



Geophysikalische Prospektion auf Leukophyllit bei Voralpe (Steiermark)

ERICH NIESNER & FRANZ WEBER*)

14 Abbildungen, 2 Tabellen

Steiermark
Prospektion
Geophysik
Lagerstätte
Leukophyllit

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 136

Inhalt

Zusammenfassung	99
Abstract	100
1. Ausgangssituation und Problemstellung	100
2. Geologie des Messgebietes und der Leukophyllitvorkommen	100
3. Möglichkeiten und Grenzen der geophysikalischen Prospektion	101
3.1. Petrophysik	101
3.2. Beurteilung der geophysikalischen Verfahren	101
3.2.1. Magnetik	101
3.2.2. Gravimetrie	102
3.2.3. Refraktions- und Reflexionssismik	102
3.2.4. Elektromagnetik	103
3.2.5. Widerstandsverfahren-Gleichstromgeoelektrik	103
3.2.6. Induzierte Polarisierung (IP)	104
3.2.7. Eigenpotentialmethode (SP)	104
3.3. Modellrechnungen	104
4. Feldmessungen	105
5. Auswertung	105
5.1. Profilauswertung dargestellt am Beispiel von Profil 300	105
5.1.1. Widerstandsmessungen	106
5.1.2. Eigenpotentialmessungen	108
5.2. Kartendarstellung der Ergebnisse	110
5.2.1. Kartendarstellung der Widerstandskartierungen	110
5.2.2. Kartendarstellung der Eigenpotentialmessungen	113
6. Abschließende Beurteilung der geophysikalischen Prospektion und Vorschläge für eine weitere Vorgehensweise	114
Dank	115
Literatur	115

Zusammenfassung

Gegenstand der Prospektion war ein Leukophyllitvorkommen im Bereich des Mühlgrabens/SW Voralpe, das 5 plattenförmige Leukophyllitzüge von 0,5–15 m Mächtigkeit aufweist. Das wichtigste geophysikalische Aufschlussverfahren ist die geoelektrische Widerstandskartierung mit der Tripotentialmethode (Elektrodenabstände 5, 10 und 20 m). Es wurden 13 Profile mit 4,63 km Länge und ca. 3000 Messpunkte gemessen. Nach Labormessungen hat der Leukophyllit spezifische elektrische Widerstände von 800–4000 Ohm.m, während die umgebenden dichten Grobgneise meist höherohmig (bis 10.000 Ohm.m) sind. Ebenfalls mit 5 m Messpunktstand wurden auf allen Profilen Eigenpotentialmessungen ausgeführt, zu Testzwecken auf einigen Profilen auch Messungen der Induzierten Polarisierung. Die Leukophyllitzüge können auf den Profilen durch folgende Charakteristika gefunden werden: Widerstandsminimum, Wenner Beta/Gamma-Verhältnis größer als 1, niedrige Polarisierbarkeit, positive SP-Spitze. Die Erkennung der Leukophyllite auf den Kartendarstellungen ist mit großen Schwierigkeiten verbunden. Es lassen sich jedoch wichtige geologische Strukturen, vor allem die Deckengrenze Waldbach/Raabalpenkristallin, eindeutig lokalisieren.

*) Univ.-Prof. Dr.Dr. h.c. FRANZ WEBER, Univ.-Doz. Dr. ERICH NIESNER, Institut für Geophysik, Montanuniversität Leoben, Peter-Tunner-Straße 25, A 8700 Leoben.

Geophysical Exploration on Leukophyllite near Vorau / Styria Abstract

Target of the geophysical prospection was Leukophyllite, structured into 5 Leukophyllite zones approximately in the form of dipping plates with a thickness of 0.5 to 15 m. The main geophysical prospecting method was resistivity profiling using the tripotential method with spacings of 5, 10 and 20 m. 13 profiles with a total length of 4.63 km were measured, giving a total of about 3000 measuring points. Laboratory investigations show for the Leukophyllites electric resistivities in the range of 800 to 4000 Ohm-m and for the surrounding denser „Grobgneise“ higher resistivities up to 10000 Ohm-m. Also the Self Potential (SP) was measured on the profiles with 5 m spacing and additionally on one profile also Induced Polarisation (IP) measurements were performed to test the applicability of this method for the specific prospecting problem. Leukophyllit can be detected due to the following characteristic responses of the measured data: minimum of the resistivity, beta/gamma resistivity ratio higher than 1, low polarizability, positive SP-deflection. Despite of these characteristic responses it is rather difficult to correlate the Leukophyllite zones between the profiles and to construct a map. The main geological features however, like the plate boundary between the Waldbach and the Raabalpen crystalline are clearly recognizable on the measured data.

1. Ausgangssituation und Problemstellung

Durch die Einstellung der Suchtätigkeit auf dem Erzsektor hat sich für die montangeophysikalische Prospektion die Notwendigkeit ergeben, neue Tätigkeitsfelder zu erschließen. Als ein aussichtsreiches Gebiet erschien der Bereich der Steine und Erden, wobei für Baurohstoffe eine größere wirtschaftliche Bedeutung angenommen wurde. Der Rohstoff Leukophyllit schien insofern für ein Projekt im Rahmen der Zielsetzungen der Vereinigung für Angewandte Lagerstättenforschung in Leoben geeignet zu sein, als für dieses Gestein in der Steiermark bereits ein bedeutender Abbau existierte und die Wahrscheinlichkeit für weitere Vorkommen bestand. Beim Literaturstudium stellte sich jedoch heraus, dass auf keine brauchbaren Erfahrungen im zugänglichen Schrifttum zurückgegriffen werden konnte. Auch Analogieschlüsse auf die Prospektion auf Mineralgruppen mit ähnlichen petrophysikalischen Eigenschaften waren nur begrenzt möglich. Lediglich bei J. JAKOSKY (1950) fand sich ein Hinweis, dass über Pegmatitgängen Eigenpotentialanomalien auftreten können. Es lag somit eine Problemstellung vor, die sich klar von einer Routineuntersuchung mit bekannten geophysikalischen Verfahren unterschied.

Petrophysikalische Labormessungen an Leukophyllit und Proben der umgebenden Gesteine waren wesentlich für die Beantwortung der Frage, ob eine bestimmte geophysikalische Methode für den Nachweis überhaupt aussichtsreich ist. Da auch die Tiefenlage und die Lagerstättengeometrie maßgebliche Parameter dafür sind, ob in der Praxis ein messbares Signal an der Erdoberfläche zu erwarten war, sollten Testmessungen über bekannten Vorkommen ausgeführt werden. Auch von Modellrechnungen unter geologisch sinnvollen Annahmen konnte man sich erhoffen, dass diese den Entscheidungsspielraum einengen.

Auf Grund der vorhandenen geologischen Unterlagen konnte jedoch angenommen werden, dass eine gewählte und bewährte Prospektionsmethode in einem größeren Gebiet einsetzbar sein sollte. Es war darüber hinaus die Annahme berechtigt, dass diese geophysikalischen Untersuchungen für die Klärung einer wichtigen geologisch-tektonischen Fragestellung bedeutungsvoll wären, nämlich für den Nachweis von flachen bis mäßig steilen Überschiebungsbahnen im metamorphen Kristallin.

2. Geologie des Messgebietes und der Leukophyllitvorkommen

Bauplan und lithostratigraphische Gliederung des Gebietes um Vorau sind durch die Arbeiten von FAUPL (1972), TOLLMANN (1976, 1977), NEUBAUER (1981, 1990), FLÜGEL (1984), PEINDL et. al. (1990) weitgehend geklärt. Die Einheiten gehören zum Unterostalpinen Deckenstockwerk, das nach H.W. FLÜGEL (1984) durch nach N gerichtete

Überfaltungsdecken mit einem polymetamorphen Kern und permomesozoischen Hüllen charakterisiert ist. Es werden 2 Metamorphosen unterschieden: eine variszische Metamorphose, die bis in die Amphibolitfazies reichte, und eine altpaläozoische, tonig-sandige Folge. Im alpidischen Zyklus erfolgte eine jüngere Metamorphose in Grünschieferfazies, die die ältere überprägte.

Das Messgebiet (Abb.1) wurde in jüngster Zeit mit einer geologischen Detailkartierung durch die Arbeitsgruppe EBNER, HUBER & PREISS (1993) (Abb. 2) aufgenommen.

Der nördliche Bereich des Gebietes wird von Waldbachkristallin eingenommen. Dieses zeigt nach NEUBAUER (1981, 1990) große lithologische Übereinstimmung mit dem mittelostalpinen Kristallin. Den tiefsten Horizont bilden die Waldbacher Phyllite, einem lithostratigraphisch höheren Horizont gehört die durch Amphibolführung gekennzeichnete „Vorauer Serie“ an, deren Hornblendegneise nach EBNER et al. (1993) nahe der Deckengrenze zum Raabalpenkristallin ein NNE–SSW-streichendes, 35°W-fallendes Schieferungsgefüge zeigen. Aus der petrographischen Beschreibung dieser Serie können bereits für die geophysikalische Erkundung wesentliche Schlüsse gezogen werden. So erwähnt NEUBAUER (1981, 1990) verschiedene Amphibolite, wobei vor allem die gabbroiden Typen durch die Magnetik unschwer nachzuweisen sein sollten. Ebenso wichtig ist der Hinweis auf ca. 10 km sich erstreckende Erzhorizonte von Sulfidieren, für deren geophysikalische Prospektion sich mehrere geoelektrische Verfahren anbieten (Eigenpotential, Elektromagnetik, Induzierte Polarisation).

Tektonisch hangend zur Wechsel/Waldbach-Einheit befindet sich das Raabalpen-Kristallin, nach dem dominanten Gestein auch Grobgnais-Einheit genannt. Für die Grobgnais, die vorwiegend granitoide Gesteine aufweisen, wird eine lakkolithartige Entstehung im Unterkarbon angenommen. Die Grobgnais sind für die gegenständliche Problemstellung insofern besonders wichtig, als diese das „host rock“ der Leukophyllite darstellen. Diese sind an die Überschiebungsbahnen der alpidischen (kretazischen) Überschiebung der Grobgnais-Einheit auf die Wechsel/Waldbach-Einheit gebunden. Dabei wird eine Aufspaltung eines basalen Hauptbruchs in mehrere Mylonithorizonte angenommen.

Bei den Vorauer Leukophylliten handelt es sich nach HOLZER & PROHASKA (1990), PROHASKA (1986, 1991) um Muskovit-Quarz-Chlorit-Mylonite, die unter hydrothermale Einfluss in der Grünschieferfazies gebildet wurden. Das Alter der Bewegung wird auf Grund von Messungen mit der $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Methode an Muskoviten mit 91 Millionen Jahren angegeben (DALLMEYER et al., 1992).

Im Messgebiet wurden von EBNER et al. (1993) 5 Züge von Leukophylliten mit stark schwankenden Mächtigkeiten von 0,5–15 m nachgewiesen. Für die geophysikalische Prospektion wichtig ist die Beobachtung, dass die Leukophyllite eine plattenförmige Geometrie besitzen und

Abb. 1.
Gesamtlageplan des Messgebietes
Vorau/Mühlgraben

eine streichende Länge von einigen 100 m als möglich erscheint.

3. Möglichkeiten und Grenzen der geophysikalischen Prospektion

Die Frage der Anwendbarkeit geophysikalischer Aufschlussverfahren (MILITZER & WEBER, 1985) stellt sich in zweierlei Hinsicht:

- Ist es überhaupt möglich, Leukophyllit in Kristallingesteinen nachzuweisen?
- Ist es unter den konkreten geologisch-lagerstättenkundlichen und topographischen Bedingungen möglich, einen Leukophyllitzug einer bestimmten Mindestgröße durch geophysikalische Oberflächenmessungen alleine zu orten und quantitativ abzugrenzen?

Bei der Beantwortung des ersten Teils der Fragestellung spielt die Petrophysik eine entscheidende Rolle. Die zweite Frage beinhaltet eine wesentlich komplexere Problemstellung, bei der das Erkennen der Grenzen der einzelnen geophysikalischen Verfahren unerlässlich ist.

3.1. Petrophysik

Aus dem Messgebiet stand eine begrenzte, für die Fragestellung ausreichende Anzahl von Proben eines jeden Gesteinstyps zur Verfügung. Die Ergebnisse sind jedoch ergänzt und abgesichert durch den Vergleich mit den Daten einer Messserie aus dem seinerzeitigen Internationalen Geodynamik-Projekt, bei dem in der NE-Steiermark ca. 1500 Proben untersucht worden waren (F. WEBER, G. WALACH et. al, 1981). Eine Übersicht über die Ergebnisse wird in der Tabelle 1 gegeben.

WALACH (1977) machte seinerzeit im Raum Vorau die Feststellung, dass die Leukophyllite mit Werten von 0,06 SI zu den Gesteinen mit den niedrigsten Suszeptibilitäten gehören.

