



GEOPHYSIK

Montanuniversität LEOBEN

VALL Projekt P99/93

Geophysikalische Untersuchung des Leukophyllitvorkommens im Mühlgraben / SW Vorau

E.Niesner, F.Weber



Institut für Geophysik - Montanuniversität Leoben

Vorstand: o.Univ.Prof.DDr. F. Weber

A-8700 LEOBEN, Franz-Josef Straße 18, AUSTRIA;

Tel.: +43/(0)3842/402/361

FAX: +43/(0)3842/402/560



VALL Projekt P99/93

Geophysikalische Untersuchung des Leukophyllitvorkommens im Mühlgraben / SW Vorau

E.NIESNER, F.WEBER
(Institut für Geophysik - Montanuniversität Leoben)

Inhaltsverzeichnis:

1. AUSGANGSSITUATION UND PROBLEMSTELLUNG	3
2. MEßGEBIET	3
2.1 LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES	3
2.2 LAGE DER MEßPROFILE	5
3. GEOLOGIE DES MEßGEBIETES UND GENESE DER LEUKOPHYLLITE	9
4. AUSWAHL DER PROSPEKTIONSMETHODEN UND BEWERTUNG DER EINSATZ- MÖGLICHKEITEN	10
4.1 KRITERIEN	10
4.2 GRAVIMETRIE	10
4.3 REFLEXIONS- UND REFRAKTIONSSEISMIK	10
4.4 MAGNETIK	11
4.5 GEOELEKTRISCHE UND ELEKTROMAGNETISCHE METHODEN	11
4.5.1 ELEKTROMAGNETISCHE METHODEN	12
4.5.2 WIDERSTANDSVORFAHREN - GLEICHSTROMGEOELEKTRIK	12
4.5.2.1 Tripotentialmessungen	13
4.5.3 MEßVORFAHREN DER INDUZIERTEN POLARISATION (IP)	14
4.5.4 EIGENPOTENTIALMESSUNGEN (SP)	15
4.6 SZINTILLOMETRIE:	16

5. THEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN UND MODELLRECHNUNGEN MIT HILFE DER METHODE DER FINITEN ELEMENTE:	17
5.1 MODELLPARAMETER	17
5.2 DISKUSSION DER ERGEBNISSE DER MODELLRECHNUNG	19
5.3 ÜBERTRAGUNG DER THEORETISCHEN ERGEBNISSE AUF DIE FELDMESSUNGEN	21
6. AUSWERTUNG DER MESSUNGEN AM PROFIL 300	23
6.1 LAGE DES PROFILES	23
6.2 MAGNETIK	23
6.3 INDUZIERTER POLARISATION	23
6.4 TOPOGRAPHIEEINFLUSS AUF DIE MESSUNGEN	25
6.5 KORRELATION DER MEßKURVEN	27
6.6 WIDERSTANDSTIEFENSEKTION DES PROFILS 300	32
6.7 EINBEZIEHUNG DER SP-MESSUNGEN	32
6.7 WIDERSTANDSANISOTROPIE UND VORZUGSRICHTUNGEN BEZÜGLICH DER LEITFÄHIGKEIT	36
6.7.2 ANISOTROPIEMESSUNGEN - MEßMETHODIK	36
6.7.1 ANISOTROPIEMESSUNGEN - AUSWERTUNG	37
7. INTEGRIERTE AUSWERTUNG ALLER MESSUNGEN	38
7.1 VERFÜGBARE FELDMESSUNGEN	39
7.2 EIGENPOTENTIALMESSUNGEN	40
7.3 ERGEBNISSE DER TRIPOTENTIALMESSUNGEN	43
8. ABSCHLIEßENDE BEURTEILUNG DER GEOPHYSIKALISCHEN PROSPEKTIONSMETHODIK	51
LITERATUR	55

Beilagen

1. Ausgangssituation und Problemstellung

Ergebnisse lagerstättenkundlicher Untersuchungen zur Entstehung der Leukophyllite (PROHASKA 1991) führten zum Auffinden eines Leukophyllitvorkommens in der Nähe von Vorau, das materialmäßig und genetisch mit der Lagerstätte Kleinfeldstritz vergleichbar ist. Zusätzliche günstige aufbereitungs- und verwertungstechnische Untersuchungen (STEINER 1992) an diesen Leukophylliten erweckten das Interesse an dieser Lagerstätte. Weitere Untersuchungen schienen deshalb gerechtfertigt und in einem nächsten Schritt erfolgte eine umfassende geologische Kartierung dieses Leukophyllitvorkommens (EBNER, HUBER u. PREISS 1992). Die Ergebnisse dieser Studie ergaben wichtige Aufschlüsse über die Geologie und die vermuteten Lagerungsverhältnisse der Leukophyllite in diesem Gebiet. Da die Methoden der Feldgeologie bei der Bewertung dieses Vorkommens damit am Ende angelangt sind und vorläufige Substanzermittlungen äußerst vielversprechende Ergebnisse lieferten, wird in dieser Studie eine weiterführende Untersuchung dieses Vorkommens mit Hilfe von geophysikalischen Messungen empfohlen. Bedingt durch die schlechte Aufschlußsituation in diesem Gebiet und den damit verbundenen Schwierigkeiten bei der geologischen Interpretation sollten mit diesen Messungen zusätzliche Informationen über die Lagerungsverhältnisse erhalten werden, bzw. sollte auch eine Abgrenzung des Vorkommens durchgeführt werden. Im Rahmen des vorliegenden VALL-Projektes wurden diese geophysikalischen Messungen durchgeführt.

2. Meßgebiet

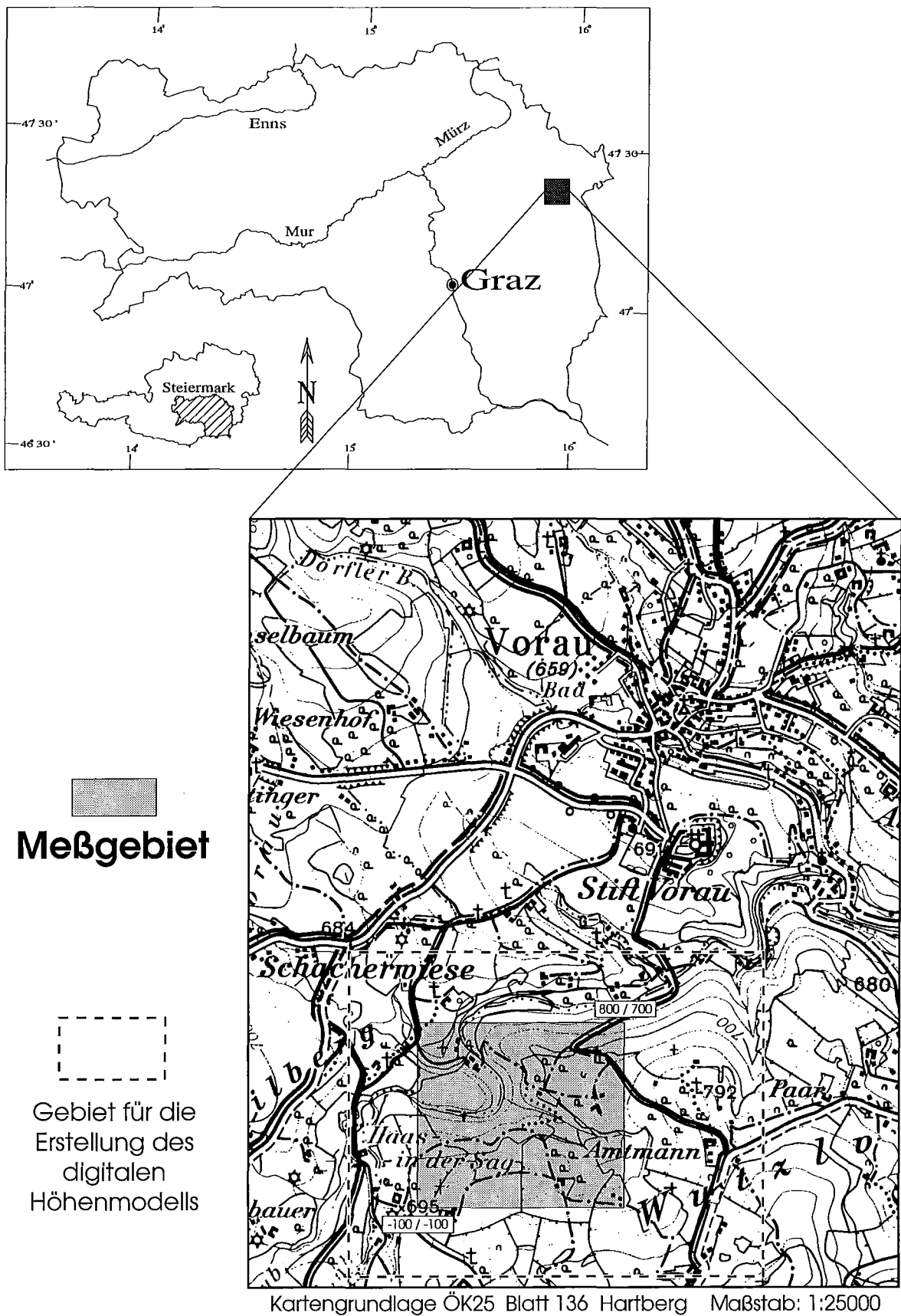
2.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet liegt ca. 2 km südsüdwestlich von Vorau. Die Wahl der Ausdehnung des Meßgebietes erfolgte unter den Gesichtspunkten, daß einerseits möglichst viele interessante Bereiche abgedeckt werden, aber andererseits in diesem tektonisch stark beanspruchten Gebiet auch eine entsprechende Meßpunktdichte erreicht wird. Der Mühlgraben (vgl. Höllgraben) bildete den zentralen Bereich des Meßgebietes, da in diesem SSE verlaufenden Seitengraben die meisten Leukophyllitaufschlüsse liegen. Die genaue Lage des Untersuchungsgebietes mit einer EW-Erstreckung von 900 m und einer NS-Erstreckung von 800 m zeigt die Abbildung 1.

Erschwerende Bedingungen für den Einsatz geophysikalischer Messungen treten dadurch auf, daß dieses Gebiet ein sehr starkes topographisches Relief aufweist. Besonders im Bereich des Mühlgrabens treten zu beiden Seiten steile Hänge auf, deren Begehung schwierig bzw. zum Teil überhaupt nicht ohne Aufstieghilfen möglich ist. Da aus der geologischen Kartierung aber eine Hauptstreichrichtung der Leukophyllitzüge in Richtung EW erhalten wurde, mußten die Meßprofile zur Erzielung optimaler Ergebnisse normal zu dieser

VORAU - Mühlgraben

Lage des Meßgebietes



vlcgev00.cdr

Streichrichtung, also in Richtung NS gelegt werden, wodurch eine Durchquerung des Mühlgrabens mit diesen Profilen unumgänglich war. Wegen der bei NS Profilen zu erwartenden wesentlich besseren Ergebnisse wurde daher die schwierigere Durchführung der Messungen in den schwerer zugänglichen Bereichen zu beiden Seiten des Mühlbaches in Kauf genommen. Bei der Planung der genauen Lage der Profile wurde darauf geachtet, daß diese notwendige Überquerung des Mühlgrabens ohne allzugroße Probleme möglich war.

Als Hilfestellung für eine genaue Interpretation und um das topographische Relief aufzuzeigen, wurde von dem Meßgebiet ein digitales Höhenmodell unter Einbeziehung umliegender Gebiete erstellt. Eine 3D-Darstellung dieses digitalen Höhenmodells mit dem hervorgehobenen Bereich des Meßgebietes zeigt die Abbildung 2.

Die genaue Abgrenzung des erweiterten Gebietes ist in der Abbildung 1 eingezeichnet.

Das gesamte Gebiet wird überwiegend forst- und agrartechnisch genutzt, wobei sich der größte Teil des Meßgebietes in einem Waldgebiet mit unterschiedlich hohem Bewuchs befindet. Durch die agrartechnische Nutzung (Getreidefelder und Wiesen mit hohem Grasbewuchs) der nichtbewaldeten Gebiete war ein Zugang speziell in dem Zeitraum der Messungen (Sommermonate) nur beschränkt möglich. Hier wurden die Profile soweit dies möglich war auf Wege und Feldgrenzen verlegt. Trotz all dieser Schwierigkeiten konnte ein relativ gleichmäßiges flächendeckendes Netz von Meßprofilen erreicht werden.

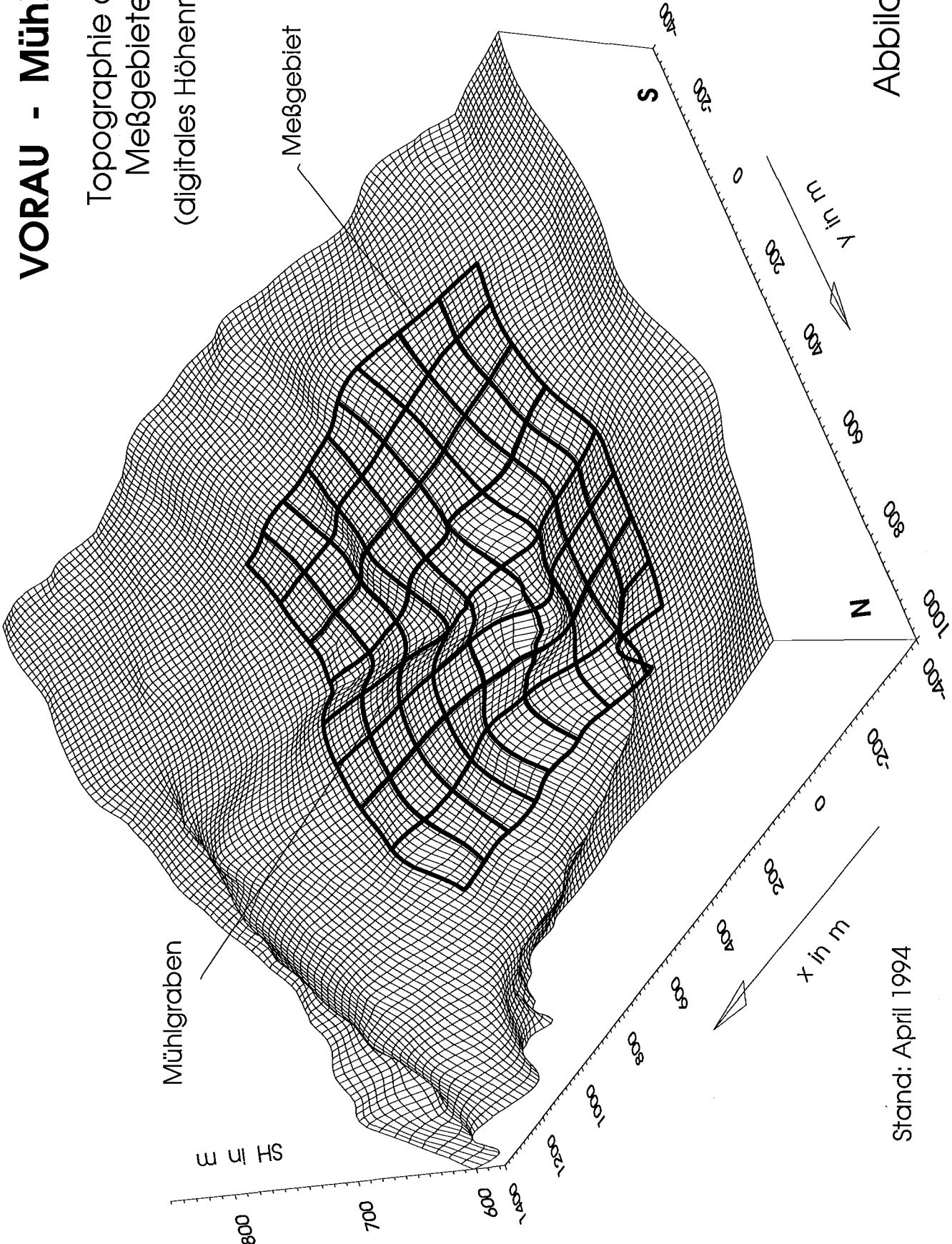
2.2 Lage der Meßprofile

Die genaue Lage der Meßprofile ist in der Abbildung 3 dargestellt. Bei der Planung der Lage und des Meßpunktabstandes müssen natürlich die speziellen geologischen Bedingungen und die geophysikalischen Aufgabenstellungen berücksichtigt werden.

Die mit Hilfe der geophysikalischen Messungen aufzulösenden Leukophyllitzüge haben nach den Ergebnissen der geologischen Kartierung nur Mächtigkeiten zwischen 0,5 und 15 m, wobei zusätzlich noch mit einer teilweise mächtigeren Überlagerung gerechnet werden muß. Damit ergibt sich zwangsläufig die Notwendigkeit von sehr geringen Meßpunktabständen entlang der Profile. Als Meßpunktabstand auf den Profilen wurde daher für dieses Gebiet generell ein Wert von 5 Meter verwendet, und um auch eine entsprechende Flächendeckung zu erreichen lagen die Profilabstände zu Beginn der Messungen bei ca. 100 m wobei später noch eine Verdichtung auf 50 m erfolgte. Eine Gesamtübersicht über die Lage aller Meßprofile zeigt die Abbildung 3. Um auch den Bezug zur Geologie des Meßgebietes herzustellen wurden in der Abbildung 4 zusätzlich zur Lage der Profile auch die Ergebnisse der geologischen Kartierung dieses Gebietes eingezeichnet. Ein Profil, nämlich

VORAU - Mühlgraben

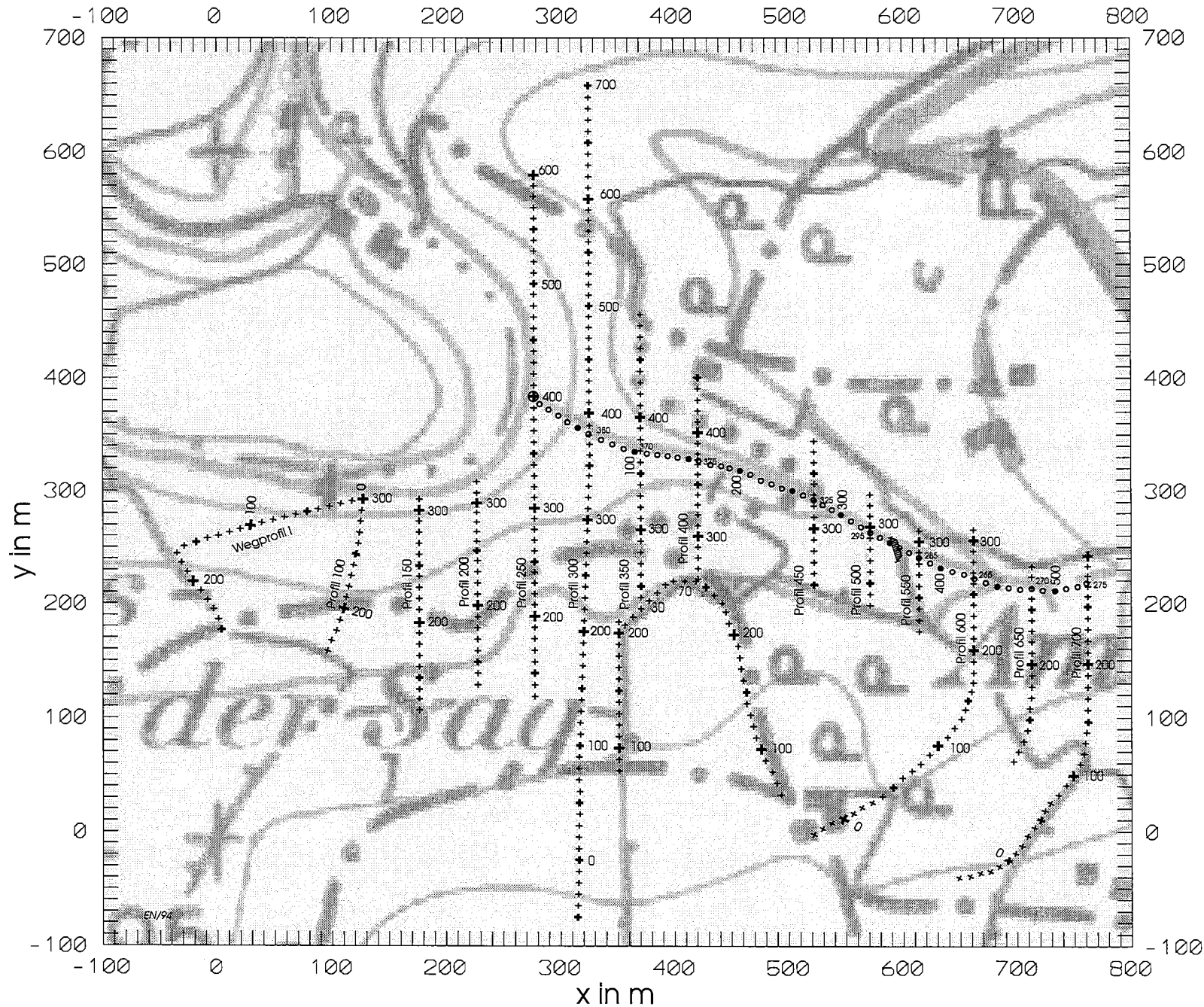
Topographie des
Meßgebietes
(digitales Höhenmodell)



VTopo3D1.sif

Abbildung 2

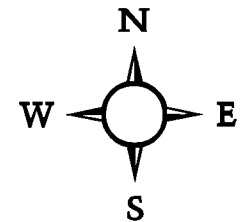
Stand: April 1994



VORAU

Meßgebiet Mühlgraben

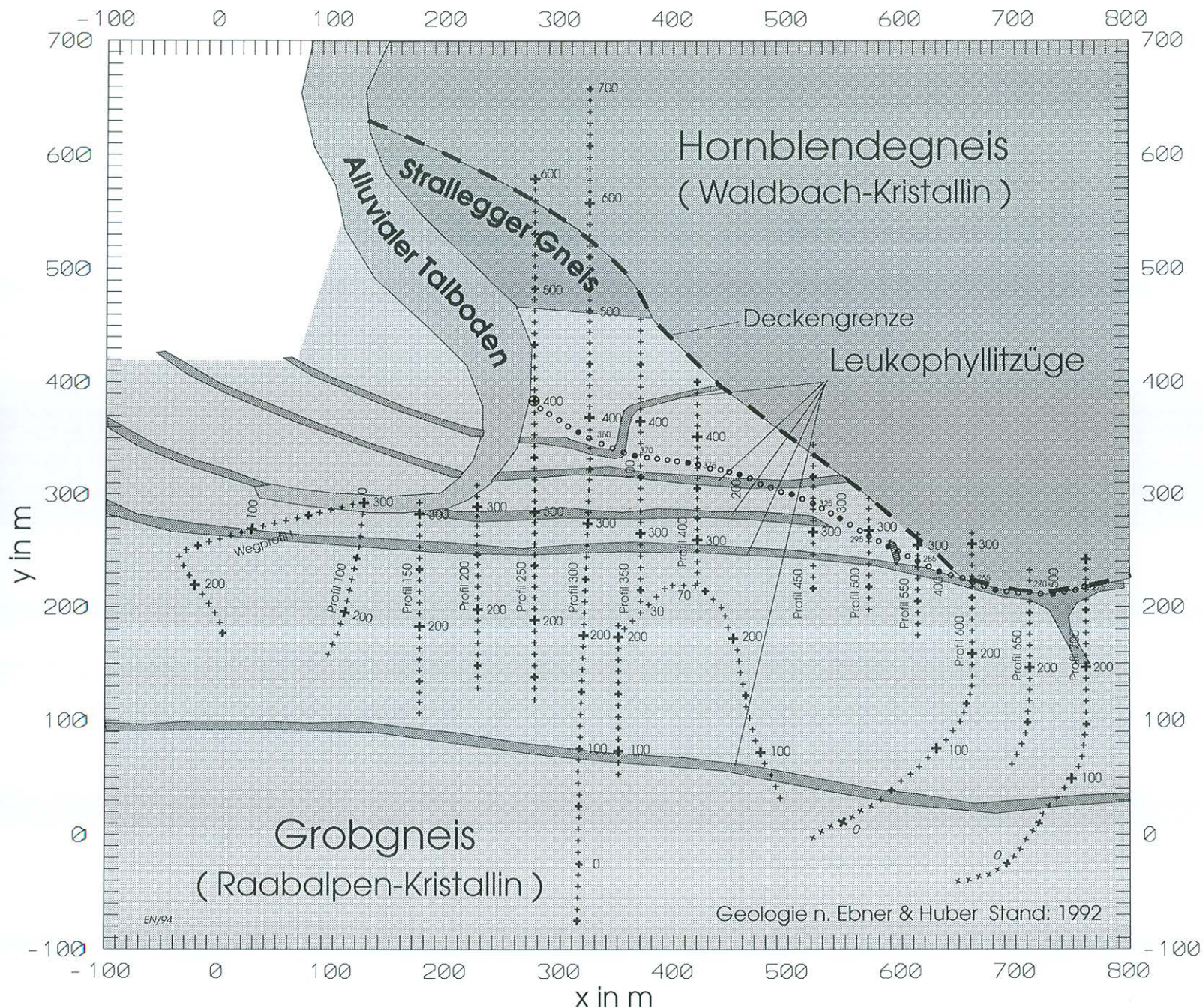
Projekt:
Leukophyllit-Vorau



Lageplan der
Meßprofile

Stand: April 1994

Abbildung 3



VORAU

Meßgebiet
Mühlgraben

Projekt:
Leukophyllit-Vorau

Lage der Meßprofile
und
Geologie des
Meßgebietes

Stand: April 1994

Abbildung 4

das Profil 300 wurde dabei so gelegt, daß es möglichst über alle geologischen Einheiten dieses Gebietes verläuft. Dies ist insofern von Bedeutung, als ein Ziel dieser geophysikalischen Untersuchungen die Erarbeitung einer Untersuchungsmethodik zur Erkennung der Leukophyllite war. Auf diesem Profil konnten daher die Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen geophysikalischen Verfahren getestet werden.

3. Geologie des Meßgebietes und Genese der Leukophyllite

(n.Ebner et al.1993)

Das untersuchte Leukophyllitvorkommen liegt im Raabalpen-Kristallin, das innerhalb des unterostalpinen Kristallins die hangendste Position einnimmt. Im Raum Vorau ist zwischen der Aufdomung der Wechseleinheit, die das liegende im unterostalpinen Deckenstockwerk einnimmt, und dem Raabalpen-Kristallin das s.g. Waldbach-Kristallin eingeschaltet, das von der liegenden Wechseleinheit und dem tektonisch hangenden Raabalpen-Kristallin durch flach liegende Scherbahnen getrennt wird.

