



# „Vulkanite der Oststeiermark“

von

**Andrea Jäger**

**Leoben, den 20.01.2004**

<b>1</b>	<b>ALLGEMEINER ÜBERBLICK.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>GEOLOGISCHER UND GEOGRAPHISCHER ÜBERBLICK DER VULKANITE .....</b>	<b>3</b>
2.1	Der Vulkanismus des Miozäns.....	6
2.2	Der Vulkanismus des Plio-/ Pleistozän.....	7
<b>3</b>	<b>PETROLOGIE .....</b>	<b>8</b>
3.1	Einleitung.....	8
3.2	Wichtige Begriffserklärungen.....	11
3.2.1	Basanit.....	11
3.2.2	Epiklasten.....	11
3.2.3	Lahar .....	11
3.2.4	Lava.....	11
3.2.5	Maar, Maarsee.....	11
3.2.6	Olivinbomben.....	12
3.2.7	Phreatomagmatische Explosion .....	12
3.2.8	Pyroklastika.....	12
3.2.9	Tuff.....	14
3.2.10	Tuffit .....	14
<b>4</b>	<b>PROBENGEBIETE.....</b>	<b>15</b>
4.1	Klöch .....	16
4.2	Bad Gleichenberg.....	18
4.3	Burg Kapfenstein .....	19
4.4	Beistein .....	20

<b>5</b>	<b>PETROLOGIE</b>	<b>21</b>
<b>5.1</b>	<b>Klöch</b>	<b>21</b>
5.1.1	Blasige Basaltschlacke (KL-BH)	21
5.1.2	„Sonnenbrenner“-Basalt (KL-SB)	21
<b>5.2</b>	<b>Bad Gleichenberg</b>	<b>22</b>
5.2.1	Latit	22
<b>5.3</b>	<b>Burg Kapfenstein</b>	<b>23</b>
5.3.1	Asche Lapilli-Tuff (KA-ALT 3)	23
<b>5.4</b>	<b>Beistein</b>	<b>23</b>
5.4.1	Asche-Lapilli-Tuff	23
<b>6</b>	<b>LABORMETHODIK</b>	<b>26</b>
<b>6.1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>26</b>
<b>6.2</b>	<b>Korndichte und Porosität</b>	<b>27</b>
<b>6.3</b>	<b>Magnetik</b>	<b>28</b>
<b>6.4</b>	<b>Wärmeleitfähigkeit</b>	<b>29</b>
<b>6.5</b>	<b>Seismik</b>	<b>30</b>
<b>6.6</b>	<b>Elektrische Leitfähigkeit</b>	<b>31</b>
<b>6.7</b>	<b>Spektrale Induzierte Polarisation (SIP)</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>PETROPHYSIKALISCHE ERGEBNISSE</b>	<b>34</b>
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>39</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>40</b>

# 1 Allgemeiner Überblick

Im Auftrag der Vereinigung für Angewandte Lagerstättenforschung in Leoben (VALL) mit den Projektleitern Prof. Dr. H. Mauritsch und Prof. Dr. J. Schön wurde die Aufgabe gestellt, petrologische und petrophysikalische Eigenschaften von Vulkaniten der Oststeiermark zu untersuchen. Zusammen mit Herrn Dr. Ingomar Fritz vom Steiermärkischen Landesmuseum Joanneum, Abteilung für Geologie und Paläontologie und Ao. Universitätsprofessor Johann Raith vom Institut für Mineralogie der Montanuniversität Leoben wurden unterschiedliche Vorkommen von Vulkaniten begangen. Von vier Lokalitäten wurden Proben genommen und zur weiteren Bearbeitung verwendet.

Durchgeführte Untersuchungen:

- Petrologischer Teil
  1. petrologische Beschreibung (Handstücke, Dünnschliffe)
  
- Petrophysikalischer Teil
  2. Probenaufbereitung (Würfel, Bohrkerne)
  3. Untersuchung wichtiger petrophysikalischer Eigenschaften wie
    - Porosität
    - Dichte
    - Magnetische Suszeptibilität
    - Wärmeleitfähigkeit
    - Seismische Eigenschaften
    - komplexe elektrische Leitfähigkeit

# **I. Petrologischer und geologischer Teil**

## 2 Geologischer und geographischer Überblick der Vulkanite

Das steirische Becken liegt am Ostrand des Alpenbogens und ist als Randbucht des Pannonischen Beckens zu sehen. Seine nördliche und westliche Umrandung bilden geologisch mannigfaltige Gesteine des Erdaltertums wie Kristallingesteine (Koralpe, Stubalpe, Gleinalpe, Fischbacheralpe, Wechsel) und Karbonatgesteine des Grazer Paläozoikums. Eine Gliederung des Beckens erfolgt durch die N-S verlaufende Mittelsteirische Schwelle, die durch die Bergzüge Plabutsch – Sausal – Poßruck obertägig markiert ist. Die NE–SW verlaufende Südburgenländische Schwelle trennt das Steirische vom restlichen Pannonischen Becken. Durch diese Auftragung des Untergrundes kam es zu verschiedenen Entwicklungen in den Teilbecken, die sich unter anderem in der Sedimentmächtigkeit dokumentieren (Weststeirisches Becken etwa 800 m, Oststeirisches Becken etwa 3.000 m). Die Bildung dieser Becken und die damit in Zusammenhang stehende gleichzeitige Verfüllung begann vor ca. 20 Millionen Jahren. Als Sedimente kommen überwiegend Sande – alternierend mit Tonen und Schottern – vor, was durch den Wechsel von marinen<sup>1</sup>, limnischen<sup>2</sup> und fluviatilen<sup>3</sup> Ablagerungsmechanismen begründet ist.

Ein Charakteristikum des Steirischen Beckens stellt die ehemalige starke vulkanische Aktivität dar. Dieser Vulkanismus, Teil eines Vulkanbogens, der von Slowenien bis weit in den Karpatenbogen reicht, wird zwei zeitlich, chemisch und genetisch verschiedenen Perioden zugeordnet und auf Dehnungstektonik im Untergrund zurückgeführt.

Die wirtschaftliche Bedeutung des Weststeirischen Beckens ist vielfältig (FRITZ, 2002). Sowohl im West- als auch im Oststeirischen Raum gibt es Kohlevorkommen. Die Leithakalke werden als Baustein und Grundstoff in der

---

<sup>1</sup> Bezeichnung für sämtliche unter Mitwirkung des Meeres und im Meer ablaufenden Vorgänge und sich bildenden Formen.

<sup>2</sup> Bezeichnung für Vorgänge, Produkte und Ablagerungen in Süßwasserseen.

<sup>3</sup> Von Flüssen ausgearbeitet, fortgetragen, abgelagert oder angereichert.

Zementindustrie verwendet. Das Material aus den Tongruben (z.B.: Illittone) wird in der Ziegelindustrie verarbeitet.

Der berühmte „Trass“ wird im Raum Bad Gleichenberg gewonnen. Kiese, Sande und auch Splitte, hergestellt aus pliozänen Basalten und Latiten des älteren Vulkanismus, werden für industrielle Zwecke verwendet.

## Geologische Zeittafel

Zeitalter	Periode	<i>Mio</i>		Stufe	<i>Mio</i> Jahre	
		Epoche	Jahre			
Känozoikum	Neogen		Holozän		Roman 3,5	
			Pleistozän	1,8	Daz 5,5	
	Tertiär	Jung		Pliozän	5,5	Pont 8,5
				Miozän	23	Pannon 11,5
	Alt		Oligiozän	37	Sarmat 13,5	
			Eozän	54	Baden 16,8	
			Paläozän	65	Karpas 17,3	
Mesozoikum	Kreide				Otnang 19	
	Jura				Eggenburg 22	
	Trias			245		
Paläozoikum	Perm					
	Karbon					
	Devon					
	Silur					
	Ordovizium					
	Kambrium			550		
Präkambrium				4600		

Abbildung 2.1: geologische Zeittafel (nach RÖGL und STEININGER, 1983)

Der im Karpat (Miozän) aufflammende Vulkanismus ist an N-S verlaufende Störungssysteme gebunden und sorgt für eine Akzentuierung des Reliefs. Diese riesigen Vulkanbauten (ca. 30 km Basisdurchmesser) mit Zentrum um Bad Gleichenberg ragten teilweise aus dem Meer auf, welches sich langsam von S in Richtung NE ausbreitete. Rund um diese Inselvulkane kann die Bildung von Saumriffen nachgewiesen werden. Die ausgeworfenen, feinen Aschepartikel wurden in hohen Luftschichten weit verdriftet und kamen so unter anderem auch in den inneralpinen Talungen (Mur-Mürztal) und im Randbereich des Steirischen Beckens zur Ablagerung. Dort dokumentiert sich diese vulkanische Aktivität in geringmächtigen Bentonitlagen. Bentonite sind Tone, die durch chemische Umwandlung aus einem glasigen, magmatischen Ausgangsmaterial hervorgingen. Im Baden kommt es zu einer einheitlichen Absenkung des gesamten Steirischen Beckens durch eine Ingression<sup>4</sup>. Die Spitzen der Vulkane ragen weiterhin als Inselvulkane aus dem Meer.

Mit Beginn des Sarmat ist die Sedimentation im Weststeirischen Becken im Wesentlichen abgeschlossen. Es kommt durch eine Abschnürung von der Paratethys (offenes Meer in SE-Europa) zur allmählichen Aussüßung und Verbrackung des entstandenen Binnenmeeres. Als Ablagerungen finden sich vor allem Tonmergel mit Sandstein und Feinschotterlagen, lokal kam es zur Bildung von fossilreichen Kalken.

Im Pannon beginnt die Aussüßung der restlichen marinen Bereiche. Grob- und Feinsedimente werden abgelagert. Einer Wechselfolge von tonigem und sandigem Material sind Schotter mit weiter horizontaler Verbreitung zwischengelagert.

In das Pliozän, die radiometrischen Altersangaben der Basalte schwanken zwischen 1,7 und 3,8 Mio. Jahren, fällt die zweite Eruptionsphase im Oststeirischen Raum. Dieser basaltische Vulkanismus dokumentiert sich in drei großen Lavaflüssen (Klöch, Stradnerkogel, Steinberg/ Feldbach) und ca. 30 – 40 Tuffschloten. Dabei handelt es sich um Durchbruchsröhren (pipes), deren Bildung auf stark explosive Vulkanaktivität zurückzuführen ist.

---

<sup>4</sup> Bezeichnung für ein langsames Vordringen des Meeres in festländische Räume. Charakteristisch ist das Fehlen von Transgressionskonglomeraten und ein allmählicher Übergang von festländisch/limnisch-fluviatilen zu marinen Sedimenten in der Ablagerungsfolge.

Diese Vulkanexplosionen formten primär einen Trichter, der in einer weitestgehend verebneten Landschaft eingesenkt war. Solche Hohlformen wurden durch zurückfallendes vulkanisches Lockermaterial und durch Material aus einstürzenden Wänden im Randbereich des Kraters rasch wieder verfüllt. Die verfestigten abgelagerten Gesteine werden als Tuffe bezeichnet und nach Korngrößen klassifiziert.

In einigen alten Steinbrüchen bezeugen die vorwiegend gut geschichteten, schmalen Lagen eine rasche Aufeinanderfolge von zahlreichen Einzeleruptionen. Am Ende der vulkanischen Aktivität kam es an einigen Lokalitäten, z.B. in Bad Gleichenberg, Fehring, Pertlstein und Altenmarkt bei Riegersburg zur Bildung von Maarseen.

Seit Beginn des Neogens kam es durch Flüsse zur Tiefenerosion und damit zur Modellierung der heutigen Hügellandschaft. Dabei wurden die ehemaligen Vulkanschote aus der umgebenden weichen Sedimenthülle herausgeprägt. Die jungen Vulkanite haben die Abfolge des Neogens durchschlagen und liegen heute obertägig anstehend zum überwiegenden Teil südlich der Raab. Sie sind eingebettet in und auf den Sedimenten des Pannons (Feldbach, Pertlstein, Bereich südlich von Fehring), aber auch in und auf Sedimenten des Sarmats (Klöch, Hochstraden, Gnas).

