



## Anwendung geophysikalischer Prospektionsmethoden auf kalkalpine Gipsvorkommen (Admont, Liezen) in der Steiermark

Von BERNHARD B. HOLUB & REINHARD F. SACHSENHOFER\*)

Mit 7 Abbildungen und 1 Tabelle

*Österreich  
Steiermark  
Nördliche Kalkalpen  
Gips  
Prospektion  
Geophysik  
Petrophysik*

*Österreichische Karte 1 : 50.000  
Blätter 98, 99*

### Inhalt

Zusammenfassung .....	29
Abstract .....	30
1. Einleitung .....	30
2. Geologischer Überblick .....	30
2.1. Meßgebiet Admont .....	32
2.2. Meßgebiet Liezen .....	32
3. Petrophysikalische Untersuchungen .....	33
3.1. Methodik .....	33
3.2. Ergebnisse .....	33
3.2.1. Dichte .....	33
3.2.2. Longitudinalwellengeschwindigkeit .....	33
3.2.3. Magnetische Suszeptibilität .....	33
3.2.4. Spezifischer Elektrischer Widerstand .....	33
3.2.5. IP-Effekt .....	34
3.2.6. Natürliche Gammastrahlung .....	34
4. Geophysikalische Geländemessungen .....	35
4.1. Methodik .....	35
4.2. Meßgebiet Admont .....	35
4.2.1. Elektromagnetik .....	37
4.2.2. Szintillometrie .....	37
4.3. Meßgebiet Liezen .....	37
4.3.1. Elektromagnetik .....	37
4.3.2. Szintillometrie .....	39
5. Schlußbemerkungen .....	39
Dank .....	39
Literatur .....	40

### Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Anwendungsmöglichkeiten geophysikalischer Methoden in der Prospektion auf kalkalpine Gipsvorkommen. Als Testgebiete dafür dienen ein unverritztes Gipsvorkommen SE Admont und ein Bereich nahe dem Gipsbergbau NNE Liezen.

Die Gipsvorkommen sind Teil einer aus tonigem Haselgebirge, Dolomit und Rauhwaacke aufgebauten Salinarabfolge. Als Nebengesteine treten Werfener Schichten (Feinsandsteine, Mergel, Kalke, Quarzite) und Gosaukonglomerate auf.

Zur Eingrenzung der in Betracht kommenden geophysikalischen Geländemethoden wurden die petrophysikalischen Eigenschaften der genannten Gesteine untersucht. Folgende Parameter wurden hierfür im Labor bestimmt: Dichte, Longitudinalwellengeschwindigkeit, magnetische Suszeptibilität, spezifischer elektrischer Widerstand, IP-Effekt und natürliche Gammastrahlung. Von diesen weisen Dichte, spezifischer elektrischer Widerstand

\*) Anschrift der Verfasser: Dr. BERNHARD B. HOLUB, HPC HARRESS PICKEL CONSULT, Derfflingerstraße 14, A-4020 Linz; Dr. REINHARD F. SACHSENHOFER, Institut f. Geowissenschaften, Montanuniversität, A-8700 Leoben, z.Zt. Institut f. Erdöl u. Organ. Geochemie, Forschungszentrum Jülich, D-5170 Jülich.

und IP-Effekt die stärksten Kontraste zwischen Gips und dessen Nebengesteinen auf. Die Intensität der natürlichen Gammastrahlung der unverwitterten Laborproben ist sehr gering; im Gelände sind jedoch aufgrund von Verwitterungseinflüssen stärkere Kontraste zu erwarten. Die Suszeptibilität zeigt für alle Gesteine extrem niedrige Werte, während die Longitudinalwellengeschwindigkeit auch innerhalb einzelner Gesteinsgruppen stark streut.

An Geländemethoden wurden daher die elektrische Widerstandskartierung und die Szintillometrie eingesetzt. Die Widerstandskartierung erfolgte des rascheren Meßfortschritts wegen mit einer elektromagnetischen Apparatur. Die aufgrund der gemessenen Dichtekontraste erfolgversprechende Gravimetrie wurde ebenso wie die Methode der Induzierten Polarisation – der hohen Kosten wegen – im Gelände nicht angewandt.

Die Ergebnisse der Widerstandskartierung erlauben eine deutliche Abgrenzung der Gipshorizonte von den Gosaukonglomeraten und Kalkmergeln. Die Abtrennung der Werfener Feinsandsteine hingegen bereitet dort Schwierigkeiten, wo tonig verunreinigter Gips auftritt. Dies stellt insbesondere im Meßgebiet Liezen ein Problem dar, wo die Salinarbereiche eine stärkere Haselgebirgsführung aufweisen. Der wechselnde Haselgebirgsanteil innerhalb der einzelnen Gipszüge spiegelt sich dort in stark schwankenden Meßkurven wieder.

Die Messung der natürlichen Gammastrahlung kann infolge generell niedriger Strahlungsintensitäten nur als Ergänzung zur Widerstandskartierung angesehen werden. Haselgebirgsbereiche mit hohem Tonanteil lassen sich dennoch vom Gips unterscheiden. Im Meßgebiet Admont ist auch die Grenze zwischen Gosaukonglomeraten und Werfener Schichten nachweisbar.

Abschließend sei bemerkt, daß mit Hilfe der eingesetzten geophysikalischen Methoden die Abgrenzung von Gipshorizonten durchaus möglich ist. Die Qualität der Interpretation der Meßergebnisse hängt aber wesentlich von der geologischen Vorinformation ab.

## **Application of Geophysical Prospecting Methods on Gypsum Deposits in the Calcareous Alps (Admont, Liezen) of Styria**

### **Abstract**

The aim of this paper is to investigate the possibilities of the application of geophysical methods in prospecting gypsum deposits within the Calcareous Alps. Study localities are a small gypsum deposit SE Admont and an area adjacent to the gypsum mine NNE Liezen.

The gypsum deposits are part of an evaporitic sequence consisting of shaly Haselgebirge, dolomite and rauhwacke. The country rocks are Werfen beds (fine grained sandstones, marls, limestones, quartzites) and Gosau conglomerates.

The petrophysical parameters of these rocks were studied in order to find the proper geophysical field methods. The parameters determined in the laboratory are rock density, compressional wave velocity, magnetic susceptibility, specific electrical resistivity, IP-effect and natural radiation. Among these parameters density, resistivity and IP-effect show the most significant contrasts between gypsum and the country rocks. The values of the unweathered samples are generally low but influences due to weathering may cause better contrasts. Susceptibility shows extremely low values for all rocks while the seismic velocities scatter in a wide range within the rock groups.

Consequently, the mapping of resistivity and the scintillometry were chosen as field methods. Resistivity mapping was performed with an electromagnetic apparatus by reason of measuring speed. Despite high density contrasts the gravimetry as well as the IP methods were not applied in the field, because of high costs.

Resistivity mapping allows to distinguish gypsum from Gosau conglomerates and marls. However, the distinction between Werfen beds and gypsum with high clay content is difficult. This is a problem especially in the Liezen area where the evaporitic sequence is characterized by a high Haselgebirge content. There, the measured curves fluctuate strongly, reflecting changing amounts of Haselgebirge within the gypsum horizons.

Due to generally low intensities, natural radiation measurements can only be used in addition to resistivity mapping. However, it was possible to distinguish Haselgebirge with high clay content from gypsum. As an addition to that, in the Admont area the border between Gosau conglomerates and Werfen beds were detected.

Finally it should be mentioned that gypsum horizons may be identified using the applied geophysical methods. But the interpretation quality of the results strongly depends on geological background information.

## **1. Einleitung**

Die stetig steigende Nachfrage nach qualitativ hochwertigen Industriemineralen erfordert verfeinerte Methoden zur Aufsuchung dieser Rohstoffe. Als Beitrag dazu wurden im Rahmen eines Projektes der Vereinigung für Angewandte Lagerstättenforschung in Leoben (VALL) die Einsatzmöglichkeiten geophysikalischer Meßmethoden bei der Prospektion auf Gipslagerstätten unter den besonderen Voraussetzungen der alpinen geologischen Verhältnisse untersucht (SCHMÖLLER et al., 1991). Als Testgebiete innerhalb der Nördlichen Kalkalpen fungierten der Raum SE Admont nahe des z.Zt. stillgelegten Gipsbruches Kematen (Abb. 1) und die östliche Fortsetzung der von der Fa. Knauf abgebauten Gipslagerstätte Hintersteineralm NNE Liezen (Abb. 3).

Voraussetzung für eine zielgerichtete Planung geophysikalischer Geländemessungen ist die Kenntnis der petrophysikalischen Parameter von Gips und dessen Nebengesteinen. Diese zeigen an, welche Meßmethoden die stärksten Kontraste zwischen den einzelnen im Prospektionsgebiet auftretenden Gesteinsgruppen erwarten lassen und daher für den Geländeeinsatz am besten geeignet sind.

Dem Testcharakter der Untersuchungen entsprechend, wurden zuerst die geologischen und morphologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet detailliert aufgenommen, um die Aussagekraft der geophysikalischen Meßergebnisse anhand der bereits bekannten Geologie überprüfen zu können. Demnach gliedert sich die durchgeführte Untersuchung in folgende, zeitlich aufeinanderfolgende Arbeitsschritte:

- geologische Kartierung und Probenahme
- petrophysikalische Laboruntersuchung
- Auswahl geeigneter geophysikalischer Meßverfahren
- geophysikalische Geländemessung
- Vergleich der geologischen und geophysikalischen Ergebnisse.

