

Die Bohrung Bad Gleichenberg StW2 – Ein Beitrag zu Lithologie, Alteration und Mineralisierung der miozänen Vulkanite des Steirischen Beckens (Österreich)

PETR HRADECKÝ, PETER SLAPANSKY & REINHARD BELOCKY

6 Abbildungen und 6 Tabellen

Österreichische Karte 1:50.000
Blatt 192

*Miozäner Vulkanismus
Trachyandesite
Alteration
Mineralisierung
Bad Gleichenberg
Steirisches Becken*

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	397
Abstract	397
1. Einleitung	398
2. Petrographie	398
3. Geochemie	399
3.1. Klassifizierung der Gesteine	400
3.2. Interpretation der geochemischen Daten	401
3.3. Alteration	401
4. Mineralisierung	404
5. Schlußfolgerungen	404
Literatur	405

Zusammenfassung

Der miozäne Vulkanismus des Steirischen Beckens liegt als kalkalkaline Serie vor, wobei in der Gegend von Bad Gleichenberg Trachyandesite vorherrschen. Die Gesteine aus der Bohrung Bad Gleichenberg StW2, die die Vulkanite in ca. 800 m Mächtigkeit aufschließt, zeigen abschnittsweise eine niedrigtemperierte hydrothermale Alteration, die möglicherweise auf eine posteruptionale Solfatarentätigkeit zurückzuführen ist. Die stellenweise intensive Alteration verursacht eine vollständige Zersetzung des Gesteins und ist mit Texturverlust, Pseudobreccienbildung, Auslaugung von mobilen Elementen und Mineralneubildung (Kalzit, Chlorit, Siderit, Limonit, Zeolithe, Chaledon) verbunden. Mit einer hochgradigen Alteration verbundene Minerale (Kaolinit, Alunit, Opal) wurden – als wesentlichen Unterschied zum benachbarten Gossendorf – nicht gefunden.

The Bad Gleichenberg StW2 borehole – a contribution to lithology, alteration, and mineralization of the Miocene volcanics of the Styrian Basin (Austria)

Abstract

Data newly obtained from the Bad Gleichenberg StW2 borehole are discussed in several aspects. The Miocene volcanism in the area is represented by a calcalkaline suite, in the Bad Gleichenberg area trachyandesites prevail. Various horizons of the 800 m thick rocks sequence are affected by low-temperature hydrothermal alteration, probably result of post-volcanic solfatare activity. Intensive alteration caused complete disintegration of the rock, loss of the texture, pseudobrecciation, leaching of some elements and enrichment by newly-formed minerals such as calcite, chlorite, siderite, limonite, zeolites and chalcedone. No high degree alteration minerals (kaolinite, alunite, opal) were detected, which proved the substantial difference as compared with neighbouring Gossendorf locality.

Anschrift der Verfasser: Dr. PETR HRADECKÝ, Český geologický ústav, Klárov 3, 118 21 Praha 1; Dr. PETER SLAPANSKY, Mag. Dr. REINHARD BELOCKY, Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, Postfach 127, A-1031 Wien

1. Einleitung

Das Gleichenberger Vulkanmassiv umfaßt ein weites Spektrum von kalkalkalischen Gesteinen, wie Latiten, Quarzlatiten, Trachyten, Trachyandesiten, Daziten und Shoshoniten. Das Alter der vulkanischen Aktivität ist durch K/Ar-Datierungen mit $16,3 \pm 0,9$ Ma bzw. $15,5 \pm 0,1$ Ma (STEININGER & BAGDASARJAN, 1977) erfaßt. Dies entspricht einem stratigraphischen Alter von Unterem Baden. Ein am Latit von Gossendorf gemessenes radiometrisches Alter von $13,2 \pm 1$ Ma (BALOGH et al., 1992) dürfte aufgrund postvulkanischer hydrothermaler Zersetzungserscheinungen zu jung sein. Das Vulkangebäude von Bad Gleichenberg wird als Schildvulkan betrachtet, der durch die Absenkung des Beckens unter sarmatischen und pannonischen Sedimenten begraben wurde. Das Massiv von Mitterlabill/Gleichenberg stellt einen von drei größeren miozänen intermediären bis sauren Vulkankomplexen im Steirischen Becken dar. Angaben über den strukturellen Aufbau des Gebietes, die Mächtigkeit und Verbreitung der Vulkanite, sowie ihre Beziehung zu den umgebenden Sedimenten finden sich bei EBNER et al. (1986). Die vulkanische Aktivität in diesem Gebiet lebte im Pliozän – Pleistozän wieder auf, diesmal mit Laven alkalischer Zusammensetzung.

Die vulkanische Aktivität im Steirischen Becken ist im Zusammenhang der regionalen vulkanisch-tektonischen Entwicklung des Alpen-Karpaten Bogens und des Pannonischen Raumes zu sehen (EBNER, 1992; EBNER & SACHSENHOFER, 1991; EBNER & SACHSENHOFER, 1995). Die geologische und strukturelle Entwicklung ist in diesen Publikationen detailliert dargestellt.

Die Bohrung StW2 wurde im Jahr 1981 im Kurpark von Bad Gleichenberg abgeteuft, um ein neues Thermalwasservorkommen aufzuschließen (Abb. 1). Die Endteufe der Bohrung beträgt 901 m, miozäne Vulkanite wurden ab 114 m erbohrt (HERITSCH, 1982). Etwa 3 km weiter nördlich liegt der

Steinbruch von Gossendorf, in dem kalkalkalische Gesteine des Gleichenberger Vulkanmassivs vollständig hydrothermal alteriert sind (KOLMER, 1975).

2. Petrographie

Da die Kerne der Bohrung Bad Gleichenberg StW2 im Bohrkernarchiv des Steirischen Landesmuseums Joanneum komplett aufbewahrt werden, konnte für diese Arbeit die gesamte Bohrung neu aufgenommen werden (Abb. 2). Der Großteil des lithologischen Profils besteht aus trachyandesitisch-andesitischen Laven, die unterschiedlich stark alteriert sind. Der Beginn einzelner Eruptionen wird durch grobkörnige Explosionsbreccien markiert. Lagerweise treten feinkörnige Lapilli-Tuffe auf. Die gesamte Abfolge ist frei von Einschaltungen von Sedimenten oder fossilen Böden; ein Hinweis darauf, daß die vulkanische Tätigkeit keine wesentliche Unterbrechung aufwies. Eine Zusammenstellung der bearbeiteten Proben zeigt Tab. 1.

An einigen Dünnschliffen wurde der modale Mineralbestand bestimmt (Tab. 2). In vielen Fällen verwischen sekundäre Alterationen auch in makroskopisch frisch erscheinenden Gesteinen die Strukturen der Grundmasse und öfters sind sogar die Einsprenglinge nur mit Mühe zu bestimmen. Trotzdem war in allen untersuchten Proben die ursprüngliche Struktur des Gesteins zumindest fleckenweise noch zu erkennen.