Aufgrund ihrer größeren Verwitterungs- und Erosionsbeständigkeit heben sie sich gegenüber von vorwiegend unverfestigten klastischen Sedimenten zumeist morphologisch von ihrer Umgebung ab (Kapfenstein, Riegersburg).

Die berühmten Thermalquellen in diesem Gebiet sind auf postvulkanische Tätigkeit zurückzuführen.

## **2.1 Der Vulkanismus des Miozäns**

Die ältere, im Miozän stattgefundenene Vulkantätigkeit lieferte vor allem latitische (relativ SiO<sub>2</sub>-reiche, K-betonte) Gesteine. Der größte Teil der geförderterten Vulkanitmassen liegt als flache Schildvulkane unter den jüngeren Sedimenten. Bei Bad Gleichenberg und Weitendorf bei Wildon finden sich obertägige Aufschlüsse.

## 2.2 Der Vulkanismus des Plio-/ Pleistozän

Diese vulkanische Tätigkeit förderte nur basische, d.h. basaltische ( $\text{SiO}_2$ -arme, Na-betonte) Laven. Steinberg bei Feldbach, der Stradnerkogel südlich von Bad Gleichenberg und der ehemalige Kesselkrater von Klöch sind Beispiele für vulkanische Tätigkeiten im Plio- und Pleistozän. Es gibt weitere 30 bis 40 Tuffschlote (pipes), die charakteristisch für explosive Ausbrüche sind.

(Bericht „Exkursion durch das Steirische Becken 1993“ - I. FRITZ;  
Exkursionsführer „Wandertagung Bad Gleichenberg 1994“ - H.-L. HOLZER  
Exkursionsführer „Schlacken Tuffe Maare – Eine Studienreise zu den  
Vulkanruinen der Oststeiermark 2002“ - I. FRITZ)

### 3 Petrologie

#### 3.1 Einleitung

Vulkanite (Extrusivgesteine) gehören zur Großgruppe der magmatischen Gesteine, zu denen noch die Plutonite (Intrusiva) gezählt werden. Magmatite entstehen durch Verfestigung einer Gesteinsschmelze.

Vulkanite werden bei rascher Abkühlung gebildet. Typische Merkmale solcher Gesteine sind Einsprenglinge, die sich bildeten, als das Magma noch in der Kruste war. Diese zum Teil großen Kristalle „schwimmen“ in einer feinstkörnigen bis glasigen Grundmasse (Matrix), die während der Eruption gebildet wurde. Die Kristallisation der Schmelze erfolgte rasch. Diese Struktur wird als „porphyrisches Gefüge“ bezeichnet. Zudem treten noch „Löcher“ oder Poren auf, die durch Entgasungsprozesse entstehen. Tabelle 3.1. sowie Abb. 3.2 und Abb. 3.3 geben einen Überblick über die Einteilung der Vulkanite.

<i>Magmatite</i>	<i>sauer</i>	<i>intermediär</i>		<i>basisch</i>
<b>Plutonit</b>	Granit	Granodiorit	Diorit	Gabbro
<b>Vulkanit</b>	Rhyolith	Dazit	Andesit	Basalt

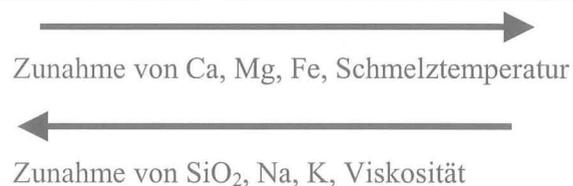


Tabelle 3.1: Einteilung der Magmatite

SiO<sub>2</sub>-reiche Magmatite sind dominiert von hellen Komponenten, vor allem Quarz, K- und Na- Feldspäte (Orthoklas und Albit), Feldspatvertretern und Muskovit.

Im Gegensatz dazu sind dunkle Minerale wie Amphibole (Hornblende), Pyroxene (Augit, Diopsit, Bronzit), Olivin, Biotit, Magnetit und Zirkon, welche bei höheren Temperaturen kristallisieren, die Hauptbestandteile in SiO<sub>2</sub>-armen, mafischen magmatischen Gesteine.

Zwei Ausscheidungsfolgen der Kristallisation bewirken eine Differentiation der Schmelze (Abb. 3.1).

In der *kontinuierlichen Reaktionsreihe* der Feldspäte werden zuerst Ca-reiche Kristalle gebildet, anschließend kristallisieren Na-reiche Minerale. Es kommt dabei zu keiner Kristallstrukturänderung (Na und Ca werden lediglich ausgetauscht).

Die *diskontinuierliche Reaktionsreihe* der mafischen Minerale ruft eine Veränderung der Kristallstruktur durch unterschiedliche Anordnungen der SiO<sub>4</sub>-Tetraeder in einzelnen Mineralen hervor.

Während des Abkühlens der Schmelze kristallisiert Olivin bei 1800°C. Unter 1557°C bildet sich Pyroxen und die zuvor ausgeschiedenen Olivinminerale werden in Pyroxen umgewandelt. Ab 1543°C entsteht Cristobalit (Hochtemperaturmodifikation von Quarz) neben Pyroxen.

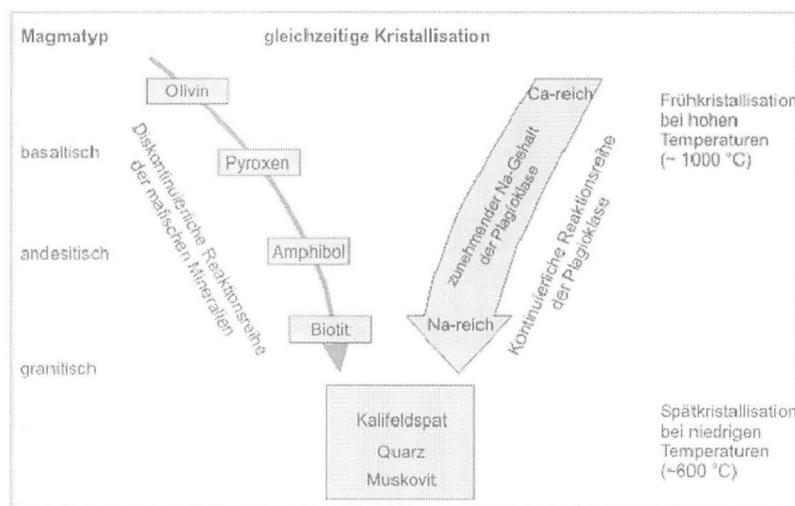


Abbildung 3.1: Bowensche Reaktionsreihe (nach PRESS und SIEVER, 1995)

Explosive Tätigkeiten weisen auf einen hohen Gasgehalt des Magmas hin. Basaltische Laven haben, wie aus der Tabelle ersichtlich, einen niedrigen Gehalt an SiO<sub>2</sub>, hohe Temperaturen, wodurch die Lava dünnflüssig ist und erreichen hohe Geschwindigkeiten. Zähflüssige Laven besitzen hohe Kieselsäuregehalte und niedrige Temperaturen.

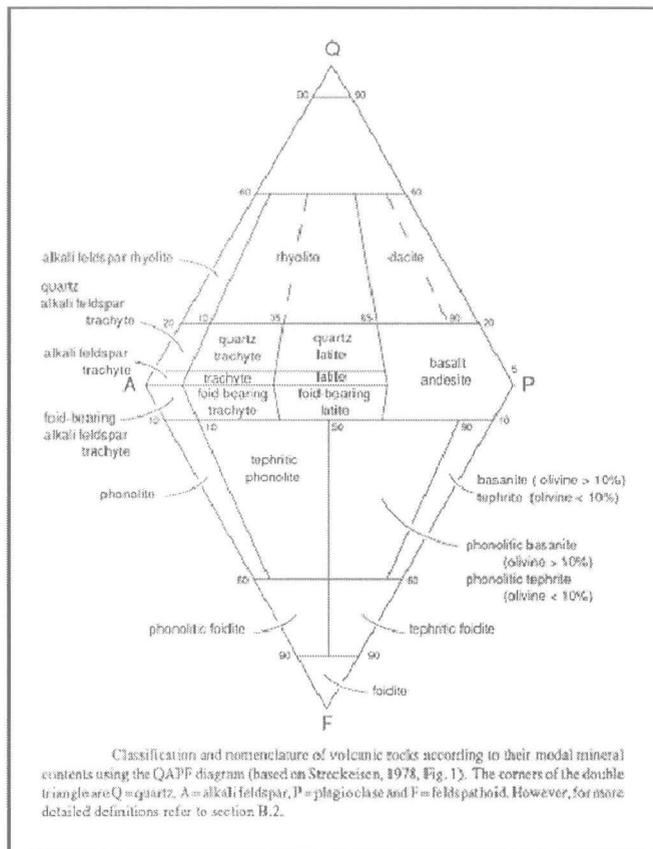


Abbildung 3.2: Streckeisendiagramm der Vulkanite

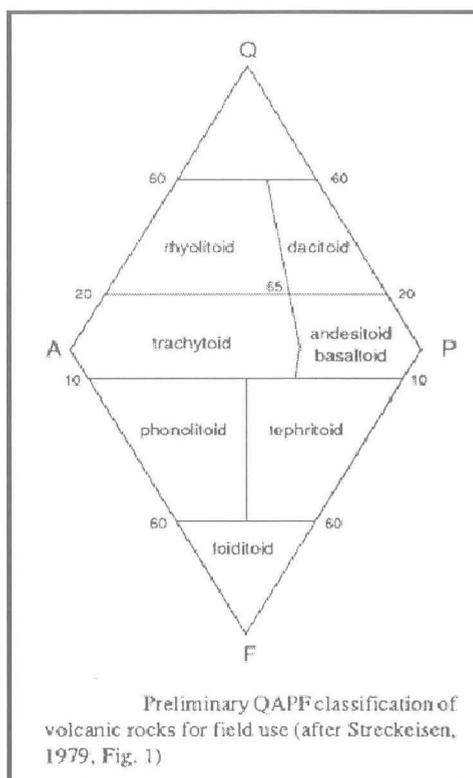


Abbildung 3.3 Streckeisendiagramm Vulkanite

## **3.2 Wichtige Begriffserklärungen**

### **3.2.1 Basanit**

Feldspatvertreter (Foid)-führender Basalt

### **3.2.2 Epiklasten**

Epiklasten sind Ablagerungen, die durch Verwitterung und Erosion entstanden sind und im Zuge von Gravitation, Wind, Wasser oder Eis transportiert wurden.

### **3.2.3 Lahar**

Lahare sind Schlamm- oder Schuttströme, die aus wassergesättigtem vulkanischem Material zusammengesetzt sind. Sie können in Abhängigkeit von Hangneigung und Dichte hohe Geschwindigkeiten erreichen und zum Teil metergroße Blöcke mittransportieren.

### **3.2.4 Lava**

Lava ist das an der Oberfläche ausfließendes Magma. Lava und Magma besitzen nicht dieselbe Zusammensetzung, da bei der Eruption leichtflüchtige Bestandteile entweichen.

### **3.2.5 Maar, Maarsee**

Maare sind vulkanische Bildungen von trichter- bis schüsselförmiger Gestalt, eingetieft in einen beliebigen Untergrund. Meist sind sie von einer Decke oder einem niedrigen Wall vulkanischer Auswurfsprodukte umgeben. Die Bildung der Maare geht auf den Kontakt von im Schlot aufsteigendem heißen Gesteinsmaterial mit dem Oberflächen- oder Grundwasser zurück. Dabei werden heftige Explosionen ausgelöst. Wenn sie in Tiefen von einigen 100 m stattfinden, können Hohlräume ausgesprengt werden, in die größere Schollen einbrechen.

Ein mit Wasser gefülltes Maar wird als Maarsee bezeichnet. Häufig werden in diesen feinsandige, siltig-tonige, sandig-kieselige Sedimente abgelagert.

(MURAWSKI und MEYER, Geologisches Wörterbuch, 1998)

### 3.2.6 Olivinbomben

Eine Mineralzusammensetzung von Olivin, Pyroxen und Spinellen, die unter extremen Drucken (15 - 27 kbar), bei Temperaturen zwischen 940 – 1100°C und Tiefen von 50 bis 80 km (Erdmantel) entsteht.