Bei den Vorauer Leukophylliten handelt es sich um Muskovit-Quarz-Chlorit-Mylonite, die in den Grobgneisen entlang dieser flach liegenden Scherbahnen unter hydrothermaleme Einfluß im Bereich der höheren Grünschieferfazies entstanden. Das Vorkommen im Mühlgraben ist tektonisch kontrolliert.

Die heutige tektonische Situation resultiert aus einer kretazischen Überschiebung der Wechsel/Waldbach-Einheit durch das Raabalpen-Kristallin (Grobgneis-Einheit). Die Internstruktur der Grobgneis-Einheit ist durch das Aufsplittern eines basalen Master-Faults in Mylonithorizonte gekennzeichnet, die speziell am Kontakt Grobgneis/Paragneis auftreten. In diesen Zonen treten die Leukophyllite auf, die im Bewegungsbereich aus den Grobgneisen durch syntektonisch, hydrothermalen Fluiddurchsatz entstanden.

Eine geologische Karte des Untersuchungsgebietes ist in der Abbildung 4 (n.Ebner et al. 1993) dargestellt. Die NW-SE streichende Deckengrenze trennt die Hornblendegneise des Waldbachkristallins von den südlich dieser Deckengrenze liegenden Grobgneisen des Raabalpenkristallins. Eingelagert sind geringmächtige Leukophyllitzüge, die hauptsächlich im etwa parallel zur Deckengrenze verlaufenden Mühlgraben aufgeschlossen sind. Im Nordwesten des Meßgebietes tritt Strallegger Gneis auf.

4. Auswahl der Prospektionsmethoden und Bewertung der Einsatzmöglichkeiten

4.1 Kriterien

Bei der Auswahl der Prospektionsmethoden wurde von den petrophysikalischen Eigenschaften des Leukophyllits ausgegangen. Die grundlegende Voraussetzung war, daß sich der Leukophyllit in einer bestimmten gesteinsphysikalischen Eigenschaft signifikant vom Nebengestein, dem Grobgnais unterscheidet.

Die zweite Voraussetzung bezieht sich auf das Mächtigkeits-Überlagerungsverhältnis, das ausschlaggebend dafür ist, ob ein Leukophyllitkörper noch unter einer bestimmten Überlagerung erfaßt werden kann.

Als 3. Rahmenbedingung ist die Kostenfrage von Bedeutung, als nur solche Methoden letztlich zur Auswahl gelangen können, die bei gleichzeitig hoher Meßleistung kostengünstig sind.

4.2 Gravimetrie

Es besteht ein deutlicher Unterschied in der Dichte der Leukophyllite und der Dichte der Umgebungsgesteine Stralleggergnais bzw. Grobgnais.

Labormessungen an Gesteinsproben ergaben für die Leukophyllite eine mittlere Dichte von $2.69 \pm 0.02 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ und für die Umgebungsgesteine eine mittlere Dichte von $2.63 \pm 0.02 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

An den Einsatz der Gravimetrie als Prospektionsmethode ist jedoch wegen der relativ starken topographischen Unregelmäßigkeiten und der lateralen Dichteänderungen nicht zu denken. Eine Überschlagsrechnung zeigt, daß bei einer Genauigkeit der Daten von 0.05 mgal ein plattenförmiger Leukophyllitkörper von 2 m Mächtigkeit bereits bei einer Oberkantentiefe von 3 m eine Anomalie im Bereich dieser Fehlergrenze liefert.

4.3 Reflexions- und Refraktionsseismik

Von der Gesteinsphysik her betrachtet würde ein deutlicher Geschwindigkeitsunterschied zwischen Leukophyllit und Gneis bestehen, wobei allerdings für den Leukophyllit eine stärker variiierende Geschwindigkeit anzunehmen ist. Es ist jedoch mit Geschwindigkeitskeitsunterschieden bis zu 1000 m/s zu rechnen und unter Annahme eines mittleren Dichtekontrastes von 0.05 g/cm^3 mit einem negativen Reflexionskoeffizienten von ca. 0.12.

Unter Annahme einer Geschwindigkeit von 3000 m/s des Leukophyllits und einer Hauptfrequenz von 80 Hz ergäbe sich eine Wellenlänge von $\lambda=37.5 \text{ m}$. Da sich eine Reflexion bis zu einer Mächtigkeit von $\lambda/4$ ausbilden kann, wäre eine Mindestmächtigkeit von ca. 9 - 10 m erforderlich. Die mächtigeren Leukophyllithorizonte könnten also durchaus mittels Hochfrequenzreflexionsseismik nachgewiesen werden. Diese Methode hätte den Vorteil der relativ großen Eindringungstiefe bei gleichzeitig hohem Auflösungsvermögen, kommt jedoch wegen der hohen Kosten für diese Problemstellung nicht in Frage.

Die Refraktionsseismik scheidet als Prospektionsverfahren unter den gegebenen Lagerstättenbedingungen aus, da sich der Leukophyllit im Bereich einer "Blindzone" befinden würde.

4.4 Magnetik

Die Suszeptibilitäten der Grobgneisserie, der Paragneise und auch der Leukophyllite liegen im Bereich von $0.3 - 1.0 \cdot 10^{-3} \text{ SI}$. Daraus ergibt sich, daß die Leukophyllitzüge mittels Magnetik nicht mehr nachgewiesen werden können.

4.5 Geoelektrische und elektromagnetische Methoden

Die im Mühlgraben aufgeschlossenen plattigen bis blättrigen Leukophyllite lassen vermuten, daß bei diesen tektonisch stark beanspruchten Leukophyllitzügen an den Klüften zwischen den einzelnen Platten die Möglichkeit des Eindringens von Feuchtigkeit besteht. Dieses Eindringen von Feuchtigkeit müßte auch durch das Einfallen der Leukophyllitzüge noch verstärkt werden. Auf jeden Fall ist anzunehmen, daß sich die Leukophyllitzüge dadurch im elektrischen Widerstand von den relativ kompakten und daher als hochohmig anzunehmenden Gneisen unterscheiden.

Testmessungen direkt an den Aufschlüssen im Mühlgraben bestätigten diese Annahme. Obwohl die Leukophyllitzüge elektrisch niederohmiger als die benachbarten Gneise sind, zeigt sich eine relativ starke Variation der elektrischen Widerstände des Leukophyllits von 800 bis 4000 Ohmm. Vermutete

Einflüsse auf den Widerstand sind der Feuchtigkeitsgehalt, die Schichtungsrichtung, Variationen im Quarzgehalt u.a.. Trotzdem deuten diese Ergebnisse bereits an, daß der Einsatz von Widerstandsmessungen erfolgversprechend ist. Daher wurde der Einsatz von geoelektrischen bzw. elektromagnetischen Meßmethoden geplant.

4.5.1 Elektromagnetische Methoden

Auf Grund der rauen Topographie und der notwendigen hohen lateralen Auflösung war zuerst an den Einsatz von elektromagnetischen Verfahren gedacht. Diese Meßgeräte sind gut transportabel, es entfallen die Ankopplungsprobleme mit Elektroden und die Aufstellungslänge ist kurz im Vergleich zur Eindringtiefe, wodurch geringere Einflüsse der Topographie zu erwarten sind. Weiters reagieren elektromagnetische Methoden sehr empfindlich auf niederohmige Zonen womit diese Meßmethoden für die vorliegende Aufgabenstellung gut geeignet sein müßten. Testmessungen vor Ort mit dem Elektromagnetik-Meßgerät EM-31 (Fa. Geonics) ergaben jedoch, daß die im Meßgebiet auftretenden Widerstände für den Einsatz dieser Meßmethode viel zu hoch sind und man daher mit diesem Meßgerät auch über den leitfähigeren Leukophyllitzone an der Grenze des Auflösungsvermögens liegt.

Auch die Messung mit einem VLF-Gerät wurde versucht, mußte jedoch wegen sehr schlechter Empfangsbedingungen wieder ergebnislos eingestellt werden.

Aus diesem Grund mußte auf den Einsatz von elektromagnetischen Meßmethoden für das gegenständliche Problem verzichtet werden und die Widerstandsmessungen trotz des höheren Meßaufwandes mit konventionellen Elektrodenanordnungen durchgeführt werden.

4.5.2 Widerstandsverfahren - Gleichstromgeoelektrik

Eine der größten Schwierigkeiten beim Einsatz der Gleichstromgeoelektrik liegt darin, ein genügend großes Auflösungsvermögen zu erzielen. Besonders beim Auftreten einer mächtigeren Überlagerung wird der Nachweis von Leukophyllitzone immer schwieriger, da das Auflösungsvermögen von geoelektrischen Methoden generell sehr rasch mit der Tiefe abnimmt. Weiters ist die Mächtigkeit der im Mühlgraben aufgeschlossenen Leukophyllitzüge sehr gering und liegt zwischen 0.5 und 15 m. Deshalb mußte entlang der Profile mit einem relativ geringen Meßpunktabstand gearbeitet werden und an den Einsatz spezieller Methoden zur Erhöhung der lateralen Auflösung gedacht werden. Als Kompromiß zwischen Meßfortschritt und lateraler Auflösung wurde ein Meßpunktabstand von 5 m gewählt. Eine Möglichkeit zur Verbesserung des lateralen Auflösungsvermögens von geoelektrischen Messungen bilden die Tripotentialmessungen, die im vorliegenden Meßgebiet mit gutem Erfolg eingesetzt werden konnten.

4.5.2.1 Tripotentialmessungen

Um die jeweils notwendige Elektrodenanordnung optimal zu nützen und gleichzeitig auch das laterale Auflösungsvermögen der Widerstandsmessungen zu erhöhen wurde der Einsatz von TRIPOTENTIAL-Messungen (ACWORTH & GRIFFITHS 1985) geplant. Bei dieser Art der Widerstandsmessung wird nicht nur wie bei der konventionellen Widerstandskartierung mit einer WENNER (=Alfa) - Anordnung gemessen, sondern die Elektroden zusätzlich zur Durchführung von WENNER - Beta (= Dipol-Dipol) und der WENNER - Gamma Messungen genutzt. Nur bei homogenen Untergrund ergeben diese drei Meßarten denselben Widerstandswert. Ist der Untergrund aus Schichten unterschiedlichen Widerstandes aufgebaut bzw. treten laterale Widerstandsänderungen im Untergrund auf sind die Meßwerte dieser drei Meßmethoden unterschiedlich.

Aus diesen Unterschieden läßt sich nun wiederum auf die Art der Widerstandsänderung bzw. deren Größe zurückrechnen. Da es im vorliegenden Untersuchungsfall um die Auflösung lateraler Widerstandsänderungen geht, erweist sich der Einsatz dieser Meßmethodik sicherlich als vorteilhaft und bietet eine wesentliche Erweiterung der Information über den Untergrund gegenüber konventionellen Widerstandskartierungen. Natürlich ist der Meßaufwand etwas höher, dies wird aber durch die zusätzlich erhaltenen Informationen mehr als ausgewogen.

Auch einen weiteren zusätzlichen Vorteil bietet diese Meßmethodik. Da die drei Widerstandsmeßwerte in einem direkten mathematischen Zusammenhang stehen läßt sich aus diesen Widerstandsmeßwerten ein Meßfehler berechnen und damit auch gleich die Qualität der einzelnen Messungen bestimmen. Fehlerhafte Werte können leicht erkannt und eliminiert werden. (z.B. auch Ablesefehler, die bei konventionellen Widerstandsmessungen meist nicht erkennbar sind!).

Für die Auswertung hat sich die Bildung des Verhältnisses zwischen dem Widerstand der Wenner-Beta Anordnung zum Widerstand der Wenner-Gamma Anordnung als besonders vorteilhaft herausgestellt. Nach Untersuchungen von EDWARDS 1977 hat die Wenner-Beta Anordnung eine etwas geringere Eindringtiefe als die Wenner-Gamma Anordnung. Dadurch stellt dieses Verhältnis den Widerstandsgradienten im Bereich der mittleren Eindringtiefe einer Elektrodenanordnung dar. Ist dieses Verhältnis kleiner als 1 so nimmt der Widerstand mit der Tiefe zu (Wenner-Gamma > Wenner-Beta). Im umgekehrten Fall, wenn also das Verhältnis $R_{\text{Beta}}/R_{\text{Gamma}}$ größer als 1 ist nimmt der Widerstand mit der Tiefe ab. Nur für den homogenen Untergrund ist das Verhältnis 1. Der Übergang von Beta/Gamma-Werten von Werten kleiner als 1 zu Werten größer als 1 bzw. umgekehrt stellt damit eine Schichtgrenze im Untergrund dar. Um diese Schichtgrenze auch in die Tiefe zu verfolgen muß mit verschiedenen Elektrodenabständen bzw. verschiedenem

Faktor n gearbeitet werden. Da ein größerer Faktor n (verwendet im Sinne von Dipol-Dipol Messungen) die auftretenden Elektrodeneffekte stark vergrößert wurde bei dem vorliegenden Meßprogramm mit einem Faktor $n=1$ gearbeitet und nur die Elektrodenabstände erweitert. Dadurch ist nicht unbedingt eine Filterung der Meßwerte notwendig und es wird auch ein Datenverlust durch eine Filterung an den Enden der Profile vermieden. Da die Auflösung von geoelektrischen Verfahren mit zunehmender Eindringtiefe immer geringer wird und doch auch mit einer teilweise mächtigeren Überdeckung gerechnet werden mußte, wurde mit drei verschiedenen Elektrodenabständen von 5, 10 und 20 m gearbeitet. Später kamen durch den Einsatz des Verfahrens der Induzierten Polarisation noch Widerstandsmessungen (Dipol-Dipol Konfiguration) mit Elektrodenabständen von 30 und 60 m hinzu.

Zur Erfassung der Einflüsse der Topographie auf die Messung wurde ein digitales Höhenmodell des gesamten Meßgebietes erstellt und um auch genauere Untersuchungen möglich zu machen ein genaues Nivellment der Profile 300 und 400 durchgeführt. Damit stehen sämtliche Daten für eine topographische Korrektur der Meßwerte und weiterführenden Berechnungen zur Verfügung.

Um das zu erwartende Verhalten der Widerstandskurven der Tripotentialmessungen über Leukophyllitügen zu bestimmen, wurde an einem für dieses Gebiet typischen Modell einer einfallenden niederohmigen Schicht Modellrechnungen mit Hilfe der Methode der finiten Elemente durchgeführt (s.n.Kapitel).

4.5.3 Meßverfahren der Induzierten Polarisation (IP)

Auch der Einsatz des Verfahrens der Induzierten Polarisation kann, wie die Ergebnisse der Feldmessungen zeigen, zur Klärung der Struktur des Untergrundes und der Erkennung von Leukophylliten beitragen.

Das Polarisationsverhalten eines Gesteines ist ein Grenzflächenphänomen. Die Größe des auftretenden Effektes wird durch eine Reihe von Einflußfaktoren bestimmt, die sich in komplexer Weise überlagern. Nicht nur der Materialbestand, sondern auch die Textur und der Chemismus der Porenflüssigkeiten haben einen wesentlichen Einfluß auf die aktive innere Oberfläche und damit auf die Polarisierbarkeit, wobei eine genaue Klärung der Ursachen des IP-Effektes, insbesondere im Bereich der Nichterze bzw. bei niedrigen Polarisierbarkeiten sehr schwierig ist. Allerdings läßt sich dieses sehr empfindliche Verhalten auf Veränderungen in den Gesteinsparametern damit gut für eine lithologische Interpretation einsetzen, da es an lithologischen Grenzflächen natürlich zu besonders starken Änderungen mehrerer Gesteinsparameter kommt. Auch im speziellen Fall müßten sich die Leukophyllite von den Gneisen über die Polarisierbarkeit unterscheiden lassen.

In der Literatur konnten allerdings keine Angaben über die Polarisierbarkeiten von Leukophylliten gefunden werden. Deshalb wurden direkt an den

Leukophyllitabissen IP-Messungen durchgeführt. Das Ergebnis dieser Messungen war, daß sich die Leukophyllite durch niedrigere Polarisierbarkeiten von den Gneisen unterscheiden. Zur Klärung der Ursachen für dieses Verhaltens wären noch weitere Untersuchungen an Gesteinsproben im Labor notwendig, wobei dies allerdings für das vorliegende Prospektionsproblem nicht von primärer Bedeutung ist. Im vorliegenden Fall wurde für die Interpretation der Messungen nur die Tatsache verwendet, daß sich die Leukophyllite durch niedrigere Polarisierbarkeiten von den umgebenden Gneisen unterscheiden lassen. Wie Vergleiche mit den Ergebnissen der Tripotentialmessungen zeigen, ergibt sich eine gute Übereinstimmung der unter Anwendung verschiedenen Methoden interpretierten Leukophyllitzüge.

Da mit dem IP-Messgerät eine sehr leistungsfähige Meßapparatur zur Verfügung stand, und Informationen auch von größeren Tiefen erhalten werden sollten, wurden bei den IP Messungen größere Elektrodenabstände und zwar 30 und 60 m verwendet. Damit auch bei Verwendung dieser Elektroden spacings noch eine möglichst große laterale Auflösung erhalten bleibt wurde auch bei diesem Meßverfahren mit einem Meßpunkt Abstand von 5 m gearbeitet. Gemessen wurde im Zeitbereich mit einer Dipol-Dipol Anordnung. Die Aufladezeit betrug 2 Sekunden und die Chargeability wurde durch Integration über ein Intervall von 100 ms bis 1600 ms erhalten. Gemessen wurde mit einem IP-Empfänger (M4) der Fa. Huntet und einem IP-Transmitter (IPT-1) der Fa. Phönix. An elektrischer Leistung standen durch einen Motor-Generator 3.5 kW zur Verfügung.

Da bei den IP-Messungen nicht nur die Polarisierbarkeit, sondern auch der elektrische Widerstand gemessen wird, sind natürlich auch die in der Widerstandskurve auftretenden Widerstandsminima für die Interpretation sehr interessant. Insbesondere das gleichzeitige Auftreten eines Polarisations- und eines Widerstandsminimums ergibt damit eine hohe Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Leukophyllituzuges.

Nachteilig für einen Einsatz der Methode der Induzierten Polarisation wirken sich gegenüber der normalen Geoelektrik die wesentlich höheren Kosten auf Grund des deutlich größeren Feldaufwandes aus. Ein flächendeckender Einsatz dieser Methode würde daher den zur Verfügung stehenden Kostenrahmen bei weitem sprengen. Da der Einsatz dieser Methode allerdings für dieses Problem sehr vielversprechend scheint, wurde doch ein Profil (300) mit dieser Methode gemessen.

4.5.4 Eigenpotentialmessungen (SP)

Als weitere geophysikalische Methode wurden auch Eigenpotentialmessungen eingesetzt. Testmessungen des Eigenpotentials ergaben, daß die Eigenpotentialkurven signifikante Anomalien aufweisen. Die weitere Auswertung zeigte, daß eine signifikante Korrelation zwischen den Maxima des Eigenpotentials und den Abissen der Leukophyllituzüge besteht. Obwohl sicherlich nicht alle SP-Maxima mit Leukophyllituzügen korrelierbar sind, da

wesentlich mehr Ursachen für die Ausbildung von SP-Anomalien möglich sind, ergeben sich doch äußerst wichtige Informationen über die Geologie, im speziellen die Streichrichtungen bzw. bezüglich der Korrelation von Anomalien auf verschiedenen Profilen. Da die SP-Messungen weiters ein einfaches, schnelles und damit billiges Meßverfahren darstellen, konnte eine wesentlich größere Meßpunktdichte als mit den übrigen Verfahren, bei ähnlichem Aufwand erzielt werden.

Eigenpotentialmessungen wurden daher auf allen Widerstandsmeßprofilen, die in einem Abstand von ca. 100m gemessenen wurden, eingesetzt. Um nun trotz der beschränkten zur Verfügung stehenden Mittel zu einer besseren Korrelation der SP-Messungen zwischen den einzelnen Profilen zu kommen wurden die Profilstände durch zusätzliche Profile auf 50 m verdichtet.

4.6 Szintillometrie:

Auch mit einem Szintillometer wurden Testmessungen durchgeführt. Die Genauigkeit des eingesetzten Gerätes war allerdings zu gering und weiters traten auch große statistische Schwankungen in den Meßwerten auf, sodaß aus diesen Messungen keine signifikanten Aufschlüsse über die Lage der Leukophyllite gewonnen werden konnten.

5. Theoretische Untersuchungen und Modellrechnungen mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente:

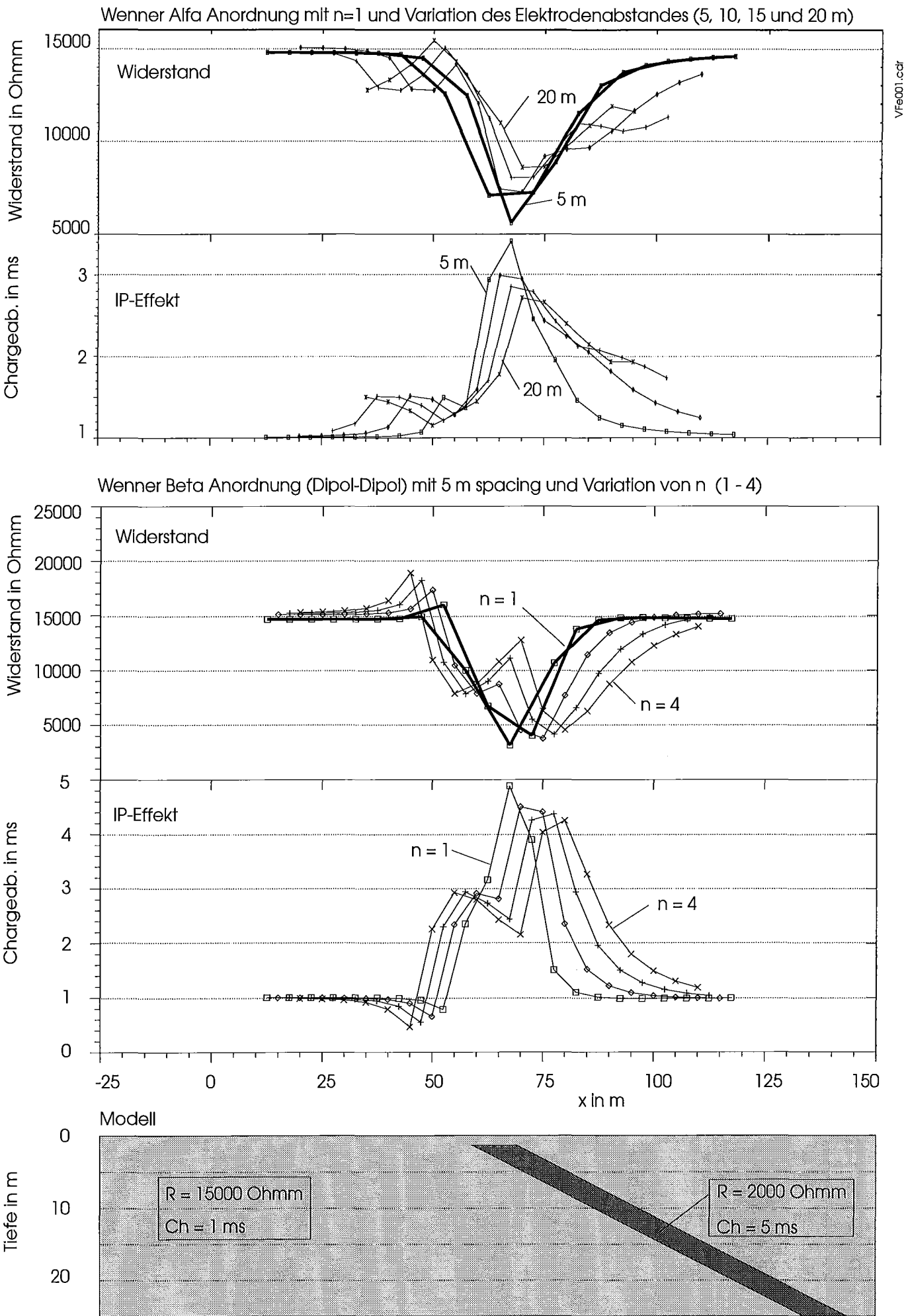
5.1 Modellparameter

Wie schon in der Problemstellung erwähnt, wird von den zur Prospektion des Leukophyllits eingesetzten geophysikalischen Messungen ein äußerst hohes Auflösungsvermögen gefordert, um die nur geringmächtigen Leukophyllitzüge noch auflösen zu können. Um eine Vorstellung von den zu erwartenden Anomalien zu erhalten bzw. Interpretationshilfen zu erarbeiten, wurden für die geoelektrischen Methoden Modellrechnungen mit der Methode der Finiten Elemente (s. z.B. FINK et.al. 1990, RIJO 1987) durchgeführt. Nach den Informationen der geologischen Kartierung ist ein generelles Einfallen der Leukophyllitzüge in Richtung Süd zu erwarten. Es wurde daher ein einfaches Modell einer einfallenden Platte angenommen (s. Abbildung 5). Die Überdeckung wurde in diesem Modell mit einem Meter angenommen. Für die hochohmigen Gneise wurde ein Widerstand von 15000 Ohmm angesetzt und als Widerstand für den Leukophyllitzug ein Wert von 2000 Ohmm. Die Mächtigkeit der Platte beträgt ca. 10 Meter. Dies entspricht dem Doppelten des Elektroden spacings von 5m. Ausgegangen wurde weiters auch von einer ebenen Topographie, sodaß kein topographischer Einfluß berücksichtigt werden mußte, d.h. die Gültigkeit der Modellrechnungen beschränkt sich in diesem Fall auf die Bereiche außerhalb des Mühlgrabens. Wie bereits begründet ist das Verhältnis der Widerstände von Wenner-Beta und Wenner-Gammaanordnung von besonderem Interesse. Da hiezu in der Literatur kaum Ergebnisse von konkreten Modellrechnungen zu finden sind, war es notwendig diese Kurven zu berechnen. Mit der Methode der Finiten Elemente wurden zuerst die drei Wenner Widerstandskurven für dieses Modell berechnet und daraus dieses Widerstandsverhältnis abgeleitet.