Plagioklas ist in fast allen Proben das häufigste Mineral. Die Zusammensetzung entspricht Andesin – Labradorit. Plagioklas bildet meist Einsprenglinge in Form von schmalen Leisten (trachytische Textur), kommt aber auch in der Grundmasse vor. Chloritisierung ist häufig. K-Feldspat, meist Sanidin, tritt sowohl als kleine Einsprenglinge als auch in der Grundmasse auf. K-Feldspat ist häufig zu Sericit (und Kaolinit) umgewandelt. Biotit tritt in den Trachyandesiten auf und ist

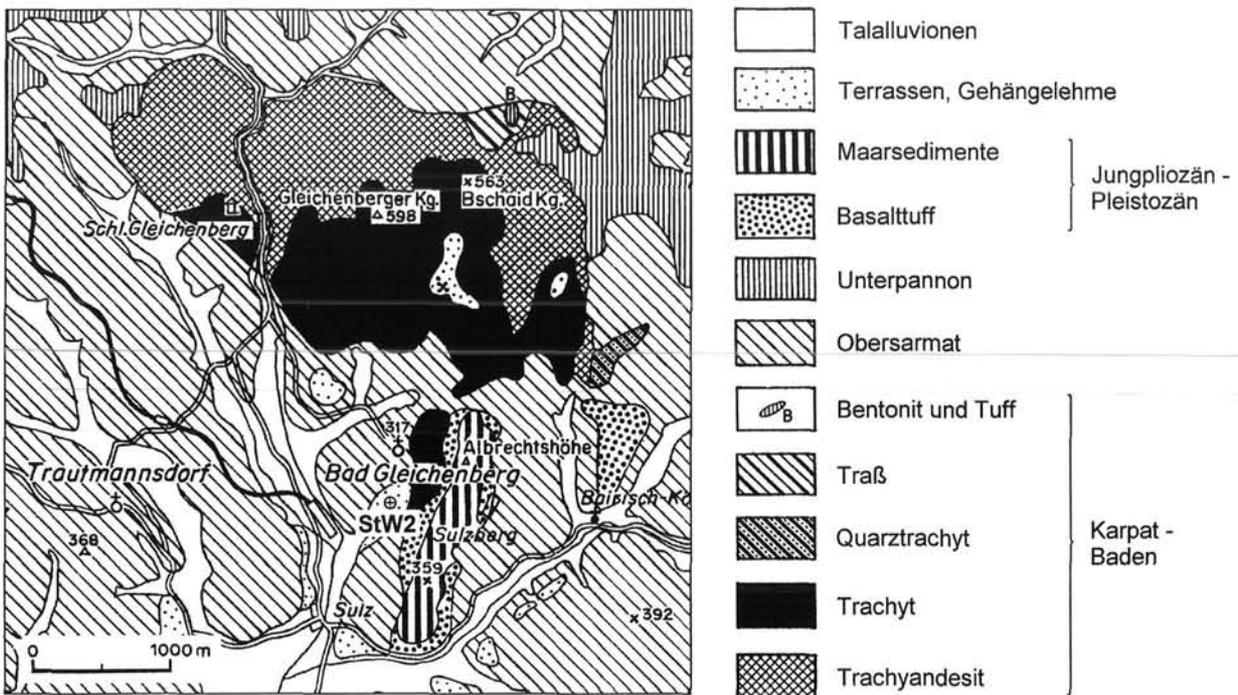


Abb. 1: Geologische Übersichtskarte der Umgebung von Bad Gleichenberg nach KOLLMANN, 1965 (verändert).

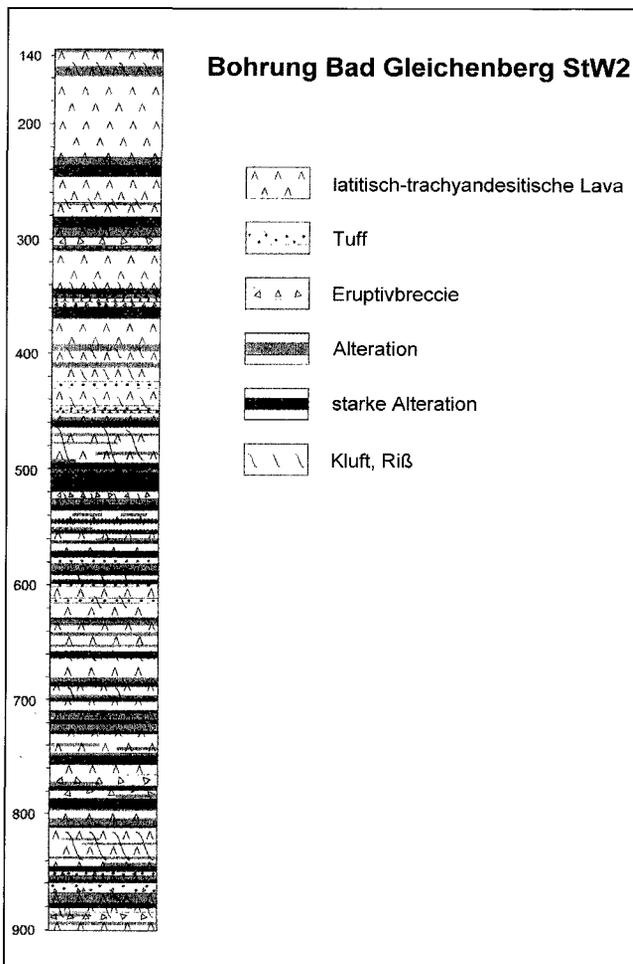


Abb. 2:
Lithologisches Profil des Vulkanitanteils der Bohrung Bad Gleichenberg StW2.

oft in Fe-Ti-Mineralen entmischt. Klinopyroxen ist häufig und zeigt oft eine starke Umwandlung in Sekundärminerale (Chlorit, Serpentin). Kleine, idiomorphe Kristalle sind vorherrschend, obwohl stellenweise auch Diopsid-Augit-Kristallhaufen auftreten. Orthopyroxen ist im allgemeinen sehr klein (< 0,5 mm), idiomorph bis hypidiomorph und oft alteriert. Frische Kristalle zeigen nur schwachen Pleochroismus. In einigen Proben wurden auch winzige Olivinkörner gefunden, die ganz in roten Iddingsit umgewandelt sind. Magnetit bildet kleine hypidiomorphe Körner. Die Textur der Grundmasse ist hemikristallin, glasig oder trachytisch.

Sowohl Einsprenglinge wie auch die Grundmasse waren Umwandlungsprozessen ausgesetzt, die sich durch das Lösen von gewissen Elementen aus dem Gestein manifestieren und dadurch zu Verwischung des Gefüges, und zu chemischen und mineralogischen Umwandlungen führen. Es kommt dabei zu Mineralneubildungen durch Wiederausfällung des gelösten Materials.

Hohlräume, Poren und Klüfte im Gestein werden zumeist durch Karbonate (Kalzit, Dolomit), Chlorite (Pennin), Serpentine, Serizit, Zeolithe (Heulandit), Limonit, Tonminerale und Chalcedon, der selten zu mikrokristallinem Quarz (z. B. bei 541,3–541,6 m) rekristallisieren kann, ausgefüllt. Poröse Lava weist radial ausgebildete Füllungen von Chlorit und grobem Karbonat auf.

In Zonen mit intensiver hydrothormaler Alteration und mechanischer Zerlegung des Gesteins sind die entstehenden Brekzien zumeist mit Karbonat zementiert (Abschnitte 138,8–139,0 m; 768,4–768,5 m; 837,2–837,4 m; 900,4–900,5 m). Beginnende Alteration ist häufig durch Rotfärbung infolge feinverteiltem Limonit gekennzeichnet.

An akzessorischen Mineralen tritt Apatit häufig auf, Zirkon findet sich z. T. in Biotit-Einsprenglingen, Titanit ist selten.