### 3.2.7 Phreatomagmatische Explosion

Bei explosiven Vulkanausbrüchen erfolgt eine Fragmentierung des Magmas beim Austritt an der Erdoberfläche infolge von Expansion von magmatischen Gasen und Einwirkung von externem Wasser. Kennzeichen von phreatomagmatisch entstandenen Gesteinen sind Glasbildung und geringe Blasigkeit der Komponenten aufgrund der Abschreckung des Magmas durch Wasser(dampf). Synsedimentäre Deformationsgefüge und schlechte Sortierung, hervorgerufen durch den Transport in wasser(dampf)reichen Systemen, sind zudem typisch. Weitere Merkmale sind deutliche Schichtung und geringe Schichtmächtigkeiten des abgelagerten Materials wegen der hohen Frequenz und Zahl von Eruptionseignissen. Die Expansion von Wasserdampf im Nebengestein bei der Eruption verursacht eine starke Fragmentierung und einen hohen Gehalt desselben in den Ablagerungen. Da die Energie für das Aufheizen des Wassers benötigt wird, kommt es zur Ausbildung einer niedrigen Eruptionssäule und Ablagerungen nahe des Kraters.

Die Bildung von Maaren und deren Ablagerungen werden überwiegend auf phreatomagmatische Entstehungsprozesse zurückgeführt.

### 3.2.8 Pyroklastika

Bei plötzlicher Druckentlastung (z.B. bei explosionsartigem Ausbruch eines Vulkans) wird Magma durch das rasche Entweichen der in ihm enthaltenen Gase vielfach völlig zerfetzt. Die Schmelzfetzen oder -tröpfchen erstarren dann in der Luft zu Schlacken oder feinen glasigen Partikeln (*Pyroklastika*). Eine grobe Unterteilung der Pyroklastika erfolgt in lockere vulkanischen Auswurfsprodukte (Tephra) und deren feste Äquivalente (Tuffe).

Einteilung der Tuffe (Abb. 3.4 und Abb. 3.5):

- Asche: feine Partikel mit einem Durchmesser unter 2 mm.
- Lapilli: können unter anderem losgerissene Bruchstücke von bereits zuvor verfestigtem vulkanischen Material sein, die sich während des Fluges zu runden Körnern zusammenballen und abkühlen. Ihre Durchmesser liegen zwischen 2 mm und 64 mm.
- Bomben und Blöcke: haben einen Durchmesser über 64 mm.

Classification and nomenclature of pyroclasts and well-sorted pyroclastic deposits based on clast size (after Schmid, 1981, Table 1).			
Clast size in mm.	Pyroclast	Pyroclastic deposit	
		Mainly unconsolidated: tephra	Mainly consolidated: pyroclastic rock
64	bomb, block	agglomerate bed of blocks or bomb, block tephra	agglomerate pyroclastic breccia
	lapillus	layer, bed of lapilli or lapilli tephra	lapilli tuff
2	coarse ash grain	coarse ash	coarse (ash) tuff
1/16	fine ash grain (dust grain)	fine ash (dust)	fine (ash) tuff (dust tuff)

Abbildung 3.4: Einteilung der Pyroklastika nach Korngröße

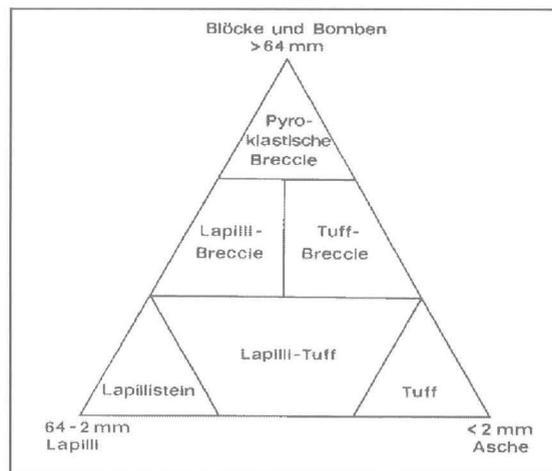


Abbildung 3.5: Nomenklatur der Pyroklastika

### **3.2.9 Tuff**

Ein vulkanischer Tuff ist ein verfestigtes vulkanisches Lockermaterial bzw. ein verfestigtes vulkanisches Auswurfprodukt mit einer Korngröße  $< 2$  mm.

### **3.2.10 Tuffit**

Tuffit bezeichnet einen gewöhnlich gut geschichteten, umgelagerten und somit nach Korngröße sortierten Tuff mit Sedimentlagen oder -anteilen.

## 4 Probengebiete

Die Beprobung erfolgte am 09. August 2003 mit Unterstützung von Herrn Dr. Ingomar Fritz (Steiermärkisches Landesmuseum Joanneum, Abteilung für Geologie und Paläontologie), Herrn Ao. Universitätsprofessor Dr. Johann Raith (Institut für Mineralogie der Montanuniversität Leoben) und Herrn Dr. Norbert Schleifer (Institut für Geophysik der Montanuniversität Leoben). Insgesamt wurden vier Lokalitäten beprobt (Tab. 4.1, Abb. 4.1).

Klösch	KL-SB	„Sonnenbrenner“-Basalt
	KL-BH1	blasige Basaltschlacke
Bad Gleichenberg	BG-AL 2	Latit
Burg Kapfenstein	KA-ALT 3	Asche-Lapilli-Tuff
Beistein (Petersdorf I)	BST-T1	Asche-Lapilli-Tuff

Tabelle 4.1: Übersicht der Vulkanitproben. Die Bezeichnung der Proben ergibt sich aus der Lokalität (z.B.: KL für Klösch) und der Gesteinsart (z.B.: SB „Sonnenbrenner“-Basalt).

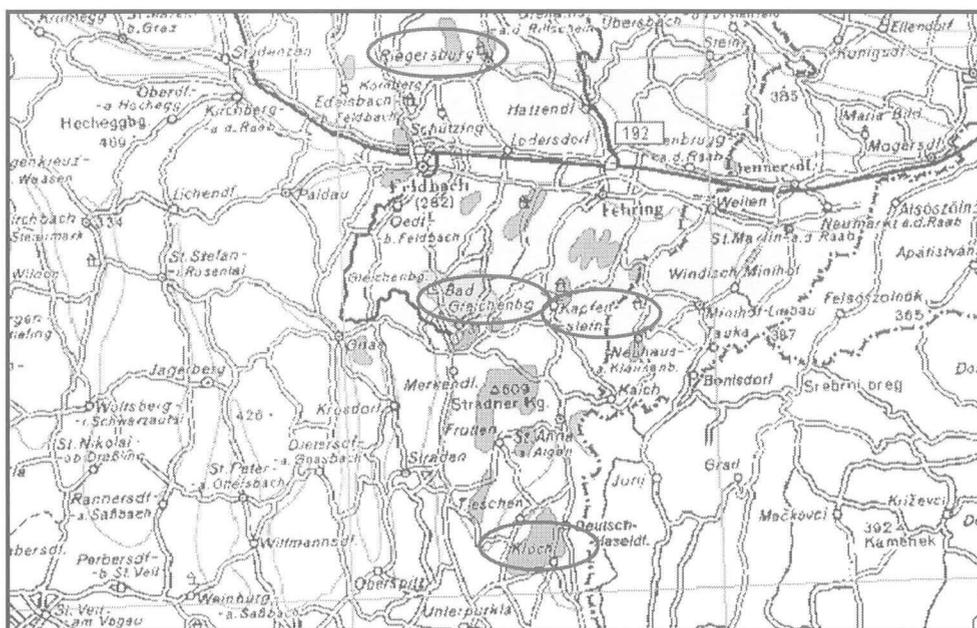


Abbildung 4.1: Gebiet der Oststeiermark mit den vier beprobten Lokalitäten (aus Interaktivem RohstoffInformationsSystem - iris- metallogenetische Karte von Österreich).

## 4.1 Klöch

Die Proben wurden aus dem Klöcher Basaltwerk (Firma Stürgkh-Hrusak und Co Beteiligungs-AG) (Abb. 4.2) entnommen. Das Material stammt aus dem Mittelteil des Steinbruches der Etage 0 und von Schutt- und Abraumhalden der höheren Etagen.

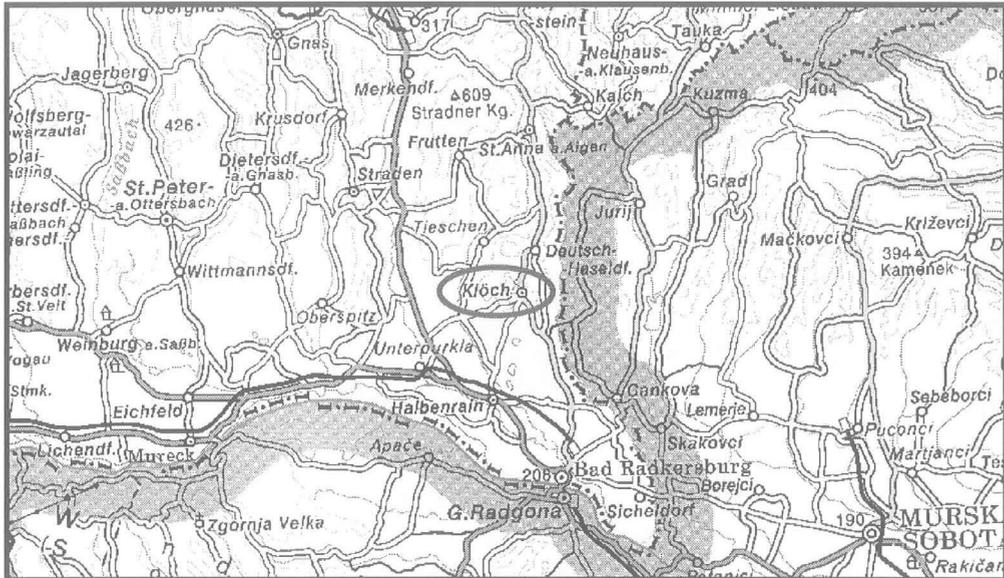


Abbildung 4.2: Probenpunkt Klöch (Austrian MAP, 1:500.000)

Das Klöcher Massiv umfasst im Norden den Kindsbergkogel (Stratovulkan), aufgebaut aus Schlacken, Tuffen und basaltgefüllten Radialspalten, und im Süden den Kesselkrater des Seindls.

Die Lokalität wird bestimmt von einem Nephelinbasanitmassiv aus dem Plio-/Pleistozän mit basischer Zusammensetzung. Nach WINKLER-HERMADEN (1939, 1951a) ist der Kesselkrater (Caldera) in eine feine Tuffdecke und deren sedimentäre Unterlage eingesenkt. Die basaltische Kesselfüllung und ihre Randbildungen grenzen mit einer eher steil in die Tiefe niedersetzenden Fläche teils an Tuffe, teils an sarmatische Schichten und pliozäne Schotter. Weiters rekonstruierte WINKLER (1913) folgendes Ausbruchsgeschehen: Nach einer ersten vulkanischen Tätigkeit, in der hauptsächlich sehr schön geschichtete Tufflagen abgelagert wurden, erfolgte ein zweiter, explosionsartiger Ausbruch, der den Untergrund samt den Tuffen vulkantektonisch zerlegte. Es kam zur Steilstellung von Schichten und zur Ausbildung eines Einbruchsbeckens, welches sich nach der explosiven Phase mit eher ruhig fließender Lava zu füllen begann.

Der Steinbruch, in dem Lavamassen mit zwischengeschalteten Tuff- und Schlackenlagen aufgeschlossen sind, befindet sich an der Ostflanke des Seindls.