3.2. Beurteilung der geophysikalischen Verfahren

3.2.1. Magnetik

Wie die Labormessungen eindeutig gezeigt haben, liegen die Suszeptibilitätswerte der Leukophyllite und der

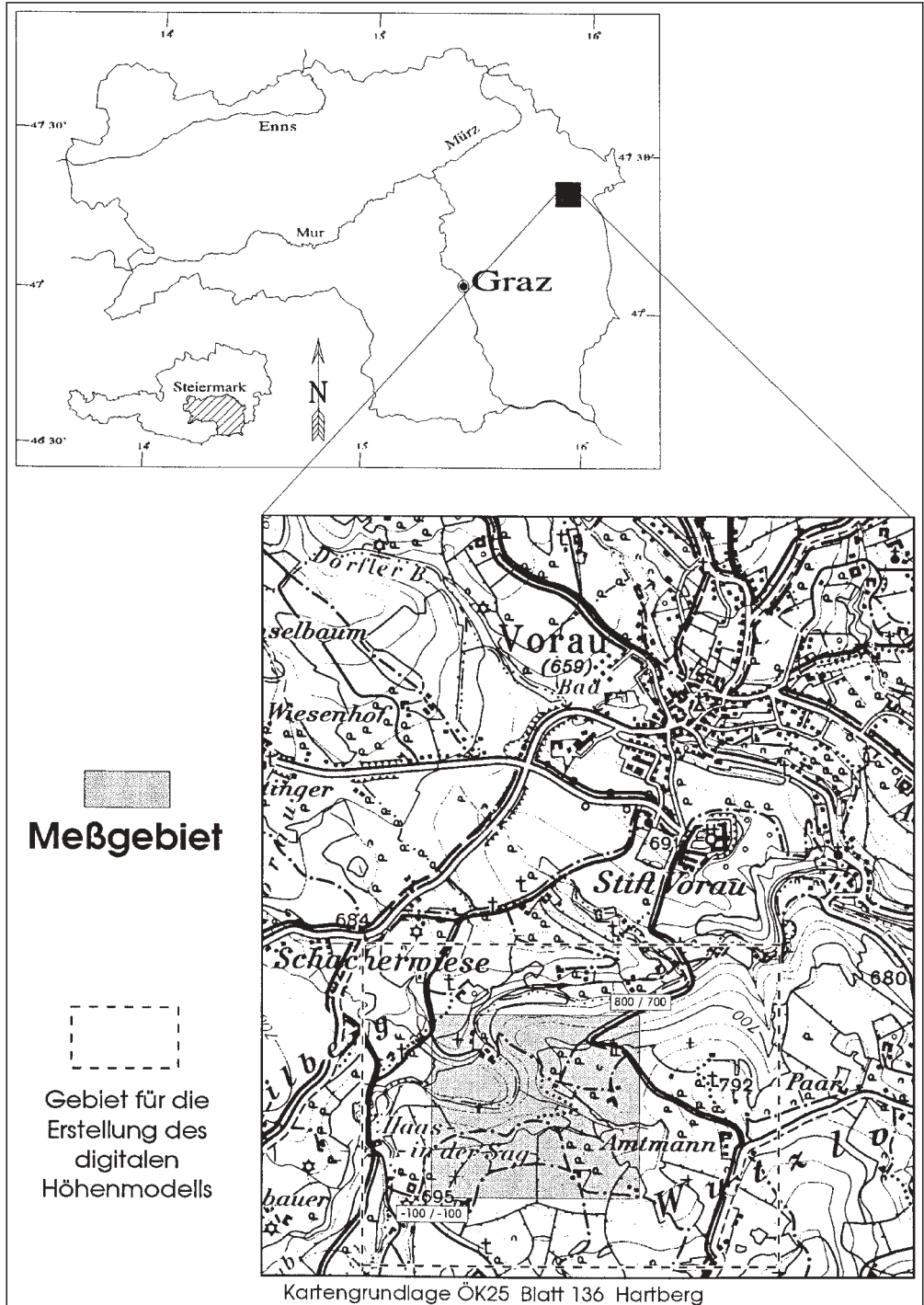


Tabelle 1.
Petrophysikalische Daten der Gesteine im Messgebiet

Gestein	Dichte in 10 ³ kg / m ³	Suszeptibilität SI * 10 ⁻³	P-Wellen Geschw. m / s	spez. elektr. Widerst Ohm.m
Leukophyllit	2,69 ± 0,02	0,03 - 1,0	3000 ± 500	800 - 4000
Leukophyllit Vorau	2,69 ± 0,02	0,06		800-4000
Granitgneis, dicht	2,68 ± 0,02	0,3	4800 - 5000	5000 - 10000
Grobgneis, tektonisch beanspr.	2,63 ± 0,02	0,3 - 1,0	3500-4000	2000 - 5000
Glimmerschiefer	2.68-2.70	0.2-0.6		
Kristallin.v. Waldbach		0,06		5000 - 10000

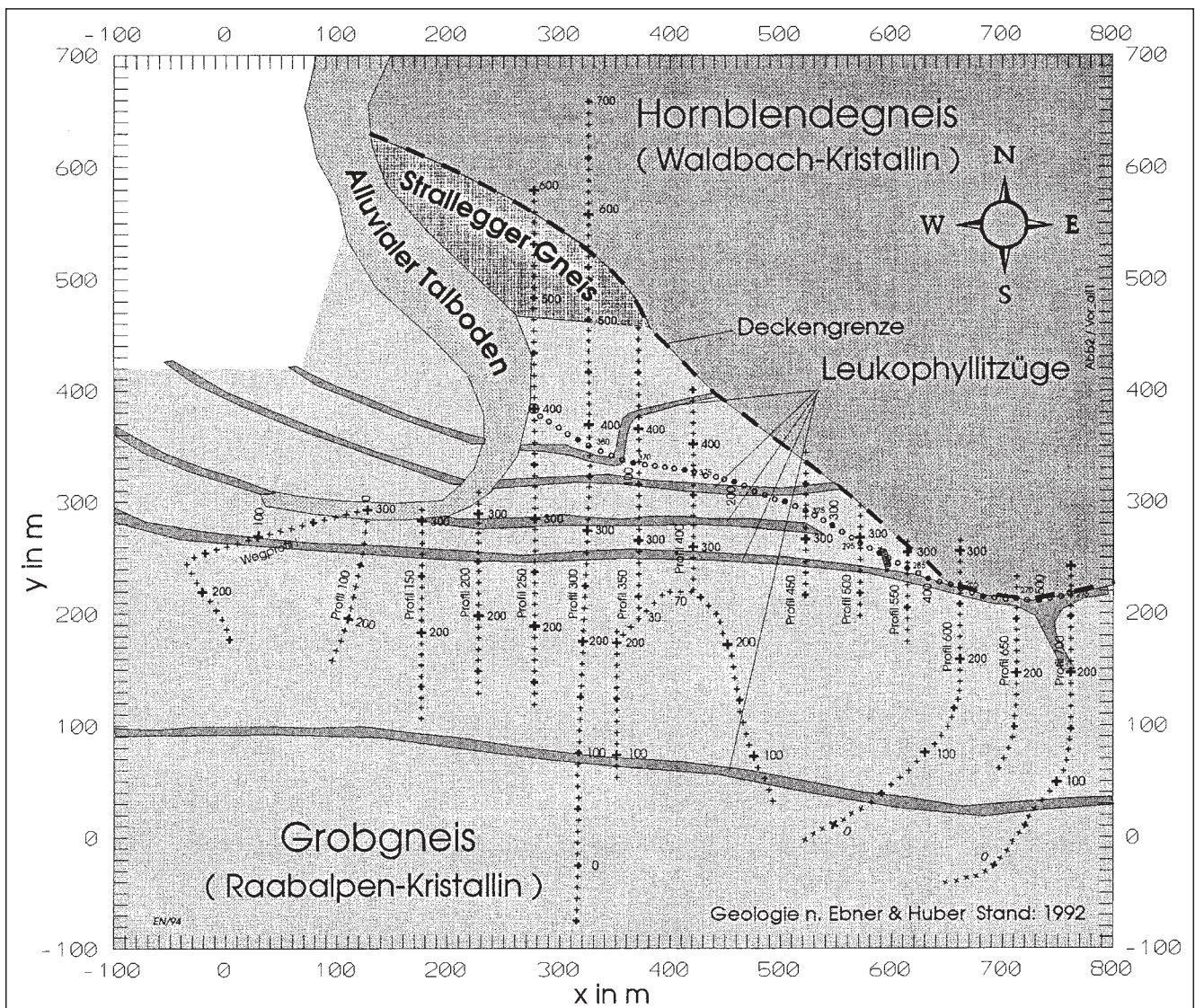


Abb. 2.
Geologie des Messgebietes (nach F. EBNER) und Lage der Messprofile.

diese umgebenden Grobneise in derselben Größenordnung, sodass die Magnetik als Prospektionsmethode ausscheidet. Es wurde daher von umfassenden Feldmessungen Abstand genommen. Lediglich am Profil 300 wurde eine Testmessung ausgeführt, die zwar Anomalien von 2–6 nT zeigte, jedoch keine Korrelation mit den bekannten Leukophyllitzügen (Abb. 3). In den Jahren 1975/76 wurde eine breite magnetische Traverse (Vertikalintensität) gemessen, die vom Wechsel im N bis in die Pöllauer Bucht im S reichte und auch den Raum Vorau umfasste (G. WALACH, 1977). Der relativ große Messpunktabstand von meist einigen 100 m gestattet nur eine grobe Korrelation mit den geologischen Grenzen, nicht jedoch mit lokalen Strukturen. Dennoch ist es bemerkenswert, dass G. WALACH die südlich von Vorau weit nach SW vorspringende Minimumzone mit dem Auftreten von Leukophylliten in Zusammenhang brachte und darauf hinwies, dass die magnetische Minimumzone eine tektonische Linie abzubilden scheint.

3.2.2. Gravimetrie

Die Leukophyllite weisen nach der Petrophysik keinen signifikanten Dichteunterschied zu den Grobneisen auf, lediglich die tektonisch beanspruchten Grobneise zeigen um $0,06 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ geringere Dichten. Wenn man jedoch

die übrigen, für die Gravimetrie maßgeblichen Faktoren berücksichtigt (unregelmäßige Topographie, Verwitterungsschicht lateral wechselnder Mächtigkeit, Dichteänderungen in Verwitterungsschicht und Kristallin), dann dürfte auch die Gravimetrie als erfolgversprechende Prospektionsmethode ausscheiden. Eine Überschlagsrechnung zeigt, dass bei einer Genauigkeit der Daten von $\pm 0,05 \text{ mgal}$ ein plattenförmiger Leukophyllitkörper von 2 m Mächtigkeit bereits bei einer Oberkantentiefe von 3 m eine Anomalie ergibt, die im Bereich der Fehlergrenze liegt.

3.2.3. Refraktions- und Reflexionsseismik

Der Refraktionsseismik wäre schon allein aus Kostengründen der Vorzug zu geben, falls entsprechende Aufgabenstellungen möglich wären. Dies erscheint jedoch im Kristallin schwer denkbar, lediglich eine gewisse Geschwindigkeitskartierung der Kristallinoberkante ist mit genügender Genauigkeit möglich. Die Leukophyllitzüge können innerhalb der Grobneise nicht direkt aufgefunden werden, da sie sich auf Grund ihrer geringeren Geschwindigkeit im Bereich einer seismischen „Blindzone“ befinden.

Grundsätzlich besser könnten die Anwendungsmöglichkeiten der Reflexionsseismik, vor allem der Hochfrequenz-reflexionsseismik beurteilt werden, da auch ein negativer Geschwindigkeitsunterschied eine Reflexion, allerdings mit