## **2. Geologischer Überblick**

Wirtschaftlich bedeutende Gipsvorkommen treten in den Ostalpen im Oberperm und der Trias der Nördlichen Kalkalpen sowie im unterostalpinen Keuper des Semmeringgebietes auf (BAUER, 1967, ERKAN, 1977, HADITSCH, 1979, PETRASCHECK et al., 1977). Vorliegende Untersu-

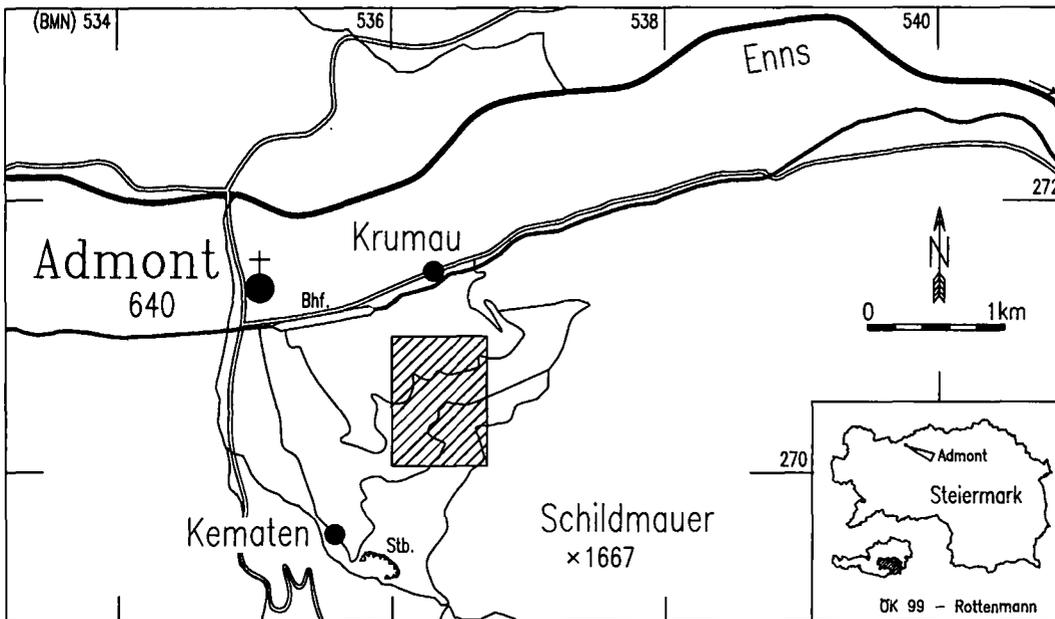


Abb. 1.  
Lage des Meßgebietes SE von Admont (schraffierter Bereich).

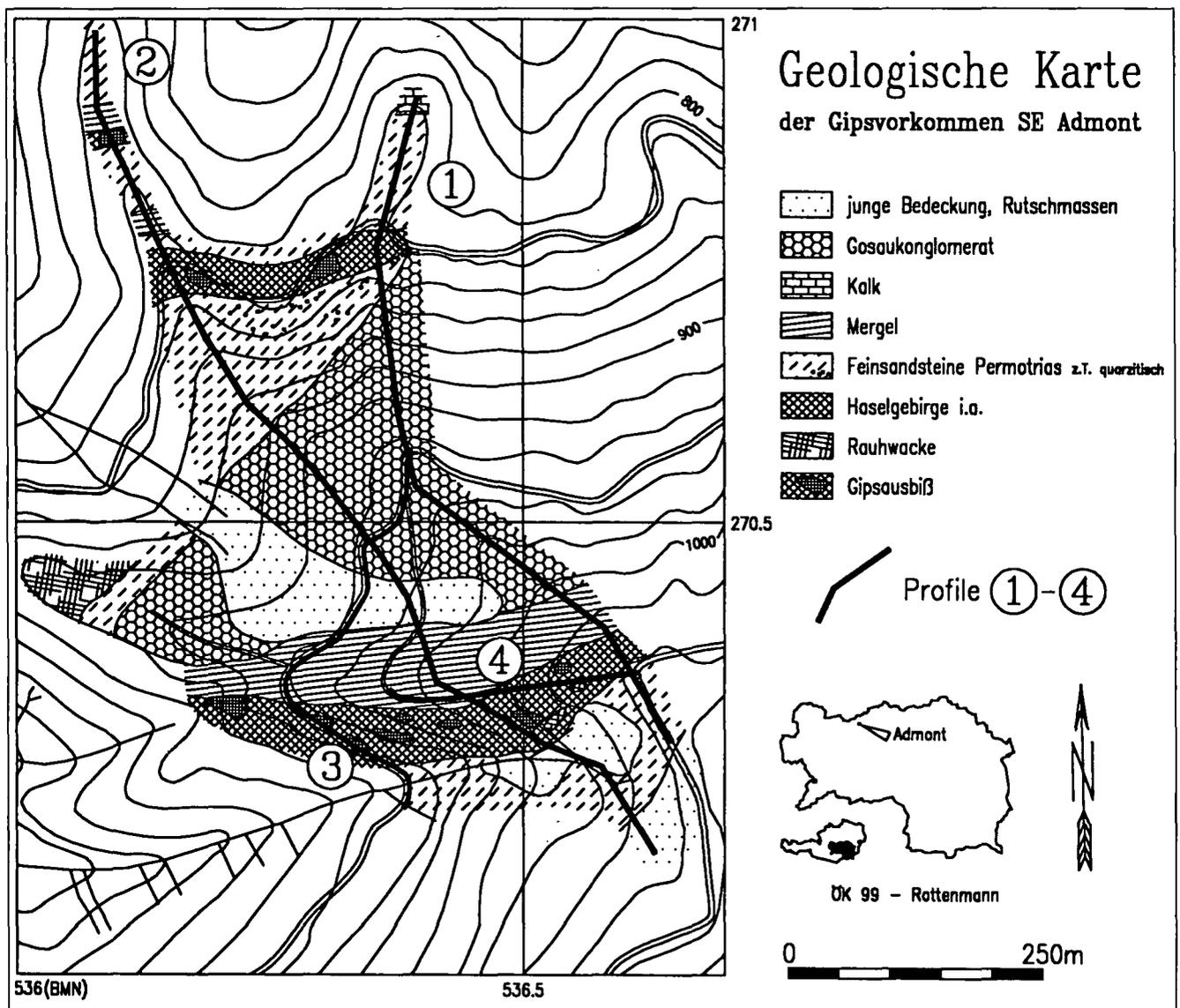


Abb. 2.  
Geologische Karte der Gipsvorkommen SE Admont, aufgenommen von B.B. HOLUB und R.F. SACHSENHOFER 1991.  
Mit Lage der geophysikalischen Meßprofile.

chung beschränkt sich auf kalkalpine Vorkommen, da die qualitativ hochwertigen unterostalpinen Gipse weitgehend abgebaut sind (HOLZER, 1980).

Die Gipsvorkommen der Nördlichen Kalkalpen treten in Vorarlberg und Tirol im Karn (JERZ, 1966) und im Ostabschnitt der Kalkalpen perlschnurartig aneinandergereiht an Deckengrenzen auf (TOLLMANN, 1985; BERNHARD & REICHL, 1986), wo sie meist eng mit den Werfener Schichten verbunden sind. Das Alter der gipsführenden Schichten im Untersuchungsgebiet, welche während der alpidischen Orogenese einen bevorzugten Bewegungshorizont bildeten, ist umstritten. Während BÜCHNER (1973) Gips und Haselgebirge S Admont als höheren Teil der skythischen Werfener Schichten interpretiert, stellt TOLLMANN (1985) dieses Vorkommen und jenes der Hintersteineralm ins Perm. Auch OTTER (1990) nimmt für letzteres Vorkommen oberpermisches Alter an.

## 2.1. Meßgebiet Admont

Mehrere bis 100 m mächtige Gipslinsen treten S und SE von Admont am Fuß der Schildmauer zutage, von denen die Lagerstätte bei Kematen (HADITSCH, 1965) in einem z.Zt. stillgelegten Steinbruch der Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke aufgeschlossen ist. Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Gipsvorkommen befinden sich N davon, ca. 1.5 km SE Admont zwischen 800 m und 1040 m über NN und sind durch mehrere Forststraßen des Stiftes

Admont gut erschlossen (Abb. 1). Das Untersuchungsgebiet ist Teil der tirolischen Admonter Schuppenzone am Südrand der Nördlichen Kalkalpen. Geologische Übersichtskarten dieses Gebietes finden sich in AMPFERER (1935), BÜCHNER (1973) und SHADID (1973), eine detaillierte Darstellung gibt HERRMANN (1989a). Im Zuge der Geländetätigkeit erwiesen sich jedoch die vorhandenen Unterlagen für die Aufgabenstellung als ungeeignet, weshalb das Untersuchungsgebiet im Maßstab 1 : 5.000 geologisch neu kartiert wurde (Abb. 2).

Es lassen sich zwei steil stehende, max. 50 m mächtige und W-E-streichende Haselgebirgshorizonte ausscheiden. Im steilen Gelände bilden die zahlreichen Gipsausbisse meist kleine Felswände, in flacheren Bereichen findet man häufig seichte Dolinen bis 5 m Durchmesser. Mit dem Gips treten vielfach dunkle und stark zerbrochene Dolomite und vereinzelt Einlagerungen von Rauhwacken auf. Der Gips ist meist im cm- bis dm-Bereich weiß-grau gebändert und umfließt die lokalen Dolomiteinlagerungen. Das grünliche Haselgebirge enthält bis zu faustgroße Bruchstücke der Nebengesteine und ist aufgrund seines hohen Tonanteiles stark rutschgefährdet.

