© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

BERICHTE DER NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT DER OBERLAUSITZ

Band 19

Berichte der Naturforschenden Gesellschaft der Oberlausitz 19: 21–46 (Görlitz 2011)

ISSN 0941-0627

Manuskripteingang am 22. 2. 2011
Manuskriptannahme am 31. 8. 2011
Erschienen am 20. 12. 2011

Vortrag zur 20. Jahrestagung der Naturforschenden Gesellschaft der Oberlausitz am 20. März 2010 in Šluknov/Tschechien

Basische Gangintrusionen im Oberlausitzer Bergland, Ostsachsen

Von WOLFGANG KRAMER und GERHARD ANDREHS

Mit 1 Karte, 6 Abbildungen und 5 Tabellen

Zusammenfassung

Für ein Areal zwischen Kamenz, Löbau, Herrnhut und Sebnitz (Oberlausitz und südlich angrenzende Gebiete) werden 105 Basitintrusionen untersucht und damit drei vortertiäre Generationen von basischen Intrusivkörpern bzw. Gangschwärmen auf petrographischer und geochemischer Grundlage klassifiziert. Das relativ breite Typenspektrum reicht von stark differenzierten Gabbros bis zu alkalischen Gangbasalten und Spessartiten. Eine vierte Ganggeneration von ultramafischen Alkalilamprophyren wurde neu aufgeschlossen und durch Renno et al. (2003a) definiert. Die Herausbildung der Gabbroformation und ihrer Sulfidvererzung durch Liquation und Fraktionierung wird behandelt und am Beispiel der Intrusionen von Dahrner Berg und Soraer Höhe verifiziert. Das Auftreten der vier Ganggesteinsgenerationen kann im Kontext mit der geotektonischen Entwicklung eines kontinentalen Blockes mit zunehmender Kratonisierung gesehen werden.

Abstract

Mafic dyke intrusions in the Oberlausitzer Bergland, East-Saxony

The contribution deals with 105 mafic intrusive bodies of an area circumscribed by the locations Kamenz, Löbau, Herrnhut, and Sebnitz (Oberlausitz and southerly neighbouring areas). These mafic rocks were classified by petrographic and geochemical means into three pre-Tertiary generations of dykes or dyke swarms, respectively of highly differentiated gabbros, alkaline dyke basalts, and spessartites. A fourth dyke generation of ultramafic alkaline lamprophyre was defined by Renno et al. (2003a) on base of new outcrops. The evolution of the gabbro formation and of its sulphide mineralization is discussed and verified in the cases of the Dahrn Hill and Sora Hill composite intrusions. The formation of the four generations of dyke rocks may be seen in context with the evolution of a consolidating continental block.

Keywords: Gabbroic, alkaline basaltic, lamprophyric dykes, structure, petrography, geochemistry, fractionation, Ni-Cu-mineralisation.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

1 Einführung

Die basischen Intrusivgesteine der Oberlausitz sind seit den Arbeiten von Beck (1903) und Voigt (1906) Gegenstand lebhafter mineralogisch-geochemischer und geologischer Untersuchungen, zumal sie z.T. als Baurohstoffe, insbesondere für polierte Naturwerksteine und als Erzträger mehr oder weniger große Bedeutung erlangt haben. Die kartierenden Geologen der „Sächsischen Geologischen Landesuntersuchung“ bezeichneten diese Gesteine bereits in den Jahren 1890–1906 vorwiegend als Diabase, Diorite, Proterobase und Olivinnorite, während sie Beger seit 1913 in seinen zahlreichen chemisch-analytischen Arbeiten in Anlehnung an Rosenbuschs Konzept der lamprophyrischen Ganggesteinsgruppen generell mit dem „Lamprophyr-Problem“ verknüpfte und als basische Differentiate eines sauren Tiefenkörpers ansah (u.a. Beger 1913). Es bedurfte umfangreichen geochemisch-petrologischen und tektonischen Datenmaterials, bis die Entflechtung der dabei entstandenen gesteinssystematischen Verwirrung beginnen konnte. Zunächst argumentierten Bederke (1947), v. Wolff (1951), Bautsch (1963), Grosser (1965), Peschel (1970) und Löffler (1974) für die Zugehörigkeit zum basischen Magmatismus.

Peschel et al. (1973) kennzeichneten den weit überwiegenden Anteil der untersuchten Intrusionen als nicht-lamprophyrisch. Sie beschrieben eine doleritische 1. Generation von Basiten, die sich im Diskriminanztest mittels chemischer Hauptkomponenten nach Kutolin (1968) der Formation der Trappe alter Plattformen und eine weitere, jüngere 2. Generation alkalischer Gangbasalte, die sich der Formation kontinentaler Olivinbasalte zuordnet. Die Gangbasite einer weiteren, 3. Generation sind durch das Auftreten von idiomorpher Hornblende bzw. von Hornblende-Phänokristallen als Hauptkomponente gekennzeichnet und wurden als Amphiboldolerite und nach Kenntnis der Charakteristik der Spurenelemente als Spessartite (kalkalkalische Lamprophyre) klassifiziert.

Im Rahmen der Einschätzung der Rohstoffführung der Lausitzer Scholle entstand in einer Zeit mit noch relativ günstigen Aufschlussverhältnissen ein Fond mineralogischer und geochemischer Daten für 105 Basitkörper und ihre Gesteinskomponenten (Kramer & Andrehs 1988). Dieses Datenmaterial ermöglichte eine weitgehende petrographische und petrochemische Klassifizierung und die Darstellung der flächenhaften regionalen und räumlichen Typenverteilung sowie genetische Aussagen vor allem zur Gabbroformation, die Schwerpunkt des vorliegenden Übersichtsbeitrags sind.

1995 wurde im Steinbruch Klunst/Ebersbach ein Gangschwarm von Basiten mit Phlogopit-Phänokristallen aufgeschlossen, die von Renno et al. (2003a) umfassend untersucht wurden. Damit waren die ultramafischen Alkalilamprophyre, die 4. und jüngste Generation prätertiärer Basitintrusionen in der Oberlausitz gefunden.

Alle vier Basitgenerationen unterscheiden sich deutlich von den sächsischen, an den Egergraben gebundenen känozoischen Vulkaniten und deren subvulkanischem Anteil.

2 Geologischer Rahmen, Gestalt und Verbreitung der Basitintrusionen

Das Oberlausitzer Bergland gehört zur „Lausitzer Antiklinalzone“, die seit Ausklingen der cadomischen magmatischen Ereignisse als stabiler Block zu betrachten ist, der im Frühpaläozoikum am passiven Kontinentalrand im Nordrandbereich Gondwanas lag (Buschmann et al. 1995, Linnemann 2003). Dieser Block wird im NE vom Görlitzer Synklinorium mit kambrischen bis unterkarbonischen Sedimenten sowie Vulkaniten und im SE von der Elbe-Zone mit präkambrischen und altpaläozoischen Sedimenten, Vulkaniten, Metagranitoiden und Granitoiden flankiert. Die cadomischen Grauwacken und vor allem die Granitoide und Anatexite des Antiklinoriums werden von mehr als 1000 basischen, stock- und vorwiegend gangförmigen Gesteinskörpern intrudiert. Die am weitesten verbreiteten 3 ersten Generationen dieser Intrusivgesteine prätertiären Alters

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

sind in Karte 1 dargestellt. Aus der Streichrichtung und flächenhaften Anordnung der Intrusionen wird ersichtlich, dass diese als Gangschwärme auftreten. Die Gabbroide und alkalische Basalte haben ihr Hauptverbreitungsgebiet westlich von Ebersbach–Soritz östlich Löbau. Die Spessartite und die seltenen ultrabasischen alkalischen Lamprophyre treten östlich dieser Linie auf.

Beginnende Aktivitäten von Riftbildung führten im frühen Ordovizium zur Entstehung u.a. des Rumburger Granits (Buschmann et al. 1995), auf den im Unterdevon die Platznahme der ersten und extensivsten Generation basischer Gänge erfolgte. Das Intrusionsalter wird durch zwei Alterswerte für diese gabbroiden Gesteine (Tab. 1) gestützt. Die Gangschwärme der 1. und 2. Generation folgen im Wesentlichen einem System WNW-ESE und in seinem NW- und SE-Teil NW-SE-streichender Zerrspalten (Peschel et al. 1973), siehe Tab. 1 und Karte 1. Trotz der gemeinsamen tektonischen Richtungen der Vorkommen von Gabbroiden und alkalischen Basiten mit basaltischen bis doleritischen Gefügen müssen beide Generationen wegen des Durchschlagungskriteriums (Tab. 1) und der stofflich-genetischen Unterschiede (Kap. 4) getrennt bleiben. Die Gabbroidkörper erreichen häufig um 50 m bis seltener 100 m maximale Mächtigkeit, wogegen die alkalischen Basalte mehrere Dezimeter meist um 1 m, im Extremfall bis 9 m mächtig sind. Nicht selten durchschlagen die alkalischen Gangbasalte die Gabbroidkörper in deren Längsrichtung mit scharfem Kontakt (Stiller Fritz, Valtengrund, Kindisch) oder sie begleiten die größeren Intrusionen auf Parallelklüften (Soraer Höhe). Solche dm-mächtige, klein- bis feinkörnige Parallelgänge sind aber mitunter auch mit gabbroidem Magma gefüllt, dessen mineralogische und chemische Zusammensetzung derjenigen des mächtigeren Hauptganges entspricht (Fichtenberg, Mikulašovice I).

Die höchste Verteilungsdichte der Gabbroidvorkommen ist in einer gekrümmten Zone zwischen Bischofswerda–Valtengrund–Sohland–Friedersdorf und in einer zweiten Zone zwischen Valtengrund–Dahrner Berg–Bautzen zu beobachten (Karte 1). Der Schwerpunkt liegt im Berührungsgebiet beider Zonen im Hohwald (Valtengrund, Grenzland usw.), einem westlichen Höhenzug im Oberlausitzer Bergland. Das lagerartige (Sill), möglicherweise zungenförmige Vorkommen vom Dahrner Berg (Abschnitt 5.1) stellt bislang hinsichtlich seiner Form für die Oberlausitz eine Ausnahme dar. Dagegen ist der gangförmige (Dyke) und stockförmige Habitus typisch. Während die Gabbroidkörper der Oberlausitz meist absätzig sind, haben die geringmächtigen Gänge der alkalischen Gangbasalte eine vergleichsweise große Längserstreckung.

Die Spessartite (Gangschwarm der 3. Generation) gehören zu einem NNE–SSW-streichenden Spaltensystem. Ihre Gestalt lässt sich wegen der Aufschlussverhältnisse nicht einschätzen, sie können aber durchaus Mächtigkeiten um 50 m erreichen.

Die ultramafischen Alkalilamprophyre (4. Generation) haben nach Renno et al. (2003b) ein Argon-Plateaualter von 126 Ma und verlaufen NW–SE.

Die tertiäre Riftstruktur des Egergrabens mit NE–SW-Streichen begrenzt das Untersuchungsgebiet im SE, ihre NE-gerichteten Parallelstörungen, häufig Zufuhrspalten für die Tertiärvulkanite und deren Intrusiväquivalente (5. Generation), durchschlagen die untersuchten Gangschwärme wie z. B. am Wachtberg südöstlich von Friedersdorf (Kramer et al. 1977).

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Tab. 1 Altersgliederung, Gestalt und tektonische Position der nachsilurischen Basitintrusionen der Lausitzer Antiklinalzone

Gestein	**Alter in Ma**/ Methode	**Gestalt; Mächtigkeit der Körper**	**Geotektonik**
5. Generation **Tertiäre Basalte, Tephrite**, Basanite, Phonolithe, Nephelinite und subvulkanische Äquivalente	**24–34**/ K-Ar (Pfeiffer & Suhr 2008)	Quell- und Stoßkuppen, Decken, Gänge, Schlackenkegel, Diatremfüllung	Rift-Vulkanismus, Intrakontinental-kratonal, Egergraben und Parallel-störungen, NE–SW-gerichtet
4. Generation **Ultramafische Alkalilamprophyre**	**126**/ Ar-Ar Durchschlagen Gabbros (Renno et al. 2003b)	Gänge und Trümer; dm bis einige m	Prä-Rift-Vulkanismus, Intrakontinental-kratonal, NW–SE-gerichtet
3. Generation **Spessartite** (Kalkalkali-Lamprophyre),	(**230**/ K-Ar, Gestein, Kramer et al. 1977, Anal.: Pilot) Durchschlagen Gabbros quer	Gänge; 1 m bis 50 m	Intrakontinental-kratonal, NNE–SSW-gerichtet
2. Generation **Alkalische Gangbasalte**	Durchschlagen Gabbros in ± streichender Richtung der Gabbrokörper	Gänge; dm bis 10 m	Passiver Kontinentalrand, Spaltensysteme insbesondere am Rand eines stabilen Blockes, vorherrschend WNW–ESE- bis NW–SE-gerichtete Zerrspalten
1. Generation **Gabbroide;** Norite bis Diorite, kontinental-tholeiitisch (Mikrogabbroide)	**400**/ K-Ar, Biotit (Kramer et al. 1977, Anal.: Pilot) **390**/ Pb-Pb, Zirkon (Kindermann et al. 2003)	Gänge, Stöcke, lagergang-förmige Intrusionen; 1 m bis 100 m	