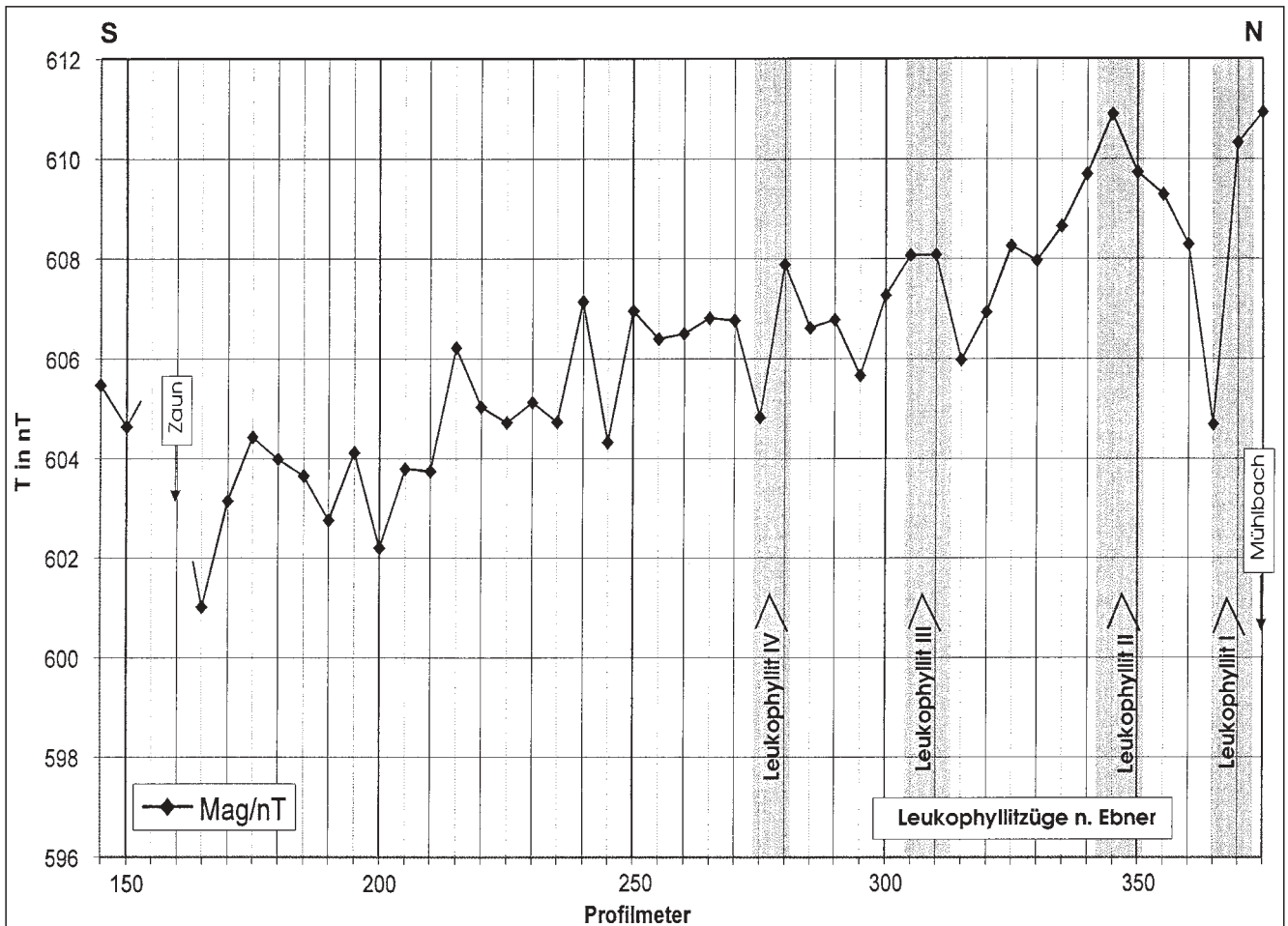


Abb. 3.
Magnetik-Profil 300.

umgekehrten Vorzeichen, liefern kann. Tatsächlich wäre bei einem Geschwindigkeitsunterschied zwischen Grogneis und Leukophyllit von 1000 m/s und einem Dichtunterschied von 0.05 g/cm^3 ein negativer Reflexionskoeffizient von 0.12 zu erwarten. Da sich die Prospektion jedoch in einem geringen Tiefenbereich bewegt, liegt das Problem beim Auflösungsvermögen. Eine Überschlagsrechnung ergibt, dass ein Leukophyllitzug eine Mindestmächtigkeit von ca. 10 m haben müsste, um eine erkennbare Reflexion zu liefern. Der für die Praxis interessante Laufzeitbereich dürfte zwischen 20–50 m/s liegen, woraus sich unter Berücksichtigung der Randbedingungen (Topographie, Störwellen, Verwitterungsschicht) extrem hohe Anforderungen an die Datengewinnung stellen. Als Routinemethode der Prospektion auf Leukophyllit kann daher die Hochfrequenzseismik mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

3.2.4. Elektromagnetik

Unter dem Gesichtspunkt der Durchführbarkeit der Feldmessungen hätten elektromagnetische Messungen erhebliche Vorteile, wobei vor allem an die Slingram-Verfahren gedacht wird. Durch die Verwendung von Spulen an Stelle von Elektroden gibt es keine Ankopplungsprobleme und die Messung erfolgt rascher und es sollten auch durchaus interessante Eindringtiefen möglich sein. Das Problem bilden jedoch die noch immer schlechten Leitfähigkeiten auch wassergesättigter Leukophyllite. Es haben nun Versuchsmessungen mit einem Messgerät EM-31 der Fa. Geonics eindeutig gezeigt, dass selbst unter günstigsten Voraussetzungen über Leukophyllitzügen in geringer Tiefe die erhaltenen Signale an der Grenze des Auflö-

sungsvermögens liegen. Auch Versuche mit einem VLF-Gerät brachten kein positives Resultat, da die Empfangsbedingungen sehr schlecht waren.

3.2.5. Widerstandsverfahren-Gleichstromgeoelektrik

(KOEFOED, 1979; ZHDANOV & KELLER, 1994, NIESNER, 1990, 1992, 1993)

Widerstandstiefensondierung

Auf Grund der lagerstättenkundlichen und örtlichen Gegebenheiten, wie dem durch die Tektonik stark inhomogenen Aufbau des Untergrundes und eine raue Topographie, war auch die geoelektrische Tiefensondierung als eine für die Prospektion nicht geeignete Methode zu betrachten. Vor allem bei größerer Tiefenlage der Leukophyllite war das Verhältnis der Schichtmächtigkeit derselben zum Hangenden zu ungünstig. Auch von der Kostenseite her war die Tiefensondierung nicht zu vertreten. Es musste eine Methode eingesetzt werden, die einen großen Messfortschritt garantiert und eine gute laterale Auflösung gewährleistet. Als eine für die gegenständliche Fragestellung aussichtsreiche Methode wurde die Tripotentialmessung erachtet.

Widerstandskartierung – Tripotentialmessungen

Die in der Literatur dargestellten Grundlagen lassen bereits die Vorzüge der Methode erkennen (ACWORTH & GRIFFITHS, 1985). Hierbei können 3 Messungen bei ein- und derselben Elektrodenanordnung gemacht werden;

Wenner Alpha: AMNB normale Wenneranordnung
a = konstant = $AB/3$

Wenner Beta: ABNM Dipol-Dipolanordnung
AB = MN = a

Wenner Gamma: AMBN

Nur bei homogenem Untergrund ergeben die 3 Messungen denselben Widerstandswert. Die Tripotentialmethode weist gegenüber der konventionellen Widerstandskartierung folgende Vorteile auf:

- Bessere Erfassung von lateralen Widerstandsänderungen
- Möglichkeit der Berechnung eines Messfehlers und Qualitätsbeurteilung der Messung
- Bildung von Widerstandsverhältnissen.

Das Verhältnis von Wenner Beta/Wenner Gamma hat sich für die Auswertung als besonders aussagekräftig erwiesen (EDWARDS, 1977). Die Wenner-Beta-Anordnung hat eine etwas kleinere Eindringtiefe als die Wenner-Gamma-Anordnung. Dadurch wird der Widerstandsgradient im Bereich der mittleren Eindringtiefe einer Elektrodenanordnung wiedergegeben. Bei einem Verhältnis kleiner als 1 nimmt der Widerstand mit der Tiefe zu, im umgekehrten Fall ab. Beim Übergang von Beta/Gammawerten kleiner zu größer als 1 bzw. umgekehrt wird die Lage einer Schichtgrenze im Untergrund angegeben. Zur Verfolgung dieser Schichtgrenze mit der Tiefe – was bei einem Einfallen des Leithorizontes wesentlich ist – muss mit verschiedenen Elektrodenabständen gemessen werden.

3.2.6. Induzierte Polarisation (IP)

Das Polarisationsverhalten von Gesteinen und Mineralien ist ein Grenzflächenphänomen, das besonders bei Nichterzen komplexer Natur ist (FINK et al., 1990). Auf Grund von Labormessungen musste angenommen werden, dass in Leukophylliten nur niedrige Polarisierbarkeiten auftreten. Ein Analogieschluss schien – mit Vorbehalt – bei den bisher untersuchten Rohstoffen eventuell mit Kieselgur möglich, aus der Literatur waren keine verwertbaren Angaben zu erhalten. Bei dieser Sachlage schien daher die Durchführung von Testmessungen über anstehenden Leukophyllitzügen der einzige erfolgversprechende Weg zu sein. Diese ergaben, dass die Leukophyllite niedrigere Polarisierbarkeiten als die Grobgnese aufweisen, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass die Gneise doch einen, wenn auch minimalen Gehalt an polarisierbaren Erzmineraleinhalten enthalten.

Der Vorteil der IP-Messung ist der, dass neben der Angabe der Polarisierbarkeit ohne zusätzlichen Aufwand auch der elektrische Widerstand gemessen wird und dabei „Pseudotiefensektionen“ konstruiert werden können. Da die IP-Messungen bei größeren Elektrodenabständen (30 und 60 m) gemessen wurden, stellen die dabei erhaltenen Widerstandswerte eine wichtige Ergänzung zu den mit kleinerem Spacing gemessenen Widerstandswerten der Tripotentialkartierung dar. Die relativ große Eindringtiefe der Methode bildete weiters einen entscheidenden Vorteil. Andererseits zählt die IP-Methode wegen des doch beträchtlich höheren Aufwandes bei der Datengewinnung und Auswertung zu den kostenmäßig anspruchsvollen Verfahren, so dass die Anwendung im gegenständlichen Fall nur in einem eng begrenzten Rahmen möglich war.

3.2.7. Eigenpotentialmethode (SP)

Für die Entscheidung, Eigenpotentialmessungen auszuführen war maßgeblich, dass lokale Testmessungen das Auftreten von SP-Anomalien, wenn auch mäßiger Amplitude ergeben haben. Als ein vorläufiges Ergebnis der Versuchsmessungen konnte auch festgehalten werden, dass über Leukophylliten positive SP-Spitzen auftreten. Nun gibt es für die Entstehung von natürlichen Eigenpotentialen verschiedene Ursachen (elektrochemische, elektrokinetische), sodass eine eindeutige Korrelation mit Leukophylliten nicht überall angenommen werden kann. Auf Grund der örtlichen Verhältnisse muss auch mit dem Auftreten von Strömungspotentialen gerechnet werden. Trotz dieser

Unsicherheiten in der Zuordnung der SP-Anomalien schien die Entscheidung für den Einsatz der Methode gerechtfertigt, da es sich um ein schnelles, einfach zu handhabendes und kostengünstiges Verfahren handelt. Durch die Verwendung einer Multielektrodenanordnung, die im gegenständlichen Fall nicht zur Verfügung stand, könnten weitere Vorteile der Methode, vor allem in Hinblick auf eine flächendeckende Messung, realisiert werden.

3.3. Modellrechnungen

Da in der Literatur zu dem vorliegenden Prospektionsproblem keine geeigneten Modellrechnungen bezüglich der Auswirkungen von steil einfallenden Platten auf die Widerstands-Messkurven von Wenner-Alfa, Wenner-Beta und Wenner-Gamma bzw. auf das Verhältnis Wenner-Beta/Wenner-Gamma und den IP-Effekt gefunden werden konnten, wurde ein diesbezügliches Modell aufgestellt und modelliert (nach RIJO, 1987). Angenommen wurde eine einfallende Platte (Leukophyllite) mit einem mittleren Widerstand von 2000 Ohm·m, einer Mächtigkeit von 10 m und einer Überdeckung von 1 m eingebettet in hochohmige Gneise mit mittleren Widerständen von 15000 Ohm·m. Die Modellrechnungen wurden für verschiedene Elektrodenabstände von 5 bis 20 m und einer Variation von n zwischen 1 und 4 durchgeführt (NIESNER, E. & WEBER, F., 1994). Typische Ergebnisse dieser Modellrechnungen zeigt die Abb. 4 für ein Elektroden-spacing von 5 m und $n = 1$. Aus den Ergebnissen der Modellrechnungen ist auch ersichtlich, dass die Verwendung von größeren n -Werten in diesem Fall nicht vorteilhaft ist, da die Elektrodeneffekte dadurch stark ansteigen und damit nicht mehr die hohe laterale Auflösung erreicht werden kann. Die wichtigsten Ergebnisse aus den Modellrechnungen für den Nachweis der Leukophyllitzüge sind:

- Es treten zwei Maxima in der R-Beta/R-Gamma-Kurve auf.
- Die R-Alfa-Kurve zeigt ein deutliches Minimum.
- Die Maxima der R-Beta/R-Gamma-Kurve sind asymmetrisch, wobei die Asymmetrie einen Rückschluss auf das Einfallen ermöglicht.
- Links und rechts der Anomalie liegen die Werte nahe bei 1 (homogener Untergrund).
- Im Zentrum der Anomalie liegen die R-Beta/R-Gamma-Werte jedoch deutlich unter 1.
- Der Abstand zwischen den „Eins“-Durchgängen ist ca. doppelt so groß wie die Mächtigkeit der Platte.
- Die Oberkante des Störkörpers liegt näher an der stärker ausgebildeten R-Beta/R-Gamma-Anomalie.
- Unter Berücksichtigung der effektiven Eindringtiefe der Elektrodenanordnung ($z_{\text{eff}} = 0.6 \cdot l$) liegt die Widerstands-anomalie (der Leukophyllitzug) direkt unter der in Richtung des Einfallens liegenden Anomalie des Widerstandsverhältnisses R-Beta zu R-Gamma.
- Innerhalb des Minimums ist ein Elektrodeneffekt erkennbar.

