien und das Calcium. Das analysierte Material zeigt mit rund 10,4 % (angegeben als Eisenoxid) einen relativ hohen Eisenanteil, der auch hier auf nontronitische Anteile schließen lässt.

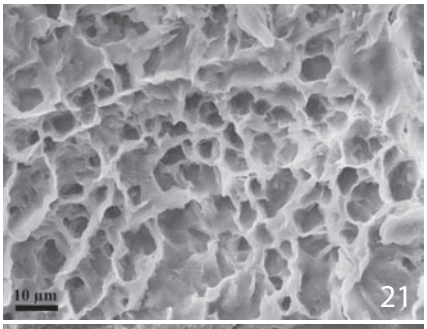
Die Charakteristik der in einigen Proben festgestellten Phasen mit einer unvollständigen Quellung lässt verschiedene Interpretationen zu:

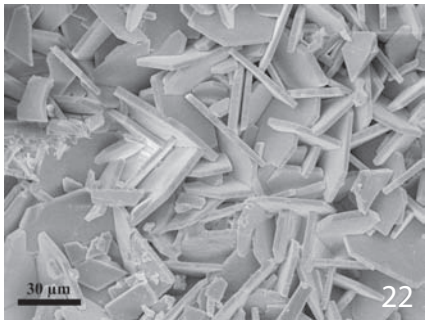
1. Das Vorhandensein der variablen d-Werte im lufttrockenen Zustand (Bande von ca. 10 bis 14,5 Å) und die Schichtaufweitung mit Ethylenglycol auf d-Werte noch unter 17 Å ist für unregelmäßige Illit/Glimmer-Smektit-Wechsellagerungen typisch. Der gemessene Schichtabstand von ca. 15,5 Å entspricht nach Tomita et al. (1988) etwa einem Anteil an Smectitschichten von ca. 80 %. Nach den Ergebnissen der chemischen Analysen könnten die Smectitschichten sowohl nontronitischen als auch

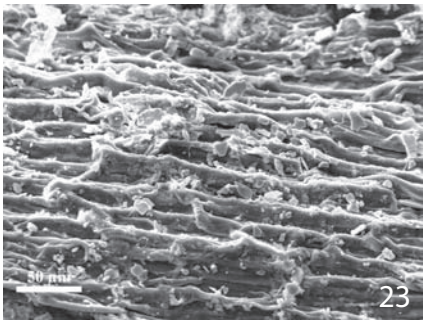












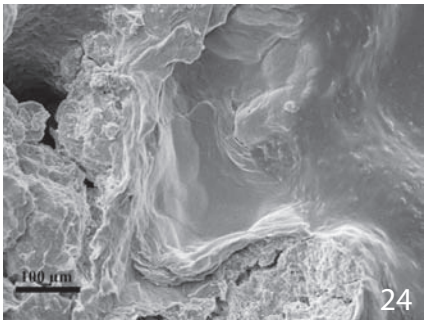


Abb. 18: Aggregate von leistenförmigen Nontronitkristallen, nesterartig angereichert, im bentonitisierten Porphyrit (REM SE-Bild).

Fig. 18: SEM SE-picture of aggregates of lath-shaped nontronite crystals in the altered porphyrite.

Abb. 19: Leistenförmige Nontronitkristalle (Ausschnitt aus Abbildung 18, REM SE-Bild).

Fig. 19: SEM SE-picture of lath-shaped nontronite crystals (part of figure 18).

Abb. 20: Blättchenförmige Morphologie der Smectite mit den typischen Quellungsmerkmalen („Knitterfalten") im Randbereich. Diese Ausbildung ist unabhängig von der chemischen Zusammensetzung in allen Proben zu beobachten (REM SE-Bild).

Fig. 20: Lamellar morphology of smectite with typical swelling features („crinkle marks") on the edge (SEM SE-picture).

Abb. 21: Netzartiges Gefüge der Smectite („honeycomb structures", REM SE-Bild).

Fig. 21: Honeycomb structures of smectites (SEM SE-picture).

Abb. 22: Oberfläche eines weißen röhrenartigen Hohlraumes in einer grünen tonigen Kluftfüllung - Verwachsung von idiomorphen Barytkristallen (REM SE-Bild).

Fig. 22: Surface of a white tubular cavity in green colored clayey fissure fillings; intergrow of idiomorphic baryte crystals (SEM SE-picture).