Als Nachbargesteine dieser Salinarabfolge treten vorwiegend rote bis grünliche Feinsandsteine und untergeordnet Tonmergel der Werfener Schichten auf, die auch Quarzite führen können. Der südliche Gipszug wird im Hangenden von einem ca. 50 m mächtigen Kalkmergelhorizont begleitet; kleinere Kalkmergeleinlagerungen treten auch innerhalb der Werfener Schichten auf (Abb. 2, N-Abchnitt von Profil 2). Reine Werfener Kalke findet man nur am Nordende von Profil 1 (vgl. BÜCHNER 1973). Die ganze Abfolge wird diskordant von Gosaukonglomeraten überlagert, die im Gelände durch die intensiv rote Verwitterungsfarbe ihrer tonigen Matrix auffallen.

In den Gräben sind wassergesättigte, lehmreiche Rutschmassen verbreitet, die immer wieder zu einem Absetzen der Forststraßen führen. Größere Hangbewegungen sind auch dort zu beobachten, wo das Haselgebirge im sehr steilen Gelände durch Forststraßen angeschnitten wird.

## 2.2. Meßgebiet Liezen

Der Gipssteinbruch der Fa. Knauf befindet sich N der Hintersteineralm, ca. 1.5 km W vom Pyhrnpaß zwischen 1100 m und 1200 m über NN (Abb. 3). Das Gipsvorkommen ist Teil der juvavischen Wurzer Deckscholle, welche den Dachsteinkalken der tirolischen Warscheneckdecke aufliegt. Die geologischen Verhältnisse wurden jüngst von OTTNER (1990) im Detail beschrieben. Die Basis der Wurzer Deckscholle wird von jurassischen grauen Kieselkalken und vereinzelt auftretenden Radiolariten ge-

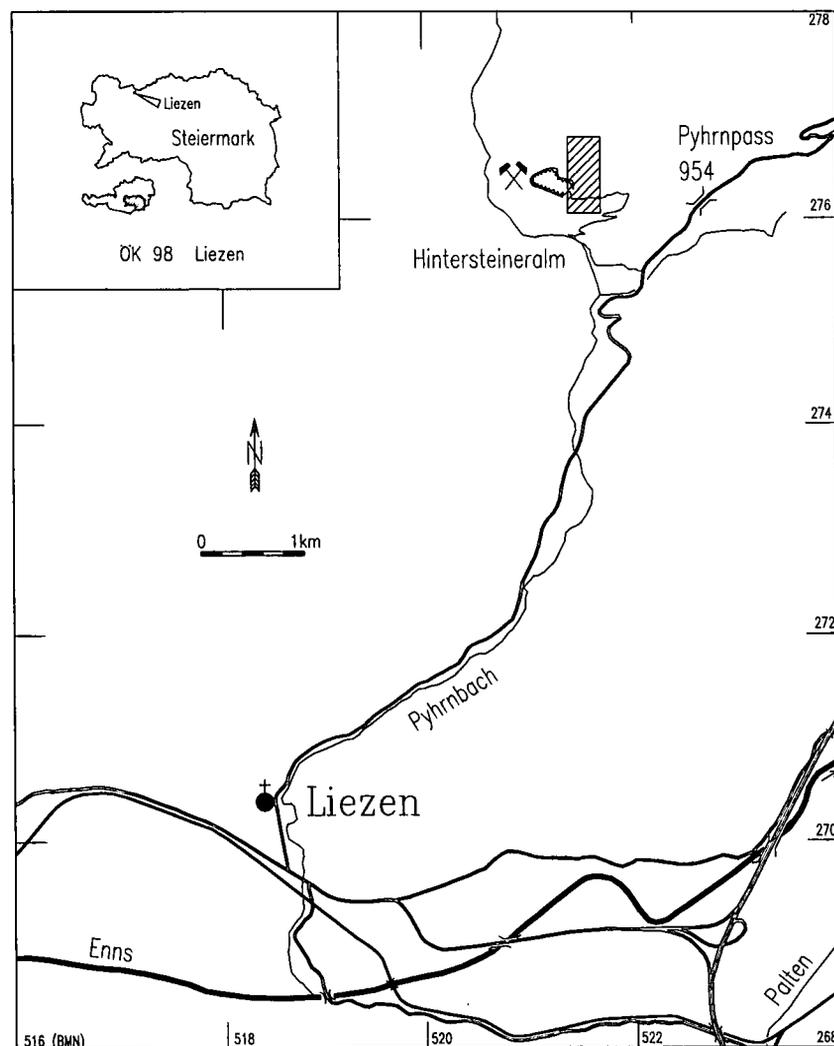


Abb. 3.  
Lage des Meßgebietes Liezen E des Gipsbergbaus Hintersteineralm (schraffierter Bereich).

bildet, auf denen neben einer zwischengeschalteten Gleitbrekzie eine Abfolge von Gips, Anhydrit und Werfener Schichten liegt. Innerhalb der Abfolge lassen sich zwei unterschiedlich ausgebildete Gipshorizonte unterscheiden: der liegende Horizont weist eine intensive Wechsellagerung mit Haselgebirgstonen im cm- bis dm-Bereich auf (Lager 1), während der hangende kaum Tonzwischenlagen enthält (Lager 2). Anhydrit ist nur am frisch verritzten Gebirge aufgeschlossen, da er infolge von Wasseraufnahme rasch in Gips umgewandelt wird. Im frischen Zustand tritt er unregelmäßig gebankt, meist dünnplattig entwickelt auf (FLEISCHMANN & PREISS, 1988). Nach OTTNER (1990) ist die gesamte Abfolge unter Zwischenschaltung einer jurassischen Brekzie bzw. von Mergelkalken tektonisch verdoppelt (Lager 3 und Lager 4), möglicherweise sogar dreifach (Lager 5 und Lager 6).

Obwohl die gesamte Lagerstätte von einem dichten Bohrungsnetz überzogen ist (vgl. HERRMANN, 1989b), ist der komplizierte tektonische Internbau der Wurzer Deck-scholle noch nicht restlos geklärt.

Die Morphologie des Gebietes ist von einer Unzahl an Dolinen mit bis zu 30 m Durchmesser gekennzeichnet, die den Verlauf der einzelnen Gipslager nachzeichnen.

### 3. Petrophysikalische Untersuchungen

#### 3.1. Methodik

Von den anstehenden Gesteinen in den Meßgebieten Admont und Liezen wurden repräsentative Handstücke aller Lithologien genommen und deren petrophysikalische Parameter im Labor bestimmt.

Zur Ermittlung der Schallwellengeschwindigkeit wurden die Proben in Quader mit parallelen Endflächen geschnitten, während zur Messung der übrigen petrophysikalischen Parameter (Dichte, magnetische Suszeptibilität, spezifischer elektrischer Widerstand und Effekt der induzierten Polarisation [IP-Effekt]) aus jeder Probe mehrere ca. 10 cm lange Kerne mit einem Durchmesser von 1'' (2.54 cm) gebohrt wurden.

Die Longitudinalwellengeschwindigkeit  $V_p$  wurde mit einem Kretz Ultraschall-Echo-Gerät Serie 8000 im Durchschallungsverfahren an wassergesättigten Proben bestimmt, wobei Prüfköpfe mit einer Impulssendefrequenz von 2 MHz verwendet wurden. Bei Proben mit erkennbarer Schichtung bzw. Schieferung wurde  $V_p$  senkrecht dazu bestimmt.

Die Bestimmung der Sättigungsdichte erfolgte an wassergesättigten Kernen nach der in LINDNER et al. (1984) beschriebenen Auftriebsmethode mittels Tauchwägung, wodurch sich Fehlergrenzen unter 1 % ergeben.

Mit dem IP-Transceiver RIPS-3 von Atlas Copco wurde ebenfalls an wassergesättigten Proben der spezifische elektrische Widerstand und der IP-Effekt (time domain) gemessen. Um Störeffekte, bedingt durch einen Wasserfilm auf der Probenoberfläche, zu verhindern, wurde die Oberfläche getrocknet und die Messung 3 Minuten nach der Trocknung durchgeführt.

Die Messung der magnetischen Suszeptibilität erfolgte mit einer GISCO MS-3 Suszeptibilitätsbrücke, deren Auflösungsfähigkeit bei  $0.07 \cdot 10^{-3}$  SI liegt.

Mit dem Szintillometer SRAT SPP-3 wurde die natürliche Gammastrahlung der Probenquader bei einem Energiefenster von 50 KeV bestimmt.

### 3.2. Ergebnisse

Die petrophysikalischen Parameter der 24 untersuchten Gesteinsproben sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die Tabelle ist nach Gesteinsgruppen gegliedert und enthält für jene Meßmethoden, bei denen Bohrkerne gemessen wurden, den Mittelwert aus mehreren Einzelmeßdaten. Die Probenbezeichnungen beziehen sich auf die Meßgebiete Admont (GA) und Liezen (GL). Die Proben GA1–GA5 entstammen dem Gipssteinbruch Kematen S Admont, während die Proben GA6–GA13 im eigentlichen Untersuchungsgebiet SE Admont genommen wurden.

Die ermittelten petrophysikalischen Parameter der einzelnen Proben sind neben Fundortkoordinaten, Gesteinstyp und Probenbezeichnung in der, auf dBASE IV basierenden petrophysikalischen Datenbank ROCKBASE (HOLUB, 1992) gespeichert.