Neben dem Widerstandsminimum ist daher auch das wesentlich schärfer ausgebildete Verhältnis von R-Beta zu R-Gamma zum Nachweis der Leukophyllitzüge geeignet. Störend auf die Interpretation wirkt sich jedoch das zweite auftretende Maximum, das lagemäßig mit keinem Leukophyllitzug zusammenfällt, aus. Theoretisch ließe sich zwar eine Trennung dieser beiden Anomalien durchführen, da die Haupteinfallrichtung der Leukophyllite etwa Richtung S ist und somit nur die südlich von Widerstandsminima auftretenden R-Beta- zu R-Gamma-Anomalien Leukophyllitzügen zuzuordnen sind. Überlagerungen der Anomalien benachbarter Leukophyllitzüge und Inhomogenitäten in der Deckschicht lassen jedoch eine klare Trennung nicht zu. Dies führt zu erheblichen Schwierigkeiten bei der Interpretation der Messergebnisse.

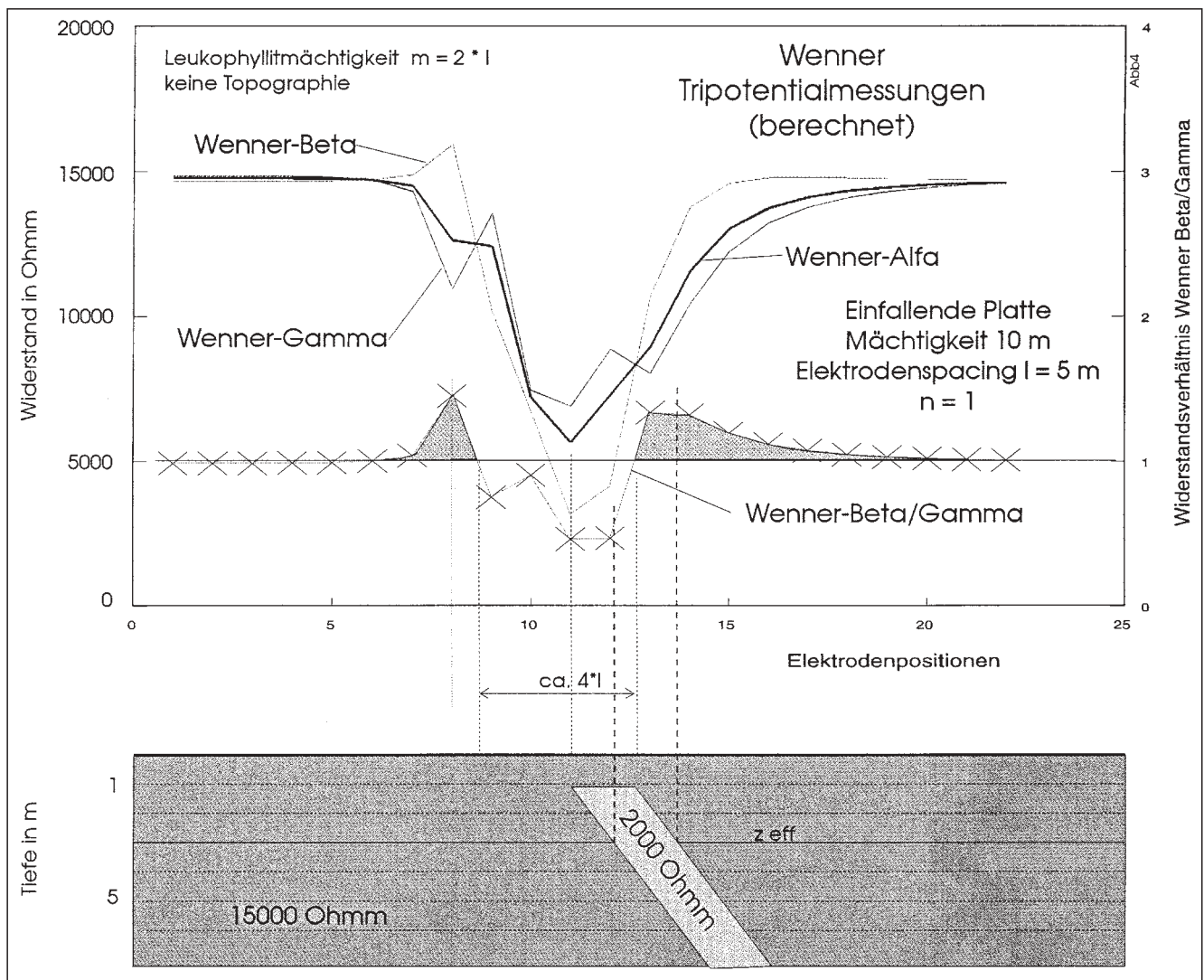


Abb. 4. Modellrechnung mit der Methode der finiten Elemente (Einfallende niederohmige Platte).

4. Feldmessungen

Das Messgebiet wurde unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung, der geologischen Verhältnisse und der Topographie durch Längs- und Querprofile unterteilt (Abb. 2). Es kamen 13 größtenteils N-S-verlaufende Längsprofile zur Ausführung, deren Länge von 100–750 m variierte. Die Profile 600 und 700 weisen aus Geländegründen im S einen nach SW gekrümmten Verlauf auf.

Bei den Querprofilen ist das dem Mühlgraben folgende Profil deshalb besonders wichtig, da es 4 anstehende Leukophyllitzüge quert. Im W erstreckt sich das „Wegprofil 1“, das zunächst nach SW verläuft, bei Messpunkt 170 aber nach SE umbiegt. Ferner ist ein von Profil 350 ausgehendes Querprofil zu erwähnen, das einen nach N konvexen Bogen bildet und über den südlichsten Leukophyllitzug verläuft.

Der Messpunktabstand für die Widerstandskartierung wurde wegen der notwendigen hohen lateralen Auflösung der Messungen wesentlich kleiner als üblicherweise bei Standardmessungen verwendet gewählt und beträgt generell 5 m. Die Elektrodenabstände a betragen 5, 10 und 20 m. Bei den IP-Messungen (Dipol-Dipol-Konfiguration) kamen noch Elektrodenabstände von 30 m und 60 m hinzu. Bei der IP-Messung, die nur auf dem Profil 300 erfolgte, betrug der Messpunktabstand zwecks Erzielung eines optimalen Auflösungsvermögens ebenfalls 5 m.

Auch die Eigenpotentialmessungen wurden auf allen Profilen mit einem Messpunktabstand von 5 m durchgeführt.

Die Feldmessungen wurden in der Zeit von 5. bis 23. 7. 1993 (Widerstands- und SP-Messungen) und vom 4. bis 6. 10. 1993 (IP-Messungen) unter der Leitung von Doz. NIESNER durchgeführt. Einen Überblick über die ausgeführten Messungen und die Verteilung auf den einzelnen Profilen gibt die Tabelle 2.

Insgesamt ergibt sich eine Gesamtlänge der Messprofile von 4,63 km; auf dieser Strecke waren ca. 3000 Messpunkte situiert und unter Berücksichtigung der mehrmaligen Messungen pro Punkt beim Tripotentialverfahren resultieren daraus über 10.000 Einzelmessungen.

5. Auswertung

5.1. Profilauswertung dargestellt am Beispiel von Profil 300

Das Profil 300 (Abb. 5) ist deshalb von besonderer Bedeutung, da es als längstes N-S-Profil alle Leukophyllitzüge quert und hier auch Versuchsmessungen mit allen in Frage kommenden Verfahren ausgeführt wurden. Da die Deckengrenze Waldbach-/Raabalpen-Kristallin geschnitten wurde, ist ein Beitrag zu der Frage zu erwarten, wie sich eine Überschiebung im Kristallin in den geophysikalischen Daten ausprägt. Durch den Umstand, dass Verfahren mit unterschiedlicher Eindringtiefe zur Anwendung

Tabelle 2.
Eingesetzte Feldmessverfahren.

Profil Nr.	Länge in m	SP V	Wenn./Tri 5m			Wenn./Tri 10m			Wenn./Tri 20m			Mag T	Szint CR	IP 30m		IP 60m	
			α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ			R	CH	R	CH
			000 Weg 1	250	x	x	x	x									
100	100	x	x	x	x	x	x	x									
150	190	x	x	x	x	x	x	x									
200	200	x	x	x	x	x	x	x									
250	460	x															
300	600	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
350	390	x															
350a	220					x	x	x									
400	380	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
450	120	x															
500	100	x	x	x	x	x	x	x									
550	90	x															
600	330	x	x	x	x	x	x	x									
650	180	x															
700	350	x	x	x	x	x	x	x									
800 Bach	540	x															
900 Bach	130					x	x	x									

gelangten, konnten oberflächennahe, verwitterungsbedingte Einflüsse erkannt und berücksichtigt werden.

5.1.1. Widerstandsmessungen

Eine qualitative Information über die Verteilung der scheinbaren elektrischen Widerstände und deren laterale und vertikale Änderungen erhält man bereits beim Vergleich der Widerstandskurven Wenner Alpha mit 5, 10, 20 m (Abb. 5) bzw. Wenner Beta mit 30 und 60 m (Abb. 6) Elektrodenabstand. Allgemein lässt sich erkennen, dass die Messungen mit kleinem Spacing ein großes laterales Auflösungsvermögen im oberflächennahen Bereich aufweisen und damit

auch Gesteinsgrenzen mit zufriedenstellender Genauigkeit angeben. Die Messungen mit großem Spacing liefern Widerstandswerte, die sich dem wahren Gesteinswiderstand zwar annähern, aber bei beträchtlich vermindertem Auflösungsvermögen. Bei den gegebenen Verhältnissen dürfte die Widerstandskurve mit 10 m Spacing für die geologische Auswertung besonders prädestiniert sein, da hier die Einflüsse der Verwitterungsschicht schon weitgehend unterdrückt sind.

Die Widerstandskartierung mit 5 m Spacing gibt ein sehr detailliertes Bild und könnte sogar als Unterstützung für die geologische Kartierung herangezogen werden (Abb. 5). Die bei $x = 530$ m angenommene Deckengrenze des Waldbach-/Raabalpenkristallins macht sich durch ein breiteres Widerstandsminimum deutlich bemerkbar. Während die Hornblendgneise im N hochohmig (R5 bis 6000 Ohm·m) sind, sinken die scheinbaren Widerstände im Bereich der Überschiebung bis auf unter 1000 Ohm·m herab. Weiter nach S folgt im Stralleggergneis und Grobgnais wieder ein hochohmiger Bereich mit R5-Werten von 9000 Ohm·m. Im Mühlgraben ist ein markantes, mindestens 40 m breites Widerstandsminimum ausgebildet, in dem die R5-Widerstände bis auf 800 Ohm·m abnehmen. Südlich des Grabens erstreckt sich ein ähnlich ausgebildetes Widerstandsmaximum wie nördlich desselben etwa bis zum Punkt $x = 250$ m. Der südlichste Abschnitt ist durch relativ niedrige Widerstände um 2000–3000 Ohm·m ausgezeichnet.

Auf Grund der petrophysikalischen Daten und der Modellrechnungen sollten sich die Leukophyllitzüge durch Widerstandsminima bemerkbar machen. Nach der geologischen Kartierung wären die Leukophyllitzüge bei folgenden Positionen zu erwarten: Lk I, $x = 335$ – 340 m; Lk II, $x = 315$ – 325 m; Lk III, $x = 277$ – 285 m; Lk IV: $x = 245$ – 255 m; Lk V, $x = 64$ – 73 m.

Eventuell vorhandene Widerstandsabnahmen im Zusammenhang mit den Leukophylliten I und II gehen in dem großen Widerstandsminimum des Mühlgrabens anscheinend weitgehend unter. Erst der Leukophyllitzug III lässt sich durch ein schmales, aber kräftiges Widerstandsminimum etwa an der erwarteten Stelle gut korrelieren. Das Vorkommen IV kann ebenfalls durch ein Widerstandsminimum als durch die Geoelektrik gesichert bezeichnet werden.