Es können vier verschiedene Mineralparagenesen unterschieden werden:

- Die durch Magmenkristallisation entstandenen Minerale (idiomorpher Olivin, Klinopyroxene, Apatit, Analcim und Sanidin)
- Eingeschwemmte Gesteine aus dem Grundgebirge, Tone, in weiterer Folge Verglasungen und Mineralneubildung (z.B. Korund)
- Pneumatolytische und hydrothermale Mineralisationen in Hohlräumen;  
pneumatolytische Bildung von Pyroxen, Nephelin, Magnetit, Analcim und Apatit in den oberen Bereichen des Eruptivkörpers  
hydrothermale Mineralisationen von Pyrit, Aragonit, Kalzit, Apophyllit, Schichtsilikaten und Zeolithen
- Bildung von Verwitterungs- und Oxidationsmineralen (Limonit, Wad<sup>5</sup>, Malachit und Hallyosit)

SIGMUND (1896) und SCHOKLITSCH (1932) erfassten folgenden Mineralbestand des Nephelinbasanites von Klöch: Die Grundmasse setzt sich aus idiomorphen Pyroxenleisten und idiomorphen zonargebautem Plagioklas (Labradorit) mit 50 – 55% An-Gehalt zusammen. Nephelin, Apatit, Analcim, Sanidin und Magnetit mit hohem Ti-Gehalt sind Zwickelfüllungen, Olivin und Pyroxen bilden Einsprenglinge. Der Basalt von Klöch ist bekannt für seine Blasen Hohlräume, die mit Zeolithen (vor allem Phillipsit, Tetranatrolith, Chabasit) oder Karbonaten ausgekleidet sind. Das Auftreten von Analcim, Nephelin und Na-reichen Sanidin in kugeligen und netzartigen Gefügen ist ein typisches Kennzeichen des „Sonnenbrenner“-Basalts (WINKLER-HERMADEN, 1968).

HAUSER und URREGG (1951) klassifizierten die Basaltvorkommen aufgrund der Unterschiede in ihrer Entstehungsart. Der sogenannte Hart-Basalt ist dunkel, blaugrau, zeigt zum Teil eine schöne Säulenentwicklung und ist im Südteil und der Mitte des Steinbruches sowie in den tieferen Anteilen im Norden zu finden. Der plattige Weich-Basalt tritt in oberen Bereichen des Steinbruches im Norden und zum Teil im Hangenden mittig und südlich auf. Die blasige Basaltschlacke hat die geringste Druckfestigkeit und ist in den obersten Bereichen vertreten. Die Homogenität der Basaltschlacke variiert.

---

<sup>5</sup> Wad ist ein Manganoxid

## 4.2 Bad Gleichenberg

Schuttkörper aus dem alten Steinbruch an der Südseite der Gleichenberger Klause lieferten das Material für die Probenahme. Der Latit von Gleichenberg (Abb. 4.3) wird dem älteren, miozänen Vulkanismus zugeordnet.

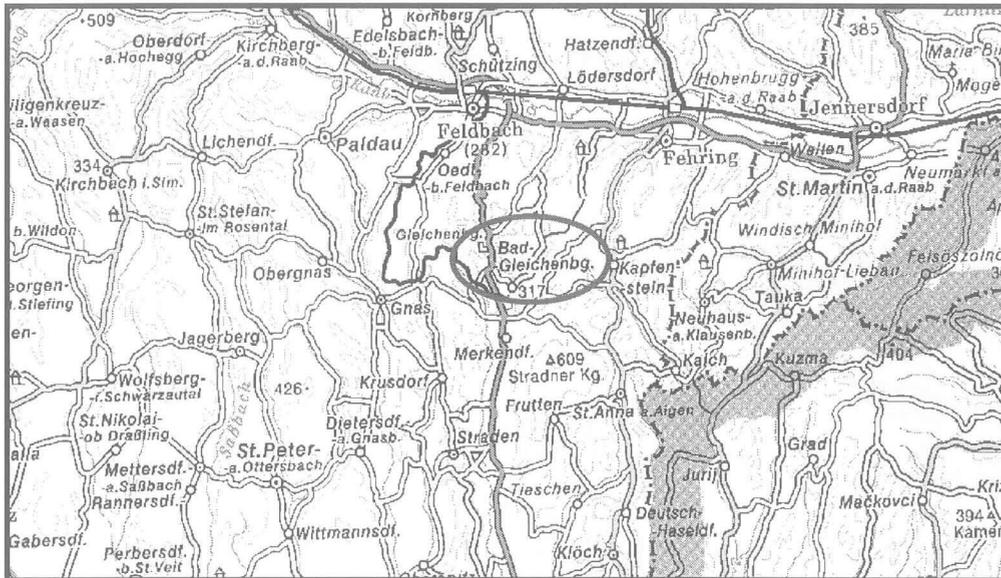


Abbildung 4.3: Probenpunkt Bad Gleichenberg (Austrian MAP, 1:500.000)

Der Quarztrachyt im ehemaligen Steinbruch im Schaufelgraben ist gebankt und hat eine feinkörnige Grundmasse aus Kalifeldspat, Quarz, Biotit, Apatit und Zirkon. Einsprenglinge sind bis zu cm große Quarze, Sanidin, zonargebauter Plagioklas und titanreicher, opacitisierter Biotit. Pyrite überziehen als Krusten einzelne Komponenten. Das Besondere an diesem Gestein ist das gemeinsame Vorkommen von Andesin, Sanidin und Quarz.

Elliptische Einschlüsse von tonigem Material (v.a. Montmorillonit; HÖLLER, 1964) sind entweder Bestandteile eines tieferliegenden Tuffareals oder sekundär veränderte glasige Partien.

Die Grundmasse des rötlich, gelblichen und blaugrauen Trachyandesits (Latit) der Klause bei Bad Gleichenberg besteht aus Labradorit, Pyroxen, Magnetit, Hämatit und Apatit. Einsprenglinge sind diopsidischer Augit, Olivin, titanreicher und opacitisierter Biotit und Plagioklas. Opalisierung, Tridymit- und Chalzedonbildung sind Zeichen postvulkanischer Tätigkeit (weitere sekundäre Veränderungen wie Anulitbildung („Trass“), Kaolinisierung und Montmorillonit-

bildung gibt es nicht in der Klause, sind aber in der näheren Umgebung verbreitet).

### 4.3 Burg Kapfenstein

Die Proben von Burg Kapfenstein (Abb. 4.4) stammen aus einer Schutthalde in einer Kehre Richtung Burg, am Fuße des dortigen Geo-Trails.

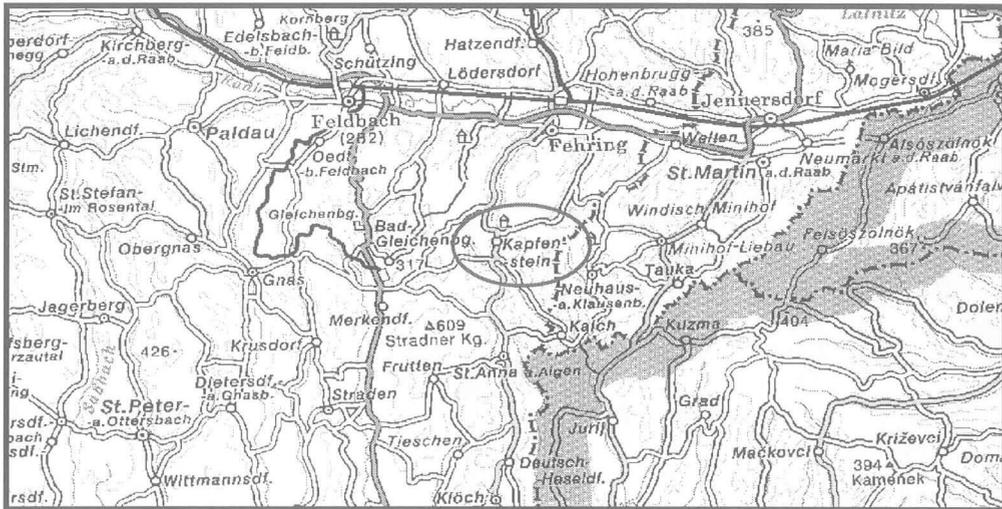


Abbildung 4.4: Probenpunkt Burg Kapfenstein (Austrian MAP, 1:500.000)

Lagen aus Asche-Lapilli-Tuffen und Pyroklastika, sowie Olivinbomben, Hornblende-Kristalle und Graniteinschlüsse sind charakteristisch für diese Lokalität.

WINKLER-HERMADEN beschrieb 1957 mehrere Explosionsphasen in diesem Gebiet, die zur Bildung von unterschiedlichen Vulkaniten führten. Die älteste Phase ereignete sich im SW und führte zur Bildung von gut geschichteten Lapillituffen. Neben grobem Sedimentmaterial findet man auch noch Kalke, Sande und Granitschollen eingeschlossen. Während einer nächsten vulkanischen Tätigkeit wurden die alten Schichten aufgestellt, sodass die jüngeren Ablagerungen, vor allem Tuffe, tuffitische Sandsteine und Seetone, diskordant zum Liegen kommen. Das Hangende wird von schlecht geschichteten, harten und dunklen Tuffen gebildet.

Das Material stammt aus einem Tuffschlott, welches sich mit einbrechenden Material wie Mergel und Schotter (rein und reif) aus dem Pannon vermischte oder wechsellagerte. Die Lithoklasten stammen aus den umgebenden Gesteinen.

#### 4.4 Beistein

In Beistein (Katastralgemeinde Petersdorf I) (Abb. 4.5) konnte nachstehende Schichtabfolge beobachtet werden (Tab. 4.2):

hangend	geschichtete Asche-Lapilli-Tuffe
	Diskordanz
	Fall out
liegend	Pyroklastika

Tabelle 4.2: Schichtabfolge des Aufschlusses bei Beistein

In den Asche-Lapilli-Tuffen waren Entgasungsschloten („degasing pipes“), Olivinbomben (mit zum Teil basaltischen Krusten), Blöcke von mitgerissenen prävulkanischen Sedimenten und mergelige Klasten zu finden. PÖSCHL (1991 a, b) beobachtete und untersuchte phreatomagmatische Eruptionerscheinungen vor Ort.

Im mittleren Teil des Gebietes wurden im Schlotbereich Tonlagen, Holzstücke, Fossile, sowie grobe klastische Komponenten (Schotter und Tuff-Sphäroide) entdeckt. Der südliche Teil wird als Lahar interpretiert. Im Hangenden kam es zur Bildung von einem Maarsee. Die Probe wurde aus abgebrochenem Schutt entnommen.



Abbildung 4.5: Der Ort Beistein in der Oststeiermark (Austrian MAP, 1:50.000)

## 5 Petrologie

Die Petrologie in diesem Kapitel gibt die von der Bearbeiterin selbst beobachteten petrologisch und mineralogisch erfassten Untersuchungen wieder. Die Beschreibungen basieren auf Untersuchungen an Handstücken und Dünnschliffen.

### 5.1 Klöch

Folgende Gesteine konnten im Steinbruch von Klöch beprobt werden:

KL-BH1	blasige Basaltschlacke (homogen)
KL-SB	„Sonnenbrenner“-Basalt

#### 5.1.1 Blasige Basaltschlacke (KL-BH1)

Diese hochporöse Probe zeigt im Handstück eine deutlich rote und rotbräunliche Farbe. Diese ergibt sich aus der Oxidation von  $\text{Fe}^{2+}$  zu  $\text{Fe}^{3+}$ . Die Poren haben eine Größenordnung im  $\mu\text{m}$  bis cm Bereich, nehmen an die 50 % der Probenmasse ein und deuten auf eine gasreiche Explosion hin.

Im Dünnschliff ist eine aus zum Teil zonargebauten Pyroxenen, opake Phasen und sekundären Fe-Mineralen aufgebaute Matrix zu erkennen. Die auftretenden Phänokristalle sind Klinopyroxene und eisenhaltige rötliche Formrelikte. Dies bedeutet, dass ursprüngliche Formen von Kristallen erhalten bleiben und durch andere (in diesem Fall eisenhaltige Sekundärminerale) ersetzt werden.

#### 5.1.2 „Sonnenbrenner“-Basalt (KL-SB)

Im Handstück zeigt der „Sonnenbrenner“-Basalt ein porphyrisches Gefüge. Das Gestein zeigt einen homogenen und einheitlichen Aufbau. Brüche verlaufen zwischen den Komponenten. Der „Sonnenbrenner“-Basalt zerfällt bei längerer Sonneneinstrahlung.