Vorbemerkt sei, daß die unter Laborbedingungen gemessenen Parameter nicht vorbehaltlos mit den im natürlichen Gesteinsverband auftretenden Verhältnissen gleichgesetzt werden können und in Hinblick auf Einflüsse wie strukturelle Anisotropieeffekte, Klüftigkeit und Verwitterung idealisierte Werte darstellen.

#### 3.2.1. Dichte

Die Dichte der untersuchten Gipsproben variiert in guter Übereinstimmung mit den in SCHÖN (1983) angegebenen Werten von  $2300 \text{ kg/m}^3$  in einem sehr engen Bereich zwischen  $2255$  und  $2355 \text{ kg/m}^3$ . Sie unterscheidet sich damit deutlich von den Nebengesteinen, deren Dichte für fast alle Gesteinsarten um  $2770 \text{ kg/m}^3$  liegt. Lediglich die Werfener Sandsteine sowie die Jurabrekzien aus dem Meßgebiet Liezen weisen Dichten zwischen  $2430$  und  $2550 \text{ kg/m}^3$  auf. Davon deutlich abgehoben sind die Dichtewerte für Anhydrit mit  $2950 \text{ kg/m}^3$ .

Aufgrund der gemessenen Dichtekontraste wäre ein Einsatz der Gravimetrie zur Gipsprospektion sicherlich überlegenswert. Der für die Datenauswertung notwendige Aufwand für die topographischen Korrekturen stellt jedoch in alpinen Regionen einen zu hohen Kostenfaktor dar. Dies wird durch die extreme Topographie im Bereich von Gipsvorkommen mit dem Auftreten von Dolinen und lokalen Felswänden noch verstärkt.

#### 3.2.2. Longitudinalwellengeschwindigkeit ( $V_p$ )

Die unter Laborbedingungen gemessenen seismischen Geschwindigkeiten ergeben keine signifikanten Kontraste zwischen Gips und den Nebengesteinen. Die gemessenen Laborwerte für Gips liegen über den bei KOBRANOVA (1989) angeführten Geschwindigkeiten. Überdies weist  $V_p$  innerhalb der einzelnen Gesteinsgruppen eine relativ große Streuung auf.

#### 3.2.3. Magnetische Suszeptibilität

Die Suszeptibilitäten liegen teilweise unter der Nachweisgrenze und ergeben für keines der untersuchten Gesteine Werte größer als  $0.23 \cdot 10^{-3}$  SI, weshalb der Einsatz einer magnetischen Vermessung im Gelände nicht sinnvoll erscheint.

#### 3.2.4. Spezifischer elektrischer Widerstand

Von allen gemessenen petrophysikalischen Parametern weist der spezifische elektrische Widerstand die größten

Tabelle 1.

Petrophysikalische Parameter von Gips und seinen Nebengesteinen.

Probe	Gesteinsart	Dichte	Vp	Susz.	spez. elektr. Widerstand	IP-Effekt	Gammastrahlung
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[10 <sup>-3</sup> SI]	[Ohm·m]	[%]	[cps]
GA1	Gips weiß	2355	4800	0.00	2200	0.25	43
GA2	Gips weiß-grau	2280	4100	0.00	630	0.02	40
GA4	Gips	2345	5150	0.13	1400	0.20	42
GA7	Gips weiß	2255	4530	0.00	1120	0.16	40
GL1	Gips Lager 3	2285	5200	0.07	1260	0.04	41
GL4	Gips Lager 2	2340	5210	0.00	1270	0.14	41
GL11	Gips Lager 1 mit Karbonat	2305	6500	0.00	2700	0.14	41
GL9	Anhydrit Lager 2	2950	6290	0.07	2100	0.53	41
GA3	Werfener Kalk	2720	6400	0.07	22500	0.16	42
GA6	Werfener Kalk	2720	6480	0.07	8400	0.36	42
GA10	Werfener Kalk	2695	6250	0.13	11600	0.38	41
GA5	Werfener Mergel dunkel	2700	4750	0.07	500	0.50	43
GA11	Werfener Mergel dunkel	2680	5880	0.20	1120	0.59	40
GA13	Werfener Mergel	2705	-	-	-	-	41
GL2	Werfener Feinsandstein	2550	5420	0.23	650	0.98	41
GL7	Werfener Feinsandstein	2475	4770	0.16	230	0.57	43
GL8	Werfener Feinsandstein	2485	5200	0.07	210	0.41	41
GA8	Werfener Quarzit	2670	5500	0.20	730	1.48	43
GA9	Werfener Quarzit	2675	5230	0.13	600	1.37	43
GL5	Kieselkalk	2690	5670	0.07	10000	1.45	40
GL6	Kieselkalkbrekzie	2615	-	-	-	-	41
GL3	Jurabrekzie	2545	5290	0.07	990	0.90	43
GL10	Jurabrekzie	2430	4440	0.00	130	0.87	43
GA12	Gosaukonglomerat	2740	6220	0.13	6300	1.29	41

Unterschiede zwischen den einzelnen Gesteinsgruppen auf. Während die Werfener Kalke und die Kieselkalke mit über 8000 Ohm·m naturgemäß die höchsten Widerstände liefern, schwanken die Werfener Feinsandsteine, Quarzite und Mergel sowie die Jurabrekzien zwischen 130 und 1120 Ohm·m. Etwas höhere Widerstände weist der Gips mit durchschnittlich  $1510 \pm 700$  Ohm·m auf. Infolge toniger Einlagerungen können die Widerstände im Gips jedoch deutlich erniedrigt (Probe GA2) bzw. durch karbonatische Anteile erhöht werden (Probe GL11). Als Werte für reinen Gips werden von SCHÖN (1983)  $10^7$  Ohm·m angegeben. Am Beispiel des Gosaukonglomerats (Probe GA12) läßt sich die fallweise starke Diskrepanz zwischen Labor- und Geländemeßwert nachweisen. Der Widerstand der im Labor gemessenen, kompakten und unverwitterten Probe beträgt 6300 Ohm·m, während die Meßwerte im Gelände meist um 100 Ohm·m liegen. Dies ist auf die intensive Verwitterung des Gosaukonglomerats zurückzuführen, bei der das Gestein in seine Geröllkomponenten zerfällt. Der Boden über dem Gosaukonglomerat ist dann stets durch eine Anreicherung der niederohmigen, rotgefärbten Feinsedimente der Matrix gekennzeichnet.

### 3.2.5. IP-Effekt

Interessante Unterschiede ergeben sich auch beim Effekt der induzierten Polarisation. Die höchsten Werte von über 1 % weisen die Quarzite innerhalb der Werfener Schichten sowie das Gosaukonglomerat und der Kieselkalk auf (Tabelle 1). Über 0.5 % IP-Effekt liegen auch noch der Anhydrit, die Mergel und Feinsandsteine der Werfener Schichten sowie die Jurabrekzien. Sämtliche untersuchten Gipsproben weisen einen IP-Effekt kleiner 0.3 % auf.

Aufgrund der auftretenden Kontraste wäre ein Test der IP-Methode im Gelände von Interesse; der überdurchschnittlich hohe Meßaufwand erfordert hier jedoch eine vorhergehende genaue Planung und Abklärung geeigneter Meßprofile mittels anderer Meßmethoden.

### 3.2.6. Natürliche Gammastrahlung

Die Messung der natürlichen Gammastrahlung an unverwitterten Gesteinsproben zeigt für keines der Gesteine Werte über dem geogenen Background. Trotz dieses negativen Befunds wurden Geländemessungen mit dem

Szintillometer unter dem Aspekt durchgeführt, daß ein unterschiedliches Verwitterungsverhalten – die Neubildung von Tonmineralen betreffend – die Unterscheidbarkeit einzelner Gesteinsgruppen möglich erscheinen läßt.

## 4. Geophysikalische Geländemessungen

### 4.1. Methodik

Aufgrund der Ergebnisse der petrophysikalischen Labormessungen boten sich insbesondere elektrische Methoden zur Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstandes und des IP-Effekts an. Die Methode der Induzierten Polarisation wurde jedoch aufgrund zu hoher Kosten zurückgestellt. Ein Einsatz an gezielt ausgewählten Detailprofilen erscheint aber für einen späteren Zeitpunkt überlegenswert. Weiters wurde die natürliche Gammastrahlung aus oben erwähnten Gründen im Gelände bestimmt.

Die Kartierung des spezifischen elektrischen Widerstandes – in weiterer Folge nur mehr „Widerstand“ genannt – erfolgte mit der Elektromagnetikapparatur EM-31 von Geonics. Dieses Gerät besitzt einen fixen Spulenabstand von 3.66 m und operiert ohne Bodenkontakt. Die Messungen können daher auch im Winter bei gefrorenem Boden durchgeführt werden. Die Eindringtiefe beträgt ca. 3.5 m. Infolge der Abhängigkeit des Meßergebnisses von topographischen Effekten wurde die Längsachse des Geräts möglichst hangparallel ausgerichtet. Der zahlreichen, teilweise bis 10 m tiefen Dolinen und schmalen Rücken wegen ergaben sich insbesondere im Meßgebiet Liezen Abweichungen vom geometrischen Halbraum, was sich in Änderungen der Widerstandswerte niederschlagen kann. Die Widerstandskartierung mit diesem Gerät bietet gegenüber der herkömmlichen Kartierungsmethode – bei welcher vier Meßelektroden in den Boden gerammt wer-

den müssen – den Vorteil der Berührungslosigkeit und somit des rascheren Meßfortschritts bei halbiertem Personalaufwand.