Als Parameter bei den Modellrechnungen wurde bei einem konstanten $n = 1$ der Elektrodenabstand zwischen 5 und 20 m variiert und anschließend bei einem fixen Elektrodenabstand von 5 m der Parameter n zwischen 1 und 4 verändert. Da bei dieser Meßkampagne auch IP-Messungen eingesetzt wurden, sind in den Modellrechnungen auch die Kurven des IP-Effektes mitberechnet worden. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in der Abbildung 5 dargestellt. Aus den Kurven ist ersichtlich, daß sowohl bei einer Vergrößerung des Elektrodenabstandes (im Vergleich zur Schichtmächtigkeit) im berechneten Parameterbereich als auch bei einer Vergrößerung des Faktors n die Oszillationen in den berechneten Kurven zunehmen, wobei die Ursache dafür hauptsächlich im stärker werdenden Elektrodeneffekt liegt.

Um diese Effekte zu minimieren wurde für die Feldmessungen ein Faktor von $n = 1$ gewählt. Bei den Elektrodenabständen konnt jedoch keine Einschränkung gemacht werden, da auch eine entsprechende Eindringtiefe der Messungen notwendig war, die nur durch eine Vergrößerung des

Modellrechnung mit der Methode der Finiten Elemente



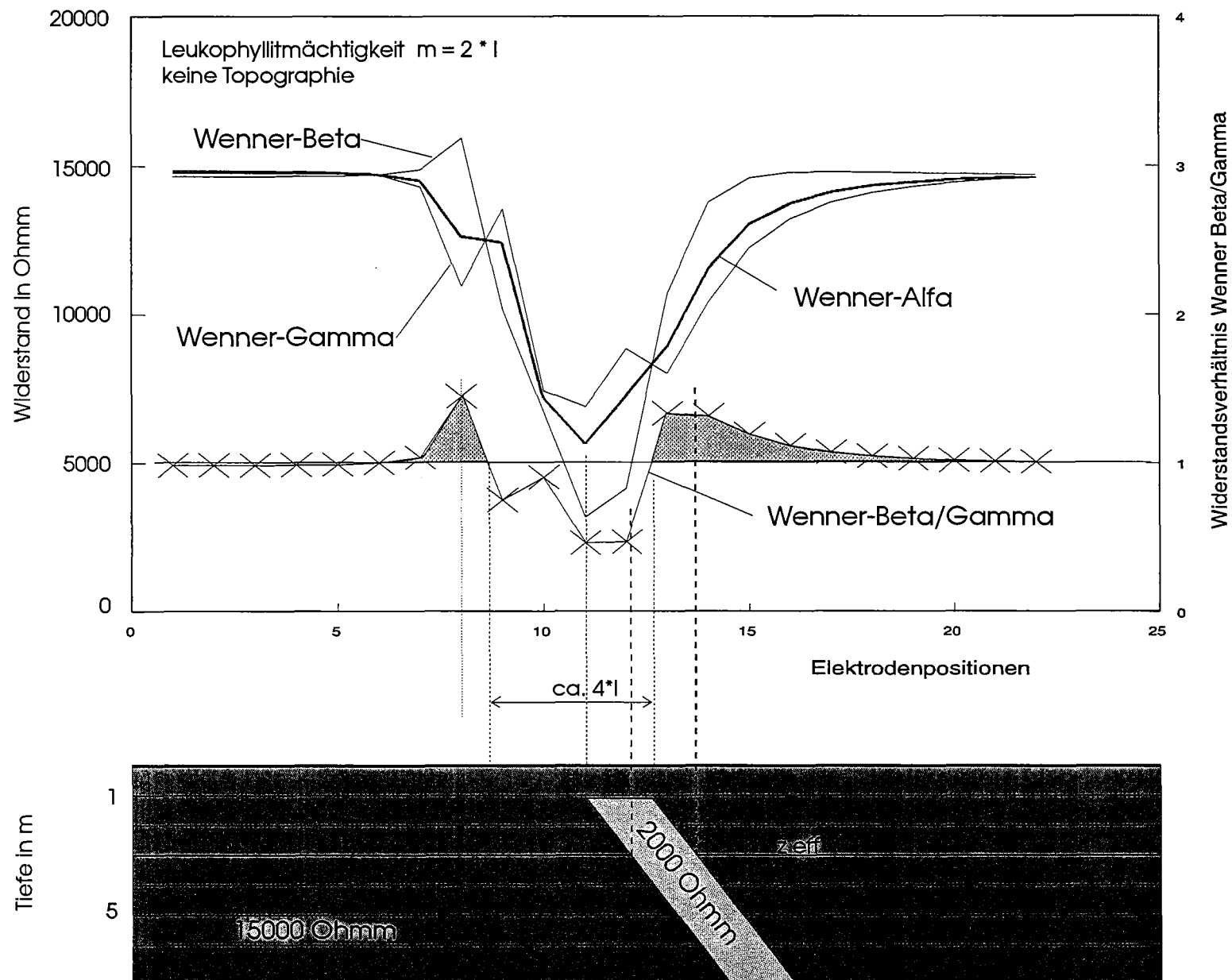
Elektrodenabstandes erreicht werden konnte. Deshalb wurde die Berechnung der Tripotentialkurven mit einem Faktor von $n = 1$ und für ein Elektroden-spacing von 5 m (entspricht der halben Schichtmächtigkeit) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen zeigt die Abbildung 6.

5.2 Diskussion der Ergebnisse der Modellrechnung

Folgende charakteristische Merkmale können festgestellt werden:

- 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 Asymetrie 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.

Die wichtigsten Erkenntnisse aus diesen Modellrechnungen zum gegenständlichen Problem sind, daß einerseits, wie zu erwarten die Wenner-Alfa Kurve ein Minimum über der niederohmigen Zone zeigt und andererseits die Anomalie des Widerstandsverhältnisses R-Beta zu R-Gamma ziemlich genau mit der Lage des Leukophyllit-zuges bei der effektiven Eindringtiefe der Elektrodenanordnung zusammenfällt. Das Widerstandsverhältnis R-Beta zu R-Gamma stellt damit einen geeigneten Indikator für die Erkennung von niederohmigeren, dünnen Schichten (ev. Leukophyllit) dar, wobei außerdem festzustellen ist, daß diese Anomalien wesentlich schärfer als die Anomalie der Wenner-Alfa Kurve sind und man somit ein größeres laterales Auflösungsvermögen erreicht.



VORAU

Projekt:
Leukophyllit-Vorau

**Modellrechnung
mit der
Methode der
finiten Elemente**

Wenner
Tripotentialmessung

Einfallende Platte
Mächtigkeit 10 m
Elektroden spacing $l = 5 \text{ m}$
 $n = 1$

Stand: April 1994

Abbildung 6

Ein großer Nachteil ist allerdings, daß bei jeder niederohmigen Zone jeweils zwei R-Beta/R-Gamma Anomalien auftreten, wobei die zweite Anomalie lagemäßig nicht mit einer niederohmigeren Zone im Untergrund zusammenfällt. Ein wesentliches Problem bei der Interpretation stellt somit die Trennung dieser zwei Arten von Anomalien dar. Da im vorliegenden Meßgebiet die Haupteinfallsrichtung (etwa in Richtung S) bekannt ist läßt sich diese Trennung, zumindest theoretisch durchführen. Bei einem NS-verlaufenden Profil müßten nördlich R-Beta/R-Gamma Anomalien Werte auftreten, die deutlich unter 1 sind, während die Werte südlich der Anomalie um etwa 1 liegen sollten. Die zweite Anomalie verhält sich genau umgekehrt und läßt sich dadurch unterscheiden. Weiters sollte auch ein Widerstandsminimum in der Wenner-Alfa Kurve auftreten, das in diesem Fall nördlich der Anomalie liegen muß.

Bei der Interpretation der tatsächlichen Meßkurven liegen allerdings keine derartig idealen Verhältnisse vor. Oftmals treten mehrere benachbarte Leukophyllitzüge auf, wodurch es zu einer Überlagerung der Anomalien kommt, weiters ist die Deckschicht bei weitem nicht als homogen anzunehmen und außerdem ist auch noch mit einem topographischen Einfluß zu rechnen. Dies führt zu erheblichen Schwierigkeiten bei der Interpretation der Messungen.

5.3 Übertragung der theoretischen Ergebnisse auf die Feldmessungen

Das theoretisch berechnete Verhalten der Tripotential-Widerstandskurven stimmt gut mit den bei Feldmessungen über bekannte Leukophyllitaufschlüsse erhaltenen Ergebnissen überein.

Bereits an den nicht weiter aufbereiteten Widerstandsmeßwerten läßt sich an den Leukophyllitzügen dieses charakteristisches Verhalten der R-Beta/R-Gamma Kurve beobachten. An den nach Süd einfallenden Leukophyllithorizonten liegt die R-Beta/R-Gamma Kurve bei Annäherung von Süd nach Nord an einen Leukophyllitzug zunächst unter 1 da im Gneis der Widerstand üblicherweise mit der Tiefe zunimmt. Gelangt man nun im Bereich der Eindringtiefe der Elektrodenanordnung in den Leukophyllitzug, so liegt in diesem Bereich eine höherohmige Gneisschicht über dem niederohmigeren Leukophyllit, d.h. der Widerstand nimmt mit der Tiefe ab und das Verhältnis R-Beta/R-Gamma wird größer als 1. Gelangt man anschließend wiederum in den Gneisbereich sinkt das Verhältnis wieder unter 1. Dieses Widerstandsverhältnis bildet somit einen guten Indikator für dünne, niederohmige Schichten und die Auflösung ist wesentlich höher als bei konventionellen Widerstandskartierungen. Die Alfa-Anordnung müßte ein Minimum direkt über dem Leukophyllitzug zeigen. Wenn bei der Wenner-Beta Anordnung beide Stromelektroden den Leukophyllitzug passiert haben zeigt sich oftmals, bei Verwendung von einfachen Erdungsmeßgeräten, daß die

einfallende niederohmige (Leukophyllit)-Zone den Meßstrom so stark abschirmt, daß sich zwischen den Meßelektroden kein für diese Meßgeräte meßbares Potential ausbildet und das Meßgerät einen Widerstand von Null anzeigt! Dieses Verhalten konnte einige Male beobachtet werden.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, daß der Einsatz von Tripotentialmessungen bei der vorliegenden Aufgabenstellung nur empfohlen werden kann. Die Ergebnisse der Tripotential - Feldmessungen und deren Interpretation werden in einem nachfolgenden Kapitel vorgestellt.

6. Auswertung der Messungen am Profil 300

6.1 Lage des Profiles

Eine Aufgabenstellung dieses Meßprogrammes war es, die Verwendbarkeit der verschiedenen geophysikalischen Methoden zum Nachweis der Leukopyllitzüge zu testen. Als Testprofil für die verschiedenen Methoden wurde wie bereits erwähnt, das Profil 300 herangezogen. Dieses Profil reicht von den Grobgnese des Raabalpen-Kristallins über die Strallegger Gneise bis zu den Hornblendegneisen des Waldbach-Kristallins. Dieses Profil schneidet auch alle von der Geologie prognostizierten Leukophyllitzüge und die Meßergebnisse auf diesem Profil lassen daher einen guten Überblick über die im Meßgebiet zu erwartenden Variationen der einzelnen geophysikalischen Parameter zu. Das Profil schneidet zudem auch noch die von der Geologie festgestellte Deckengrenze (s. Abbildung 4). Außerdem ist dieses Profil im Gegensatz zu den anderen Profilen noch relativ leicht zugänglich. Daher wurden vorerst die Einsatzmöglichkeiten der einzelnen geophysikalischen Meßverfahren auf diesem Profil getestet.

6.2 Magnetik

Trotz der geringen Wahrscheinlichkeit daß diese Meßmethode im vorliegenden Fall geeignet ist wurde am Profil 300 auch eine Magnetikmessung durchgeführt. Da die Meßwerte entlang des Profiles 300 wie erwartet nur äußerst geringe Variationen zeigten (10-20 nT) und im Sommer doch mit stärkeren Magnetfeldvariationen gerechnet werden muß, wurden die Profile doppelt gemessen. Es konnte allerdings keine Korrelation der Magnetikmessungen mit den Leukophylliten festgestellt werden. Deshalb wurde die Magnetik im weiteren Meßprogramm nicht mehr eingesetzt.

6.3 Induzierte Polarisation

Da nach der geologischen Aufnahme des Untersuchungsgebietes davon auszugehen ist, daß die Gneise an der Oberfläche durch die tektonische Beanspruchung und die Verwitterung stärker geklüftet sind, und diese klüftigen Zonen ebenfalls niederohmige Widerstandsanomalien hervorrufen können, wurde versucht zuerst die Messungen mit größeren Eindringtiefen zu interpretieren. Es sollten daher im ersten Schritt die Anomalien herausgearbeitet werden, die sich auch in größere Tiefen erstrecken. Anschließend sollte versucht werden, diese Anomalien mit seichter liegenden Anomaliezonen zu korrelieren.

Mit den IP-Messungen konnten die größten Eindringtiefen erreicht werden. Verwendet wurde eine Dipol-Dipol Anordnung mit Elektrodenabständen von

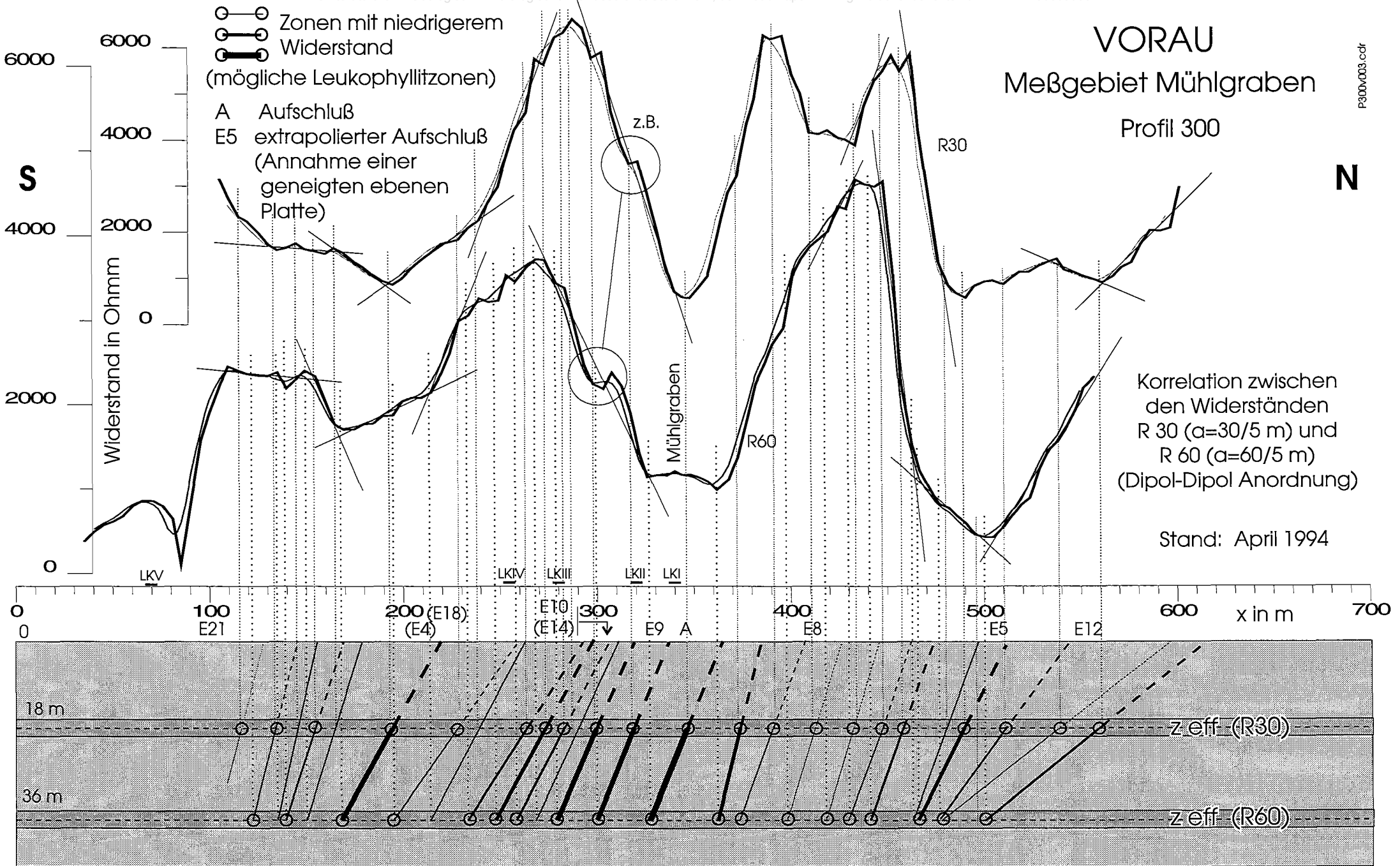
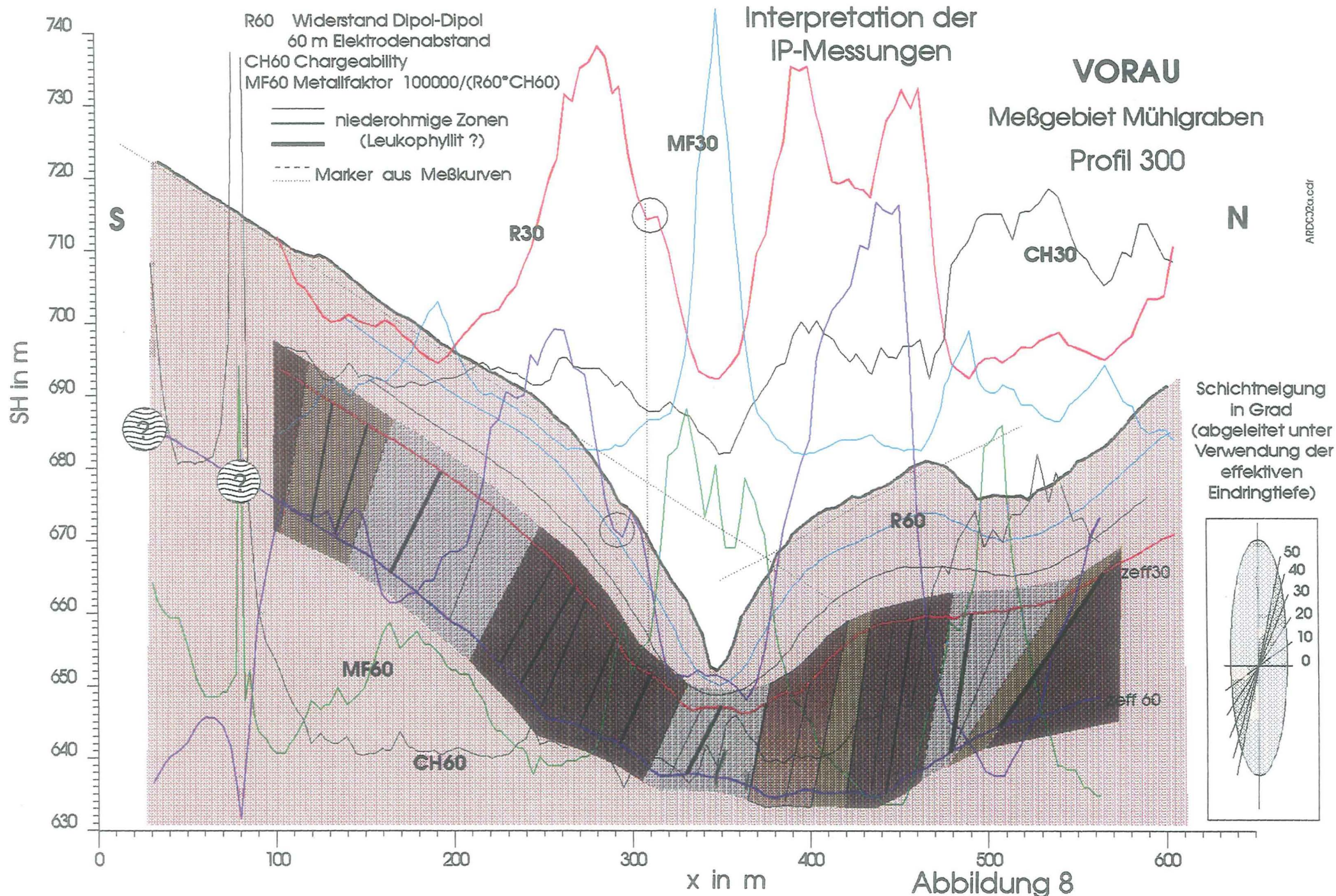


Abbildung 7

30 m (Auslagenlänge = 90 m) und 60 m (Auslagenlänge = 180 m). Damit ergeben sich für diese Meßkonfigurationen effektive Eindringtiefen von ca. 18 bzw. 36 m. Die erhaltenen Widerstandsmeßkurven sind in der Abbildung 7 dargestellt. Da das Ziel dieser Messungen die Erkennung kleinster Widerstandsanomalien in den Meßkurven war, wurden diese Widerstandsmessungen mit sehr hoher Genauigkeit und einem sehr kleinen Meßpunktsabstand von 5 m durchgeführt. Wie die in der Abbildung 7 dargestellten Ergebnisse zeigen, lassen sich diese Widerstandsanomalien zwischen den beiden Meßkurven sowohl in der Grobstruktur, als auch im Detail sehr gut korrelieren. Dies läßt auch den Schluß zu, daß es sich auch bei den kleinen Anomalien in der Meßkurve um keine Meßfehler, sondern um signifikante Anomalien handelt. In der ebenfalls in der Abbildung 7 dargestellten Tiefensektion wurde nun die Lage der Widerstandsanomalien bei der effektiven Eindringtiefe der jeweiligen Elektrodenanordnung eingezeichnet und eine Korrelation zwischen den einzelnen Anomalien durchgeführt. Diese Korrelation ergab, in guter Übereinstimmung mit den geologischen Erkenntnissen ein generelles Einfallen der Zonen niedrigeren Widerstandes entlang des Profiles in Richtung Süd. Auch eine Extrapolation der Widerstandsanomalien bis an die Oberfläche wurde durchgeführt und die interpretierten und korrelierten Widerstandsanomalien je nach Signifikanz in der Abbildung 7 mit unterschiedliche Strichstärken eingezeichnet. Die aus der geologischen Karte übernommenen Lagen der Leukophyllithorizonte I bis V sind ebenfalls in der Abbildung 7 eingetragen. Ein direkter Leukophyllitaufschluß ist auf diesem Profil nur im Bereich des Mühlgrabens vorhanden. Als Hilfestellung für eine detailliertere Interpretation wurden auch die in der Umgebung des Profils liegenden Aufschlüsse in die Profilebene projiziert. Die Ermittlung der Lage dieser Aufschlüsse erfolgte durch Extrapolation unter der Annahme einer geneigten ebenen Platte. Die in Klammern angegebenen projizierten Aufschlüsse liegen weiter vom Profil entfernt. Bei der in der Abbildung 7 dargestellten Interpretation der Messungen ist noch kein Einfluß der Topographie berücksichtigt. Deshalb wurde versucht diesen Topographieeinfluß bei den Auswertungen zu berücksichtigen.

6.4 Topographieeinfluß auf die Messungen

Da der Einfluß der Topographie auf die Messungen in diesem Gebiet sicherlich nicht vernachlässigt werden kann, wurde eine teilweise Kompensation dieses Effektes durch die Konstruktion von topographiekorrigierten Tiefenpunkten durchgeführt. Dabei wird für jede Meßposition eine idealisierte ebene Oberfläche aus der genauen Lage der Elektroden mit Hilfe eines Least Square Verfahrens berechnet. Ausgehend von dem auf diese Ebene projizierten Mittelpunkt der jeweiligen Elektrodenanordnung liegt dann der zugehörige Tiefenpunkt im Abstand der effektiven Eindringtiefe in Richtung der Normalen auf diese Ebene. Obwohl mit diesem Verfahren noch nicht alle Einflußgrößen eliminiert werden, ergibt sich doch damit eine bessere Möglichkeit zur



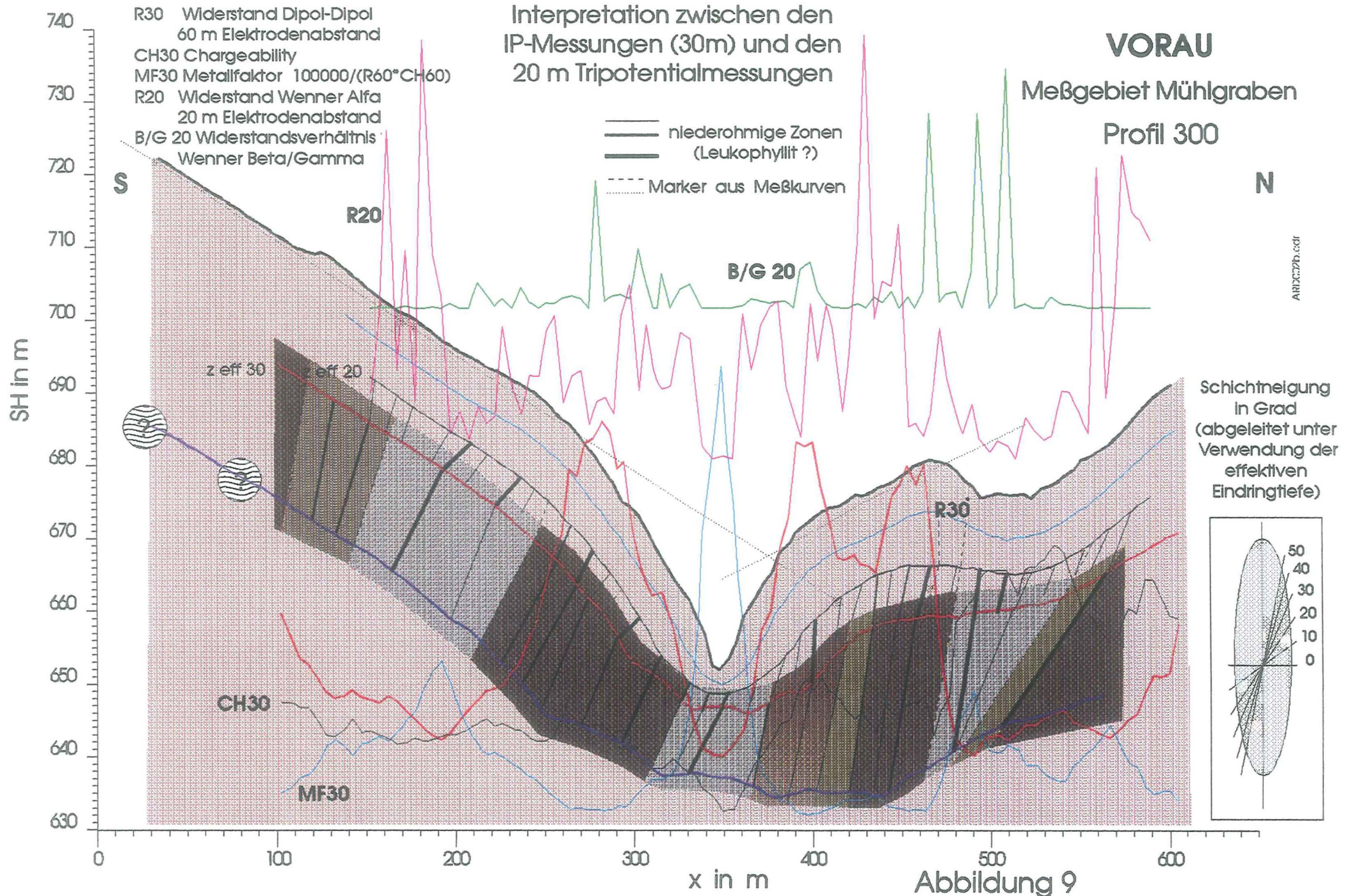
Konstruktion eines geologischen Tiefenprofils. Da die effektive Eindringtiefe in Abhängigkeit vom Widerstand nicht immer mit der tatsächlichen Eindringtiefe übereinstimmt, sind die so ermittelten Schichtneigungen dadurch noch immer mit einem Fehler behaftet.