3. Geochemie

Das Gleichenberger Vulkanmassiv liegt am alpin-karpatisch-pannonischen Bogen und bildet einen Teil der Obermiozänen steirisch-slowenischen Vulkanprovinz. Der kalkalkalische Charakter der Vulkanite ist das Ergebnis einer Krustenkontamination des ursprünglichen alkaliolivinbasaltischen Mantelmagmas (HERITSCH, 1967a). SALTERS et al. (1987) weisen in ihren Untersuchungen, die sich allerdings auf den Karpatenbogen und das Pannonische Becken beschränken, darauf hin, daß das Mantelmagma aus zwei Komponenten mit unterschiedlicher Pb-Isotopenzusammensetzung besteht, von denen eine das Isotopenmuster einer Unterkruste aufweist. Das alkalische Magma des plio-pleistozänen Vulkanismus in diesem Gebiet stammt aus demselben Reservoir wie das kalkalkalische miozäne Magma.

Im miozänen Vulkanismus des steirischen Beckens wurden unterschiedliche Gesteinstypen beschrieben. Es dominieren Trachyandesite (Biotit-Klinopyroxen-Latite), Trachyte und verschiedene Latittypen (darunter auch solche mit primärem Quarz). Stellenweise treten auch Shoshonite und Dazite auf. Im Gleichenberger Vulkanmassiv (Gleichenberg, Mitterlabill) überwiegen trachyandesitische Gesteine.

Zwanzig Gesteinsproben wurden für geochemische Analysen ausgewählt und auf Haupt- und Spurenelemente analysiert (Tab. 2). An fünf weiteren Proben wurden nur die

Tab. 1.
Verzeichnis und Kurzbeschreibung der bearbeiteten Proben, Bohrung Bad Gleichenberg StW2.

Probe	Teufe [m]	Beschreibung	Probe	Teufe [m]	Beschreibung
1	138,8–139	alterierter Trachyandesit	14	650,5–650,7	alterierter Trachyandesit
2	146,8–147	alterierter brekzierter Vulkanit	15	656,9–657,3	schwach alterierter Trachyandesit
3	231,2–231,4	brekzierter porphyr. Trachyandesit	16	705,7–706	stark alterierter Vulkanit
4	232,5–232,7	zersetzter alterierter Vulkanit	17	718,6–718,8	alterierter Trachyandesit
5	292,3–292,5	alterierter Trachyandesit	18	751,6–751,8	stark alterierter Vulkanit
6	308,8–309	stark alterierter zersetzter Vulkanit	19	762,5–762,7	Trachyandesit
7	354,6–354,8	Trachyandesit	20	793,5–793,7	Trachyandesit
8	358–358,2	alterierte Eruptivbreccie	21	815,4–815,6	Trachyandesit
9	408,3–408,5	Trachyandesit-Tuff	22	831,7–831,9	alterierter Trachyandesit
10	450,3–450,5	alterierter Trachyandesit	23	854,5–854	schwach alterierter Trachyandesit
11	476,3–476,5	alterierter brekzierter Vulkanit	24	882–882,5	alterierter Trachyandesit
12	527,4–527,6	brekzierter Trachyandesit	25	900,4–900,5	Trachyandesit
13	573,3–573,5	stark alterierter brekzierter Vulkanit			

Tab. 2.
Modaler Mineralbestand ausgewählter Proben, Bohrung Bad
Gleichenberg StW2.

Probe [%]	1	3	5	7	9	12	14	15	15a
Plagioklas	10	14	8	28	10	18	31	30	31
K-Feldspat	4	11	9	2	3	1	2	1	0
Biotit	1	6	4	3	4	0	0	0	0
Klinopyroxen	0	5	1	5	9	13	2	12	8
Orthopyroxen	0	3	0	1	0	0	3	2	0
Olivin	0	2	0	0	0	6	1	0	0
Magnetit	0	1	0	2	7	0	2	5	3
Sekundärminerale	47	1	13	8	21	2	15	4	4
Grundmasse	38	56	64	51	46	60	44	46	54

Spurenelemente analysiert (Tab. 3). Die Analysen wurden am Labor des Tschechischen Geologischen Dienstes in Prag durchgeführt. Eine detaillierte petrographische Beschreibung der analysierten Proben ist in BELOCKY et al. (1996) enthalten.

3.1. Klassifizierung der Gesteine

Bei der Klassifizierung der Gesteine muß die allgegenwärtige Alteration berücksichtigt werden, wodurch die ursprüngliche Zusammensetzung der Gesteine verändert wurde.

Beispielsweise weisen alterierte trachyandesitische Tuffe einen deutlich unterschiedlichen Chemismus auf. Grundsätzlich zeigen die Vulkanite jedoch kalkalkalischen Charakter. Aufgrund der Alteration der Feldspäte einerseits als auch wegen der teilweise schwierigen Identifikation sowie des Auftretens von Sanidin in der Grundmasse ist eine Klassifikation aufgrund des Modalbestandes an Phänokristen nicht zielführend.

In diesem Fall wurde das Diskriminationsschema Zr/Ti gegen SiO₂ nach WINCHESTER & FLOYD (1977) benutzt, wo das Verhältnis der immobilien Spurenelemente bei Alterationsprozessen unverändert bleibt, wohingegen im Fall von SiO₂ mit leichten Verschiebungen im Diagramm gerechnet werden kann (Abb. 3). Die meisten analysierten Gesteine liegen innerhalb des Trachyandesit-Feldes, mit einer leichten Affinität zu Andesiten. In das Rhyodazit-Feld fallen stark alterierte Tuffe.

Ähnliche Ergebnisse erhält man bei der Klassifikation nach COX et al. (1979) (Abb. 4). Die meisten Analysen fallen in das Feld der Trachyandesite, untergeordnet treten auch andesitische Zusammensetzungen auf. Bei den außerhalb dieser Felder liegenden Gesteinen handelt es sich um alterierte Tuffe.

Zusammenfassend handelt es sich bei den meisten vulkanischen Gesteinen der Bohrung StW2 in Bad Gleichenberg um Trachyandesite. Die Bezeichnung Latit kann nur auf Gesteine mit gleichen Mengenverhältnis von Alkalifeldspat und Plagioklas angewandt werden, wobei dies aufgrund oben

Tab. 3:
Geochemische Analysen auf Haupt- und Spurenelemente, Bohrung Bad Gleichenberg StW2.