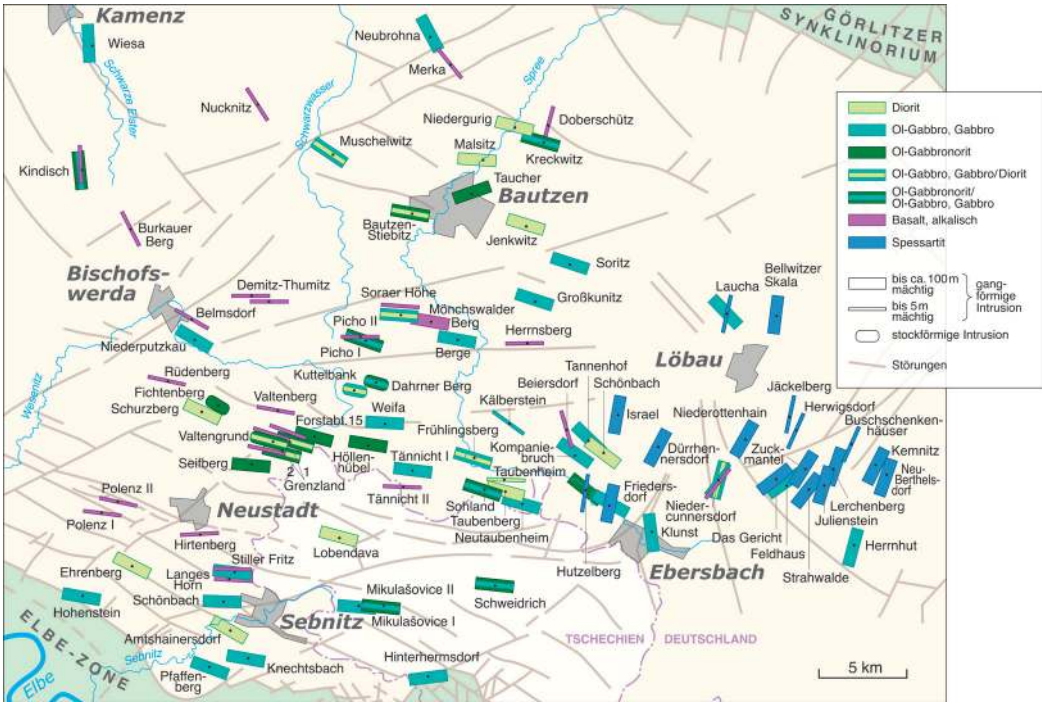
3 Probenmaterial und Methodik

Grundlage für die Erörterungen und graphischen Darstellungen im vorliegenden zusammenfassenden Beitrag sind die mikroskopisch-optische Untersuchung von 200 Dünnschliffen im Durchlicht und einiger Anschliffe im Auflicht sowie die Analyse der chemischen Hauptkomponenten (Pauschanalysen) an 140 und die Analyse seltener Spurenelemente an 70 pulverisierten (<25 µ) Gesteinsproben. Diese konnten aus 18 in Betrieb befindlichen und weiteren 42 auflässigen Steinbrüchen, untergeordnet von Halden, Bohrkernen, Klippen und Lesesteinen gewonnen werden. Für mehrphasige bzw. zusammengesetzte und differenzierte Gesteinskörper wurden Spezialkartierungen angefertigt.

Die chemische Zusammensetzung von Plagioklas, Olivin, Orthopyroxen und Klinopyroxen wurde durch Vermessung ihrer optischen Parameter mit dem U-Tisch und deren Auswertung unter Verwendung von Nomogrammen aus Deer et al. (1962 und 1963) und Sarantschina (1963) ermittelt.

Die Bestimmung der chemischen Elemente erfolgte mittels Plasmaspektroskopie (ICP-AES) für Ti, Li, Be, Rb, Ba, Sr, Mn, Ni, V, Cu, Zn, mit Atomabsorptions-Spektralanalyse (AAS) für Si, Al, Fe_{tot}, Mg, Ca, Na und K, spektraloptisch für Cr und Zr, spektralphotometrisch für P sowie coulometrisch für H_2O^+ und CO_2 am ehemaligen Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam. Die seltenen Elemente Cs, Hf, Ta, Th, U und – an 11 der Referenzproben (Tab. 5) und weiteren 60 Proben –Y, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu sowie an einigen Sulfidkonzentraten Au, Ag und Ir wurden

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627



Karte 1 Typenverteilung und Streichrichtung der devonischen bis kretazischen basischen Gangintrusionen der Lausitzer Antiklinalzone. Die Gangschwärme der Gabbroide und alkalischen Gangbasalte sind in der westlichen Oberlausitz konzentriert, während ein Spessartitgangschwarm in der östlichen Oberlausitz dominiert. Für Intrusionen, die aus mehr als 2 Gesteinsphasen zusammengesetzt sind, wurden nur die beiden wichtigsten Gesteine dargestellt. In der Karte sind nur die von den Autoren dieses Beitrags untersuchten Vorkommen berücksichtigt. Störungsmuster nach Müller & Wächter (1970). Die Achsenrichtung der Symbolbalken entspricht der Streichrichtung der einzelnen Gänge.

mittels Neutronenaktivierungsanalyse im Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf der AdW DDR analysiert. An weiteren 11 Referenzproben wurden Y und alle Lanthaniden (Seltenen Erden) im geochemischen Laboratorium des GeoForschungsZentrums Potsdam bestimmt.

4 Ergebnisse

4.1 Petrographie

4.1.1 Mineralbestand und Gefüge der Gabbronorit-Gabbro-Diorit-Formation

Alle diese Gesteine bestehen primär aus den dunklen (mafischen) Hauptgemengteilen Olivin (Ol), Orthopyroxen (Opx), Klinopyroxen (Cpx) und untergeordnet Hornblende (Hb) und Biotit (Bt) sowie den hellen Plagioklasen (Pl). Nebengemengteile sind Quarz (Qz) und Kalifeldspat (Kf). Der Opakanteil (Erzminerale) umfasst Sulfide (Pyrrhotin, Pentlandit, Chalkopyrit), Spinell (Sp), Chromit (Cr-Sp), Magnetit (Mt), Ulvit-Magnetit (UMt) und Ilmenit (Ilm). Die Akzessorien Apatit (Ap) und selten Zirkon (Zrn) und Monazit kommen vor. Häufig sind „sekundäre“ Mineralbildungen (Umwandlungsminerale), z.B. Calcit (Cc) ein bedeutender Bestandteil.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Eine Schlüsselrolle kommt den Plagioklasen, Mischkristallen mit einer Na-Komponente (Albit, Ab) und einer Ca-Komponente (Anorthit, An) zu. Deren chemische Zusammensetzung und ihr Kristallaufbau (Zonarbau) ermöglichen Rückschlüsse auf die Magmenentwicklung, und sind Kriterien für die „Basizität" der Gesteinsschmelzen und damit für die Typisierung.

Für die spezielle Typisierung haben Auftreten und Mengenverhältnisse der mafischen Minerale Olivin und Orthopyroxen besondere Bedeutung. Diese sind aber im Vergleich zu den Plagioklasen wesentlich empfindlicher bei stofflichen Änderungen und deshalb häufig nur reliktisch vorhanden oder völlig in andere Mineralphasen umgewandelt. Dennoch genügt im Allgemeinen der indirekte Nachweis (Pseudomorphosen) ihrer ursprünglichen Anwesenheit zur entsprechenden Einstufung des Gesteins.

Das Korngefüge hat prinzipielle Bedeutung für die Zuordnung der Magmatite zu Vulkaniten oder Intrusivgesteinen und u.a. für die Kennzeichnung der Erstarrungsbedingungen. Einen Überblick zu Zusammensetzung und Gefüge gibt Tabelle 2.

Tab. 2 Mineralbestand und Gefüge der Basit-Formationen (Überblick).
sfk – sehr feinkörnig, fk – feinkörnig, kk – kleinkörnig, mk – mittelkörnig, gk – grobkörnig

	Gabbroide (kontinental-tholeiitisch)	**Spessartite** (kalkalkalisch)	**Gangbasalte** (alkalisch)
Haupt-gemengteile	Cpx, (Opx), Pl	idiomorphe Hb, ±Bt, Pl, Cpx	Phänokristen: Ol, (Cpx, Hb); Matrix: Pl, Cpx
Neben-gemengteile	±Ol, ±Opx, Bt, ±Hb, ±Qz, ±Mt, UMt, Ilm, ±Sulfide	±Ol, (±pseudomorph) Cc, ±Qz, ±Kf Mt, UMt, Ilm	Hb, (Bt), Mt
Gefüge	Ophitisch bis hypidiomorph-körnig (kk), mk, (gk); mikrographisch	ophitisch, z.T. schwach porphyrisch, (intersertal) (mk), kk, fk, (sfk)	ophitisch, schwach porphyrisch fk, sfk, (dicht)

Aus den Verwachsungsverhältnissen ergibt sich nachstehende primäre Ausscheidungsfolge**.** Spinelle werden zuerst ausgeschieden und sind als 1–10 µm große, opake, leicht gerundete oktaedrische Einzelkristalle hauptsächlich in Forsterit (Fo)-reichen Olivinen eingeschlossen (Fo ist die Mg-Komponente des Ol). Die Spinelle wurden als Chromit bestimmt. Es folgen die Olivine, dann die Orthopyroxene und, sich mit diesen überlappend, die Plagioklase.

Die Plagioklasausscheidung verläuft während der gesamten Kristallisationsperiode bis zum völligen Verbrauch der potentiellen Plagioklassubstanz unter ständiger Abnahme des Anorthit- und Zunahme des Albit-Gehaltes. Im Idealfall müsste damit eine kontinuierliche Veränderung des An/Ab-Verhältnisses in ausgeschiedenen Plagioklasen bis hin zu homogenen Kristallen einhergehen. Allgemein sind die Kristalle jedoch mehr oder weniger zonar aufgebaut. Das jeweils resultierende Durchschnittsverhältnis An/Ab der Kristallmitte ist charakteristisch für einen bestimmten Gesteinstyp (vgl. Tab. 3).

Die Klinopyroxen-Ausscheidung fällt meist mit dem Beginn der Plagioklasbildung zusammen oder setzt kurz danach ein, es folgen Hornblenden und Biotit. Von den Nebengemengteilen gehören Ulvit-Magnetit, Ilmenit und Magnetit zu den Frühausscheidungen, wobei der Magnetit in einem sehr breiten Ausscheidungsbereich bis hin zu hydrothermalen Bedingungen kristallisieren kann.

Nicht selten und besonders bei den Dioriten endet diese Ausscheidungsfolge mit schriftgranitischen Verwachsungen von Kalifeldspat und Quarz in Zwickeln zwischen den Plagioklasleisten.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Tab. 3 Anorthit(An)-Gehalt (Mol.-% An) in der Mitte und am Rand von Plagioklasen aus den Gabbroiden

		Ol-Gabbro	**Norit**	**Gabbronorit**	**Gabbro**	**Diorit**
Soraer Höhe	Mitte Rand	79 max.; 75,5; 73–71 67	53–50,5 49	73–72 66,5– 65,5	72–64,5 40–31,5	60–58 36–31,5
Valten-grund	Mitte Rand	69,5-64; 59–58 48–41		66–62,5 58,5–56	65–60	
Dahrner Berg	Mitte Rand	73 max.; 70,5–66 62–61; 36,5–27,5	64–62	66,5–62 54,5–51	65–61,5 59–47	
Berge bei Sora	Mitte Rand	66 56,5–56		70,5–65 57–55; 20–30	55,5–53 38; 20	
Grenzland I	Mitte Rand	67–64 62			60–56	

Olivingabbronorite sind in den hier behandelten Kleinintrusionen mit Ausnahme des Vorkommens vom Dahrner Berg die Erstbildungen im Gesteinsverband. Sie sind durch Ol- und Opx-Anteile von jeweils >5 Vol.-% und einen An-Gehalt von bis zu 79 Mol-% charakterisiert. Ihr Vorkommen ist hauptsächlich an die äußeren, maximal 5 m mächtigen vertikalen Randzonen, z. B. der Soraer Höhe und vom Angstberg (Grenzland I) gebunden.

Olivingabbronorite und Olivingabbros haben ophitisches Gefüge, das mit zunehmendem Abstand vom Kontakt in hypidiomorph-körniges Gefüge übergeht. In einigen Proben wurden Kumulat-Gefüge beobachtet. Die Ol-Gehalte bewegen sich zwischen 15–30 Vol.-%, Pl erreicht maximal 60 Vol.-%, Opx schwankt um 5 Vol.-%, Cpx ist wesentlicher Bestandteil. Die Nebengemengteile Bt, Mt, UMt und Ilm sitzen meist als Verwachsungen in Zwickeln. In Olivingabbronoriten machen sie zusammen nicht mehr als 5 Vol.-% des Gesteins aus. Sulfide (Pyrrhotin, Pentlandit, Chalkopyrit, Pyrit) sind weitere Opakkomponenten, wobei Pyrit häufig das Produkt tiefthermaler Abscheidung ist. Akzessorien sind Ap und Cr-Sp (Ap ist in Bt, Cr-Sp in Ol eingeschlossen).

Olivin bildet idiomorphe bis hypidiomorph-körnige Kristalle, die oftmals agglomeriert sind (Abb. 1a). Im Liegendbereich (bis ca. 0,5 m mächtig) der Dahrner Intrusion tritt er in Form kleiner isometrischer Körnchen, zum Teil mit opakem Saum (intergranulares Gefüge), auf. Diese werden bis zu 5 m darüber zunehmend größer und bilden schließlich Kristalle in mm-Größe. In Olivingabbronoriten sind Olivine meist gut erhalten. Nur in cm-breiten Kontaktzonen sind sie vollständig in Talk- und Serpentin-Pseudomorphosen mit Magnetit und Fe-Hydroxiden umgewandelt. Der Fo-Gehalt der Olivine liegt bei noritischen Gliedern zwischen 67–75 Mol.-% und bei Ol-Gabbro zwischen 46–72 Mol.-%. In Olivingabbros weisen sie vielfach opake Abscheidungen (Magnetit) als Säume und in Rissen („Maschenstruktur“) auf.

Plagioklase kommen überwiegend leisten- und prismenförmig vor. Sie sind in Olivingabbronorit schwach, in Olivingabbro stärker zoniert und kaum alteriert, nur vereinzelt ist eine beginnende Serizitisierung beobachtbar.

