



# Zur Mineralogie von Erdbrandgesteinen aus Südbrandenburg, Ostsachsen und Nordböhmen und zur Herkunft der Elbgerölle

Klaus-Jürgen Hüniger und Dieter Schwarz, Cottbus

## Wenn die Kohleflöze brennen

Ein Szenario, welches nicht nur in vorgeschichtlicher Zeit stattgefunden hat, sondern auch heute noch in den jeweiligen Regionen des Kohleabbaus zum Teil verheerende, umweltzerstörende Auswirkungen hat, sind Brände von Kohleflözen. Insbesondere unter den Gesichtspunkten der Freisetzung von klimaschädlichen Gasen und der Zerstörung ganzer Landschaften durch das Einbrechen des über den Flözen liegenden Deckgesteins sind solche Ereignisse außerordentlich prägend. Hier soll es aber nicht um das Brandereignis der Kohleflöze gehen, sondern um die Auswirkungen der Wärmeentwicklung auf das die Flöze umgebende Gestein.

Oberflächennahe Kohleflöze können durch natürliche Ursachen wie spontane Selbstentzündung, Blitzeinschläge oder Waldbrände in Brand geraten. Menschliche Aktivitäten – heute weltweit eine der häufigsten Ursachen für Kohlefeuer – können für das Pliozän ausgeschlossen werden. Durch die Hitze des sich schnell ausbreitenden Flözbrandes werden die darüber liegenden Sedimentgesteine geröstet, wobei gelbe und rote „Klinker“ entstehen. Das kann bis zum Schmelzen der Gesteine und der Bildung von sogenannter Paralava führen. Dieser Prozess ist ein Sonderfall der Kontaktmetamorphose und wird als Pyrometamorphose bezeichnet. Für weitere Ausführungen hierzu siehe Barthel & Rößler (1998) und Grapes (2011). Für dieses Gestein sind seit einigen Jahrhunderten solche Namen wie Porzellanit bzw. Porzellanjaspis im Gebrauch, die ausdrücken sollen, dass es sich bei den Gesteinen um getemperte Materialien handelt, wie sie sich durchaus auch bei keramischen Erzeugnissen bilden können, die aber auch anzeigen, dass solche Gesteine optisch durchaus einen ansprechenden Anblick bieten. Für diese Gesteine soll im Weiteren der Begriff Erdbrandgestein oder auch aus dem Englischen combustion pyrometamorphite (burnt or fused rocks) verwendet werden.

Ziel der nachfolgend dargestellten Untersuchungen ist es, an Erdbrandgesteinen von vier Fundorten/ Entstehungsorten/Ablagerungsorten anhand des Mineralbestandes, der chemischen Zusammensetzung und des Gefüges Unterschiede bzw. auch Gemeinsamkeiten zwischen den Gesteinen aufzuzeigen. Mit diesen Kennwerten wird versucht, Aussagen zur Herkunft von Elbgeröllen abzuleiten.

## Was sind Erdbrandgesteine?

Erdbrandgesteine sind Pyrometamorphite und gehören demnach zur großen Gruppe der metamorphen Gesteine. Es sind Gesteine, die durch Kontakt mit zum Beispiel Magmen im Inneren der Erdkruste oder eben auch durch den Kontakt mit brennenden Kohleflözen thermisch umgewandelt worden sind. Es handelt sich somit um eine spezielle Form der Kontaktmetamorphose, die bei moderaten Drücken, aber durchaus sehr hohen Temperaturen abgelaufen ist. Im Unterschied zur Möglichkeit der Kontaktmetamorphose mit Magmen, bei der es zu einer Durchdringung des angrenzenden Gesteins durch das heiße Magma kommt, erfolgt die Metamorphose bei brennenden Kohleflözen nahezu allein durch die hohen Temperaturen, die bei einem Flözbrand entstehen können. Die verbrannte Kohle hinterlässt Hohlräume durch das Freiwerden der Gase, und das metamorphe Gestein bleibt als Zeuge und Relikt des Ereignisses übrig. Auf dem Gebiet der Niederlausitz gibt es hierzu ein Beispiel in Form des sogenannten „Römerkellers“, eines größeren Hohlraumes, der gebildet und stabilisiert wurde durch das gefrittete umliegende Gestein. Kein Geringerer als Virchow (1886) erkannte bei seinem Besuch der Region als Erster die natürliche Bildung dieser Formation, in dem er feststellte, dass das Gestein das Aussehen gebrannten

### Anschriften der Autoren

apl. Prof. Dr. Dr. Klaus-Jürgen Hüniger, BTU Cottbus – Senftenberg, Direktor FMPA, Leiter FG Baustoffe und Bauchemie,  
Konrad-Wachsmann-Allee 11, 03046 Cottbus

Dr. Dieter Schwarz, Juri-Gagarin-Str. 13, 03046 Cottbus

Tons hat und somit starker Glut ausgesetzt gewesen sein muss. Auch Hess von Wichdorf (1921) äußerte sich ähnlich und sah im Vorkommen der Erdbrandgesteine ein wichtiges schützenswertes geologisches Naturdenkmal der Niederlausitz.

Wie bei den metamorphen Gesteinen können die Ausgangsgesteine für die Bildung der Erdbrandgesteine äußerst vielfältig sein. Da die Prozesse mehr an der Erdoberfläche oder nur wenige 100 m darunter ablaufen, sind die vor allem den tonhaltigen Sedimentgesteinen zuzuordnen.

Geologen und auch Sammler sind von solchen Gesteinen insbesondere auch dadurch fasziniert, weil sie in den unterschiedlichsten Farben und Farbnuancen auftreten. Dahinter verbergen sich zwei Ursachen: einmal ein unterschiedlicher Chemismus im Ausgangsgestein, zum anderen die unterschiedlichen Temperaturen, die, abhängig von der Entfernung des Gesteins vom Brandherd, auf das Gestein eingewirkt haben. Das rein optische Unterscheidungsmerkmal der Färbung soll im Weiteren auch die Grundlage für die Auswahl der untersuchten Erdbrandgesteine sein.

## Erdbrandgesteine aus Historie und Gegenwart

Grosser (1935) berichtete in einer umfangreichen Arbeit über die Flözbrandgesteine im Bahneinschnitt bei Oberau. Er regte dabei an, diese Gesteine in Analogie zu denen aus Nordböhmen, Porzellanfels zu nennen – eine Bezeichnung, die den metamorphen Charakter zum Ausdruck bringen soll. Einerseits beschäftigte sich Grosser mit den Möglichkeiten der Entstehung von Flözbränden, rückblickend bis in das Mittelalter, andererseits aber auch mit dem Gefüge und der Zusammensetzung von in unmittelbarer Nähe solcher Brände befindlicher verfestigter Ton- bzw. Lockersedimente, sowohl chemisch, als auch mineralogisch. Damit legte er eine in der Breite und Tiefe bis heute immer noch sehr wichtige Arbeit zu den Erdbrandgesteinen vor. Er beschrieb die große Bandbreite der Härte der Porzellanfelse, von glasigen Varietäten mit hoher Härte und Sprödigkeit bis Härte 9 bis hin zu sehr weichen Gesteinen, die sich sogar schneiden lassen. Die vorherrschende Farbe des Oberauer Porzellanfels ist grau und entspricht nach dieser Beschreibung der Probe P4 aus Tabelle 3 (Gesteinsproben der aktuellen Untersuchungen). Das graue Gestein wurde von Grosser chemisch analysiert. Mit knapp 60 Masse-%  $\text{SiO}_2$  und ca. 30 Masse-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bestehen ca. 90% des Gesteins aus Silikaten, Aluminium- bzw. Alumosilikaten. Weiterhin enthalten sind nachweisbare Gehalte an Eisenoxiden (2- und 3-wertiges Eisen), Magnesium, Kalium und Titan. Auch bei den in diesem Beitrag untersuchten Erdbrandgesteinen wird immer Kalium und Titan detektiert. Die Herkunft von Titan ist nach Grosser einem Verwitterungsprozess und einer damit einhergehenden Anreicherung geschuldet. Dass was die Arbeit von Grosser auch heute noch sehr interessant gestaltet, ist die Anwendung der sogenannten Äquivalentnorm-Methode nach Niggli (in C. Burri 1959), mit deren Hilfe er die chemische Zusammensetzung in eine mineralogische umrechnete. Für den grauen Oberauer Porzellanfels mit der o. a. Zusammensetzung errechnete Grosser folgenden Mineralbestand:

46,5% Sillimanit, 28% Quarz, 14% Feldspat (identifiziert als Orthoklas), 8,5% Hypersthen, 2% Magnetit, 1% Rutil.

Für die weitere Auswertung wichtig ist Grosser's Nebensatz: Zit.: „Nur 38% Sillimanit, 4% Magnetit aber 15% Cordierit erhält man, wenn aus dem vorhandenen Magnesium nicht Hypersthen sondern Cordierit (Mg) errechnet wird.“

Abb. 1 zeigt die Originaltabelle von Grosser unter Berücksichtigung von drei verschiedenen Berechnungsmöglichkeiten.

Tabelle 3 b

	a	b	c
Sillimanit	46 1/2	38	34 1/2
Quarz <sup>1</sup>	28	28	26
Cordierit	—	15	22 1/2
Feldspat	14	14	14
Hypersthen	8 1/2	—	—
Magnetit	2	4	2
Rutil	1	1	1

Abb. 1 Zusammenstellung der Ergebnisse der 3 Berechnungsmöglichkeiten zur mineralogische Phasenanalyse des grauen Erdbrandgesteins Oberau (nach Grosser 1935).