Probe %	1	3	4	5	6	7	9	10	11	12	14	15	16	18	19	20	21	22	24	25
SiO ₂	64,21	59,34	56,56	61,96	41,76	58,91	54,03	56,03	57,35	54,04	58,25	56,82	55,39	54,08	56,97	61,07	52,98	54,28	55,15	63,66
TiO ₂	0,7	0,8	0,91	0,68	0,58	0,89	0,8	0,95	0,7	0,94	0,91	0,95	0,94	1,02	0,91	0,96	0,91	0,87	0,96	0,96
Al ₂ O ₃	16,15	16,64	19,01	13,7	12,96	15,78	14,4	15,04	15,91	16,02	14,96	16,05	16,12	17,49	16,48	15,09	14,89	15,36	17,23	15,57
Fe ₂ O ₃	1,43	3,62	2,01	2,52	2,77	2,74	3,72	2,79	1,91	2,47	2,63	2,02	3,88	1,97	2,4	1,77	3,01	2,55	1,17	3,75
FeO	1,34	1,11	1,65	1,92	4,62	1,82	3,02	2,66	2,09	3,0	3,32	3,62	2,42	2,86	3,36	2,23	2,41	2,88	4,12	0,58
MnO	0,04	0,04	0,07	0,09	0,14	0,06	0,11	0,1	0,06	0,1	0,22	0,11	0,13	0,03	0,12	0,02	0,11	0,14	0,12	0,07
MgO	0,8	0,74	1,2	1,27	5,58	1,26	2,43	2,24	3,33	3,55	1,55	2,8	2,63	0,83	2,83	0,86	2,4	2,17	1,73	1,87
CaO	3,22	5,23	4,48	5,17	8,75	5,4	7,42	4,22	3,81	7,8	4,4	6,08	5,62	3,98	5,87	3,78	7,7	6,18	4,09	2,58
SrO	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04
BaO	0,09	0,11	0,12	0,07	0,07	0,1	0,09	0,11	0,07	0,1	0,09	0,1	0,1	0,03	0,1	0,1	0,11	0,1	0,11	0,13
Li ₂ O	<0,005	0,01	0,005				0,005	0,006	0,013	0,005	0,005	0,005	0,01	<0,005						<0,005
Na ₂ O	3,61	3,75	3,79	2,91	1,96	3,14	2,71	2,21	3,01	3,13	2,89	3,36	3,24	2,86	3,13	2,44	2,76	3,04	3,23	2,91
K ₂ O	4,89	4,69	4,54	3,66	2,21	4,35	4,68	2,44	1,78	3,55	4,38	3,45	4,04	5,4	4,08	4,27	3,9	4,53	4,46	4,84
P ₂ O ₅	0,37	0,49	0,53	0,5	0,34	0,59	0,65	0,47	0,35	0,64	0,58	0,63	0,60	0,7	0,62	0,6	0,68	0,57	0,54	0,5
CO ₂	1,17	1,58	2,13	3,72	12,12	3,22	3,91	2,82	0,09	1,68	3,68	0,95	2,3	0,2	0,97	0,26	5,66	5,49	4,48	1,25
C	0,08	0,07	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,04	0,05	0,04	0,04	0,09	0,05	0,05	0,01	0,06	0,01	0,03
H ₂ O ⁺	0,78	0,74	1,05	0,74	2,43	0,47	0,84	2,54	4,04	0,99	0,81	1,57	0,92	3,55	0,67	2,64	1,02	0,67	1,43	1,2
F	0,08	0,92	0,12	0,1	0,12	0,08	0,12	0,12	0,1	0,12	0,1	0,08	0,08	0,1	0,11	0,07	0,1	0,08	0,1	0,1
S							0,02	0,09	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	2,48	0,01	1,72	0,01	0,01	0,02	0,01
H ₂ O ⁻	0,41	0,37	1,22	0,56	3,35	0,48	0,58	4,48	4,61	1,17	0,51	0,66	0,95	2,33	0,57	1,95	0,72	0,34	0,58	0,62
Total	99,41	99,43	99,47	99,60	99,79	99,34	99,59	99,3	99,31	99,37	99,37	99,33	99,43	99,4	99,26	99,47	99,39	99,33	99,54	99,62
ppm																				
V	87	102	97	84	89	128	136	142	78	149	129	138	133	155	151	137	137	153	125	105
Cr	39	73	81	37	110	44	68	59	37	141	43	39	42	34	38	48	110	82	85	26
Ni	13	22	20	8	42	14	13	7	8	35	5	<5	5	5	8	13	24	13	17	<5
Rb	248	258	144	153	107	208	263	136	190	176	266	235	192	184	218	137	192	249	216	206
Y	17	19	16	16	24	14	18	20	18	14	16	18	20	21	19	17	17	16	23	19
Zr	312	304	317	248	387	256	244	236	310	213	250	266	266	266	257	287	237	276	327	306
Nb	30	31	31	17	22	24	18	16	21	17	17	17	18	19	23	20	22	25	28	24
Cu	12	14	22	23	62	18	44	15	9	24	15	17	16	12	14	22	34	18	24	15
Pb	33	37	39	<15	33	21	21	31	29	25	23	25	22	23	41	35	22	24	45	28
Be	8,6	9	7,4	7,9	10,8	7,9	8,4	8	8,2	6,7	7,4	8,3	7,4	8	7,2	5,9	6,5	9	7,8	6
Co	13	12	15	13	22	21	30	21	14	22	12	14	15	34	19	30	18	12	18	13
As	2,1	1,2	3,5	2,9	1,3	1,2	2,9	3,6	2,2	4,9	1,2	1	0,6	7,8	0,8	5,5	0,8	1,2	0,4	1

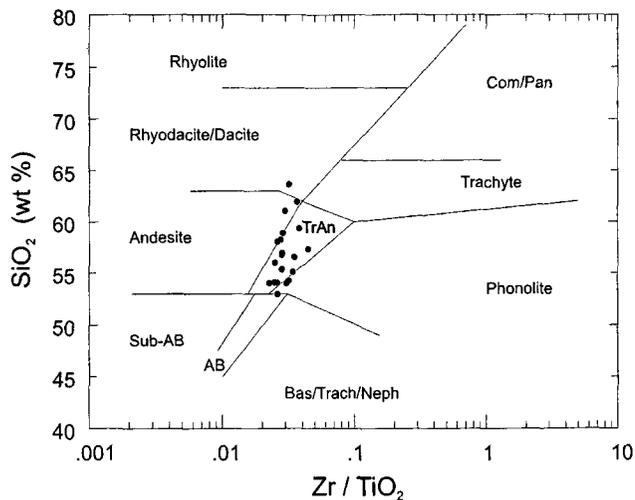


Abb. 3: Klassifikation der Vulkanite aus der Bohrung Bad Gleichenberg StW2 nach WINCHESTER & FLOYD (1977).

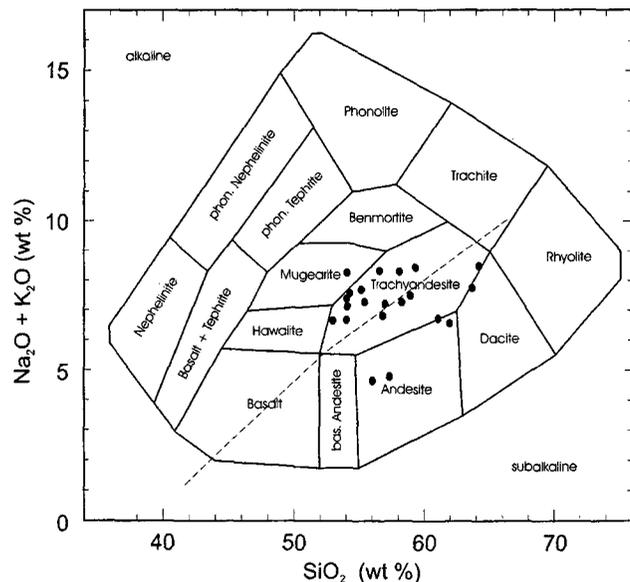


Abb. 4: Klassifikation der Vulkanite aus der Bohrung Bad Gleichenberg StW2 nach Cox et al. (1979).

erwähnter petrographischer Kriterien schwer zu erfassen ist. In der Abfolge treten auch bereichsweise Andesite und Trachyte auf, wobei in diesem Fall Pyroxen und Olivin die vorherrschenden mafischen Bestandteile bilden. Trachyandesite sind durch das vorherrschende Auftreten von Biotit und Diopsid in den mafischen Bestandteilen charakterisiert.