Orthopyroxen ist Hauptbestandteil im Olivin-Gabbronorit und untergeordnet (< 5 Vol.-%) tritt er im Olivingabbro auf. Die Kristalle sind allgemein hypidiomorph-kurzprismatisch und selten xenomorph als Zwickelfüllungen ausgebildet. Sie sind weitestgehend homogen. Nur die schmalen Randzonen zeigen einen Austausch von Mg gegen Fe^{II}, d.h. von 3–1 Mol.-% der Mg-Komponente Enstatit (En) gegen die Fe^{II}-Komponente Ferrosilit (Fs), vgl. Tab. 4. Deutlich unterscheidet sich die px-Zusammensetzung der Opx-ärmeren Gesteinstypen von derjenigen der Olivin-Gabbronorite. Z.B. enthalten die Opx-Kerne des Vorkommens Dahrner Berg im Ol-Norit 70,5–64 Mol,-% und im Ol-führenden Gabbro 65–58,5 Mol.-% En.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

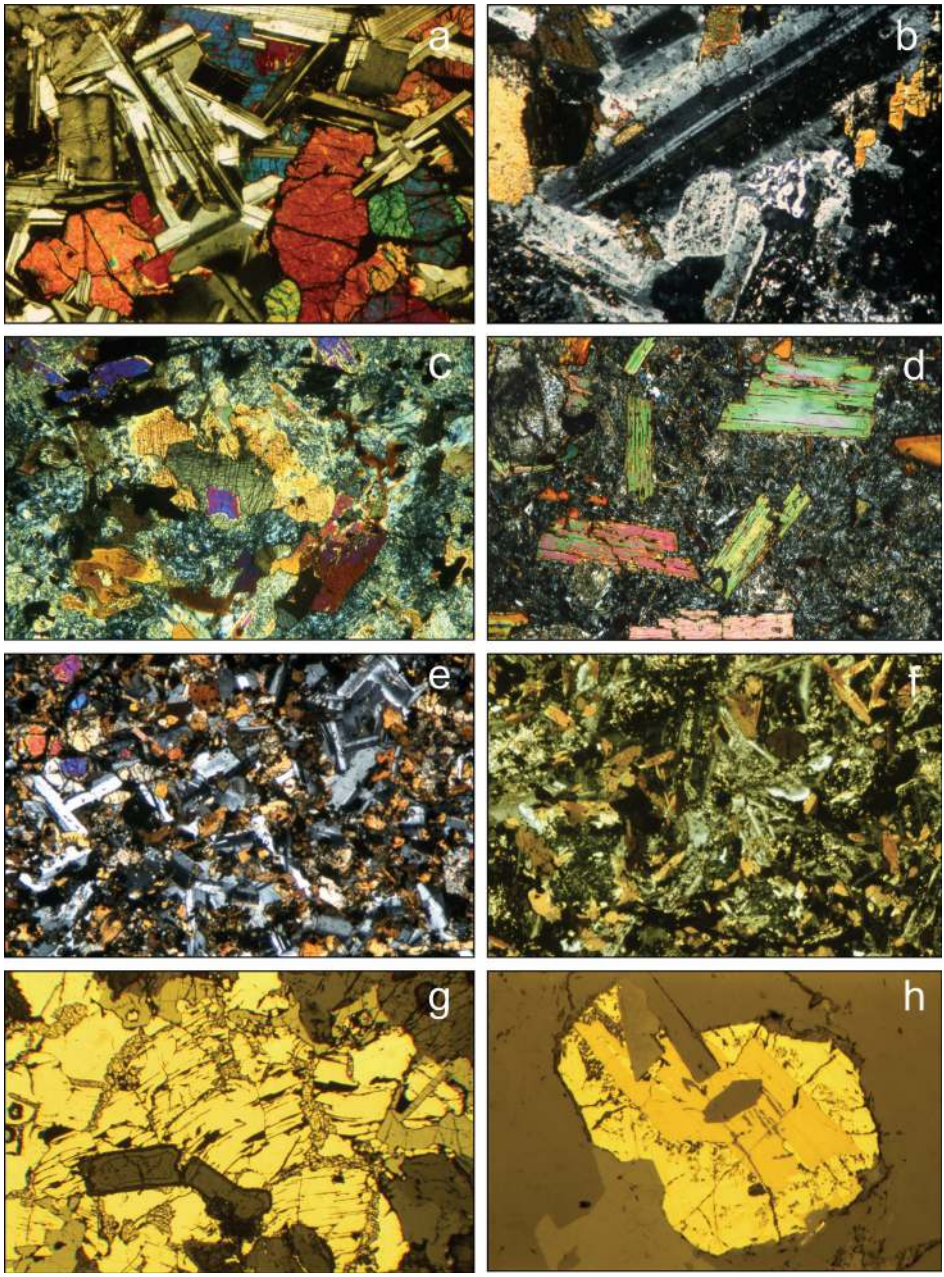


Abb. 1 Die basischen Ganggesteine im mikroskopischen Bild.
Durchlicht mit + Pol.: **a.** Olivingabbro, Valtengrund, Prb. 2785 (Vergr. 16×, + Pol.). Ophitisches, hypidiomorph-kleinkörniges Gefüge. Ol (rote bis grüne Interferenzfarben) in 2 Agglomeraten (links unten und rechter unterer Bildteil). In den Zwickeln der Feldspatleisten Cpx (dunkelblau) und dunkelbrauner Bt (Mitte oben). **b.** Diorit, Soraer Höhe, Prb. 2194 (Vergr. 18×, + Pol.). Mittelkörniges ophitisches Gefüge. In Zwickeln zwischen Plagioklasleisten mit albitischen Anwachssäumen (hellgrau) sitzen graphophyrische Q-Kf-

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Verwachsungen, Erzminerale, Hb (gelb) und Bt (hypidiomorph, braungrün). **c.** Alterierter Ol-Gabbro, Sohland (Vergr. 13×, + Pol.). Das ehemalige ophitische Gefüge ist kaum erkennbar. Cpx (Bildmitte) von Hb (gelb) verdrängt, das gesamte Aggregat von xenomorphen bis hypidiomorphen Bt-Kristallen umgeben. Die rundlichen blaugrauen Aggregate sind serpentinisierte Ol-Körner. Pl ist saussuritisiert. **d.** Minette, St. Michaelis/Osterzgebirge, Prb. 2071 (Vergr. 19×; + Pol.) mit porphyrischem Gefüge durch dominierend idiomorphe Phlogopit-Phänokristen in feinkörniger Grundmasse von vorherrrschend Pl, Kf und Erzmineralen. **e.** Alkalischer Basalt, Valtengrund (Vergr. 19×; + Pol.). Schwach ophitisch durch Pl-Leisten, Ol (links oben), Cpx und braune Hb. **f.** Spessartit, Israel, Prb. 2323 (Vergr. 18×; +Pol.). Schwach ophitisch durch Pl-Leisten (mit Albit-Saum) und hypidiomorphe bis idiomorphe braune Hb. Auflicht: **g.** Sulfideinschluß, Angstberg, Grenzland 1 (Vergr. 11×). Brekziierter und deformierter Pyrrhotin mit Translationen nach (0001). Von den Rissen gehen Umwandlungen in ?Bravoit aus. Randlich scharfbegrenzte Mt-Bildungen (grau), am oberen Rand 3 Chalkopyritkörner (hellgelb). Im Zentrum befindet sich ein zerbrochener, idiomorpher Pl-Einschluß. **h.** Sulfid-Tropfen in Ol-Gabbronorit, Angstberg; (Vergr. 47×), bestehend aus idiomorphem Pyrrhotin im Zentrum (dkl.-gelb), Pentlandit (hellgelb) und am oberen Rand Chalkopyrit (etwas heller als Pentlandit), mit Einschlüssen und Sprossungen von Silikaten

Klinopyroxen kommt als Hauptbestandteil in allen Gesteinen vor und bildet meist xenomorphe Zwickelfüllungen oder große xenomorphe Kristalle, in denen Plagioklaskristalle eingeschlossen sind. Cpx hat variablen Chemismus, einzelne Körner sind aber weitestgehend homogen zusammengesetzt. Überwiegend ist der Cpx ein Augit.

Der **Gabbro** hat meist ophitische bis hypidiomorph-mittelkörnige Gefüge. Pl stellt mit 40–60 Vol.-% den Hauptanteil, gefolgt von Cpx mit 25–40 Vol.- % und den Nebengemengteilen Ol, Opx, Bt, Mt, Ilm und als Akzessorien Ap, Qz. Gewöhnlich sind Chlorit und grüne Hb als sekundäre Bildungen vorhanden.

Plagioklas ist gefügebestimmend und allgemein schwach zonar, vereinzelt treten Albitsäume auf. In größeren tafligen Pl ist eine vom Kern ausgehende Serizitisierung zu beobachten. In einigen Proben treten mikrographische Verwachsungen von Feldspat mit Quarz auf.

Klinopyroxen ist überwiegend als Zwickelfüllung oder in Gestalt großer xenomorpher Kristalle mit leistenförmigen Pl-Einschlüssen ausgebildet. Die Pl zeigen meist wie im gesamten Gestein eine gleichmäßig sperrige Anordnung. Im Falle gegenseitiger Berührung lassen sie die Cpx zerhackt erscheinen. Cpx sind häufig randlich resorbiert, besonders wenn sie an Bt-Mt-Verwachsungen angrenzen. Xenomorpher Orthopyroxen ist nur sehr untergeordnet vorhanden.

Olivin bildet häufig Agglomerate aus teils korrodierten Körnern, die oft serpentinisiert sind. Opake Minerale sind Mt, UMt, Ilm, und Sulfide (Pyrrhotin und Pyrit), die oft mit Bt und Hb verwachsen sind, wobei die grünen Amphibole (Hb bis Aktinolith) meist die Reaktionssäume bilden. Neben diesen dominanten Gabbrotypen ist auch ein Hb-führender Ol-Gabbro der Soraer Höhe mit primärer Hb zu erwähnen, dessen Mafitanteile Ol > Cpx > braune Hb > Bt sind.

Die **Diorite** unterscheiden sich von den oben genannten Gesteinstypen deutlich durch das Fehlen von Ol und Opx und das Auftreten von Qz und Hb, geringen Mengen Kalifeldspat und erhöhte Gehalte an Bt und Ap.

Die Diorite bilden gegen die Olivingabbronorite deutlich erkennbare Kontakte aus. Petrographisch sind sie durch geringeren Mafit-Gehalt und erwähnte Qz-Führung gekennzeichnet. Der An-Gehalt in der Mitte der zonaren Kristalle liegt zwischen 60–57 Mol-% und damit höher als der für normale Diorite übliche von 50 Mol-% An, während der Hauptteil andesitische Zusammensetzung (30–50 Mol.-% An) hat. Der Ti-Gehalt der Diorite ist gegenüber den Gabbros und Gabbronoriten deutlich erhöht, was im erhöhten Ti-Gehalt der mafischen Silikate (Ti-haltiger Augit) und besonders durch verstärktes Auftreten von Ulvit-Magnetit und Ilmenit zum Ausdruck kommt.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Charakteristisch sind hypidiomorphe und ophitische Gefüge. Der primäre Mineralbestand umfasst Pl (ca. 60 Vol.-%), Cpx (10–25 Vol.-%), UMt und Ilm (6 Vol.-%), Bt (3–8 Vol.-%) und bis zu 10 Vol.-% grüne Hornblende. Nebengemengteile sind Qz, Ap und Cc; Zrn und Monazit treten nur sporadisch auf.

Diorit ist allgemein stark durch Hydrothermalmetamorphose alteriert. Die zonaren Plagioklase haben mehr oder weniger Albiträndер an denen sich nicht selten graphophyrische Qz-Kf-Verwachsungen anschließen (Abb. 1b). Häufig ist Saussuritisierug ausgeprägt. Cpx ist meist von grüner Hb umsäumt oder völlig in diese umgewandelt (uralitisiert). Weiter sind Umwandlungen in Chlorit, Mt und Hämatit zu beobachten. Die UMt-Verwachsungen bilden Skelettkristalle oder Lamellen, die oft von Leukoxen oder Bt umgeben sind. Bt ist an den Rändern häufig vergrünt (chloritisiert). Apatite sind als isometrische und nadlige Einschlüsse in Pl, Bt und Hb zu finden.

Mineralumwandlung (Alteration) spielt in allen Gabbroiden eine bedeutende Rolle. In Ol-Gabbronoriten treten häufig völlig umgewandelter Ol (Serpentinisierung, Talkbildung), die Serizitisierung von An-reichen Pl-Kernen, Anwachssäume an bzw. Verdrängung von Pyroxen durch Hb (Uralitisierung) und Bt-Neubildungen (Abb. 1c) auf. Sie sind als Folge von Autometamorphose durch wasserreiche Restlösungen bei relativ hohen Temperaturen (z.T. Subsolidusreaktionen unmittelbar nach der Auskristallisation des Magmas) zu erklären.

Daneben treten Veränderungen auf, die durch Hydrothermalmetamorphose, d.h., durch Zufuhr von Fluida (H_2O, CO_2) bei niedrigeren Temperaturen, hervorgerufen werden können, wie z.B. die Leukoxenbildung aus UMt, die vollständige Saussuritisierung (Klinozoisit, Epidot, Albit, Serizit) von Pl, das Auftreten von Cc, Pyrit etc. und die von Heinrich (1993) diagnostizierte weitere Umwandlung der serpentinisierten Olivine in Nontronit. Auch Umlagerungen von Sulfid-abscheidungen zählen hierzu.