Andererseits misslang der Versuch, den errechneten Mineralbestand über mikroskopische Methoden tatsächlich auch nachzuweisen. Quarzbruchstücke, Eisenglanz und Chalcedon ließen sich wohl noch finden, dagegen war es auch bei stärkster Vergrößerung nicht möglich, die übrige Masse aufzulösen. Auch hier soll Grosser zitiert werden: Zit.: „Zum Teil ist sie offenbar glasig, zum Teil besteht sie aus feinsten kaum 1 µm großen Kriställchen, die beim Drehen des Tisches innerhalb kleiner Fehler gleichmäßig auslöschen und aufhellen.“ Da auch in dem vorliegenden Beitrag das Gefüge mittels Lichtmikroskopie unter gekreuzten Polarisatoren begutachtet wird, soll diese wichtige Aussage hier erwähnt werden.

Zuletzt beschäftigte sich Grosser mit der Frage nach der Bildung des Porzellanfels und gibt abschließend einen Temperaturbereich von 400–600°C an bei einer zeitlichen Einwirkung von 50 bis 100 Jahren. In seiner Arbeit hat Grosser auch auf fehlende analytische Vergleiche mit den Erdbrandgesteinen anderer Fundorte hingewiesen. Die Machbarkeit der Vergleiche auf der Grundlage ausschließlich chemischer Daten bezweifelte er, hingegen: Zit.: „...sie sind über die petrografische Auswertung vorliegender Dünnschliffe möglich.“

Flözbrände sind in vielen Steinkohlenrevieren anzutreffen, was u. a. bei Witzke (1996) nachgelesen werden kann. Dabei kommt es neben Gasfreisetzungen auch zur Neubildung von Mineralen. Witzke hat sich damit sehr intensiv beschäftigt und dabei das Revier Zwickau-Oelsnitz, in dem seit dem 15. Jahrhundert Gruben- und Haldenbrände bekannt sind, umfassend untersucht. Für die Entstehung machte er verschiedene Ursachen verantwortlich. Insbesondere ist die Oxidation von zwei- zu dreiwertigem Eisen und Sulfid- zu Sulfat unter bakterieller Mitwirkung ein exothermer Prozess, der neben der Mitwirkung anderen Mechanismen zur spontanen Entstehung von Schwelbränden führen kann. Zit.: „Ist der Brand ausgebrochen, kann er mehrere Jahrzehnte andauern und bis zur Aufschmelzung von Gesteinen bei Temperaturen von über 1000°C führen.“ Diese Aussage ist wichtig hinsichtlich der Bestätigung eines durchaus sehr hohen Temperaturbereiches, der bei Flözbränden entstehen kann. Infolge der Brände konnte Witzke auf Halden in Oelsnitz so typische Minerale, wie Mullit, Indialit neben Magnetit und Hämatit nachweisen. Insbesondere haben sich auch tschechische Autoren mit der Beschaffenheit der Erdbrandgesteine befasst. Aus verschiedenen Quellen sind in der Tabelle 1 einige chemische Analysen von Erdbrandgesteinen zusammengestellt.

**Tabelle 1** | Chemische Zusammensetzung verschiedener gebrannter Tone (Erdbrandgesteine), Daten quantitativer Analysen verschiedener Autoren, Angaben in Masseanteil (Gew%)

	Porzellanit Oberau	Porzellanit gelbgrün Nordböhmen	Porzellanit grau, kompakt Nordböhmen	Porzellanit Želénky, Nordböhmen 4 Analysen, Bereich von bis	
SiO <sub>2</sub>	58,84	56,69	68,15	56,69	66,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,78	30,17	19,18	19,80	30,17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,31	3,31	3,48	3,00	7,90
TiO <sub>2</sub>	1,23	1,93	1,11	1,11	1,93
MgO	2,07	0,91	0,89	0,82	1,37
CaO	0,05	0,28	0,87	0,28	1,03
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,48	0,29	0,26	0,48
K <sub>2</sub> O	2,32	2,86	1,88	1,90	2,90
MnO	0,03	0,02	0,03	0,01	0,04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,61	0,27	0,27	0,65
SO <sub>3</sub>		0,66	0,88	0,23	0,94
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01				
FeO	2,18				
CO <sub>2</sub>	0,03				
H <sub>2</sub> O+	0,19				
H <sub>2</sub> O-	0,03				
	Grosser 1935: 104	Bouška, Dvořák 1997: 106		Žáček et al. 2005: 624	

Es existiert darüber hinaus ein Laborbericht von Zelenka et al. (1995), der für einige typische Erdbrandgesteine aus dem Nordböhmischem Becken mineralogische und chemische Zusammensetzungen angibt. Insgesamt wurden 13 Gesteine (2 von Želénky, 4 Gesteine von Lužice-Dobřice und 7 Gesteine von Nechvalice) analysiert.

Tabelle 2 enthält die chemischen Zusammensetzungen, die doch recht variabel in den Gehalten an den Hauptoxiden  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sind. An Mineralen wurden nachgewiesen: Cristobalit, in Nechvalice auch Tridymit, Mullit hauptsächlich in Lužice-Dobrčice, sowie Cordierit und Hämatit.

**Tabelle 2** | Chemische Zusammensetzung nordböhmischer Erdbrandgesteine  
(oxidische Bestandteile nach Zelenka et al. 1995)

Probe	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MgO	CaO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	MnO	$\text{TiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SO}_3$	getrocknet 105°C	Glühverlust 1000°C
	Angaben in M.-%												
Ze1	47,64	31,85	2,04	0,29	0,76	0,50	0,73	0,03	5,89	0,65	0,28	11,89	9,13
Ze3	66,70	16,36	7,51	1,03	1,27	0,85	2,82	0,09	0,95	0,57	0,27	0,43	1,23
Dobr2	68,22	20,18	2,41	0,51	0,61	0,42	2,72	0,01	2,00	0,50	0,41	0,41	1,06
Dobr3	89,37	4,45	1,28	0,12	0,67	0,07	0,44	3,00	0,34	0,32	0,17	0,21	0,49
Dobr4	56,69	30,17	3,31	0,91	0,28	0,48	2,86	0,02	1,93	0,61	0,66	0,85	1,36
Dobr6	44,54	19,89	25,00	0,82	0,55	1,33	1,65	0,59	1,50	0,68	0,61	0,65	2,54
Nech1	68,15	19,18	3,48	0,89	0,87	0,29	1,88	0,03	1,11	0,27	0,88	3,64	3,91
Nech2	66,98	18,55	3,04	0,82	1,03	0,26	2,82	0,01	1,46	0,35	0,37	3,38	3,02
Nech3	60,00	19,38	7,90	1,37	0,77	0,42	2,99	0,12	1,71	0,45	0,94	0,44	1,88
Nech4	65,86	19,98	4,25	1,33	0,76	0,38	2,84	0,04	1,22	0,41	0,22	0,63	2,00
Nech5	65,46	19,36	3,03	0,72	0,80	0,83	1,61	0,01	1,96	0,32	0,75	1,55	5,45
Nech6	64,04	20,70	3,25	0,98	0,79	0,28	1,88	0,06	1,21	0,22	0,56	5,64	5,95
Nech7	61,06	21,15	3,36	1,03	0,77	0,37	1,66	3,00	1,40	0,17	1,01	5,70	8,31

Dobr 4: Porzellanit gelbgrün; Dobr 6: Porzellanit schlackeartig; Nech 1: Porzellanit grau, gesintert;  
Nech 2: Porzellanit graublau, gesintert; Nech 3: Porzellanit rotbraun, schwach gesintert; Zele 1 und 3;  
Dobr 2 und 3; Nech 4 bis 7: Lehm, Ton und Sand.

Betrachtet man des Weiteren die Zusammensetzung von Erdbrandgesteinen aus anderen Regionen der Welt, so gibt es eine Veröffentlichung in einem Tagungsband zur Geophysik der Polargebiete von Estrada et al. (2006). Darin ist zu lesen, dass der südliche Teil von Ellesmere Island im Gebiet des Vendom Fjords durch paläozoische Ablagerungen gekennzeichnet ist. Die Tertiärsedimente bestehen in der Regel aus un- oder schwach verfestigten dunklen Tonen, Silten und Sanden mit zwischengeschalteten zentimeter- bis metermächtigen Kohleflözen (Mattbraunkohle). Innerhalb einiger Vorkommen wurden Hügel bis zu 100 m Durchmesser entdeckt, die durch intensive rötliche, orange und gelbe Farbtöne auffallen und die aus verfestigten, gebrannten Sedimenten bestehen. Im Zentrum befinden sich schwarze, oft blasenreiche lavaähnliche Gesteine. Diese Gesteine sind nicht als Folge vulkanischer Tätigkeit entstanden, sondern durch Kohleflözbrände. In den silikatischen Paralaven sind Minerale zu finden, die für den Hochtemperatur-Niedrigdruck-Bereich typisch sind. In erster Linie sind es Minerale der Cordierit-Gruppe (Sekaninait, Indialit), die im Dünnschliff – trotz sehr geringer Korngröße – durch intensiven Pleochroismus (farblos bis violettblau) auffallen. Weiterhin treten Tridymit, vereinzelt auch Cristobalit, beides Hochtemperatur-Modifikationen des Quarzes, Mullit, verschiedene Spinelle, Glas, Pseudobrookit, selten gediegen Eisen auf. Sulfide wie Markasit und Pyrit sowie Zirkon stammen vermutlich aus dem nicht geschmolzenen Altbestand. In den Klinkern dominieren Quarz und Opal, weiterhin sind Feldspat, Mullit, Cordierit-Minerale, Spinelle, Hämatit sowie Pseudobrookit vertreten. Untersuchungen ergaben, dass die Flöze vor ca. 3 Ma gebrannt haben; die Ursache war möglicherweise eine Selbstentzündung der Kohle infolge exothermer Reaktionen verbunden mit einer Sauerstoffzufuhr. Aus diesen Angaben muss geschlussfolgert werden, dass die hier erreichte Temperatur an die 1000°C betrug, wahrscheinlich sogar noch höher lag.

