

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE EIGNUNG EINIGER VORKOMMEN BASISCHER MAGMATITE IM WESTABSCHNITT DER WESTLICHEN NÖRDLICHEN GRAUWACKENZONE ALS MINERALISCHE ROHSTOFFE

von B. Davogg*)

mit 9 Abbildungen und 11 Tabellen

Zusammenfassung

Aufgrund der durch die Thematik der Arbeit bestimmten Zielsetzung und Aufgabenstellung erfolgte zuerst eine Auskartierung der magmatogenen Sequenz innerhalb der tieferen Wildschönauer Schiefer in den drei ausgewählten, relativ begrenzten Gebieten im Tiroler Abschnitt der Nördlichen Grauwackenzone, im Maßstab 1:20 000 bzw. 1:10 000 bzw. 1:5 000.

Die nach den Kartierungsergebnissen für einen technisch durchführbaren Abbau eventuell als geeignet angesehenen Magmatitvorkommen wurden zur Erfüllung der Projektzielsetzungen auf verschiedene Verwendungszwecke als mineralischer Rohstoff charakterisierende, Gesteinseigenschaften hin untersucht. Die Klassifizierung der Gesteinsqualität stützt sich dabei vor allem auf das die Eigenschaften stark beeinflussende Mineralgefüge und den Mineralbestand. Weiters erlauben Angaben über die abbautechnischen, volumsmäßigen und verkehrstechnischen Verhältnisse und über die Umweltsituation der einzelnen Lagerstättenräume eine Beurteilung aus wirtschaftlicher Sicht bei Beachtung einer integrierten Nutzungsplanung. Die Ergebnisse der Arbeit sind derart, daß alle drei untersuchten Gebiete in eine Bestandskartei zur späteren Heranziehung und Nutzung aufgenommen werden können.

Summary

According to the subject the magmatogene sequence within the "tieferen Wildschönauer Schiefer" in the "Nördliche Grauwackenzone" of three selected territories were mapped. To accomplish the aim of the natural resources projects - an inventory of mineral resources in Tirol - three localities of greater occurrences of basic igneous rocks were studied more specifically after mapping had shown the technical possibility of mining.

*) Anschrift des Verfassers: Dr. Bernhard Davogg, Oberösterreichische Kraftwerksgesellschaft, Bahnhofstr. 67, A-4810 Gmunden

Mainly basing on mineral texture, mineralogical paragenesis and macroscopic impressions I tried to classify physical and technical properties of the rocks and suggest them for profitable applications as mineral raw materials. A final point describes the exploitational, technical and economic situation of a possible surface mining.

Inhalt

Gedanken zur Lage der Rohstofferkundung

Rohstoffkundliche Auswertung der Kartierungsgebiete

- 1) Der Bereich zwischen St. Johann und Fieberbrunn
- 2) Das Gebiet um das Kropfrader Joch
- 3) Der rückwärtige Abschnitt des Hörndlinger Grabens

Literatur

Gedanken zur Lage der Rohstofferkundung

"Die Nutzung mineralischer Rohstoffe, bzw. die Versorgung einer Wirtschaft mit ihnen, hat für die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft große Bedeutung gehabt. Es wird daher auch in der Zukunft der Nachweis und die Erkundung von Ressourcen mineralischer Rohstoffe und ihre Nutzarmachung Aufgabe einer globalen Rohstoffpolitik sein (aus PESCHEL, 1977)."

Die heutige Situation zeigt jedoch, daß selbst in großräumigen Territorien die Ressourcen beschränkt sind, und somit die Versorgung einer Wirtschaft mit geeigneten Rohstoffen immer schwieriger wird.

Zahlreiche Parameter wie (a) Kriterien für die Klassifikation von Lagerstättenvorräten, (b) Anforderungen an die Qualität und Ausbildung eines Rohstoffes, (c) Bedarf an gewissen Rohstoffen, (d) neue Techniken der Nutzarmachung, (e) wirtschaftliche Prosperität, (f) Auflagen des Umweltschutzes, (g) das Kosten (u.a. Energieeinsatz):Nutzen-Verhältnis,....., sind ständigen Veränderungen unterworfen, was eine dauernde Evolution der Rohstoffwirtschaft mit sich bringt (Z. f. Angew. Geol.). Um den heutigen Anforderungen, also optimaler Einsatz von Energie, Mensch und Rohstoff, bei größtmöglicher Rücksichtnahme auf unsere Umwelt gerecht zu werden, setzen sich folgende Tendenzen mehr und mehr durch (gilt vorw. für mineralische Rohstoffe, Massenrohstoffe):

- Registrierung, Bestandsaufnahme von Rohstoffquellen; Anlegen von Rohstoffkarteien.
- Einbeziehung der Rohstofflagerstätten (bes. geplante Tagbaue) in die Planung einer optimalen Territorialstruktur (Raumplanung, Naturraumpotentialkarten). Bsp.: Tiroler Umweltschutzkonzept.
- Intensivierung der Zusammenarbeit von Geologie, Bergbau und Wirtschaftswissenschaften.
- Forschung auf dem Gebiet der Eigenschaften der Rohstoffe, der zielgerichteten Anwendung, der Entwicklung neuer Gewinnungstechnologien, der Lagerstättenengese, der Lagerstätten erkundung, der Altrohstoffwiederverwertung.
- Komplexe, integrierte, somit rückstandsarme Nutzung von Rohstoffen eines Lagerstättenbereiches.
- Rechtzeitige Planung der Umweltre kultivierung.
- Regionale, überregionale und internationale Rohstoffpolitik.

Die Lage in Österreich: (Grundlagen der Rohstoffversorgung, Bundesministerium für Handel, Gewerbe und Industrie, Wien 1979)

Österreich ist, wie viele andere westeuropäische Staaten, zur Versorgung der heimischen Industrie mit mineralischen Rohstoffen großteils auf Importe angewiesen. Nur selten kann der Bedarf aus inländischer Gewinnung gedeckt werden (Zn, NaCl) oder sogar Export betrieben werden (W, Sb, Magnesit, Graphit, Talk). Die Versorgung mit Massenrohstoffen (natürliche Baustoffe, Rohstoffe für Kalk-, Zement- und Ziegeleiindustrie) ist derzeit noch, von regionalen Engpässen abgesehen, einigermaßen gewährleistet.

Auf österreichischem Staatsgebiet tritt zwar eine große Vielfalt von Gesteinen, angefangen von metamorphem Altkristallin bis zu quartären Schottern, auf, doch verhindern der äußerst komplexe geologische Bau und die ausgeprägte Morphologie das Auftreten größerer Lagerstätten und die technische Anlage von größeren Abbauen.

Neue Erkenntnisse über Lagerstättengenese und deren Verhalten bei orogenetischen Prozessen, verbesserte Suchmethodik, neue Geotechnik und Aufbereitungsverfahren (Hydrometallurgie) bzw. gesteigerte Nachfrage geben jedoch die Möglichkeit, neue bauwürdige Lagerstätten zu finden und andere Rohstoffquellen interessant zu machen.

Ein weiteres Problem, das in hohem Maß für das Reise- und Urlaubsland Österreich zutrifft, ist die zu erreichende Koexistenz zwischen alpinem Bergbau und dem Umweltschutz bzw. Fremdenverkehr.

Um den Anliegen sowohl der (vorw. Tagbau) Rohstoffversorgung als auch der Raumplanung und dem Fremdenverkehr gerecht zu werden, ist man bestrebt, für viele Gebiete Naturraumpotentialkarten zu erstellen. In ihnen soll das Potential an Rohstoffen, an Siedlungsraum, an möglichen Verkehrsflächen, an land- und forstwirtschaftlich nutzbarem Areal, und auch das Potential an Erholungsraum eines bestimmten Gebietes zusammengefaßt und beurteilt werden, um so den zur Verfügung stehenden Grund und Boden der volkswirtschaftlich günstigsten Verwendung zuzuführen.

Von rohstoffkundlicher Seite ist eine Bestandsaufnahme aller verwertbaren Rohstoffe die Voraussetzung. Meine drei kartierten und ausgewerteten Vorkommen stellen einen kleinen Beitrag zu dieser Bestandsaufnahme dar.

Rohstoffkundliche Auswertung der Kartierungsgebiete

Die zu kartierenden Gesteinsvorkommen liegen alle in Teilen des Tiroler Abschnittes der Nördlichen Grauwackenzone und innerhalb dieses im Komplex der tieferen Wildschönauer Schiefer. Dank der Voruntersuchungen von Prof. MOSTLER war es möglich, die rohstoffhoffigen Areale flächenmäßig stark einzuengen. So wurden schließlich drei kleinere Gebiete für eine detailliertere Erkundung ausgewählt (Abb. 1):

- 1) die südliche Talflanke des Tales der Pillersee-Ache zwischen St. Johann und Fieberbrunn,
- 2) der Bergrücken des Kropfrader Joches südlich von Wörgl,
- 3) der hintere Abschnitt des Hörndlinger Grabens (Schwarzachbachtal) südlich von Hochfilzen.

- 1) Der Bereich zwischen St. Johann und Fieberbrunn

Aufgabenstellung

Ziel der Arbeiten soll es sein, weitere Vorkommen von Diabaslagergängen in der Nördlichen Grauwackenzone Tirols zur Gewinnung von hochwertigem Splitt zu erkunden. Dies, um der in diesem Raum - es handelt sich um das Gebiet Kitzbühel/St. Johann/Fieberbrunn - bereits ansässigen Natursteinindustrie (hauptsächlich das Hartsteinwerk Kitzbühel) den Weiterbestand aus der Sicht der Rohstoffbeschaffung zu sichern.

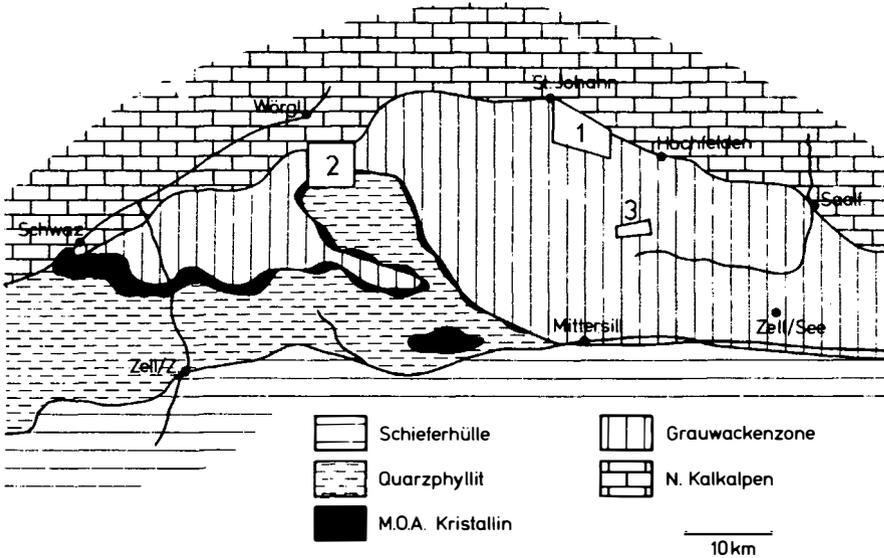


Abb. 1

Bedeutung

Die Bedeutung dieses Rohstoffes (siehe auch HADITSCH, 1979) liegt in seiner ausgezeichneten Eignung als Betonzuschlagstoff, Gleisbettungsschotter und als Splitt zur Herstellung bitumgebundener Decken. Er erfüllt die an ihn gestellten Anforderungen wie hohe Schlagfestigkeit, gedrungene Kornform des gebrochenen Gutes, raue Bruchflächen und gute Bitumhaftfestigkeit im allgemeinen in hohem Maß. Früher lag der Hauptverwendungszweck im Eisenbahnbau, wo die Diabassplitt als Gleisbettungsstoffe ihre Verwendung fanden. Die heutige Bedeutung erlangte dieser Rohstoff als Zuschlagstoff in Beton und Bitumen für Fahrbahndecken von Landstraßen bis zu Autobahnen. Aufgrund der hohen dynamischen Festigkeit dieses Gesteins wird in Zukunft wahrscheinlich das Hauptverwendungsgebiet im Gleisbettungsmaterial für geplante Hochgeschwindigkeitseisenbahnstrecken liegen (siehe auch Pläne zur "Brennerflachbahn"/Tiroler Umweltschutzkonzept). Nicht zuletzt auch deshalb, weil Diabassplitt als Zuschlagstoff für Fahrbahndecken (vorw. Autobahnen) aufgrund seines geringen Lichtreflexionsvermögens (sicherheitsgefährdend bei Nacht) stellenweise auf Ablehnung stößt (Bsp.: neue Betonfahrbahndecke der Inntalautobahn von Wörgl nach Kufstein, 1979 - hier wurde der hellere Kalksplitt als Zuschlagstoff verwendet).