Die natürliche Gammastrahlung wurde mit dem bereits für die Labormessungen verwendeten Szintillometer SRAT SPP-3 gemessen. Mit einem Energiefenster von 50 KeV wurde das Zählrohr knapp über den Boden gehalten und das Meßsignal über 1.2 s gestapelt. Zur Glättung der im Profil stark streuenden Meßwerte wurde ein 3-Punkt-Filter mit der Gewichtung 0.25 – 0.50 – 0.25 verwendet. Die Meßwerte sind neben der allgemeinen geologischen Beschaffenheit des Untergrundes sehr stark vom Aufbau und der Zusammensetzung der Humus- und Verwitterungsschicht abhängig. Die Strahlungsintensität der obersten Bodenschicht ist wohl auch von sekundären Einflüssen (Tschernobyl-Effekt) abhängig. Deshalb ist bei der Interpretation der Daten zu berücksichtigen, ob ein Meßprofil im Wald oder im freien Gelände verläuft.

### 4.2. Meßgebiet Admont

Zwei NNW–SSE-gerichtete Profile von 800 bzw. 1050 m Länge wurden quer zum Streichen der Einheiten gemessen (Profil 1 in Abb. 4; Profil 2 in Abb. 5), um einen Überblick über das petrophysikalische Kontrastverhalten der im Untersuchungsgebiet auftretenden Gesteine zu gewinnen. Dabei wurden zwei mächtige Haselgebirgsbereiche gequert. Zwei weitere Profile mit 500 bzw. 250 m Länge (Profile 3 und 4 in Abb. 6) dienten der ergänzenden Untersuchung der Gipszüge. Ihre Lage ist in Abb. 2 eingetragen.

Erwähnenswert ist weiterhin, daß die Profile 1 und 2 im Winter bei teilweise gefrorenem Boden gemessen wurden, sodaß für die elektromagnetische Messung keine Einflüsse von durchfeuchteten Oberflächenbereichen zu erwarten waren. Im Gegensatz dazu wurden die Profile 3 und 4

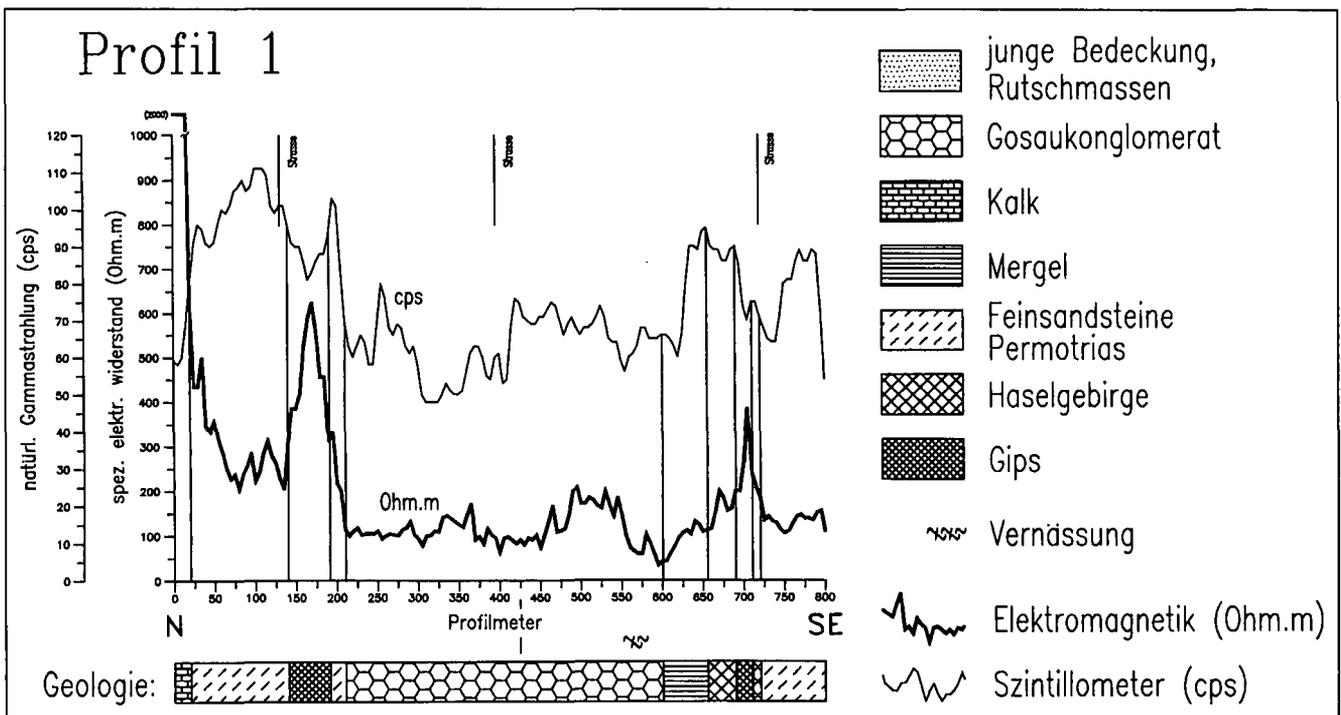


Abb. 4. Meßgebiet Admont, Profil 1.

Unter den Meßkurven des spezifischen elektrischen Widerstandes und der natürlichen Gammastrahlung ist das aus den Geländeaufnahmen ermittelte geologische Profil eingezeichnet. Lage des Meßprofils siehe Abb. 2.

# Profil 2

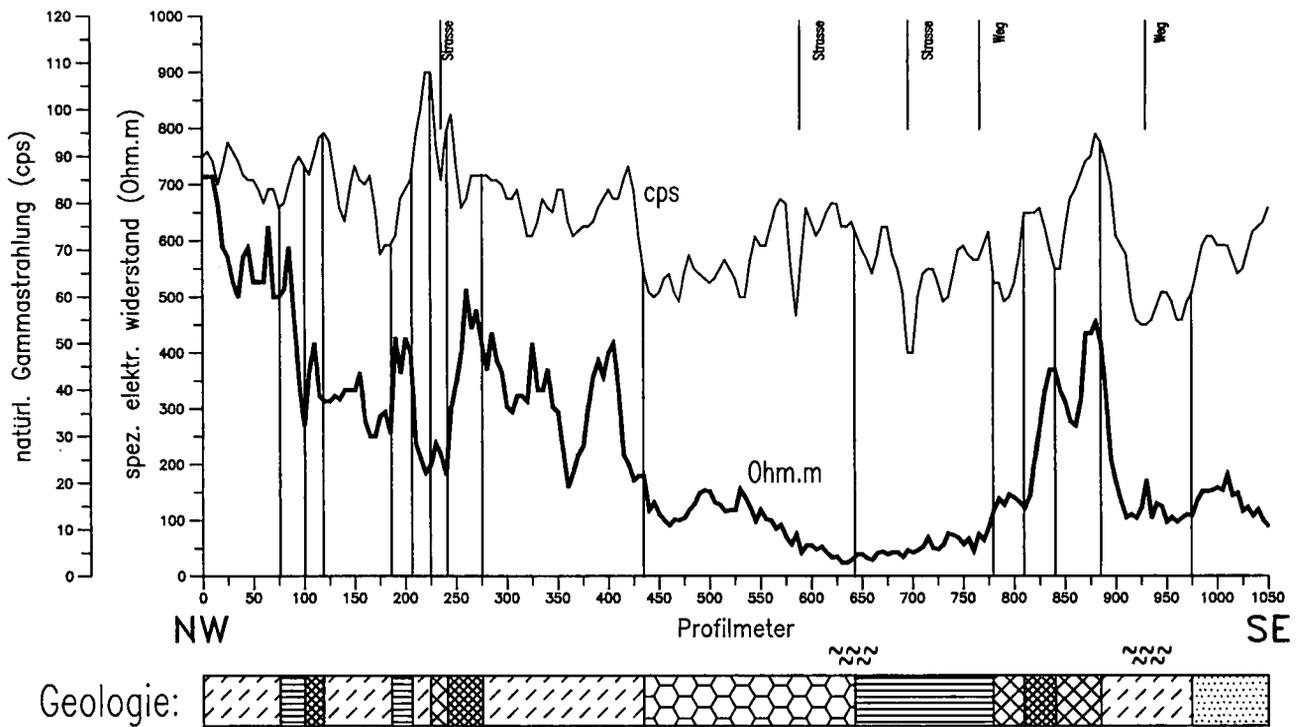
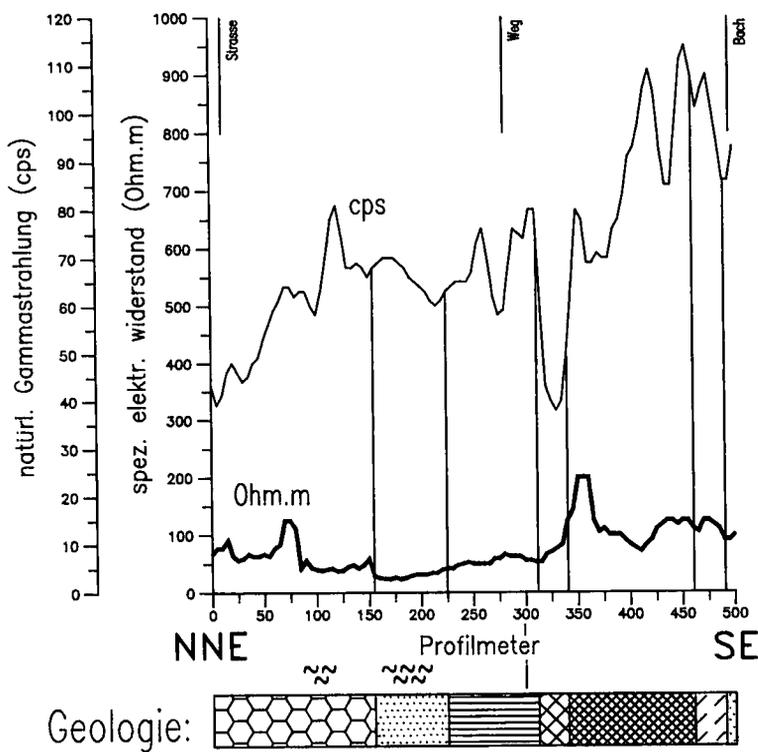


Abb. 5.  
 Meßgebiet Admont, Profil 2.  
 Lage des Meßprofils siehe Abb. 2., Legende siehe Abb. 4.