3.2. Interpretation der geochemischen Daten

Die Gesamtgesteinsanalysen sowie das breite Spektrum der analysierten Neben- und Spurenelemente dienen zu folgenden Zielen:

- Charakterisierung der chemischen Zusammensetzung der verschiedenen Gesteinstypen
- Erfassung der chemischen Modifikationen entlang der Alterationszonen

- Nachweis eventueller Anreicherung metallischer Elemente als Hinweis auf Sulfidmineralisationen innerhalb von Propylitisierungszonen, wie sie aus vielen Gebieten mit postvulkanischer Aktivität in kalkalkalischen Gesteinen bekannt sind
- Spezifizierung des Typs und der Intensität des Alterationsprozesses im Hinblick auf das nahegelegene Traßvorkommen Gossendorf

Wie anhand der chemischen Analysen zu sehen ist, weisen die Gesteine einen relativ niedrigen Aluminiumgehalt auf, wobei SiO_2 variabel ist. Dies ist eventuell auf sekundäre Alteration zurückzuführen, in diesem Fall als Neubildung von Chaledon oder mikrokristallinem Quarz. Andererseits deutet ein starker Abfall des SiO_2 -Gehaltes, wie beispielsweise in Probe 6, auf das Auftreten von Montmorillonit, worauf auch das Ansteigen von MgO und H_2O hinweist.

In den Diagrammen nach Harker (Abb. 5) zeigt sich eine negative Korrelation zwischen Fe und SiO_2 ; derselbe Trend tritt auch bei MgO und CaO auf, repräsentiert durch die Plagioklaszusammensetzung bzw. den Olivinegehalt des Gesteins. Bei den Alkalien deutet sich eine schwach positive Korrelation mit SiO_2 an, wobei hier Alterationseffekte eine Rolle spielen können. Bei den kompatiblen Elementen ist bei Zr keine signifikante Variation bezüglich SiO_2 festzustellen, während Cr leicht negativ korreliert.

In Abb. 6 sind ausgewählte kompatible und inkompatible Spurenelemente gegen SiO_2 aufgetragen. Deutlich ist die negative Korrelation bei Ni und Sr. Die meisten Elemente zeigen eine mittlere bis starke Streuung, was wiederum das Ergebnis der Alteration darstellt.

In EBNER & PROCHASKA 1989 finden sich einige Daten der durchschnittlichen Elementgehalte in unterschiedlichen vulkanischen Gesteinen der Region um Bad Gleichenberg, wobei Gesteine der Bohrung StW2 innerhalb der Variationsbreite dieser Analysen liegen. Nur Rb ist eventuell leicht erhöht.

KOLMER 1975 diskutiert das Verhalten einiger Elemente im Zug starker Alterationsprozesse in Gossendorf im Vergleich zum unveränderten Nebengestein. Während Na in allen drei Phasen der Alteration im Prozentbereich abnimmt, zeigt K eine relative Anreicherung infolge der Stabilität von Sanidin und Biotit. Sr und Ba nehmen während der Kaolinitisierung und Alunitisierung zu. Fe reichert sich zu Beginn an, während V und Cr anfangs abgeführt, hingegen in späteren Phasen der Alteration angereichert werden.

3.3. Alteration

In Gebieten mit kalkalkalinem Vulkanismus ist hydrothermale Propylitisierung ein häufig zu beobachtendes Phänomen und bildet einen wichtigen Hinweis bei der Prospektion von Goldvorkommen bzw. polymetallischen Lagerstätten. Im Zuge dieser Alteration wird das intermediäre bis saure vulkanische Ausgangsgestein in zunehmendem Maße in zweierlei Weise umgewandelt:

a) Alteration sowohl der felsitischen als auch der mafischen Einsprenglinge in eine Mischung von Chlorit, Serizit, Epidot, Karbonaten und Kaolinit

b) Imprägnation der Grundmasse durch Pyrit und SiO_2 -Minerale

EBNER & PROCHASKA (1989) diskutieren die Problematik der postvulkanischen Alterationen der Gesteine der Traßlagerstätte Gossendorf. Die Vulkanite werden anfangs von sehr sauren postvulkanischen Lösungen alteriert, später von immer stärker alkalischen. Im Gossendorfer Tagbau ist eine Abfolge der Alterationsprodukte in drei Zonen gut aufge-

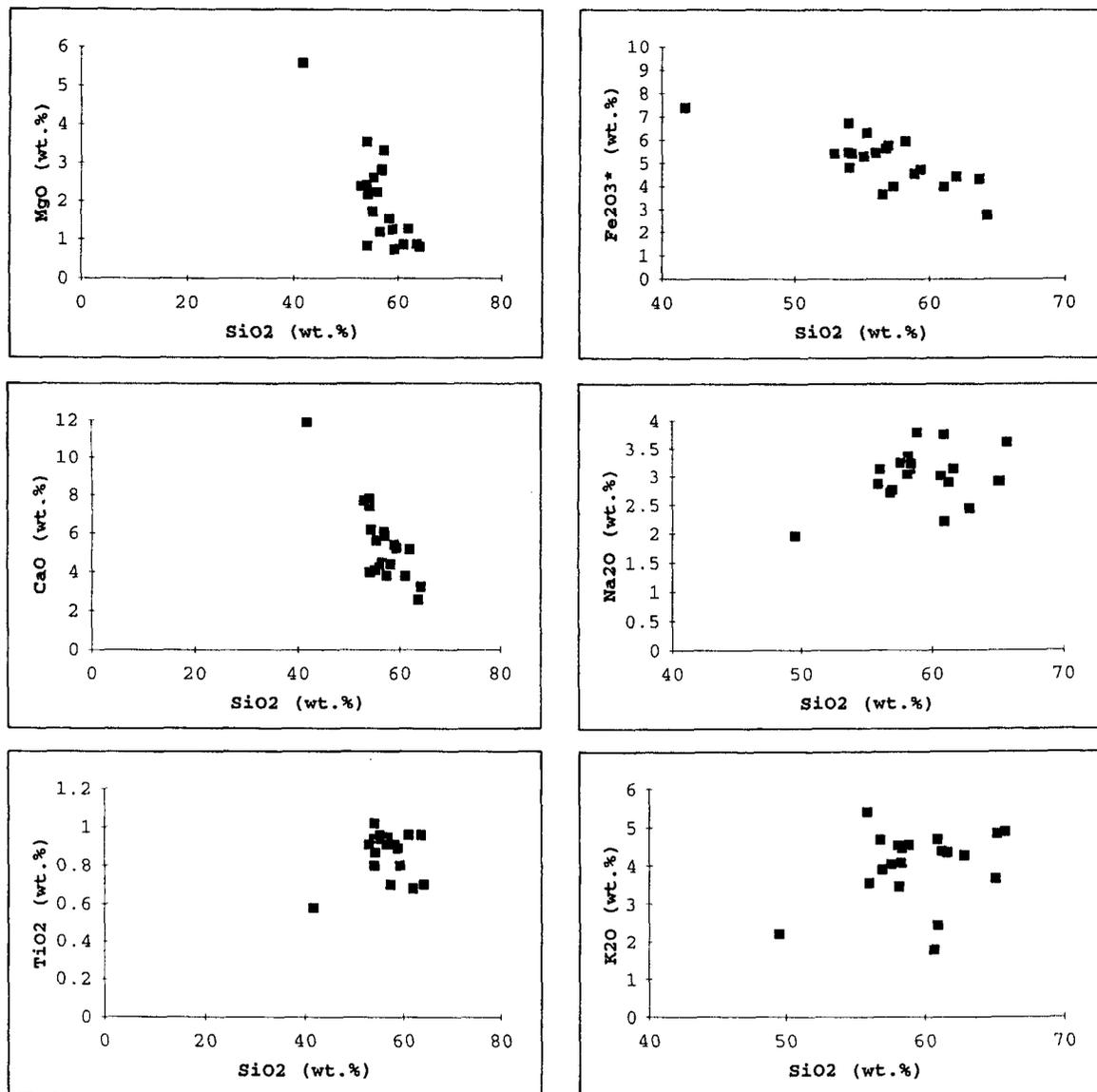


Abb. 5:
Harker-Diagramme ausgewählter Hauptelemente, Bohrung Bad Gleichenberg StW2.

geschlossen: zuoberst liegt die Montmorillonitzone, der mittlere Teil ist opalisiert und an der Basis der Abfolge tritt überwiegend Neubildung von Alunit auf.