In seitlichen und hangenden Kontaktbereichen mit erhöhter tektonischer Durchbewegung, Porosität und daher guter Wegsamkeit für aufsteigende hydrothermale Lösungen können miarolithische Bildungen und blasenförmige Auscheidungen von Qz, Cc, teilweise Pyrit und Epidot auftreten (Soraer Höhe, Dahrner Berg, Berge südlich Bautzen). In leicht brekziierten Partien der Soraer Höhe kommen Ausfüllungen mit Amphibolen (Hb, Aktinolith) allein oder mit Cc und gelegentlich Chalkopyrit vor.

Heinrich (1993) hat die Abschätzung der Temperaturen zu diesen Umwandlungen vorgenommen. Das petrographische Bild dieser Gabbroide ist von dem der kalkalkalischen Lamprophyre sensu stricto (siehe Abb. 1d und f als Vergleichsproben) deutlich verschieden.

Tab. 4 Chemismus-Variabilität innerhalb der Opx-Kristalle aus Gabbroiden.
En = Enstatit, Fs = Ferrosilit, 2Vx = Winkel der optischen Achsen, r > v = Dispersion der Auslöschungsschiefe

		Kristall-Mitte	**Kristall-Rand**
Dahrner Berg	Ol-Norit	2Vx = 67° ~ 73,5 Mol-% En (r > v) 26,5 Mol-% Fa	2Vx = 64° ~ 70,5 Mol-% En (r > v) 29,5 Mol-% Fs
Valten-grund	Ol-Gabbro-norit	2Vx = 76 ~ 79,0 Mol-% En (r > v) 21,0 Mol-% Fs	2Vx = 74° ~ 78,0 Mol-% En (r > v) 22,0 Mol-% Fs

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

4.1.2 Weitere Basitformationen

Alkalische Basalte

Bei diesen im gesamten Gebiet verbreiteten, geringmächtigen Gängen handelt es sich um Olivinbasalte. Sie haben im Allgemeinen (klein)- bis feinkörnige (1–1,5 mm bei den silikatischen Phasen) und schwach porphyrische bis ophitische Gefüge (Abb. 1e). Der Mafitanteil beträgt ≥40 Vol.-%. Als Phänokristen treten Ol, Cpx und Hb auf, die Grundmasse besteht aus Pl, Cpx, brauner Hb (Kaersutit), (Bt), Mt und Ilm. Ol ist idiomorph bis hypidiomorph und bildet mit Erzmineralen die Erstauscheidung. Er ist teilweise bis gänzlich pseudomorphosiert. Der Cpx, ein Titanaugit, kristallisiert überwiegend hypidiomorph und weist allgemein einen feinen bis breiten Saum brauner Hb auf. Pl ist hypidiomorph leistenförmig ausgebildet und liegt in lockerer sperriger Verteilung vor. UMt und Ilm sind in erheblicher Menge als kleine idiomorphe Kristalle vorhanden. Cc kann als runde Blasenfüllung auftreten.

Spessartite

Entsprechend der internationalen Klassifikation (Le Maitre 1989) ist für die Spessartite ein hoher Gehalt an Amphibol obligatorisch, im Untersuchungsgebiet ist dies meist braune Hb. Andere mafische Minerale treten sehr wechselhaft auf. Neben Cpx sind meist etwas Ol (überwiegend pseudomorphosiert) und Bt vorhanden. Das Gefüge reicht von mittel- bis kleinkörnig und ist allgemein nur schwach porphyrisch (Hutzelberg bei Neusalza-Spremberg) und ophitisch bis schwach ophitisch ausgebildet.

Die genannten mafischen Phasen und in wechselnder Menge Pl bilden die Grundmasse. Nebengemengteile sind Chlorit, UMt, Mt und akzessorisch treten stets Ap sowie ± Zrn auf.

Als Phänokristalle sind hauptsächlich Cpx und Ol ausgebildet. Nur wenn Cpx nicht vorhanden ist, treten auch Hb-Phänokristalle auf. Hb zeigt die größte Variabilität bezüglich der Erscheinungsform. Sie kann bei leicht porphyrischen Gefügen als Phänokristall vorkommen und in der Grundmasse ein sperriges Gefüge aus idiomorphen Kristallen (Abb. 1f) bilden. Bei rein ophitischem Gefüge wird Hb auch in Form und Größe gleichberechtigt neben Cpx und Bt gefunden. Häufig ist Hb orientiert an Cpx angewachsen oder hat diesen verdrängt, so dass nur noch Cpx-Relikte im Zentrum vorhanden sind.

Ol bildet meist idiomorphe Phänokristalle, die aber allgemein als Pseudomorphosen vorliegen. Dabei bildet sich in einer ersten Umwandlungsstufe Serpentin, der mitunter durch Amphibol völlig verdrängt wird oder nur noch reliktisch vorhanden ist (Hutzelberg).

Bt ist nicht immer nachweisbar, kann aber auch in bestimmten Gesteinspartien die anderen mafische Phasen an Menge erreichen oder übertreffen (Gericht südlich Oberottenhain: neben Hb >> Bt auch Bt ≥ Hb > Cpx). In diesem Fall können Bt-Kristalle sogar größer als die von Hb und Cpx sein. Bt ist oft völlig chloritisiert, wobei pleochroitische Höfe noch in Erscheinung treten.

Pl ist leistenförmig oder xenomorph in der Grundmasse kristallisiert. Häufig liegt eine Serizitisierung der Kristallmitte vor, so dass nur die Ab-reichen Ränder, oft mit sehr schönen graphophyrischen Anwachsungen, beobachtbar sind.

Bei intensiverer Alteration kommt es u.a. zur Entmischung von UMt unter Mt- und Leukoxen-Bildung, es treten Cc, Qz , Hämatit und Titanit auf (Gericht). Mitunter ist die Ansprache dieser Gesteine als reine Spessartite wegen erheblicher Cpx-Anteile sowie der Ti-Gehalte von Hb (Kaersutit) und Cpx problematisch.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

4.1.3 Zur Sulfidmineralisation der Gabbroide

Bei Erkundungsarbeiten in den 1980er Jahren sind neue Sulfidvorkommen aufgeschlossen worden, die hier mit Abb. 1g und h sowie Abb. 2a–d als Beispiele dokumentiert werden. Die vorgefundenen sulfidreichen Gesteinspartien lassen sich bezüglich ihrer Ausbildung, Zusammensetzung und Bindung an bestimmte Gesteinstypen, gut mit Beobachtungen von Rohde (1976) vereinbaren, der eine Typisierung vornimmt und die Bildungsbedingungen, z.B. für das Vorkommen Forstabteilung 15 (östlich Grenzland I) diskutiert.

Der in Abb. 1g gezeigte Sulfideinschluss der Angstberglinse (Grenzland I) ist mit den Sulfidabscheidungen der kontaktnahen Gesteinspartie in Forstabteilung 15 zu parallelisieren, die ebenso Deformationen und einen Reaktionssaum aus UMt aufweisen. Die Sulfidtropfen in Abb. 1h und 2a (Angstberg) lassen sich mit Sulfidbildungen der kontaktferneren Gesteinspartie der Forstabteilung 15 gut vergleichen. Diesen Typ ordnet Rohde (1976) der liquidmagmatischen Differentiation gabbroider Magmen zu.

Ebenso scheinen kontaktnahe Sulfid-Silikat-Verwachsungen dieser beiden Vorkommen einander zu entsprechen. Es handelt sich um zwickelförmige Sulfidfüllungen zwischen Silikatkörnern (sideronitische Vererzung) in einem Amphibol-Pl-Gefüge (Angstberg, Abb. 2c), bei der die einzelnen Sulfidkörper deutlich unterschiedliche Chalkopyritanteile aufweisen. Diese Gefügeausbildung entsteht wahrscheinlich ohne Umkristallisation der Sulfide durch eine Zerteilung größerer Tropfen bei der Amphibolkristallisation während der Autometamorphose (Rohde 1976) im Subsolidusbereich. Diese Erzpartie enthält 0,8 M.-% Ni und 0,18 M.-% Cu. Ähnlich große längliche Sulfidaggregate wie vom Angstberg (Abb. 2a) werden aus kontaktferneren Bereichen des Ol-Gabbronorits von Forstabteilung 15 beschrieben. Das im Erzhorizont am Angstberg dominierende Gefüge zeigt Abb. 2b.

Eine Ausnahme bilden überwiegend aus Chalkopyrit bestehende Sulfidabscheidungen in Verwachsung mit Qz, Feldspat, Amphibol, Bt und Cc nahe dem Kontakt zum Granodiorit im Vorkommen Soraer Höhe (Abb. 2d). Das Chalkopyritkonzentrat aus dieser Verwachsung enthält 0,13 ppm Au und 980 ppm Ag.

In einem Chalkopyritkonzentrat aus amphibolführendem Gabbro von Sohland wurden 5,8 ppm Au gefunden. Iridiumgehalte um 0,07 ppm in Pentlandit-Pyrrhotin-Konzentraten von Sohland und Dahrner Berg wurden als Hinweis auf die Führung von Elementen der Pt-Gruppe (PGE) generell gedeutet (Kramer & Andrehs 1988). Im Erz des Vorkommens am Schweidrich südlich Šluknov fanden Vavřín & Frýda (1998) Sperrylith ($PtAs_2$) und Pd-Phasen. In einer ausführlicheren Studie berichten Kindermann et al. (2003) über die Ni-Cu-Vererzung und deren PGE-Führung.

4.2 Geochemie

4.2.1 Geochemische Kennzeichnung und Klassifizierung der Basite

Zur Vermittlung des Umfangs des analysierten Elementspektrums und zum Vergleich der Elementführung innerhalb der Gabbroide und zwischen Gabbroiden, alkalischen Basalten und Spessartiten sind 22 Referenzanalysen in Tab. 5 aufgeführt.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Abb. 2 Gabbroide mit Sulfidführung im makroskopischen Bild.
a. Ol-Gabbronorit mit rhythmischem Gefüge, Angstberg, Grenzland I (Vergr. 2×). Längliche Tropfen von Pyrrhotin, Pentlandit und randlich Chalkopyrit in einer dunklen, noritischen Lage zwischen Pl-reicheren Partien (oben rechts und unten). **b.** Ol-Gabbronorit, Angstberglinse, Erzhorizont an der Basis (Vergr. 1,5×). Sulfidausscheidungen mit Verdrängung und Durchspießung durch Silikate. **c.** Vererzter autometamorpher Gabbroid, Angstberg, Bohrung (natürliche Größe). Gleichmäßig verteilt füllen die Sulfidabscheidungen Zwickel in einem Amphibol-Pl-Gefüge (sideronitische Vererzung). **d.** Ol-Gabbronorit, Soraer Höhe (natürliche Größe) Chalkopyritausscheidung in einem hydrothermalen Restkristallisat mit Albit, Qz, Cc und OH-haltigen Silikaten

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Tab. 5 Chemismus der Gabbroid-, Alkalibasalt- und Spessartit-Generation basischer Intrusionen der Oberlausitz (Referenzproben).
Gabn – Gabbronorit, Gabb – Gabbro, OlGab – Olivin-Gabbro, OlGabn – Olivin-Gabbronorit, alkBa – alkalischer Gangbasalt, Spess – Spessartit.

Gestein	Gabn	Gabb	Gabb	Diorit	Gabn	OlGab	Gabb	Diorit	OlGabn	Gabn	Gabb
Fund-ort	Soraer Höhe		Soraer Höhe		Fich-ten-berg	Val-ten-grund	Klunst	Baut-zen-Stiebitz	Grenz-land II	Forst-abteilg. 15	Nie-der-gurig
Probe	2744	2747	2748	2194	2131	2136	2146	2148	2165	2246	2266
SiO_2	47,9	48,4	47,3	50,9	49,4	50,3	48,1	48,8	47,4	51,1	49,7
TiO_2	1,28	1,16	1,22	1,73	1,03	1,16	1,12	2,05	0,97	1,05	1,93
Al_2O_3	13,4	18,3	17,7	16,9	12,4	16,3	17,4	15,5	13,3	15,0	14,2
Fe_2O_3	2,87	1,24	3,27	4,95	3,37	3,18	2,71	4,01	2,92	1,82	3,28
FeO	8,84	7,88	7,76	5,7	7,58	7,65	7,0	9,34	8,61	7,89	7,92
MnO	0,16	0,13	0,15	0,14	0,15	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14
MgO	12,4	6,0	6,9	3,1	12,0	6,2	6,0	4,5	13,2	7,7	6,4
CaO	8,6	11,2	9,7	8,8	10,0	10,8	10,0	9,3	8,8	10,1	9,8
Na_2O	2,0	2,65	2,6	4,0	2,3	3,0	2,8	3,1	2,4	3,0	3,2
K_2O	0,60	0,68	0,61	1,4	0,53	0,51	1,3	0,85	0,41	0,50	0,81
P_2O_5	0,11	0,11	0,14	0,24	0,10	0,11	0,12	0,20	0,10	0,11	0,30
H_2O^+	1,88	1,58	2,2	2,2	1,03	0,40	3,0	2,1	1,31	0,60	2,0
CO_2	0,36	0,30	0,13	0,15	0,71	0,56	0,40	0,43	0,88	0,29	0,75
Σ	100,4	99,62	99,68	100,2	100.6	100.3	100,1	100,3	100,4	99,3	100,4
Li	13	15	13	12	7,9	6,	19	16	8,9	8,6	14
Be			0,73	1,4	0,7	0,6	0,6	1,1	0,4	0,7	1,3
Rb	6,7	7,9		25	22	13	60	46	18	13	14
Cs	2,5	2,0	1,9	2,1	0,64	1,80	0,8	13	1,0	1,1	1,1
Ba	165	128	136	300	106	122	222	167	102	125	202
Th	2,8	1,6	1,9	3,6	1,22	1,23	1,37	2,6	1,32	1,02	2,58
U	b.l.	b.l.	b.l.	0,9	0,62	0,63	0,47	0,87	0,53	0,56	0,86
Ta	0,28	0,39	0,42	1,2	0,63	0,56	0,56	1,2	0,76	0,65	2,0
Sr	184	272	240	250	198	190	251	222	202	180	330
Zr	68	68	86		64	100	100	110	100	125	310
Hf	2,0	1,8	2,2	4,4	2,2	2,3	2,3	3,9	2,0	2,1	4,1
Sc	24	23	18	25	24	21	22	24	22	26	24
V	214	232	179	195	175	199	205	256	155	202	195
Cr	613	140	71	50	1041	132	154	28	649	588	113
Ni	384	52	102	21	260	83	59	28	347	202	67
Cu	88	44	40	11	75	48	43	30	151	124	45
Zn	89	68	88	97	82	91	87	119	82	83	104
Y	16	15	17	28	14	18	15	25	12	16	19
La	8,4	7,7	9,4	20	7,3	8,3	6,8	16	11	11	20
Ce	18	17	19,5	44	15	17	21	36	21	22	38
Pr	2,5	2,3	2,56		2,2	2,4					
Nd	11	9,6	11,7		9,5	10					
Sm	2,9	2,4	2,9	5,9	2,5	2,7	2,7	4,7	2,5	2,9	4,4
Eu	0,91	0,88	0,98	1,9	0,86	0,97	0,90	1,5	0,80	0,90	1,9