# Profil 3



# Profil 4

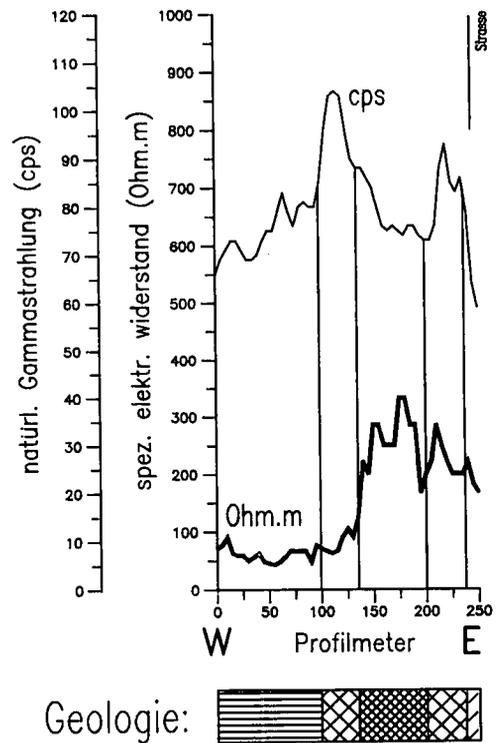


Abb. 6.  
 Meßgebiet Admont, Profile 3 und 4.  
 Lage der Meßprofile siehe Abb. 2., Legende siehe Abb. 4.

im Frühsommer nach einer Niederschlagsperiode gemessen, was sich wegen der stärkeren Bodendurchfeuchtung in deutlich erniedrigten Widerständen auswirkt. Trotz der unterschiedlichen Meßbedingungen lassen sich die Meßkurven der Profile in ihrer Charakteristik gut vergleichen.

In den Abb. 4–6 ist neben den geophysikalischen Meßprofilen die geologische Situation, wie sie sich aus der Kartierung ergibt, eingezeichnet. Die im Gelände erkannten Gesteinsgrenzen sind auch als Markierungsstriche in den geophysikalischen Meßprofilen eingezeichnet. Die geologischen Grenzen wurden also nicht aus den geophysikalischen Messungen abgeleitet. Somit kann überprüft werden, inwieweit die geophysikalischen Untersuchungen geeignet sind, verschiedene lithologische Einheiten bzw. deren Grenzen nachzuweisen.

#### 4.2.1. Elektromagnetik

Die Kalke am Beginn von Profil 1 (Abb. 4) erreichen mit 2000 Ohm·m die höchsten Widerstände im gesamten Meßgebiet. Dies steht in Einklang mit dem extrem hohen Labormeßwert der von hier stammenden Probe GA10.

Die Feinsandsteine der Werfener Schichten zeigen mit Widerständen zwischen 100 und 700 Ohm·m zwar eine große Schwankungsbreite, doch ist der südliche Sandsteinzug mit 100–200 Ohm·m deutlich niederohmiger als jener im N.

Die Gosaukonglomerate sind im Gelände durch sehr niedrige Widerstände von 30 bis 150 Ohm·m charakterisiert. Dies scheint in Widerspruch zu den Labormessungen zu stehen, wo die Gosaukonglomeratprobe 6300 Ohm·m aufweist (GA12 in Tabelle 1). Während jedoch die Laborprobe unverwittert ist, kann man im Gelände eine intensive Aufwitterung des Konglomerats beobachten, indem die rote Tonmatrix aufquillt und das Gestein vollkommen zerlegt.

An Hangrücken, wo die Konglomerate grobblockig verwittern, aber keine totale Auflösung des Gesteinsverbandes zeigen, liegen die Widerstände mit ca. 200 Ohm·m (Profil 1, 450–550 m) etwas höher.

Niedrige Widerstände zwischen 30 und 100 Ohm·m weisen auch die mergeligen Anteile der Werfener Schichten auf. Sie lassen sich daher mittels der elektrischen Widerstandskartierung nicht von den Gosaukonglomeraten unterscheiden.

Die Gipse treten im Vergleich zu den umgebenden Gesteinen teilweise als Zonen deutlich erhöhter Widerstände hervor, wobei sich Werte bis 600 Ohm·m mit einem steilen Anstieg der Meßkurve von den Nebengesteinen ergeben. Besonders deutlich erscheint dies im Profil 1 zwischen 140 und 190 m, 690 und 710 m (Abb. 4), sowie im Profil 2 zwischen 800 und 900 m (Abb. 5). Innerhalb der Gipszonen bewirkt das Auftreten von tonigem Haselgebirge eine Erniedrigung der Widerstände. Als Beispiel dafür sei der Bereich zwischen 750 und 810 m im Profil 2 angeführt.

Die niedrigen Widerstände im Haselgebirge, welches den Gips meist randlich umgibt, erschweren eine Abgrenzung zu den benachbarten Mergeln. Andererseits bewirken Einschaltungen von Rauhwacken, welche häufig mit Dolomiten verbunden sind, eine Widerstandserhöhung in den Gipszügen.

Die junge Bedeckung des Untergrundes gibt im Falle von stark durchfeuchteten Rutschmassen Widerstände um 30 Ohm·m (150–225 m im Profil 3) bzw. um 150 Ohm·m bei karbonatischem Hangschutt (975–1050 m im Profil 2).

#### 4.2.2. Szintillometrie

Alle Profile zeigen bei generell niedrigen Werten der Gammastrahlung zwischen 40 und 115 cps starke Schwankungen. Trotz der eingangs erwähnten Einflüsse von Verwitterungsschicht und Tschernobyl-Effekt lassen sich bei den Geländemessungen gewisse Gesteinsgrenzen deutlich nachweisen, wie z.B. jene zwischen Werfener Sandsteinen und Gosaukonglomeraten bei 430 m im Profil 2 (Abb. 5). Die niedrigsten Strahlungsintensitäten zeigen die Werfener Kalke mit ca. 60 cps sowie die Gosaukonglomerate, die infolge ihres hohen Karbonatanteils stets unter 80 cps liegen. Bildet man Mittelwerte für die einzelnen Gesteine, dann liegen die Gosaukonglomerate bei etwa 65 cps, während die Werfener Sandsteine etwas höhere Intensitäten von ca. 90 cps aufweisen.

Bezüglich der Gips- und Haselgebirgsvorkommen kann keine eindeutige Aussage getroffen werden. Die hohen Widerstände des Gipses im Profil 1 sind mit relativ niedrigen Strahlungsintensitäten korreliert, während die Gipsvorkommen von Profil 2 im Bereich zwischen 100 und 275 m im Schwankungsbereich der Nebengesteine liegen. Das Haselgebirge läßt aufgrund seines Tonanteils höhere Strahlungsintensitäten vermuten. Die Meßwerte der Vorkommen zwischen 100 und 130 m im Profil 4 oder zwischen 840 und 880 m im Profil 2 lassen diesen Allgemeinschluß jedoch nicht zu. Bei etwa 800 m im Profil 2 zeigt das Haselgebirge deutlich niedrigere Intensitäten als der umgebende Gips.

Einen markanten Störfaktor stellen Karbonatgesteine dar, wenn sie für straßenbauliche Zwecke eingesetzt werden. So bilden sich die durch die Meßprofile gequerten Forststraßen als negative Anomalien ab. Besonders auffällig ist der Bereich zwischen 310 und 340 m im Profil 3, wo das zu Hangrutschungen neigende Haselgebirge durch große Kalkblöcke stabilisiert wird und dementsprechend niedrige Strahlungsintensitäten aufweist.