Die feine Matrix wird aufgebaut aus Plagioklas, leistenförmigen Klinopyroxenen und opaken Phasen (Magnetit) und besitzt ein intersertales Gefüge. Nach TAUCHER (1989) sind auch noch Orthopyroxene, Nephelin, Apatit und Leucit in

der Grundmasse des „Sonnenbrenner“-Basalts vorhanden. Die auftretenden Phänokristalle sind vielfältig. Klinopyroxene sind an ihrem Zonaraufbau, der schiefen Auslöschung und Mirkoeinschlüssen erkennbar. Titanaugite (ein Klinopyroxen) zeigen die für sie typische „Sanduhrstruktur“. Augit, Olivinkristalle, Plagioklas, Magnetit und Biotit sind ebenfalls vorhanden. Umgewandelte vulkanische Gläser zeigen rundliche, konzentrische Strukturen sowie Alterationserscheinungen die eine rote Färbung ergeben. Klinopyroxene (Cpx) sind zum Teil chloritisiert und werden zu Biotit umgewandelt. Die schwach ausgeprägte Einregelung mancher Cpx-Mineralen ist ein Hinweis auf Fließstrukturen. Mirkorisse sind mit sekundär gebildeten Mineralen verfüllt, welche nicht näher bestimmt werden konnten. Weitere Phänokristalle wie Nephelin und Analcim sind in der Literatur beschrieben, konnten aber im vorliegenden Dünnschliffen nicht mit absoluter Sicherheit ausgemacht werden.

## **5.2 Bad Gleichenberg**

### **5.2.1 Latit**

Der Latit von Bad Gleichenberg ist ein massives vulkanisches Gestein mit porphyrischem Gefüge. Sowohl im Handstück als auch im Dünnschliff sind zwei Teilbereiche zu erkennen: der Trachyandesit-Teil besteht aus Plagioklas-, Biotit- und Klinopyroxen-Phänokristallen, die sich in einer Grundmasse aus Plagioklas und wahrscheinlich auch Sanidin befinden. Aufgrund der Feinstkörnigkeit der Matrix konnten keine weiteren Bestandteile erfasst werden. In der Literatur sind der Grundmasse noch Pyroxen, Magnetit und Hämatit zuzuordnen. Die großen Plagioklas-Kristalle zeigen zum Teil eckigen Zonarbau und Reaktionssäume im Randbereich (im Dünnschliff sichtbar durch schwarze Umwachsungen). Der Biotit ist nicht frisch, sondern zeigt Opacitierung (schwarzer Rand).

Der zweite Teil ist eine Tufflage mit Fragmenten und Bruchstücken von Vulkaniten und zerbrochenen Plagioklasen. Diese Gefüge deutet auf mehrere zähflüssige Lavaströme hin. Durch auftretende Ruhephasen kommt es zu Aus- und Rekristallisationen.

## **5.3 Burg Kapfenstein**

### **5.3.1 Asche Lapilli-Tuff (KA-ALT 3)**

Die Probe aus Burg Kapfenstein ist ein Mischprodukt aus Asche-Lapilli-Tuffen und Sedimentmaterial. Dies kann durch das Auftreten einer nur schwach vulkanitisch ausgeprägten Grundmasse und sedimentären Komponenten erklärt werden.

Die vorliegende Probe besteht aus einer feinen, inhomogenen, bräunlichen und gelblichen Matrix, die zum Teil Phyllosilikate enthält. In diese sind verschiedene Komponenten eingebaut, deren Größe zwischen wenigen mm und acht cm liegt. Der hohe Anteil an polykristallinen und monokristallinen Quarzen ist dominant. Ehemalige, transportierte Vulkankomponenten mit Einschlüssen von vielen Klinopyroxenen und wenigen Olivinkristallen sind zu beobachten. Weiters findet man kleine Olivinbomben, Magnetite, detritäre Glimmer, Plagioklase, Pyroxene, sekundäre Fe-Minerale (Fe-Hydroxide), Tonschiefer- und Glaskomponenten. Im Allgemeinen haben alle Komponenten eine runde oder ovale Form. Poren und Blasen sind in diesem Gestein selten.

## **5.4 Beistein**

### **5.4.1 Asche-Lapilli-Tuff**

Die Probe aus Beistein wurde im Gelände als Asche-Lapilli-Tuff angesprochen. Die mineralogisch-petrologischen Untersuchungen zeigten aber, dass es sich um einen Tuffit mit brauner Matrix und hellen sowie dunklen Phänokristallen und Gesteinsfragmenten (= Xenolithe) handelt. Das Vorkommen von Porenräumen ist selten.

Im Dünnschliff ist zu erkennen, dass sich die Matrix unter anderem aus detritärem Biotit, Klinopyroxen, feinkörnigem Quarz, neugebildeten Phyllosilikaten und Schlackenresten aufbaut. Diese Mischung aus vulkanischen und sedimentären Komponenten deutet auf Umlagerung (Anwesenheit von Quarz und detritärer Glimmer) und Transport hin.

Als Komponenten sind sowohl polykristalline, feine, undulös auslöschende quarzische Komponenten als auch grobe, monokristalline Quarzminerale auszumachen. Klinopyroxen, Biotit, Olivin, basaltische Hornblende, wenig Plagioklas, sekundäre Fe-Minerale und Schlackenreste sind zudem zu erwähnen. Opake Minerale sind nur akzessorisch vorhanden. Lithische Bruchstücke von Basalt, Granit und Gneis treten auf. Mergelige Komponenten<sup>6</sup> sind grobkörnig und zeigen Ränder mit Rekristallisierungserscheinungen.

---

<sup>6</sup> Mergel, ein Sedimentgestein, ist eine Gemisch aus Ton und Kalk

# **II. Petrophysikalischer Teil**

## 6 Labormethodik

### 6.1 Einleitung

Der Großteil der Untersuchungen wurde im petrophysikalischen Labor am Institut für Geophysik an der Montanuniversität Leoben durchgeführt. Die Messungen umfassten die Bestimmung der Porosität, der seismischen Geschwindigkeit, der thermischen Leitfähigkeit und der magnetischen Eigenschaften. Die Zusammenarbeit mit der TU Clausthal ermöglichte die Messung der spektralen induzierten Polarisation (SIP) der Vulkanite.

Die jeweiligen Messverfahren erforderten unterschiedliche Probenformate. So wurden aus den jeweiligen Handstücken Würfel mit einer Kantenlänge von 10 cm vorbereitet, sowie zylindrische Proben mit zwei unterschiedlichen Formaten erbohrt.

Die Größe der Würfel (Abb. 6.1) ist bedingt durch die Verwendung der Halbraumsonde TK04 zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit. Die Sonde benötigt eine Probenfläche mit einem Durchmesser von mindestens 88 mm. Drei senkrecht zueinander stehende Würfel­flächen werden jeweils als X-, Y- und Z-Ebene bezeichnet. Im Falle einer erkennbaren Schichtung oder Schieferung, liegt die X-Ebene parallel dazu.

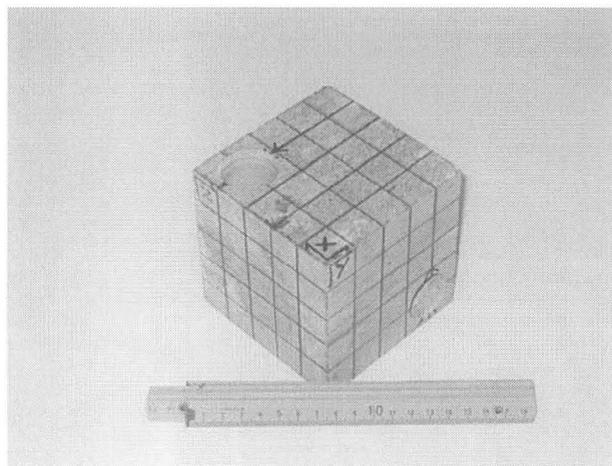


Abbildung 6.1: Probenwürfel mit Beschriftung

Da im Falle der Vulkanite keine orientierten Handstücke entnommen wurden und optisch keine Schichtung (X-Ebene) zu erkennen war, erfolgte die Bezeichnung willkürlich.

Die zylindrischen Proben für magnetische Untersuchungen haben einen Durchmesser von 24,5 mm und eine Länge von etwa 21 mm. Proben die zur Bestimmung der SIP benötigt wurden, haben einen Durchmesser von 20 mm und eine Länge von etwa 40 mm.

## 6.2 Korndichte und Porosität

Die Korndichte [ $\text{g/cm}^3$ ] einer Gesteinsprobe erlaubt Rückschlüsse auf die mineralogische Zusammensetzung. Die Korndichte ist das Verhältnis von Gewicht zu Volumen der festen Materie eines Gesteins. Eine Übersicht der Korndichte zahlreicher Minerale findet sich unter anderem in SCHÖN (1996). Der folgende Auszug aus dieser Tabelle zeigt (Tabelle 6.1), dass gesteinsbildende Minerale im Allgemeinen eine Korndichte zwischen 2.1 und 3.5  $\text{g/cm}^3$  besitzen, während Erze Korndichten von über 4.0  $\text{g/cm}^3$  erreichen.

Anhydrit	2,963	Illit	2,66
Anorthit	2,76	Kaolinit	2,594
Biotit	2,9	Magnetit	5,2
CaAl-Pyroxen	3,36	Montmorillonit	2,608
Calcit	2,71	Muscovit	2,831
Chlorit	2,8	Orthoklas	2,57
Dolomit	2,866	Pyrit	5,011
Epidot	3,587	Quartz	2,648
Fluorit	3,179	Rutil	4,245
Galenit	7,598	Serpentin	2,6
Gips	2,305	Siderit	3,944
Halit	2,163	Sphalerit	4,089
Hämatit	5,275	Spinel	3,583
Hornblende	3,08	Talk	2,784

Tabelle 6.1: Die Korndichten  $\rho_g$  ausgewählter Minerale (aus SCHÖN, 1996).

Die Porosität ergibt sich aus dem Verhältnis des Volumenanteils des Porenraums zum Gesamtvolumen der Gesteinsprobe.

$$(6.2.1) \quad \phi = \frac{(m_{gl} - m_{tl})}{(m_{gl} - m_{gw})}$$

$$(6.2.2) \quad \rho_g = \frac{m_{tl}}{(m_{tl} - m_{gw})} * \rho_{H_2O}$$

Eine Methode zur Bestimmung von Korndichte und Porosität ist das archimedische Prinzip. Vier Größen müssen dazu bestimmt werden. Das Gewicht der trockenen Proben in Luft  $m_{tl}$ , das Gewicht der wassergesättigten Probe in Luft  $m_{gl}$ , das Gewicht der wassergesättigten Probe in Wasser  $m_{gw}$  und die Dichte des Wassers  $\rho_{H_2O}$ . Mit den folgenden Formeln 6.2.1 und 6.2.2 lassen sich die Korndichte  $\rho_g$  und die Porosität  $\phi$  ermitteln.

### 6.3 Magnetik

Die magnetische Suszeptibilität  $\kappa$  der Proben wurde mit Hilfe zylindrischer Proben (Länge ca. 21 mm; Durchmesser 24,5 mm) als auch an den Würfelflächen bestimmt. Die magnetische Suszeptibilität beschreibt das Verhalten eines Materials innerhalb eines Magnetfelds. Dieses Verhalten erlaubt Rückschlüsse auf die Mineralogie und den Gehalt an stark magnetischen Mineralen wie Fe-Sulfide und Fe-Ti-Oxide.

Daneben können über die Bestimmung der magnetischen Anisotropie, d. h. der Richtungsabhängigkeit der Suszeptibilität, Aussagen über die Einregelung der Minerale getroffen werden.

Die Suszeptibilität der zylindrischen Proben wurde mit einem Kappameter gemessen und jeweils drei Würfelflächen (X-, Y- und Z-Ebene) mit einem Bartington MS2E Sensor kartiert. Zu diesem Zweck wurden die drei Würfelflächen in ein Messgitter von 2 x 2 cm unterteilt.

Bei den Zylindern wurden zu Vergleichszwecken die ermittelten Werte auf die Masse normiert (massenspezifische Suszeptibilität in  $m^3/kg$ ), während bei der Kartierung der Würfelflächen die volumenspezifische Suszeptibilität (in SI keine Einheit) aufgenommen wurde. Der Sensor MS2E erfasst bei der Messung eine Fläche von 3.8 x 10.5  $mm^2$ .