Abb. 23: Äußere Oberfläche eines ockerfarbenen röhrenartigen Hohlraumes eingelagert in eine grüne tonige Kluftfüllung - mit Baryt verwachsene gelartige tonige Substanz (REM SE-Bild).

Fig. 23: Outer surface of an ochreous tubular cavity in green colored clayey fissure fillings: intergrow of baryte and gel-like clayey material (SEM SE-picture).

Abb. 24: Innere Oberfläche eines ockerfarbenen röhrenartigen Hohlraumes mit gelartigen Abscheidungen eisenhaltiger beidellitischer Smectite, eingelagert in eine grüne tonige Kluftfüllung (REM SE-Bild).

Fig. 24: Inner surface of a ochreous tubular cavity in green colored clayey fissure fillings: precipitation of gel-like iron-bearing beidellitic smectite (SEM SE-picture).

beidellitischen Charakter haben (Tab. 5, Spalten 29 und 30).
2. Illit/Glimmer-Smectit-Wechsellagerungen kontrahieren jedoch nach der thermischen Behandlung vollständig auf ca. 9–10 Å. In den untersuchten Proben dokumentiert sich dies jedoch nur in einer deutlichen Intensitätserhöhung des 10-Å-Reflexes (Abb. 6).
3. Eine unvollständige Schichtkontraktion nach der thermischen Behandlung (Abb. 6, Reflex bei ca. 12 Å) wird in der Literatur nur für Vermiculite beschrieben (Moore & Reynolds 1997).
4. Der Versuch über eine Quellung mit Glyzerin eine vermiculitische Komponente in den Proben nachzuweisen war nicht erfolgreich. Es wurde nur eine weitere Erhöhung des d-Wertes der Wechsellagerung bis auf ca. 16,4 Å registriert. Reflexlagen mit niedrigeren d-Werten, die einer vermiculitischen Phase zugeordnet werden könnten, waren nicht vorhanden.
5. Für die Existenz des Vermiculites spricht der partiell hohe Magnesiumanteil in den Proben (Tab. 5, Spalte 30).
6. Ein weiterer Anhaltspunkt für das Vorhandensein einer vermiculitischen Komponente ergibt sich aus den thermoanalytischen Daten. Die Verbindung der endothermen Reaktion des Strukturzerfalles zwischen 800 und 900 °C mit einem deutlichen Masseverlust wurde auch bei einem zu Vergleichszwecken untersuchten Vermiculit (Palabora Mine, Republik Südafrika) festgestellt.

Es bleibt abzuwarten, ob bei veränderten Aufschlussverhältnissen neue derartige Proben anfallen, die eine weitergehende Identifizierung zulassen. Beim gegenwärtigen Kenntnisstand kann nur vermutet werden, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit ein unregelmäßiges Wechsellagerungsmineral vorhanden ist, dessen Komponenten Illit/Glimmer, Smectit (dominierender Schichtanteil) und evtl. Vermiculit sind. Die Entstehung des Vermiculites ist aus der Umbildung des im Porphyrit vorhandenen Biotites erklärbar.

Nach den bereits früher in der Literatur beschriebenen Merkmalen (Beeger & Quellmalz 1994, Thalheim et al. 1991) ist davon auszugehen, dass die Bildung der Smectite des Porphyrites hydrothermal erfolgt ist. Als wichtiges Indiz hierfür galten in der Vergangenheit vor allem die in vielen Bereichen des Gesteines beobachtbaren Bleichungshöfe. Aber auch eine Reihe von hydrothermalen Mineralbildungen (Calcit, Dolomit, Baryt, Kupfererze) sind mit Funden belegt. Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen kommen weitere wichtige Beobachtungen dazu:

1. Die Bildung gangförmiger Barytmineralisationen in der Kluftschar an die auch die Bentonitisierungserscheinungen des Porphyrites gebunden sind.
2. Die gemeinsame Abscheidung von Baryt mit Smectiten; die Smectite nesterförmig im Baryt eingelagert und am Salband des Ganges lokalisiert.
3. Das Auftreten von Baryt- und Kalifeldspatblasten in den tonigen Kluft- und Spaltenfüllungen sowie nesterartige Barytabscheidungen in den tonigen Zersätzen.
4. Existenz eines Netzes von weißen und ockerfarbenen, an den Oberflächen strukturierten, röhrenartigen Hohlräumen, das in die tonigen Bildungen eingelagert ist. Dieses Netz soll anhand von REM/ESMA-Untersuchungen noch etwas genauer beschrieben werden.