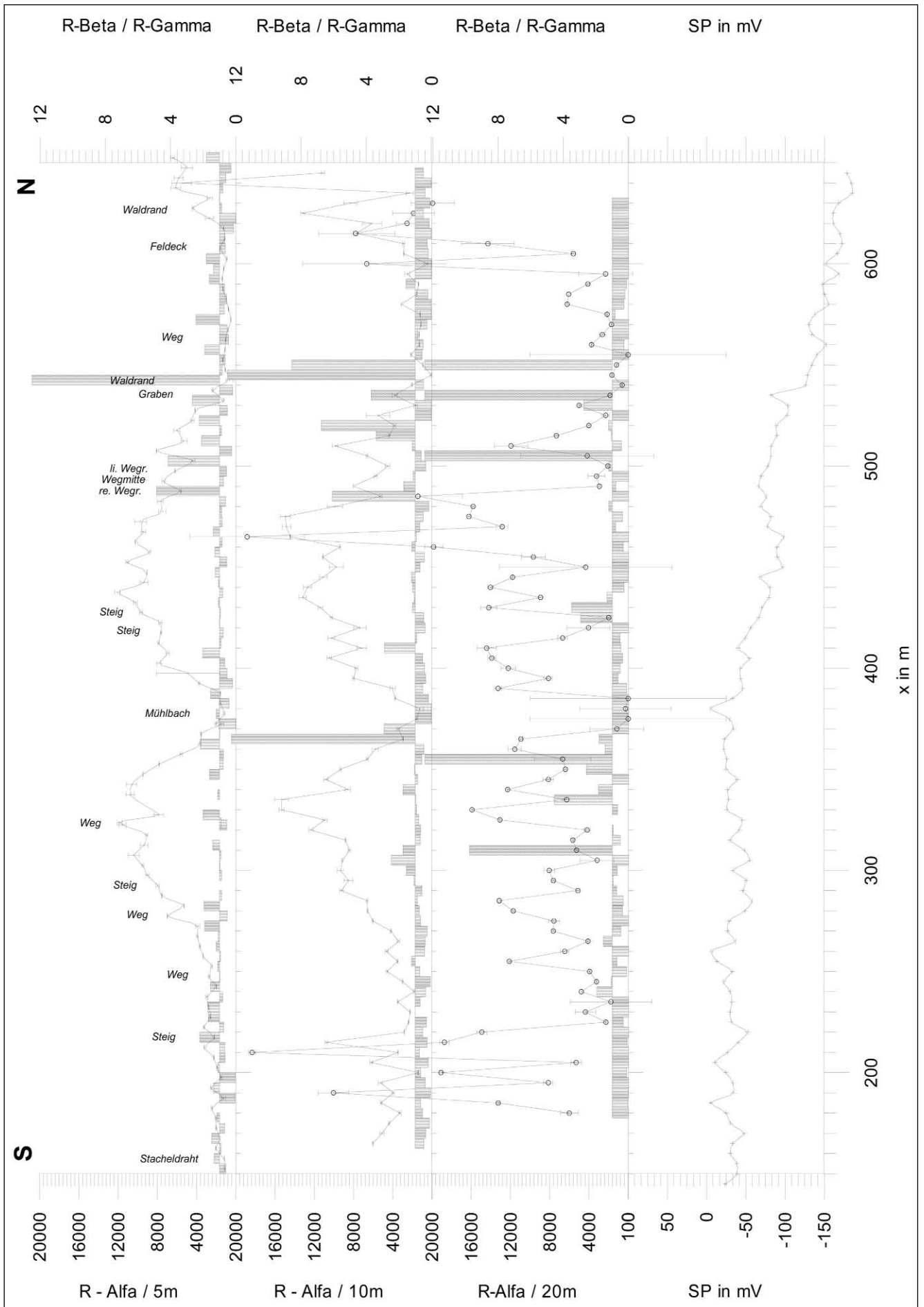
Die Widerstandskartierung mit dem 10-m-Spacing zeigt etwa dasselbe Grundmuster der Widerstandsverteilung wie beim 5-m-Spacing. Ein Maximum im Bereich des Waldbachkristallins wird gefolgt von den anderen erwähnten Merkmalen. Es gibt anscheinend auch markante Widerstandsminima, die nicht auf Leukophyllite zurückgeführt werden können, z.B. im N des Profils bei $x = 590$ – 600 . Die Leukophyllitzüge I–IV lassen sich durch Widerstandsminima oder zumindest durch eine Trendumkehr der Widerstandskurve erkennen. Deutlich sichtbar ist diese in den Details der Kurve des 5-m-Spacings.

Ein wesentlich verändertes Bild zeigt die R20-Widerstandskurve. Die großräumigen Widerstandselemente sind in den Grundzügen erhalten. Charakteristisch ist, dass die positiven und negativen Anomalien beträchtlich höhere Amplituden aufweisen. Auch hier scheinen kräftige Widerstandsminima auf, die anscheinend in keinem Zusammenhang mit dem Auftreten von Leukophyllit stehen. Bemerkenswert ist weiters, dass die Amplitude des Widerstandsminimums im Mühlgraben beträchtlich abgenommen hat. Im südlichen Profiteil dominiert ein markantes Widerstandsmaximum in den Grobgnais. Die Leukophyllitzüge können durch Widerstandsminima nachgewiesen werden.

Die beiden Widerstandskartierungen von R30 und R60 der IP-Messungen zeigen zunächst klarer als bei der R20-Kurve die regionale Widerstandsgliederung an (Abb. 6). Es fällt auf, dass das Widerstandsminimum im Mühlgraben bei der R60-Kurve breiter als bei der R30-Kartierung wird, also auch die zugrundeliegende Struktur mit zunehmender Eindringtiefe breiter wird. Das Minimum im Bereich des Strallegger Gneises wird dagegen mit zunehmender Eindringtiefe schmaler.

Die Eindringtiefen betragen bei der gegebenen Elektrodenkonfiguration 18 m bzw. 36 m. Wenn man nun eine Anomalie auf beiden Kurven korrelieren kann, ist die Annahme berechtigt, dass sie eine gemeinsame Ursache haben. In einem nächsten Schritt wird die Lage der Anomalie bei der effektiven Eindringtiefe der betreffenden Anordnung eingezeichnet und die beiden Punkte werden verbunden. Daraus lässt sich ein generelles Einfallen des

Abb. 5.
Geoelektrik und SP (Profil 300).



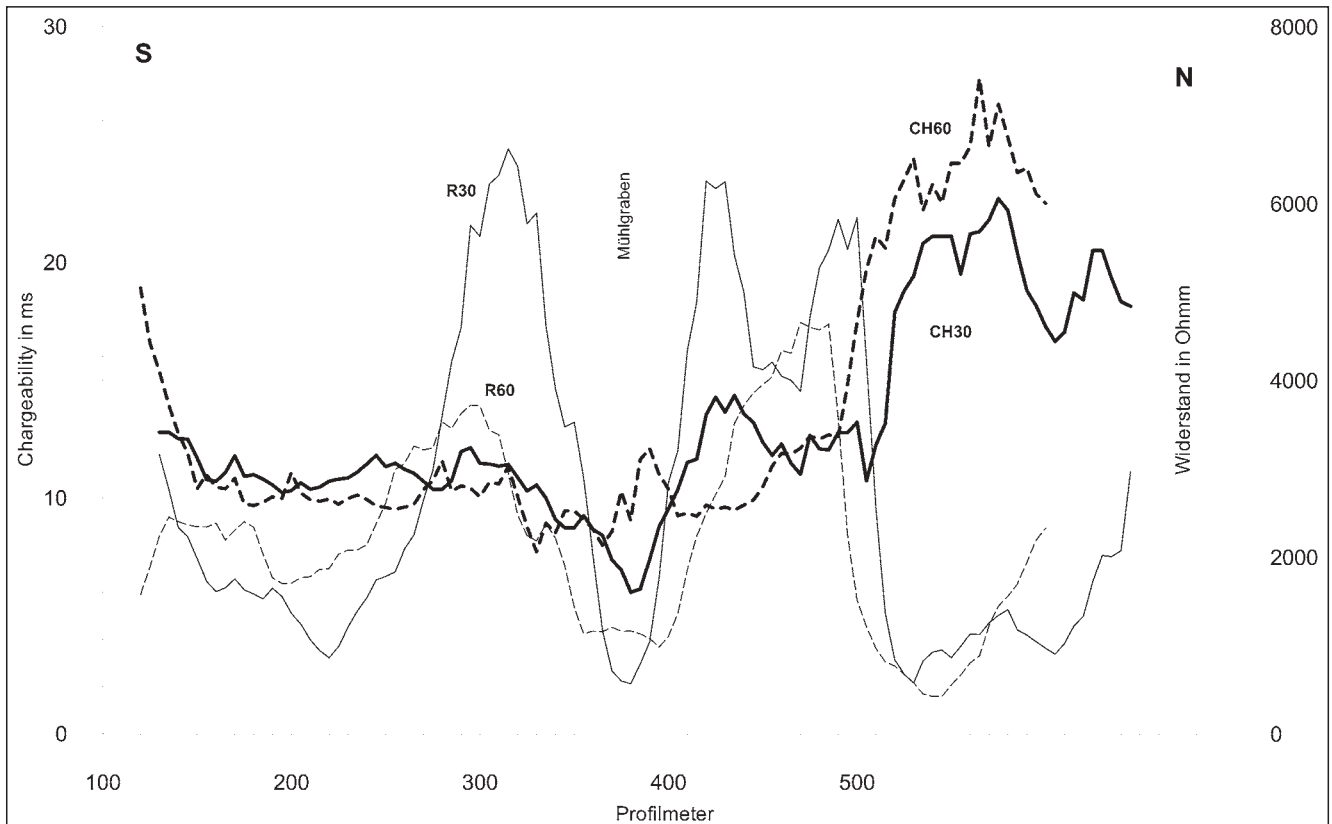


Abb. 6.
Profil 300 – Induzierte Polarisierung (Dipol-Dipol mit $a = 30$ m und 60 m und $n = 1$).

geoelektrischen Störkörpers konstruieren. Durch Extrapolation dieser Neigungselemente an die Erdoberfläche kann die Zugehörigkeit der Anomalie zu einem Leukophyllithorizont mit großer Wahrscheinlichkeit angegeben werden. In der Abb. 7 wurde die Signifikanz der ausgewerteten Widerstandsanomalien durch unterschiedliche Strichstärke wiederzugeben versucht. Generell lassen sich bei der Widerstandskartierung mehr Anomalien angeben, als Leukophyllitzüge vorhanden sind. Daraus ergibt sich, dass durch die bloße Angabe der Widerstandsminima alleine die Feststellung der Leukophyllitzüge im Untergrund und ihre Ausdehnung nicht möglich ist. Zu deren Erkennung bedarf es weiterer Auswertungsschritte. Es ist aber bemerkenswert, dass alle ausgewerteten Elemente in die selbe Richtung einfallen.

Ein solcher ist die Ermittlung des Widerstandsverhältnisses Wenner Beta/Gamma. Wie bei der Modellrechnung festgestellt wurde, liegen bei Vorhandensein von Leukophyllit die Werte deutlich über 1 und das Mineralvorkommen befindet sich direkt unter der Anomalie. Für die Auswertung wurden die 3 Verhältniskurven B/G 5, B/G 10, B/G 20 herangezogen (Abb. 8). Diese zeigen im Bereich der Strallegger Gneise bedeutende Anomalien. Im Einflussbereich der Leukophyllitzüge sind dagegen nur schwache Anomalien vorhanden.

Bei der Darstellung von B/G 10 sind zwar mehrere bedeutende Anomalien vorhanden, auch beim Leukophyllitzug I ist eine bedeutende Anomalie ausgebildet. Eine solche fehlt beim Leukophyllit II, während Leukophyllit III wiederum durch eine breite Anomalie mäßiger Amplitude gekennzeichnet ist. Leukophyllit IV macht sich hierbei nicht bemerkbar.

Bei der Darstellung von B/G 20 zeigen die Leukophyllitzüge I und II niedrige Anomaliewerte, während anscheinend Leukophyllit III mit einer kräftigen Anomalie verbunden ist. Leukophyllit IV findet in der Kurve keine Wiedergabe.

Als Prospektionshinweis nur teilweise verwertbar dürften die Ergebnisse der Messungen der Induzierten Polarisierung sein, wobei sich die Leukophyllite gegenüber den Gneisen durch niedrigere Polarisierbarkeiten unterscheiden müssten. Es fällt auf, dass der Bereich des Mühlgrabens von einer großen negativen Anomalie dominiert wird. Niedrige Polarisierbarkeiten finden sich auch im Bereich der Leukophyllite III und IV. Zwei außerordentlich hohe IP-Anomalien treten in beiden Kurven etwa bei $x = 25$ und 80 m auf, die mit großer Wahrscheinlichkeit eine künstliche Ursache haben.

Da die geometrischen Voraussetzungen der Widerstandsmessungen bei größerem topographischem Relief nicht ausreichend erfüllt sind, war eine Topographiekorrektur der Widerstandsmessung bei der Auswertung notwendig. Dabei wurde eine idealisierte ebene Oberfläche mit Hilfe eines Least-Square-Verfahrens berechnet und von dieser aus die Lage des jeweiligen Tiefenpunktes ermittelt.

Einen weiteren Schritt zur Ausschöpfung der Möglichkeiten der Widerstandsverfahren bildet die quantitative Darstellung in Form eines Widerstandstiefenprofils (Abb. 9). Durch die integrierte Darstellung mit den geoelektrischen Anomalien und den Leukophyllitzügen ergibt sich unter Berücksichtigung der starken Überhöhung eine weitere Interpretationsmöglichkeit.

5.1.2. Eigenpotentialmessungen

Um die Aussagemöglichkeiten weiterer kostengünstiger geoelektrischer Verfahren auszunutzen, wurden auch Eigenpotentialmessungen ausgeführt. Es zeigte sich, dass auf Profil 300 zahlreiche SP-Anomalien unterschiedlicher Amplitude, Wellenlänge und Vorzeichen auftreten. Bemerk-

Abb. 7. (S. 107) ➔
Interpretation der IP-Messungen auf dem Profil 300 (Messungen skaliert auf maximale Dynamik).