Für die Untersuchungen wurde der kleine Raum der Südseite des Tales der Pillersee-Ache von Fieberbrunn bis St. Johann ausgewählt (nach Voruntersuchungen von Prof. MOSTLER). Nach der Kartierung und unter Berücksichtigung der primären Voraussetzungen zur Errichtung eines Abbaus auf Natursteine, nämlich vertretbare günstige verkehrstechnische und abbautechnische Verhältnisse, blieb nur ein Vorkommen eines Diabaslagerganges übrig, das diese ersten Voraussetzungen erfüllte, und so weiteren Untersuchungen

über Quantität und Qualität der Natursteinlagerstätte zugeführt werden konnte. Es handelt sich hier um den Diabaslagergang, der sich am Ausgang des Trattenbachtals befindet.

Geologische Situation

Der ganze Komplex liegt in einem Schichtpaket, das annähernd E-W streicht und nach Süden einfällt (Abb. 2). Es besteht aus einer Tuffabfolge, in der der Lagergang steckt, und aus sie überlagernden Tonschiefern mit Subgrauwackenlagen. Der Diabaslagergang selbst steckt, teilweise konkordant auflagernd, teilweise diskordant durchschlagend, teilweise von Störungen begrenzt, in vorwiegend grünlichen Tuffen. Diese Störungen bewirken eine Zerteilung des Vorkommens, die durch Versetzung sowohl lateral als auch vertikal entstand. Die steilstehende Auf-/Abschiebungsbahn verläuft parallel dem Trattenbachtal und bewirkte einen Versatz des Lagerganges um ca. 10 m (Abb. 3 - Skizze a). Diese Störung wird von einer nahezu senkrecht auf ihr stehenden, fast saigeren Blattverschiebungsbahn abgeschnitten. Diese wiederum versetzt zwei Teile des Magmatitkörpers in NE-SW-streichender Richtung um den Betrag von ca. 130 m (Abb. 3 - Skizze b). Ein weiterer Hinweis für die Versetzung bzw. deren Beträge sind die Position und das Auftreten der drei Varietäten des in sich leicht differenzierten Lagerganges (Abb. 3 - Skizze c).

Abbautechnische Verhältnisse

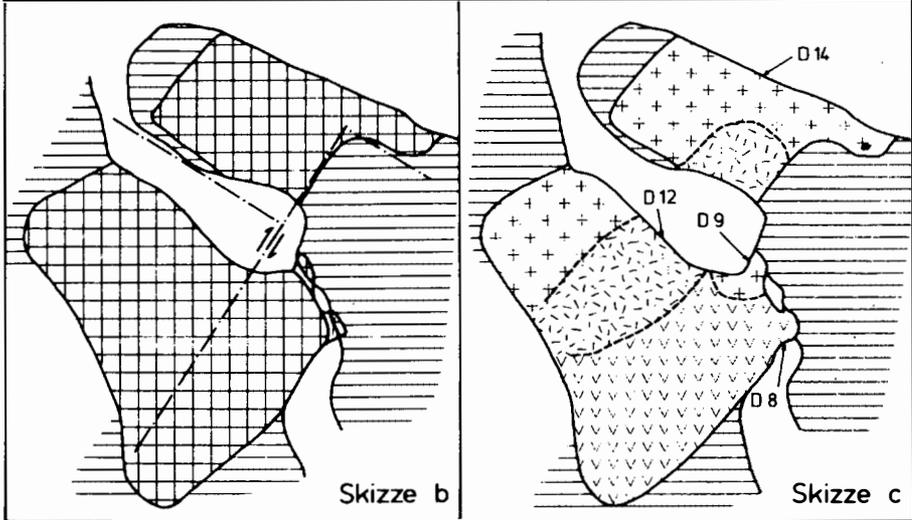
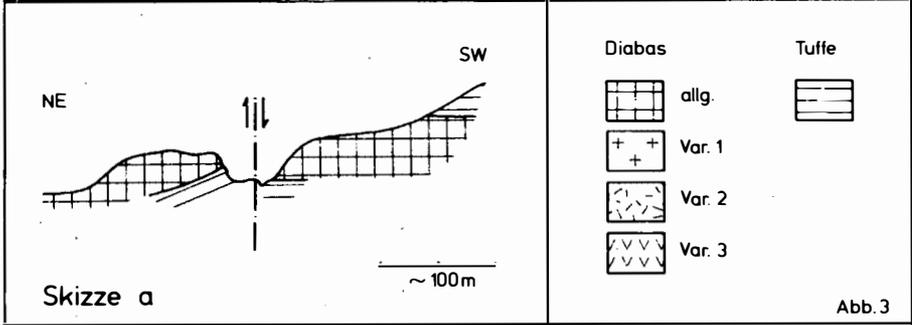
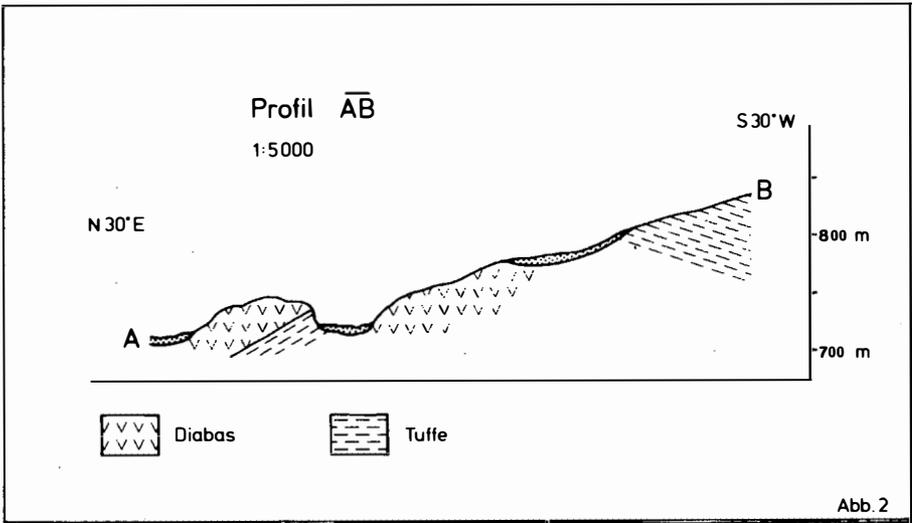
Durch die auf dem Hangenden des Diabaslagerganges in der Morphologie des Geländes deutlich hervortretende Verebnung wird der Abbau stark begünstigt. Z.B. ist eine Vergrößerung des Abbauprofils ohne ein Mehr an Abraum und ohne steilere und höhere Böschungen am Lagerstättenrand möglich (Abb. 4 - Profile 1-5). Da das Vorkommen bis zum Talboden herabstreicht, ist es auch verkehrsmäßig leicht erschließbar. Einziges Hindernis stellt der durch den Lagerstättenbereich fließende Trattenbach dar. Außerdem weist es außer der Vegetationsdecke und der auf den Nordostteil begrenzten geringmächtigen (maximal 1.5 m) Moränenbedeckung, bzw. dem Hangschuttmaterial keinerlei vor dem Diabasabbau zu entfernende Überlagerung (etwa Tuffe) auf.

Das aus den Profilen errechnete ungefähre Abbauvolumen an Diabas

$$(V = \frac{F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 \cdot F_2}}{3} \cdot \frac{L}{F_1 \cdot F_2})$$

beträgt 1.3 Mio m³, was ca. 4 Mio t Gestein entspricht.

Ebenfalls keine Probleme wirft die Frage nach der Lage der Lagerstätte zu wichtigen Verkehrsträgern, wie Bahn und Straße, auf (siehe Skizze - Abb. 5). Sie liegt direkt an der Hauptstraße von St. Johann nach Saalfelden, sowie auch an der Westbahnstrecke, und ist somit an das überregionale Verkehrsnetz angeschlossen. Da auch das Hartsteinwerk Kitzbühel in kilometermäßig geringer Entfernung liegt, ist das Problem langer, kostengünstig verlaufender Transportwege nicht evident.



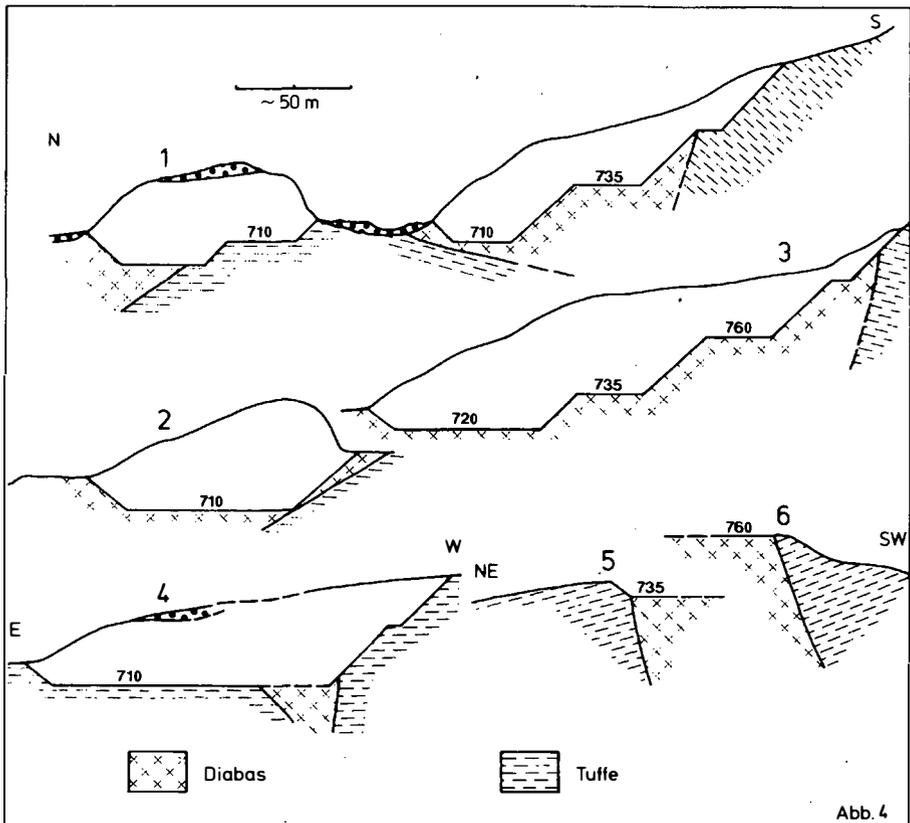


Abb. 4

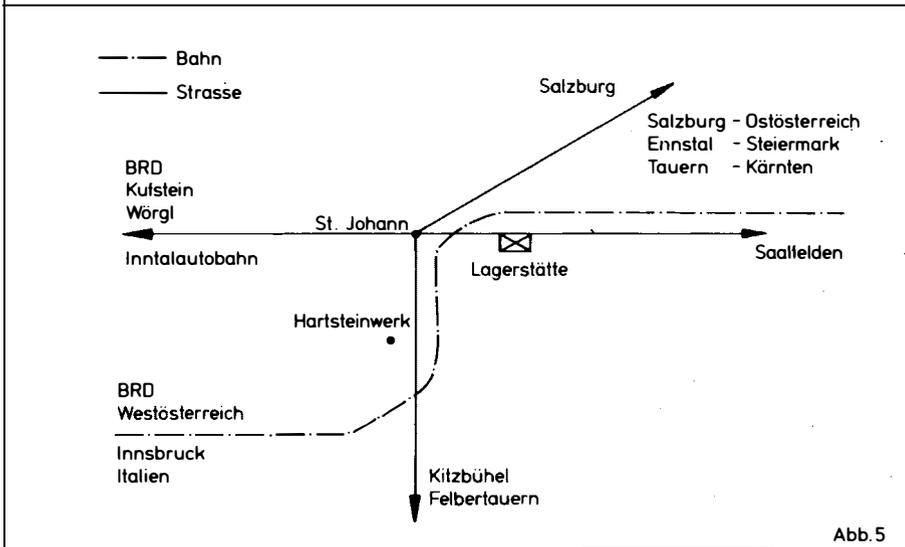


Abb. 5

Wenige Bedenken gegen die Errichtung des Tagbauabbaus dürfte es aus der Sicht des Umweltschutzes geben. Die Lagerstätte liegt am Ausgang in einem unzugänglichen Tal und ist von der Straße durch Ufervegetation und Wald verdeckt. Durch die geringe Größe des Vorkommens ist auch eine Rekultivierung des Areals leicht durchzuführen.