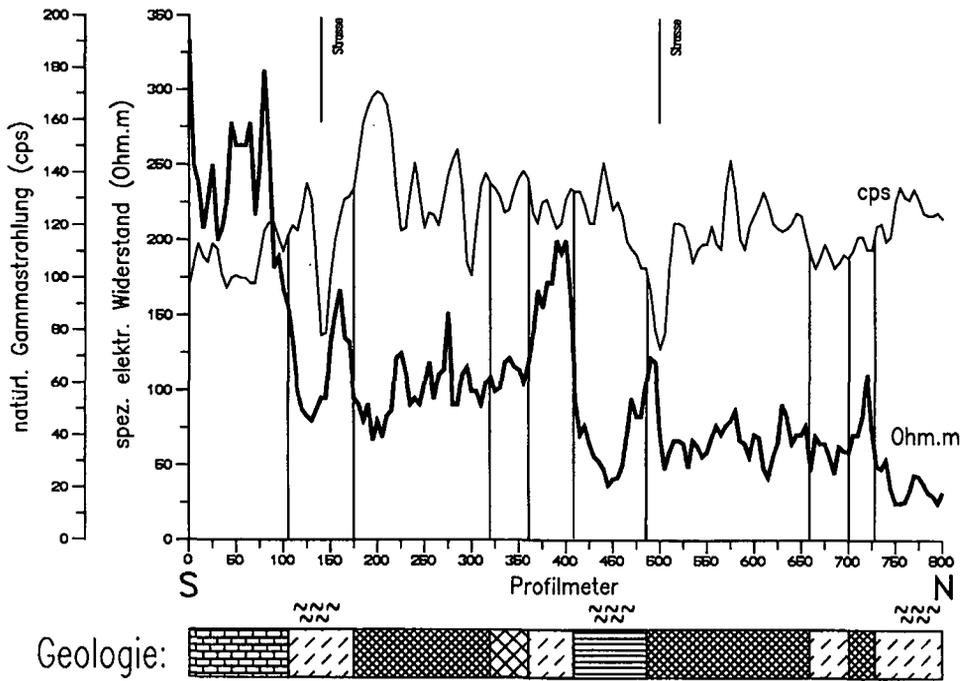
### 4.3. Meßgebiet Liezen

Unmittelbar E des bestehenden Gipsbruchs der Fa. Knauf wurden zwei geophysikalische Profile aufgenommen. Das 800 m lange Profil L1 (Abb. 7) beginnt im S in jurassischen Kieselkalken der Warscheneckdecke und quert bei 100 m die Grenze zur auflagernden Wurzer Deckscholle. Innerhalb dieser verläuft es in N–S-Richtung entlang der derzeitigen östlichen Steinbruchbegrenzung, wobei es die Gipslager 1–4 senkrecht zum Streichen quert. Das Profil endet im N in stark durchfeuchteten, roten Feinsandsteinen der Werfener Schichten. Das 480 m lange Profil L2 (Abb. 7) liegt zur Gänze innerhalb der Wurzer Deckscholle 100 m E vom Profil L1. Es entspricht diesem im Profilabschnitt zwischen 100 m und 600 m.

#### 4.3.1. Elektromagnetik

Das Profil L1 (Abb. 7) verläuft die ersten 100 m in Kieselkalken, deren Widerstände um 250 Ohm·m schwanken. Mit einer Vernässungszone setzen Feinsandsteine der Werfener Schichten ein. Dadurch ergibt sich ein markanter Abfall der Widerstände auf 100 Ohm·m. Gegen trockenere Bereiche zu steigen die Widerstände auf über 150 Ohm·m an. Bei 175 m wird der Beginn einer breiten Gipszone morphologisch durch das Auftreten von Dolinen angezeigt. Die Widerstände schwanken zwischen 70 und 150 Ohm·m bei einem Mittel von 100 Ohm·m. Diese Zone repräsentiert die Gipslager 1 und 2, welche – wie im Steinbruch zu be-

# Profil L1



# Profil L2

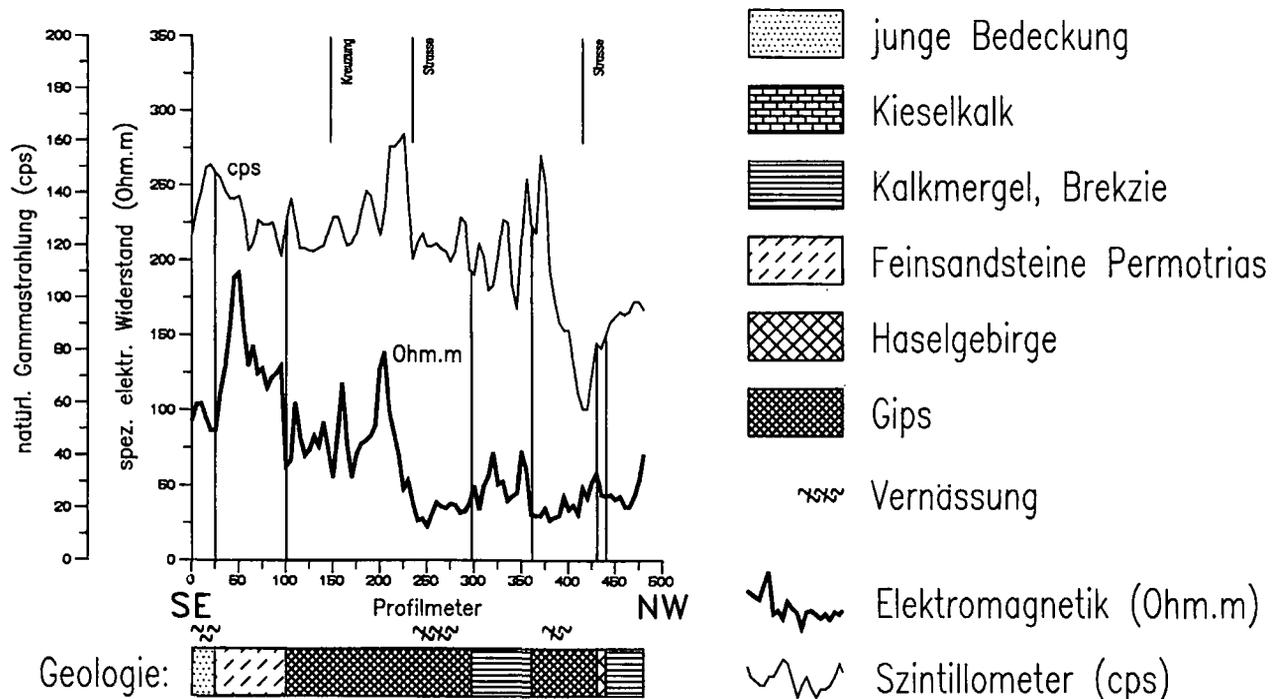


Abb. 7.  
Meßgebiet Liezen, Profile L1 und L2.

obachten – häufig nur durch geringmächtige Werfener Schichten voneinander getrennt sind. Da die Mächtigkeit dieser Trennschichten auf unter 1 m ausdünnen kann, ist bei dem gewählten Meßpunktstand eine Abtrennung nicht möglich. Zwischen Profilmeter 320 und 360 folgt ein

Bereich von schwarz gefärbtem, tonigem Haselgebirge, dessen Widerstände sich vom Gips nicht unterscheiden. Mit einem deutlichen Widerstandsanstieg bis 200 Ohm.m setzen bei 360 m Werfener Schichten ein. Bei 410 m leiten sie mit einem starken Widerstandsabfall in den jurassi-

schen Brekzienhorizont über, dessen Gesteine schon bei den Labormessungen durch teilweise sehr niedrige Widerstände aufgefallen sind (Tabelle 1). Im Gelände liegen die Werte bei etwa 75 Ohm·m und sinken in einer Vernässungszone bis auf 30 Ohm·m ab. Das Gipslager 3 beginnt bei 485 m und zeigt Widerstände zwischen 40 und 120 Ohm·m. Insgesamt liegen die Widerstände tiefer als jene von Gipslager 1 und 2. Innerhalb der anschließenden Werfener Schichten, die stets unter 75 Ohm·m liegen, fällt das zwischengeschaltete, schmale Gipslager 4 durch einen markanten Widerstandsanstieg auf über 100 Ohm·m auf. Die niedrigsten Widerstände im gesamten Profilverlauf treten zu dessen Ende auf, wo die Werfener Schichten in einer Nässezone bis auf 25 Ohm·m absinken.

Das Profil L2 (Abb. 7) verläuft die ersten 25 m in quartärem Hangschutt und dann in dünnbankigen Feinsandsteinen der Werfener Schichten, deren Widerstände zwischen 120 und 200 Ohm·m variieren. Bei 100 m setzt das Gipslager 1, entsprechend dem Profil L1, mit einem markanten Widerstandsabfall auf 70 Ohm·m ein. Auch hier läßt sich das Gipslager 2 vom Lager 1 nicht abtrennen. Innerhalb dieser Gipszone schwanken die Widerstände in einem weiten Bereich zwischen 20 und 140 Ohm·m, wobei die niedrigsten Widerstände wiederum durch eine Vernässungszone bedingt sind. Möglicherweise verbergen sich in dieser Vernässungszone die in Profil L1 im Hangenden des Gipslagers 2 angetroffenen Werfener Schichten, die hier jedoch nicht auskartiert werden konnten. Zwischen 295 m und 360 m treten an der Position der Brekzien vom Profil L1 helle Kalkmergel auf, die sich durch leicht erhöhte Widerstände von bis zu 75 Ohm·m vom nachfolgenden Gipslager 3 abheben. Mit durchschnittlich 50 Ohm·m liegen die Widerstände des Lagers 3 analog dem Profil L1 deutlich unter jenen der Lager 1 und 2. Nach einem geringmächtigen Haselgebirgshorizont folgen bei 440 m ohne nennenswerten Kontrast Kalkmergel, deren Widerstände von 40 Ohm·m gegen Profilende auf 70 Ohm·m ansteigen.

#### 4.3.2. Szintillometrie

Im Gegensatz zum Meßgebiet Admont liegen die Intensitäten der natürlichen Gammastrahlung im Gebiet Liezen bei deutlich höheren Werten zwischen 80 und 170 cps.

Vergleicht man die Kurvencharakteristik der natürlichen Gammastrahlung mit den geologischen Verhältnissen, so zeigt sich nur in wenigen Fällen ein interpretierbarer Zusammenhang. Profil L1 (Abb. 7) weist im Gipslager 1 zwischen 180 und 220 m erhöhte Intensitäten auf. Dies korreliert mit relativ niedrigen spezifischen elektrischen Widerständen und weist auf einen erhöhten Tonanteil in diesem Bereich hin.