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Gestein	Gabn	Gabb	Gabb	Diorit	Gabn	OlGab	Gabb	Diorit	OlGabn	Gabn	Gabb
Fund-ort	Soraer Höhe		Soraer Höhe		Fich-ten-berg	Val-ten-grund	Klunst	Baut-zen-Stiebitz	Grenz-land II	Forst-abteilg. 15	Nie-der-gurig
Gd	3,1	2,8	3,2		2,9	3,3					
Tb	0,54	0,48	0,56	1,1	0,48	0,56	0,68	1,1	0,62	0,76	0,72
Dy	3,2	2,9	3,3		3,1	3,6					
Ho	0,63	0,56	0,65		0,59	0,71					
Er	1,8	1,6	1,8		1,7	2,0					
Tm	0,24	0,24	0,27		0,23	0,27					
Yb	1,5	1,4	1,6	4,0	1,3	2,3	1,6	2,8	1,7	2,0	2,3
Lu	0,23	0,22	0,24	0,42	0,19	0,25	0,21	0,28	0,21	0,26	0,29

Tab. 5 Fortsetzung

Gestein	Gabb	Diorit	Gabn	alkBa	alkBa	alkBa	alkBa	alkBa	Spess	Spess	Spess
Fund-ort	Hinter-herms-dorf	Tau-ben-berg	Dahr-ner Berg	Val-ten-grund	Picho	Herrns-berg	Lan-ges Horn	Belms-dorf	Israel	Hut-zel-berg	Ju-lien-stein
Probe	2268	2538	2638	2137	2623	2637	2660	2685	2323	2675	2680
SiO_2	48,9	50,1	48,3	46,2	43,3	43,8	50,6	45,2	53,0	53,7	52,1
TiO_2	1,43	1,96	1,32	2,2	2,47	2,9	2,76	1,99	1,61	1,08	1,38
Al_2O_3	15,5	14,3	15,8	13,2	12,3	13,8	13,6	13,2	16,9	15,8	16,6
Fe_2O_3	3,61	3,21	3,32	2,48	4,26	3,47	3,08	4,46	1,24	2,47	2,73
FeO	7,90	9,07	8,08	9,2	8,13	9,38	8,2	8,04	7,06	4,3	5,28
MnO	0,17	0,14	0,15	0,16	0,15	0,16	0,16	0,19	0,12	0,10	0,12
MgO	6,6	4,6	6,7	11,2	12,2	8,6	8,0	11,1	6,0	5,6	6,3
CaO	9,2	8,7	9,6	9,2	9,3	9,2	8,2	9,4	6,8	7,0	6,8
Na_2O	2,8	3,0	2,6	2,4	2,2	3,2	2,6	2,5	3,2	4,0	2,9
K_2O	0,63	1,0	0,74	0,85	0,8	1,3	1,1	0,56	1,4	3,2	2,1
P_2O_5	0,15	0,21	0,15	0,27	0,38	0,45	0,24	0,22	0,46	0,6	0,45
H_2O^+	3,08	1,6	1,81	2,1	3,06	1,94	1,97	1,93	2,14	1,5	2,42
CO_2	0,20	1,55	0,35	0,90	1,32	1,68	0,38	1,04	0,40	0,14	0,22
Σ	100,2	99,44	98,92	100,3	99,87	99,88	100,9	99,83	100,3	99,35	99,4
Li	32	9,0	10	15	25	8,8	28	9,7	15	8,4	14
Be	0,30	1,2	0,90	1,9	1,6	1,8	0,97	0,73	2,0	1,5	1,6
Rb	18	30	45	47	21	20	59	17	69	34	35
Cs	1,8	2,0	2,8	1,1	4,8	0,70	2,57	2,42	1,2	0,34	6,7
Ba	141	192	141	214	227	333	266	148	500	1225	907
Th	2,04	2,97	2,1	2,14	2,7	3,3	2,76	1,5	6,2	13,9	11
U	0,62	0,85	0,72	0,57	0,9	1,3	0,74	0,31	1,1	2,0	1,9
Ta	0,60	1,4	0,75	1,7	2,5	2,6	1,9	0,94	1,0	0,84	0,81
Sr	236	200	271	364	388	530	365	302	466	625	620
Zr	55	150	112	142	155	202	125	101	236	196	188
Hf	2,5	3,8	2,92	3,9	4,3	6,2	3,52	2,87	6,7	6,6	6,7
Sc	25	25	23	26	23	20	23	25	22	23	22
V	228	288	189	233	247	247	251	284	130	184	178

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Gestein	Gabb	Diorit	Gabn	alkBa	alkBa	alkBa	alkBa	alkBa	Spess	Spess	Spess
Fund-ort	Hinter-herms-dorf	Tau-ben-berg	Dahr-ner Berg	Val-ten-grund	Picho	Herrns-berg	Lan-ges Horn	Belms-dorf	Israel	Hut-zel-berg	Ju-lien-stein
Cr	110	18	81	419	479	208	326	392	171	241	220
Ni	106	34	104	343	408	230	267	371	131	48	187
Cu	56	24	43	79	66	43	43	70	26	28	26
Zn	98	112	94	81	100	130	107	118	62	61	94
Y	19	23	19	19	19	23	21	20,6	27	25	26
La	38	18	12	20	23	29	16	13	31	40	41
Ce	24	40	27	42	48	65	35	30	68	78,5	85
Pr					5,6	8,0	4,2		8,4	9,27	9,8
Nd					23	33,5	19		33	37	38
Sm	3,4	5,0	3,74	4,8	5,4	7,4	4,54	4,1	6,9	7,02	7,4
Eu	1,1	1,6	1,48	2,0	1,7	2,4	1,51	1,4	1,9	2,01	1,9
Gd					5,2	6,95	4,93		6,2	6,15	6,2
Tb	0,72	0,80	0,65	0,61	0,79	1,0	0,71	0,63	1,0	0,93	0,83
Dy					4,3	5,5	4,52		5,5	4,81	5,1
Ho					0,81	0,94	0,81		1,1	0,87	0,94
Er					2	2,5	2,1		2,9	2,58	2,7
Tm					0,25	0,3	0,31		0,41	0,37	0,37
Yb	2,2	2,7	1,96	2,15	1,45	1,8	1,8	2,1	2,6	2,28	2,4
Lu	0,26	0,29	0,31	0,30	0,22	0,28	0,27		0,43	0,36	0,38

Die mineralogisch-petrographische Unterscheidung der basischen Intrusionen lässt sich mit Hilfe chemischer Hauptkomponenten in Kombination des aufgeklappten „Basalt-Tetraeders“ mit dem P_2O_5 vs. TiO_2-Diagramm stützen (Abb. 3). In den Dreiecken ergibt sich eine Felderung für die Basite der 1., 2. und 5. Generation, wobei die Tertiärbasalte eindeutig diskriminiert werden. Die weit überwiegende Zahl der Gabbroide und ihr Verteilungsschwerpunkt heben sich von den alkalischen Gang- und Tertiärbasalten ab.

Im binären P_2O_5 vs. TiO_2-Diagramm erfolgt eine Diskriminierung im Zusammenhang mit den Absolutgehalten und mit den variablen Verhältnissen der beiden Oxide. Die Spessartite setzen sich eindeutig von allen übrigen Generationen ab. Die alkalischen Gangbasalte überlappen sich zu einem erheblichen Teil mit dem Feld der tertiären Alkalibasalte, an dessen oberem Abschnitt die ultramafischen alkalischen Lamprophyre (4. Generation) ansetzen.

Petrochemisch werden die Basitgenerationen 1 bis 3 entsprechend den Ergebnissen von Kramer & Andrehs (1987) und Heinrich (1993) als tholeiitisch-kontinental (Trapp-Formation) – Gabbroide, alkalisch (Olivinbasalt-Formation) – Gangbasalte und kalkalkalisch mit shoshonitischer Tendenz (Kalkalkali-Lamprophyre) – Spessartite definiert. Der Begriff Gangbasalt wurde zur Unterscheidung von den alkalischen Basalten des Tertiär beibehalten.

Für die Gabbroide war eine Entscheidung zwischen kalkalkalisch und tholeiitisch zu treffen, die letztlich wegen des im Durchschnitt ≤16 M.-% liegenden Al_2O_3-Gehaltes zugunsten des tholeiitischen Charakters ausfiel. Die noritischen Gabbroide führen 14,5 M.-% Al_2O_3 (n=17), die Gabbros und Diorite 15,4 M.-% Al_2O_3 (n=31). Die Gruppierung der Elementverteilungsmuster (Abb. 4) und der Spurenelemente im Th/Yb vs. Ta/Yb-Diagramm (Abb. 5) ergänzen die Diskriminanzdiskussion.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

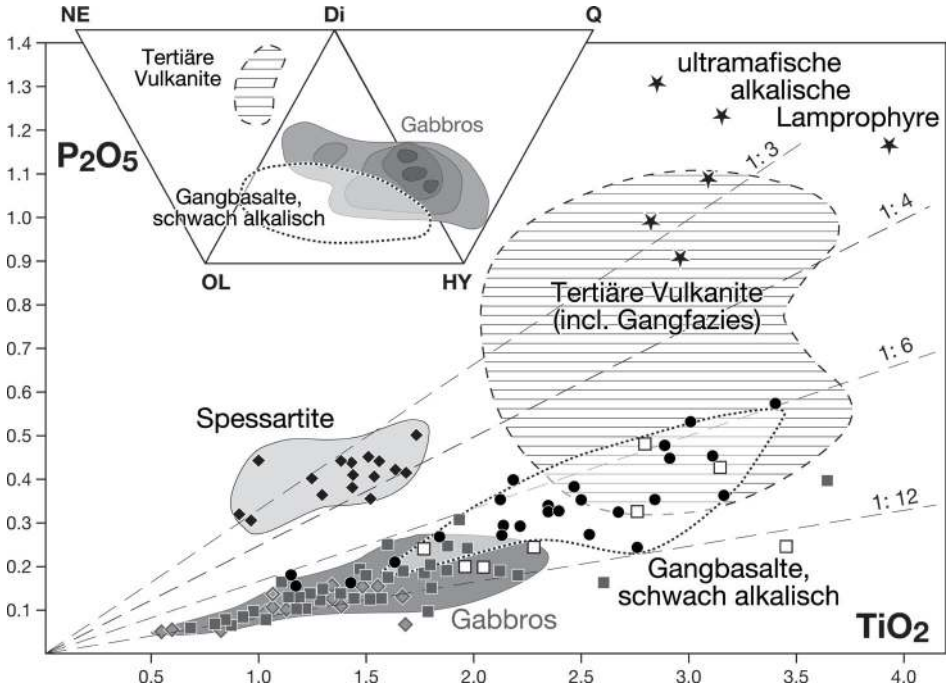


Abb. 3 Diskriminierung der nachsilurischen 5 Basitgenerationen der Lausitzer Antiklinalzone im „Basalt-Tetraeder“ und P_2O_5 vs. TiO_2-Diagramm.
Auf den Dreieckflächen kommen die aus den Oxiden der chemischen Hauptkomponenten-Analyse errechneten Anteile der normativen Minerale Nephelin, $Na_2O{\cdot}Al_2O_3{\cdot}2SiO_2$ (NE), Forsterit, $2MgO{\cdot}SiO_2$ (FO), Diopsid, $CaO{\cdot}MgO{\cdot}2SiO_2$ (DI), Hypersthen, $(Mg, Fe)O{\cdot}SiO_2$ (HY) und Quarz, SiO_2 (Q) zur Darstellung.

4.2.2 Elementverteilung und das Verhalten der chemischen Elemente bei der Generierung der basischen magmatischen Schmelzen

Das unterschiedliche Migrationsverhalten chemischer Elemente während der Magmenentstehung und -entwicklung ermöglicht in gewissem Maße den Spuren dieser Prozesse zu folgen. Bewährte Hilfsmittel können dabei u.a. Elementverteilungsmuster (Multi-Elementplots) und binäre Diagramme mit Spurenelement-Verhältnissen sein.