Auch Zoell & Tropper (2013) berichten über ein Brandereignis in Südtirol, in dessen Ergebnis es zur Bildung von Hochtemperaturphasen durch eine pyrometamorphe Umwandlung von Quarzphylliten gekommen ist. Sie führten mineralogisch-petrologische Untersuchungen durch, wobei bei der Phasenidentifizierung die Rasterelektronenmikroskopie im BSE-Modus und die Mikrosonde herangezogen wurden. Es konnten somit Minera-

le und deren Verwachsungen dargestellt und die Bildung von Spinell, Olivin, Titanit, Ilmenit und Magnetit beobachtet werden. Aus dieser Mineralparagenese schlossen sie auf eine relativ kurze und nicht allzu intensive Hitzeeinwirkung von bis zu 900°C. Das Brandereignis muss demnach nicht zwingend mit einem Kohleflözbrand zusammenhängen; die Autoren machten eher einen Gebäudebrand verantwortlich. An einem doch recht lokal und auch zeitlich eng begrenzten Gebiet und Prozess konnten trotzdem Mineralumwandlungen festgestellt werden, die konkreten Umwandlungsmechanismen und Umwandlungstemperaturen zugeordnet werden konnten. Bei der Literaturübersicht dürfen Untersuchungen chinesischer Wissenschaftler nicht fehlen, gibt es dort doch bis heute spontane, unkontrollierte unterirdische Kohleflözbrände. Wuttke (2019) berichtete eindrucksvoll über das Ausmaß solcher Ereignisse, die ganze Regionen in China in Mitleidenschaft ziehen. An vielen Stellen im Norden und Nordwesten Chinas steht eine sehr reaktive Steinkohle in flachliegenden Flözen an, die durch Luftkontakt recht schnell in Brand geraten kann. Andererseits wurden aber auch Untersuchungen zur Petrografie, Mineralogie und Geochemie an solchen „Combustion Metamorphic Rocks“ durchgeführt. BIN et al. (2020) informieren in ihrem Beitrag über umfassende Charakterisierungen von Erdbrandgesteinen, insbesondere auch mit dem Ziel der Klärung des Phänomens „Weißer Sandstein“. Auch sie fanden so typische Minerale einer metamorphen Reaktion, wie Tridymit, Cristobalit, Mullit und Cordierit. Das Phänomen der Bildung weißer Sandsteine wurde erklärt durch eine brandinduzierte Kaolinisierung eines feldspatführenden quarzreichen Sandsteines. Eindringendes Regenwasser in Verbindung mit dem Brand schuf hydrothermale Bedingungen, unter denen sich schließlich Kalolinit bilden konnte. Dieser Beitrag ist Teil einer speziellen Ausgabe der Zeitschrift „Minerals“ mit dem Titel „Mineral Formation in Pyrometamorphic Process“ aus dem Jahr 2020. Autoren aus Russland, Polen, Spanien und Israel berichteten über aktuelle Forschungen zu Mineralbildungen infolge pyrometamorpher Prozesse, ein weiterer Beleg dafür, dass solche Ereignisse weltweit auftraten und eben auch noch auftreten und interessante Einblicke in Bildungsmechanismen metamorpher Gesteine ermöglichen.

Zusammenfassend kann aus den Literaturquellen geschlussfolgert werden, dass bei Kohleflözbränden durchaus Temperaturen von 1000°C und mehr erreicht werden können, dass die Drücke normal oder nur moderat erhöht sind und dass unter diesen Bedingungen den Brandherd umgebende Gesteinsedimente, v. a. tonhaltige Sedimente, metamorph überprägt werden können. Die Gesteine sind gekennzeichnet durch Feinkörnigkeit. Korngrößen von nur wenigen Mikrometern sind sehr typisch, wobei das Gefüge unter dem Lichtmikroskop häufig nicht weiter differenziert werden kann. Die Gesteine können zwischen relativ weich bis hin zu sehr fest und hart von den mechanischen Kennwerten her variieren. Beim Mineralbestand sind für Hochtemperaturprozesse typische Minerale prägend, wie Tridymit, Cristobalit, Mullit und Cordierit. Auch Spinelle sind zu finden neben Sillimanit, einem Mineral, das den Temperatur- und Druckbereich anzeigt. Entsprechende Reaktionspfade konnten in Analogie zu gesteinsbildenden Prozessen bei der Bildung metamorpher Gesteine ebenfalls nachgewiesen werden.

## Ausgewählte Materialien und angewandte Untersuchungsmethoden

Hilfestellung bei der Auswahl der Gesteine gab eine Veröffentlichung des Museums für Naturkunde Chemnitz von Schwarz & Lange (2019). In ihr sind neben historischen Hintergründen insbesondere auch Informationen zusammengetragen, die die Bereiche betreffen, aus denen im vorliegenden Beitrag Erdbrandgesteine untersucht worden sind. Auf die breit gefächerte Farbpalette wird im Beitrag an verschiedenen Stellen hingewiesen. Auch für die Auswahl und Bezeichnung der 11 hier untersuchten Erdbrandgesteine war die Farbansprache maßgebend. Die Veröffentlichung von Schwarz & Lange ist aber auch noch aus dem Blickwinkel interessant, über eine petrografische Ansprache von Erdbrandgesteinen in den Elbgeröllen zu versuchen, deren Herkunft aus verschiedenen Regionen Ostsachsens oder auch Nordböhmens zu diskutieren. So typische Eigenschaften, wie Dichte, Farbe, Strichfarbe, Gefüge, Oberfläche und Bruch geben durchaus Hinweise, eine exakte chemisch-mineralogische Charakterisierung ersetzen sie jedoch nicht. Das soll in Fortführung der Arbeiten von Schwarz & Lange nachfolgend durchgeführt werden.

Es wurde insgesamt Material aus 4 Regionen ausgewählt:

- Gebiet um den Bergheider See des ehemaligen Braunkohlentagebaus Klettwitz-Nord (3 Gesteine)
- Gebiet Oberau/Meißen (2 Gesteine)
- Nordböhmisches Becken, Gebiet um Lužice im Bezirk Most, Tschechien (4 Gesteine)
- zu Vergleichszwecken Elbgeröll der Berliner Elbe (Kieswerk Altenau) (2 Proben).

In Abb. 2 ist die ungefähre Lage der Fundort dargestellt; Tabelle 3 enthält die Gesteine der folgenden Untersuchungen.

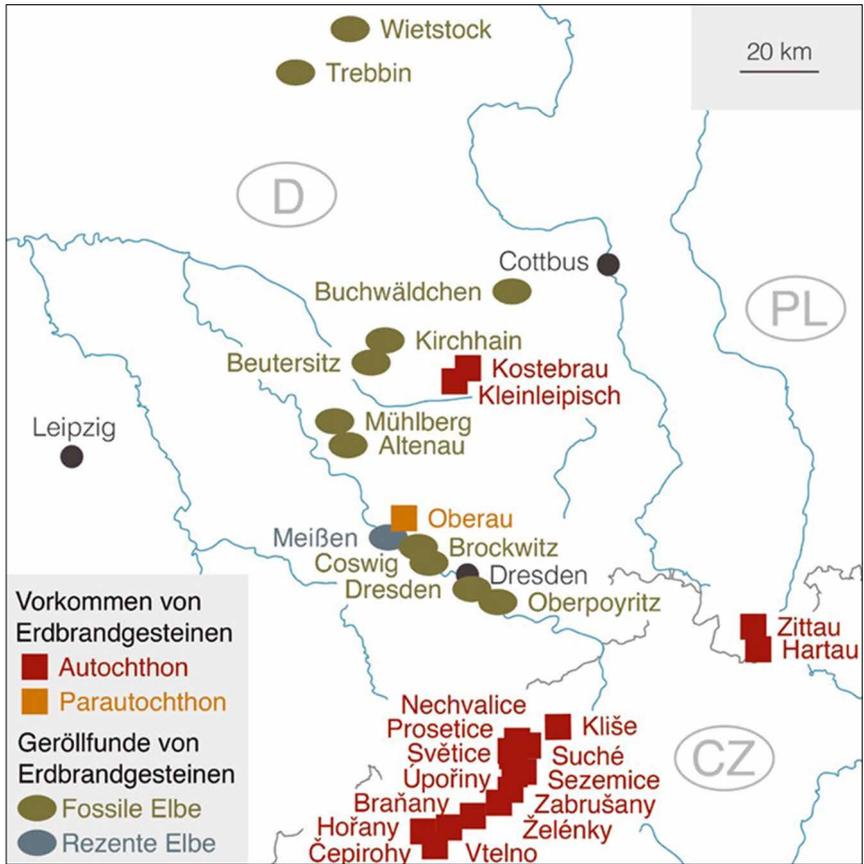


Abb. 2 | Geografische Orientierung der Fundgebiete der untersuchten Erdbrandgesteine (aus Schwarz & Lange 2019).