Qualitative Einstufung des Diabases

Die qualitative Einstufung des Diabaslagerganges erfolgte aufgrund seiner, an den Verwendungszwecken orientierten, Eigenschaften. Für die Erzeugung von hochwertigem Splitt gelten bei Diabasen folgende Eigenschaften als die ausschlaggebendsten Kriterien: (a) das Bruchverhalten
(b) das Festigkeitsverhalten

Bruchverhalten:

Der makroskopische Eindruck läßt auf einen wenig verwitterten, relativ frischen Diabas schließen. Dies konnte auch nach Betrachtung des Gesteins im Dünnschliff bestätigt werden. Die tektonische Beanspruchung erfolgte im Gegensatz zu den Tuffen vorwiegend ruptuell, wodurch es zu keiner die Bruchform schädlich beeinflussenden Verschieferung kam, und der Ergußgesteinscharakter des Gefüges gut erhalten blieb. Der Bruchkörper selbst ist ebenflächig begrenzt und Messungen an 30 Klüftkörpern verschiedener Größe ergaben ein durchschnittliches Längen-: Breitenverhältnis (L:d) von 2.18:1, was unter dem geforderten Wert von 3:1 liegt. Der ungefähre Anteil der sogenannten "Fische" (L:d > 3:1) lag, bei nur 30 Messungen, unter 20%. Die weiters durchgeführte Berechnung der Klüftigkeit des Gesteins ergab aus 50 Messungen einen durchschnittlichen Klüftabstand von 14.5 cm bzw. eine Klüftigkeitsziffer K (Klüfte/Meter) von 6.9.

Festigkeitsverhalten:

Da die Festigkeitseigenschaften eines Gesteins zum Großteil eine Funktion seiner petrographischen Beschaffenheit sind, erfolgen die Beurteilung der Festigkeit bzw. Hinweise auf deren Größe, durch die Beschreibung der kritischen Parameter (hauptsächlich Mineralbestand und Gefüge) unter dem Mikroskop (vorwiegend nach FREUND, 1955), und durch Vergleich der Ergebnisse mit Daten von Diabasen teilweise gleicher stratigraphischer Position und ähnlichen Gesteinen, von denen geotechnische Festigkeitswerte vorliegen (Tab. 1 und 2).

Zusammenfassendes Urteil

Die Diabase der Grauwackenzone werden in Tirol und Salzburg schon lange abgebaut und mit Erfolg als Zuschlagstoffe, Bettungsstoffe und Splittmaterial verwendet. Beispiele sind der Steinbruch des Hartsteinwerkes Kitzbühel, sowie der Pibergsteinbruch bzw. der Hinterburgbruch bei Saalfelden. Wie Vergleiche gezeigt haben, weichen die petrographisch-mineralogischen Eigenschaften, also die Haupteinflussfaktoren der die Verwendung bestimmenden Kriterien, des Gesteins des Diabaslagerganges im Trattenbachtal wenig oder gar nicht von denen der bereits eingesetzten Gesteine ab. Ebenso zeigt die vorwiegend nach FREUND (1955) durchgeführte Beurteilung der Festigkeitseigenschaften nach unter dem Mikroskop festzustellenden Mineral- und Gefügeeigenschaften, daß vom Mineralbestand und vom Gefüge her keine

KRITERIENBEURTEILUNG, BEMERKUNGEN**DRUCKFESTIGKEIT:**

hoher Gehalt druckfester Minerale	+ mehr als 60% Plagioklas, Cpx
wenige, leicht spaltbare Minerale	x fortgeschrittene Chloritisierung
Feinheit des Korns	+ \emptyset Korngr. 2 mm (Plag max. 3 mm)
Verfälschung durch Saussuritisation	+ durch Spilitisation vorhanden
Uralitisation, Epidotisation	
geringe Sericitisation	x unterschiedlich stark
hohe Innigkeit der Kornbindung	+ vorw. dolerit.-ophit. Gefüge
keine Gefügeanisotropie	+ vorw. dolerit.-ophit. Gefüge
keine Sprünge, Risse, feinen Klüfte	+ selten (mit Quarz, Karbonat verheilt)
keine Poren, Hohlräume	+ keine feststellbar

ZUG-BIEGEFESTIGKEIT:

Feinkörnigkeit	+ s.o.
unmittelbare Kornbindung	+ s.o.
filzig verschränkter Verband	+ s.o.
wenige, leicht spaltbare Minerale	x s.o.
keine Hohlräume, Bindungslücken	+ s.o.
keine Gefügeanisotropie	+ s.o.

SCHERFESTIGKEIT:

<u>Haftwiderstand</u> (Kornform, Kornverteilung, -orientierung)	+ ophitische Gefügeausbildung pos.
<u>Gefügewiderstand</u> (Verzahnung, Verfälschung, keine // -Gefüge)	+ s.o.
<u>Reibwiderstand</u> (Mineralbest., Kornform, -größe, Porosität)	+ s.o.

SCHLAGFESTIGKEIT:

geschlossenes, feines Gefüge	+ s.o.
keine Haarrisse, Klüfte	+ s.o.

KANTENFESTIGKEIT:

sperriges Gefüge	+ ophitisches Gefüge Idealfall
intensive Kornverzahnung	+ s.o.
anisometrische Kornform	+ Plag vorw. in Leistenform
Mittel- bis Grobkörnigkeit	x s.o.
kein monomineralischer Aufbau	+ siehe Mineralbestand
keine glasigen Substanzen	+ holokristallin

ABNUTZUNGSWIDERSTAND:

Härte, Spaltbarkeit, % d. Hauptgemengt.	+ mehr als 60% Plagioklas, Cpx
keine Gefügeanisotropie	+ s.o.
intensive Kornbindung	+ s.o.
keine Klüftung, Absonderung	+ kompakter, unverschief. Magmatit
geringer Verwitterungsgrad	+ gering

VERWITTERUNGSBESTÄNDIGKEIT:

geringer Verwitterungsgrad	+ s.o.
ger. Verwitterungsanfälligkeit d. Min.	+ günstiger Mineralbestand
Farbbeständigkeit (keine kohligen Substanzen u. Rostbildner)	+ Erzmin. vorw. Titanomag., Ilmenit, Pyrit, Kupferkies, untergeordnet
kleine Korngröße	+ s.o.
geschlossenes Gefüge	+ s.o.
keine Gefügeanisotropie	+ s.o.
keine Poren, Hohlräume	+ s.o.

Tab. 1: Festigkeitskriterien des Diabases im Trattenbachtal (nach mikroskopischer Untersuchungsmethode; FREUND, 1955)

+ = positiv, x = durchschnittlich

Diabas von Saalfelden (aus HADITSCH, 1979): -- Messungen von KIESLINGER, 1964: Druckfestigkeit (feink.): 2060 kp/cm ² (grobk.): 2240 kp/cm ²	
ZIRKL, 1968:	Druckfestigkeit: 1629-2210 kp/cm ² Biegezugfestigkeit: 244-256 kp/cm ² Schleiffestigkeit: 7.7-8.6 cm ³ /50 cm ²
Diabase (weltweit; aus PESCHEL: Natursteine):	Druckfestigkeit: 140-330 MN/m ² Biegefestigkeit: 27.5-72.5 MN/m ² Schlagfestigkeit: 8-22.5 Mnm/m ³ Schleiffestigkeit: 0.13-0.28 cm ³ /cm ²

Tab. 2: Geotechnische Werte vergleichbarer Gesteine

gravierenden negativen Einflüsse auf die Festigkeitseigenschaften des Gesteins zu erwarten sind. Es ist daher auch für diesen Lagergang eine den Anforderungen entsprechende Qualität anzunehmen, und so stünde einem Abbau von dieser Warte aus nichts entgegen.

Ein weiterer Faktor ist jedoch die zu erreichende Wirtschaftlichkeit eines Abbaus. Da aber günstige abbautechnische und verkehrstechnische Verhältnisse vorliegen, und dazu noch das das Abbauprodukt verarbeitende Werk und sicher auch Abnehmer vorhanden sind, steht einer Rentabilität eventuell nur die geringe maximal zu erreichende Abbaumenge an verwertbarem Gestein von ca. 4 Mio t im Wege.

Eine Ausweitung des Abbauvolumens ließe sich nur mit Hilfe einer integrierten Nutzung des gesamten Lagerstättengebietes erzielen. Dies würde die Miteinbeziehung des für hochwertigen Splitt nicht brauchbaren Diabasabfalls und der den Diabas umgebenden Tuffe in die zum Verkauf (= Erlös) gelangenden Abbauprodukte erfordern. Der Diabasabfall könnte als minderwertiger Zuschlagstoff oder Schotter seine Verwendung finden, während die Tuffe in größerem Maß - diese Möglichkeit besteht hier und im gesamten Tiroler Teil der Nördlichen Grauwackenzone - abgebaut werden könnten.

Die Tuffe könnten (a) fein aufgemahlen als Gesteinsmehle, eventuell zusammen mit geeigneten Tonschiefern, die Rohstoffbasis für die Herstellung von Füllstoffen oder Bestreustoffen bilden, oder/und (b) geschmolzen und versponnen als Mineralwolle, den Grundstoff zur Erzeugung von Isoliermaterialien. Eine überblicksmäßige Betrachtung der Tuffe aus petrographischer Sicht und ein Vergleich mit den für die Verwendungszwecke (a) und (b) gestellten mineralogisch-chemischen Anforderungen lassen die Möglichkeiten einer Nutzung offen.

Anforderungen:

- (a) für Gesteinsmehle, silikatische Füllstoffe:
 - Brech- und Mahlverhalten bis auf 40 µm (Versuche)
 - Kiесе, Sulfide, viel Quarz unerwünscht (Mineralb.)
- (b) für Mineralwolle:
 - Schmelzpunkt und Viskositätsverhalten (Versuche)
 - Chemismus (bestimmt u.a. Viskositätsverhalten): viel Al₂O₃ ist von Vorteil, viel Na₂O, K₂O, CaO, FeO nachteilig.