Die weißen Röhren bestehen hauptsächlich aus Verwachsungen von idiomorphen Barytkristallen (Abb. 22) ohne weitere Beimengungen toniger Substanz. Die ockerfarbenen Röhren sind nur im Außenbereich strukturiert (Abb. 23) und teilweise von idiomorphen Barytkristallen überkrustet. Die chemischen Analysen zeigen an, dass es sich um Verwachsungen von Baryt mit toniger Matrix handelt. Das smectitische Material weist in den meisten Fällen eine beidellitische Zusammensetzung mit Fe_2O_3-Anteilen bis zu 10 % auf. Punktuell wurden Chrom (< 1 % Cr_2O_3) und Vanadium (bis 3 % V_2O_5) detektiert. Lokal wurden außerdem sehr hohe SiO_2-Gehalte (70 bis 80 %) gemessen. Im Inneren sind glatte Oberflächen gelartiger Bildungen zu beobachten (Abb. 24). Die chemische Zusammensetzung entspricht hier durchgängig einem eisenreichen beidellitischen Smectit mit Spuren von Chrom, Vanadium und zum Teil auch Kupfer. Es wird angenommen, dass in diesen Röhren jene Lösungen zirkulierten, aus denen einerseits die Abscheidung der tonigen Kluftfüllungen erfolgte und von denen ande-

rerseits die Bentonitisierung der Feldspäte des Porphyrites ausging. Die Bildung der Smectite ist dabei – zumindest teilweise – über eine gelartige Zwischenphase erfolgt. Nach Kossovskaja et al. (1996) sind vor allem die in einzelnen Bereichen gefundenen netzartigen Gefüge (Abb. 21, „honeycomb structures" nach Andrews 1980) typisch für die Smectitbildung aus gelartigen Abscheidungen.

Die für die Entstehung des beidellitischen Smectites und des Nontronites nötigen chemischen Elemente stehen im Porphyrit selbst in ausreichendem Maße zur Verfügung. Bleibt die Frage nach der Herkunft des Chroms für die Bildung des Volkonskoites zu stellen. Spurenelementuntersuchungen am unveränderten „frischen" Porphyrit (Totalaufschluss und im Mikrobereich am Dünnschliff bzw. Anschliff) ergaben Gehalte von maximal 84 ppm Chrom

As = 124 ppm	Ba = 980 ppm
Co = 18 ppm	Cu = 13 ppm
Ni = 63 ppm	Pb = 17 ppm
Sr = 291 ppm	V = 63 ppm
Zn = 96 ppm	Zr = 201 ppm.

Insofern ist eine Mobilisierung des Chroms aus dem Gestein selbst als Quelle für die Volkonskoitbildung wohl auszuschließen. Weitere Daten geochemischer Untersuchungen am Porphyrit, die von Mathé (1961) vorgelegt wurden, ergeben hinsichtlich des Chroms keine Anhaltspunkte. Es wird jedoch in der genannten Arbeit darauf hingewiesen, dass die Blei- und Vanadiumgehalte (Pb bis 100 ppm; V bis 150 ppm) etwa das 3- bis 4-fache der für diese Gesteine typischen Gehalte erreichen.

Die Zufuhr der hydrothermalen chrom- und vanadiumhaltigen Wässer könnte durch die im NE-Teil des Döhlener Beckens befindliche – NW-SE streichende – Störungszone „Roter Ochse" (Beeger & Quellmalz 1994) erfolgt sein, als deren Ausläufer die im Steinbruch aufgeschlossene Kluftschar durchaus interpretiert werden kann.

Ein Zusammenhang mit den in den Steinkohlen des Döhlener Beckens auftretenden Vererzungen (z. B. Galenit) ist nicht anzunehmen, da diese als synsedimentäre Bildungen (Sulfidfällung in sapropelistischer Fazies) eingestuft werden (Mathe 1961).