Tabelle 3 | Auswahl der untersuchten Erdbrandgesteine

Erdbrandgestein	Fundgebiet	charakteristische Färbung
P1		weiß bis hellgrau
P2	Bergheide	gelblich
P3		rot
P4		hellgrau
P5	Oberau/Meißen	gelb
P6		gelb
P7	Nordböhmen/	hellrot
P8	Gebiet Lužice	rot
P9		orange „Schlacke“
A1		rot/gelb
A2	Elbgeröll KW Altenau	rot/gelb

Zur Verfügung standen zum Teil nur wenige Gramm, insbesondere bei den Gesteinen aus Nordböhmen. Hierfür gilt der besondere Dank den Herren Jan-Michael Lange und Peter Suhr von den Senckenberg Naturhistorischen Sammlungen Dresden für die Bereitstellung des Materials aus Nordböhmen. Das Oberauer Material und die beiden Elbgerölle stellte Herr Dieter Schwarz zur Verfügung, das Material vom Bergheider See stammt aus der Sammlung von Herrn Klaus-Jürgen Hüniger.

Aus größeren Gesteinsbruchstücken konnten Dünnschliffe angefertigt werden, die unter dem Polarisationslichtmikroskop hinsichtlich der Gefügeausbildung bewertet worden sind.

An den ausgewählten 11 Proben (Tab. 3) wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

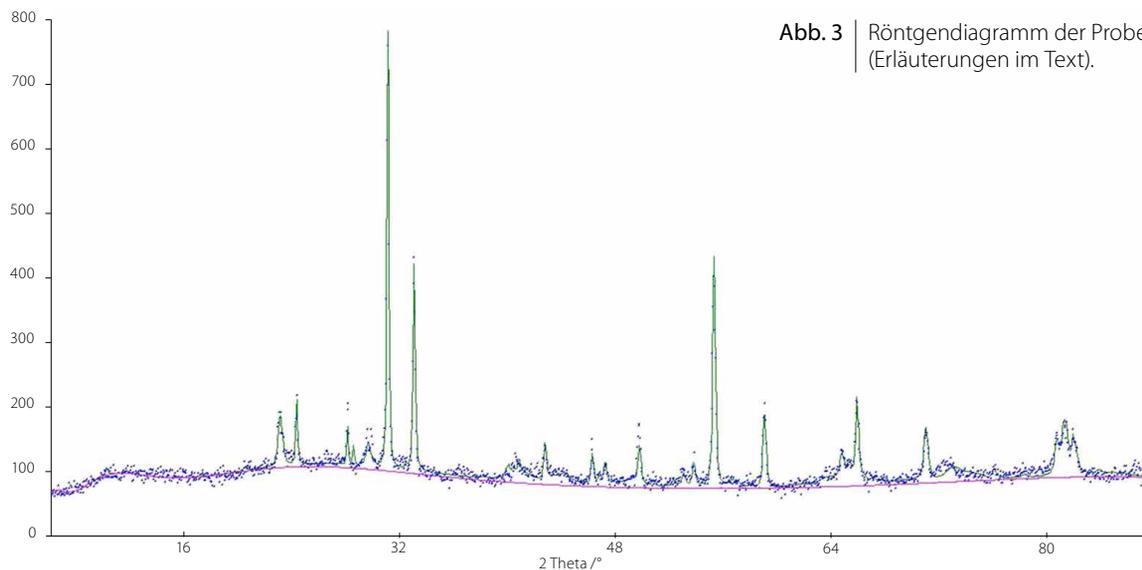
- röntgenografische Phasenanalyse zur Ermittlung des qualitativen Mineralbestandes (XRD 3000TT der Fa. Seifert)
- unter Nutzung der rietveldbasierenden Auswertesoftware AUTOQUAN 6.2.2 und unter Zugabe eines inneren Standards (hier 10M%  $\text{CaF}_2$ ) eine quantitative Mineralanalyse einschließlich der Bestimmung des amorphen Anteils
- chemische Analyse mittels RFA
- petrografische Beschreibung des Gefüges unter dem Polarisationslichtmikroskop (Zeiss Jenavert).

An pulverförmigen Proben, zerkleinert aus den Bruchstücken, mit einer Korngröße von  $63\ \mu\text{m}$  wurden die chemische Zusammensetzung mittels RFA-Analyse und die mineralogische Zusammensetzung mittels Röntgenbeugungsanalyse ermittelt. Unter Zuhilfenahme eines inneren Standards (Zumischung von  $\text{CaF}_2$ ) gelang auch der Nachweis amorpher Phasen. Die quantitative Röntgenbeugungsanalyse basierte auf der rietveldgestützten Auswertesoftware AUTOQUAN der Fa. Seifert. Durch Anwendung der Äquivalentnorm-Methode von Niggli konnte aus der chemischen und der qualitativen mineralogischen Zusammensetzung der qualitative und auch quantitative Mineralbestand jeder der untersuchten Proben verfeinert und darüber hinaus die Zusammensetzung der amorphen Phase je Probe bestimmt werden. Bereits Grosser (1935) wandte diese Methode an, jedoch in Ermangelung der Möglichkeit der Bestimmung des mineralogischen Phasenbestandes mittels Röntgenbeugung. Mit diesem Rüstzeug unter Anwendung der o. a. Untersuchungsmethoden soll im Folgenden versucht werden, die Gesteine aus der Niederlausitz und dem Landkreis Meißen untereinander als auch mit den Materialien aus Nordböhmen zu vergleichen.

## Ergebnisse

### Röntgenografische Phasenanalyse

Die Herangehensweise wird anhand der Probe P1 kurz demonstriert. Abb. 3 enthält das Röntgendiagramm der Probe im Winkelbereich  $2\Theta$  von  $4\text{--}85^\circ$ . Die blauen Punkte im Diagramm sind die Messpunkte (Schrittweite  $=0.05^\circ 2\Theta$ , Messzeit je Punkt 3 sec.), die grüne Kurve ist die über Strukturdaten aus der Datenbank AUTOQUAN errechnete Röntgenkurve unter Berücksichtigung eines angepassten Mineralbestandes, die violette Kurve stellt den Untergrund bei der Messung dar. In Abb. 4 ist die Differenzkurve zwischen gemessenen Werten und der berechneten Kurve zu sehen. Die Anpassung beruht auf dem iterativen Durchlaufen von Berechnungsschleifen und damit dem Minimieren eines R-Wertes, interpretierbar in Analogie zur Berechnung mittels Regressionsanalyse als Bestimmtheitsmaß.



**Abb. 3** | Röntgendiagramm der Probe P1  
(Erläuterungen im Text).

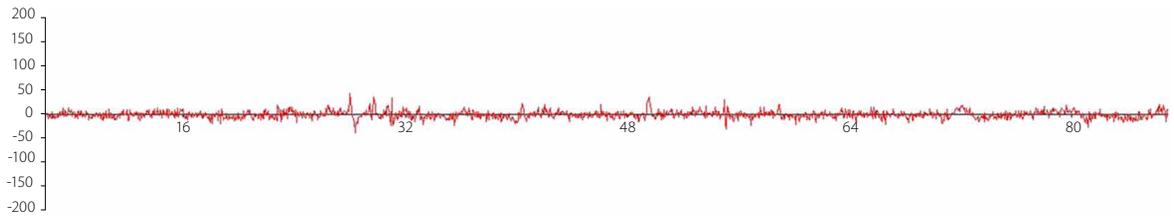


Abb. 4 | Differenzkurve zwischen gemessener und berechneter Kurve.

Trotz eines stellenweise sehr komplexen Mineralbestandes gelang die Anpassung weitgehend gut. Da bei der Messung der Probe ein innerer Standard beigemischt worden ist, erfolgte die mathematische Anpassung mit  $\text{CaF}_2$  und die Ausgabe einer entsprechenden Konzentration. Da die Zugabemenge an  $\text{CaF}_2$  bekannt ist (10 Masse-%), können die Intensitäten der anderen Minerale normiert werden, und die Ausgabe des Gehaltes an eventuell enthaltenen amorphen Bestandteilen ist möglich. Die Ausgabe der Ergebnisse der daraus resultierenden quantitativen Mineralanalyse erfolgt in Tabellenform unter Angabe eines mineralspezifischen Analysefehlers.

Tabelle 4 | Ergebnis der quantitativen Phasenanalyse der Probe P1 (Angabe in M.-%)

	P1 -Bergheide weiß	Fehler	Bemerkungen
amorph	45	10	Der große Fehler resultiert aus dem Berechnungsschema unter Berücksichtigung der Fehler der anderen Minerale.
Anatas	3	1	Titandioxid, nach Grosser angereichert durch Verwitterung
Illit	27	10	ein stark fehlgeordneter Illit, möglicherweise hervorgerufen durch beginnende strukturelle Zerstörung infolge Hitzeeinwirkung
Quarz	23	2	typischer Bestandteil eines Lockersedimentes

Nach diesem an Probe P1 skizzierten Schema erfolgte die Bestimmung des Mineralbestandes an den weiteren 10 Proben. Tabelle 5 beinhaltet die Auswertung für Bergheide, Tabelle 6 für Oberau/Meißen, Tabelle 7 für Nordböhmen/Lužice und Tabelle 8 für die Materialien des Elbgerölls aus Altenau. Die Hauptbestandteile sind jeweils fett gedruckt.