BARTH-WIRSCHING et al. (1990) konnten in experimentellen Untersuchungen die Alterationsprozesse simulieren und kamen zu dem Schluß, daß diese in zwei Stufen ablaufen. Die erste ist stark sauer und bewirkt Opal- und Alunitbildung, wobei die durchsickernden Lösungen reich an Al und Si sind. Die ursprüngliche Struktur des vulkanischen Gesteins bleibt dabei noch erhalten. In den äußeren Bereichen des Alterationsregimes sind die Lösungen weniger sauer und an gelösten Komponenten angereichert. Es bilden sich Montmorillonit und letztendlich Kaolinit. Es sind die entstehenden Endprodukte jedoch nicht durch ein einziges Umwandlungsgeschehen zu erklären, sondern es handelt sich um mehrphasige Vorgänge, wobei sich Produkte stärkerer und schwächerer Auslaugung überlagern können.

Vergleichbare Alterationsmuster findet man in Mittelitalien, wo saure Vulkanite durch solfatarische Lösungen stark alteriert werden (LOMBARDI & MATTIAS, 1979).

Einige grundlegende Merkmale sind:

1. Die Anfangsphase der Alteration ist gekennzeichnet durch Veränderung von Farbe und Struktur. Die Grenzen zum frischen Nebengestein sind sehr scharf.

2. Bei fortschreitender Alteration kommt es zur vollständigen Zersetzung, Bleichung, Kaolinitisierung sowie Umverteilung der Fe-Oxide.

3. Sulfide treten in den Zonen maximaler Alteration sowie bevorzugt in den liegenden Anteilen auf.

Die Charakterisierung des Mineralbestandes der Alterationszonen der Bohrung Bad Gleichenberg StW2 wurden mittels Röntgendiffraktometrie sowie quantitative Phasenanalyse mittels SEM/EDX durchgeführt:

In fast allen Proben tritt Plagioklas und Sanidin auf, darüberhinaus wurde in einer Probe Anorthoklas gefunden. Das häufigste Tonmineral ist Montmorillonit, weniger häufig findet man Illit. Beim Muskowit handelt es sich um Serizit, der als sekundäres Mineral in vielen Proben vorkommt. In einigen Fällen wurde Chlorit identifiziert. Auch Karbonate (Kalzit, Siderit, Ankerit) sind als Mineralneubildungen häufig anzutreffen. Zeolithe wurden in Probe 9 (Mordenit, Heulandit, Lavyn) und Probe 10 (Heulandit) nachgewiesen. In einigen

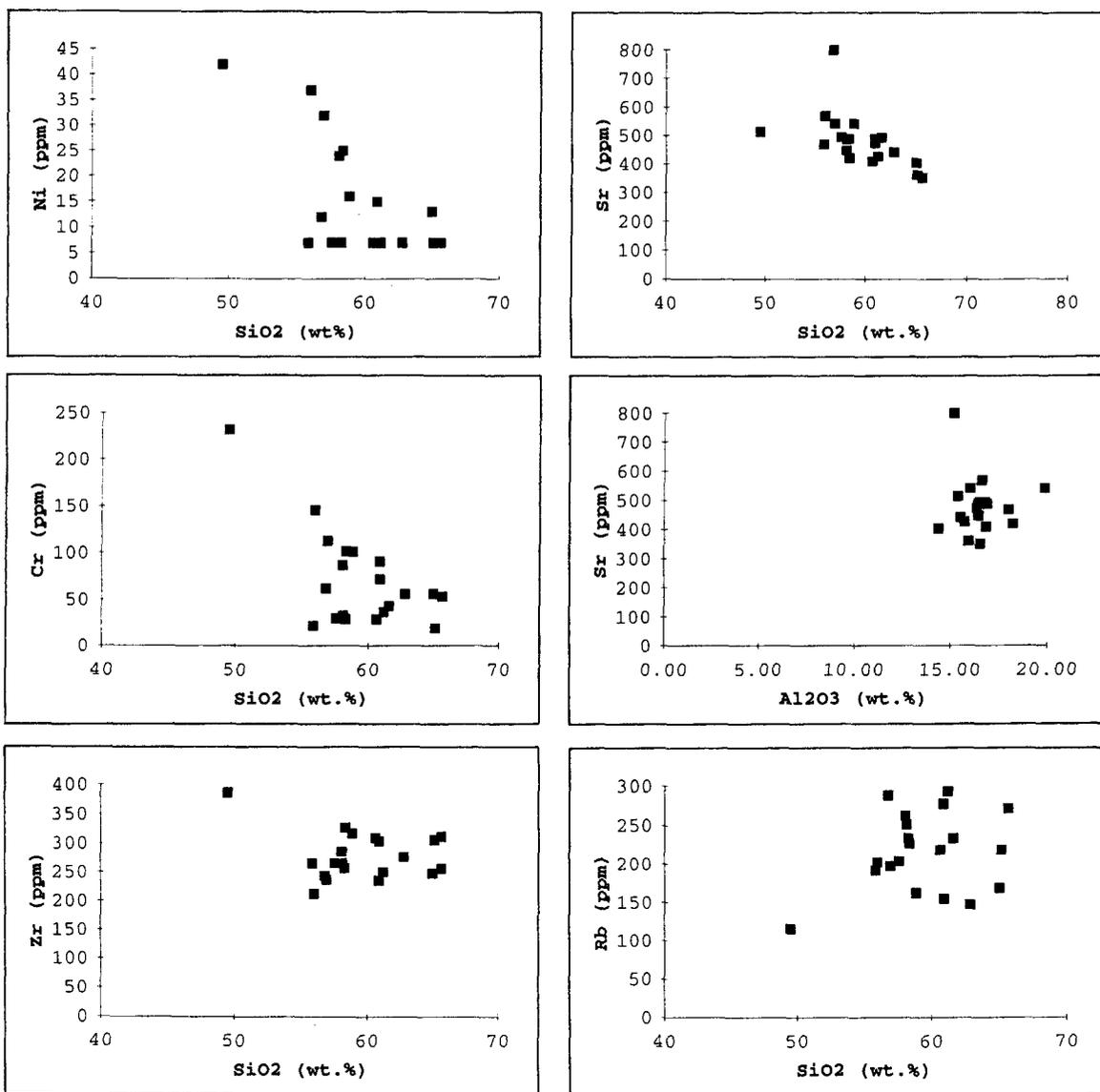


Abb. 6:
Beziehung zwischen ausgewählten Spurenelementen und SiO₂, Bohrung StW2 Bad Gleichenberg.