Der Messwert wird dabei zu 50 % von den Gesteinseigenschaften bis 1 mm Tiefe beeinflusst. In einer Tiefe von 3.5 mm wirken sich die magnetischen Eigenschaften nur noch zu 10 % auf den Messwert aus.

Zur Identifikation ferro- und paramagnetischer Minerale dient die Ermittlung der Curie-Temperatur  $T_c$ . Die Curie-Temperatur definiert die Temperatur, ab der ferromagnetische Minerale ein paramagnetisches Verhalten zeigen. Ferromagnetische Minerale, wie z. B. Magnetit ( $T_c = 578 \text{ °C}$ ) und Hämatit ( $T_c = 675 \text{ °C}$ ), welche die magnetischen Eigenschaften eines Gesteins dominieren, besitzen eine definierte Curie-Temperatur, mit der sie sich identifizieren lassen.

Die Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  erlaubt ebenfalls Rückschlüsse auf die Mineralogie eines Gesteins. Sie definiert die Stärke des Magnetfeldes bei der ein Gestein gesättigt ist, d.h. alle magnetischen Momente in Richtung des vorherrschenden Feldes ausgerichtet sind. Daneben erlaubt  $M_s$  auch Rückschlüsse auf die Größe der magnetischen Domänen und damit der Größe der ferromagnetischen Minerale.

## 6.4 Wärmeleitfähigkeit

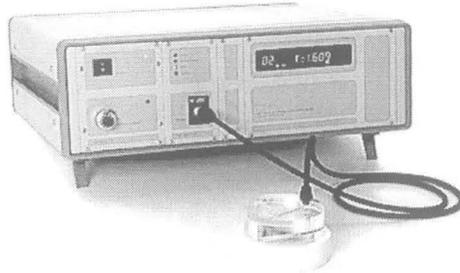
Die Übertragung von Wärme in Gesteinen ist abhängig vom mineralischen Aufbau und der inneren Struktur. Sie erfolgt durch Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Konvektion. Die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes gibt Auskunft über sein Vermögen in seinem Inneren Wärme zu transportieren.

In festen Stoffen resultiert die Wärmeleitfähigkeit hauptsächlich aus dem Wärmetransport über Elektronen (Elektronenleitung) und über Gitteratome (Gitterleitung).

Die thermische Wärmeleitfähigkeit wird im Wesentlichen von der Dichte bzw. Porosität bestimmt. In trockenen Proben ohne interne Wärmequelle trägt nur die Wärmeleitung über das Gesteinsgefüge zum Wärmetransport bei.

Die Wärmeleitfähigkeit der Gesteinswürfel wurde mit Hilfe der Halbraumsonde TK04 (Abb. 6.2) gemessen. Dabei wird eine lineare Wärmequelle mit definiertem Druck an die Würfelfläche aufgesetzt und parallel die Aufheizkurve über einen definierten Zeitraum (80 s) mit einer Sonde aufgezeichnet. Aus dem logarithmischen Anstieg der Temperatur während der Heizphase lässt sich die thermische Wärmeleitfähigkeit

berechnen. Dabei muss die Heizleistung der Wärmequelle berücksichtigt werden. Die Heizleistung bei der Untersuchung der Vulkanite und Plattengneise betrug 3 Watt.



*Abbildung 6.2: Halbraumsonde TK04 zur Messung der Wärmeleitfähigkeit.*

Alle Gesteinsproben wurden im trockenen Zustand gemessen. Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit erfordert eine Probenfläche mit einem Durchmesser von mindestens 88 mm. Entsprechend wurden Würfel mit einer Kantenlänge von 100 mm verwendet. Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit erfolgte bei den Vulkaniten in zwei Raumrichtungen (X- und Z-Ebene). Die Wärmeleitfähigkeit der Plattengneise, welche eine sichtbare Schichtung besitzen, wurde in allen drei Raumrichtungen untersucht.

## 6.5 Seismik

Dichte und Porosität dominieren auch die elastischen Eigenschaften bzw. die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elastischen Wellen in Gesteinen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v$  (m/s) elastischer Wellen in einem Gestein setzt sich aus den Einzelgeschwindigkeiten der mineralischen Bestandteile, der Poren- bzw. Kluffüllung und der Kontaktbedingungen im Gesteinsgefüge zusammen.

Mit Hilfe der elastischen Wellen können Vorzugsrichtungen innerhalb des Gesteins ermittelt werden. Dies erlaubt Rückschlüsse auf eine mögliche Schichtung.

Die Laufzeit der seismischen Wellen wurde analog zur Wärmeleitfähigkeit an den trockenen Würfeln und in allen drei Raumrichtungen ermittelt.

Wegen der starken Dämpfung der seismischen Wellen innerhalb der vulkanischen Gesteinsproben, musste zur Bestimmung der Laufzeiten das Handgerät Ultrasonic Tester BP7 der Firma Steinkamp verwendet werden. Die Geschwindigkeiten an den Plattengneisen wurden mit Hilfe des Messaufbaus im petrophysikalischen Labor ermittelt (Abb. 6.3).



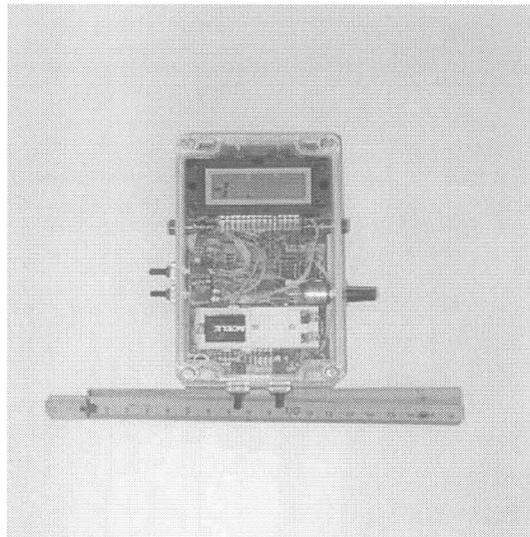
*Abbildung 6.3: Ultraschallmessplatz im Petrophysik-Labor des Instituts für Geophysik der Montanuniversität Leoben*

Die Probe wird dazu zwischen einem Geber und Nehmer eingespannt. Ein konstanter Anpressdruck gewährleistet eine pneumatische Spannvorrichtung. Für die Messung wird ein  $\Delta$ -Impuls mit einem programmierbaren Oszilloskop generiert. Dieser Impuls wird im piezoelektrischen Geber in einen mechanischen Impuls umgewandelt. Die mechanische Welle durchläuft anschließend die Probe und aus der Laufzeit des am Nehmer aufgezeichneten Ersteinsatzes der ankommenden Welle und der Dicke der Probe erfolgt die Berechnung der Geschwindigkeit.

## **6.6 Elektrische Leitfähigkeit**

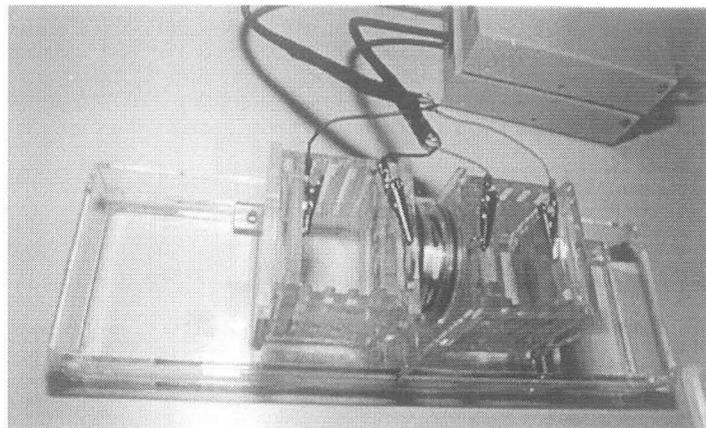
Im trockenen Zustand wird die elektrische Leitfähigkeit eines Gesteins von der Leitfähigkeit der Gesteinsmatrix bestimmt. Im wassergesättigten Zustand dominiert die elektrolytische Leitung des Stromes und die elektrischen Eigenschaften werden hauptsächlich von den Eigenschaften der Porenlösung und der Konvektivität der Poren bestimmt. Isolierte Porenräume leisten keinen Beitrag zur Leitung des elektrischen Stroms.

Die elektrische Leitfähigkeit wurde mit dem Messgerät 4-point-light an den zylindrischen Proben ( $d=24,5$  mm,  $l=21$  mm) bestimmt (Abb. 6.4).



*Abbildung 6.4: Messapparatur 4-point light zur Bestimmung des scheinbaren elektrischen Widerstands.*

Der elektrische Widerstand, der reziproke Wert der elektrischen Leitfähigkeit, der Proben wurde im trockenen und wassergesättigten Zustand gemessen. Um eine gute Ankopplung der Stromelektroden zu gewährleisten, wurden mit Leitungswasser gesättigte Schwämme verwendet. Als Probenhalter wurde der von Peter Stummer entwickelte Messaufbau verwendet (Abb. 6.5).



*Abbildung 6.5: Messaufbau zu Bestimmung des scheinbaren spezifischen Widerstands an zylindrischen Proben (aus STUMMER, 1997).*

Mit zwei Netzelektroden wird in gegenüberliegenden Wassertanks ein Strom eingespeist und mit zwei weiteren Elektroden die Potentialdifferenz vor und hinter der Probe abgegriffen.

Aus dem Verhältnis von Potentialdifferenz zu Stromamplitude ergibt sich, unter Berücksichtigung der Messgeometrie, der scheinbare elektrische Widerstand  $\rho_a$ , dem Kehrwert der elektrischen Leitfähigkeit. Der elektrische Widerstand des Elektrolyts betrug etwa  $0,249 \Omega\text{m}$ .

## 6.7 Spektrale Induzierte Polarisation (SIP)

Die Messungen der spektralen Induzierten Polarisation (SIP) konnten am Institut für Geophysik der TU Clausthal durchgeführt werden.

Bei der SIP wird der spezifische elektrische Widerstand und die Phasenverschiebung über ein Frequenzspektrum von wenigen mHz bis 10 kHz bestimmt. Während der spezifische Widerstand Aussagen über die Porenlösung und Konvektivität des Porenraums liefert, kann man über die Bestimmung der Phase, d.h. der zeitlichen Verschiebung zwischen Stromsignal und gemessener Spannung, zusätzliche Informationen über Tongehalt, Porenquerschnitt, Korngrößenverteilung und die innere Oberfläche der Gesteinsprobe erhalten.

Die Messungen wurden mit einer SIP-Fuchs Apparatur (Abb. 6.6) durchgeführt. Zylindrische Proben mit einem Durchmesser von 20 mm und einer Länge von etwa 40 mm wurden verwendet und vor der Messung wassergesättigt. Der spezifische Widerstand der Porenlösung betrug etwa  $100 \Omega\text{m}$ .

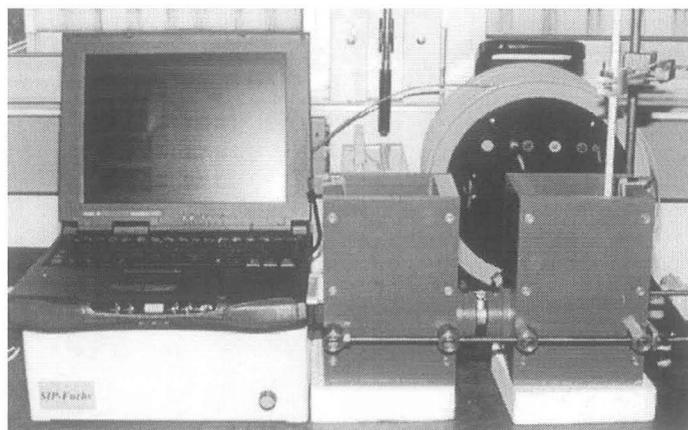


Abbildung 6.6: SIP-Fuchs Messapparatur des Instituts für Geophysik der TU Clausthal.

## 7 Petrophysikalische Ergebnisse

Ziel der Untersuchungen war es, die Vulkanphasen, aber auch die Lithotypen mit Hilfe petrophysikalischer Parameter zu unterscheiden. Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und seismischen Geschwindigkeit in mehreren Raumrichtungen sollte Aufschlüsse über die Anisotropie der Vulkanite liefern.