Tabelle 5 | Ergebniszusammenstellung für Erdbrandgestein aus Bergheide

	P1 Bergheide weiß	P2 Bergheide gelb	P3 Bergheide rot	Fehler
<b>amorph</b>	<b>45</b>	<b>3</b>	<b>13</b>	<b>10</b>
Anatas	3	1	1.5	1
Cristobalit		4	6	2
Hämatit		2		1
Illit	27			10
Moganit		2		1
<b>Mullit</b>		<b>18</b>	<b>39</b>	<b>9</b>
Periklas		1	0.5	0,5
<b>Quarz</b>	<b>23</b>	<b>52</b>	<b>20</b>	<b>2</b>
Sillimanit		7		3
Spinell		5	11	2
Tridymit			3	1
Wüstit		1	1	0,5

Es kann gezeigt werden, dass die Proben aus Bergheide sehr unterschiedlich zusammengesetzt sind. Während P1, die weiße Varietät, fast zur Hälfte aus amorphen Bestandteilen besteht, der Rest ist Quarz und Illit, sinkt der amorphe Anteil bei den gelben und roten Erdbrandgesteinsvarietäten deutlich ab. Im Gegensatz hierzu wird in

diesen Proben Cristobalit und vor allem Mullit in nachweisbaren Anteilen gefunden. Auch Spinell, Sillimanit (in P2) sowie Tridymit (P3) als Hochtemperaturmodifikationen des  $\text{SiO}_2$  sind Ausdruck pyrometamorpher Prozesse.

**Tabelle 6** | Ergebniszusammenstellung für Erdbrandgesteine aus Oberau/Meißen

	P4 Oberau weißgrau	P5 Oberau gelb	Fehler
<b>amorph</b>	<b>24</b>	<b>16</b>	<b>10</b>
Anatas	1.5	0.5	0.5
Andalusit	6	3	2
<b>Chloritoid</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>4</b>
<b>Cristobalit</b>	16	27	7
Mullit		<b>10</b>	<b>3</b>
Periklas	1.5	0.5	0.5
<b>Sillimanit</b>	<b>27</b>		3
Quarz		9	1
Spinell	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>2</b>
Wüstit		1.5	0.5

Ein gewisser Anteil an amorphen, also glasigen Bestandteilen wurde in beiden Proben aus Oberau nachgewiesen. Charakteristisch sind jedoch die hohen Gehalte an Cristobalit (in der gelben Varietät immerhin fast 30 Masse-%) und Spinell sowie der Nachweis von ebenfalls fast 30 Masse-% Sillimanit in der Probe P4 (weißgrau). Als bisher noch nicht aufgetretene Phasen wurden Andalusit und Chloritoid diagnostiziert. Insbesondere Chloritoid bildet sich unter etwas erhöhten Drücken bei moderaten Temperaturen, sein Nachweis an dieser Stelle ist doch als relativ sicher einzuschätzen, die Existenz wirft jedoch hinsichtlich des notwendigen eingewirkten Druckes Fragen auf.

Die Erdbrandgesteine aus Nordböhmen sind hinsichtlich ihres Mineralbestandes recht vielfältig. Der Fehler ist in den jeweiligen Tabellen stets mit angegeben, so dass abgeschätzt werden kann, dass einige der aufgelisteten Minerale im Bereich des Fehlers, somit im Bereich der Nachweisgrenze des Verfahrens liegen.

**Tabelle 7** | Ergebniszusammenstellung für Erdbrandgesteine aus Nordböhmen/Lužice

	P6 Lužice gelb	P7 Lužice hellrot	P8 Lužice rot	P9 Lužice Schlacke	Fehler
Alumina Gamma	8	4			4
amorph	0	0	0	0	10
Anatas	1.5			2	1
Andalusit		4		7	2
<b>Cordierit</b>				7	2
Korund	4	3		<b>10</b>	<b>2</b>
<b>Cristobalit</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>30</b>	<b>4</b>
Forsterit (Fe)				1.5	1
Hämatit	4	3	20		1
Mikroclin	2	5	5		2
Moganit	3			7	3
<b>Mullit</b>		11		<b>26</b>	<b>5</b>
Muskovit			7		4
Periklas	0.5			2	1
Rutil		1			0,5
<b>Quarz</b>	<b>32</b>	<b>48</b>	<b>63</b>		<b>6</b>
Sillimanit	16				3
Spinell	6	3			2
Tridymit				8	3
Wüstit	2.5		1	1	1

Während das Gestein Lužice rot (P8) als eisenerzführendes Gestein anzusprechen ist und hier etwas herausfällt (der Rest hier ist mehr oder weniger Quarz), fällt die Varietät „Schlacke“ (Lužice P9) durch sehr hohe Gehalte an Cristobalit, Mullit, Korund und sogar Tridymit auf. Insbesondere der Nachweis von Cordierit, dessen Existenz, wie aus der Literatur hervorgeht, sehr typisch für Erdbrandgesteine ist, gelingt bei den hier untersuchten Proben nur in der Probe P9 aus Nordböhmen. Die beiden untersuchten Proben aus Oberau enthalten dieses Mineral nach den hier durchgeführten Untersuchungen nicht.

Schauen wir uns abschließend die beiden Elbgeröllproben an, untersucht nach dem gleichen Schema.

**Tabelle 8** | Ergebniszusammenstellung für Erdbrandgestein in Elbgeröllen, Kieswerk Altenau

	Elbgeröll Probe A1	Elbgeröll Probe A2	Fehler	Bemerkungen
Amorph	0			
Andalusit	7	5	3	
Cordierit	25	26	3	offensichtlich ein typisches Mineral
Korund	7	5	1	
Cristobalit	25	32	3	Ebenfalls typisch für das Elbgeröll
Mullit	35	32	3	
Periklas	1.5	0.5	0.5	

Auffallend ist bereits an dieser Stelle, dass es eine hohe Übereinstimmung im Mineralbestand von Probe P9 (Lužice Schlacke) und den beiden Elbgeröllproben aus Altenau gibt. Insbesondere ist festzustellen, dass auch in den Elbgeröllen Cordierit nachweisbar ist. Cordierit als sehr verwitterungsbeständiges Mineral könnte somit aus dem Raum Nordböhmen stammen und durch Transportprozesse im Zuge des Flusslaufes der Elbe in den Ablagerungsort des Elbtales transportiert worden sein.

### Chemische Analyse und die Anwendung der Methode nach Niggli

In zahlreichen Proben konnten röntgenamorphe, glasige Bestandteile nachgewiesen werden. Über die Zusammensetzung des Glases sagen die bisher durchgeführten Untersuchungen jedoch nichts aus. Angewandt wird die Methode nach Niggli auf die Proben P1, P2 und P3 aus Bergheide sowie P4 und P5 aus Oberau. Für das Nachverfolgen der Berechnungen wird auf die Literatur verwiesen. Als Beispiel wird auch hier die Probe P1 gewählt (siehe Schema in Tabelle 9).

**Tabelle 9** | Anwendung der Methode nach Niggli auf die Proben P1

	Zusammensetzung	normiert	Äquivalente	Illit	Quarz	Anatas	amorph
MgO	1.02	1.13	28				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.38	31.30	614	196			417
SiO <sub>2</sub>	51.57	56.88	948	196	351		401
K <sub>2</sub> O	2.79	3.08	65	65			
CaO	0.52	0.57	10				
TiO <sub>2</sub>	3.07	3.39	42			42	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.32	3.66	46	46			
Summe	90.67	100.00	1754	504	351	42	818
Anteil n. NIGGLI				29	20	2.4	47
Anteil n. XRD				27	23	3	45

Formel für Illit:  $0,5K_2O * 1,5Al_2O_3 * 3SiO_2$

Der sehr hohe Anteil an amorphen, glasigen Bestandteilen wird durch die Äquivalentberechnungen bestätigt. Mehr noch, das Glas besteht zur Hälfte aus SiO<sub>2</sub> und der andere Teil ist Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und hat demnach eine aluminiumsilikatische bzw. alumosilikatische Zusammensetzung. Anhand der Ergebnisse aus Tabelle 9 zeigt sich die gute Übereinstimmung zwischen ermitteltem Mineralbestand über die Methode der Röntgenbeugung und der Berechnung über die Methode nach Niggli.

Tabelle 10 | Anwendung der Methode nach Niggli auf die Proben aus Bergheide

	Mullit	Quarz	Crist+ Trid.	Sillimanit	Spinell	Anatas	Hämatit	amorph
P2	18	48	3,5	7	5	1,3	2,3	15
P3	40	20	8	0	10	1,6	2	18

Formel für Mullit:  $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ; Formel für Spinell:  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ; Formel für Sillimanit:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$

Bei der Probe P2 gibt es zwischen der Auswertung der Röntgenkurve und der nach Niggli im Gehalt an amorphen Bestandteilen eine ausweisbare Diskrepanz, die einerseits die Sinnfälligkeit der Überprüfung durch Niggli bestätigt, andererseits den ausgewiesenen Fehlerbereich von 10 Masse-% bei der Bestimmung des amorphen Anteils mittels XRD+AUTOQUAN hinreichend belegt. Die Zusammensetzung der Glasphase ist auch hier aluminosilikatischer/alumosilikatischer Natur, während sie bei Probe P3 kaliumsilikatischer Natur ist.