Fällen tritt auch Gips und Aragonit auf. Im Liegenden wurde Chaledon und Cristobalit gefunden (Proben 15 und 16). Es konnten weder Kaolinit noch Alunit nachgewiesen werden. Dies stellt einen deutlichen Unterschied im Vergleich zu den Alterationsprodukten von Gossendorf dar (vergl. EBNER & PROCHASKA, 1989).

In manchen Proben ist bei einigen Elementen, die auch in Sulfide eingebaut werden können, eine gewisse Anreicherung in bestimmten Abschnitten der vulkanischen Abfolge festzustellen. Jedoch überschreiten die Konzentrationen nicht die regional üblichen Werte (EBNER & PROCHASKA, 1989). Diese Elemente (Cu, Ni, Co, Cr, Pb) sind in stark alterierten grobkörnigen Trachyandesiten oder pyroklastischen Sequenzen (sandige Tuffe und Schlotbrekzien) angereichert.

Mikroskopische Untersuchungen und photographische Aufnahmen von ausgewählten Proben wurden mittels Rasterelektronenmikroskop durchgeführt. Die mineralogische Charakterisierung erfolgte mittels energiedispersiver Röntgenspektrometrie (Tab. 5). Die Proben wurden zur Untersuchung mit einer Au-Pd Legierung bedampft. Goldbestimmung an 25 Proben wurde mittels AAS durchgeführt. In

nahezu allen Proben lag der Au-Gehalt unter der Nachweisgrenze von 0,4 ppb. Nur in Probe 16 (705,7–706,0 m), einer frischen andesitischen Lava, wurden 4 ppb Au nachgewiesen, was einem relativ angereicherten Gehalt im Vergleich

Tab. 4.
Spurenelementanalysen Bohrung Bad Gleichenberg StW2.

Probe ppm	2	8	13	17	23
V	82	141	156	152	148
Cr	42	49	145	36	56
Ni	6	22	58	5	22
Rb	249	119	148	216	239
Y	15	8	19	21	16
Zr	312	279	223	287	249
Nb	30	24	17	22	20
Cu	11	23	44	14	16
Pb	27	20	18	40	26
Be	9,4	8,8	8,6	7,7	7,1
Co	14	27	62	11	17
As	1,4	2,5	38,6	0,7	1,6

Tab. 5:
Semi quantitative Auswertung der RDA-Analysen ausgewählter Proben, Bohrung Bad Gleichenberg StW2 (* = <8%, ** = 8-40%, *** = >40%).

Probe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Albit	***	***	***	***	***	***	***		**					***	***	
Ankerit												**				
Plagioklas								*		***	***	**	***			***
Aragonit									**							
Calcit								***	***							**
Klinoptilolit									*							
Gips										*		*	**			
Heulandit										*						
Muskovit	**	**	**	*	*	*	*	**							*	
Orthoklas	**	**	***	**	**	**	***	**				***				
Quarz															*	
Sanidin										**	***		**	**	**	**
Siderit														**	*	*
Smectit				*		*	*						*	*		*

zu den Daten für andere vulkanische Gesteine der Umgebung von Bad Gleichenberg (EBNER & PROCHASKA, 1989) entspricht.

4. Mineralisierung

Die gesamte Vulkanitabfolge ist sehr arm an Vererzungs Spuren. Diese sind ausschließlich auf größere Teufen unter 700 m beschränkt. In 703,4–703,6 m Teufe sind im Randbereich einer bis zu 2 cm mächtigen kalzitgefüllten Kluft zum schwach alterierten grünlichgelben Latit vereinzelt Pyritkristalle mit bis zu 3 mm Durchmesser zu beobachten.

In der Teufe von 754,6–755,3 m tritt eine massive Sulfidvererzung auf. Nach RDA-Aufnahmen und auffichtmikroskopischen Untersuchungen besteht die Vererzung ausschließlich aus Markasit und Pyrit. Die Mineralisierung tritt im Bereich einer kalzitgefüllten Kluft auf. Der hangende Teil wird durch eine Störung begrenzt, wobei im Hangenden der Störung eine intensive Alteration in Form einer Zersetzung des gesamten Gesteins zu einer grünlichgelben sandigen Masse beobachtet werden kann. Im Liegenden schließt unveränderte trachyandesitische Lava an. Im Bereich der Vererzung weist das Nebengestein, ein Trachyandesit mit porphyrischen Feldspäten, eine intensive Brekzierung auf. Die Größe der Komponenten reicht von <1 mm bis ungefähr 3 cm Durchmesser. Das Nebengestein ist schwach alteriert, die Feldspäte zeigen beginnende Kaolinitisierung. Die Matrix besteht praktisch zur Gänze aus Pyrit, selten ist als letzte Hohlraumfüllung durchscheinender Quarz zu beobachten. Die Vererzung erfolgte in zwei unmittelbar anschließenden

Phasen. Deutlich ist an den meisten Komponenten ein umlaufender Pyritsaum zu beobachten (Pyrit I). Nach einer schwachen Durchbewegung wurden die verbleibenden Hohlräume und die neu entstandenen Risse ebenfalls mit Pyrit ausgefüllt (Pyrit II). Im Bereich der kalzitgefüllten Kluft, die in einer nachfolgenden Phase die Vererzung durchschlug, zeigt der Pyrit in einem 2–5 cm mächtigen Bereich beginnende Limonitisierung.

Von einer etwa 150 g schweren repräsentativen Erzprobe wurde eine chemische Analyse durchgeführt (Tab. 6), wobei die Hauptelemente mittels RFA und die Spurenelemente nach einem Vollaufschluß (HNO₃/HClO₄/HF) mittels ICP/MS am ÖFPZ Arsenal analysiert wurden.

Auf der Basis des S-Gehaltes berechnet, besteht das Erz zu ca. 50 Gew.% aus Markasit bzw. Pyrit. Der Au-Gehalt ist vergleichbar mit dem Au-Gehalt des primären Pyriterzes der Lagerstätte Rio Tinto/Spanien (0,2–0,4 ppm), wobei die Oxidationszonen dieser Lagerstätte 15-30 g/t Gold enthalten (MATTHES, 1990).

5. Schlußfolgerungen

Bei den vulkanischen Gesteinen der Bohrung St W2, die in Bad Gleichenberg eine 730 m mächtige Vulkanitabfolge bis in 901 m Tiefe durchörtert, handelt es sich um trachyandesitische (z.T. latitische), andesitische und trachytische Laven mit einigen Einschaltungen von pyroklastischen Gesteinen, hauptsächlich in Form von subaerischen sandigen Aschentuffen. Brekzien sind entweder pyroklastischen Ursprungs in Form von Schlotfüllungen oder treten als sekundäre Bildungen (Pseudobrekzien) infolge Alterationsprozessen auf. Beim gesamten Komplex handelte es sich um einen riesigen Schildvulkan mit einem zentralen Schlot, der möglicherweise in der Umgebung von Gossendorf liegt, mit adventiven Eruptionen, die möglicherweise an Spalten erfolgten.

Nach dem Ende der miozänen vulkanischen Aktivität zirkulierten postvulkanische solfatarische Lösungen entlang von Spalten und Brekzierungszonen, hauptsächlich im Bereich ehemaliger Schlote. Diese sauren Lösungen bewirkten eine progressive Alteration der umgebenden Gesteine. Im Bereich der Bohrung von Bad Gleichenberg erfolgte diese Alteration in mehreren Zonen oder Bereichen, öfter in Zusammenhang mit porösem (brekziiertem, pyroklastischem) Nebengestein. Intensivere Alteration führte zu Zersetzung, Farbwechsel, Verlust der Gesteinsstruktur, Pseudobrekzienbildung sowie zu Mineralneubildung, hauptsächlich Kalzit, Chlorit, Siderit, Zeolithe und Chalcedon.