Beurteilung:

Mineralbestand: es liegen Kristalltuffe mit sehr untergeordneten Gehalten an Quarz und Karbonat vor - die Korngröße beträgt weniger als 0.3 mm -, Erzminerale (? davon Sulfide) sind äußerst feinkörnig (unter 0.01 mm) und in Schnüren angeordnet.

Chemismus: Hier dienen zur Beurteilung die Werte von 13 auf ihr Schmelz- und Viskositätsverhalten untersuchten basischen Magmatite als Vergleich (aus ZAGAR & FÖRSTER, 1977) (Tab. 3).

Bemerkungen: 1) Die Alkalien und FeO fallen nicht aus dem Rahmen.
2) Der höhere Al_2O_3 - und niedrigere CaO-Wert sind günstig.
3) Der SiO_2 -Gehalt und der Glühverlust sind höher.
4) Die Tuffe haben allgemein einen tieferen Schmelzpunkt als chemisch äquivalente Magmatite.
5) Es müßten jedoch genaue technische Untersuchungen (Mahlen, Schmelzen und Spinnen) und eine wirtschaftliche Bedarfs- und Aufwandsabklärung einer Miteinbeziehung in die Planung vorausgehen.

13 Basalte (Literatur)

Tuffe (D 13, D 16)

SiO_2	42.10 - 45.40	49.73	46.54
TiO_2	1.62 - 3.09	3.62	3.63
Al_2O_3	11.90 - 15.80	18.67	16.34
CaO	10.10 - 12.30	1.64	6.34
MgO	8.67 - 11.90	2.45	6.50
Na_2O	1.97 - 3.15	1.32	3.73
K_2O	0.75 - 1.98	2.95	0.27
FeO ^{tot}	7.21 - 14.90	14.57	11.18
MnO	0.22 - 0.32	0.08	0.14
P_2O_5	0.65 - 1.60	0.55	0.29
Glühv.	0.79 - 2.19	4.74	4.44

Tab. 3: Vergleiche chemischer Analysen

2) Das Gebiet um das Kropfrader Joch

Aufgabenstellung

Die Kartierung des rohstoffhoffigen Gebietes um das Kropfrader Joch südlich von Wörgl ist ein weiterer Beitrag zur Erfüllung der Zielsetzungen der Rohstoffprojekte "Bau- und Dekorsteine (Natursteinlagerstätten) in Tirol" und "Gesteinsmaterial für die Splitterzeugung und für die Waschmittelindustrie in Tirol". Den Schwerpunkt bildet daher die Untersuchung der hier auftretenden Magmatite auf ihre Eigenschaften im Hinblick auf eine Verwendung als mineralische Rohstoffe, wie für Natursteinbauelemente, gebrochene Natursteine, Mineralwolleerzeugung, oder zur naßmetallurgischen Verarbeitung.

Geologische Situation

Wie die Kartierung zeigte, liegt hier ein, in sich in ultrabasische und basische Produkte differenzierter, Magmatitkörper vor, der unter- bzw. überlagert bzw. richtiggehend ummantelt (tektonische Ursachen) wird von Sedimentgesteinen, die sich aus Tuffen, Tuffiten und Tonschiefern zusammensetzen. Die genauere Position und die räumliche Lage der einzelnen Gesteinsgruppen zueinander lassen sich aus der Karte und den dazugehörigen Profilen ablesen.

Der Magmatitkomplex selbst läßt sich grob in zwei Gesteinsgruppen unterteilen. Erstens in Gabbros, die den nördlichen Teil bis zu einer Höhe von etwa 1300-1400 m und das Westende dieses Tiefengesteinskörpers bilden; zweitens in die Serpentin- (ehemals Olivin) hältigen Partien, die den Hangrücken und den Südabschnitt aufbauen. Diese bestehen aus ehemaligen Duniten, jetzt reinen Serpentiniten, Peridotiten, jetzt klinopyroxenführenden Serpentiniten, und Klinopyroxeniten, untergeordnet auch aus plagioklasführenden Pyroxengesteinen, wobei Peridotite den Hauptteil ausmachen. Das volumsmäßige Ausmaß an Klinopyroxenkristallen in diesem Peridotit zeigt jedoch starke Schwankungen, so daß innerhalb dieses Abschnitts sowohl dunitische als auch rein pyroxenitische Partien auftreten. Da dieser Wechsel in der Gesteinsart und somit auch in den rohstoffkundlichen Eigenschaften auf sehr kleinem Raum stattfindet (Meterbereich) - Ursache ist fraktionierte Kristallisationsdifferentiation während der Genese -, ist der gezielte Abbau nur einer Ausbildungsvarietät nicht möglich. Diese Gruppe 2 wird daher in den nachfolgenden Untersuchungen immer als Ganzes betrachtet.

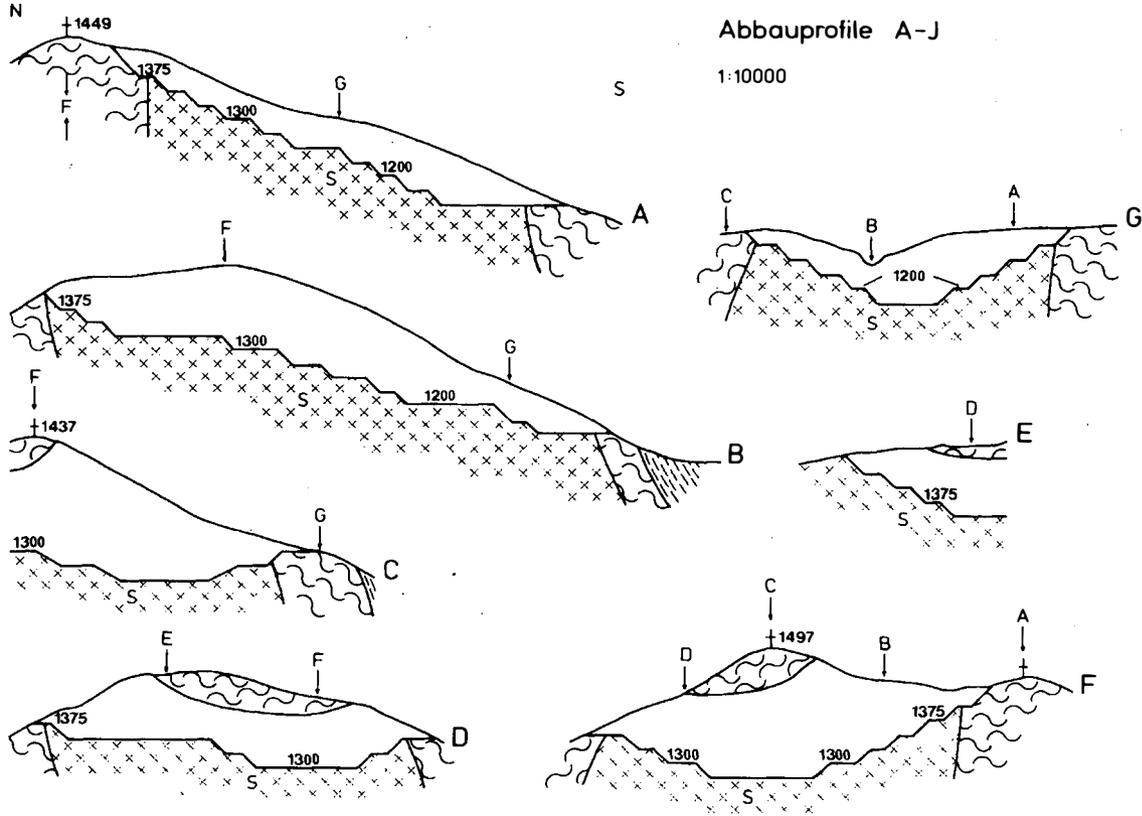
Abbautechnische Verhältnisse

Die verkehrsmäßige Erschließung der Lagerstätte ist sowohl auf der Süd- als auch auf der Nordseite durch das Anlegen nur kurzer Zufahrtswege von bereits bestehenden Straßen leicht durchzuführen. Auch die für den wirtschaftlichen Ab- und Weitertransport des abgebauten Lagerstättengutes wichtige Nähe von Hauptverkehrssträgern ist gegeben. Der nördliche Teil ist nur ca. 7 km von Wörgl, einem zentralen Verkehrsknotenpunkt sowohl für die Straße (Inntalautobahn, Bundesstraße 1) als auch für die Eisenbahn (Westbahnstrecke, Verbindung nach Deutschland), entfernt. Die Transportwege vom südlichen Abbaubereich weg betragen bis nach Hopfgarten (Bahnhof) ca. 6 km, nach Wörgl (s.o.) ca. 10 km und nach Kitzbühel ungefähr 20 km.

Die durch den geologischen Bau und die Topographie des Geländes bestimmte Form und Größe einer Tagbauanlage sollen mit Hilfe von Profilen, in denen ein System von Endabbauetagen eingezeichnet ist, gezeigt werden (Profile A-G, Abb. 6; Grundriß Abb. 7; Profile H-J, Abb. 8). Das durch diese Konzeption erreichbare Volumen an verwertbarem Gestein konnte für den Bereich der Profile A-G mit ca. 35 Mio m³ Serpentinestein und zusätzlich aber ca. 1.2 Mio m³ Tuffen als Abraum berechnet werden.

$$\left(V = \frac{F_1 + F_2 + V \cdot F_1 \cdot F_2}{3} \cdot \frac{L}{F_1 \cdot F_2} \right)$$

Im Bereich der Profile H-J kann, unter der Annahme von (wie auch vorher) 25 m Etagenhöhe, einem Böschungswinkel von 45° und Bermbreiten von



Grundriss zum
Etagensystem
der Profile A-G

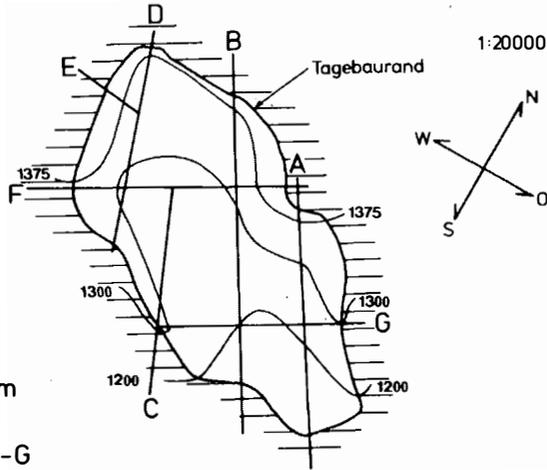


Abb. 7

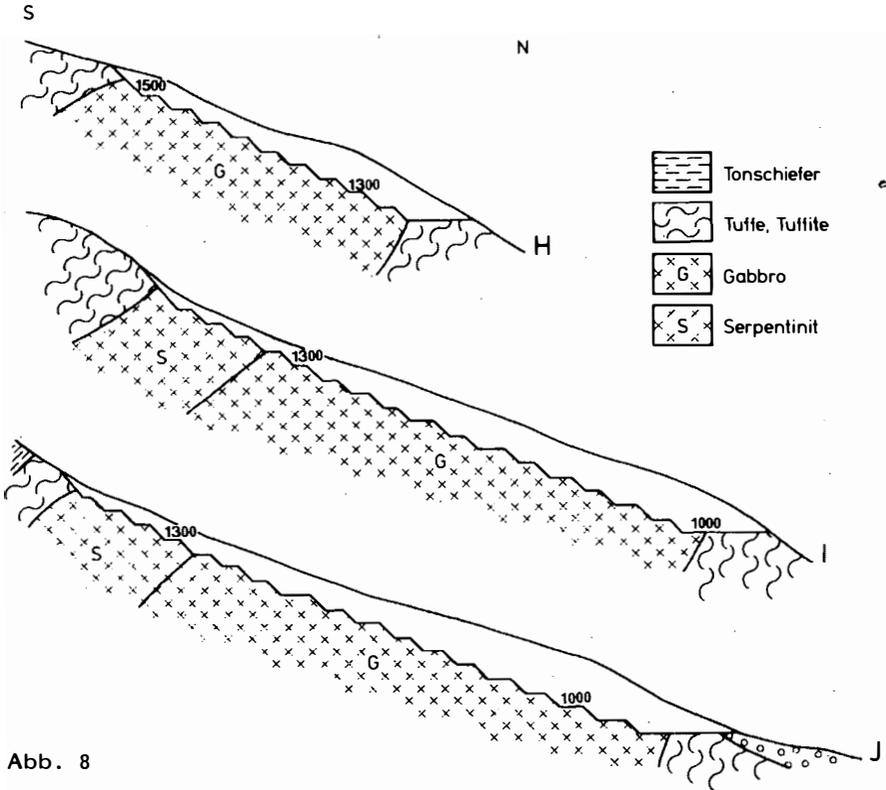


Abb. 8

mindestens 25 m - womit auch keine Standfestigkeits- oder sonstige technische Probleme, soweit ich es beurteilen kann, auftreten sollten -, mit einem im Endzustand abgebauten Volumen von ca. 14.9 Mio m³ Gestein (13.5 Mio m³ Gabbro und 1.4 m³ Serpentinestein) gerechnet werden.