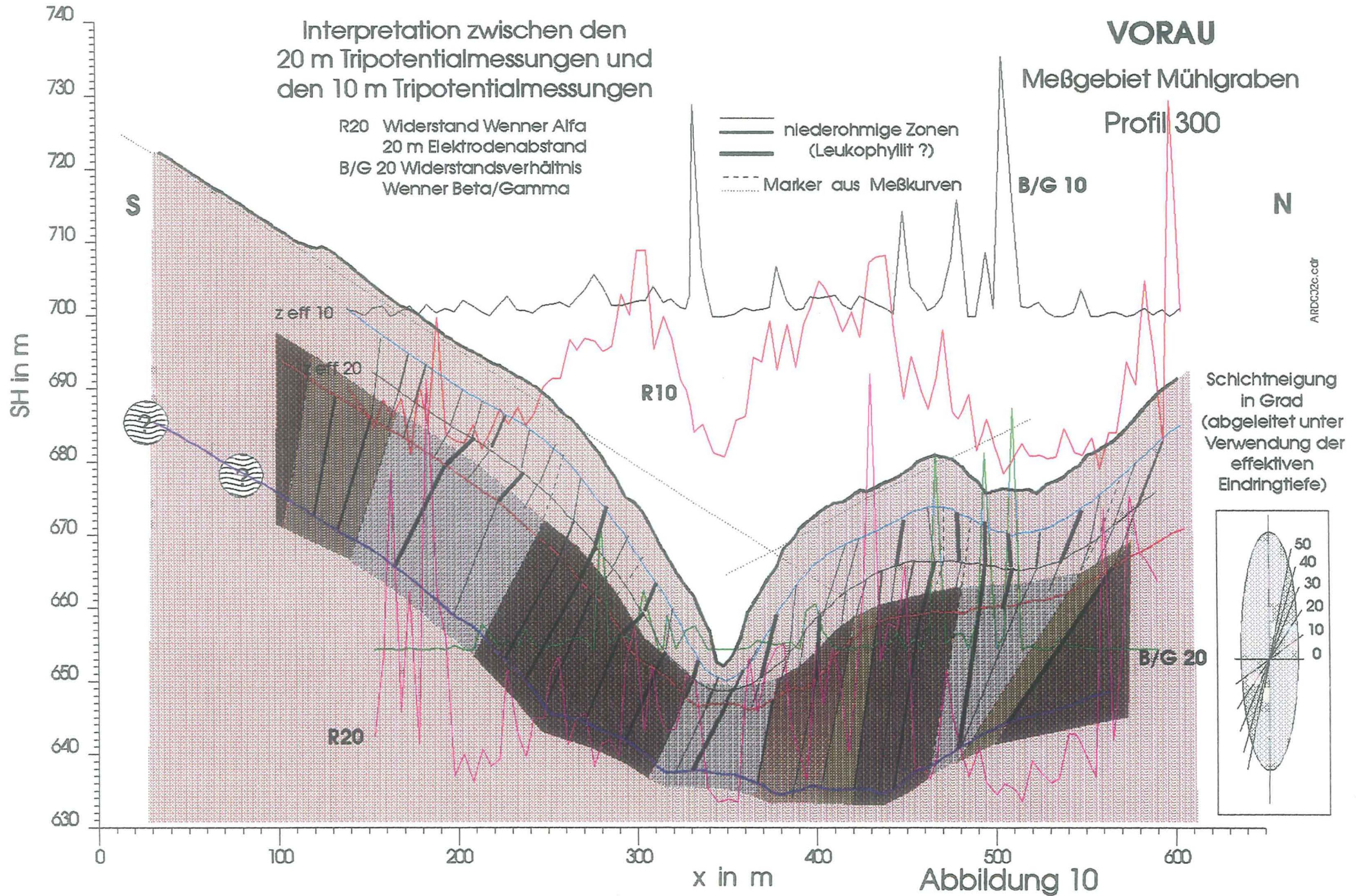
6.5 Korrelation der Meßkurven

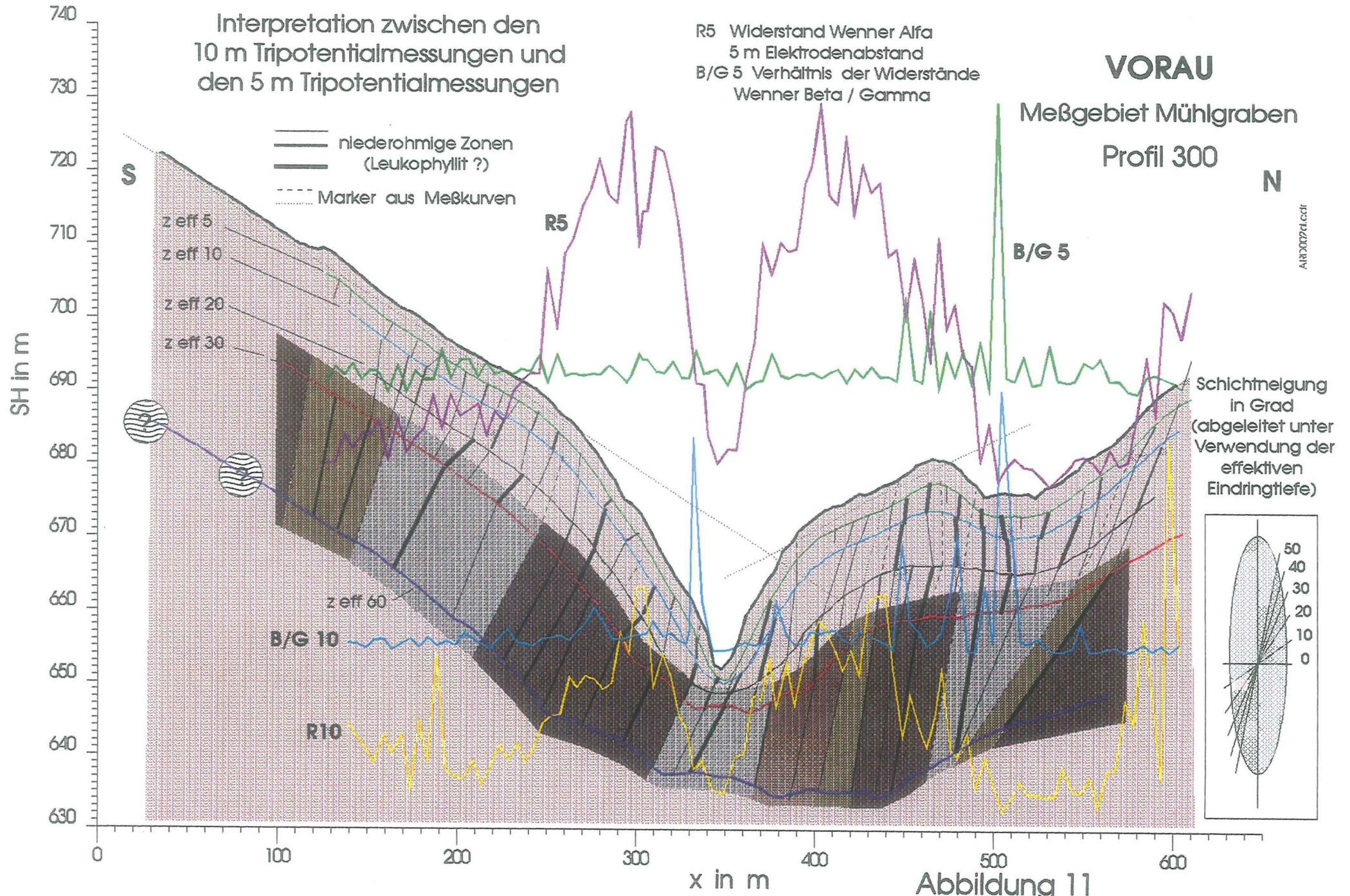
Das in der Abbildung 7 dargestellte Ergebniss der Korrelation der Widerstandsanomalien zwischen den mit 30 und 60 m Elektrodenabstand durchgeführten Messungen wurde nun in ein Tiefenprofil unter Berücksichtigung der topographiekorrigierten Tiefenpunkte übertragen. Gleichzeitig wurde auch das Ergebnis der IP-Messungen in die Interpretation miteinbezogen. Da die Leukophyllitzone durch niedrigere Widerstände und niedrigere Polarisierbarkeiten charakterisiert werden können, wurde noch eine zusätzliche Kurve eines modifizierten Metallfaktors durch die Bildung des Reziprokwertes aus dem Produkt von Widerstand und Polarisierbarkeit berechnet. Potentielle Leukophyllitzone treten damit in dieser Kurve als Maxima hervor. Die Ergebnisse dieser so durchgeführten Interpretation sind in der Abbildung 8 eingezeichnet. In dieser Abbildung wurde weiters als Hilfestellung für eine geologische Interpretation eine qualitative Zerlegung in Bereiche mit hohen und niedrigeren Widerständen durchgeführt und durch eine farbliche Hinterlegung auf dem Profil dargestellt.

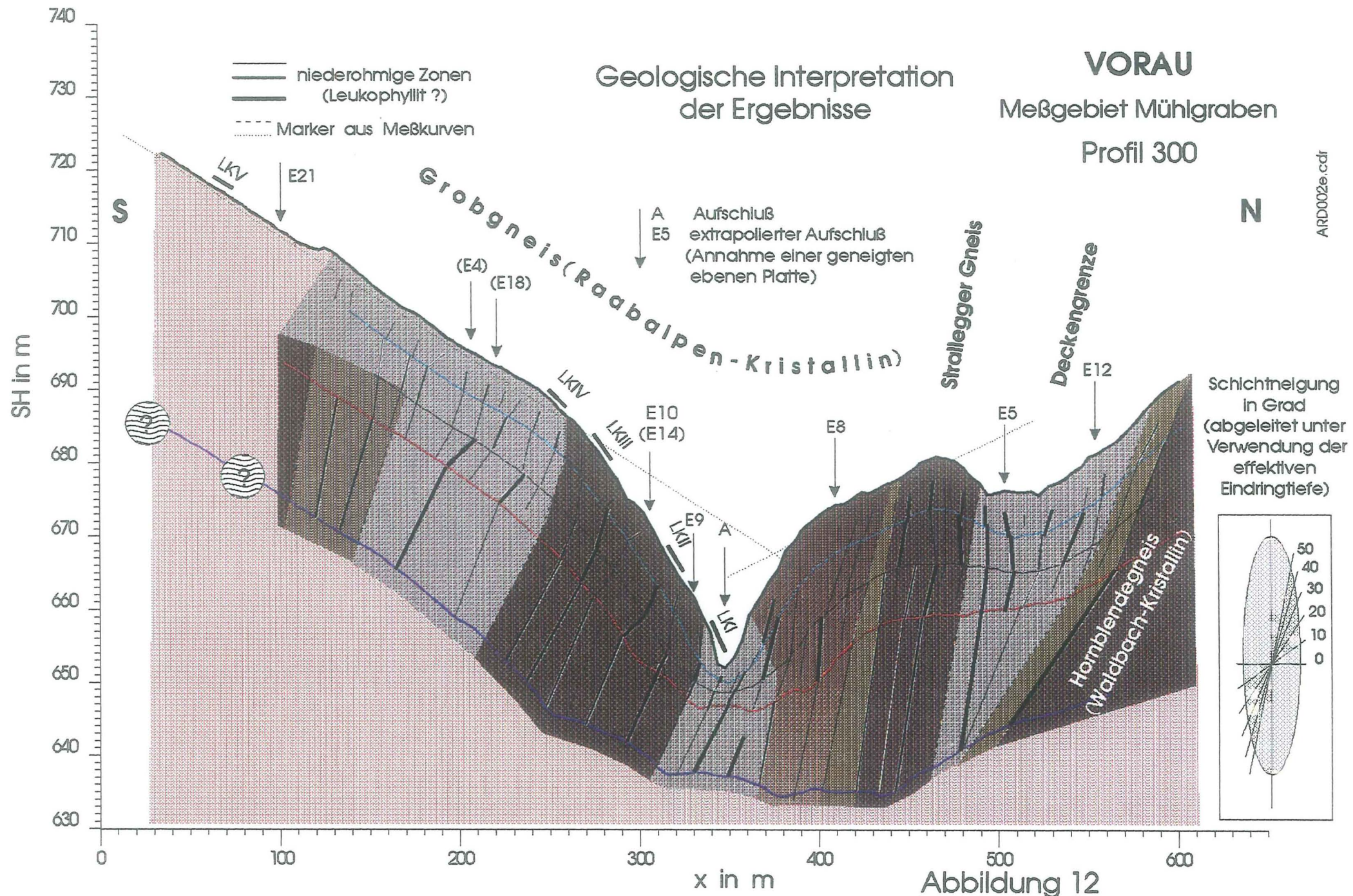
Ausgehend von dieser Interpretation der tieferliegenden Bereiche wurde im nächsten Schritt eine Korrelation zwischen den IP-Messungen mit 30 m Elektrodenabstand und den Tripotentialmessungen mit 20 m Elektrodenabstand durchgeführt. Die für die Korrelation interessanten Zonen treten bei den Tripotentialmessungen durch Widerstandsminima und ein großes Widerstandsverhältnis Wenner-Beta/Gamma hervor. Das Ergebnis dieser Korrelation ebenfalls unter Berücksichtigung der topographiekorrigierten Tiefenpunkte zeigt die Abbildung 9. Die aus den IP-Messungen erhaltenen Zonen lassen sich dabei gut mit den Tripotentialmessungen korrelieren. In weiteren Schritten, die in den Abbildungen 10 und 11 dargestellt sind erfolgte die Korrelation mit den restlichen Tripotentialmessungen mit Elektrodenabständen von 10 und 5 m.

Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und einer geologischen Interpretation zeigt die Abbildung 12. Im nördlichen Teil des Profils tritt die Grenze zum Hornblendegneis des Waldbachkristallins deutlich durch eine Widerstandserhöhung auf allen Profilen hervor. Daran anschließend liegt der Bereich der eher niederohmigen Deckengrenze gefolgt von den steiler einfallenden Srallegger Gneisen. Abgegrenzt durch eine geringfügig niederohmigere Zone erstreckt sich dann der Grobgneis des Raabalpen-Kristallins bis zum südlichen Ende des Profils. Auch die Grobgneiseinheit ist widerstandsmäßig in sich gegliedert. Im Bereich des Mühlgrabens tritt z.B. ein Widerstandsminimum auf. Eine weitere niederohmigere Zone liegt nahe dem südlichen Ende des Profils. In diesem Bereich tritt auch eine mächtigere









Überdeckung auf. Ebenfalls eingezeichnet sind die vorhandenen Informationen über die Lage der Leukophyllitizonen.

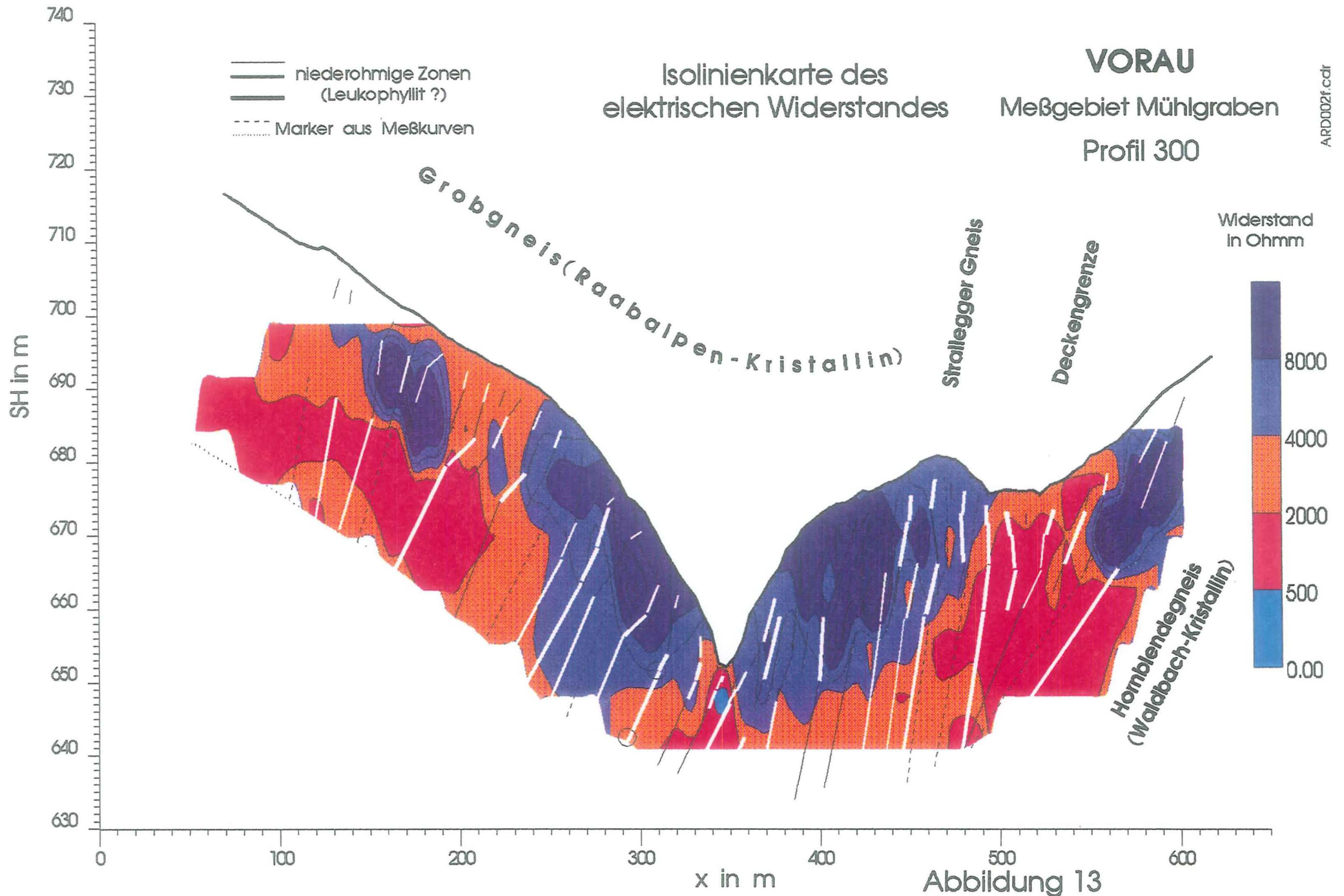
Da das generelle Einfallen der Leukophyllitzüge etwa in Richtung Süden liegt wurde, um eine möglichst vollständige Information über den Aufbau des Untergrundes zu erhalten, das IP-Profil mit 60 m Elektrodenabstand weiter als die restlichen Profile in Richtung Süden ausgedehnt. Dabei traten zwei Anomaliezonen mit niedrigen Widerständen und extrem hohen Polarisierbarkeiten, ähnlich wie bei technischen Störungen, bei ca 25 und 80 m auf. Bei diesen beiden Zonen handelt es sich wahrscheinlich um eine eng begrenzte gut leitfähige Zone im Untergrund, z.B. vergrabene Metallteile oder ähnliches. Da diese Widerstandsanomalie auf dem benachbarten Profil 350 nicht erkennbar ist, müßte es sich um eine lokale Anomalie handeln und Rohrleitungen oder geerdete Kabel sind eher auszuschließen. Die Lage der Anomalien fällt auch nicht mit der das Profil in diesem Bereich kreuzenden Straße zusammen. Eine genaue Betrachtung des Luftbildes in diesem Bereich zeigt, daß an der Stelle der Anomaliezone ein hellerer Bereich auftritt, der sich mit der zweiten nördlicher liegenden Anomaliezone zu einem etwa rechteckigen Bereich kombinieren läßt. Eine ähnliche Zone kann auch in der Nähe des benachbarten Bauernhofes festgestellt werden, sodaß die Annahme naheliegt, daß diese Anomaliezonen eventuell durch Reste eines früher an dieser Stelle gebauten Bauernhofes hervorgerufen wurden. Diese Interpretation wurde jedoch noch nicht genauer überprüft und daher wurden diese beiden Anomaliezonen mit einem Fragezeichen versehen.

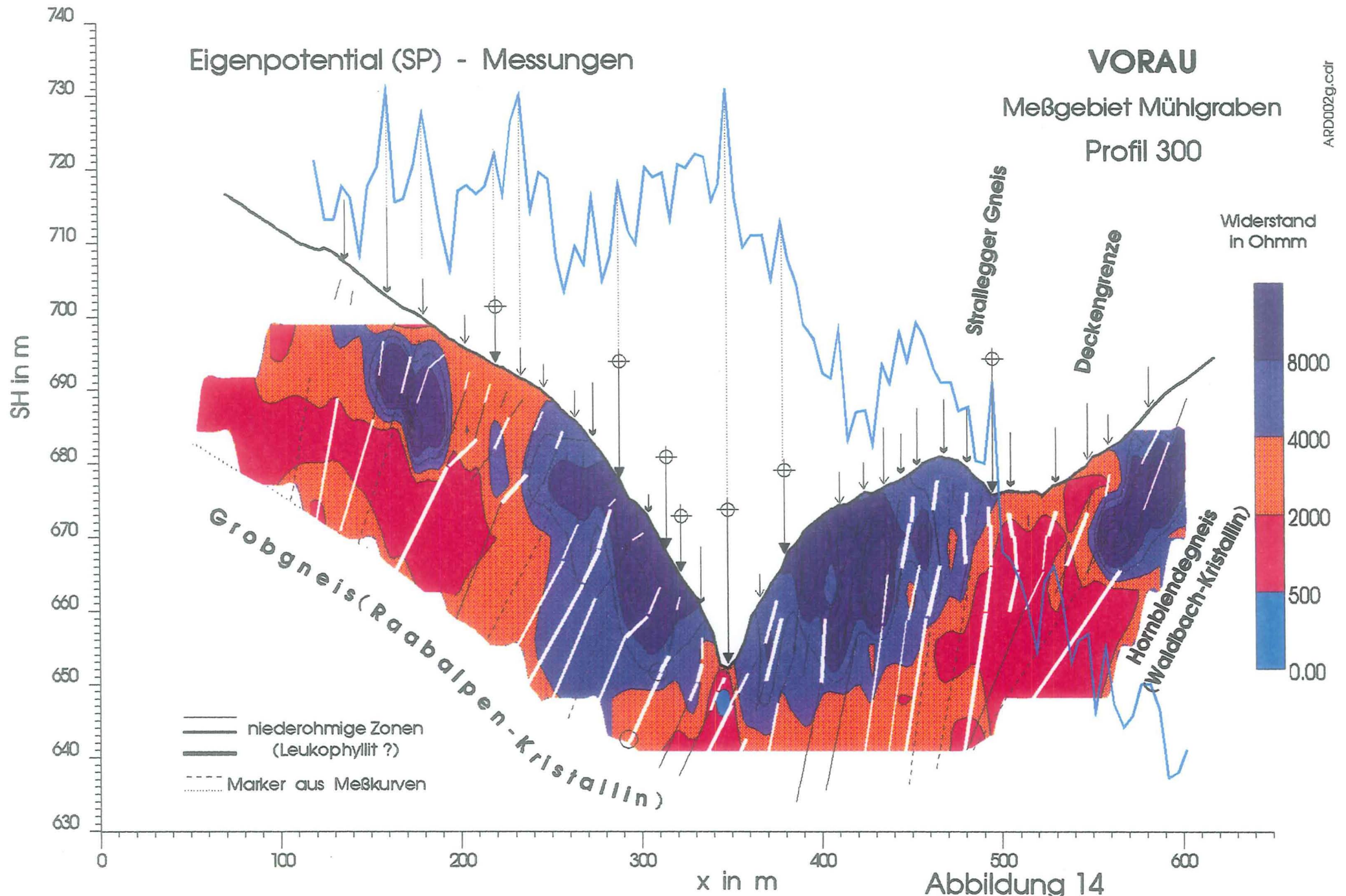
6.6 Widerstandstiefensektion des Profiles 300

Um ein genaues Bild über die Widerstandsverteilung im Untergrund zu erhalten, wurde die in der Abbildung 12 dargestellte, zunächst qualitativ durchgeführte Analyse der Widerstände durch die Berechnung einer Widerstandstiefensektion aus den topographiekorrigierten Meßwerten quantifiziert. Das Ergebnis dieser Berechnungen ist zusammen mit den interpretierten potentiellen Leukophyllitizonen und der geologischen Interpretation in der Abbildung 13 dargestellt.

6.7 Einbeziehung der SP-Messungen

In der Abbildung 14 wurde das aus den Widerstands- und IP-Messungen erhaltene Ergebnis den Eigenpotentialmessungen auf diesem Profil gegenübergestellt. Deutlich ist dabei eine signifikante Korrelation der Maxima in der SP-Kurve mit den Ausbissbereichen der Leukophyllitizonen feststellbar. Dies deutet wie erwartet darauf hin, daß als Ursache für die Ausbildung von SP-Anomalien besonders der Aufbau des oberflächennahen Bereiches von Bedeutung ist. In der Abbildung 14 wurde die Lage der SP-Maxima entsprechend markiert um diesen Zusammenhang aufzuzeigen. Weiters





wurden die wichtigsten Anomaliezonen, an denen der niederohmige Bereich auch noch in größerer Tiefe nachweisbar ist, hervorgehoben. Da sowohl das Eigenpotential als auch die Induzierte Polarisation durch Änderungen der elektrochemischen Eigenschaften im Untergrund bestimmt wird, korrelieren im allgemeinen negative SP-Anomalien mit positiven IP-Anomalien und umgekehrt positive SP-Anomalien mit negativen IP-Anomalien. Dadurch wird die bei der Interpretation verwendete Korrelation von negativen IP-Anomalien und Leukophyllitzügen untermauert und die SP-Messungen fügen sich damit gut in das auf diesem Profil erhaltene Interpretationsergebnis ein.