Tabelle 11 | Anwendung der Methode nach Niggli auf die Proben P4 und P5

	Mullit	Quarz	Cristobalit	Sillimanit	Andalusit	Spinell	Chloritoid	Anatas	amorph
P4	-	-	20	27	6	13	6	1,1	27
P5	10	10	27	-	4	15	18	0,4	16

Formel für Chloritoid:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

Die Glasphase in Probe P4 ist eher silikatischer Zusammensetzung mit wenig Aluminium und Kalium. In Probe P5 liegt demgegenüber wieder eine aluminium-/alumosilikatische kaliumhaltige Zusammensetzung im Glas vor. Der sehr breit aufgestellte Mineralbestand kann mittels der Methode nach Niggli ebenfalls nachgerechnet werden, die Ergebnisse sind plausibel. Insbesondere sind die hohen Magnesiumoxidgehalte dem Spinell zuordenbar, wobei möglicherweise auch im Chloritoid neben Eisenoxid auch Magnesiumoxid enthalten sein kann. Der röntgenografisch bestimmte, sehr hohe Gehalt an diesen beiden Mineralen kann über die Äquivalentnormmethode bestätigt werden. Für Chloritoid ist das eine wichtige Erkenntnis, da dieses Mineral an bestimmte Drücke bei der Bildung gekoppelt ist.

Zum Abschluss dieses Teils der Untersuchungen soll die Methode nach Niggli auch auf die Proben der Elbgerölle angewandt werden. Es werden beide Proben zusammen bewertet und das komplette Berechnungsschema dargestellt.

Tabelle 12 | Anwendung der Methode nach Niggli auf die Probe Elbgeröll Altenau

	Zus.- setzung	normiert	Äqui- val.	Mullit	Cristo- balit	Anda- lusit	Cor- dierit	Ana- tas	Ko- rund	Periklas/ Wüst	amorph
MgO	1.81	1.82	45				45				0
$\text{Al}_2\text{O}_3$	32.65	32.76	642	426		59	91		67		0
$\text{SiO}_2$	57.78	57.97	966	142	621	30	114				60
$\text{K}_2\text{O}$	1.82	1.83	39								39
CaO		0.00	0								0
$\text{TiO}_2$	2.44	2.45	41					41			0
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.18	3.19	40							40	0
Sum-me	99.67	100.00	1773	567	621	89	250	41	67	18	99
P A1				32	35	5	14	2,3	3,8	1,0	6

Es gelingt auch hier über die Anwendung der Methode von Niggli der Nachweis von Cordierit und Korund, ein geringer Gehalt an Glasphase bleibt aus der chemischen Analyse übrig, es sollte sich um ein Alkalisilikatglas handeln.

### Untersuchungen unter dem Lichtmikroskop an Dünnschliffen

Eine tiefere Gefügeansprache unter Nutzung der lichtmikroskopischen Aufnahmen ist nicht möglich, denn auch bei einer 500-fachen Vergrößerung gelingt es nicht, die sehr feinkörnige Grundmasse der Gesteine aufzulösen.

Einen Eindruck vom Gefüge sollen die nachfolgenden Bilder vermitteln. Für die Anfertigung der Dünnschliffe sei der Fa. MKFaktory in Stahnsdorf b. Berlin (Geschäftsführer Herr Michael Köhler) herzlich gedankt. Begutachtet werden sollen hier die Gesteine aus Oberau, Nordböhmen und die Elbgerölle aus Altenau.

#### Erdbrandgesteine Oberau P4, P5

Das Gefüge der Probe P4 aus Oberau ist bei 125-facher Vergrößerung nicht in einzelne Bestandteile aufzulösen (Abb. 5, links). Zu sehen ist eine sehr feinkörnige Grundmasse, in die ganz vereinzelt helle Körnchen eingebettet sind.

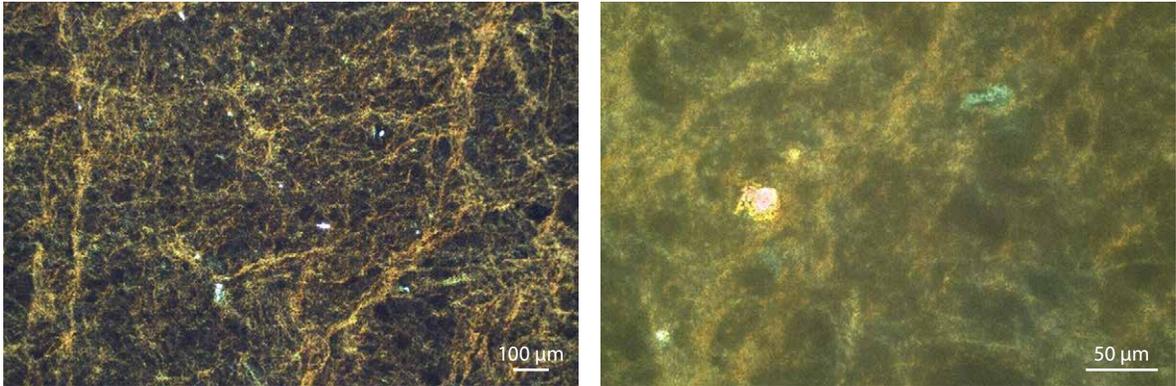


Abb. 5 | Gefüge des Gesteins P4 (Oberau).

Bei 500-facher Vergrößerung aufgenommen, dokumentiert Abb. 5 (rechts) ein sehr homogenes Gefüge, eine Auflösung der Grundmasse gelingt auch hier nicht. Die sichtbaren Kristallite sind möglicherweise Cristobalit. Probe P5 aus Oberau sieht ganz ähnlich aus, nur die Farbe der Grundmasse ist hin zum Bräunlichen verändert. Auch hier ist das Gefüge sehr dicht und homogen, die Bestandteile der Grundmasse lassen sich nicht weiter auflösen. Beide Erdbrandgesteinsproben P4 und P5 aus Oberau-Meißen sind sehr feinkörnig, die Grundmasse ist amorph bis opak. Darin eingebettet findet man ganz vereinzelt kristalline Körnchen, die meist als Cristobalit anzusprechen sind.

#### Erdbrandgesteine Nordböhmen, P6

Bei 32-facher Vergrößerung gibt Abb. 6 eine Übersicht über das Gefüge der Probe P6 Lužice. In einer Grundmasse eingebettet findet man kristalline Mineralbestandteile, diese sind deutlich sichtbar und mengenmäßig zu berücksichtigen. Bei 500-facher Vergrößerung (Abb. 6 rechts) können die kristallinen Bestandteile deutlich erkannt werden, die Korngrößen liegt bei ca. 50 µm, eine klare Unterscheidung ist jedoch nicht möglich. Das Bild zeigt eine Konzentration kubischer bzw. orthorhombischer Kristalle, daneben Kristalle mit hoher Interferenzfarbe, bei denen es sich um Spinell, Cristobalit und Sillimanit handeln könnte.

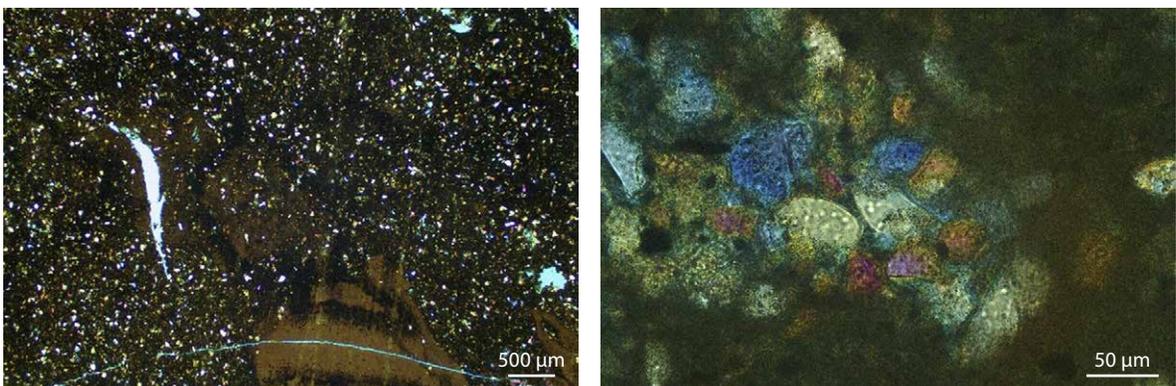


Abb. 6 | Gefüge des Gesteins P6 (Lužice).

### Erdbrandgesteine Nordböhmen, P7

Das Erdbrandgestein P7 offenbart ein etwas anderes Gefüge, wie Abb. 7 belegt. Die 125-fache Vergrößerung (Abb. 7, links) gibt eine Übersicht zum Gefüge. Zahlreiche kristalline Bestandteile sind zu erkennen, die in eine Grundmasse eingebettet sind. Der Grundmassenanteil ist deutlich geringer, die kristallinen Mineralbestandteile überwiegen mengenmäßig, ohne sie aber anhand von Kristallbegrenzungsflächen oder Winkeln einordnen zu können. Kennzeichen ist ein sehr dichtes Gefüge, das auf einen hochmetamorphen Prozess hinweist.