R30, R60 Widerstand Dipol-Dipol mit 30 bzw. 60 m Elektrodenabstand
 CH30, CH60 Chargeability gemessen mit 30 bzw. 60 m Elektrodenabstand
 MF30, MF60 Metallfaktor 100000/(R30*CH30) bzw. 100000/(R60*CH60)

- niederrhmige Zonen (Leukophyllit ?)
- Marker aus Meßkurven
- - - - - Marker aus Meßkurven

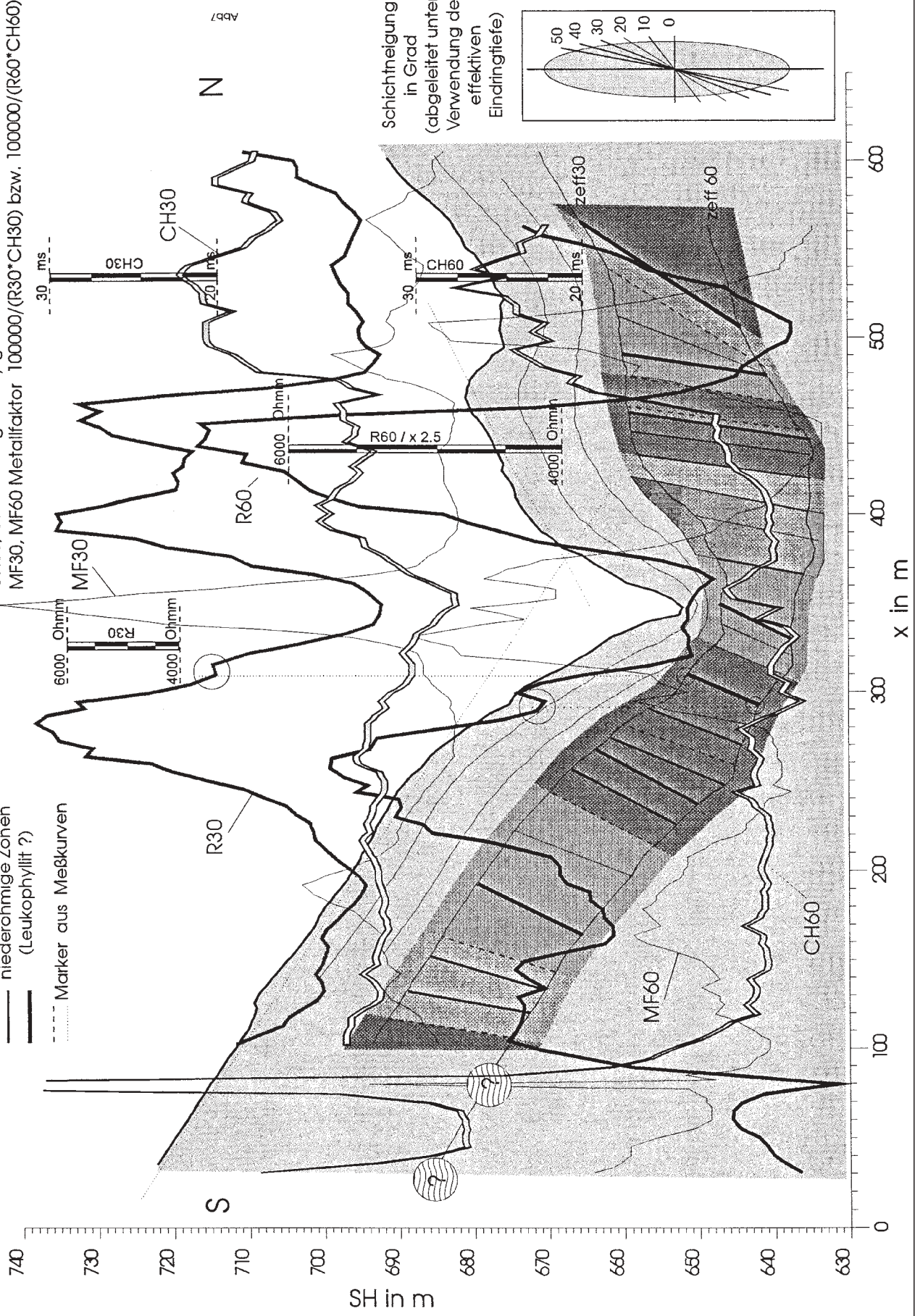


Abb 7

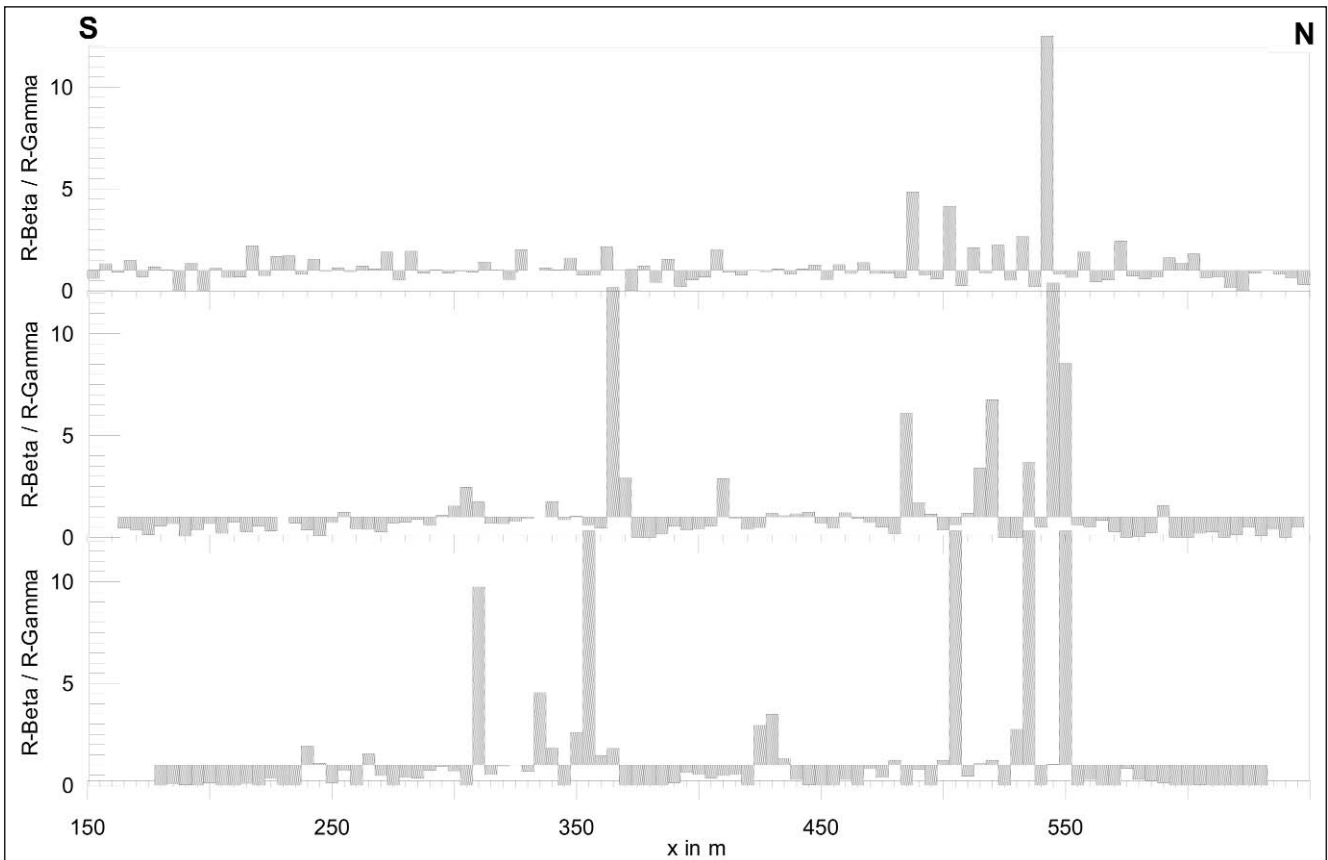


Abb. 8.
Rho Beta / Rho Gamma (Profil 300).

kenswert ist auch der Unterschied in der Ausbildung der SP-Kurve nördlich und südlich des Mühlgrabens. Während südlich des Grabens durchaus eine mittlere Gerade durch die Messwerte gelegt und somit ein lokales Nullniveau bestimmt werden kann, ist der Abschnitt nördlich davon durch einen starken negativen Gradienten gekennzeichnet. Dieser beträgt – wenn man in erster Annäherung ebenfalls einen linearen Trend annimmt – ca. 60 mV / 100 m. Von dieser Lage eines Nullniveaus ausgehend, können somit positive und negative Anomalien erkannt werden. Es können verschiedene Ursachen für die Entstehung dieser SP-Anomalien angenommen werden, elektrochemische und elektrokinetische. Erstere könnten als Mineralisationspotentiale in den Gneisen entstehen, falls diese geringe Gehalte an Sulfidieren aufweisen. Die Möglichkeit des Auftretens einer anderen Ursache, nämlich des Auftretens von Graphit, dürfte im Messgebiet auszuschließen sein. Auch ein unterschiedlicher Sauerstoffgehalt zwischen den höheren, stärker durchlüfteten Gesteinspartien und den unterhalb der Verwitterungsschicht und des Bergwasserspiegels gelegenen Gesteinen könnte ursächlich beteiligt sein. Es wäre dabei an einen Mechanismus ähnlich dem von MOONEY & SATO (1970) entwickelten Modell gedacht. Ein elektrokinetisches Potential könnte im Bereich der Zonen von größeren Kluftporositäten und Permeabilitäten angenommen werden. Dies könnte insbesondere auf den von einem Bach durchflossenen Talgrund des Mühlgrabens zutreffen, der mit einer schmalen positiven Anomalie von ca. 40 mV zusammenfällt. Der Bereich der Deckengrenze gegen das Waldbachkristallin ist durch eine negative Anomaliezone gekennzeichnet. Auf der von Strallegger Gneisen gebildeten Bergkuppe scheint eine breite negative Anomalie auf. Für die Leukophyllitzüge ergibt sich zwar die Möglichkeit einer Korrelation mit positiven SP-Anomalien, doch ist dieses Merkmal alleine nicht hinreichend, da

auch an mehreren anderen Stellen signifikante positive Anomalien auftreten, die anscheinend in keinem Zusammenhang mit Leukophylliten stehen.

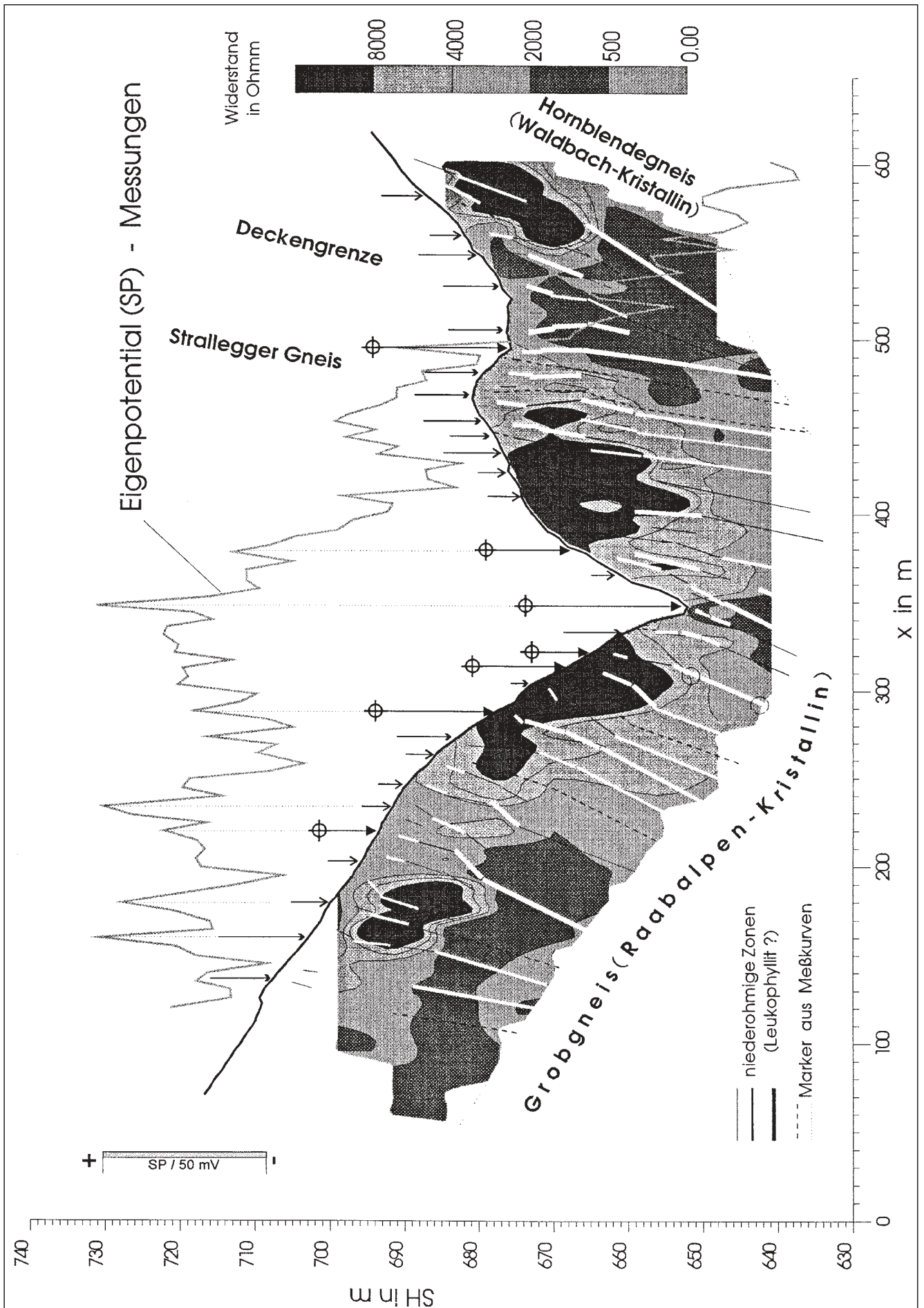
5.2. Kartendarstellung der Ergebnisse

5.2.1. Kartendarstellung der Widerstandskartierungen

Bei der Analyse der Ergebnisse der Widerstandskartierung (Wenner Alpha) in Form von Isolinienkarten fällt der breite Abstand (110 m) zwischen den Profilen 400 und 450 und die Lücke zwischen den Profilen 450–550 negativ ins Gewicht. Ebenso besteht zwischen dem südlichen Ast von Wegprofil 1 und Profil 100 ein beträchtlicher Abstand. Die drei Widerstandskarten der Spacings 5, 10 und 20 m (Abb. 10, 11, 12) zeigen eine ähnliche Grundstruktur in der Widerstandsverteilung. Im Westteil des Messgebietes erstreckt sich ein Widerstandsmaximum mit Werten von über 9000 Ohm·m, das bis zu Profil 100 WNW–ESE streicht. Bei Profil 150 macht sich eine von N hereinziehende Querstruktur (Streichen NNW–SSE) bemerkbar, in der die Widerstände auf unter 3000 Ohm·m absinken. Auf Profil 200 ist wiederum ein kleines Maximum bei $y = 25$ m vorhanden, in dem unter annäherndem W–E-Streichen Werte größer als 8000 Ohm·m erreicht werden. Ein ovals Widerstandsmaximum ist etwa bei $y = 300$ m auf Profil 300 ausgeprägt, in dem Widerstände über 9000 Ohm·m auftreten. Nach Osten zu verschmälert sich diese Struktur, wobei die Widerstände auf Werte unter 3000 Ohm·m abnehmen. In der begleitenden 4000-Ohm·m-Isolinie ist eine deutliche

Abb. 9.
Profil 300.
Eigenpotential-(SP-)Messungen und Widerstandsverteilung.