Weiters ist auch in den SP-Messungen die lithologische Gliederung entlang dieses Profils gut erkennbar. Deutlich ersichtlich ist der signifikante Abfall der SP-Werte im Bereich der Deckengrenze. Auch die Strallegger Gneise treten auf dem Profil durch ein Maximum in der SP-Kurve hervor. Im Bereich der Hornblende Gneise ist ebenfalls eine deutliche Gliederung entsprechend den Widerstandsverhältnissen im Untergrund erkennbar. Der unterschiedliche Charakter der SP-Kurve in den beiden hochohmigen Zonen nördlich und südlich des Mühlbaches ist wahrscheinlich durch die unterschiedliche Neigung der Oberfläche in Bezug auf das Schichteinfallen bedingt.

Die SP-Messungen lassen sich damit gut zur generellen geologischen Gliederung, der Bestimmung von Hauptstreichrichtungen und für die Korrelation zwischen den einzelnen Profilen einsetzen. Ein weiterer Versuch, Vorzugsrichtungen bezüglich der Leitfähigkeit entlang des Profils zu bestimmen wurde über die Messung der Widerstandsanisotropie unternommen.

6.7 Widerstandsanisotropie und Vorzugsrichtungen bezüglich der Leitfähigkeit

6.7.2 Anisotropiemessungen - Meßmethodik

Die Bestimmung der Widerstandsanisotropie bietet eine weitere Möglichkeit, zusätzliche Informationen über die Lagerungsverhältnisse des Leukophyllits, bzw. dessen Streichrichtung zu erhalten. Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen sind die Widerstände der Leukophyllitzüge in Abhängigkeit vom Quarzgehalt, der Verwitterung, dem Wassergehalt bzw. der Klüftung im allgemeinen niedriger als die Widerstände der Nebengesteine. Je nach dem auftretenden Widerstandskontrast müßten sich damit die Leukophyllitzüge über die Bestimmung von Widerstandsanomalien nachweisen lassen. Der Nachweis dieser Zonen, auch bei ausreichendem Widerstandskontrast wird nun aber durch die geringe Mächtigkeit der Leukophyllitzüge und durch die Überlagerungen erheblich erschwert. Um zur Vermeidung des Einflusses der Überlagerung eine entsprechende Eindringtiefe zu erhalten, muß mit größeren Elektrodenabständen gearbeitet werden, wodurch aber auch ein größeres Gesteinsvolumen zum gemessenen Widerstandswert beiträgt und damit der prozentuelle Anteil des Leukophyllits am Gesamtsignal geringer wird. Die laterale Auflösung wird dadurch wesentlich geringer und es muß daher ein entsprechender Widerstandskontrast verbunden mit einer möglichst großen Mächtigkeit vorliegen, um diese Leukophyllitzüge geophysikalisch nachweisen zu können.

Am südlichen Teil des Profiles 300 wurde nun getestet, inwieweit sich die Widerstandsanisotropie zur Verbesserung der lateralen Auflösung heranziehen läßt. Das plattenförmige Auftreten der Leukophyllite ist in diesem Fall von Vorteil, weil dadurch über Leukophyllitügen mit besonders ausgeprägten Widerstandsanisotropien zu rechnen ist.

Um diese Anisotropiemessungen durchzuführen ist wegen des stark bewaldeten Gebietes ein erheblich höherer Meßaufwand als bei Profilmessungen notwendig, wodurch die Anwendung dieser Methodik auf ein Teilprofil beschränkt wurde. Als Kompromiß zwischen Feldaufwand und Eindringtiefe wurde ein Elektrodenabstand von 10 m für diese Messungen gewählt. Zusätzlich zu den normalen Profilmessungen mit einer Auslage in N-S Richtung wurden ergänzend auch Widerstandsmessungen mit einer Auslage in E-W Richtung entlang des N-S verlaufenden Profiles durchgeführt. Damit standen für die Auswertung der Widerstandsanisotropie zwei orthogonale Widerstandsmessungen zur Verfügung.

6.7.1 Anisotropiemessungen - Auswertung

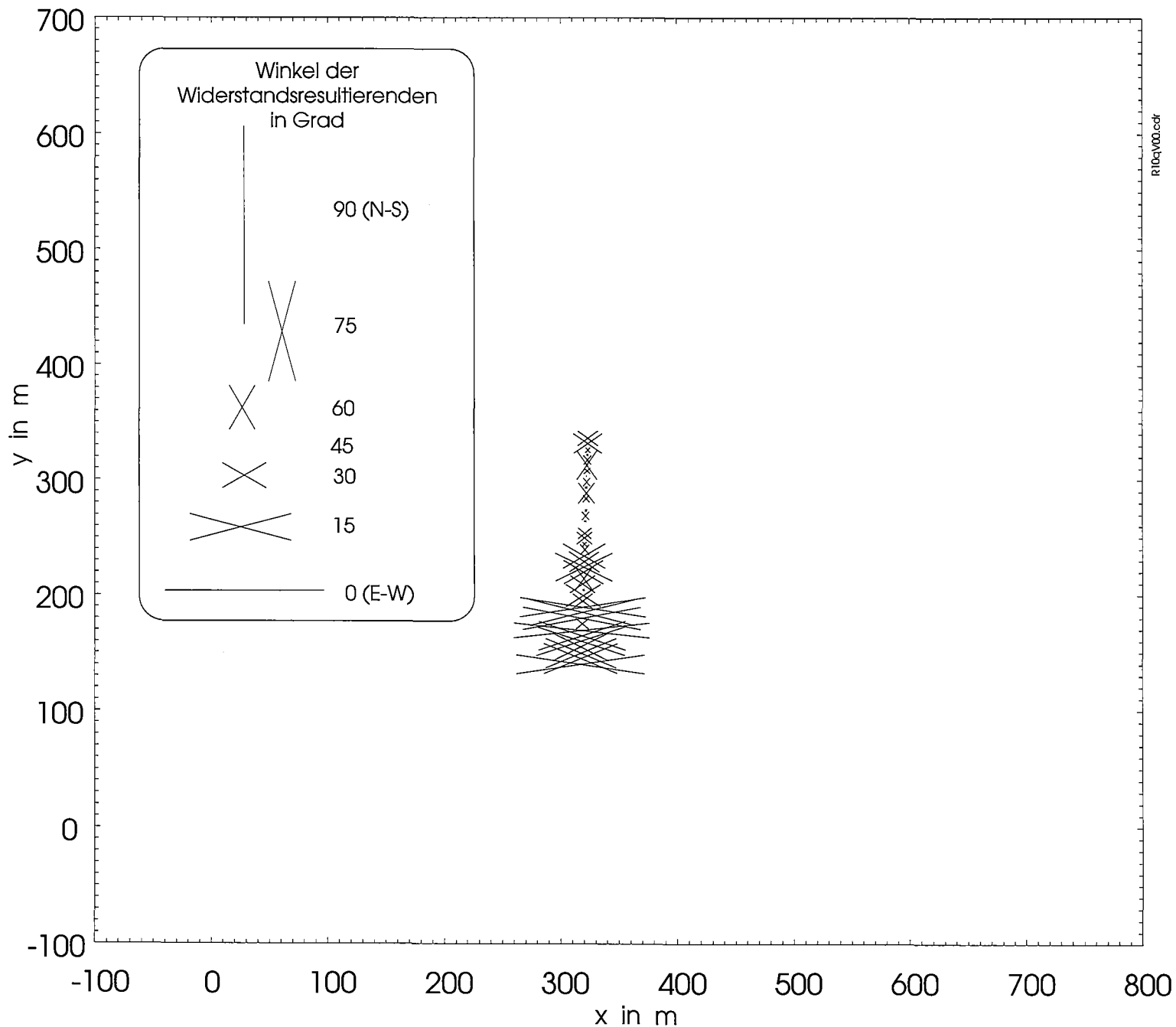
Ziel der Auswertungen war es, die Streichrichtungen entlang des Meßprofiles herauszuarbeiten. Die Streichrichtung der Leukophyllitzüge wird dabei bevorzugt in Richtung des niedrigeren Widerstandes bzw. der höheren Leitfähigkeit liegen. Die beiden orthogonalen Widerstände wurden zu diesem Zweck vektoriell zusammengesetzt und der Winkel (Φ) der Resultierenden ermittelt. Unter der Voraussetzung, daß sich die Widerstandsverhältnisse zwischen Leukophyllit und Nebengestein nicht wesentlich ändern und die Mächtigkeiten der Leukophyllitzüge in einer ähnlichen Größenordnung liegen, lassen sich damit wahrscheinlichsten Streichrichtungen ermitteln. Aus Symmetrieüberlegungen muß diese Streichrichtung allerdings auch gespiegelt werden, wodurch sich jeweils zwei Streichrichtungen pro Meßpunkt ergeben.

Es kann also qualitativ unterschieden werden, ob die Streichrichtung eher in NS- oder EW-Richtung verläuft. Kleine Winkel größer als 0 und kleiner als 45 Grad ergeben eine EW-Streichrichtung, Winkel größer als 45 und kleiner als 90 Grad ergeben eine Streichrichtung in NS und isotroper Untergrund gibt einen Winkel von 45 Grad. Als Anmerkung sei allerdings erwähnt, daß mit den vorliegenden Messungen nicht zwischen Isotropen Verhältnissen und einer Streichrichtung von genau 45 Grad unterschieden werden kann. Um die anisotropen Zonen besser graphisch herauszuarbeiten wurde in der Darstellung die Linienlänge l in Streichrichtung mit der Funktion $l = \text{Abs}(\Phi - 45)$ skaliert. Damit werden die Linien umso länger, je größer die Anisotropie ist und die Symbolgröße bei Isotropen Verhältnissen geht gegen Null.

Die nach obig angegebenem Schema aufgearbeiteten Ergebnisse sind in der Abbildung 15 dargestellt. Speziell im südlichen Abschnitt des Profiles tritt bevorzugt eine EW-Streichrichtung auf. An einigen Meßpunkten auf dem Profil ist allerdings auch ein NS-Trend abzulesen, d.h. In diesen Fällen könnten die Streichrichtungen N-NE bzw. N-NW auftreten.

Für die Korrelation zwischen den Meßprofilen bzw. die Konstruktion der Lage der Leukophyllitzüge sind die Ergebnisse der Anisotropiemessungen somit von großer Bedeutung.

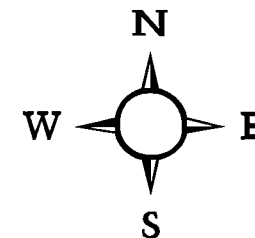
Der Einsatz von Anisotropiemessungen stellt eine gute Möglichkeit dar, die laterale Auflösung der Messungen zu erhöhen und zusätzlich bevorzugte Streichrichtungen zu erhalten und kann damit nur empfohlen werden. Einziger Nachteil dieser Messungen ist der wesentlich größere Meßaufwand in bewaldetem Gelände.



VORAU

Meßgebiet
Mühlgraben

Projekt:
Leukophyllit-Vorau



Widerstandsanisotropie
Wenner Alfa 10m
Vorzugsrichtungen
bzgl.d.Leitfähigkeit
(Profil 300)

Stand: April 1994

Abbildung 15

7. Integrierte Auswertung aller Messungen

7.1 Verfügbare Feldmessungen

Die durch die detaillierte Auswertung der Messungen am Profil 300 erhaltenen Ergebnisse sollen im folgenden auf das gesamte Meßgebiet ausgedehnt werden. Auf Grund der am Profil 300 gewonnenen Erkenntnisse war es sinnvoll, sowohl die Widerstands- als auch die SP-Messungen auf das gesamte Meßgebiet auszudehnen. Der mittlere Profilabstand lag für die Widerstandsmessungen bei ca. 100 m und für die SP-Messungen im Mittel bei ca. 50m. Die Widerstandsmessungen wurden generell als Tripotentialmessungen ausgeführt, mit Elektrodenabständen von 5 m, 10 m und teilweise auch 20 m. Generell wurde aus bereits eingangs erwähnten Gründen in diesem Meßgebiet mit einem Punktabstand von 5m gemessen. Der größte Teil der Meßprofile verläuft in Richtung NS, wobei die Profile teilweise auch entlang von Wegen geführt wurden. Die genaue Lage der Meßprofile ist aus dem Lageplan (Abbildung 4) ersichtlich. Einen zusammenfassenden Überblick über die im Untersuchungsgebiet durchgeführten Messungen zeigt die nachfolgende Tabelle.

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 Wegl	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									

Zusammenfassend ergibt sich damit eine Gesamtlänge der Meßprofile in dem Gebiet von mehr als 4500 m. Da viele dieser Profile mit mehreren geophysikalischen Methoden vermessen wurden erhält man als Summe der

Meßprofile eine Gesamtlänge von nahezu 15 km. Dies ergibt mit dem in diesem Gebiet verwendeten Punktabstand von 5 m ca. 3000 Meßpunkte, bzw. da z.B. bei den Tripotentialmessungen pro Punkt mehrere Messungen durchgeführt werden müssen über 10000 Einzelmessungen.

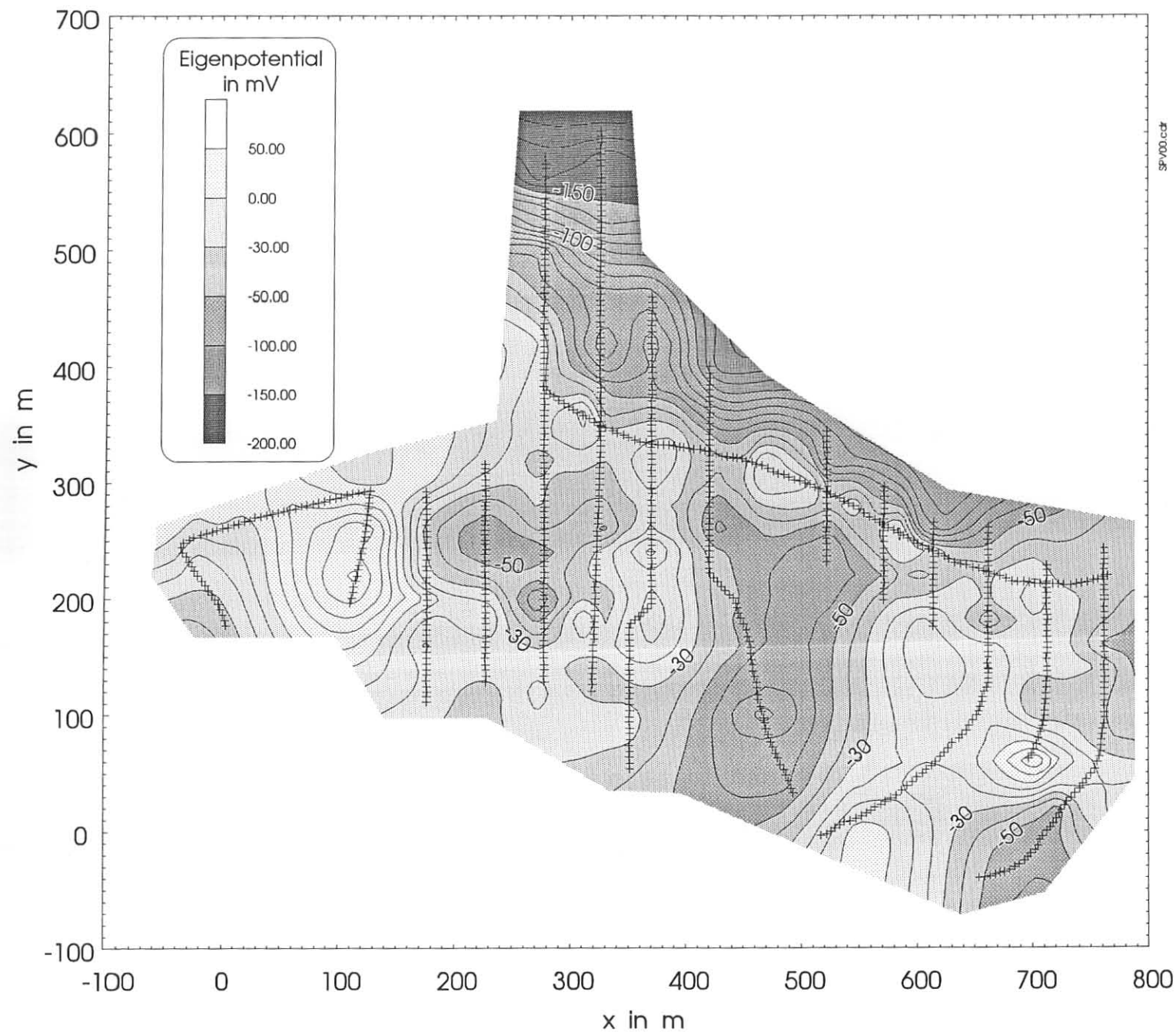
7.2 Eigenpotentialmessungen

Da mit den Eigenpotentialmessungen die größte Punktdichte im Untersuchungsgebiet erreicht werden konnte, ist von diesen Messungen eine sehr detaillierte Information über die geologischen Grenzen, bzw. die für die Korrelation der Leukophyllitzüge wichtigen Hauptstreichrichtungen zu erwarten und deshalb wurden als erstes die Ergebnisse dieser Messungen genauer analysiert. Das Ergebnis aller SP-Messungen ist in der Abbildung 16 in Form einer Isolinienkarte dargestellt.

Deutlich ist in dieser Isolinienkarte der starke negative Gradient im Bereich der von der geologischen Kartierung bereits bekannten Deckengrenze ersichtlich. Diese Deckengrenze kann somit auch durch die SP-Messungen eindeutig festgestellt werden. Auch der Bereich der Strallegger Gneise ist in der SP-Isolinienkarte deutlich als lokales Maximum, dessen Ausprägung am deutlichsten am Profil 300 ist, erkennbar. Sowohl in Richtung des Profiles 350 als auch dem Profil 250 wird diese Anomalie immer schwächer. Die Ausdehnung dieser Anomalie korreliert gut mit dem in der geologischen Karte angegebenen Bereich des Auftretens der Strallegger Gneise.

Um die weiteren interessanten Details dieser Isolinienkarte besser ersichtlich zu machen wurde eine 3-dimensionale Darstellung dieser Karte erstellt (s.Abbildung 17). Die Interpolation der Meßwerte erfolgte über das gesamte Gebiet. Zur Abgrenzung des signifikanten Datenbereiches ist auch die Lage der einzelnen Meßpunkte eingezeichnet. Da die Leukophyllitzüge, wie die Ergebnisse der Auswertungen am Profil 300 zeigen, durch positive SP-Anomalien hervortreten, sind daher in der Isolinienkarte speziell die Maxima-Zonen interessant.

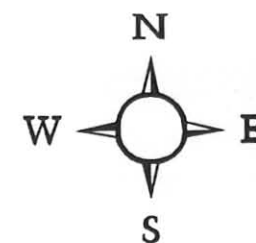
Innerhalb des signifikanten Datenbereiches lassen sich einige Hauptrichtungen erkennen. Diese sind auch in der Abbildung 17 (unten) eingezeichnet. Deutlich positive Anomalien treten entlang des Mühlgrabens, aber auch entlang des Weißenbaches auf. Interessanterweise lassen sich die positiven Anomalien im Bereich der Richtungsänderung des Mühlgrabens etwa beim Kreuzungspunkt mit dem Profil 650 entlang der Fortsetzung der Grabenachsen weiter verfolgen. Neben den erwarteten Hauptrichtungen treten damit weitere Vorzugsrichtungen auf. Noch nicht geklärt ist auch das Auftreten einer sich in Richtung NS erstreckenden positiven SP-Anomaliezone im Bereich des Profiles 350. Diese Anomalie fällt mit einem auffälligen Graben im Gelände zusammen. Eine weitere positive Anomalie korreliert ungefähr mit der Lage des aus der geologischen Kartierung erhaltenen Leukophyllitzuges V. An dem Kreuzungspunkt dieser Richtung mit der Hauptrichtung entlang des



VORAU

Meßgebiet
Mühlgraben

Projekt:
Leukophyllit-Vorau



Isolinienkarte des
Eigenpotentials (SP)

Stand: April 1994

Abbildung 16

VORAU

Eigenpotentialmessungen

Meßgebiet Mühlgraben

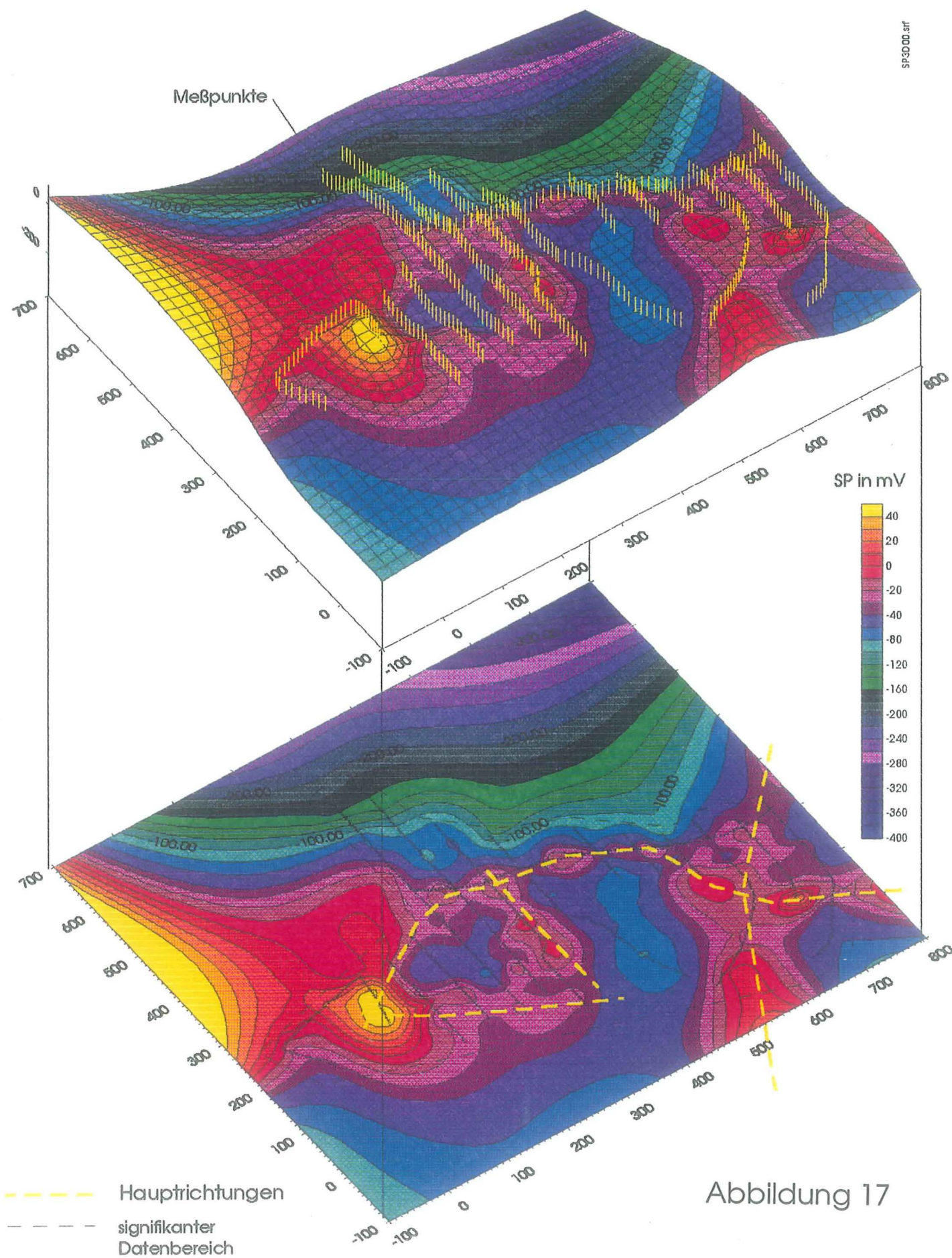


Abbildung 17

Weissenbaches tritt eine besonders markante positive SP-Anomalie auf. Die wesentlich größere Amplitude dieser Anomalie läßt sich gut damit erklären, daß in diesem Bereich zwei positive Anomalien zusammenfallen. In der Verlängerung dieser positiven Anomaliezone liegt auf dem Profil 0 ein Leukophyllitausbiß. Dies bestätigt wiederum die Korrelation von Leukophyllitausbissen mit positiven SP Anomalien.

7.3 Ergebnisse der Tripotentialmessungen

Die Darstellung der Ergebnisse der Tripotentialmessungen erfolgte für die gemessenen Widerstände (Wenner-Alfa) in der Form von Isolinkarten. Dabei wurden auch die, der jeweiligen Karte zugrundeliegenden Meßpositionen eingetragen. Für die Darstellung des ebenfalls bei den Tripotentialmessungen erhaltenen Widerstandsverhältnisses Wenner-Beta zu Wenner-Gamma wurde, da es sich hierbei um sehr scharfe engbegrenzte Anomalien handelt eine andere Form gewählt. Die Erstellung von Isolinkarten ist zusätzlich auch wegen der großen Abstände zwischen den Meßprofilen für diese Daten nicht sinnvoll. Die Werte wurden daher in der Form von linear in der Größe entsprechend dem Wert skalierten Symbolen an der Position der Meßpunkte dargestellt. Da im speziellen Fall besonders die Werte, die größer als 1 sind von Interesse sind, ist als untere Grenze für eine Darstellung ein Wert von 0.7 gewählt worden. Als Symbol diente eine horizontale Linie, die sowohl in der Länge als auch in der Liniendicke entsprechend skaliert wurde. Die Wahl einer horizontalen Richtung erfolgte nur wegen der besseren Darstellungsmöglichkeit entlang der Profile und bedeutet somit keine Präferenz für diese Richtung. Da wie die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen, eine Korrelation zwischen den Maximalwerten des Widerstandsverhältnisses Wenner-Beta zu Wenner-Gamma festgestellt werden konnte, markieren diese Maximalwerte die wahrscheinlichsten Positionen für das Kreuzen des Profiles mit einem Leukophyllitzug.

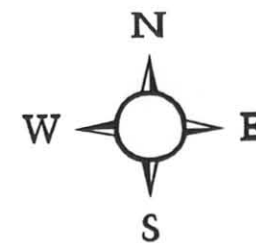
Entsprechende Karten wurden für die drei bei den Tripotentialmessungen verwendeten Elektrodenabständen von 5, 10 und 20 m erstellt und in den Abbildungen 18 bis 23 dargestellt.