Danksagung

Für die Möglichkeit der Steinbruchbefahrung, Probenahme und Einsichtnahme in den Erkundungsbericht danken die Autoren des Beitrages dem Betriebsleiter Herrn Stockmann von der Wilhelm Faber GmbH & Co. Bauunternehmung KG Wilsdruff. Für die Bereitstellung von Vergleichsproben (Volkonskoit und Nontronit) und die Recherchen in den Sammlungen danken wir ganz herzlich Herrn Prof. Thalheim von den Staatlichen Naturhistorischen Sammlungen, Museum für Mineralogie und Geologie Dresden. Die chemische Untersuchung einer Porphyritprobe mittels RFA wurde dankenswerterweise von Dr. S. Goldstein von der Staatlichen Umweltbetriebsgesellschaft Sachsen Neusörnewitz durchgeführt.

Literatur

Andrews, A. J. (1980): Saponite and celadonite in layer basalts, DSOPLeg. 37. – Contrib. Mineral. Petrol., **73**: 323–340, Berlin, Heidelberg, New York.

Bailey, S. W. (1988): Hydrous phyllosilicates. – Reviews in Mineralogy, 19: 1–719, Chelsea, Michigan (Book Crafters).

Beeger, D.; Quellmalz, W. (1994): Dresden und Umgebung. – Sammlung Geologischer Führer, **87**: 1–205, Stuttgart (Gebrüder Bornträger).

Berzelius, J. (1835): Wolchonskoit. – Jahres-Bericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften, XIV: 196, Tübingen.

Bruhns, W. (1886): Der Porphyritzug von Wilsdruff-Potschappel. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der philossophischen Doctorwürde an der Universität Leipzig: 28. S., Berlin (J. F. Starcke).

Dalmer, K.; Beck, R.; Pietzsch, K. (1922): Erläuterungen zur geologischen Karte von Sachsen im Maßstab 1 : 25000, Blatt Nr. **65** Wilsdruff. – 2. Aufl., Herausgegeben vom Finanzministerium Leipzig, Dresden (G. A. Kaufmann's Buchhandlung).

Foord, E. F.; Starkey, H. C.; Taggart, J. E.; Shawe, D. R. (1987): Reassessment of the volkonskoite-chromian smectite nomenclature problem. – Clays and Clay Minerals, **35**: 139–149, New York.

Foord, E. F.; Starkey, H. C.; Taggart, J. E.; Shawe, D. R. (1988): Reassessment of the volkonskoite-chromian smectite nomenclature problem: Reply. – Clays and Clay Minerals, **36**: 541, New York.

Henning, K. H.; Störr, M. (1986): Electron micrographs (TEM, SEM) of clays and clay minerals. – Schriftenreihe für geologische Wissenschaften, 25: 1–350, Berlin

Hofmann, U.; Weiss, A.; Koch, G.; Mehler, A; Schulz, A. (1955): Intracristalline swelling, cation exchange, and anion exchange of minerals of the montmorillonite group and of kaolinite. – Proc. 4th Conf. Clays and Clay Miner.: 273–287.

Ivanova, V. P. (1961): Termogrammi mineralov. – Zap. Vsesojuz. Min. Obsc., **90**: 50–90, Moskva/Leningrad.

Jasmund, K.; Lagaly, G. (1993): Tonminerale und Tone: 490 S., Darmstadt (Steinkopff Verlag).

Kaden, M. & Thalheim, K. (1994): Minerale und Fundort in Sachsen. Eine Literaturauswertung 1989 bis 1993. – Schriften des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden, **5**: 1–468, Dresden.

Kämmerer, A. (1831): Auszüge aus Briefen. Mittheilungen an den Geheimen Rath v. Leonhard gerichtet. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, **2**: 420, Stuttgart.

Kersten, C. (1839): XVIL. Chemische Untersuchung des Wolchonskoites. – Ann. Phys. Chem., **47**: 489–493.

Kossovskaya, A. G.; Gomonkov, A. V.; Gorkova, N. V.; Shchepetova, E. V. (1996): New Data on the Composition and Genesis of Volkonskoite. – Lithology and Mineral Resources, **31**: 129–138, Moskau.

Köster, H. (1995): Die röntgenographische Identifizierung der silikatischen Tonminerale und beigemengter Akzessorien in Texturpräparaten. – Z. geol. Wiss., **23**: 287–300, Berlin.

Le Maitre (2004): Igneous Rocks. A Classification and glossary of Terms: 2nd Edition: 236 S., Cambridge (Cambridge University Press).