Probe	Lithotyp	Datierung	Dichte	Porosität	Korndichte
			g/cm <sup>3</sup>	in %	g/cm <sup>3</sup>
BG-AL2	Latit	Miozän	2,33	8,7	2,57
BST-T1	Asche-Lapilli-Tuff	Pleistozän	2,03	21,0	2,76
KA-ALT3	Asche-Lapilli-Tuff	Pleistozän	2,28	13,1	2,68
KL-BH1	Basaltschlacke	Pleistozän	1,33	34,8	2,84
KL-SB	Basalt	Pleistozän	2,72	7,2	2,95

*Tabelle 7.1: Dichte, Korndichte und Porosität der Vulkanite.*

Um einen ersten Überblick zu gewinnen wurden zunächst fünf ausgewählte Lithotypen untersucht. Die Porosität  $\Phi$  der Proben variiert von 7 bis 35 % und ist bereits ein Charakteristikum, das zur Unterscheidung dient (Tab. 7.1).

Die geringste Korndichte von 2.57 g/cm<sup>3</sup> besitzt der Latit von Bad Gleichenberg, der als einzige Probe die ältere Vulkanphase des Miozäns repräsentiert. Die beiden Asche-Lapilli-Tuffe des pleistozänen Vulkanismus unterscheiden sich kaum in ihrer Korndichte, was sich durch die ähnliche mineralogischen Zusammensetzung erklären lässt.

Die größten Korndichten finden sich bei den Gesteinsproben aus den Klöcher Basaltwerken.

Sowohl die blasige Basaltschlacke ( $\Phi = 34.8$  %), als auch der „Sonnenbrenner“-Basalt erreichen Werte von über 2.8 g/cm<sup>3</sup>.

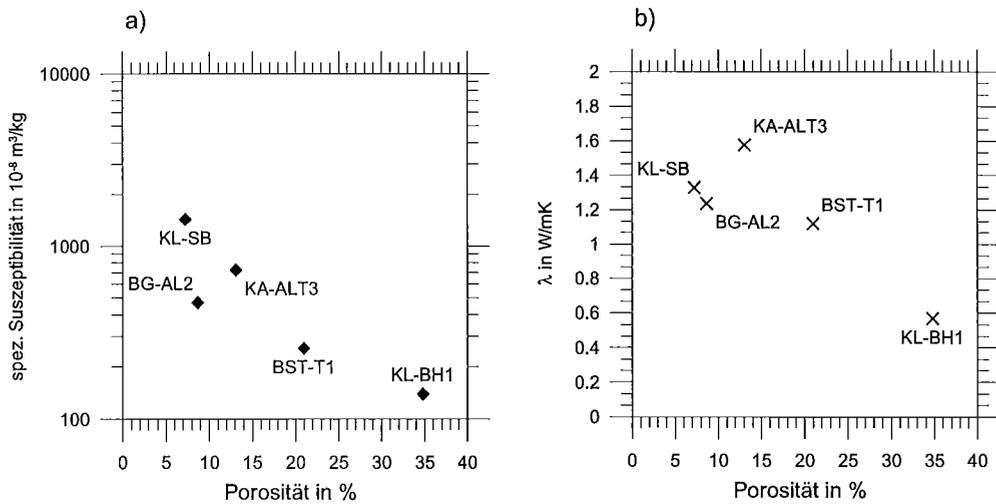


Abbildung 7.1: Korrelation der Porosität mit a) der spezifischen Suszeptibilität und b) der Wärmeleitfähigkeit der Vulkanite.

Korreliert man die Porosität mit dem Logarithmus der spezifischen Suszeptibilität sowie der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  der trockenen Vulkanitproben, zeigt sich eine generelle Zunahme beider Parameter mit abnehmender Porosität (Abb. 7.1a und b).

Die Wärmeleitfähigkeit der trockenen Proben findet nur über das Gesteinsgefüge statt. Wie erwartet wird auch die magnetische Suszeptibilität nur von der mineralogischen Zusammensetzung beeinflusst.

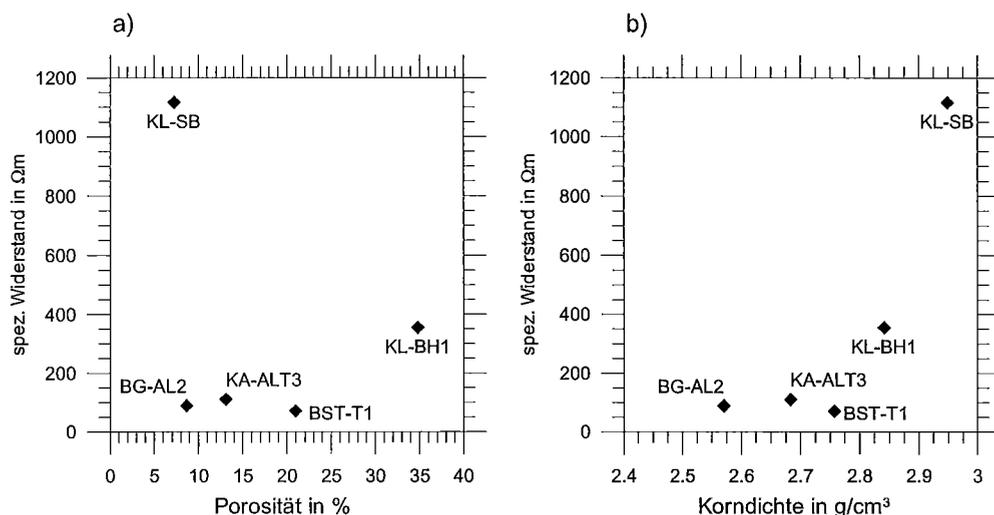


Abbildung 7.2: Korrelation des scheinbaren spezifischen Widerstand (Frequenz 3 Hz) mit a) der Porosität und b) der Korndichte der Vulkanite.

Auskunft über die Konvektivität der Poren liefert der scheinbare elektrische Widerstand  $\rho_a$  der wassergesättigten Proben. Ist eine Konvektivität der Poren gegeben, sollte man einen Anstieg von  $\rho_a$  mit abnehmender Porosität beobachten.

In Abbildung 7.2a sind die beiden Parameter korreliert. Der Anstieg des scheinbaren spezifischen Widerstands mit abnehmender Porosität lässt sich nur bei den Proben KL-SB, KA-ALT3 und BST-T1 beobachten. Obwohl die Porositäten des Latit BG-AL2 und des „Sonnenbrenner“-Basalts KL-SB vergleichbar sind, besitzt Ersterer einen Widerstand von 1100  $\Omega\text{m}$  und Letzterer einen Widerstand von 100  $\Omega\text{m}$ .

Die Erklärung ist, dass der Latit eine höhere Konvektivität der Poren besitzt, d.h. es kaum isolierte Porenräume gibt und damit ein Großteil der Poren miteinander verbunden ist und zur elektrolytischen Leitfähigkeit beitragen.

Dagegen besitzt die blasige Basaltschlacke trotz ihrer hohen Porosität einen hohen elektrischen Widerstand, was bedeutet, dass eine geringe Konvektivität zwischen den Poren besteht.

Die Korrelation von  $\rho_a$  mit der Korndichte zeigt Abbildung 7.2b. Anders als bei den Proben BG-AL2, KA-ALT3, BST-T1 und KL-BH1, wo die zunehmende Porosität auch von einer zunehmender Korndichte begleitet wird, verändert sich die Lage des „Sonnenbrenner“-Basalt durch die größte Korndichte, aber der geringsten Porosität der fünf Vulkanite. Ob ein signifikanter Einfluss der Mineralmatrix auf den scheinbaren spezifischen Widerstand besteht, muss durch Messungen an trockenen Proben untersucht werden. Eine Zusammenfassung der elektrischen und magnetischen Eigenschaften findet sich in Tabelle 7.2.

Probe	Lithotyp	Datierung	Suszeptibilität [10 <sup>-8</sup> ] m <sup>3</sup> /kg	$\rho_a$ 3Hz Ohm-m	Phase 3Hz mrad
BG-AL2	Latit	Miozän	470,2	89,3	4,5
BST-T1	Ache-Lapilli-Tuff	Pleistozän	256,1	71,2	4,0
KA-ALT3	Ache-Lapilli-Tuff	Pleistozän	728,0	110,9	21,9
KL-BH1	Basaltschlacke	Pleistozän	139,4	355,3	12,3
KL-SB	Basalt	Pleistozän	1434,1	1116,6	10,1

Tabelle 7.2: Magnetische und elektrische Eigenschaften der Vulkanite.

Die seismische Geschwindigkeit der Kompressionswelle  $v_p$  wurde an den Würfeln in allen drei Raumrichtungen bestimmt. Abbildung 7.3 zeigt die Korrelation der Geschwindigkeit mit der Porosität und der Korndichte. Ein überraschendes Ergebnis ist, dass die Basaltschlacke KL-BH1 trotz hoher Porosität seismische Geschwindigkeiten

von 2500 bis über 3000 m/s erzielt. Dies lässt sich durch einen engen Verbund der Bestandteile des Gesteinsgerüsts (Verschmelzung), der offensichtlich eine gute Übertragung der mechanischen Schwingungen gewährleistet. Anders verhält sich der „Sonnenbrenner“-Basalt, der trotz hoher Korndichte und geringer Porosität geringe Geschwindigkeiten von unter 1500 m/s erreicht. Die geringere Korndichte des Latits aus Bad Gleichenberg hat dagegen keinen negativen Einfluss auf die seismische Geschwindigkeiten.

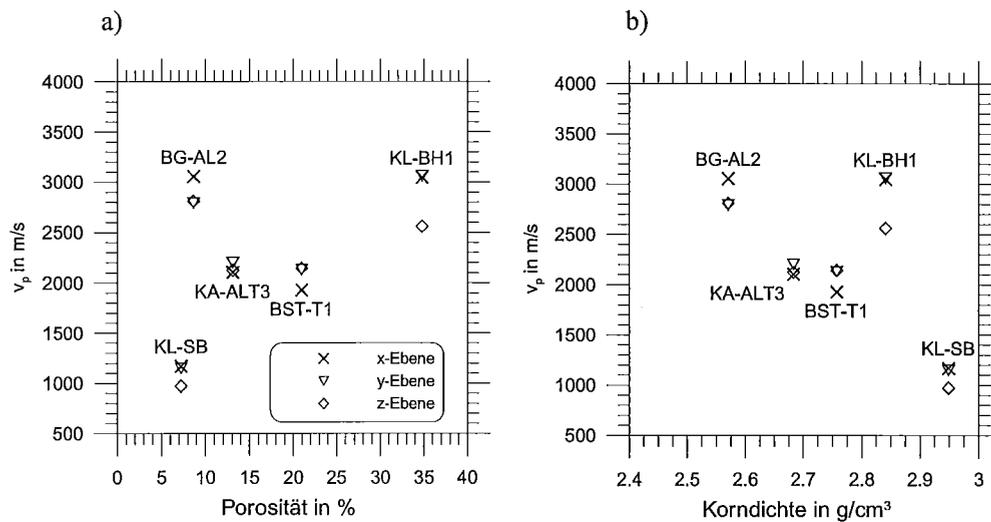


Abbildung 7.3: Korrelation der Geschwindigkeit der Kompressionswelle  $v_p$  mit a) der Porosität und b) der Korndichte der Vulkanite.

In Tabelle 7.3 sind die Ergebnisse der seismischen und thermischen Untersuchungen aufgelistet. Die Berechnung des Anisotropiekoeffizienten, sowie des Anisotropiequotienten erlauben den Schluss, das man bei den fünf ausgewählten Vulkaniten nicht von einer Anisotropie bedingt durch eine Schichtung ausgehen kann. Verantwortlich für die Abweichungen zwischen den Messrichtungen, die vor allem bei den Proben aus Klöch auftreten, sind hauptsächlich auf Inhomogenitäten der Mineralogie, Klüfte, Mikrorisse und blasenförmige Hohlräume zurückzuführen.