Alle drei Widerstandsisolinkarten zeigen ein ähnliches Bild der Widerstandsverteilung. Die auf dem Profil 300 südlich des Mühlgrabens ausgewiesenen hochohmigen Hornblendegneise lassen sich südlich des Weissenbaches bis zum Rand des Meßgebietes verfolgen und korrelieren mit dem Verlauf des Weissenbaches in diesem Bereich. Östlich des Profiles 300 liegt diese hochohmige Zone südlich des Mühlbaches und folgt dessen Verlauf. Dabei nehmen die Widerstände in Richtung Osten kontinuierlich ab. Die hochohmige Zone der Hornblendegneise nördlich des Mühlgrabens ist nur von lokaler Ausdehnung. Das Auftreten der Strallegger Gneise ist im Widerstandsbild bei weitem nicht so offensichtlich wie bei den SP-Messungen.

VORAU

Meßgebiet Mühlgraben

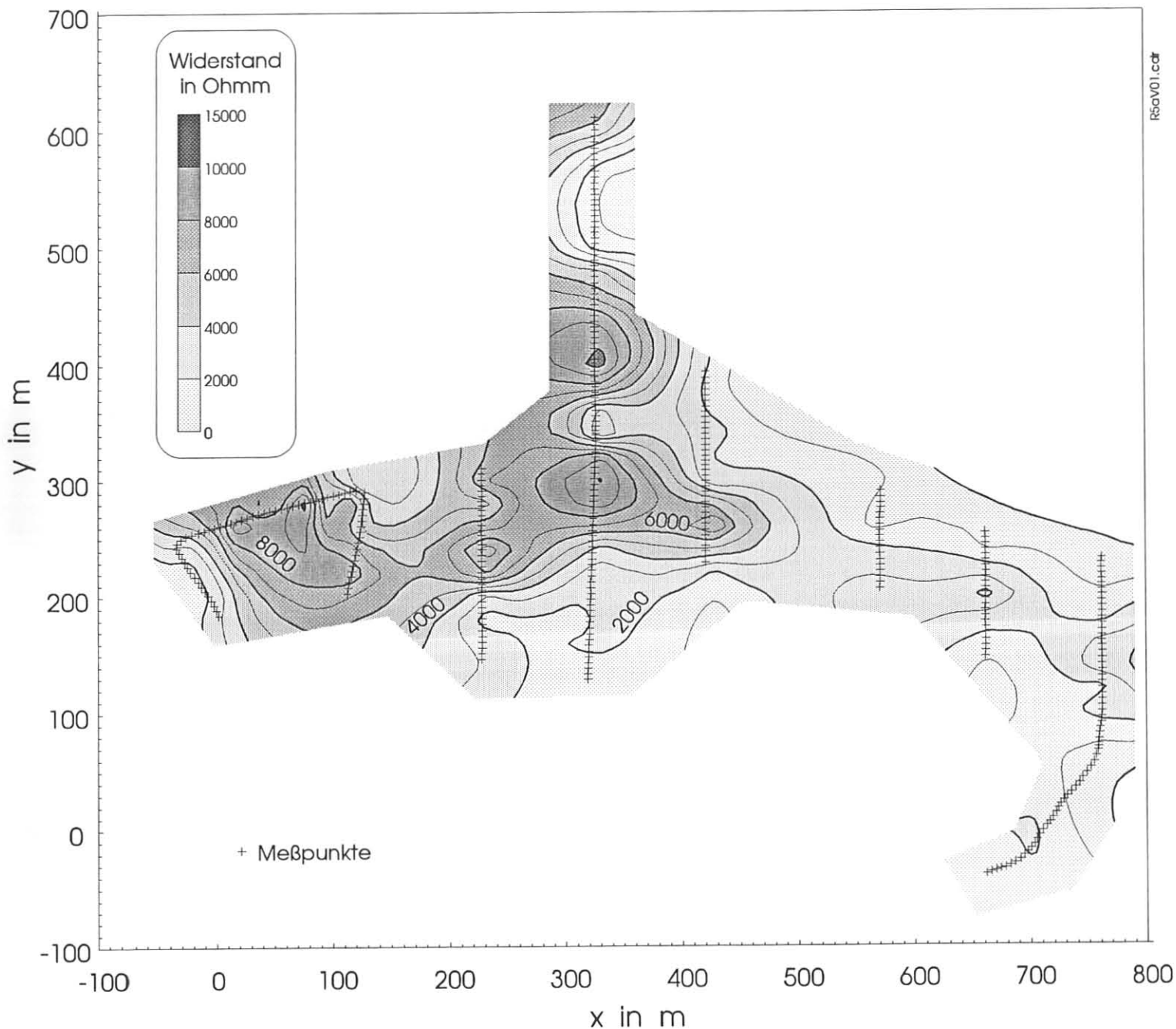
Projekt:
Leukophyllit-Vorau

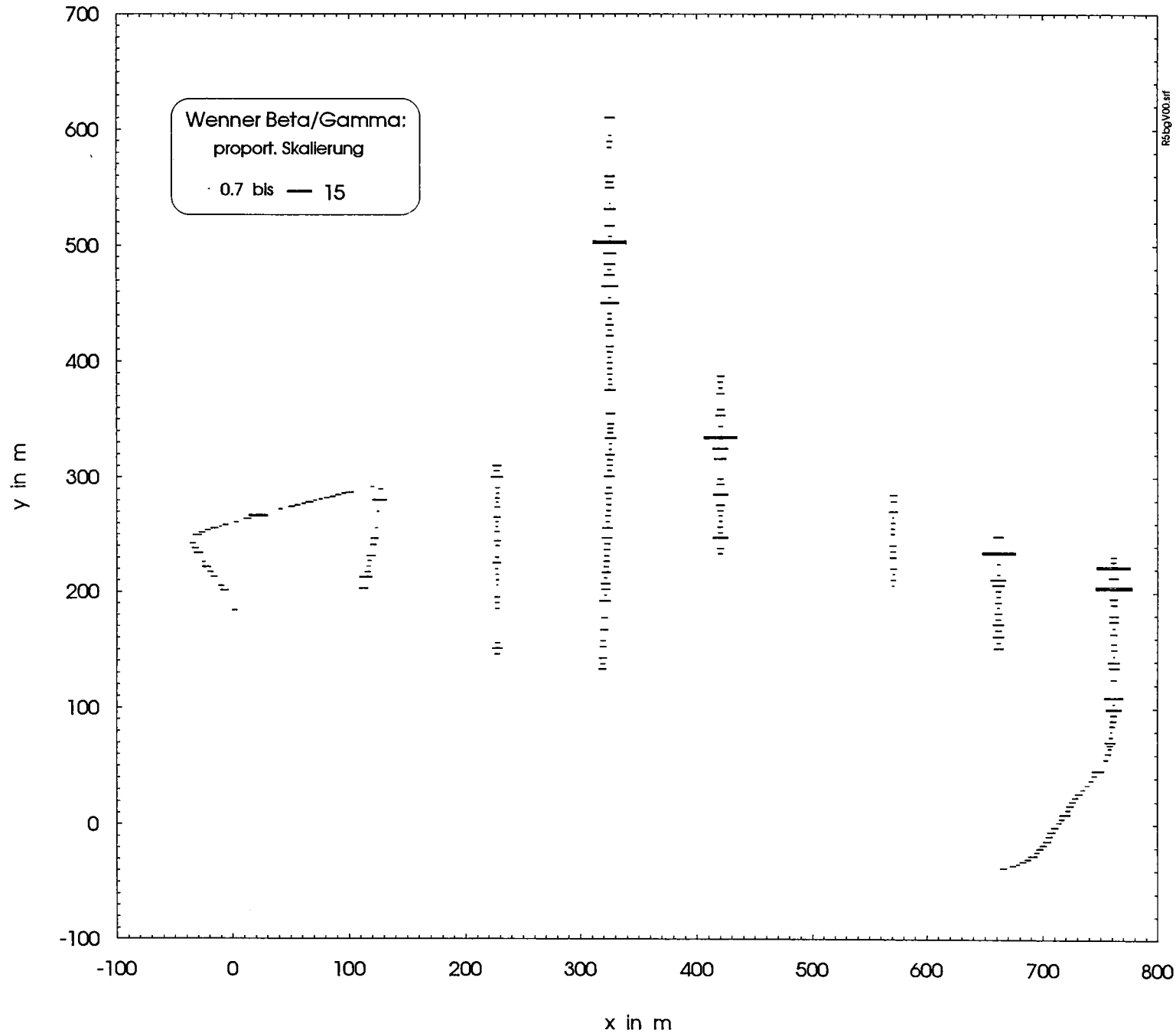


Isolinienkarte
des elektrischen
Widerstandes
Wenner-Alfa 5m

Stand: April 1994

Abbildung 18

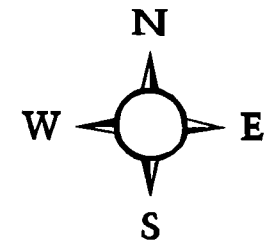




VORAU

Meßgebiet Mühlgraben

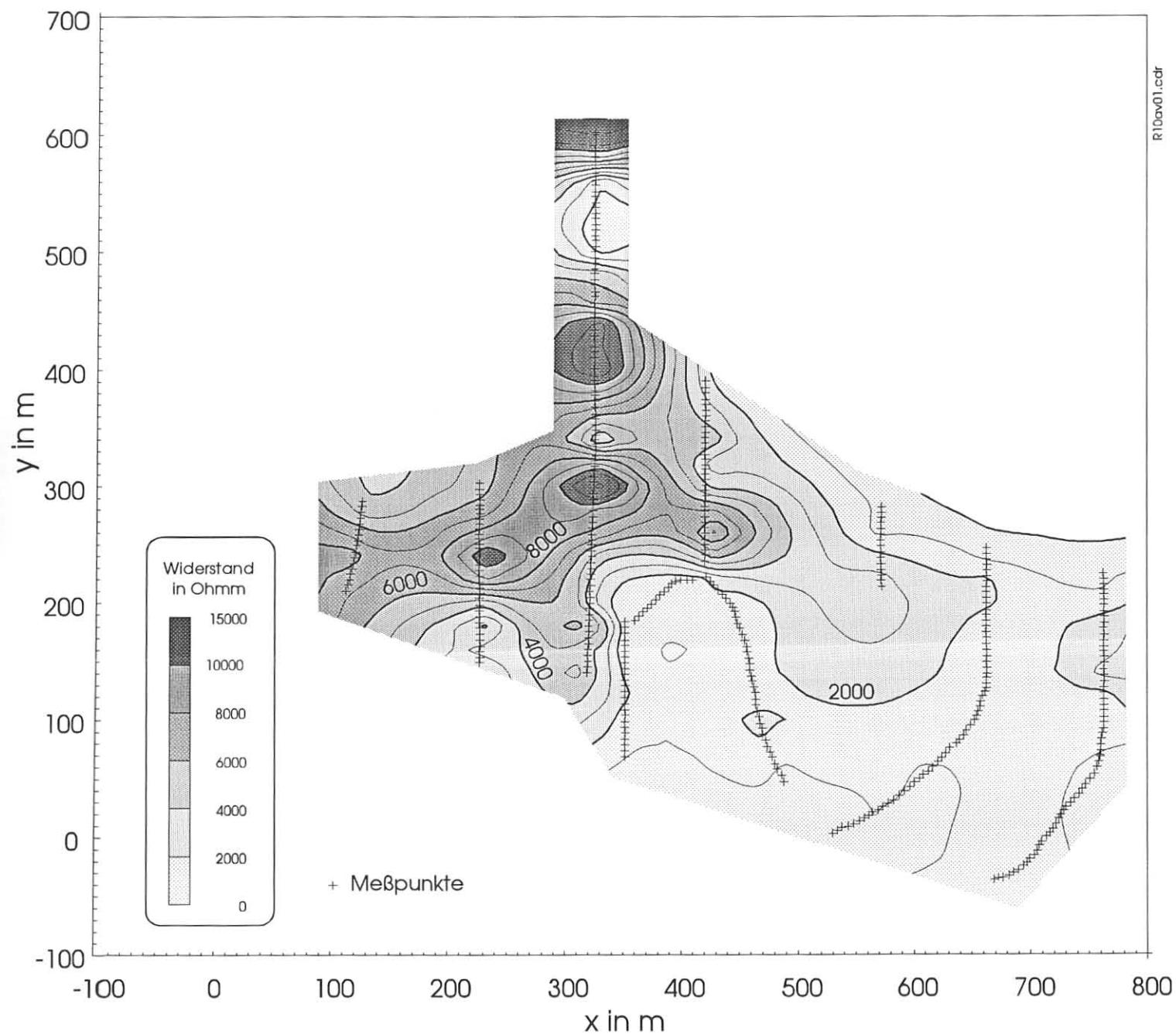
Projekt:
Leukophyllit-Vorau



Widerstandsverhältnis
Wenner Beta/Gamma
5 m

Stand: April 1994

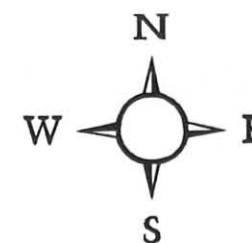
Abbildung 19



VORAU

Meßgebiet Mühlgraben

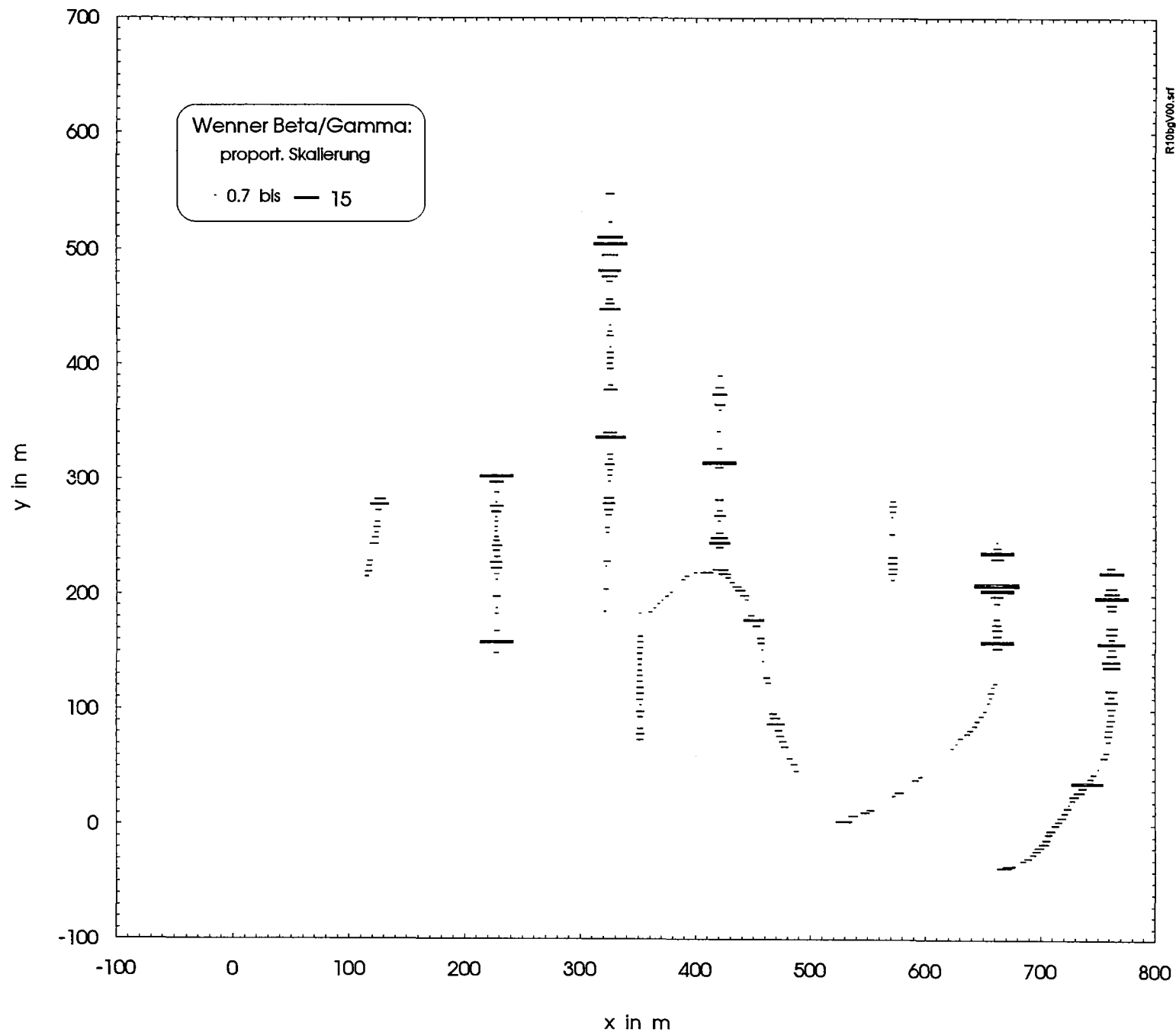
Projekt:
Leukophyllit-Vorau



Isolinienkarte
des elektrischen
Widerstandes
Wenner-Alfa 10m

Stand: April 1994

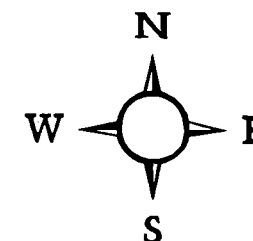
Abbildung 20



VORAU

Meßgebiet Mühlgraben

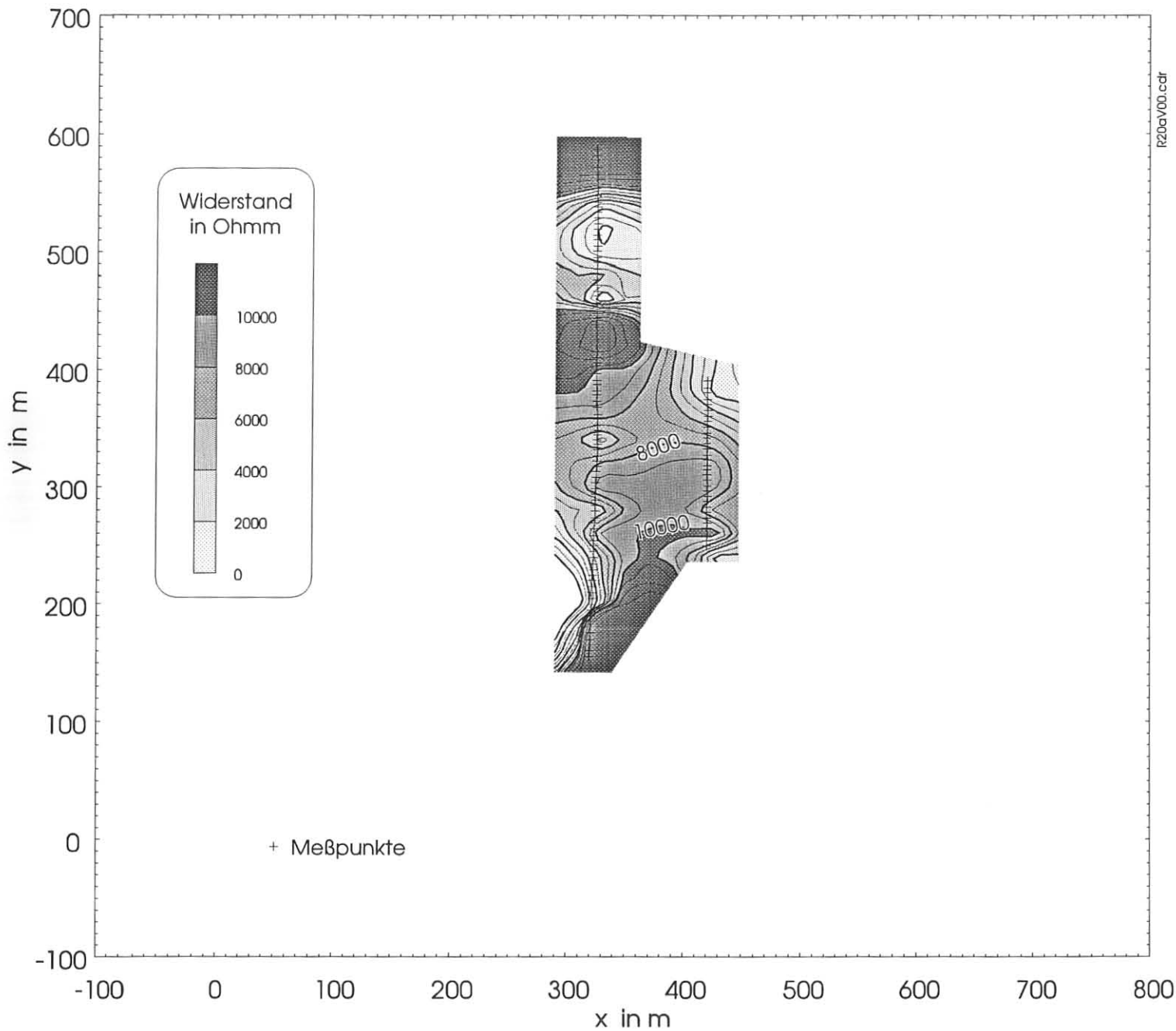
Projekt:
Leukophyllit-Vorau



Widerstandsverhältnis
Wenner Beta/Gamma
10 m

Stand: April 1994

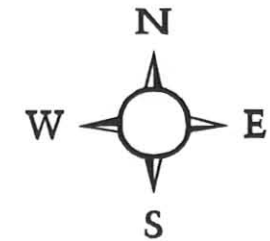
Abbildung 21



VORAU

Meßgebiet
Mühlgraben

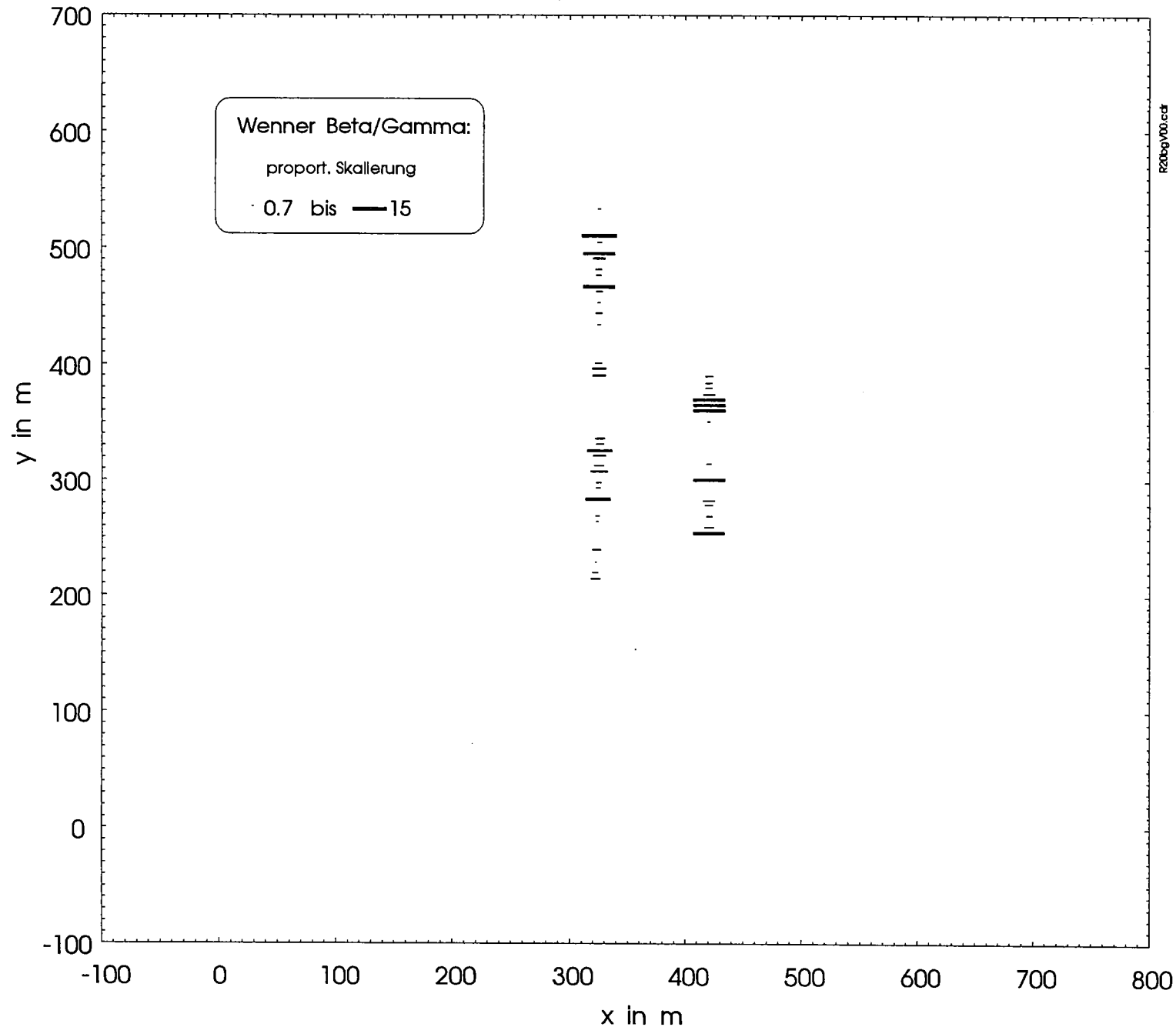
Projekt:
Leukophyllit-Vorau



Isolinienkarte
des elektrischen
Widerstandes
Wenner-Alfa 20m

Stand: April 1994

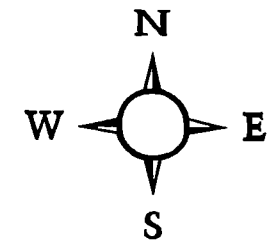
Abbildung 22



VORAU

Meßgebiet Mühlgraben

Projekt:
Leukophyllit-Vorau



Widerstandsverhältnis
Wenner Beta/Gamma
20 m

Stand: April 1994

Abbildung 23

Die Deckengrenze tritt durch eine starke Widerstandsverringerung wiederum gut hervor.

Bei der Darstellung der Widerstandsverhältnisse ist erkennbar, daß die mit einem Elektrodenabstand von 5 m (Abbildung 19) erhaltenen Werte doch noch relativ stark von oberflächennahen Inhomogenitäten beeinflusst sind, da eine große Zahl von Anomalien mit mittleren Amplituden auftritt. Einige Anomalien sind jedoch schon bei diesen Messungen gut erkennbar. Deutlich stärkere Anomalien treten bei den Messungen mit 10 m Elektrodenabstand (Abbildung 21) auf. Auch bei den Messungen mit 20 m Elektrodenabstand treten starke Anomalien auf, wobei allerdings auf Grund des wesentlich größeren Meßaufwandes weniger Meßwerte vorliegen und somit die Flächendeckung bei den 10 m Messungen wesentlich besser ist.