Zur Darstellung und Glättung der Elementverteilung werden die Elementgehalte wegen ihrer – innerhalb der einzelnen Proben – großen Schwankung mit Bezugswerten normiert. Besonders geeignet sind dazu die Gehalte im primitiven (ursprünglichen) Erdmantel, die der Zusammensetzung des ultrabasischen (peridotitischen) Eduktmaterials für die Erschmelzung basischer Magmen im Erdmantel nahe kommen. Die kompatiblen Komponenten (z.B. Ni, Cr und Platinmetalle) finden bevorzugt im Kristallgitter der Eduktminerale wie Olivin, Granat und Pyroxen Platz und migrieren nur schwer in die Schmelze. Die inkompatiblen großen Ionen sind dagegen nur sehr schwer in die Gitter dieser Eduktminerale im ultrabasischen Mantel einzubauen und haben hohe Affinität zur Schmelze. Für die Konzentrationen der inkompatiblen Elemente im Mantelmagma spielen außerdem der Ausschmelzgrad (in Abhängigkeit von Wärmeinhalt und „Lebensdauer“ der Wärmeanomalie, die zur Magmenbildung führt) eine wesentliche Rolle. Gegebenenfalls erfolgen Beeinflussungen durch das Auftreten von Anomalien großioniger Elemente und fluider Komponenten (z.B. Karbonate) in einer „angereicherten“ Mantelquelle.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Im Verteilungsdiagramm (Abb. 4) werden die Elemente von links nach rechts entsprechend abnehmender Inkompatibilität und Affinität zur Schmelze geordnet. Rubidium bis Cer bilden besonders große Ionen. Sie stehen im Diagramm auf der Abszisse links und werden mit anderen als großionige lithophile Elemente (LILE) bezeichnet. Nb, Ta und Ti haben eine hohe Ionenladung (HFSE) und sind wegen der hohen Stabilität ihrer Oxide Niobit, Rutil usw. in Mantelquellen, in denen relativ hoher Wasserpartialdruck herrscht, relativ immobil. Dies äußert sich im Verteilungsmuster durch deutliche negative Anomalien dieser Elemente. Die Verteilungskurven der vier hier betrachteten Basitgenerationen der Oberlausitz bündeln sich in (Abb. 4) jeweils in spezifischen Formen.

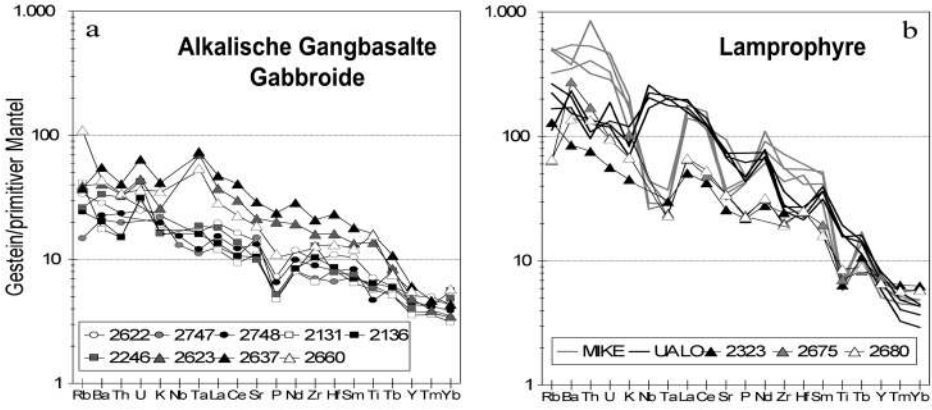


Abb. 4 Erweiterte Verteilungsmuster der inkompatiblen Elemente für gabbroide und alkalibasaltische Ganggesteine der Oberlausitz (**4a**) und Lamprophyre der östlichen Oberlausitz und des Erzgebirges (**4b**) im Vergleich.
Normierung mit Werten für den primitiven Mantel nach Hoffmann (1988). Proben 2622–2246 – Gabbroide; 2623-2660 – Gangbasalte; 2323-2680 – Spessartite; MIKE-Minetten und Kersantite, Erzgebirge; UALO – ultrabasische alkalische Lamprophyre der Oberlausitz nach Renno et al. (2003a).

Abb. 4a zeigt in ihrem unteren Teil die – für kontinental-tholeiitische Gabbroide typische – relativ flache Kurvenschar. Darüber, im linken Diagrammteil nach oben gewölbt mit positiver Ta-Anomalie, schließen die für alkalische Basalte charakteristischen Kurven der Gangbasalte an. In Abb. 4b werden die Spessartite und ultrabasischen Alkalilamprophyre der östlichen Oberlausitz mit den kalkalkalischen Lamprophyren (Minetten und Kersantiten) des Erzgebirges verglichen. Die Spessartite der Oberlausitz haben zwar relativ hohe Werte für LIL-Elemente, erreichen aber nicht die hohen Konzentrationen wie die gegenüber dem „primitiven Mantel“ um 500- bis 800-fach erhöhten Werte für Rb, Ba, Th und U in Minetten und Kersantiten des Erzgebirges. Sie stimmen mit den Werten der Spessartite des Spessarts, Odenwalds und des Erzgebirges (200- bis 300-fache Anreicherung) überein und zeigen die gleichen negativen Ta- und Ti-Anomalien wie alle kalkalkalischen Lamprophyre dieser Gebiete (vgl. dazu v. Seckendorff et al. 2004). Ähnlich erhöhte Werte für die LILE werden von den ultrabasischen alkalischen Lamprophyren der Klunst in der östlichen Oberlausitz z.T. erreicht (Renno et al. 2003a), für Ba, Th, U und K liegen sie aber deutlich unter einem Anreicherungsfaktor von 200. Weiterhin haben diese im Unterschied zu den kalkalkalischen Lamprophyren positive Nb-Ta- und keine Ti-Anomalien. Ultrabasische alkalische Lamprophyre ähneln den alkalischen Gangbasalten (vgl. Abb. 4b) in der Form der Verteilungskurven im Bereich der LILE. Sie haben mit einem niedrigen Anreicherungsfaktor von 3–5 für die schweren Seltenen Erden Tm und Yb die niedrigsten Gehalte dieser Elemente von allen hier betrachteten Gesteinsformationen in der Ausgangsschmelze.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

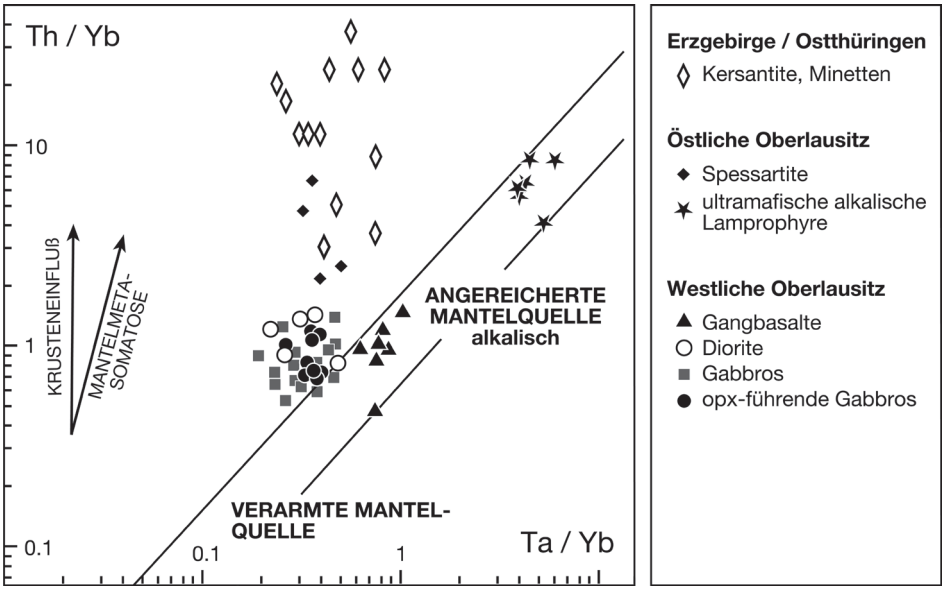


Abb. 5 Basische Ganggesteine der Oberlausitz und kalkalkalische Lamprophyre des Erzgebirges im Th/Yb vs. Ta/Yb-Diagramm nach Pearce (1983).
Während die alkalischen Gangbasalte allein durch eine angereicherte Mantelquelle geprägt sind, zeigen Spessartite, Minetten und Kersantite auch krustale und mantelmetasomatische Beeinflussung.

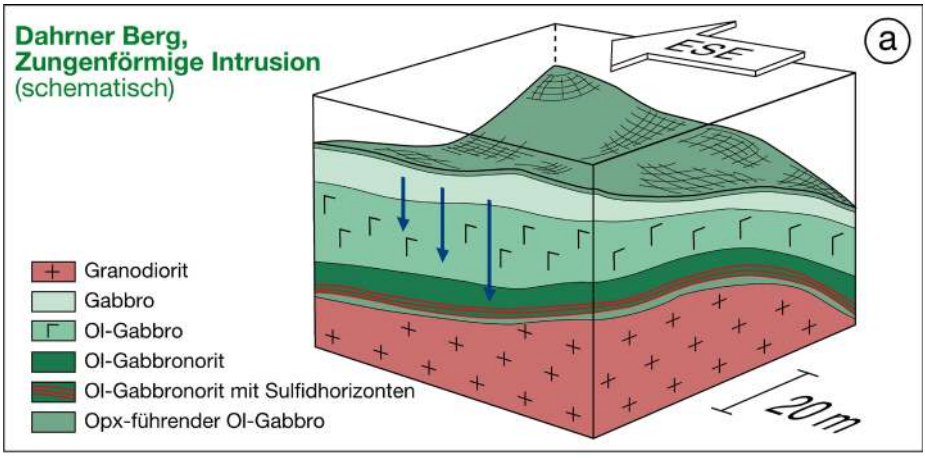
Pearce (1983) entwickelte für die vergleichende genetische Diskussion von Basiten ein binäres Diagramm mit den Verhältnissen Th/Yb vs. Ta/Yb (Abb. 5), in dem die LILE durch Th, die schwach inkompatiblen Elemente durch Yb und die HFSE durch Ta vertreten sind.

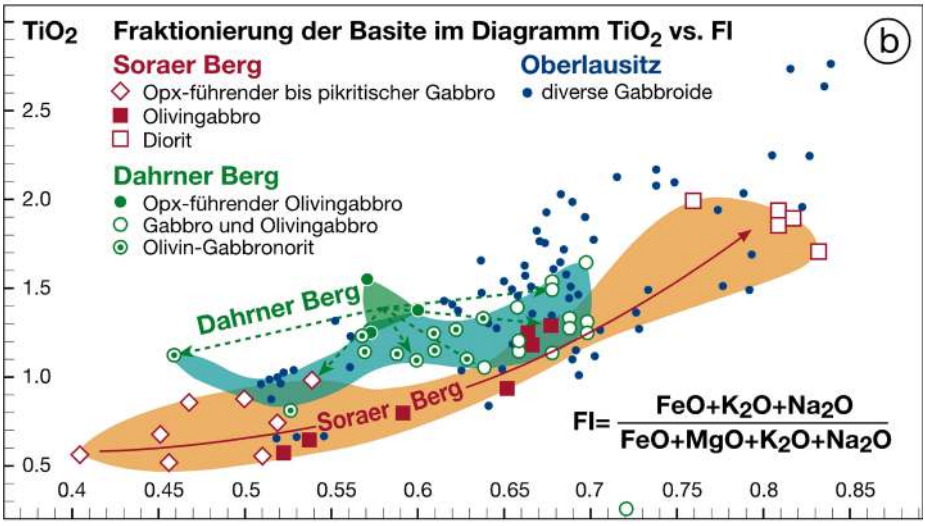
Im Bereich der „angereicherten“ Mantelquellen plotten die alkalischen Gangbasalte der westlichen Oberlausitz und die ultrabasischen alkalischen Lamprophyre. Diese alkalischen Gesteine können – wegen ihrer mehr oder weniger hohen LILE-Konzentrationen bei gleichzeitig positiven Nb-Ta-Anomalien als platteninterne Bildungen (ohne die Beeinflussung durch hohen H_2O-Partialdruck) – angesehen werden. Die Position der Spessartite, Kersantite und Minetten spricht für ihre mantelmetasomatische Veränderung und die Beteiligung krustaler, inkl. fluider Komponenten.

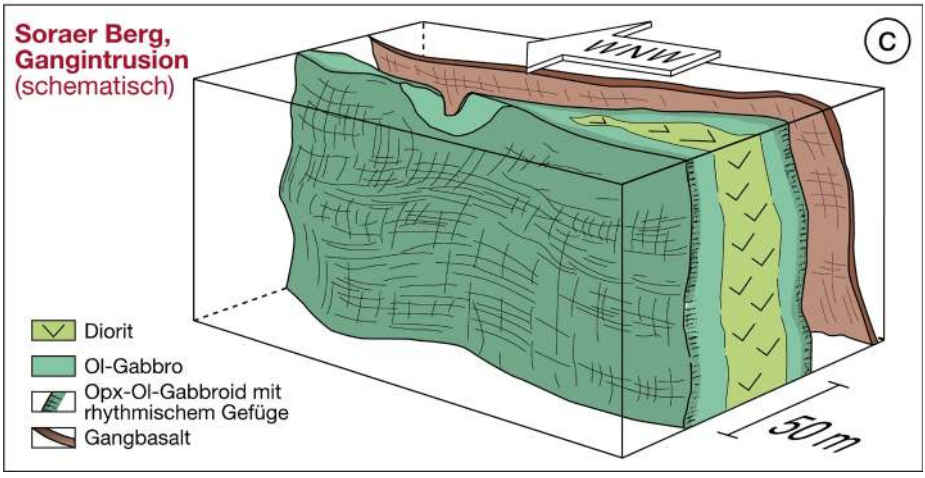
4.2.3 Entwicklung und Veränderung der Mantelschmelzen

Bereits durch Bestand, Verwachsung und Ausscheidungsfolge der Minerale (z. B. Zonarbau der Plagioklase) sowie Ausbildung von Gesteinsgefügen und -grenzen werden starke Veränderungen der primären Magmen der Gabbroid-Formation durch Liquation (Schmelzetrennung in liquidem Zustand) und Kristallfraktionierung nach der partiellen Ausschmelzung sichtbar. Vergleiche der verschiedenen Vorkommen im Fraktionierungsdiagramm TiO_2 vs. FI (Abb. 6b) verifizieren diese Aussage. In dem Diagramm zeigt sich, dass die Chemismusschwankungen in der zusammengesetzten gangartigen Intrusion der Soraer Höhe und für die in einem größeren Areal von ca. 35 km Längserstreckung auftretenden einphasigen Vorkommen wie z.B. Niederputzkau (Olivin-Gabbro), Höllenhübel (Olivin-Gabbronorit) und Taubenheim (Diorit) insgesamt ähnlich stark sind. Zwischen den unterschiedlich strukturierten, zusammengesetzten Intrusionen von Dahrner Berg und Soraer Höhe bestehen deutliche Unterschiede in Schwankungsbreite und -bereich.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627







© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Abb. 6 Struktur und Differentiation in zusammengesetzten Intrusionen und deren Abbild durch die Variabilität des Chemismus. **a.** Zungenförmige (oder lagergangartige) Intrusion am Dahrner Berg. Im Blockbild ist der überlagernde Granodiorit abgedeckt. Die blauen Pfeile deuten das Absinken der Mafitkristalle und Sulfidausscheidungen aus dem Magma an, das kurz nach der Erstarrung des Opx-führenden Ol-Gabbros der geringmächtigen Randzone intrudierte. **b.** TiO_2 vs. FI-Diagramm zur Darstellung der chemischen Variabilität der Intrusionen am Dahrner Berg (grüne Fläche) und der Soraer Höhe (ockergelbe Fläche) nach Kramer et al. (1991). **c.** Gabbroidgang und begleitender alkalischer Gangbasalt der Soraer Höhe. Das granodioritsche Nebengestein ist im Blockbild nicht dargestellt.