Ebenfalls unter dem Thema "abbautechnische bzw. wirtschaftliche Situation" muß man den Aspekt des Umweltschutzes betrachten. Geforderte naturschützerische und auch fremdenverkehrspolitische Maßnahmen können eine Errichtung des Tagbaus verhindern, zumindest aber stellen erteilte Auflagen an Abbautechnik und Lagerstättengestaltung während des Abbaus, und die notwendigen Rekultivierungsmaßnahmen der Landschaft nach Beendigung des Lagerstättenbetriebes, eine beträchtliche planerische und finanzielle Mehrbelastung (Erhaltung der Rentabilität zu beachten) dar. Gerade im Gebiet um das Kropfrader Joch sind in dieser Hinsicht Schwierigkeiten vorzusehen, da diese Region ein beliebtes Wintersport- und Sommer-touristikzentrum Tirols ist.

Qualitative Einstufung der Magmatite

A: Der serpentinhaltige Komplex

Im Zuge einer komplexen Nutzung von Serpentiniten können folgende, heute gebräuchliche Möglichkeiten der Verwendung und deren verschiedene Anforderungen an das Gestein in Betracht gezogen werden. Die Verwendung:

- (1) Als Dekorsteine: für kunstgewerbliche Gegenstände, für Natursteinbauelemente in Innen- und Außenarchitektur (besonders in Kombination mit andersfarbigen Natursteinen), oder auch für Grabsteine, Denkmäler und Bildhauersteine. Die wichtigsten Qualitätskriterien sind das Bearbeitungsverhalten (Polierbarkeit, Bebaubarkeit, Drehbankbearbeitung, ästhetischer Wert) und eine gewisse ausreichende Festigkeit, Rohblockgröße, Qualitätskonstanz und Verwitterungsbeständigkeit.
- (2) Als gebrochene Natursteine: als Zuschlagstoff für Kunststeine, Terrazzo, Agglomeratmarmor, oder als Dammbaustoffe und Verfüllmaterial wegen minderer Qualität. Besondere Anforderungen an das Gestein werden hier nur im Bereich des Bruchverhaltens und der Beständigkeit im Kunststein gestellt.
- (3) Als naßmetallurgisch genutzter Rohstoff, wobei hier der Chemismus und somit der Wert der Lagerstätte das bedeutendste Kriterium darstellen.

Die Beurteilung der für die Nutzungsmöglichkeiten wichtigen Gesteinseigenschaften erfolgte nur aufgrund des Eindrucks des Gesteins im Gelände und der unter dem Mikroskop zu erkennenden mineralogischen und gefügekundlichen Ausbildung.

ad (1)

Über die Rohblockgröße kann ich nur wenige Angaben machen. Eine gewisse rupturale Beanspruchung, die zu geringen Abmessungen führt, kann im Anstehenden festgestellt werden. Inwieweit hier auch die, für Magmatite typisch, an der Oberfläche auftretenden Abkühlungseffekte verantwortlich

waren, ist fraglich, denn die tektonische Geschichte dieses Komplexes trug sicher zu der vorliegenden Zerlegung mit bei. Abgesehen von eventuell auftretenden latenten Klüftflächen engeren Abstandes, könnte im Kern des Komplexes aber dennoch mit für die Natursteinindustrie akzeptablen Rohblockgrößen (Meterbereich) gerechnet werden.

Eine Qualitätskonstanz ist im großen gegeben, doch treten aufgrund des Charakters des Gesteinsverbandes als fraktioniert auskristallisierter Magmatit die einzelnen Differentiate (Serpentinite bis Pyroxenite) in enger "Wechselagerung" auf, und eine abbautechnische Trennung ist nicht möglich. Somit müssen auch unterschiedliche Festigkeitseigenschaften in Kauf genommen werden. Der größte Unterschied besteht dabei zwischen dem Pyroxenit und den übrigen serpentinführenden Gesteinen. Nach FREUND (1955) zu urteilen, führt die mineralogische und gefügemäßige Ausbildung - monomineralischer Aufbau, Spaltbarkeit der Minerale, hohe Korngröße (bis maximal 2 cm) - der Pyroxenite zu einer geringeren Festigkeit.

Die Verwitterungsbeständigkeit (besonders Rostanfälligkeit) kann als gut erachtet werden. Der Blick auf den Mineralbestand zeigt bei den Erzmineralen vorwiegend Chromit und Magnetit, während (die möglicherweise schädlichen) Pyrit und Magnetkies sehr untergeordnet auftreten, und auch im verwitterten Handstück keine Rostspuren zu bemerken sind. Im Dünnschliff konnte kein Talk festgestellt werden, der poliertes Gestein schnell unansehnlich werden ließe.

Zur Erkundung des Verhaltens bei der Bearbeitung wurden einige Proben von einem Steinmetz poliert. Das Ergebnis waren trotz guten Bearbeitungsverhaltens, sowohl bei den Serpentiniten als auch bei den Gabbros, Polituren von nur mittelmäßiger Qualität und Ästhetik.

ad (2)

Für diesen Verwendungszweck werden nur geringe Anforderungen an das Gestein gestellt. Minderwertige größere Blöcke sind für Dammbauten und als Verfüllmaterial vorgesehen, während kleingebrochenes Gut für die Herstellung von Kunststeinen in Frage kommt. Ob das Gestein dann den weiteren verschiedenen Anforderungen gerecht wird, kann nur in Versuchen festgestellt werden (z.B. Zementhaftfestigkeit, unterschiedliches Polierverhalten der verschiedenen Zuschlagstoffe und des Bindemittels, farbliche Wirkung...). Ein günstiges Verwitterungsverhalten (siehe ad (1)) und mehr oder weniger kubische glattflächige Bruchformen sind aufgrund des makroskopischen Ein-drucks gesichert.

ad (3)

Einige Konzentrationen an wichtigen verwertbaren Oxiden und Elementen sind in Tab. 4 angeführt.

Gew.-% ppm	Serpentinite		Cpxf.	Serp.	Klinopyroxenite		Cpx-G.
	W 4	W 7	W 5	W 9	W 10	W 42	W 44/6
SiO ₂	38.08	43.39	48.15	43.15	52.20	52.62	48.22
MgO	35.01	39.52	29.06	31.91	18.67	16.52	15.56
Al ₂ O ₃	0.72	0.69	1.75	2.56	2.74	4.65	14.42
Fe ₀ tot	12.34	3.43	2.66	5.98	1.43	1.72	2.19
CaO	0.42	0.11	10.34	5.80	20.72	20.38	12.03
Cu	133	323	122	n.g.	343	n.g.	165
Ni	1612	1881	670	n.g.	834	n.g.	443
Cr	2749	2660	1070	n.g.	1780	n.g.	525
Ti	623	144	2203	1676	3784	5940	2108

Tab. 4 (n.g. = nicht gemessen)

Die aufgrund ihrer Weichheit nicht für den Straßenbau üblichen Serpentinegesteine sind zu trennen von dem

B: Gabbrokomplex

Die Gabbros bieten wegen ihrer anderen (vorwiegend Festigkeits-) Eigenschaften ein gegenüber den Serpentiniten geändertes Verwendungsfeld. Dieses liegt bei der Nutzung:

- (1) Als gebrochene Natursteine (Bettungsstoffe, Zuschlagstoffe aller Art, Dammbaustoffe und Verfüllmaterial). Besondere Anforderungen werden dabei an das Bruch- und an das Festigkeitsverhalten des Gesteins und an das Testverhalten des gebrochenen Gutes gestellt.
- (2) Als Natursteinbauelemente (Mauersteine, Werksteine, Dekorsteine, Pflaster- und Wegsteine). Hier liegen die Qualitätskriterien im Bruchverhalten, in der Rohblockgröße, Festigkeit, Verwitterungsbeständigkeit, im Bearbeitungsverhalten und in der ästhetischen Wirkung des Gesteins.
- (3) Als metallurgisch genutzter Rohstoff, je nach chemischer Zusammensetzung.
- (4) Als Rohstoff zur Mineralwolleherzeugung (Wärme-, Kälte-, Schallschutzprodukte). Hier geben Tests über das Schmelz- und Sinterverhalten, das wiederum vom Mineralbestand und Chemismus beeinflusst wird, Auskunft.

ad (1)

Die für die hauptsächlich bei Splittmaterial geforderte Bruchform von $L:d < 3$ habe ich nicht weiter untersucht, jedoch sind ein glattflächiger Bruch und ein gut erhaltener Tiefengesteinscharakter ohne Anzeichen einer Verschieferung sowohl im Gelände als auch im Dünnschliff festzustellen. Somit sollten hier kaum negative Ergebnisse zu erwarten sein.

Ebenso sollte es sich mit den Festigkeitseigenschaften der Gabbros verhalten. Die nach FREUND (1955, Mikroskopie in der Technik IV/1) durchgeführte Beurteilung der verschiedenen Festigkeiten aufgrund der mineralogischen und gefügekundlichen Ausbildung zeigt, daß die für diesen Typ von Magmatit charakteristischen absoluten Werte erreichbar sind (Tab. 5). Weitere, das gewonnene Körnerkollektiv betreffende Eigenschaften, wie Schüttdichte, Bindemittelhaftfestigkeit usw. müssen erst in Versuchen ermittelt werden.

ad (2)

Für die Kriterien Bruchverhalten und Festigkeitseigenschaften gelten die unter ad (1) gemachten Aussagen. Bei Rohblockgröße und Qualitätskonstanz können aufgrund des homogenen Aufbaus und des größeren Widerstands gegenüber tektonischer Zerlegung - die Ursache liegt, vor allem im Vergleich zu den Serpentinegesteinen, im mehr Festigkeit bietenden Mineralgefüge der Gabbros - höhere Qualitäten erwartet werden. Feinkörnigkeit, geringer Sulfidmineralgehalt, sowie ein gegenüber Zersetzung relativ resistenter Mineralbestand geben dem Gestein auch eine gute Verwitterungsbeständigkeit. Sein spezifisches Verhalten bei speziell für bestimmte Natursteinbauelemente besonderer maschineller oder manueller Bearbeitung, ebenso das genaue Aussehen des Fertigproduktes können nur aus Versuchen erkannt werden.