Die weitere Aufgabe besteht nun darin, diese auf den einzelnen Profilen auftretenden Indikationen in sinnvoller Weise zwischen den Profilen zu korrelieren. Dafür können sowohl die erstellten Widerstandsisolinienkarten als auch die Ergebnisse der Analyse der SP-Messungen, sowie im Bereich des Profils 300 auch die Ergebnisse der Anisotropiemessungen herangezogen werden.

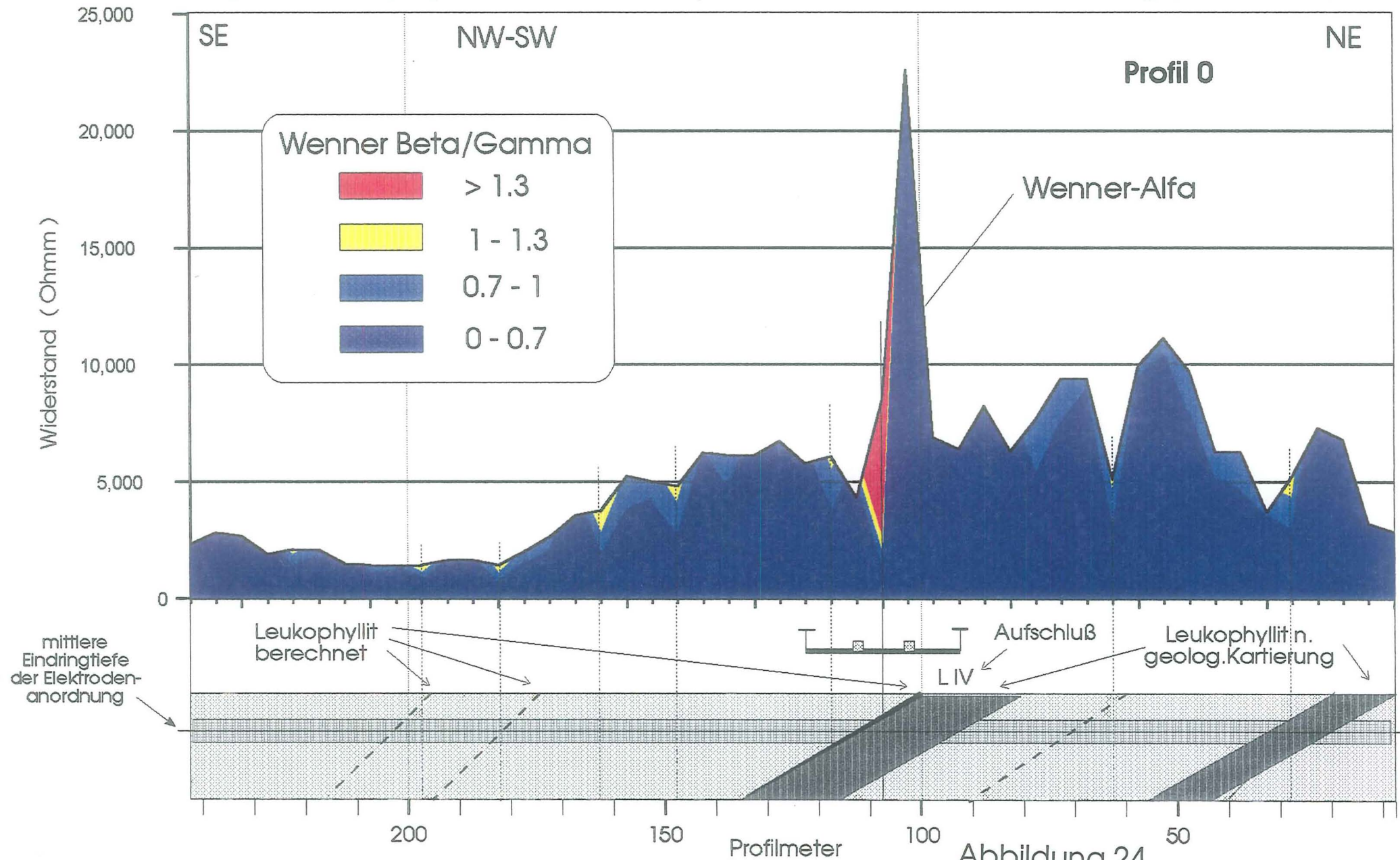
Für die Korrelation der einzelnen Horizonte in diesem Gebiet wurden alle verfügbaren Informationen in die Interpretation miteinbezogen, um bei der vorliegenden komplexen Tektonik und rauen Topographie optimale Ergebnisse zu erzielen. Dazu zählt neben den Ergebnissen der geophysikalischen Messungen auch die an den Aufschlüssen bekannten Streichrichtungen und der Einfallwinkel der Leukophyllitzüge. In Verbindung mit dem erstellten digitalen Höhenmodell des Meßgebietes können diese Daten dazu verwendet werden, die vorraussichtlichen Ausbißlinien dieser Leukophyllitzüge zu berechnen. Dabei wurde von der Voraussetzung ausgegangen, daß der Leukophyllit in der Form einer ebenen Platte auftritt und die Schnittlinie dieser Platte mit der Topographie berechnet. Diese berechneten Schnittlinien geben weitere für die Korrelation zwischen den Meßprofilen wichtige Hinweise.

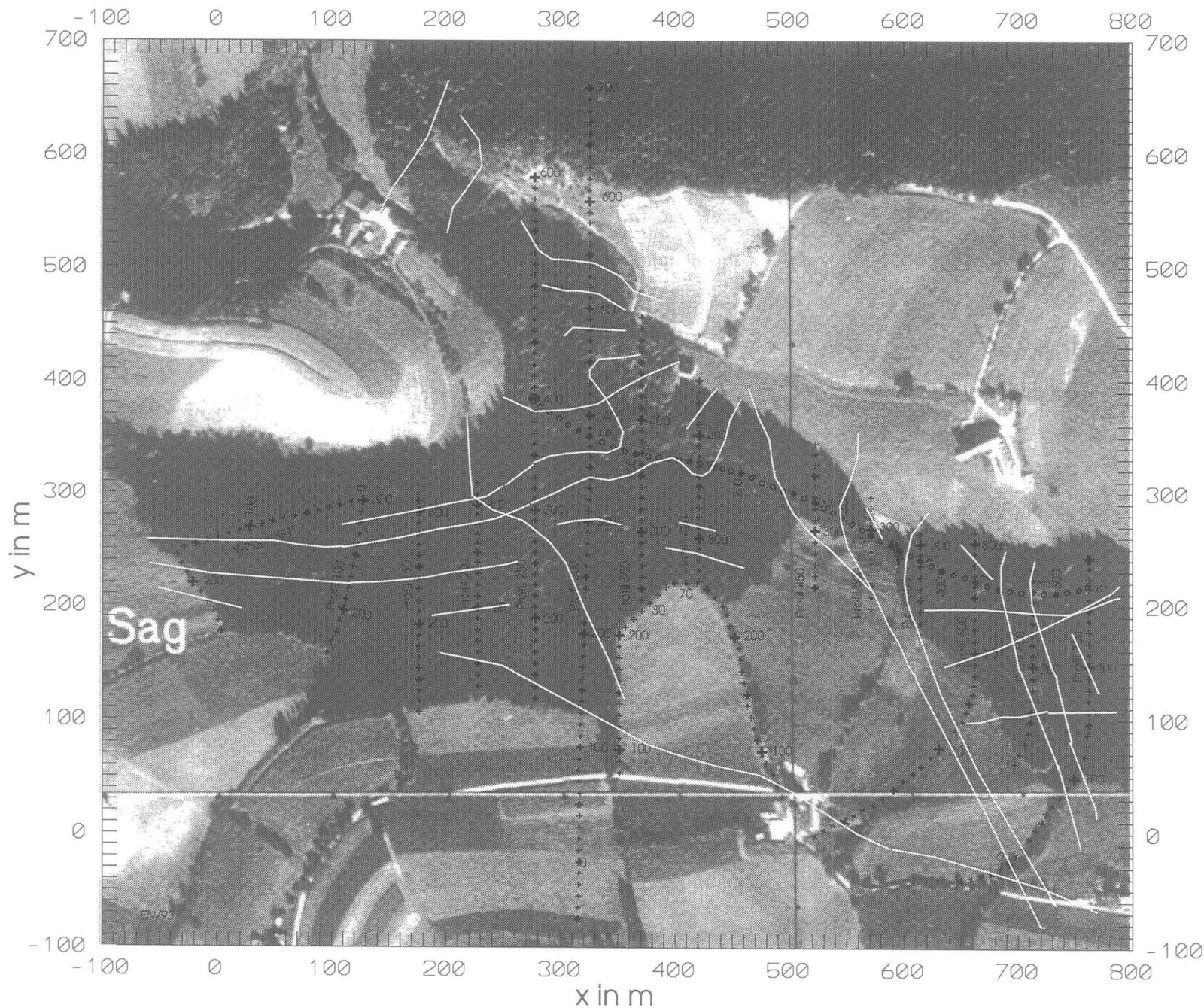
Für die Korrelation erweist sich neben den SP-Messungen auch das Wenner-Beta zu Wenner Gamma Verhältnis als sehr vorteilhaft. In der Abbildung 24 sind diese Meßkurven für das Profil 0 dargestellt. Neben der guten Korrelationsmöglichkeit mit den benachbarten Profilen ist in dieser Abbildung auch die gute Übereinstimmung der Meßergebnisse mit den geologischen Aufschlüssen ersichtlich.

Die Abbildung 25 zeigt zusammenfassend das Ergebnis der Interpretation. Die nach der Auswertung der geophysikalischen Messungen erhaltenen Ausbißlinien wurden in ein Aerophoto des Meßgebietes eingezeichnet.

Projekt: Leukophyllit - VORAU

Tripotential - Widerstandskartierung (Wenner 10/5m)

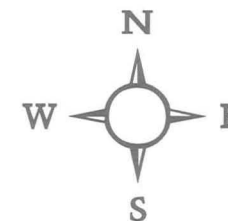




VORAU

Meßgebiet Mühlgraben

Projekt:
Leukophyllit-Vorau



Leukophyllit-
Ausbißlinien n.
geophysikalischen
Messungen

Stand: April 1994

Abbildung 25

8. Abschließende Beurteilung der geophysikalischen Prospektionsmethodik

Als wesentliches Ergebnis kann festgestellt werden, daß der Nachweis von Leukophyllit auf Grund des niedrigeren elektrischen Widerstandes gegenüber dem Kristallin grundsätzlich mittels Geoelektrik möglich ist. Eine praktikable Prospektionsmethodik besteht aus mehreren Verfahren: Widerstandsverfahren - Eigenpotentialmethode - Induzierte Polarisierung.

Bei dem Widerstandsverfahren ist die Tripotentialmethode wegen des großen Meßfortschritts, aber auch wegen der guten Korrelation des Anomalien auf den Profilen und der Abgrenzung der möglichen Leukophyllitzonen als Widerstandsminima bestimmter Form von entscheidender Bedeutung. Die Nachweistiefe des Leukophyllits hängt neben dem Widerstandskontrast vom Verhältnis Schichtmächtigkeit zu Hangendmächtigkeit ab. Im gegenständlichen Fall kann in erster Näherung davon ausgegangen werden, daß diese Relation nicht kleiner als 0.5 sein soll. Das Eigenpotential ist deshalb von praktischem Nutzen, weil mit dieser Methode am schnellsten eine flächenhafte Vermessung möglich ist. Leukophyllite machen sich als positive Anomalien mäßiger Amplitude bemerkbar.

Für die Interpretation wichtig ist die Methode der Induzierten Polarisierung, bei der die größten Eindringtiefen erreicht und kleine Widerstandsanomalien zuverlässig aufgefunden werden können. Durch die Darstellung der Chargeability und des modifizierten Metallfaktors können in den Widerstandsminima mögliche Leukophyllitzonen verdeutlicht werden.

Hinsichtlich der geologisch lagerstättenkundlichen Ergebnisse fällt auf, daß wesentliche mehr Leitfähigkeitsanomalien gefunden werden konnten, als oberflächengeologisch nachgewiesene Leukophyllitzonen. Es ist eher an die Möglichkeit zu denken, daß bestimmte geoelektrische Anomalien von schieferungskonkordanten Störungszonen verursacht sind. Durch die Ermittlung der elektrischen Anisotropie ist ein gewichtiger Hinweis dafür gegeben, daß die geoelektrischen Anomalien eine geologische Ursache haben. Es scheinen allerdings die geoelektrischen Anomalien steiler nach Süden einzufallen, als die Leukophyllite und Gneise.

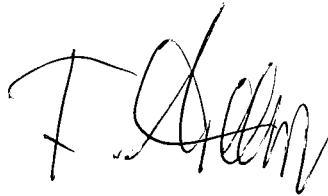
Das generelle E-W Streichen der Gesteinsserien findet auch im Anomalie- und Isolinienverlauf des elektrischen Widerstandes ein deutliches

Equivalent. Daneben ist jedoch auch eine Nord-Süd Tendenz in den Isolinen ausgeprägt, die mit ebenso streichenden Störungen im Zusammenhang gebracht werden könnte. Auch in der Karte der Eigenpotentiale ist diese N-S Tendenz - besonders bei Profil 350 - ausgeprägt, weiters findet sich eine Nord-West und eine Nord-Ost Richtung.

Leoben, am 24. Juni 1994



Doz. Dr. E. NIESNER



Prof. F. WEBER

Literatur

ACWORTH, R.I.; GRIFFITHS, D.H.: Simple data processing of tripotential apparent resistivity measurements as an aid to the interpretation of subsurface structure, *Geophysical Prospecting* 33, 861-887, 1985.

EBNER, F.; HUBER, M.; PREISS, P.: Geologische Kartierung des Leukophyllitvorkommens im Mühlgraben /SW Vorau, Unveröff. Ber., P-99/92, Leoben (VALL) 1992.

EDWARDS, L.S.: A modified pseudosection for resistivity and induced-polarisation, *Geophysics* 42, 1020-1036.

FINK, J.B.; STERNBERG, B.K.; McALISTER, E.O.; WIEDUWILT, W.G.; WARD, S.H.: *Induced Polarisation Applications and Case Histories*, SEG, Tulsa OK, 1990.

RIJO, L.: *Modeling of Electric and Electromagnetic Data*, PhD. Thesis, Univ. of Utah, 1987.

Beilagen

Meßergebnisse auf den einzelnen Profilen

Beilage 1 Profil 000

Beilage 2 Profil 100

Beilage 3 Profil 150

Beilage 4 Profil 200

Beilage 5 Profil 250

Beilage 6 Profil 300

Beilage 7 Profil 350

Beilage 8 Profil 400

Beilage 9 Profil 450

Beilage 10 Profil 500

Beilage 11 Profil 550

Beilage 12 Profil 600

Beilage 13 Profil 650

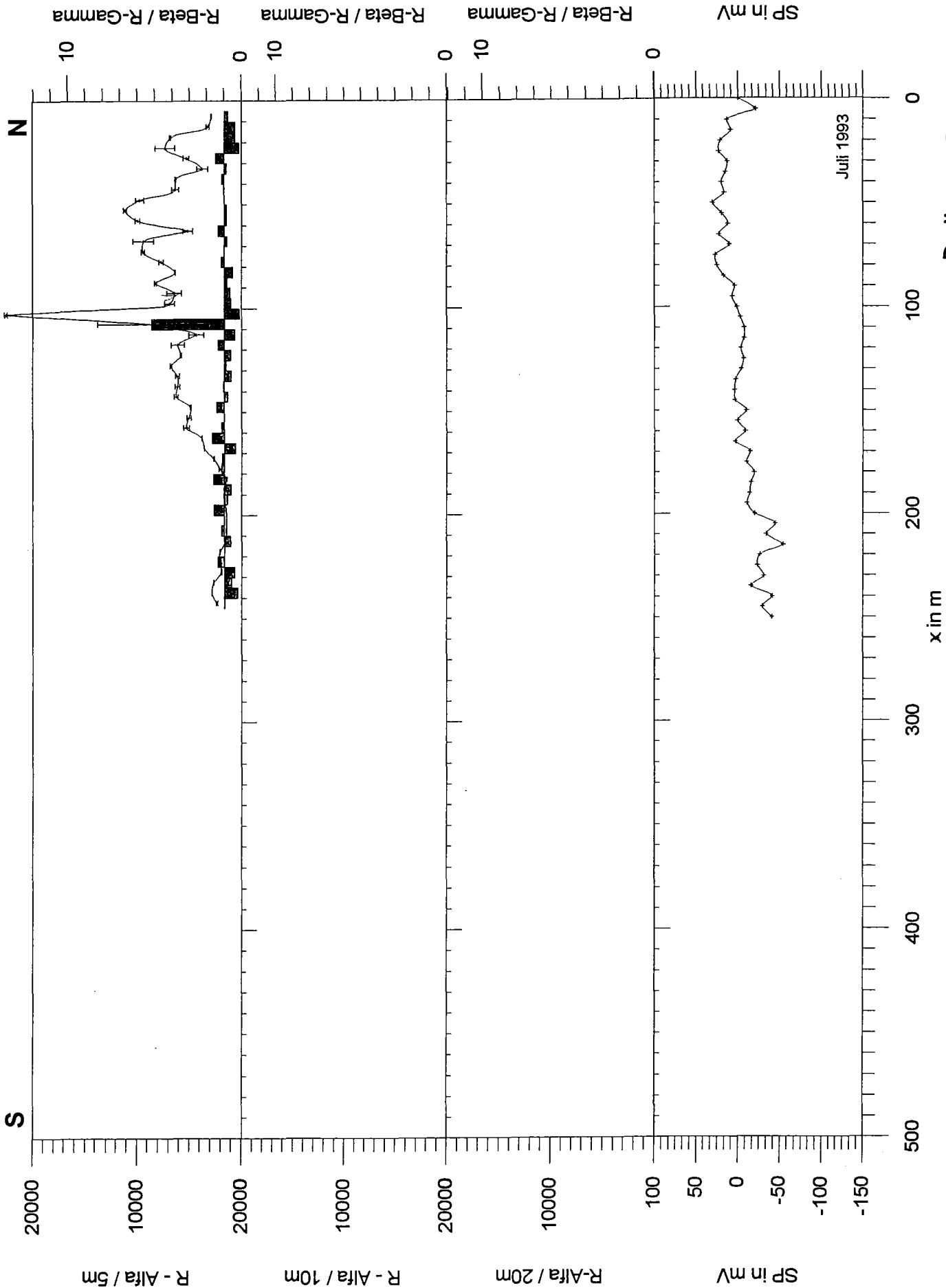
Beilage 14 Profil 700

Zusammenfassende Darstellung der Tripotentialprofile

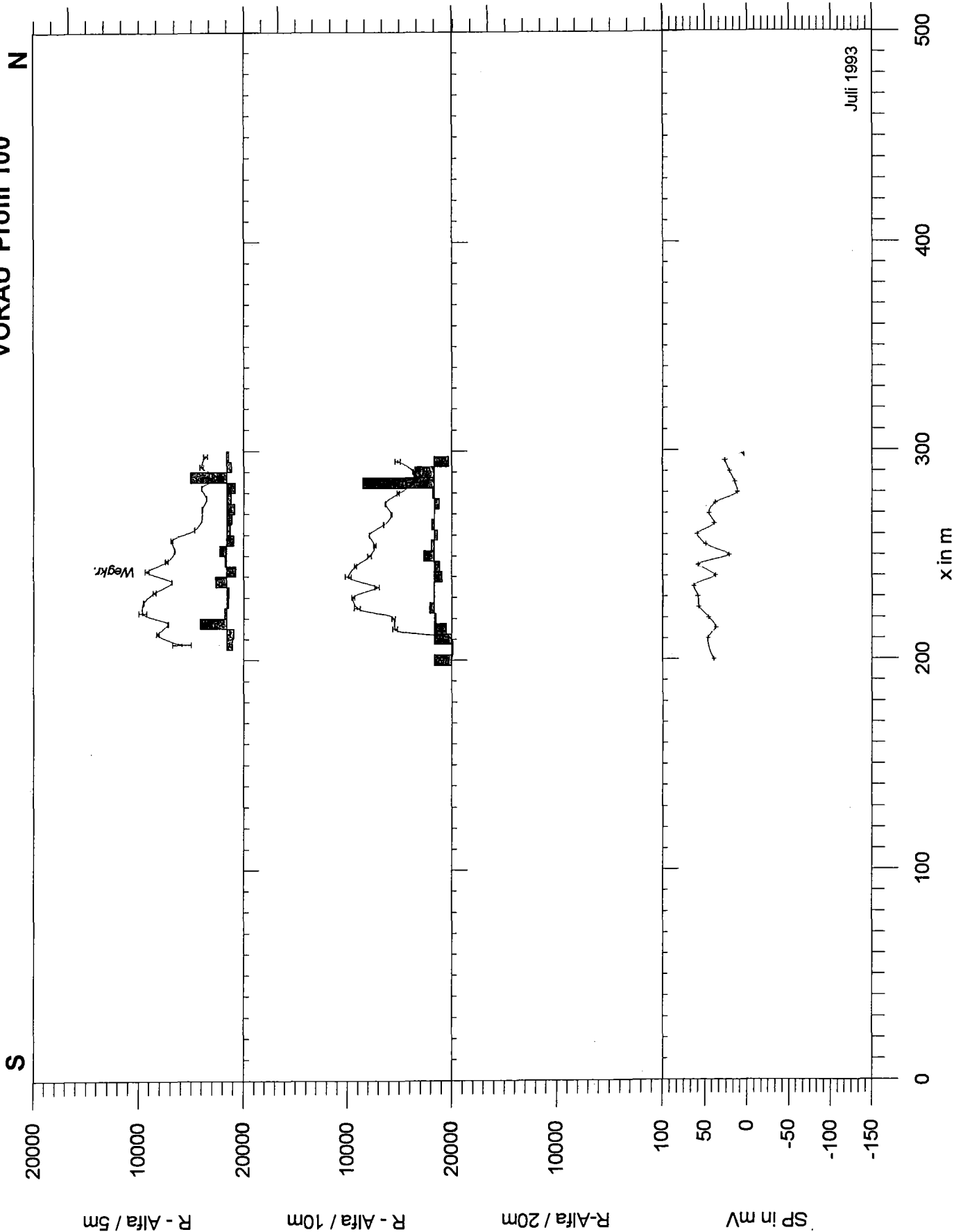
Beilage 15 Profile 100, 200, 300 und 400

Beilage 16 Profile 500, 600 und 700

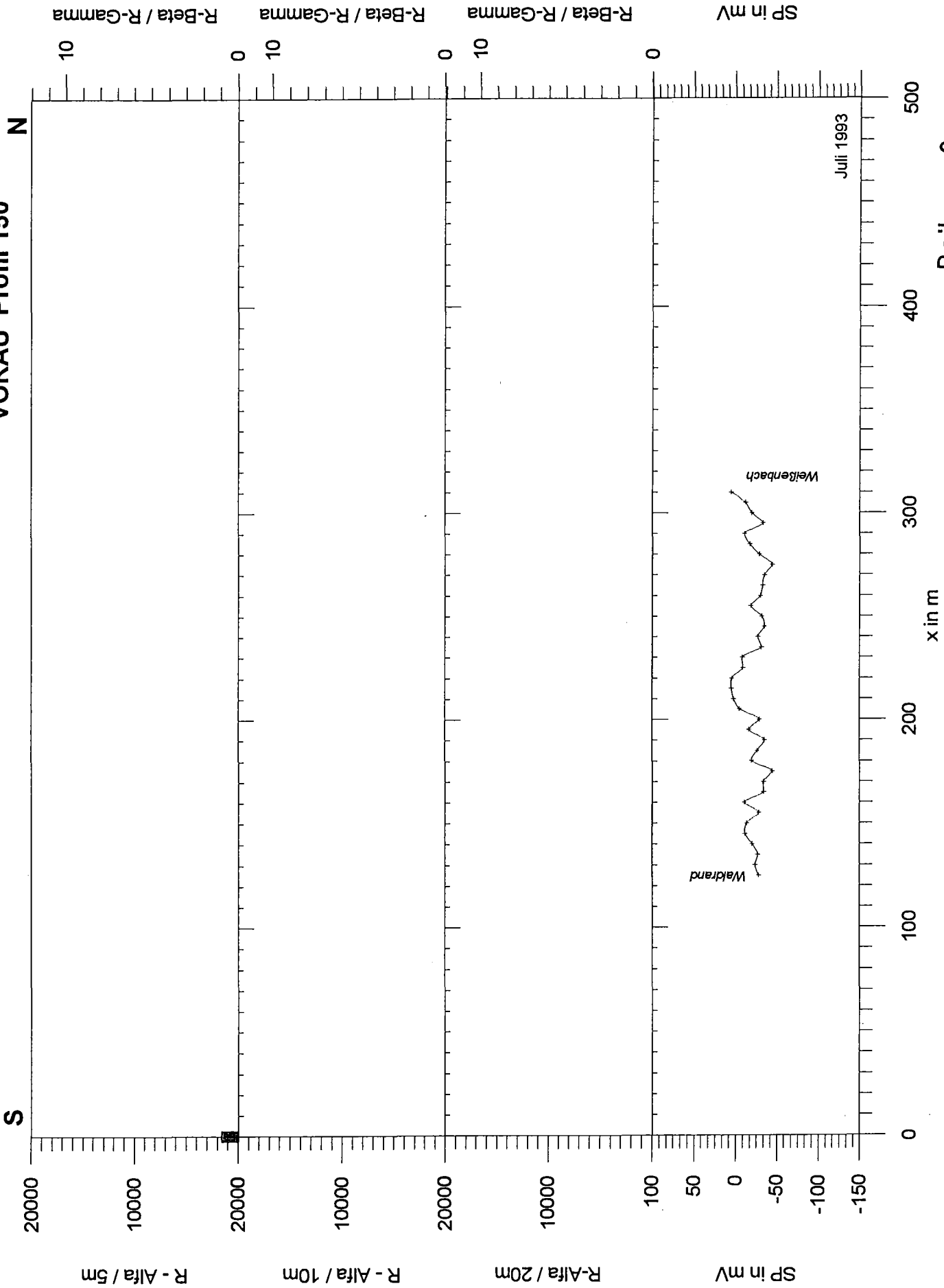
VORAU Wegprofil 1 (v. Pkt. 100/300)