(S. 109) ➔



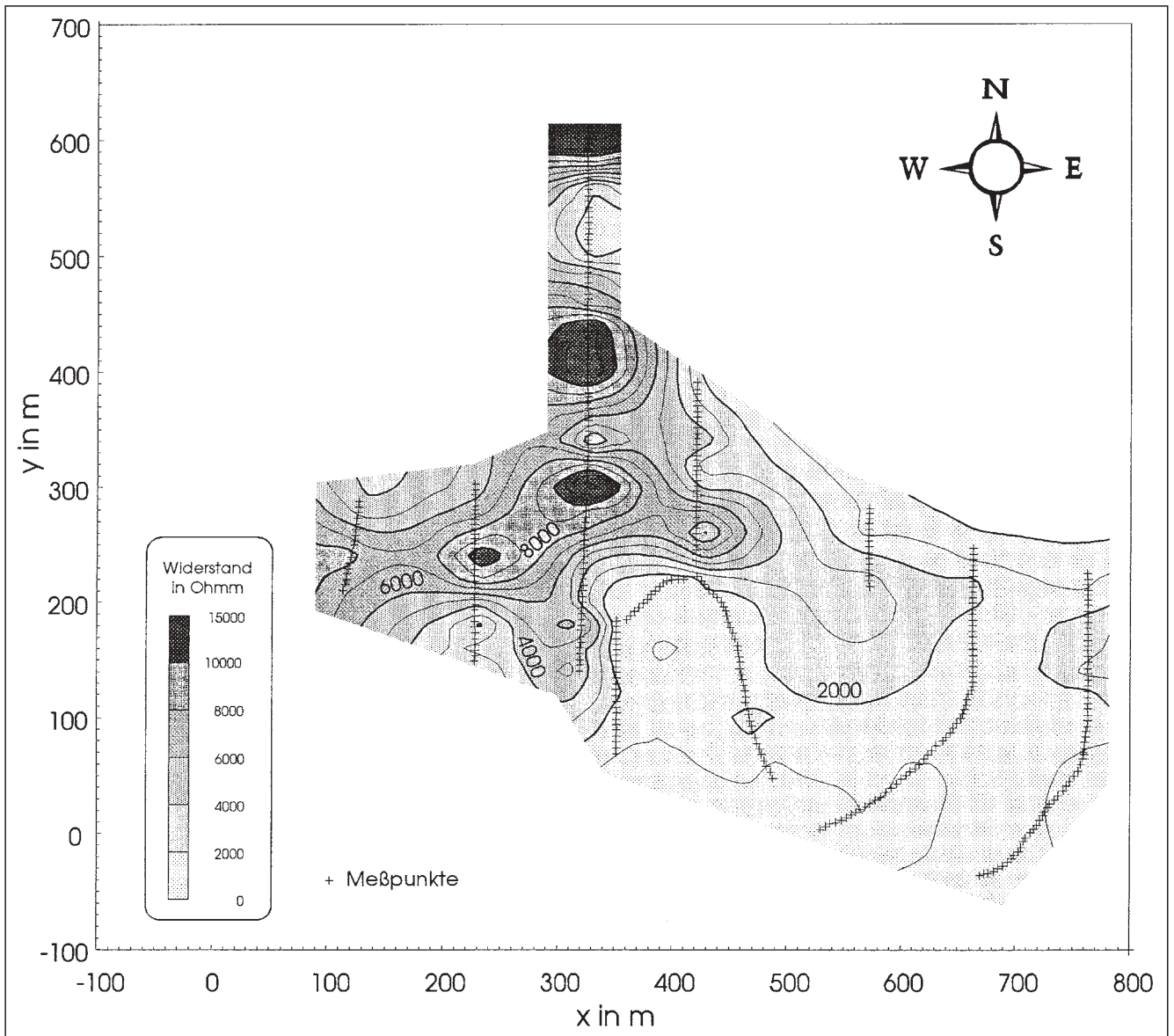


Abb. 11.
Isolinienkarte des elektrischen Widerstandes (Wenner-Alfa $a = 10$ m).

chen herrscht. Die Leukophyllitzüge III und IV deuten sich als W–E-streichende randliche Minima an.

Im Idealfall eines hochohmigen Kristallins, in dem besser leitende Leukophyllitzüge eingeschaltet sind, wären engbegrenzte, langgestreckte, W- bis WNW-streichende Widerstandsminima zu erwarten. Dies ist im vorliegenden Kartenbild nicht zu erkennen. Diese Diskrepanz ist auf mehrere Gründe zurückzuführen. Der Messpunktabstand von 5 m scheint noch immer zu groß in Relation zur durchschnittlichen Mächtigkeit der besser leitenden Leukophyllitzüge zu sein. Auf jeden Fall ist ein Profilabstand von 50 m und mehr zu groß, um bei Auftreten von Widerstandsanomalien anderer Herkunft und Streichrichtung die von den Leukophylliten herrührenden Merkmale klar erkennen zu lassen. Endlich gibt es auch in einem ausgedehnten Gebiet im S des Messgebietes niederohmige Bereiche, deren Widerstände in derselben Größenordnung liegen wie die Leukophyllite.

5.2.2. Kartendarstellung der Eigenpotentialmessungen

Bei den Eigenpotentialmessungen wurde die Messpunktdichte der Widerstandskartierungen noch übertrif-

fen, sodass von dieser Methode eine detailliertere Aussage erwartet werden konnte. Unschwer ist auf der SP-Anomalienkarte (Abb. 13) ein Zusammenhang mit der regionalen Geologie und Tektonik zu erkennen. Die Deckengrenze des Waldbachkristallins drückt sich in einem generell parallelen Verlauf der Isolinien aus und weiters in dem bereits erwähnten, nach N zunehmenden Trend negativer Werte. Das Auftreten der Strallegger Gneise scheint ebenfalls mit betont negativen SP-Werten verbunden zu sein, wobei auf Profil 300 eine zwischen $y = 380$ – 460 m sich erstreckende, N–S-streichende Struktur ausgebildet ist.

Der Mühlgraben ist durch eine Reihe kleinerer, relativ positiver Anomalien gekennzeichnet. Dasselbe scheint für den Bereich des Weißenbachs zu gelten. Auch bei der Richtungsänderung des Mühlgrabens (etwa beim Kreuzungspunkt mit Profil 650) lässt sich eine Fortsetzung der positiven Anomaliezone verfolgen, so dass ein kausaler Zusammenhang gegeben erscheint.

Auffallend ist in dem ganzen südlich des Mühlgrabens gelegenen Abschnitt das Auftreten von deutlich N–S- bzw. NNE–SSW-streichenden Anomalien. Die größte erstreckt sich zwischen 400–500, wobei das NNE-Streichen beson-

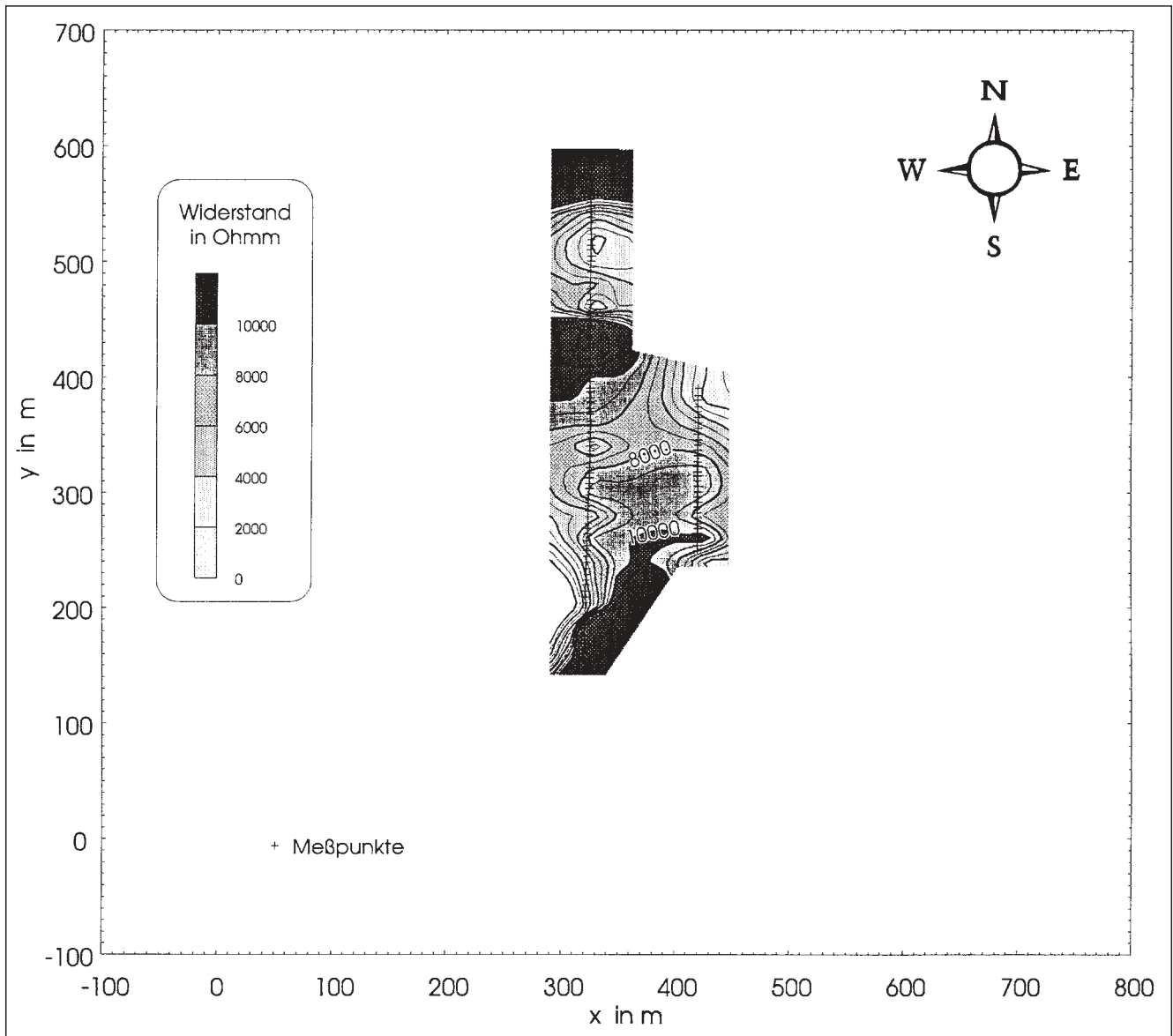


Abb. 12.
Isolinienkarte des elektrischen Widerstandes (Wenner Alfa $a = 20$ m).

ders in der -60 -mV-Isolinie zum Ausdruck kommt. Gegen E zu wird dieses Minimum von einer weniger negativen, ebenfalls NNE-streichenden Anomalie begrenzt, in der in kleineren geschlossenen Bereichen sogar positive Störwerte auftreten. Eine solche ovale bis N-S-streichende Zone positiver SP-Werte tritt im N des Messgebietes bei Profil 100 auf (Werte von 0 bis $+50$ mV). Im südöstlichen Teil des Messgebietes scheint wiederum eine regionale negative Anomalie mit Werten von mehr als -60 mV sich annähernd N-S zu erstrecken.

Bei der Profilauswertung wurde festgestellt, dass eine Korrelation zwischen den positiven SP-Maxima und den Leukophyllitziügen besteht.