KRITERIENBEURTEILUNG, BEMERKUNGEN**DRUCKFESTIGKEIT:**

hoher Gehalt druckfester Minerale	+ Hauptgemengteile nur Plag, Cpx
wenige, leicht spaltbare Minerale	x fortgeschrittene Chloritisierung
Feinheit des Korns	+ Korngröße < 2 mm
Verfilzung durch Saussuritisierung	+ verstärkt durch Metamorphose
Uralitisierung, Epidotisierung	
geringe Sericitisierung	x unterschiedlich ausgeprägt
hohe Innigkeit der Kornbindung	+ verstärkt durch Metamorphose
keine Gefügeanisotropie	+ granitisches Tiefengesteinsgefüge
keine Sprünge, Risse, feinen Klüfte	+ wenige (mit Qz, Cc verheilt)
keine Poren, Hohlräume	+ liegen nicht vor

ZUG-BIEGEFESTIGKEIT:

Feinkörnigkeit	+ s.o.
unmittelbare Kornbindung	+ s.o.
filzig verschränkter Verband	+ s.o.
wenige, leicht spaltbare Minerale	x s.o.
keine Hohlräume, Bindungslücken	+ s.o.
keine Gefügeanisotropie	+ s.o.

SCHERFESTIGKEIT:

<u>Haftwiderstand</u> (Kornform, Kornverteilung, -orientierung)	+ kristallines, homogenes, isotropes G.
<u>Gefügewiderstand</u> (Verzahnung, Verfilzung, kein //-Gefüge)	+ s.o.
<u>Reibungswiderstand</u> (Mineralbest., Kornform, -größe, Porosität)	+ s.o.

SCHLAGFESTIGKEIT:

geschlossenes, feines Gefüge	+ s.o.
keine Haarrisse, Klüfte	+ s.o.

KANTENFESTIGKEIT:

sperriges Gefüge	+ granitisches Gefüge günstig
intensive Kornverzahnung	+ s.o.
anisometrische Kornformen	+ Plagioklas vorw. in Balkenform
Mittel- bis Grobkörnigkeit	+ s.o.
kein monomineralischer Aufbau	+ siehe Mineralbestand
keine glasigen Substanzen	+ holokristallin

ABNUTZUNGSWIDERSTAND:

Härte, Spaltbarkeit, % d. Hauptgemengt.	+ Hauptgemengteile nur Plag, Cpx
keine Gefügeanisotropie	+ s.o.
intensive Kornbindung	+ s.o.
keine Klüftung, Absonderung	+ unverschieferter Magmatit
geringer Verwitterungsgrad	+ gegeben

VERWITTERUNGSBESTÄNDIGKEIT:

geringer Verwitterungsgrad	+ gegeben
ger. Verwitterungsanfälligkeit d. M.	+ s.o.
Farbbeständigkeit (keine kohligen Substanzen u. Rostbildner)	+ sehr geringer Gehalt an Sulfiden
kleine Korngröße	+ s.o.
geschlossenes Gefüge	+ s.o.
keine Gefügeanisotropie	+ s.o.
keine Poren, Hohlräume	+ s.o.

Tab. 5: Festigkeitskriterien des Gabbrokomplexes am Kropfrader Joch
(nach mikroskopischer Untersuchungsmethode; FREUND, 1955)
+ = positiv, x = durchschnittlich

ad (3)

Die Betrachtung der chemischen Analysen (Tab. 6) läßt auf keine Wirtschaftlichkeit bei naßmetallurgischer Nutzung schließen. Ursache ist wohl die Tatsache, daß der Gabbrokomplex die höhere Position im differenzierten Magmatitkörper bildet.

Gabbroproben	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO _{tot}	
W 2	50.98	15.40	6.14	8.68	Gew.-%
W 45	53.51	15.92	7.13	3.71	Gew.-%
W 25	52.82	16.57	7.75	4.17	Gew.-%
	Cu	Ti	Ni	Zr	ppm
W 1	46	n.g.	54	270	ppm
W 2	7	11352	83	n.g.	ppm
W 21	103	n.g.	133	n.g.	ppm
W 22	64	n.g.	193	n.g.	ppm
W 45	n.g.	16142	n.g.	n.g.	ppm
W 25	31	11736	60	165	ppm

Tab. 6

n.g. = nicht gemessen

ad (4)

Zur Beurteilung des das Schmelz- und Sinterverhalten beeinflussenden Mineralbestands und der chemischen Zusammensetzung der Gabbroproben diente mir der Vergleich mit 13 auf ihre Schmelz- und Viskositätseigenschaften hin untersuchten basischen Magmatiten (aus ZAGAR & FÖRSTER, 1977; siehe Tab. 7).

Bemerkungen dazu:

- Eher günstig wirken sich höherer Al₂O₃- Gehalt und niedrigerer CaO- und FeO-Gehalt aus.
- Die Alkalienkonzentrationen bleiben im Rahmen.
- Mehr SiO₂ und Glühverlust (H₂O) wirken schmelzpunkterniedrigend.
- Der sehr geringe Gehalt an Sulfiden und Karbonat im Mineralbestand ist auch nicht ungünstig.

	Magmat. (Lit.)	W 2	W 45	W 29	
SiO ₂	42.10 - 45.40	50.98	53.51	52.82	Gew.-%
Al ₂ O ₃	11.90 - 15.80	15.40	15.92	16.57	Gew.-%
TiO ₂	1.62 - 3.09	1.98	2.69	1.96	Gew.-%
CaO	10.10 - 12.30	9.26	8.40	7.27	Gew.-%
FeO _{tot}	7.21 - 14.90	8.68	3.71	4.17	Gew.-%
MgO	8.67 - 11.90	6.14	7.13	7.75	Gew.-%
Na ₂ O	1.97 - 3.15	3.12	4.88	4.56	Gew.-%
K ₂ O	0.75 - 1.98	1.22	0.31	0.70	Gew.-%
MnO	0.22 - 0.32	0.20	0.17	0.16	Gew.-%
P ₂ O ₅	0.65 - 1.60	0.30	0.11	0.13	Gew.-%
Glühv.	0.79 - 2.19	2.52	2.35	3.08	Gew.-%

Tab. 7: Chemische Analyse

Zusammenfassende Beurteilung

Eine Verwendung innerhalb eines integrierten Nutzungsprogrammes als Naturstein - von Dekorsteinen, Werksteinen aller Art, über gebrochenen Naturstein als Zuschlagstoff für Kunststeine bis zu Dammbaustoffen und Verfüllmaterial - kann für den serpentinitführenden Abschnitt, aufgrund der allgemein bekannten und auch hier auftretenden Gesteinseigenschaften, mit dem Unsicherheitsfaktor einer eventuell zu geringen Rohblockgröße für größere Natursteinplatten, in Betracht gezogen werden. Zu beachten ist noch die Änderung der Gesteinseigenschaften mit dem wechselnden Gehalt an Klinopyroxenen (klinopyroxenfreie Serpentinite bis reine Pyroxenite treten auf). Um eine optimale Nutzung zu gewährleisten, soll über die tatsächliche Verwendung, Natursteinbauelement oder gebrochener Naturstein, erst an Ort und Stelle beim Abbau entschieden werden. Voraussetzung ist natürlich, daß alle Arten der Verwendung eingeplant sind. Eine weitere Möglichkeit besteht in der hydrometallurgischen Verarbeitung. Hier entscheiden vor allem der Wert der Lagerstätte und die zu erreichende jährliche Fördermenge im Vergleich mit dem finanziellen Aufwand einer Gewinnung, wobei jedoch alle Faktoren ständigen Schwankungen unterworfen sind. Aufschluß über die Rentabilität kann die Erstellung eines Wirtschaftlichkeitsmodells, wie in Z. dt. Geol. Ges. 124/1973 (WEISSNER & WELLMER) für das Serpentinīt/Gabbro-Massiv Harzburg (BRD), geben.

Für den Gabbroabschnitt des Kropfrader-Joch-Magmatitkomplexes ist eine Verwendung als Mineralwollrohstoff nach mineralogischen und chemischen Gesichtspunkten wohl möglich, doch entscheiden erst technische Tests und der zu erwartende Erlös über diese Verwendungsart oder eine Nutzung als gebrochener Naturstein bzw. Natursteinbauelement. Im Zuge einer vollkommenen Ausnutzung des vorhandenen Lagerstättenpotentials sind alle Varianten einer Natursteinnutzung (Zuschlagstoffe aller Art, Bettungsstoffe, Mauerstoffe, Dekorsteine, Werksteine, Pflastersteine) in eine Tagbauplanung miteinzubeziehen. Sowohl im makroskopischen (Bruch, Blockgröße) als auch im mikroskopischen (Festigkeit, Verwitterung) Bereich konnten die kritischen Eigenschaften durchwegs als positiv im Hinblick auf diese Verwendungszwecke beurteilt werden.

Der geologische Bau und die Topographie des Kropfrader Jochs setzen in beiden Fällen - Serpentinīt- und Gabbroabschnitt - der Errichtung eines Tagbaus keine Widerstände entgegen, während dies von Seiten des Umweltschutzes nicht zu erwarten ist.

3) Der rückwärtige Abschnitt des Hörndlinger Grabens

Aufgabenstellung

Einen weiteren Beitrag zur Bestandsaufnahme der basischen Magmatite der Nördlichen Grauwackenzone in Tirol aus rohstoffkundlicher Sicht stellt die Kartierung des rückwärtigen Abschnitts des Hörndlinger Grabens südwestlich von Hochfilzen dar. Damit verbunden soll ein qualitätsmäßiger Vergleich zwischen den hier auftretenden Diabaslagergängen und den Laven, mit teilweise auftretenden Pillowstrukturen, gegeben werden, und nebenbei auch noch auf möglicherweise auftretende Vererzungen - es existierte in diesem Gebiet ehemals der Kupferbergbau Suglach-Alm - geachtet werden.

Geologischer Bau

Die Lagergänge und Lavadecken treten im Südhang des Tales auf. Sie sind ein Teil einer leicht verfalteten (die b-Achsen verlaufen NS bis NW-SE) und verschieften Tuffe/Tuffite/Siltschiefer/Tonschiefer-Abfolge, deren Schichtstreichen annähernd hangparallel (EW bis NE-SW) verläuft. Das Einfallen der Schichten in den bis zu 35° steilen Hang hinein beträgt durchschnittlich ungefähr 45°. Die Mächtigkeit und laterale Ausdehnung der einzelnen Magmatitkörper sind, soweit eruierbar, verschieden. Während die Diabaslagergänge im allgemeinen mächtiger als die Lavadecken sind, ist ihr Aushalten im Streichen jedoch meist geringer. In Zahlen ausgedrückt bedeutet dies für die Lagergänge eine Ausdehnung von weniger als 100 m (stockförmig) bis zu 400 m, für die Lavadecken hingegen eine ungefähre Mächtigkeit von nur 15-25 m und eine laterale Erstreckung von durchschnittlich 400 m.

Der Pillowlavenkomplex, der sich in der nördlichen Talflanke befindet, gehört einer Abfolge von sehr steilstehenden (75-90°) und nach Süden einfallenden Siltschiefern/Pillowlaven/Tuffen/und wiederum Siltschiefern (von S nach N) an. Die charakteristische Hangmorphologie wird durch die stark unterschiedliche Kompetenz der Magmatite und der Sedimente dieser Abfolge geprägt. Die Mächtigkeit nur des Pillowlavenkomplexes beträgt weniger als 500 m, seine stratigraphisch laterale Erstreckung geht weit über das Kartierungsgebiet nach Nordwesten und Südosten hinaus.

Wirtschaftliche Verhältnisse

Ein Abbau der Lagergänge und Lavadecken ist technisch praktisch nicht zu bewältigen. Zur Steilheit des Hanges und dem Einfallen der Lagerstätte in den Hang hinein kommt noch das relativ geringe volumsmäßige Ausmaß der einzelnen Vorkommen von verwertbarem Material, welches auch eine wirtschaftliche Rentabilität kaum zu verwirklichen ermöglicht.