Die Frühausscheidungen von Fe-Ni-Cu-Sulfidschmelze wurden durch Saigerung und z.T. auch durch autohydrothermale Mobilisierung von ihrem Ausscheidungsort getrennt. Dies hat neben der Kristallfraktionierung (Aussaigern der mafischen Silikatkomponenten) zu den starken Magmenveränderungen beigetragen. Auch die erheblichen Schwankungen der Ni- und Cu-Gehalte von ca. 20–380 (häufig ≤100) ppm Ni und 10–150 ppm Cu (Tab. 5) bilden dies ab. Diese Magmenentwicklung und -veränderung macht es fast unmöglich, auf die Zusammensetzung der primären Mantelschmelze und auf deren Ausschmelzgrad zu schließen. Der in einer größeren Anzahl von Gabbrokörpern hohe Anteil intramagmatischer Sulfide der kompatiblen Elemente Fe, Ni und Cu legt jedoch einen relativ hohen Ausschmelzgrad nahe.

Der alkalische Charakter der nach den Gabbromagmen intrudierten Magmen der Gangbasalt-Generation erlaubt die Annahme, dass diese in größerer Mantelteufe, also bei höherem Druck als die Gabbros entstanden sind, vgl. dazu die experimentellen Charakteristiken für partielles Schmelzen von Jaques & Green (1980). Die gegenüber den Gabbroiden weniger großen Gehaltsschwankungen bei Ni und Cu zwischen ca. 230–410 ppm bzw. 45–80 ppm weist auf eine geringe Bedeutung der Liquation bei der Magmenentwicklung der alkalischen Basalte hin.

Anhand eines umfangreichen aktuellen Datensatzes wird der geochemische Charakter von Gabbrointrusionen und alkalischen Gangbasalten des Hohwalds und einiger Vorkommen nördlich davon von Heinrich (1993) im Detail dargestellt und diskutiert.

5 Diskussion

5.1 Zur Struktur und petrologischen Entwicklung der Gabbroidintrusionen von Dahrner Berg und Soraer Höhe

Günstige Aufschlussverhältnisse im Steinbruch auf der Soraer Höhe und durch Bohrungen im Bereich des auflässigen Steinbruchs Dahrner Berg ermöglichten die Untersuchung der petrographischen und chemischen Zuammensetzung sowie der Struktur dieser zusammengesetzten Intrusionen und damit die Ableitung genetischer Konzepte.

Die Intrusion vom **Dahrner Berg** (Abb. 6a) ist als ca. 32 m mächtige Lagerintrusion (Sill) oder zungenförmiger Körper ausgebildet. Unmittelbar am liegenden und hangenden Kontakt zum Granodiorit befindet sich eine wenige dm-mächtige Randzone von kleinkörnigem Opx-führendem Olivingabbro, die sich durch einen deutlichen, feinkörnigen Erstarrungssaum von den Gabbroiden im Inneren der Intrusion abhebt. Speziell dem angrenzenden mittelkörnigen Gabbro fehlt ein deutlicher Erstarrungsrand. Die Hauptmenge des gabbroiden Magmas muss also ein aufgeheiztes Nebengestein angetroffen haben. Daraus wird gefolgert, dass die Randzone eine erste, rasch erstarrte kleinere Magmenportion war. Bei fortschreitender Erweiterung des Intrusionsraumes strömte in geringem zeitlichen Abstand weiteres Magma nach, das sehr wahrscheinlich eine der Randzone sehr ähnliche Zusammensetzung hatte. In diesem größeren Magmenkörper war eine magmatische Differentiation durch Absinken der schweren mafischen Erstkristallisate Olivin und Orthopyroxen (Kristallfraktionierung) möglich. So konnte im Liegenden Teil des Basitkörpers eine bis zu 8 m mächtige Olivingabbronorit-Lage entstehen, wobei sich durch allmähliche

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Abnahme der Opx- und Ol-Gehalte zum Hangenden der Intrusion hin Übergänge zu Ol-Gabbro und schließich Gabbro ausbildeten. In gleicher Richtung nehmen die An-Gehalte der Plagioklase ab. Außerdem entstanden Sulfidsegregate (Sulfidtröpfchen) und es bildeten sich drei sulfidreiche Horizonte im unteren Teil des Olivin-Gabbronorits. Diese Fraktionierungsprozesse werden im Wesentlichen in situ erfolgt sein.

Die Kristallfraktionierung spiegelt sich deutlich im TiO_2 vs. FI-Diagramm (Abb. 6b) wider. Hier liegt der Opx-führende Ol-Gabbro der randlichen Erstarrungszone in einem Bereich mittlerer Zusammensetzung (grünes Dreieck), die wahrscheinlich angenähert die Ausgangszusammensetzung des Magmas repräsentiert, aus dem sich durch Kristallfraktionierung die verschiedenen Differentiate (Pfeile) ableiten. Deren Chemismus ändert sich – von zwei Ausreißern abgesehen – kontinuierlich.

Die etwa 55 m mächtige gangförmige Intrusion (Dyke) der **Soraer Höhe** (Abb. 6c) steht im Gegensatz zum oben beschriebenen Lagergang steil oder senkrecht und ist symmetrisch aufgebaut. An beiden Kontakten zum Granodiorit befindet sich etwa 5 m mächtiger Opx-führender Ol-Gabbro bis Ol-Gabbronorit, der in einer 1–1,5 m breiten Zone unmittelbar am Kontakt rhythmisches Gefüge durch mm-feines horizontales Layering von Ol-reicheren (max. 30 Vol.-% Ol, pikritischer Gabbro) und Ol-armen Lagen ausbildet. Dieses geht fließend zu schlierig bis wolkigen kumulativen Partien mit Ol-Opx- oder Pl-reichen Aggregationen über. In die gabbronoritischen Anteile sind lokal Sulfidtröpfchen bis lockere Sulfidnester eingesprengt. Dieses Gestein geht in eine Zone grob-schlieriger Gabbros von weiteren ca. 5 m Mächtigkeit über. Die Gefügeausbildung der Olivingabbronorit-Gabbro-Zone deutet auf eine in situ-Kristallisation der geringmächtigen rhythmischen Partie, während die Kristallisation der Gabbromasse zu erheblichem Anteil schon während des Aufstiegs und Einströmens des Magmas erfolgte.

Den Zentralteil des Ganges (bis ca. 30 m mächtig) bildet ein Intrusionsschub dioritischer Zusammensetzung, der sich durch ein Pl-reiches Band von wenigen Millimetern gegen den Ol-Gabbro deutlich abgrenzt. Der Diorit gibt durch wechselnd starke Chloritisierung und schlierige bis tropfenförmige Strukturen ein heterogenes Gefügebild. Das Mikrogefüge zeigt verbreitet graphophyrische Quarz-Kalifeldspat-Verwachsungen als Kristallisate von Restschmelzen zwischen dem sperrigen Plagioklasgerüst. Die Plagioklasleisten haben Albitsäume. Vor dem Intrudieren des bereits weitgehend kristallisierten grobkörnigen Diorites dürfte es einen deutlichen Hiatus gegeben haben. Dieser spiegelt sich in der großen Lücke im Spektrum der chemischen Zusammensetzung zwischen Ol-Gabbronorit bis Gabbro und Diorit (Abb. 6b) wider.

Die „zusammengesetzte“ gangförmige Soraer Intrusion mit symmetrischem, vertikalem Aufbau hat sowohl im Mineralbestand als auch in der chemischen Zusammensetzung ihrer Gesteinskomponenten eine deutlich größere Schwankungsbreite als das im Wesentlichen in situ differenzierte, vertikal gegliederte lagerartige bis zungenförmige Vorkommen vom Dahrner Berg.

Ähnliche Intrusionsformen beschreiben Lorenz & Haneke (2004) von einem spätvariscischen Dyke-Sill-System der Saar-Nahe-Senke. Hier intrudierten basische Magmen von steilen bis vertikalen Gängen aus zwischen Sedimentlagen und bildeten Lagerintrusionen. Lokal wurden die Schmelzen der Lager bei weiterer Ausbreitung an vertikalen Störungen abgelenkt und drangen zungenartig wiederum in Nebengestein ein. Eine ähnliche Entstehung ist auch für die Intrusion vom Dahrner Berg vorstellbar.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

5.2 Entwicklung der gabbroiden Magmen und die Sulfidmineralisation

Mit Hilfe der Verteilungskarte der Basittypen (Karte 1), die im Ergebnis der Mineraldiagnose und Gesteinsklassifizierung zusammengestellt wurde, lassen sich die Gabbroid-Vorkommen mit auffälliger Fe-Ni-Cu-Mineralisation auf zwei Häufungszonen reduzieren. Das sind der Gangschwarm zwischen Fichtenberg, Hohwald (Valtengrund, Grenzland), Sohland und eine NNE–SSW-gerichtete Zone zwischen Bautzen und Hohwald, zu der Dahrner Berg, Picho, Soraer Höhe und Taucher bei Bautzen gehören. In diesen Zonen konzentrieren sich gleichfalls die Ol-Gabbronorite und zusammengesetzte Gänge mit Ol-Gabbronorit- und stark alterierter Diorit-Komponente.

Aus dem Charakter der weit verbreiteten Mineralumwandlungen in den Gabbros, von hydrothermalmetamorphen (beginnend im Subsolidusbereich) bis zu niedrig-hydrothermalen Paragenesen ergibt sich ein deutlicher Hinweis darauf, dass die wasserreichen Magmen ihren Fluid-, insbesondere Wasserreichtum in erheblichem Maße bereits im Erdmantel erworben haben (Heinrich 1993). Krustale Quellen dürften ebenfalls wirksam gewesen sein, z.B. bei der Aufnahme und zumindest teilweisen Assimilation von Nebengestein wie Zweiglimmergranodiorit und Metamorphiten mit Paragesteinskomponenten (Anatexiten) wie von Peschel et al. (1973) nachgewiesen.

Die Liquation (Trennung von Silikat- und Sulfidschmelze) erfolgte z.T. vor der Kristallisation der Silikate bzw. vor der Kristallfraktionierung in Zwischenherden und auf den Intrusionswegen (Picho, Angstberg). Das Auftreten von Kügelchen von Silikatschmelze in Sulfidausscheidungen und von Sulfidschmelze in Silikaten (Rhode 1976) sind Beleg für diese ursprüngliche Liquation. Der Prozess der Sulfidsaigerung setzte sich aber z.T. auch bis in die Kleinintrusionen nahe der Erdoberfläche in situ fort (Dahrner Berg, Angstberg).

Die Dynamik des Aufstiegs und Einströmens gabbronoritischer Teilmagmen wird an der Auflösung rhythmischer Gefüge zu schlierigen bis brekzienartigen Texturen vom Rand zum Inneren der Intrusion hin sichtbar. Auch die Deformationsgefüge von Sulfidabscheidungen (Abb. 1g) in Kontaktnähe werden als Folge einer Beanspruchung während des Magmenaufstiegs gewertet (s. auch Rohde 1976). In den dunklen noritischen Partien rhythmisch ausgebildeter bzw. kumulativer Ol- und Opx-reicher Gabbroide (z.B. Angstberg, Soraer Höhe) finden sich tropfenförmige bzw. von Silikaten durchspießte Sulfidausscheidungen von Pyrrhotin, Pentlandit und Kupferkies. Häufig treten Sulfide in gleicher Paragenese auch als „sideronitische“ Vererzung auf, wobei eine Bindung an Partien mit weitgehend autometamorph alteriertem Olivin und Pyroxen besteht.

Die Kristallisation der gabbroiden Magmen ist mit der Ausscheidung von graphophyrischen Quarz-Feldspat-Verwachsungen aus fluidreichen Restlösungen insbesondere in den Dioriten praktisch abgeschlossen. Die vom dioritischen Magma mitgeführten Fluide haben einen Teil der Sulfide aus den Gabbronoriten, vor allem den Kupferkies mobilisiert, der sich (z.T. mit Calcit, Quarz, Albit etc.) in brekziierten Gabbroiden, auf feinen Klüftchen aber auch in Trümern ausgeschieden hat.