Tab. 6:
Chemische Analyse einer Markasit-Pyrit-Erzprobe, Bohrung Bad Gleichenberg StW2

Ag	1,67 ppm	Fe	30,5 %	S	27,2 %
Al	3,7 %	Ga	9,0 ppm	Se	0,8 ppm
As	25 ppm	Hg	150 ppm	Si	16,5 %
Au	0,26 ppm	K	2,1 %	Sr	189 ppm
Ba	520 ppm	Li	5,6 ppm	Te	0,15 ppm
Be	2,3 ppm	Mg	0,16 %	Ti	0,34 ppm
Bi	0,11 ppm	Mn	144 ppm	Tl	58 ppm
Ca	1,35 ppm	Mo	103 ppm	U	5,5 ppm
Cd	1,09 ppm	Na	0,97 %	V	68 ppm
Co	38 ppm	Ni	70 ppm	Zn	128 ppm
Cr	25 ppm	Pb	11 ppm		
Cu	10 ppm	Rb	124 ppm		

Im Vergleich zum benachbarten Traß-Vorkommen von Gossendorf erreichte die Alteration in der Bohrung von Bad Gleichenberg nicht das Kaolinit-Stadium, welches den Phasen der Alunit- und Opal-Alteration vorausgeht, das heißt es handelt sich um eine sehr niedriggradige Alteration. Nur Montmorillonit bildete sich in einigen Abschnitten, wobei jedoch alle Feldspäte sowie meistens auch die Gesteinstextur erhalten blieben. Zeolith tritt in Form von Hohlraum- oder Spaltenfüllungen auf. Weder Kaolinit noch Alunit wurden gefunden.

Die Ergebnisse der geochemischen Analytik zeigen keine substantiellen Anreicherungen an metallischen Elementen. Der Goldgehalt liegt meistens unterhalb der Nachweisgrenze. Obwohl einige stärker alterierte und brekziierte Abschnitte richtiggehende Propylitisierungszonen darstellen, sind Sulfide ausgesprochen selten, möglicherweise auch aufgrund der fehlenden Informationen aus den tiefsten Anteilen des vulkanischen Massivs.

Literatur

- BALOGH, K., EBNER, F., RAVASZ, C., HERRMANN, P., LOBITZER, H., & SOLT, G. (1994): K/Ar-Alter tertiärer Vulkanite der südöstlichen Steiermark und des südlichen Burgenlands. – In: Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich – Ungarn, Teil 2, 55–72, Geol. B.-A., Wien.
- BARTH-WIRSCHING, U., EHN, R., HOLLER, H., KLAMMER, D. & SITTE, W. (1990): Studies of hydrothermal alteration by acid solutions dominated by SO_4^{2-} : Formation of the alteration products of the Gleichenberg latitic rocks (Styria, Austria), experimental evidence. – *Miner. and Petrology*, **41**: 81–103, Wien.
- BELOCKY, R., SEIBERL, W. & SLAPANSKY, P., 1996: Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomalien hinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Bericht ÜLG-28/95, 96 S., 27 Abb., 18 Tab., 14 Beil., Geol. B.-A., Wien.
- COX, K. G., BELL, J. D. & PANKHURST, R. J. (1979): *The Interpretation of Igneous Rocks*. – George Allen and Unwin, London.
- EBNER, F. (1992): Vulkanismus im Steirischen Becken. – *Mitt. Österr. Miner. Ges.*, **137**: 231–242, Wien.
- EBNER, F., ERHART-SCHIPPEK, F. & WALACH, G. (1986): Erdgasspeicher Oststeiermark – Geologische Gebietsauswahl. – *Arch. f. Lagerstättenforsch. Geol. B.-A.* **7**, 5–17, Wien.
- EBNER, F. & PROCHASKA, W. (1989): Geochemische Prospektion auf Metalle in Miozänen Vulkaniten des Gleichenberger Massivs. – unpubl. Bericht VALL Projekt P-90/1988, 70 S., Institut für Geowissenschaften, Montanuniversität, Leoben.
- EBNER, F. & SACHSENHOFER, R. F. (1991): Die Entwicklungsgeschichte des steirischen Tertiärbeckens. – *Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum*, **49**, 1–96, Graz.
- EBNER, F. & SACHSENHOFER, R. F. (1995): Palaeogeography, subsidence and thermal history of the Neogene Styrian Basin (Pannonian basin system, Austria). – *Tectonophysics*, **242**, 133–150, Amsterdam.
- HEJTMAN, B. (1959): *Systematická petrografie vyvřelých hornin*. – Nakl. CSAV, Praha.
- HERITSCH, H. (1967a): Die Magmenentfaltung des steirischen Vulkanbogens. – *Contrib. Mineral. Petrol.* **15**, 330–344, Berlin etc.
- HERITSCH, H. (1967b): Eine weitere chemische Untersuchung an dem Latit der Tiefbohrung von Walkersdorf, südlich Ilz, Steiermark. – *Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark*, **97**, 50–58, Graz.
- HERITSCH, H. (1982): Die Latite aus der Tiefbohrung in Bad Gleichenberg, Steiermark. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **112**, 27–47, Graz.
- HERITSCH, H., (1976): Ferrimontmorillonit als hydrothermales Zersetzungprodukt im Latit (Trachyandesit) der Gleichenberger Klause, Steiermark. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **106**, 31–33, Graz.
- KOLLMANN, K. (1965): Jungtertiär im Steirischen Becken. – *Mitt. Geol. Ges. Wien*, **57**, 479–632, Wien.
- KOLMER, H. (1975): Geochemical aspects of genesis of kaoline, alunite and silica minerals in the vicinity of the Trass deposit near Gleichenberg, Styria. – *Mineral. Deposita* **10**, 249–253, Berlin.
- LOMBARDI, G. & MATIAS, P. (1979): Petrology and mineralogy of the kaolin and alunite mineralization of Latium (Italy). – *Geologica Romana*, **18**, 157–214, Rom.
- MATTHES, S. (1990): *Mineralogie*. – 448 S., 3. Aufl., Springer, New York.
- SALTERS, V. J. M., HART, S. R. & PÁNTÓ, G. (1988): Origin of Late Cenozoic volcanic rocks of the Carpatian Arc, Hungary. – In: ROYDEN, L. H., HORVÁTH, F. (1988): The Pannonian basin. A study in basin evolution. – *AAPG Memoir* **45**, 279–292, Tulsa.
- SERRI, G., MUKASA, S., RENZULLI, A., TRUA, T., KOLMER, H. & DOSTAL, J. (1998): Geochemistry and Sr, Nd, Pb isotopes of Miocene and Plio-Pleistocene volcanic rocks from two Neogene sub-basins of the Pannonian system (Styria and Carinthia): Geodynamic implications. – In: Carpathian-Balkan Geological Association, XVI Congress. Abstracts, p. 545, Wien.
- STEININGER, F. F. & BAGDASARJAN, G. P. (1977): Neue radiometrische Alter mittelmiozäner Vulkanite der Steiermark (Österreich), ihre biostratigraphische Korrelation und ihre mögliche Stellung innerhalb der paläomagnetischen Zeitskala. – *Verh. Geol. B.-A.* **1977**, 85–99, Wien.
- WINCHESTER, J. & FLOYD, P. (1977): Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products. – *Chem. Geol.*, **20**, 325–343, Amsterdam.