Bei der Interpretation der SP-Karte ist es wesentlich schwieriger, Zusammenhänge mit den Leukophyllitziügen aufzufinden. Eine positive Anomalie korreliert streckenweise mit dem Verlauf der Leukophyllitziüge I und II. Leukophyllitziug 5 liegt teilweise im Bereich einer Scharung von negativen zu positiven Werten. Im Bereich der N-S-streichenden Strukturen ist es nicht möglich, Hinweise – wenn auch nur im Streichen der Isolinien – auf Leukophyllitziüge zu finden.

6. Abschließende Beurteilung der geophysikalischen Prospektion und Vorschläge für eine weitere Vorgehensweise

Die Ergebnisse der Messungen führen zu dem Schluss, dass Leukophyllitziüge mittels geoelektrischer Messungen aufgefunden werden können, wenn ein Unterschied im elektrischen Widerstand zu den Hangend- und Liegendgesteinen gegeben ist.

In jedem Fall kann von der Geoelektrik ein nützlicher Beitrag zur Erkennung des geologischen Bauplans, insbesondere von Überschiebungen und zur Lithologie erwartet werden. Gewissermaßen als Vorläufermethode ist die Eigenpotentialmessung empfehlenswert, wofür die Schnelligkeit der Messung und die geringen Kosten sprechen. Bei der geoelektrischen Widerstandskartierung hat sich die Tripotentialmethode als vorteilhaft erwiesen. Messungen mit mehreren Spacings sind jedoch erforderlich, um eine Tiefenaussage zu ermöglichen.

Für den eindeutigen Nachweis der Leukophyllite sollte das Verhältnis von Schichtmächtigkeit/Hangendes nicht kleiner als 0,5 sein. Eine Erschwernis bei der Identifikation

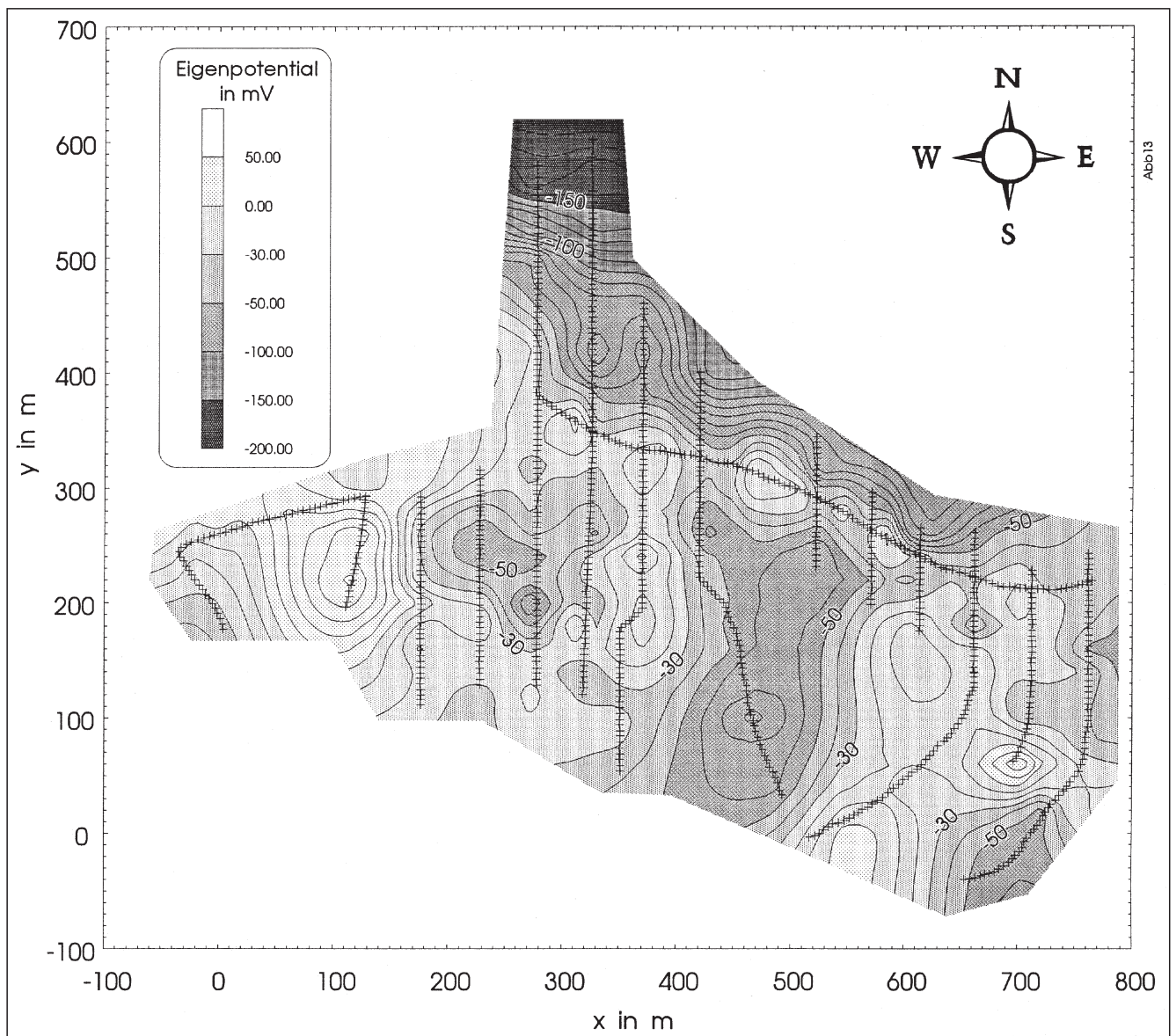


Abb. 13.
Isolinienkarte des Eigenpotentials (SP).

der Leukophyllitzüge bildet der Umstand, dass mehr Widerstandsanomalien auftreten als Leukophyllitzüge.

Eine generelle Verkleinerung des Profilabstandes ist meist wirtschaftlich nicht tragbar, es sollte jedoch versucht werden in geologisch aussichtsreichen Abschnitten Parallelprofile mit engem Abstand (ca. 10 m) zu messen; dadurch könnte die sichere Korrelation der Anomalien und die Feststellung der Streichrichtung erleichtert werden.

Die Methode der Induzierten Polarisation sollte unbedingt eingesetzt werden, da diese die größte Eindringtiefe aufweist. Es hat sich auch gezeigt, dass relativ kleine Widerstandsanomalien zuverlässig diagnostiziert und korreliert werden können. Für die Erkennung der Leukophyllite sind die Parameter der niedrigen Polarisierbarkeit, dargestellt in Form der Chargeability und des modifizierten Metallfaktors, nützlich.

Bei den bisher nicht erprobten Verfahren könnte die Refraktionsseismik gezielt dort eingesetzt werden, wo es auf die genauere Ermittlung der Verwitterungsschicht und die Feststellung der Auflockerungszone des Kristallins ankommt. Auch für die lithologische Aussage der doch ausgedehnteren Zonen mit mäßigen elektrischen Wider-

ständen im Kristallin könnte die Refraktionsseismik über den Geschwindigkeitsparameter bedeutungsvoll sein.

Dank

Die vorliegende Untersuchung erfolgte im Rahmen der Forschungsarbeiten der „Vereinigung für Angewandte Lagerstättenforschung in Leoben“. Dem Vorstand der Vereinigung und insbesondere dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abt. Wissenschaft, wird für die finanzielle Unterstützung der Feldmessungen der verbindliche Dank ausgesprochen. Herrn Prof. Dr. F. EBNER, Institut für Geowissenschaften der Montanuniversität Leoben, wird für die Zurverfügungstellung von geologischen Unterlagen und Beratung ebenfalls bestens gedankt.

Literatur

- ACWORTH, R.I. & GRIFFITHS, D.H. (1985): Simple data processing of tripotential apparent resistivity measurements as an aid to the interpretation of subsurface structure. – *Geophysical Prospecting* **33**, 861–887.
- DALLMEYER, R.D., NEUBAUER, F., HANDLER, R., MÜLLER, W., FRITZ, H., ANTONITSCH, W. & HERMANN, S. (1992): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and Rb-Sr mineral age controls for the pre-Alpine and Alpine tectonic evolution of the Alpine nappe complex, Eastern Alps. – *ALCAPA – Field Guide*, 47–59, Graz (IGP/KFU).

- EBNER, F., HUBER, M. & PREISS, P. (1993): Geologische Kartierung des Leukophyllitvorkommens im Mühlgraben SW Vorau. – Unveröff. Ber., P-99/92, Leoben (VALL).
- EDWARDS, L.S. (1977): A modified pseudosection for resistivity and induced-polarisation. – *Geophysics*, **42**, 1020–1036.
- FAUPL, (1972): Zur Geologie und Petrographie des südlichen Wechselgebietes. – *Mitt. Geol. Ges.*, **63**, 22–51, Wien.
- FINK, J.B., STERNBERG, B.K., McALISTER, E.O., WIEDUWILT, W.G. & WARD, S.H. (1990): Induced Polarisation Applications and Case Histories, Tulsa OK (SEG).
- FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F. (1984): Steiermark. – Geologie der österr. Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen, 127 S, Wien (Geol. B.-A.).
- HOLZER, H. & PROHASKA, (1990): Leukophyllit – ein wenig bekannter mineralogischer Rohstoff. – *Erzmetall*, **43**, 424–428, Weinheim.
- JAKOSKY, J.J. (1950): *Exploration Geophysics*. – Trija Publ. Comp., Los Angeles.
- KOEFOED, O. (1979): *Geosounding Principles*, 1, Meth. in Geochem. a. Geophys. 14A. – Amsterdam – Oxford – New York (Elsevier).
- MILITZER, H. & WEBER, F. (1985): *Angewandte Geophysik*. Bd. 2: Geoelektrik – Geothermie – Radiometrie – Aero-geophysik. – Wien – New York (Springer Verlag).
- NEUBAUER, F. (1981): Untersuchungen zur Tektonik, Metamorphose und Stellung des Grazer Paläozoikum-Ostrandes. – Jahresber. 1981 – Hochschulschwerpunkt S15, 93–101, Leoben.
- NEUBAUER, F., PEINDL, P., MOYSCHWITZ, G., REINDL, H. & WALLBRECHER, E. (1990): Das südliche Raab- und Wechselkristallin: Beschreibung der Exkursionsroute. – Exk. Führer „Raab- und Wechselkristallin“, TSK III, 27–45, Graz (IGP/KFU).
- NIESNER, E. (1990): Neue Methode zur Auswertung geoelektrischer Messungen. – 50. Jahrestagung d. DGG, Leoben.
- NIESNER, E. (1992): Integrierte Loginterpretation in nichtmarinen Sedimenten. – Habilitationsschrift, Montanuniv. Leoben.
- NIESNER, E., SCHMID, Ch. & WEBER, F. (1993): Auswerteprobleme bei Pliozänschottern in der Molassezone von Oberösterreich. – *Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.*, **16**, 41–71, Wien.
- NIESNER, E. & WEBER, F. (1994): Geophysikalische Untersuchung des Leukophyllitvorkommens im Mühlgraben SW Vorau. – Endbericht VALL-Projekt P99/93, Leoben.
- PEINDL, P., NEUBAUER, F., MOYSCHWITZ, G., REINDL, H. & WALLBRECHER, E. (1990): Die geologische Entwicklung des südlichen Raab- und Wechselkristallins. – Exk. Führer „Raab- und Wechselkristallin“, TSK III, 22–26, Graz (IGP/KFU).
- PROHASKA, W. (1986): Talk- und Leukophyllitbildung als Folge hydrothormaler Metasomatose. – *Mitt. österr. Geol. Ges.*, **78**, 167–179, Wien.
- PROHASKA, W. (1991): Lagerstättenkundliche Untersuchungen zur Entstehung der Leukophyllite. – Unveröff. Ber., P-94f/1990, 22 S., Leoben (VALL).
- RIJO, L. (1987): *Modeling of Electric and Electromagnetic Data*. – PhD. Thesis, Univ. of Utah.
- TOLLMANN, A. (1976): Neue Fenster des Wechselsystems am Ostrand der Zentralalpen. – Jahresbericht Geolog. Tiefbau d. Ostalpen, **3**, 58–64, Wien (Zentralanst. f. Met. u. Geodynamik).
- TOLLMANN, A. (1977): *Geologie von Österreich*. – Bd.1, Die Zentralalpen, Wien (Deuticke).
- WALACH, G. (1977): Geophysikalische Arbeiten im Gebiet des Nordostsporns der Zentralalpen I: Magnetische Traverse 1 (Neunkirchen – Hochwechsel – Pöllauer Bucht). – Geologischer Tiefbau der Ostalpen, Publ. Nr. 215, Wien (Zentralanst. f. Met. u. Geodynamik).
- WEBER, F., JANSCHKE, H., MAURITSCH, H., OBERLADSTÄTTER, M., SCHMÖLLER, R. & WALACH, G. (1981): Activities of the Institute of Geophysics of the Mining University Leoben in the International Geodynamic Project. – In: Results of the Austrian Investigations in the International Geodynamics Project 1972–1979, Bundesministerium f. Wissenschaft u. Forschung/Sektion Forschung.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 14. Oktober 1997