Trotz der Steilheit des Hanges ist aufgrund der weiteren Morphologie und der Lage des Pillowlavenkomplexes hier jedoch ein Abbau technisch vorstellbar. Ein in die Profile hineinprojiziertes Endabbauetagensystem mit 45° Neigung und 25 m Höhe der Etagenböschung und einer Bermenbreite von 20-40 m soll dies veranschaulichen (Abb. 9). Dieses Modell ergab weiters eine berechnete

$$(V = \frac{F_1 + F_2 + V \cdot F_1 \cdot F_2}{3} \cdot \frac{L}{F_1 \cdot F_2})$$

abbaubare Menge an Gestein von maximal 17 Mio m³, wobei an Abraum nur eine sehr geringe Vegetationsdecke und ein kleiner Abschnitt der Tuffe zu bewältigen wären.

Eine verkehrsmäßige Erschließung einer hier geplanten Lagerstätte dürfte keine Probleme aufwerfen. Durch den Magnesitbergbau Ofenberg ist die Straße in den Hörndlinger Graben bis ca. 1 km vor dem Pillowlavenkomplex für Schwerfahrzeuge ausgebaut. Die nächsten Bahnstationen sind Hochfilzen und Fieberbrunn, beide etwa 15 km vom Abbaort entfernt. Hier verläuft auch die Hauptstraße nach St. Johann in Tirol und Saalfelden, welche Verkehrskreuzen, sowohl der E-W- als auch der N-S-Verkehrsadern darstellen. Eine weitere Möglichkeit des Transports des abgebauten Lagerstättenguts bestünde in der Benützung der Seilbahn des Magnesitbergbaus,

1:5000

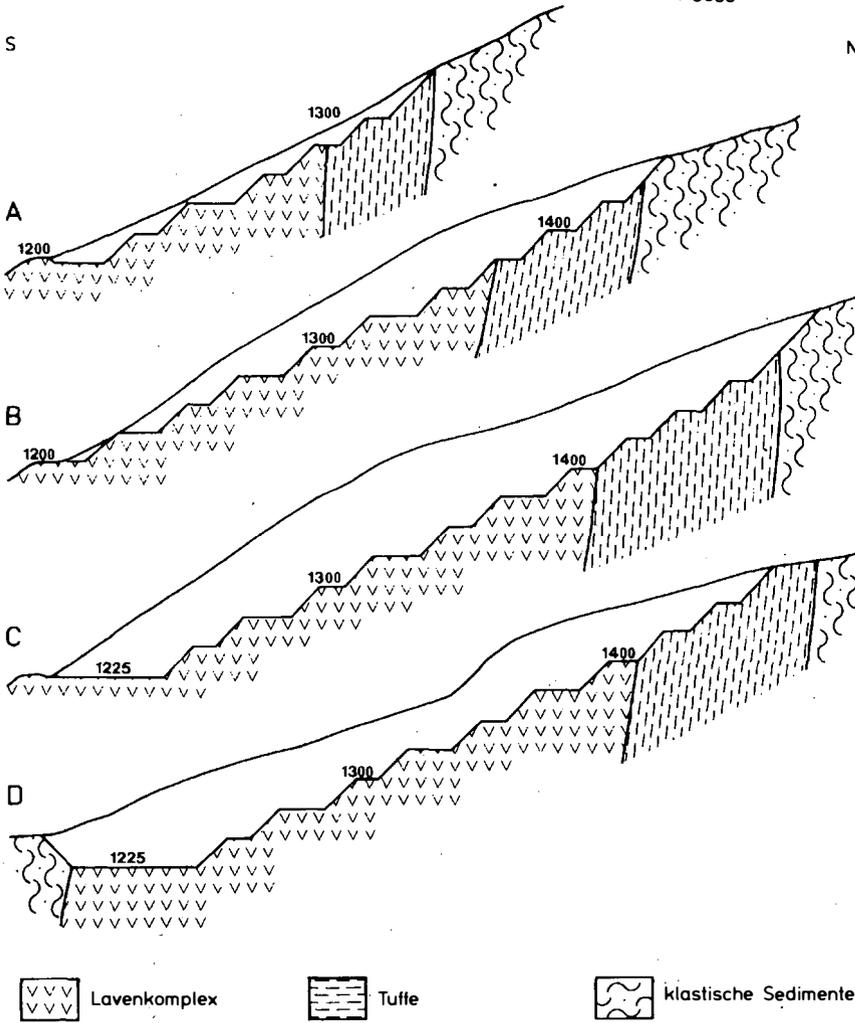


Abb. 9

eventuell nach einer Verlängerung um ca. 2 km, bis nach Hochfilzen.

Durch den bereits bestehenden Magnesitbergbau Ofenberg in unmittelbarer Nachbarschaft sind auch mögliche Argumente gegen eine Errichtung eines Tagbaus, wie Zerstörung einer noch weitgehend unberührten Landschaft, nicht sehr zielführend.

Qualitative Einstufung der Magmatite

(Lagergänge und Lavadecken, mit Pillowlaven vergleichend)

Die qualitative Einstufung der Magmatite erfolgte wiederum aufgrund ihrer, an dem jeweiligen Verwendungszweck orientierten, Eigenschaften. Grundsätzlich sind für diese basischen Magmatite vor allem folgende Verwendungsarten in Betracht zu ziehen, bzw. die diese Verwendungszwecke bestimmenden Eigenschaften des Materials zu untersuchen:

- (1) Gebrochene Natursteine (Bettungsstoffe, Zuschlagstoffe aller Art, Damm-
baustoffe und Verfüllmaterial):
Anforderungen an: Bruchverhalten
Festigkeitseigenschaften
Testverhalten des gebrochenen Gutes
- (2) Natursteinbauelemente (Mauersteine, Werksteine, Dekorsteine, Pflaster-
und Wegesteine):
Anforderungen an: Bruchverhalten, Rohblockgröße
Festigkeit, Verwitterungsbeständigkeit
Bearbeitungsverhalten, Ästhetik
- (3) Metallurgische Nutzung (vorwiegend naßmetallurgische Verarbeitung):
Anforderungen an: Erzmineralbestand
Chemismus
- (4) Mineralwolleerzeugung (Wärme-, Kälte-, Schallschutzmaterialien):
Anforderungen an: Schmelz- und Sinterverhalten in Tests
Mineralbestand, Chemismus

(ad 1)

Die Bewertung des Bruchverhaltens erfolgte subjektiv aufgrund des Ein-
drucks der verschiedenen Gesteinsarten im Gelände. Die Diabaslagergänge
sind großteils sehr zäh und zeigen splittrige, mehr oder weniger kubische
Bruchkörper mit ebenen Bruchflächen. Die Lavadecken sind hingegen weni-
ger zäh, meist stärker verschiefert und haben auch vorwiegend gelängte
Bruchkörper. Im Pillowlavenkomplex sind nur die dunklen, feinkörnigen
Varietäten zäh, brechen aber unregelmäßig mit muscheligen Bruchflächen.
Grobkörnigere, diabasartige Abarten brechen splittrig, doch erlauben eine
leichte Verschieferung und die teilweise starke Durchäderung aus Epidot,
Calcit und Quarz selten kubische Bruchkörper. Den Hauptteil dieses Gesteins-
komplexes bilden jedoch hellgrüne, von Epidotadern durchzogene Laven, die
relativ leicht auseinanderbrechen und schon im Zustand leichter Verwitterung
von Hohlräumen durchzogen sind (vorwiegend durch das Weglösen von
Chlorit, Calcit; vielleicht wären sie auch schon primär vorhanden).

Nach dem im Gelände feststellbaren Eindruck des Festigkeitsverhaltens
der einzelnen Gesteinsarten wären die Diabaslagergänge (die Lavadecken
weniger) großteils als gebrochene Natursteine zur Verwendung geeignet,
während die Hauptmasse der Pillowlaven schon aufgrund der Bruch- und
Verwitterungseigenschaften den gestellten Anforderungen nicht genügen
dürfte. Die unter dem Mikroskop im Dünnschliff feststellbaren, die Festig-
keit wesentlich beeinflussenden, petrographisch-mineralogischen Merkmale
der untersuchten Gesteine bestätigen dies (siehe Tab. 8 und 9).

KRITERIENBEURTEILUNG, BEMERKUNGEN**DRUCKFESTIGKEIT :**

hoher Gehalt druckfester Minerale	+ Hauptgemengteile Plag, Cpx, Hb
wenige, leicht spaltbare Minerale	+ Chlorit eng verwachsen
Feinheit des Korns	+ Korngröße ϕ 1-2 mm, max. 3 mm
Verfilzung durch Saussuritisierung	+ durch Metamorphose verstärkt
Uralitisierung, Epidotisierung	
geringe Sericitisierung	x kann größere Ausmaße annehmen
hohe Innigkeit der Kornbindung	+ durch Metamorphose verstärkt
keine Gefügeanisotropie	+ nur Lavadecken leicht verschiefert
keine Sprünge, Risse, feinen Klüfte	x versch. stark, mit Cc, Qz verheilt
keine Poren, Hohlräume	+ keine

ZUG-BIEGEFESTIGKEIT :

Feinkörnigkeit	+ s.o.
unmittelbare Kornbindung	+ s.o.
filzig verschränkter Verband	+ s.o.
wenige, leicht spaltbare Minerale	+ s.o.
keine Hohlräume, Bindungslücken	+ s.o.
keine Gefügeanisotropie	+ s.o.

SCHERFESTIGKEIT :

<u>Haftwiderstand</u> (Kornform, Kornverteilung, -orientierung)	+ günstige Gefügebildung
<u>Gefügewiderstand</u> (Verzahnung, Verfilzung, kein //-Gefüge)	+ günstige Gefügebildung
<u>Reibungswiderstand</u> (Mineralbest., Kornform, -größe, Porosität)	+ günstige Gefügebildung

SCHLAGFESTIGKEIT :

geschlossenes, feines Gefüge	+ nur Lavadecken: porphyr. Gefüge
keine Haarrisse, Klüfte	x s.o.

KANTENFESTIGKEIT :

sperriges Gefüge	+ s.o.
intensive Kornverzahnung	+ s.o.
anisometrische Kornform	+ Plagioklase in Leistenform
Mittel- bis Grobkörnigkeit	x s.o.
kein monomineralischer Aufbau	+ siehe Mineralbestand
keine glasigen Substanzen	+ holokristallin

ABNUTZUNGSWIDERSTAND :

Härte, Spaltbarkeit, % d. Hauptgemengt.	+ s.o.
keine Gefügeanisotropie	+ s.o.
intensive Kornbindung	+ s.o.
keine Klüftung, Absonderung	+ s.o.
geringer Verwitterungsgrad	+ gering

VERWITTERUNGSBESTÄNDIGKEIT :

geringer Verwitterungsgrad	+ s.o.
ger. Verwitterungsanfälligkeit d. M.	x Chlorit eng verwachsen, Cc tw. häufig
Farbbeständigkeit (keine kohligen Substanzen u. Rostbildner)	+ Sulfidgehalt in Lavadecken am größten
kleine Korngröße	+ s.o.
geschlossenes Gefüge	+ s.o.
keine Gefügeanisotropie	+ s.o.
keine Poren, Hohlräume	+ s.o.

Tab. 8: Festigkeitskriterien der Lagergänge im Hörndlinger Graben (nach mikroskopischer Untersuchungsmethode; FREUND, 1955)

+ = pos., x = durchschnittlich

KRITERIENBEURTEILUNG, BEMERKUNGEN**DRUCKFESTIGKEIT:**

hoher Gehalt druckfester Minerale	+ Matrix aus Plag, Hb; Plag-, Cpx-Einspr.
wenige, leicht spaltbare Minerale	x fortgeschrittene Chloritisierung
Feinheit des Korns	+ Einspr. unter 2 mm, feinfilzige Matrix
Verfilzung durch Saussuritisierung	+ durch Metamorphose verstärkt
Uralitisierung, Epidotisierung	
geringe Sericitisierung	x relativ stark
hohe Innigkeit der Kornbindung	+ stark verfilzte Matrix
keine Gefügeanisotropie	x tw. deutliche Verschieferung
keine Sprünge, Risse, feinen Klüfte	- stark von Ep-, Cc-, Qz-Adern durchzogen
keine Poren, Hohlräume	x durch Chloritherauswitterung

ZUG-BIEGEFESTIGKEIT:

Feinkörnigkeit	+ s.o.
unmittelbare Kornbindung	x offenes, porphyrisches Gefüge
filzig verschränkter Verband	+ s.o.
wenige, leicht spaltbare Minerale	x s.o.
keine Hohlräume und Bindungslücken	x s.o.
keine Gefügeanisotropie	x s.o.