Mackenzie, R. C. (1957): The Differential Thermal Investigation of Clays: 456 S., London (Mineralogical Society, Clay Minerals Group).

Mackenzie, R. C. (1970): Differential Thermal Analysis. Vol. **1**: 775 S., London, New York (Academic Press).

Mackenzie, R. C. (1972): Differential Thermal Analysis. Vol. **2**: 607 S., London, New York (Academic Press).

Mackenzie, R. C. (1988): Reassessment of the volkonskoite-chromian smectite nomenclature problem: Comment. – Clays and Clay Minerals, **36**: 540, New York.

Mathé, G. (1961): Geochemische und lagerstättengenetische Untersuchungen an erzführenden Kohlen des Döhlener Beckens. – Diplomarbeit, Bergakademie Freiberg 1961

Moore, D. M.; Reynolds, R. C. (1997): X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals: 378 S., Oxford, New York (Oxford University Press).

Naumann, C. F. (1845): Erläuterungen zu der geognostischen Karte des Königreiches Sachsen und der angränzenden Länderabtheilungen. Heft **5**. Erläuterungen zu Section X Umgegend von Dresden und Meißen: 495 S., Dresden und Leipzig (Arnoldische Buchhandlung).

Newman, A. C. D. (1987): Chemistry of Clays and Clay Minerals. – Mineralogical Society Monograph, **6**: 1–469, Harlow (Longman Scientific & Technical).

Pietzsch, K. (1962): Geologie von Sachsen: 870 S., Berlin (VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften).

Reichel, W. (1970): Stratigraphie, Paläogeographie und Tektonik des Döhlener Beckens bei Dresden. - Abh. Staatl. Mus. Mineral. Geol. Dresden, **17**: 1-133, Leipzig.

Schomburg, J.; Störr, M. (1984): Dilatometerkurvenatlas der Tonmineralsohstoffe. – Schriftenreihe für geologische Wissenschaften, **21**: 1–88, Berlin.

Serdyushenko, D. F. (1933): Chromnontronite und ihre genetische Beziehung zu den Serpentiniten des nördlichen Kaukasus (russ.). – Zap. Vses. Miner. Obsch., LXII: 376–391.

Smykatz-Kloss, W. (1974): Differential Thermal Analysis: 185 S., Berlin, Heidelberg, New York (Springer Verlag).

Smykatz-Kloss, W. (1982): Application of differential thermal analysis in mineralogy. – J. of Thermal Analysis, **23:** 15–44, Amsterdam.

Störr, M. (1983): Die Kaolinlagerstätten der Deutschen Demokratischen Republik. – Schriftenreihe für geologische Wissenschaften, **18**: 1-226, Berlin.

Strunz, H.; Nickel, E. H. (2001): Strunz Mineralogical Tables. 9th Edition: 870 S., Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung / Nägele u. Obermiller).

Thalheim, K., Reichel, W. & Witzke, T. (1991): Die Minerale des Döhlener Beckens. – Schriften des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden, **3**: 1–130, Dresden.

Tomita, K.; Takahashi, H.; Watanabe, T. (1988): Quantification Curves for Mica/Smectite Interstratifications by X-Ray Powder Diffraction. – Clays and Clay Minerals, **36**: 258–262, New York.

Ullrich, B.; Dressler E.; Galiläer, L. (1988): Zur Geologie der Lagerstätten von Smektitrohstoffen in der DDR. – Zeitschrift für angewandte Geologie, **34**: 129–134, Berlin.

Ullrich, B. (1994): Dilatometrische Untersuchungen an Schichtsilikaten und Schichtsilikatgesteinen. Teil 3 – Quellfähige Dreischichtsilikate und Palygorskit. – Handbuch der Keramik, **309**: 12–20, Freiburg i. Br..

Weiss, A., Koch, G.; Hofmann, U. (1954): Zur Kenntnis des Wolchonskoits. – Berichte Deutsch. Keram. Gesell., **31**: 301–305.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Geologica Saxonica - Journal of Central European Geology

Jahr/Year: 2007

Band/Volume: 52-53

Autor(en)/Author(s): Dietze Michael, Haubrich Frank, Klinger Thomas, Ullrich Bernd

Artikel/Article: Smectite im Porphyrit von Wurgwitz bei Dresden (Sachsen, Deutschland) 97-115