500-fache Vergrößerung (Abb. 7, rechts) offenbart das typische Gefüge der Probe und erinnert an Gneis durch die Einregelung von Mineralbestandteilen – hier im Bild schräg von links unten nach rechts oben. Es können keine idiomorph ausgebildeten Kristalle erkannt werden. Bei den leistenförmigen Kristallen könnte es sich um Mullit handeln, der röntgenografisch auch nachgewiesen wird. Das Bild zeigt aber auch, dass die Grundmasse aus vielen kleinen Kristalliten besteht, die sehr eng ineinander verwachsen sind. Eine Differenzierung ist hier nur unter Zuhilfenahme der Röntgenbeugung möglich.

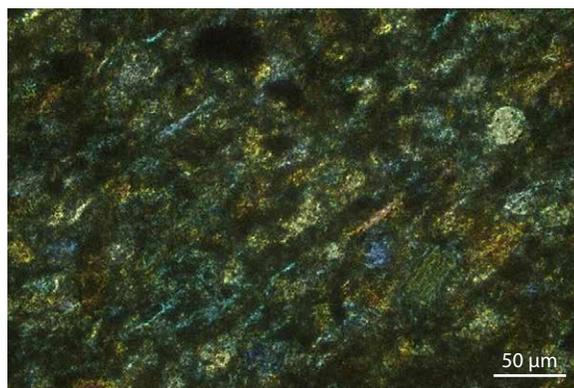
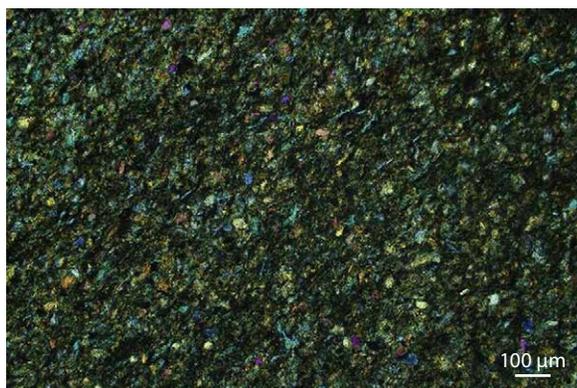


Abb. 7 | Gefüge des Gesteins P7 (Lužice).

### Erdbrandgesteine Nordböhmen, P8

Das Gefüge der Probe P8 unterscheidet sich maßgeblich von allen anderen, bisher untersuchten Proben. Es handelt sich hierbei um jene Probe, die als eisenerzhaltig identifiziert worden ist. Die Gefügeuntersuchungen bestätigen diesen Befund; man findet Quarzkristalle, eingebettet in eine opake Grundmasse. Es sind auch engere Verwachsungen von Quarzkörnern zu finden.

### Erdbrandgesteine Nordböhmen, P9

Das Gefüge der Probe P9 sieht anders aus als die bisher von Lužice untersuchten Proben; das Gefüge ähnelt sehr den Proben von Oberau. Es wird ein homogenes Gefüge sichtbar ohne Unterscheidung in einzelne Mineralbestandteile. Bei 500-facher Vergrößerung (Abb. 9) ist ein sehr feinkörniges Gefüge zu erkennen, das sich auch bei dieser Vergrößerung nicht auflösen lässt.

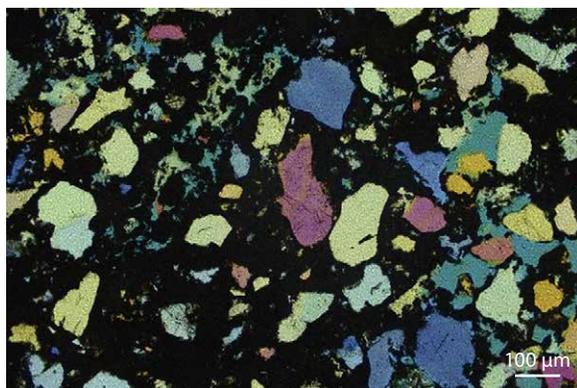


Abb. 8 | Gefüge von P8 (125-fach).

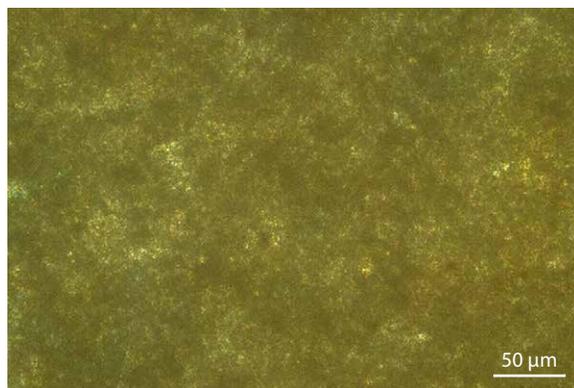


Abb. 9 | Gefüge von P9 (500-fach).

### Erdbrandgesteine Elbgeröll A1/A2

Die 500-fache Vergrößerung (Abb. 10, links) gibt eine Übersicht über das homogene und feinkörnige Gefüge; es lässt sich hinsichtlich der Mineralbestandteile nicht auflösen. Das Gefüge ist äußerst feinkörnig mit Korngrößen im Bereich von wenigen Mikrometern. Durch Drehen des Tisches kann aber nachgewiesen werden, dass die Grundmasse nicht nur amorph ist, sondern durchaus auch kristalline Mineralbestandteile enthält. Abb. 10, rechts zeigt an, dass das Gestein von zahlreichen Rissen durchzogen ist, möglicherweise dem Transport durch die Elbe geschuldet. Probe A2 sieht der Probe A1 sehr ähnlich, jedoch können ganz vereinzelt größere Kristallite gefunden werden. Hierbei sollte es sich um Quarz handeln.

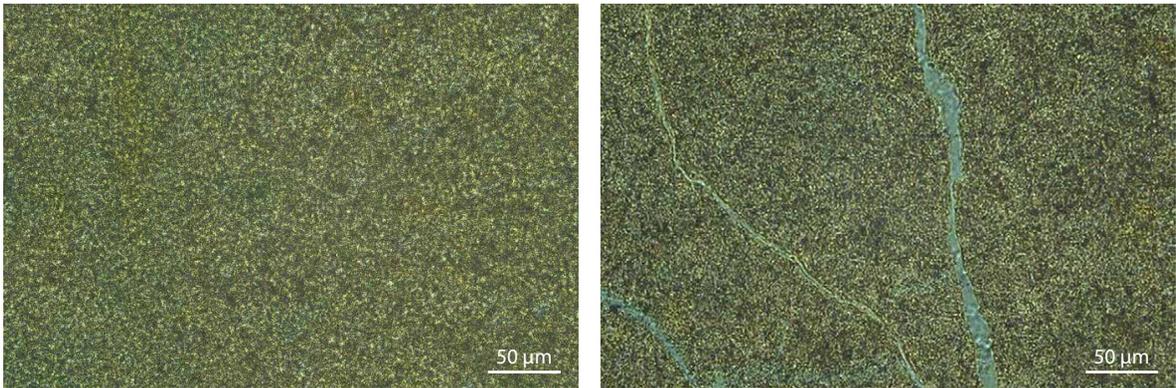


Abb. 10 | Gefüge des Elbgerölls A1.

Damit kann aus den mikroskopischen Bewertungen festgehalten werden, dass die Gefüge der Erdbrandgesteine sehr markant sind hinsichtlich Feinheit der Mineralbestandteile. Es gibt Unterschiede zwischen den Proben, die sich im Wesentlichen in der Korngröße äußern. Fazit ist aber auch, dass eine unmittelbare Mineralansprache und damit Zuordnung bzw. Bestätigung der Ergebnisse aus der röntgenografischen Phasenanalyse optisch nicht gelingt.

### Auswertung hinsichtlich der Frage nach der Herkunft der Elbgerölle

Es wurden umfassende Untersuchungen sowohl mineralogisch, chemisch als auch petrografisch durchgeführt. Berücksichtigt werden muss, dass für die Regionen typische Erdbrandgesteine analysiert werden konnten, die Anzahl an Gesteinsbruchstücken jedoch begrenzt war. Fasst man die Ergebnisse zusammen, so können folgende vergleichende Schlussfolgerungen gezogen werden.

In den Elbgeröllen wurden an Hauptmineralbestandteilen nachgewiesen: **Cristobalit, Mullit, Cordierit** und **Korund**. Die beiden letzteren konnten in den Oberauer Proben nicht nachgewiesen werden.

Die Gesteine aus Oberau bestehen aus **Cristobalit, Sillimanit, Spinell** und in einer der beiden Proben auch aus einer geringen Menge **Mullit** und **Quarz**. Die Proben bestehen aber insbesondere auch aus Chloritoid, eingebettet in einer Glasphase. Chloritoid ist aber weder im Elbgeröll noch im nordböhmisches Material nachweisbar. In den Erdbrandgesteinen Nordböhmens findet man, insbesondere in der Probe P9: **Cristobalit, Mullit, Cordierit** und **Korund**. In einer Probe ist Sillimanit nachweisbar und stellenweise auch reichlich Quarz.

Das Gefüge als Unterscheidungskriterium entfällt, da alle Gesteine als sehr feinkörnig zu beschreiben sind. Somit kann sich der Versuch einer Beantwortung der Frage nach der Herkunft der Elbgerölle nur auf die chemisch-mineralogische Zusammensetzung stützen. Hier gibt es eine auffallende Übereinstimmung im Mineralbestand zwischen den Elbgeröllen und der Probe P9 aus Lužice/Nordböhmen. Hauptbestandteile sind in beiden Materialien Cristobalit, Mullit, Cordierit und Korund. Insbesondere Cordierit ist im Elbgeröll nachweislich enthalten und zusätzlich nach den durchgeführten Analysen nur noch im nordböhmisches Erdbrandgestein zu finden. Die untersuchten Proben aus Oberau enthalten keinen Cordierit. Auch der Nachweis von Korund in beiden Gesteinen (Elbgeröll und Lužice) ist ein weiteres Argument.