In Summe betrachtet, trägt die Szintillometrie im Meßgebiet Liezen wenig zur Klärung der geologischen Verhältnisse im Untergrund bei.

## 5. Schlußbemerkungen

Die bei vorliegender Untersuchung gewonnenen Erfahrungen bei der Prospektion auf kalkalpine Gipsvorkommen mit Unterstützung geophysikalischer Meßverfahren lassen folgende Überlegungen für die Planung künftiger Prospektionsvorhaben hilfreich erscheinen:

- Die komplizierten tektonischen Verhältnisse im Bereich kalkalpiner Gipsvorkommen bedingen eine möglichst detaillierte Abklärung der geologischen Verhältnisse vor dem Einsatz geophysikalischer Methoden, um Aussagen über die im Untersuchungsgebiet auftretenden Gesteine und deren Lagerung zu erhalten. Dazu zählt auch eine morphologische Kartierung, da die zumeist zahlreich vorhandenen Dolinen und Erdfallen den Verlauf und die Streichrichtung der Gipszüge nachzeichnen und so wesentliche Ansatzpunkte zur Festlegung der geophysikalischen Meßprofile liefern.
- Die Bestimmung der petrophysikalischen Parameter aller im Untersuchungsgebiet auftretenden Gesteine erlaubt Aussagen über das mögliche Kontrastverhalten von Gips und Nebengesteinen im Gelände. Dies ermöglicht eine Vorauswahl der für den Geländeeinsatz in Frage kommenden geophysikalischen Methoden. Die Labormessungen dienen auch dazu, die Streubreite der petrophysikalischen Parameter innerhalb einer Gesteinsgruppe zu ermitteln. Bei der Interpretation der im Gelände ermittelten Meßwerte mit Hilfe der Labordaten sind allerdings sekundäre Einflüsse (Verwitterung, Klüftigkeit etc.) zu berücksichtigen.
- Unter kalkalpinen Verhältnissen erscheint vor allem die Widerstandskartierung als leistungsfähige und kostengünstige Prospektionsmethode. Sie liefert wichtige Hinweise zur Abgrenzung der Gipsvorkommen gegen grobklastische (Gosaukonglomerat) und kalkige Gesteine. Die Abgrenzung gegen feinklastische Sedimente (Werfener Feinsandsteine) ist hingegen dann problematisch, wenn der Gips durch tonige Beimengungen verunreinigt ist.
- Die Messung der natürlichen Gammastrahlung kann nur als Ergänzung zur Widerstandskartierung angesehen werden, da die Strahlungsintensität aller untersuchten Gesteine sehr gering ist. Erwähnenswert erscheint jedoch, daß sich toniges Haselgebirge vom reinen Gips meist deutlich unterscheiden läßt.
- Aufgrund der Ergebnisse der petrophysikalischen Labormessungen scheinen Gravimetrie und IP-Messungen weitere erfolgversprechende geophysikalische Prospektionsmethoden zu sein. Sie sind jedoch deutlich kostenintensiver, weshalb sie erst nach Abklärung der prinzipiellen Lagerungsverhältnisse durch die hier angewandten Methoden eingesetzt werden sollten.

#### Dank

Vorliegende Untersuchungen wurden im Rahmen des Projektes P-95/1990 der Vereinigung für Angewandte Lagerstättenforschung in Leoben (VALL) durchgeführt. Weitere finanzielle Unterstützung wurde im Rahmen des Projektes „Geophysik der Erdkruste“ der Österreichischen Akademie der Wissenschaften gewährt.

Herr Prof. WEBER stellte freundlicherweise die Meßgeräte und Einrichtungen des Instituts für Geophysik der Montanuniversität Leoben zur Verfügung.

Der Forstverwaltung des Benediktinerstiftes Admont wird für die Erlaubnis, die Forststraßen benützen zu dürfen, gedankt. Besonderer Dank gebührt dem Betriebsleiter der Fa. Knauf in Weißenbach/Liezen, Herrn Dr. NEUNER, für sein Interesse an diesem Projekt. In entgegenkommender Weise wurde der Einblick in zahlreiche unveröffentlichte Unterlagen über Untersuchungen in den Meßgebieten Liezen und Admont gewährt, welche die eigene Arbeit wesentlich erleichterten. Weiters wurden die Genehmigung zur Benützung der betriebseigenen Straßen erteilt und Gesteinsproben aus dem Gipsbruch Hintersteinalm zur Verfügung gestellt.

Für anregende und konstruktive Diskussionen seien die Herrn Prof. SCHMÖLLER, Prof. MAURITSCH, Prof. EBNER und Doz. ERKAN herzlichst bedankt.

## Literatur

- AMPFERER, O. (1935): Geologische Karte der Gesäuseberge. – Geol. B.-A., Wien, 1 : 25.000.
- BAUER, F.K. (1967): Gipslagerstätten im zentralalpinen Mesozoikum (Semmering, Stanzertal). – Verh. Geol. B.-A. **1967**, 70–90, Wien.
- BERNHARD, M. & REICHL, P. (1986): Montangeologische Kartierung der Gipslagerstätte Oberort (Steiermark). – Unveröff. Kartierbericht, Institut f. Geowissenschaften, Montanuniversität, 16 S., Leoben.
- BÜCHNER, K.-H. (1973): Ergebnisse einer geologischen Neuaufnahme der nördlichen und südwestlichen Gesäuseberge (Obersteiermark, Österreich). – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. **22**, 71–94, Wien.
- ERKAN, E. (1977): Uran- und gipsführendes Perm in den östlichen Ostalpen. – Berg- u. Hüttenm. Mh., **122**, H. 2a, 9–17, Wien.
- FLEISCHMANN, R. & PREISS, P. (1988): Gipsbergbau Knauf am Pyhrnpaß. – Unveröff. Kartierbericht, Institut f. Geowissenschaften, Montanuniversität, 9 S., Leoben.
- FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F. (1984): Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen – Steiermark, Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark 1:200.000. – Geol. B.-A., Wien, 127 S.
- HADITSCH, J.G. (1965): Die Gipslagerstätte Schildmauer bei Admont und ihre Kupfererzspuren. – Archiv f. Lagerstättenforschung d. Ostalpen, Bd. **3**, 125–142, Leoben.
- HADITSCH, J.G. (1979): Erze, feste Energierohstoffe, Industriemineralien, Steine und Erden. – Grundlagen der Rohstoffversorgung, **H. 2**, 53 S., Bundesministerium f. Handel, Gewerbe u. Industrie, Wien.
- HERRMANN, A. (1989a): Bericht über die Untersuchungsarbeiten auf Gips und Anhydrit in den Freischürfen 4114/60, 4115/60, 4116/60 und 178/89, 179/89 des Freischurfgebietes Admont-Krumau, Katastralgemeinden Admont und Krumau. – Unveröff. Bericht Knauf, Iphofen.
- HERRMANN, A. (1989b): Bericht über die Erschließungs- und Untersuchungsarbeiten in den Freischürfen 2730, 2733, 2735/60, Freischurfgebiet Hintersteiner Alm, Katastralgemeinde Spital am Pyhrn. – Unveröff. Bericht Knauf, Iphofen.
- HOLUB, B. (1992): A program for petrophysical database management. – [In:] KÜRZL, H. & MERRIAM, D.F. (Hrsg.): Use of Microcomputers in Geology, Plenum Publ., New York.
- HOLZER, H. (1980): Industriemineralien. – [In:] OBERHAUSER, R. (Hrsg.): Der geologische Aufbau Österreichs, 538–542, Springer, Wien.
- JERZ, H. (1966): Untersuchungen über Stoffbestand, Bildungsbedingungen und Paläogeographie der Raibler Schichten zwischen Lech und Inn (Nördliche Kalkalpen). – Geol. Bav. **56**, 3–102, München.
- KOBRANOVA, V.N. (1989): Petrophysics. – Springer, 375 S., Berlin.
- LINDNER, H., MILITZER, H. & WALACH, G. (1984): Angewandte Gravimetrie. – [In:] MILITZER, H. & WEBER, F. (Hrsg.): Angewandte Geophysik, Bd. **1**, 64–126, Springer, Wien.
- OTTNER, F. (1990): Zur Geologie der Wurzer Deckscholle und deren Rahmen im Bereich des Warschenecks (O.Ö.). – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr. **36**, 101–145, Wien.
- PETRASCHECK, W.E., ERKAN, E. & HÖNIG, J. (1977): Die Gipslagerstätten der Steiermark. – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, H. **38**, 89–99, Graz.
- SCHMÖLLER, R., HOLUB, B.B. & SACHSENHOFER, R.F. (1991): Erarbeitung einer geophysikalischen Prospektionsmethodik auf Gips am Beispiel der Vorkommen bei Admont und Liezen. – Unveröff. Bericht, VALL-Proj. P-95/1990, 21 S., Leoben.
- SCHÖN, J. (1983): Petrophysik, Physikalische Eigenschaften von Gesteinen und Mineralen. – Akademie Verlag, 405 S., Berlin.
- SHADID, I. (1973): Montangeologische Untersuchung der Gipslagerstätte südlich Admont / Steiermark. – Unveröff. Diplomarbeit, Institut f. Geowissenschaften, Montanuniversität, 47 S., Leoben.
- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich. Band II: Außerzentralalpiner Anteil. – Deuticke Wien, 710 S.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 1. Dezember 1991