Mit der Existenz von Zwischenherden vereinbar ist das Auftreten von Gabbrodifferentiaten in einphasigen Intrusionen (Fichtenberg, Schurzberg, Weifa), welche in ihrer Gesamtheit ein ähnliches Typenspektrum wie die Komponenten zusammengesetzter Intrusionen zeigen. In solchen tieferen Zwischenherden in der Erdkruste fand ausgeprägte Kristallfraktionierung statt, in deren Ergebnis auch die weit verbreiteten, fluidreichen dioritischen Magmen entstanden. Niedrige Mg-, Ni- und Cu-Gehalte der Diorite werden als Indiz dieser Fraktionierung angesehen (Phinney 1992). Mittelwerte für die Diorite der Oberlausitz betragen für MgO = 4,18 M.-%, Ni = 28 ppm und Cu = 23 ppm. Die dioritischen Magmen strömten mit zeitlicher Lücke und in der Regel als letzte Phase in den Zentralteil zusammengesetzter Gänge und Stöcke ein (Soraer Höhe, Valtengrund, Bautzen-Stiebitz) oder bildeten einphasige Intrusionen.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

5.3 Die devonisch bis kretazischen Basitformationen im tektonischen Kontext

Tektonische Voraussetzung für die Platznahme von Gabbros und Gangbasalten ist nach Peschel et al. (1973) ein Zerrklüftungssystem (NW–SE bis WNW–ESE) in Verbindung mit langzeitigen Hebungen des Lausitzer Blockes im Devon, die Hirschmann & Brause (1969) nachgewiesen haben. Nach den o.g. Arbeiten von Buschmann et al. (1995) und Linnemann (2003) befand sich das Saxothuringikum mit dem Lausitzer Block während des Unterdevons als Schelf am passiven Kontinentalrand Gondwanas. Das ist ein für das Auftreten von Schwärmen kontinental-tholeiitischer gangförmiger auch absätziger Basitintrusionen typischer Rahmen. Dieses Erscheinungsbild wird weltweit von Kristallineinheiten beschrieben, z.B. von Skandinavien und Grönland (Fahrig 1987). Ernst et al. (1995) fassten wesentliche Merkmale, insbesondere geochronologische und geometrische Daten, zu Dolerit-Gangschwärmen anhand weltweiter Untersuchungen zusammen. Durch diese Analyse wurden u.a. Beziehungen zwischen der Mächtigkeit der Doleritdykes und magmatischen Strukturen sichtbar. Gangschwärme mit Dykemächtigkeiten von 0,5 bis 2, maximal ~8 m sind mit Vulkanstrukturen assoziiert und solche von durchschnittlich 20 bis 50 m Gangmächtigkeit mit Mantel Plumes (energetisch anomalen, partiell geschmolzenen Bereichen im Erdmantel). Dies entspräche etwa der Mächtigkeitsverteilung der 1. und 2. Ganggesteinsgeneration des Lausitzer Blockes. Der Gabbroidgangschwarm der 1. Generation (ca. 400 Ma) hat nach gegenwärtigen Erkenntnissen eine Längserstreckung von ca. 50 km und ca. 30 km Breite. Durch Vergleiche mit doleritischen Gesteinen aus Bohrungen nördlich der Oberlausitz und von Vorkommen in den Westsudeten sollte untersucht werden, ob das Verbreitungsgebiet dieses Gangschwarms größer ist. Ein Katalog der "Diabase (dolerite) dyke swarms of the world" von Ernst et al. (1996) enthält eine Reihe von beispielsweise kanadischen, skandinavischen und französischen Dolerit-Gangschwärmen mit ähnlichen Merkmalen.

Im Laufe des Abbaus der Wärmeanomalie, die als eine Voraussetzung zur partiellen Ausschmelzung der gabbroiden Magmen des Lausitzer Blocks angesehen werden muss und sich in Zusammenhang mit einem Mantel Plume erklären ließe, können tiefere Mantelquellen in kleineren Portionen alkalibasaltische Schmelzen liefern. Mit weiter fortschreitender Stabilisierung des Blockes entstand in dessen Ostteil das NNE–SSW-Bruchsystem, auf dem die Spessartite (kalkalkalische Lamprophyre) aufstiegen und Platz nahmen. Im höchsten Stadium der Kratonisierung bildeten sich geringe Mengen mafischer Alkalilamprophyre während der Unterkreide, bevor sich das Egerrift mit seinem extensiven Magmatismus im Tertiär entwickelte.

Nachdem bereits seit etwa 20 Jahren die umfassende Untersuchung basischer Gangschwärme u.a. durch die oben zitierten Autoren für die tektonische Analyse regionaler und globaler Struktureinheiten der Erdkruste erfolgreich genutzt wird, ist eine aktuelle tektonische Bearbeitung der Basit-Gangschwärme des Lausitzer Blocks nachdrücklich zu empfehlen.

Dank

Die Ausführung umfangreicher elementanalytischer Arbeiten erfolgte durch Mitarbeiter des Geochemielabors des ehemaligen Zentralinstituts für Physik der Erde der AdW, Potsdam und Herrn Dr. R. Lewis, vormals Zentralinstitut für Kernforschung der AdW, Rossendorf, Frau M. Dziggel fertigte die Graphiken an und Herr Dr. O. Tietz gab uns wertvolle Informationen zum aktuellen Stand der Bearbeitung der Gangbasite der Oberlausitz und zu deren Aufschlusszustand, wofür wir herzlich Dank sagen. Sehr sorgfältige Manuskriptdurchsicht und damit verbundene interessante Anregungen verdanken wir Dr. A. Renno, Dr. W. Seifert und Dr. O. Tietz.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Literatur

Bautsch, H. J. (1963): Über die Sulfide in den Lamprophyren in der Lausitz und ihre genetische Ableitung. – Geologie **12**: 362–364

Beck, R. (1903): Die Nickelerzlagerstätte von Sohland a.d. Spree und ihre Gesteine. – Z. deutsch. Geol. Ges. **55**: 296–330

Bederke, E. (1947): Zum Problem der Lamprophyre. – Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl. **2**: 52−57

Beger, P. J. (1913): Typenvermischung im lamprophyrischen Ganggefolge des Lausitzer Granits. – Sächs. Ges. Wiss. Leipzig, Ber. Verh. Math.-phys. Kl. **65**: 352−386

Buschmann, B., U. Linnemann, J. Schneider & T. Süss (1995): Die cadomische Entwicklung im Untergrund der Torgau-Doberluger Synklinale. – Z. geol. Wiss. **23**: 729−749

Deer, W. A., R. A. Howie & J. Zussman (1962): Rock-forming Minerals. Vol. 1 Ortho- and Ring Silicates. Longmans; London

-, - & - (1963): Rock-forming Minerals. Vol. 2 Chain Silicates. Longmans; London

Ernst, R. E., J. W. Head, E. Parfitt, E. Grosfils & L. Wilson (1995): Giant radiating dyke swarms on Earth and Venus. – Earth-Science Reviews **39**: 1−58

-, K. L. Buchan, T. D. West & H. C. Palmer (1996): Diabase (dolerite) dyke swarms of the World: first edition. – Geological Survey of Canada, Open File 3241. 104 S. (catalogue and map)

Fahrig, W. F. (1987): The Tectonic Settings of Continental Mafic Dyke Swarms: Failed Arm and Early Passiv Margin. – In: Halls, H.C. & W.F. Fahrig (eds.), Mafic Dyke Swarms. – GAC Special Paper **34**: 331–348

Grosser, P. (1965): Differentiation in Lamprophyren der Lausitz. – N. Jb. Miner. Geol. Paläont., Abh. **105**: 133–160

Heinrich, C. (1993): Hydrothermalmetamorphose und Geochemie der Lausitzer Gabbronorit-Gabbro-Diorit-Serie. – Dissertation, Karlsruhe; 190 S.

Hirschmann, G. & H. Brause (1969): Alt- und Vorpaläozoikum des Görlitzer Schiefergebirges und der westlichen Westsudeten. Regionaler und tektonischer Überblick. – Exkursionsführer, Tagung Görlitz DGGW: 6–22, Berlin

Hofmann, A. W. (1988): Chemical differentiation of the earth: the relationship between mantle, continental crust and oceanic crust. – Earth Planet. Sci. Lett. **90**: 243−262

Jaques, A. L. & D. H. Green (1980): Anhydrous melting of peridodite at 0–15 Kb pressure and the genesis of tholeiitic basalts. – Contrib. Mineral. Petrol. **73**: 287−310

Kindermann, A., F. Fiedler, T. Seifert & S. Uhlig (2003): Platinmetall-Führung der Ni-Cu-Sulfidmineralisationen im Bereich der Lausitzer Antiklinalzone. – Z. Angew. Geol. **2**: 43−47

Kramer, W. & G. Andrehs (1988): Erweiterung der stofflichen Charakteristik der Lausitzer Dolerite als eine Grundlage für deren metallogenetische Einschätzung. – Unveröff. Ber., Zentralinst. Phys. Erde; Potsdam: 68 S.

-, B. Müller & A. Peschel (1977): Zur tektonischen und substantiellen Charakteristik der Basite des Lausitzer Antiklinoriums und deren Altersbeziehungen. – Z. geol. Wiss. **5**: 95−100

-, G. Andrehs & C. Heinrich (1991): Gabbroic rocks and their nickel-copper sulfide mineralization in Central Europe. – International Symposium on Sulfide Deposits. Abstracts of Academic Papers: 68–72; Jinchang

Kutolin, V. A. (1968): Probleme der Petrochemie und Petrologie der Basalte. – Nauka Novosibirsk, 207 S. [in russ.]

Le Maitre, R. W., (ed.) (1989): A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological sciences. Subcommission on the systematics of igneous rocks. – Blackwell Scientific Publications; Oxford: 193 S.

Linnemann, U. (2003): Sedimentation und geotektonischer Rahmen der Beckenentwicklung im Saxothuringikum (Neoproterozoikum – Unterkarbon). – Geologica Saxonica **48/49**: 71−110

Löffler, H. K. (1974): Die prätertiären basischen Magmatite im Kristallin der Lausitz und die Beziehungen zu dessen Granitoiden. – Z. geol. Wiss. **2**: 663−689

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Lorenz, V. & J. Haneke (2004): Relationship between diatremes, dykes, sills, laccoliths, intrusive-extrusive domes, lava flows, and tephra deposits with unconsolidated water-saturated sediments in the late Variscan intermontane Saar-Nahe Basin, SW Germany. – In: Breitkreuz, C. & N. Petford (eds.), Physical Geology of High-Level Magmatic Systems. Geological Society, London, Special Publications **234**, 75−124

Müller, B. & K. Wächter (1970): Beiträge zur Tektonik der Elbtalzone unter besonderer Berücksichtigung der Lausitzer Störung. – Geodät. Geophys. Veröff., R. III, **18**, 3−53

Pearce, J. A. (1983): The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. – In: Hawkesworth, C. J. & M. J. Norry (eds.), Continental basalts and mantle xenoliths; Shiva: 230−249

Peschel, A. (1970): Geologische Verhältnisse, petrophysikalisches und technisches Verhalten der basischen Magmatite der Lausitz (Lamprophyre) im Hinblick auf deren Nutzung in der Natursteinindustrie. – Dissertation Hochschule f. Bauwesen, Leipzig

-, B. Müller & W. Kramer (1973): Die basischen Intrusivgesteine der Lausitz und ihre industrielle Nutzung. – Freib. Forsch. H. **C 283**, 1−153

Pfeiffer, L. & P. Suhr (2008): Tertiäer Vulkanismus. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. – In: Pälchen, W. & Walter, H. (Hrsg.), Geologie von Sachsen. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller); Stuttgart: 486−494

Phinney, W. C. (1992): Geochemical constraints on the petrogenesis of the Matatchewan dyke swarm, Ontario: implication for a plume origin. Abstract volume, 29th Int. Geol. Congr., Kyoto, Japan: 566

Renno, A. D., K. P. Stanek, R. Lobst & Y. Pushkarev (2003a): A new Lamprophyre species from the Klunst quarry (Ebersbach, Lusatia, Germany) – geochemical and petrological implications. – Z. geol. Wiss. **31**: 1−20

-, B. R. Hacker & K. P. Stanek (2003b): An Early Cretaceous (126 Ma) ultramafic alkaline Lamprophyre from the Quarry Klunst (Ebersbach, Lusatia, Germany). – Z. geol. Wiss. **31**: 31−36

Rohde, G. (1976): Zur Petrogenese von Pyrrhotinparagenesen in Lausitzer Lamprophyren. – Jb. Geol. **5/6** für 1969/70: 277−306

Sarantschina, G. M. (1963): Die Fedorov-Methode. – VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften; Berlin: 135 S.

v. Seckendorff, V., M. J. Timmermann, W. Kramer & P. Wrobel (2004): New $^{40}Ar/^{39}Ar$ ages and geochemistry of late Carboniferous–early Permian lamprophyres and related volcanic rocks in the Saxothuringian Zone of the Variscan Orogen (Germany). – In: Wilson, M., E.-R. Neumann, G.R. Davies, M.J. Timmerman, M. Heeremans, B.T. Larsen (eds.): Permo-Carboniferous magmatism and rifting in Europe. – Geological Society, London, Special Publications **223**: 335−359

Vavřín, I. & J. Frýda (1998): Pt-Pd-As-Te mineralizace na ložiskách měď nato-niklových rud z Kunratic a rožan na šluknovsku. – Věst. čes. Geol. ústavu **73**, 177−180

Voigt, M. (1906): Die basischen Eruptivgesteinsgänge des Lausitzer Granitgebietes. – Diss. Univ. Leipzig, Weida/Thür.: 50 S.

v. Wolff, F. (1951): Gesteinskunde – Die Eruptivgesteine. – Rudolf A. Lang Verlag; Pössneck: 265 S.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Wolfgang Kramer
Wernerstr. 4
14109 Berlin

Dr. Gerhard Andrehs
Kunersdorfer Str. 20
14473 Potsdam