Betrachtet man daraufhin die Analysenergebnisse von Grosser rückblickend nochmals (vgl. Angaben in Abb. 1), so hatte er bei seiner Auswertung Cordierit ausschließlich aus dem vorhandenen Magnesium- und auch Eisengehalt postuliert. Ein direkter Nachweis gelang ihm nicht.

Legt man Grosser's Berechnungen unter Berücksichtigung der von ihm angegebenen chemischen Zusammensetzung und des von ihm postulierten Mineralbestandes zugrunde, so erhält man die Berechnungsergebnisse entsprechend Tabelle 13.

**Tabelle 13** | Berechneter Mineralbestand nach Grosser aus seinen Daten, Variante a, b und Vergleich mit P4 (aktuelle Analyse)

	Quarz	Sillimanit	Hypersthen	Cordierit	Orthoklas	Magnetit	Anatas	amorph
Variante a	34	40	9		14	2	1	0
Variante b	27	40		16	14	2	1	0
	Cristobalit	Sillimanit	Andalusit	Spinell	Chloritoid		Anatas	amorph
P4 aktuell	20	27	6	13	6		1	27

Cordierit als typisches Mineral in den untersuchten Elbgeröllen sollte bei der Findung des potenziellen Ursprungsgebietes stets berücksichtigt werden. Mit dem heutigen Kenntnisstand und möglichen Analysemethoden lassen sich Reaktionen und Zusammenhänge in metamorphen Gesteinen neu interpretieren und damit auch veränderte Mineralienspektren erkennen, eine Grundlage für abschließende Bemerkungen zum Cordierit in Tabelle 13. Grosser konnte nicht wissen, dass anstelle Quarz Cristobalit im Gestein Oberau enthalten ist, was jedoch keine Auswirkungen auf die Berechnung hat, da beide Minerale aus  $\text{SiO}_2$  bestehen. Grosser berücksichtigte auch nicht Spinell und Chloritoid; beide enthalten aber ebenso Magnesium- und/bzw. Eisenoxid und können diese Bestandteile in der Bilanz ausgleichen. Grosser rechnete aber insbesondere nicht mit fast 30% glasigen Bestandteilen, die das restliche  $\text{SiO}_2$  und das Kaliumoxid binden. Aufgrund der extremen Feinkörnigkeit konnte er die glasigen Bestandteile unter dem Mikroskop nicht feststellen.

## Zusammenfassung

Es wurden insgesamt 11 Erdbrandgesteine aus 4 unterschiedlichen Fundstätten untersucht. Die Auswahl der Gesteine und eine erste Gesteinsansprache erfolgten dabei über die Farben der Gesteine. Die mineralogische Phasenanalyse mittels Röntgenbeugung und rietveldbasierter Auswertung in Kombination mit einer chemischen Analyse wurden angewandt und sind geeignete Methoden zur petrographischen Ansprache solcher Gesteine, insbesondere dann, wenn mikroskopische Methoden aufgrund der sehr hohen Feinkörnigkeit des Gefüges versagen. Die Fragestellung im vorliegenden Fall lautete konkret, Hinweise zu finden, welche Herkunftsorte für die Elbgerölle infrage kommen können.

Als typische Minerale in den Elbgeröllen konnten Cristobalit, Mullit, Cordierit und Korund bestimmt werden. Die Glasphase ist mengenmäßig untergeordnet und, wenn überhaupt, nur in sehr geringen Anteilen enthalten.

Für den Fundort Oberau konnte an der typischen grauen Erdbrandgesteinsart nicht der Nachweis erbracht werden, dass Cordierit im Gestein enthalten ist. Auch Korund ist dort nicht nachweisbar.

Andererseits findet man jedoch Cordierit in einer Varietät aus der Fundstätte Nordböhmen/Lužice. Die Aussage kann noch dahingehend erweitert werden, dass vier Hauptbestandteile des Elbgerölls allesamt im Material Nordböhmens anzutreffen sind.

Aus den Untersuchungen an dem zur Verfügung stehenden Material kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass das von Grosser postulierte Mineral Cordierit nicht im Gestein Oberau enthalten ist. Der als Leitmineral für die Herkunft der Elbgerölle hier herangezogene Cordierit konnte bei den untersuchten Erdbrandgesteinen nur im nordböhmischen Material nachgewiesen werden.

Weitere Untersuchungen der chemisch-mineralogischen Zusammensetzung einer größeren Probenmenge sollten zur statistischen Sicherheit der Vergleiche führen. Des Weiteren wäre das Verhalten der Erdbrandgesteine unter den physikalischen und chemischen Verwitterungseinflüssen des Flusstransportes einer näheren Betrachtung zu unterziehen. Kann das Gestein als Geröll den Transportweg vom Ursprungsgebiet Nordböhmen bis zum Ablagerungsraum Nördliches Sächsisches Elbtal überstehen?

## Literatur

- Barthel, M. & Rößler, R. (1998): Brennende Berge – Flöz- und Haldenbrand-Gesteine als Matrix fossiler Pflanzen-Abdrücke und als Objekte der Wissenschaftsgeschichte. – Veröff. Museum für Naturkunde Chemnitz, **21**: 53–62.
- Bouška, V. & Dvořák, Z. (1997): Nerosty severočeské hnědouhelné pánve. – 158 S., Praha
- Burri, C. (1959): Petrochemische Berechnungsmethoden auf äquivalenter Grundlage (Methoden von Paul Niggli). – Birkhäuser Verlag.
- Bin C.; Yanyan W.; Franceschi, M.; Xiong D.; Kuizhou L.; Yu Y.; Meiling W. & Zhiqiang S. (2020): Petrography, Mineralogy, and Geochemistry of Combustion Metamorphic Rocks in the Northeastern Ordos Basin, China: Implications for the Origin of "White Sandstone". – *Minerals*, **10**, 1086.
- Estrada, S.; Piepjohn, K.; Frey, M. J.; Reinhardt, L.; Andruleit, H. & von Gosen, W. (2009): Pliocene coal-seam fires on southern Ellesmere Island, Canadian Arctic. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, **251**: 33–52.
- Grapes, R. (2011): Pyromorphism. – 365 S, Springer-Verlag.
- Grosser, G. (1935): Flözbrandgesteine im Bahneinschnitt bei Oberau, Sa. – *Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft ISIS Dresden* **19**: 96–118.
- Hess von Wichdorf, H. (1921): Über das Vorkommen von natürlichen Erdbrandgesteinen am sogenannten Römerkeller bei Kl. Leipisch in der Niederlausitz. – *Zeitschr. d. Dt. Geol. Ges. Monatsber.* **73**: 269–277.
- Schwarz, D. & Lange, J. M. (2019): Erdbrandgesteine im Geröllspektrum der Elbe. – Veröff. Museum für Naturkunde Chemnitz, **42**: 107–120.
- Virchow, R. (1886): Der Römerkeller von Kostebrau und der Langwall der Senftenberger Gegend. – *Z. f. Ethnologie*, S. 579–582.
- Witzke, T. (1996): Die Minerale der brennenden Halde der Steinkohlengrube „Deutschlandschacht“ in Oelsnitz bei Zwickau. – *Aufschluss*, **47**: 41–48.
- Wuttke, M.W. (2019): GEOfokus – Sie brennen noch immer! Spontane unkontrollierte unterirdische Kohleflözbrände als gesellschaftlich relevante Aufgabe und wissenschaftliche Herausforderung für die angewandte Geophysik. – *Geowissenschaftliche Mitteilungen*, **76**: 7–14.
- Žáček, V.; Skála, R.; Chlupáčová, M. & Dvořák, Z. (2005): Ca-Fe<sup>3+</sup>-rich, Si-undersaturated buchite from Zelenky, north-bohemian brown coal basin, Czech Republic. – *European Journal of Mineralogy*, **17**: 623–633.
- Žáček, V., Skála, R., Dvořák, Z. (2010): Petrologie a mineralogie porcelanitů mostecké pánve - produktů fosilních požárů neogenní hnědouhelné sloje. – *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze*. Praha: Národní muzeum, **18** (1): 1–32.
- Zelenka, O. & Martinovská, I. (1995): Stanovení podmínek těžby ložisek vypálených jílu (porcelanitů) v regionu severočeské hnědouhelné pánve a CHKO české středohoří z hlediska ochrany životního prostředí i z hlediska ochrany nerostného bohatství. – MS Geologické služby, s.r.o., Chomutov.
- Zöll, K. & Tropper, P. (2013): Mineralogisch-Petrologische Untersuchungen pyrometamorpher Quarzphyllite von der Vogeltenne bei Elvas (Brixen/Südtirol). – *GeoAlp*, **10**: 93–112; Innsbruck.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Veröffentlichungen des Museums für Naturkunde Chemnitz](#)

Jahr/Year: 2021

Band/Volume: [44](#)

Autor(en)/Author(s): Hüniger Klaus-Jürgen, Schwarz Dieter

Artikel/Article: [Zur Mineralogie von Erdbrandgesteinen aus Südbrandenburg, Ostsachsen und Nordböhmen und zur Herkunft der Elbgerölle 125-140](#)