SCHERFESTIGKEIT:

<u>Haftwiderstand</u> (Kornform, Kornverteilung, -orientierung)	+ s.o.
<u>Gefügewiderstand</u> (Verzahnung, Verfilzung, kein //-Gefüge)	x porphyr. Gefüge, tw. stark verschiefert
<u>Reibungswiderstand</u> (Mineralbest., Kornform, -größe, Porosität)	x höhere Porosität in verwittertem Zustand

SCHLAGFESTIGKEIT:

geschlossenes, feines Gefüge	x feines, aber offenes Gefüge
keine Haarrisse, Klüfte	- s.o.

KANTENFESTIGKEIT:

sperriges Gefüge	x nur in der Matrix, sonst porphyr.
intensive Kornverzahnung	x nur in der Matrix, sonst porphyr.
anisometrische Kornform	x Eisenprengl. meist idiom., isometr.
Mittel- bis Grobkörnigkeit	x feinkristalline Matrix
kein monomineralischer Aufbau	+ siehe Mineralbestand
keine glasigen Substanzen	+ holokristallin

ABNUTZUNGSWIDERSTAND:

Härte, Spaltbarkeit, % d. Hauptgemengt.	+ s.o.
keine Gefügeanisotropie	x s.o.
intensive Kornbildung	x s.o.
keine Klüftung, Absonderung	+ keine
geringer Verwitterungsgrad	+ noch gegeben

VERWITTERUNGSBESTÄNDIGKEIT:

geringer Verwitterungsgrad	+ s.o.
ger. Verwitterungsanfälligkeit d. M.	- vorw. Chlorit u. Calcit = Hohlräume
Farbbeständigkeit (keine kohligen Substanzen u. Rostbildner)	x Sulfide an Klüften, Rissen konzentriert
kleine Korngröße	+ s.o.
geschlossenes Gefüge	- offenes, porphyrisches Gefüge
keine Gefügeanisotropie	x s.o.
keine Poren, Hohlräume	x treten in verwittertem Zustand auf

Tab. 9: Festigkeitskriterien der Pillowlaven im Hörndlinger Graben
(nach mikroskopischer Untersuchungsmethode; FREUND, 1955)
+ = positiv, - = negativ, x = durchschnittlich

ad (2)

Während bei den Diabaslagergängen und Lavadecken das Erreichen einer angemessenen Rohblockgröße nicht möglich erscheint (rupturell-tektonische Beanspruchung), sollte im Pillowlavenkomplex die Gewinnung von für die Verwendung als Natursteinbauelemente geeignetem Gesteinsmaterial zumindest in einigen Bereichen möglich sein. Eine größere Qualitätskonstanz ist jedoch durch das stark wechselnde Auftreten der einzelnen Varietäten im gesamten Lagerstättenbereich nicht zu erwarten. Eine Nutzung dieser Art ist daher nur im Zuge einer, weitere Verwendungszwecke integrierenden, Abbauplanung vorstellbar. Das heißt, auch die Verwertbarkeit der nicht für die Erzeugung von Natursteinbauelementen geeigneten größeren Mengen an "Abfall" muß gesichert sein (z.B. als minderwertiger gebrochener Naturstein oder als Rohstoff für eine Mineralwolleverarbeitung).

Für Festigkeits- und Verwitterungseigenschaften gelten die schon unter ad (1) und in den Tabellen 8 und 9 getroffenen Aussagen. Von einer weiterreichenden Konstanz in diesen Eigenschaften möchte ich auch hier nicht sprechen.

Durch ihre Feinkörnigkeit dürften ein Zersägen und das Polieren der gewonnenen Blöcke mit zufriedenstellenden Ergebnissen möglich, Vorversuche jedoch unbedingt notwendig sein.

ad (3)

Hauptverantwortlich für eine Entscheidung über die Wirtschaftlichkeit einer naßmetallurgischen Nutzung einer Natursteinlagerstätte sind neben dem finanziellen Einsatz für Mensch und Maschinen der Gehalt des Gesteins an verwertbaren Oxiden, Sulfiden und Elementen, somit der im Verkauf zu erzielende Preis bzw. der Wert der Lagerstätte (Möglichkeit der Erstellung eines Wirtschaftlichkeitsmodells: siehe WEISSER & WELLMER, 1973). Wie die chemische Analyse zeigt (Tab. 10), sind die Werte jedoch derart, daß vorerst keine Aussicht auf Wirtschaftlichkeit für diese Art der Nutzung der Lagerstätte besteht.

MgO	5.26	9.78	2.55	7.25	Gew.-%
Al ₂ O ₃	15.39	13.71	15.89	15.38	Gew.-%
TiO ₂	2.43	1.34	2.86	1.89	Gew.-%
MnO	0.12	0.16	0.10	0.12	Gew.-%

Tab. 10: Werte der Proben H 21, H 22, H 24, H 28

ad (4)

Die entscheidenden Kriterien für diese Art der Verarbeitung sind das Schmelz- und Viskositätsverhalten des Gesteins. Nur spezielle Versuche können hier über Eignung oder Nichteignung entscheiden. Aussage über die grundsätzliche Möglichkeit einer Nutzung in diesem Sinn kann aber schon die Betrachtung des diese Eigenschaften bestimmenden Chemismus geben, nachdem basische Magmatite aufgrund ihres höheren Schmelzpunktes (Feuerfestigkeit der Produkte) primär bevorzugt werden. Mir diente zur Beurteilung der Vergleich von 13 auf ihr Schmelz- und Viskositätsverhalten untersuchten basischen Magmatiten (aus ZAGAR & FÖRSTER, 1977) mit meinen Proben (Tab. 11).

- Bemerkungen: - Alkalien sind etwas erhöht (größere Variabilität durch den Pillowcharakter und die Metamorphose verursacht),
 - CaO-Konzentration niedriger (einiges CaO in Epidotadern gebunden),
 - erhöhter Si₂-Gehalt und Glühverlust.

	13 Basalte (Literatur)	Proben H 21, H 22, H 24, H 28
SiO ₂	42.10 - 45.40	45.92 - 47.73 Gew.-%
TiO ₂	1.62 - 3.09	1.34 - 2.86 Gew.-%
Al ₂ O ₃	11.90 - 15.80	13.71 - 15.89 Gew.-%
CaO	10.10 - 12.30	5.27 - 15.08 Gew.-%
Na ₂ O	1.97 - 3.15	2.97 - 5.36 Gew.-%
K ₂ O	0.75 - 1.98	0.43 - 2.04 Gew.-%
FeO _{tot}	7.21 - 14.90	7.23 - 12.86 Gew.-%
MnO	0.22 - 0.32	0.10 - 0.16 Gew.-%
P ₂ O ₅	0.65 - 1.60	0.13 - 0.53 Gew.-%
Glühv.	0.79 - 2.19	2.05 - 7.61 Gew.-%

Tab. 11: Vergleich der chemischen Analysen

Zusammenfassende Beurteilung

Die Diabaslagergänge und Lavadecken sind, trotz möglicher technischer Eignung, aufgrund ihrer Geringmächtigkeit, vor allem aber wegen ihrer für einen Abbau ungünstigen Position im Gelände, in diesem Abschnitt der Nördlichen Grauwackenzone Tirols nicht wirtschaftlich gewinnbar.

Für den Pillowlavenkomplex sind die abbautechnischen Voraussetzungen zur Errichtung einer Tagbaulagerstätte gegeben. Die möglichen Arten der Nutzung sind jedoch, nach der Untersuchung der erforderlichen charakteristischen Eigenschaften, stark eingeschränkt. Einer naßmetallurgischen Verwertung stehen die geringen Gehalte an brauchbaren Erzmineralen bzw. an in Frage kommenden Oxiden entgegen, aber auch diese Eigenschaften des Mineralgefüges, die als maßgebliche Kriterien für eine Eignung als gebrochene Natursteine aller Art gelten, sind in einem Teil des Gesteinskörpers für diesen Verwendungszweck nicht im positiven Sinn ausgebildet. Also kommen nur solche Einsatzbereiche in Frage, die in dieser Richtung geringere Anforderungen stellen. Das wäre vor allem die Gewinnung von größeren Blöcken zur Uferverbauung, zu sonstigen Dammbauten und zur Verwendung als Zuschlagstoff zur Herstellung von Agglomeratmarmor-, Terrazzo- oder Waschbetonbausteinen. Vom Einsatz als Natursteinbauelemente sollte schon wegen zu geringer Höffigkeit auf geeignete Rohblöcke Abstand genommen werden. Bleibt noch die Möglichkeit, das Gestein als Ausgangsprodukt für die Mineralwolleerzeugung zu nutzen. Vom Chemismus und vom Mineralbestand aus gesehen bestünden hierfür keine gravierenden Einwände. Allerdings wären ausreichende Tests notwendig, um Aussagen über die endgültige Eignung oder Nichteignung zu erlangen.

Literatur

- BUNDESMINISTERIUM FÜR HANDEL, GEWERBE UND INDUSTRIE (1979):
Grundlagen der Rohstoffversorgung. - Heft 2, Wien.
- FREUND, H. (1955): Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. IV/1:
Mikroskopie der Gesteine. - Frankfurt.
- GOCHT, W. (1969): Die Aufgaben der modernen Wirtschaftsgeologie. -
Z. Erzmetall, Bd. 22, H. 6, 297-301.
- GOTTE, W. (1977): Aufgaben der Geowissenschaften zur Erhöhung des Auf-
kommens an festen mineralischen Rohstoffen. - Z. Angew. Geol., Bd. 23,
H. 2, 75-78.
- HADITSCH, J.G. (1979): Der Diabas von Saalfelden, seine Eigenschaften und
technische Nutzbarkeit. - Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, Bd. 9, 3,
133-184, Innsbruck.
- KIESLINGER, A. (1964): Die nutzbaren Gesteine Salzburgs. - Salzburg/
Stuttgart.
- MANHENKE, V. (1969): Zur Spezifik und ökonomischen Bewertung geologischer
Gebietsressourcen, Leipzig 1969. - Z. Angew. Geol., Bd. 15 (1969),
H. 12, S. 649.
- PESCHEL, A. (1977): Natursteine. - VEB Deutscher Verlag für Grundstoff-
industrie, Leipzig.
- QUERVAIN, F. de (1967): Technische Gesteinskunde - Mineralogisch-geotech-
nische Reihe, Bd. 1.
- TIROLER LANDESREGIERUNG (1979): Tiroler Umweltschutzkonzept - Grund-
lagen, Ziele, Maßnahmen. - Innsbruck.
- WAGENBRETH, O. (1977): Die Rohstoffbasis unserer Werksteinindustrie aus
der Sicht allgemeiner historischer Entwicklungslinien der Rohstoffnutzung.
- Z. Angew. Geol., Bd. 33, H. 2, 75-78.
- WEISSER, J.D. & F.-W. WELLMER (1973): Zur Wirtschaftlichkeit einer Pro-
spektion und Exploration. - Z. dt. Geol. Ges., 124, 79-91.
- ZAGAR, L. & H. FÖRSTER (1977): Viskosität und elektrische Leitfähigkeit
von Schmelzen und Basalten. - Zeit. Sprechsaal 7.