Probe	$v_p$ (x-Ebene)	$v_p$ (y-Ebene)	$v_p$ (z-Ebene)	Anisotropiekoeff.	Anisotropiequ.	Wärmeleitf.
	m/s	m/s	m/s	(max-min)/max	min/max	$\lambda$ in W/mK
BG-AL2	3055,7	2793,0	2811,2	0,13	0,87	1,24
BST-T1	1929,5	2131,0	2144,7	0,10	0,90	1,12
KA-ALT3	2105,6	2202,3	2125,7	0,05	0,95	1,58
KL-BH1	3049,0	3061,3	2562,1	0,22	0,78	0,57
KL-SB	1170,2	1151,1	974,2	0,17	0,83	1,33

Tabelle 7.3: Seismische und thermische Eigenschaften der Vulkanite.

Abschließend ist in Abbildung 7.4 die seismische Geschwindigkeit gegen die Wärmeleitfähigkeit und die Phase, ermittelt durch die spektrale Induzierte Polarisierung aufgetragen.

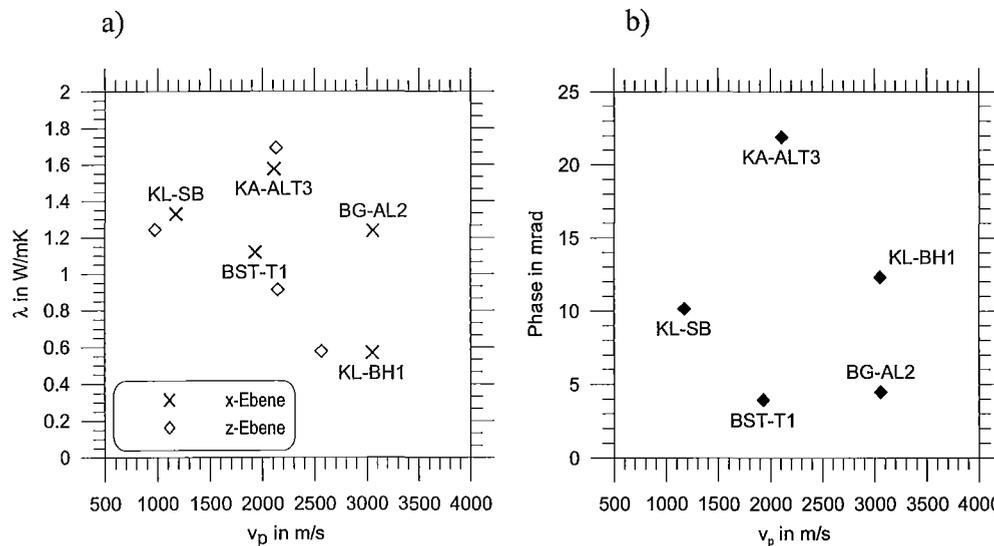


Abbildung 7.4: Korrelation der Geschwindigkeit der Kompressionswelle  $v_p$  mit a) der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  und b) der Phase (Messfrequenz 3 Hz) der Vulkanite.

Bei Probe KL-BH1 (Abb. 7.4a) wird eine hohe seismische Geschwindigkeit von einer hohen Wärmeleitfähigkeit begleitet. Es zeigt sich, dass in diesem Fall die hohe Porosität zwar einen großen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit, aber kaum einen Einfluss auf die seismischen Eigenschaften hat. Dieses Verhalten muss jedoch noch durch weitere Untersuchungen bestätigt werden.

Eine umgekehrte Diskrepanz ergibt sich beim „Sonnenbrenner“-Basalt KL-SB. Dort wird eine hohe Wärmeleitfähigkeit von niedrigen seismischen Geschwindigkeiten begleitet.

Die signifikanteste Unterscheidung der fünf Vulkanite erlaubt Abbildung 7.4b.

Die Phase, gemessen mit einer Frequenz von 3 Hz, aufgetragen gegen die Geschwindigkeit der Kompressionswelle  $v_p$  erlaubt eine klare Trennung der Proben. Wie weit sich diese klare Unterscheidung bei der Einbeziehung andere Varietäten aufrechterhalten lässt, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

## 8 Zusammenfassung

Die petrophysikalischen Untersuchungen an den Vulkaniten der Oststeiermark demonstrieren, dass die Petrophysik wertvolle Informationen im Zusammenhang mit Mineralogie und Petrologie liefert. Die Anisotropie spielte bei der Untersuchung der Vulkanite eine untergeordnete Rolle. Hier sollten die petrophysikalische Parameter gefunden werden, die eine Unterscheidung der Lithotypen erlauben. Unterschiede in der Mineralogie, sowie der Einfluß des Porenraumes und die Bindung der Mineralbestandteile standen dabei im Mittelpunkt der Untersuchungen.

Eine klare Differenzierung der Vulkanite gelang durch eine Korrelation der Geschwindigkeit der Longitudinalwelle und der Phase, ermittelt mit Hilfe der spektralen Induzierten Polarisation. Ob sich diese Differenzierung nach Einbeziehung weiterer Lithotypen aufrechterhalten läßt, muß sich zeigen.

Einzelne Varietäten der Vulkanite ergeben Korrelationen zwischen den petrophysikalischen Parametern, die von allgemein gültigen Erklärungsmodellen abweichen. Trotz hoher Porosität gewährleistet die Basaltschlacke aus Klösch eine gute Übertragung der mechanischen Schwingungen. Untersuchungen, die zum Verständnis dieser Beobachtungen beitragen sollen, sind geplant. In der nachfolgenden Tabelle 1 soll zusammenfassend gezeigt werden, welche Aussagen die gemessenen Parameter über das Gefüge, Klüfte und Porosität erlauben.

	Elektrische Eigenschaften	Elastische Eigenschaften	Magnetische Eigenschaften	Thermische Eigenschaften
Gefüge	+	○	○	○
Klüfte	k. A.	+	k. A.	k. A.
Porosität	○	-	+	+

*Tabelle 8.1: Zusammenfassende Darstellung von petrophysikalischen Parametern und deren  
Verwendbarkeit für die Beobachtung petrographischer Eigenschaften*

(„+“ – gut geeignet, „○“ – geeignet, „-“ – wenig geeignet, „k. A.“ – keine Aussage möglich)

## 9 Literaturverzeichnis

*Astleitner, I.:* Paläomagnetische Untersuchungen am Weitendorfer Basalt und Kartierung im Oststeirischen Hügelland im Raum Wenigzell (Steiermark).- Diplomarbeit an der Karl-Franzens-Universität Graz mit 106 Seiten, 1995.

*Austrostart 2000:* Berichte des Institutes für Geologie und Paläontologie der Karl-Franzens-Universität Graz, Österreich; 24. – 26. November 2002 Gossendorf/Steiermark.- Vortragskurzfassungen und Exkursionsführer, Band 2, 86 Seiten, Graz, 2000.

*Baumann, H.:* Übung zur Einführung in die Geologie I, Uni Trier, 2002. URL: [http://www.uni-trier.de/uni/fb6/geologie/Skripte\\_PDF/SkriptEinfUeb.pdf](http://www.uni-trier.de/uni/fb6/geologie/Skripte_PDF/SkriptEinfUeb.pdf) [17.12.2003]

*Döhrn, V.; Fritz, I.; Holzer, H., L.; Klammer, D.; Moser, B.; Schell, F.; Zirkl, E., J.:* Wandertagung Bad Gleichenberg 3. – 6. Oktober 1994; Exkursionsführer Steirisches Tertiärbecken.- Österreichische Geologische Gesellschaft, 80 Seiten, Herausgeber Hans-Ludwig Holzer, Graz, 1994.

*Flügel, H.; Heritsch, H.:* Das Steirische Tertiär-Becken.- 2. Auflage des Geologischen Führers durch das Tertiär- und Vulkanland des Steirischen Beckens, von Artur Winkler-Hermaden, neubearbeitet von Flügel und Heritsch, 27 Abb., 8 Tafeln, 6 Beilagen, 196 Seiten, aus der Sammlung geologischer Führer, Band 47, Herausgeber Franz Lotze, Gebrüder Borntraeger, Berlin/ Stuttgart, 1968.

*Fritz, I.:* Schlacken – Tuffe – Maare - Eine Studienreise zu den Vulkanruinen der Oststeiermark, 22. – 23.05.2002.- Exkursionsführer, 45 Seiten, zusammengestellt von Ingomar Fritz.

*Fritz, I.:* Notes on the Plio-/Pleistocene volcanism of the Styrian Basin.- Mitteilung der Gesellschaft Geologie- und Bergbaustudenten Österreichs; Nr. 41, Wien, 1996; Seiten 87 – 100.

- Fritz, I.:* II wissenschaftliche Abhandlungen – geomagnetische Untersuchungen an Vulkaniten aus dem Bereich Altenmarkt bei Riegersburg (Oststeirisches Paläogenbecken).- Mitteilung naturwissenschaftl. Ver. Steiermark, Band 122, 5 Abb., 1 Tabelle, Graz, 1992, Seiten 29 – 37.
- Lenz, B.; Mauritsch, H., J.; Reisinger, J., R.:* Petrophysical investigations in the Southern Bohemian Massif (Austria); data-acquisition, -organisation and – interpretation.- *Mineralogy and Petrology* 58, 15 figures, Springer Verlag, 1996; 279 – 300.
- Mackenzie, W.S.; Donaldson, C., H.; Guilford, C.:* Atlas der magmatischen Gesteine in Dünnschliffen.- Übersetzt von Gerd Hintermaier-Erhard, 147 Seiten, 292 farbige Einzelabb., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1989.
- Mackenzie, W.S.; Guilford, C.:* Atlas gesteinsbildender Minerale in Dünnschliffen.- Übersetzt von Hans Pichler und Cornelia Schmitt, 98 Seiten, 229 farbige Abb., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1992.
- Murawski, H.; Meyer, W.:* Geologisches Wörterbuch.- 10., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, 278 Seiten, 82 Abb., 7 Tabellen, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1998.
- Pichler, H.; Schmitt-Riegraf, C.:* Gesteinsbildende Minerale im Dünnschliff.- 2., völlig neu bearbeitete Auflage mit Photos von Manfred Pflöghaar, 436 Einzelabb., 16 Farbbilder, 22 Tabellen, 1 Farbtafel, 233 Seiten, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1993.
- Press, F.; Siever, R.:* Allgemeine Geologie – eine Einführung.- 602 Seiten, Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg, 1995.
- Schön, J.:* Physical Properties of Rocks. Handbook of Geophysical Exploration, Volume 18. Pergamon Press, Oxford, 1996.

*Steiermärkisches Landesmuseum Joanneum*: Exkursion durch das Steirische Becken  
Vulkane Burgen Reben.- 5. österreichischer Museumstag, 16. – 18. September  
1993, Graz, 1993.

*Stummer, P.*: Aufbau eines programmgesteuerten Meßsystems zur Bestimmung  
komplexer Gesteinswiderstände. Diplomarbeit an der Montanuniversität, 1997.

*Taucher, J.; Postl, W.; Moser, B.; Jakely, D.; Golob, P.*: Klöch – ein südoststeirisches  
Vulkanvorkommen und seine Minerale.- Wissenschaft und Ästhetik, 160 Seiten,  
Eigenverlag 1989.

*Weber, L.*: Metallogenetische Karte von Österreich iris (Interaktives  
RohstoffInformationsSystem).- Herausgeber Geologische Bundesanstalt.

*Winkler, A.*: Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Republik Österreich.  
Blatt Gleichenberg (Z. 18 Kd. XIV, Nr. 5256).- Geologische Bundesanstalt  
Wien, 1 Tafel, 164 Seiten, Wien, 1927.

*Zechner, M.*: Die Anisotropie petrophysikalischer Parameter in Abhängigkeit von  
Gefüge und Wassersättigung untersucht am Beispiel des Plattengneises.  
Diplomarbeit an der Monanuniversität Leoben mit 72 Seiten, 2002.

*Klöch 8.* – 12.7.1991. Geowissenschaftliches Seminar, Geologie von Österreich einmal  
anders, Kurs Nr. 6011, 119 Seiten.

URL: <http://www.mineralienatlas.de/phpwiki/index.php/Geologische%20Zeittafel>  
[12.12.20039

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Literaturarchiv Geologisch-Mineralogischer Landesdienst Steiermark](#)

Jahr/Year: 2004

Band/Volume: [239](#)

Autor(en)/Author(s): Jäger Andrea

Artikel/Article: [Vulkanite der Oststeiermark 1-42](#)