VORAU Profil 100



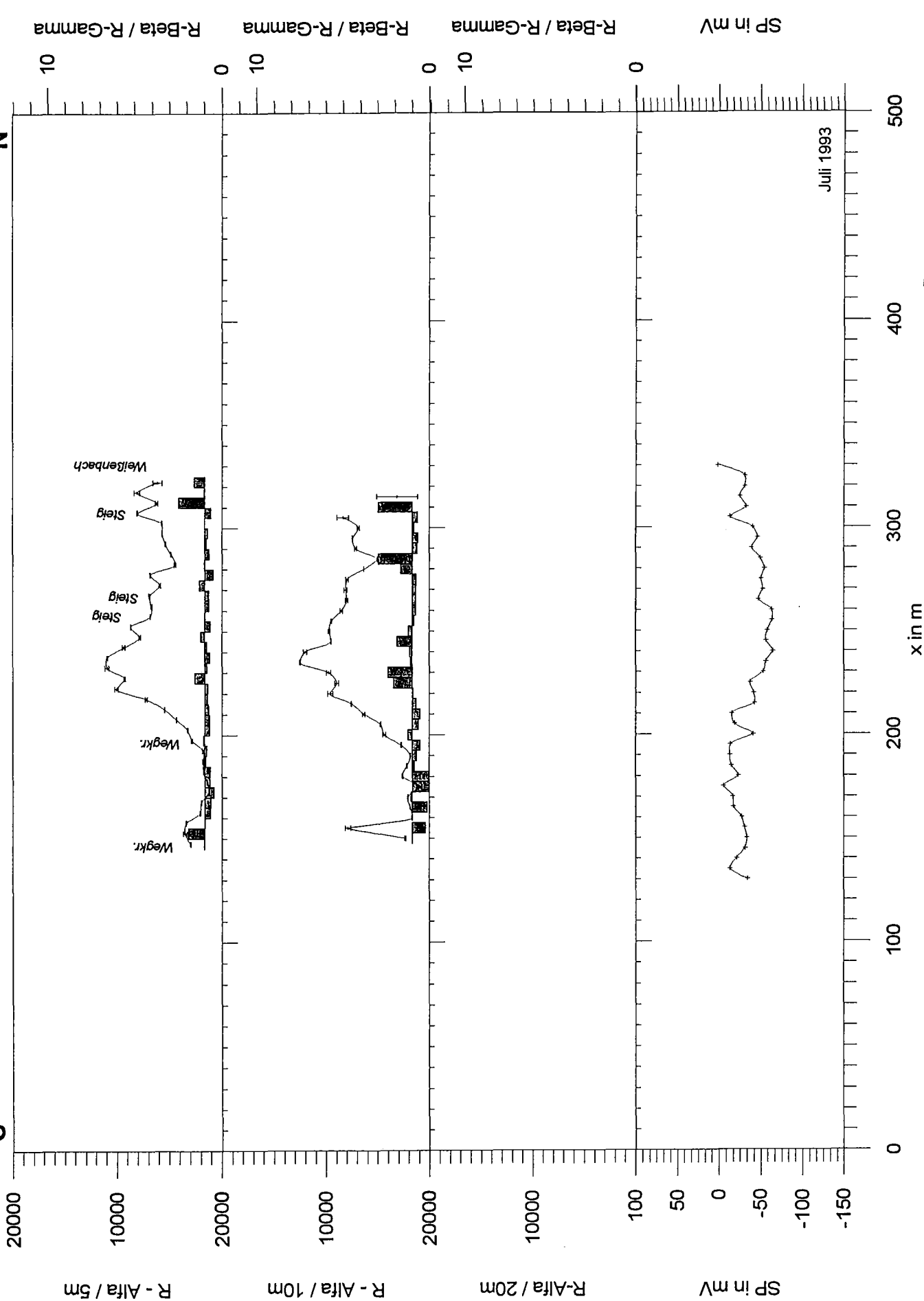
VORAU Profil 150



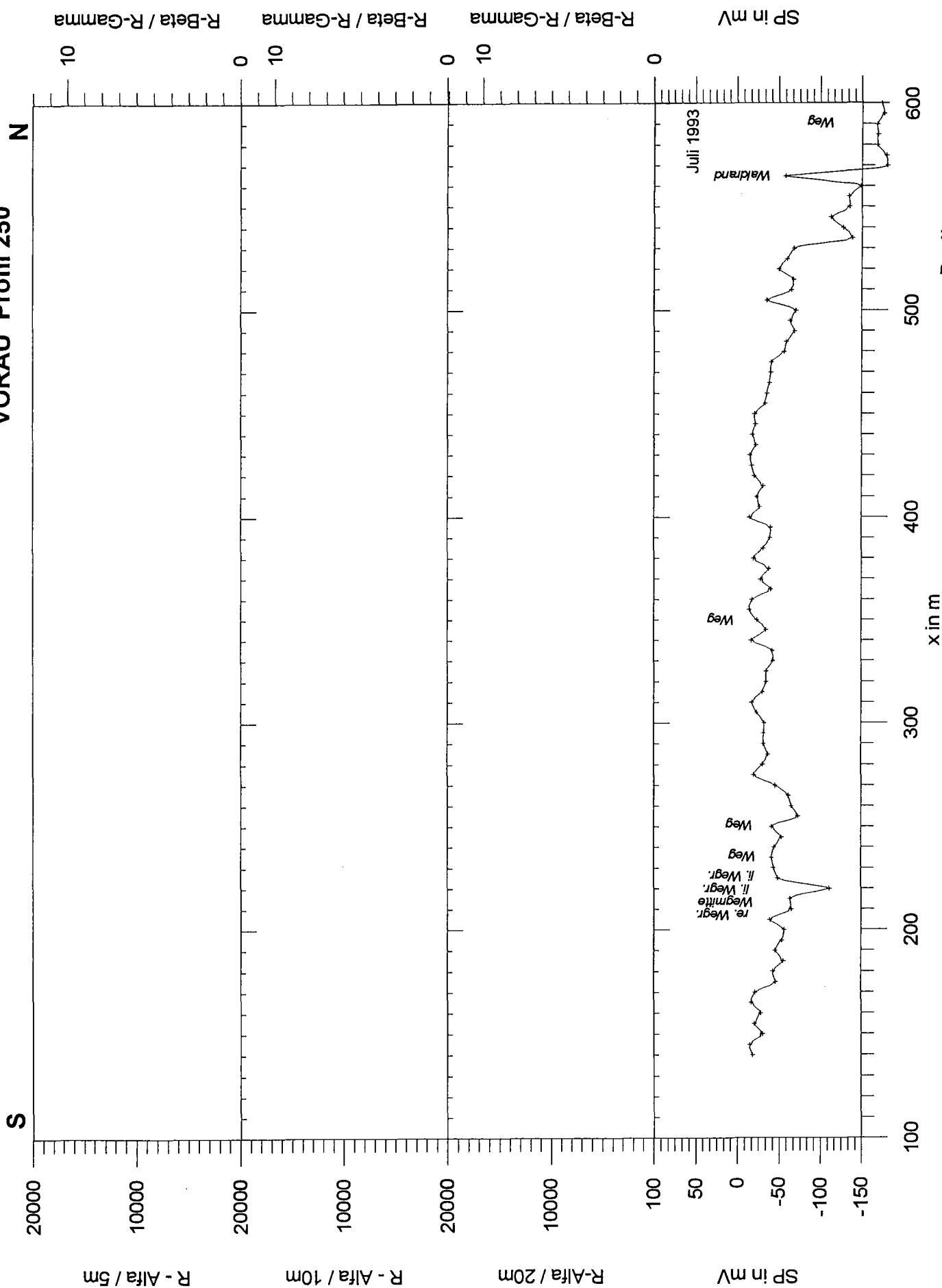
VORAU Profil 200

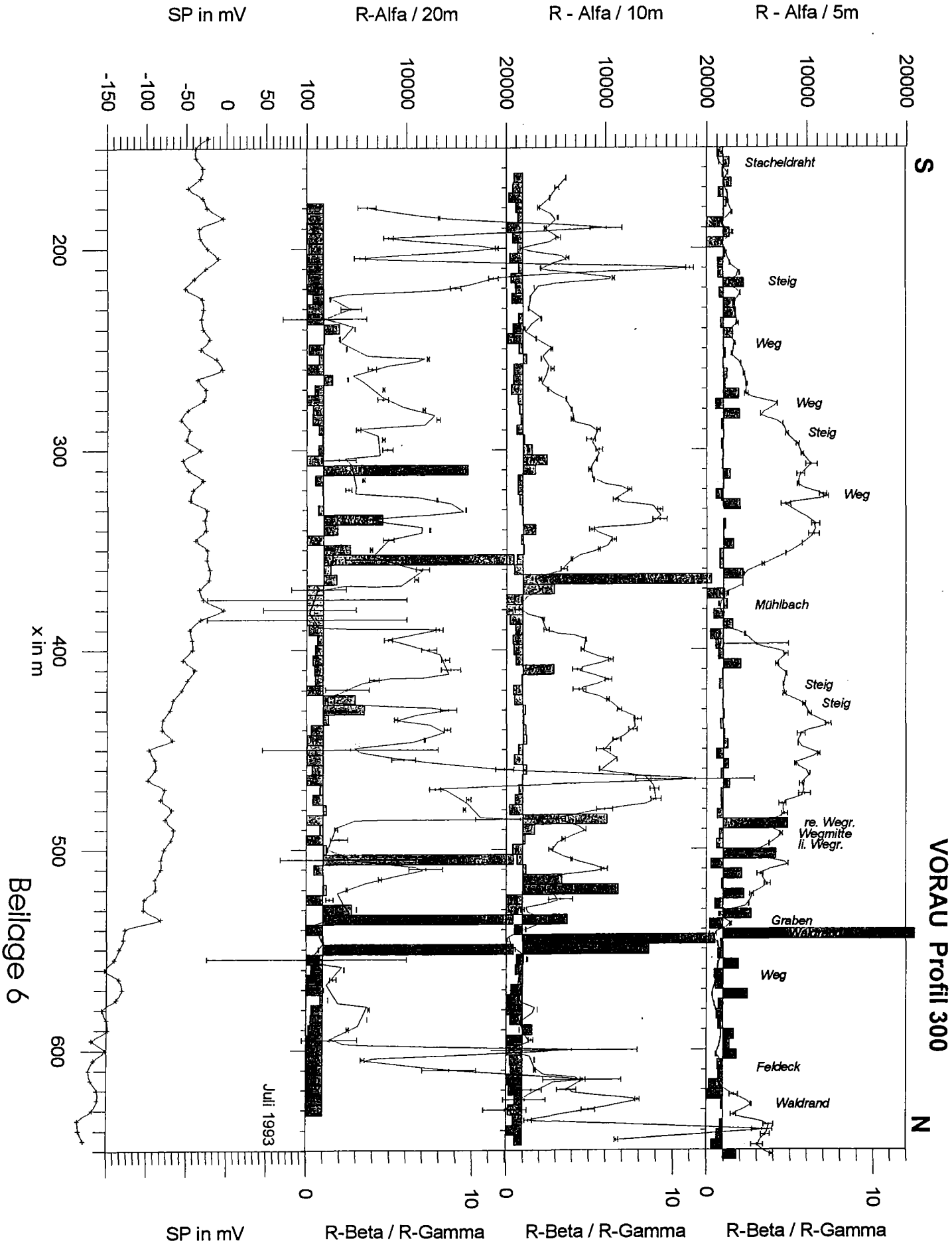
S

N



VORAU Profil 250

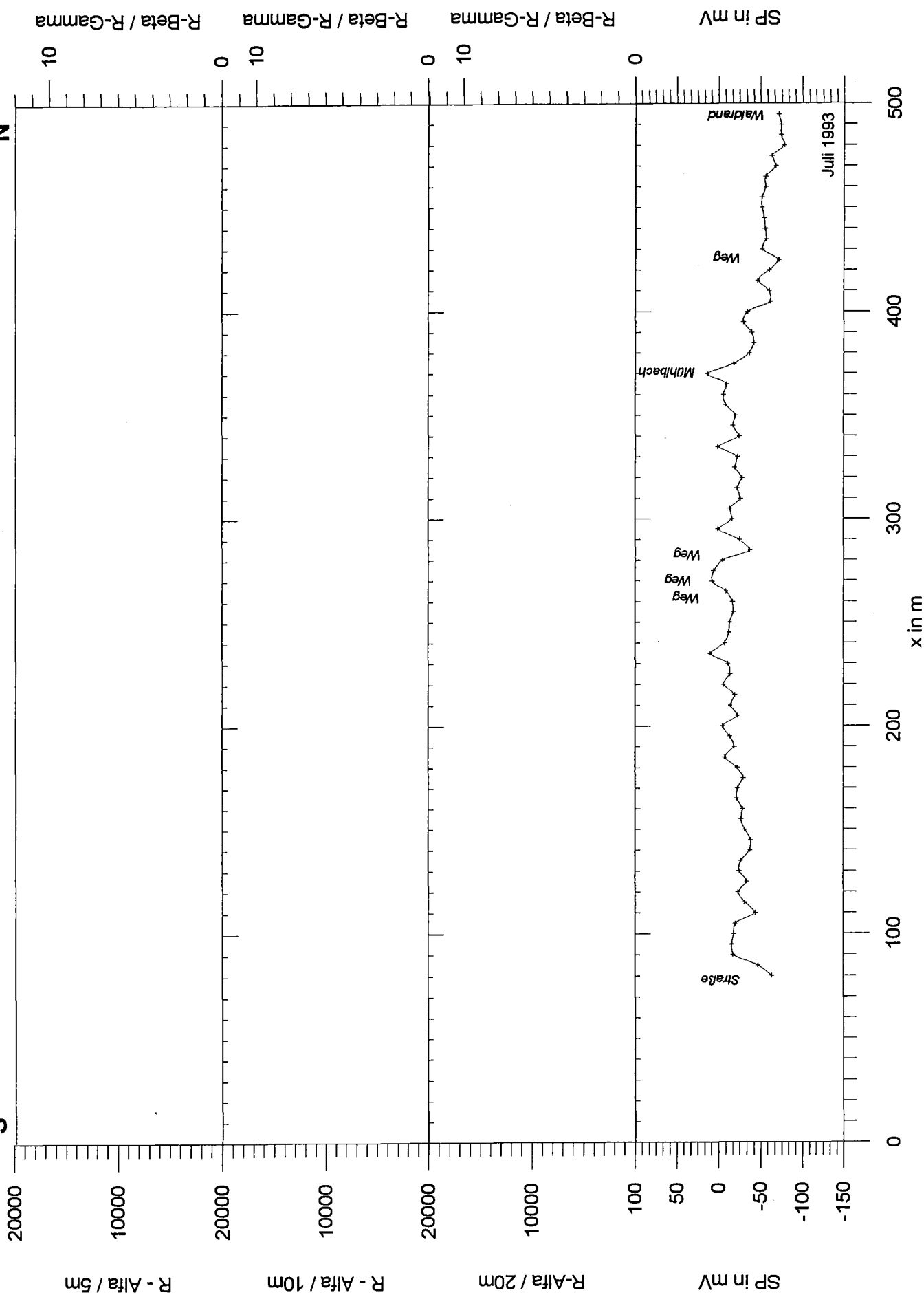


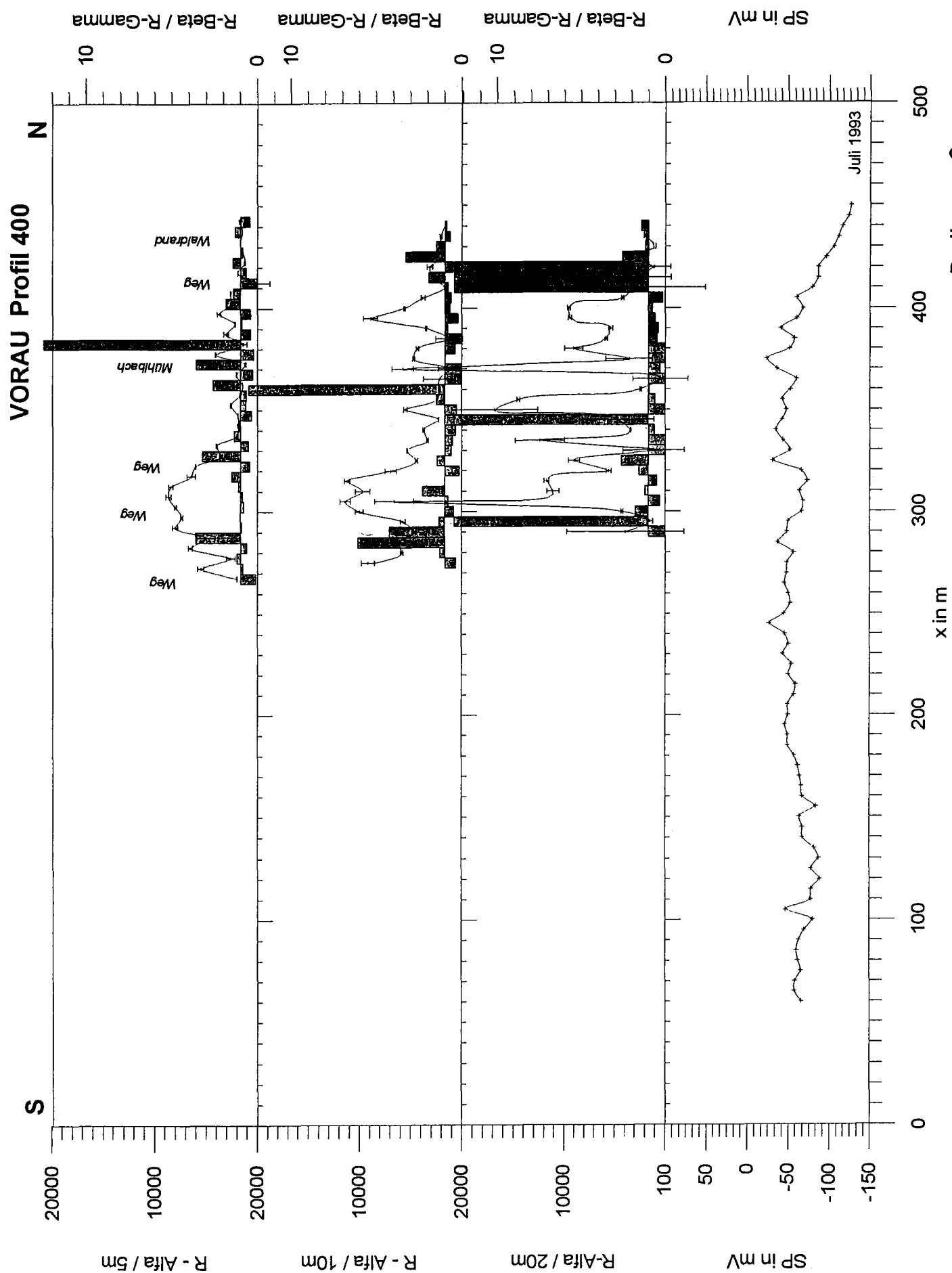


VORAU Profil 350

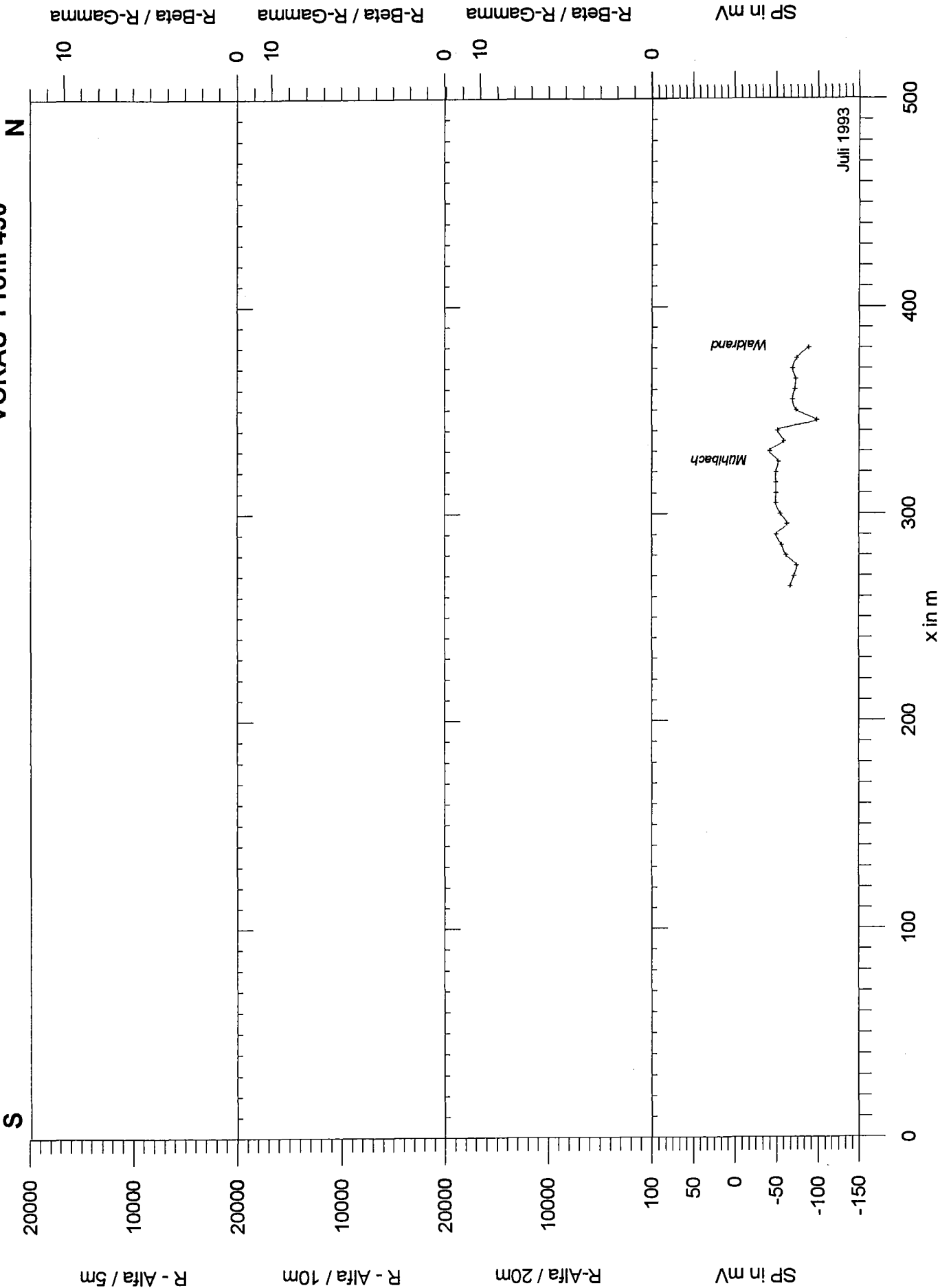
N

S





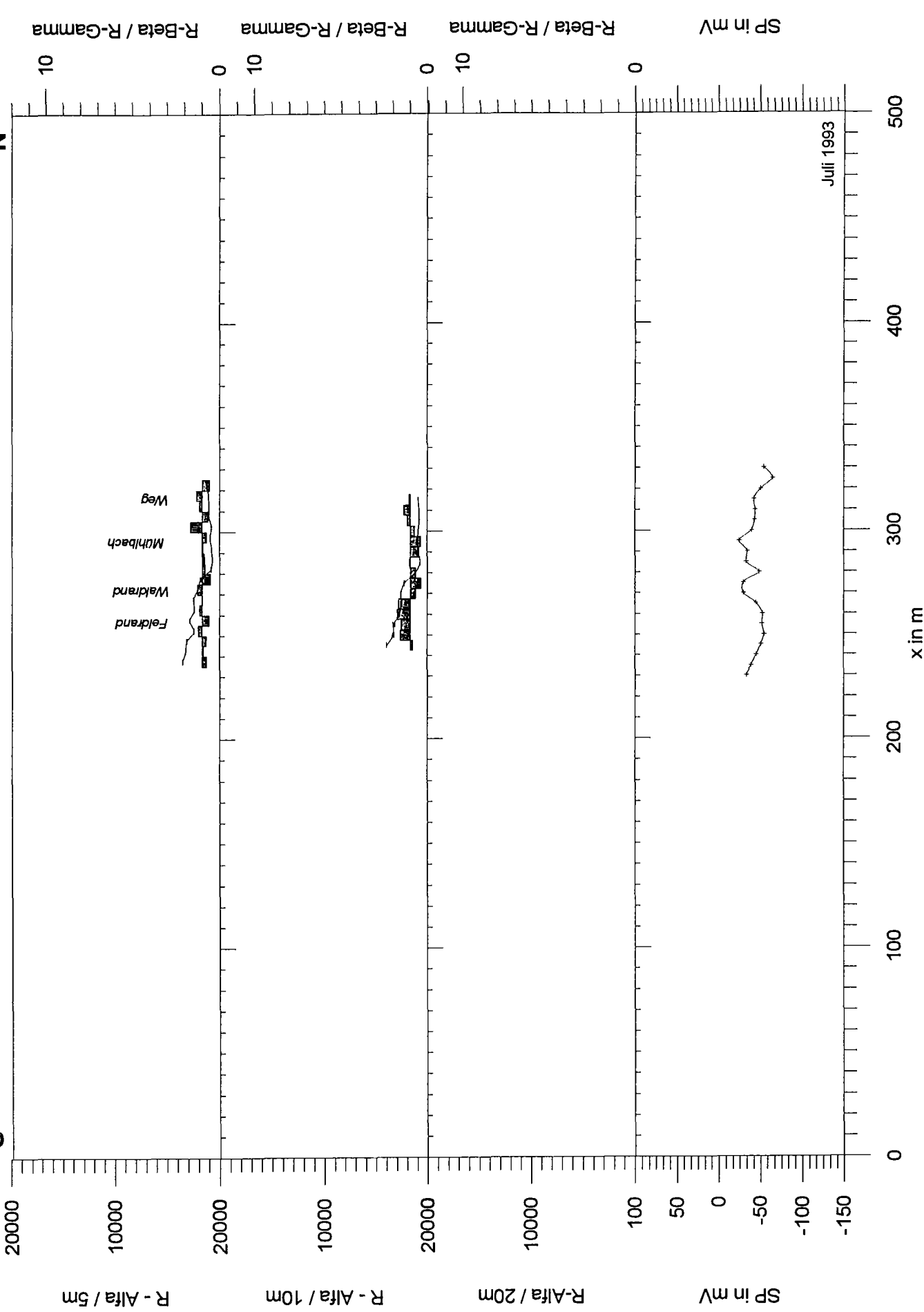
VORAU Profil 450



VORAU Profil 500

S

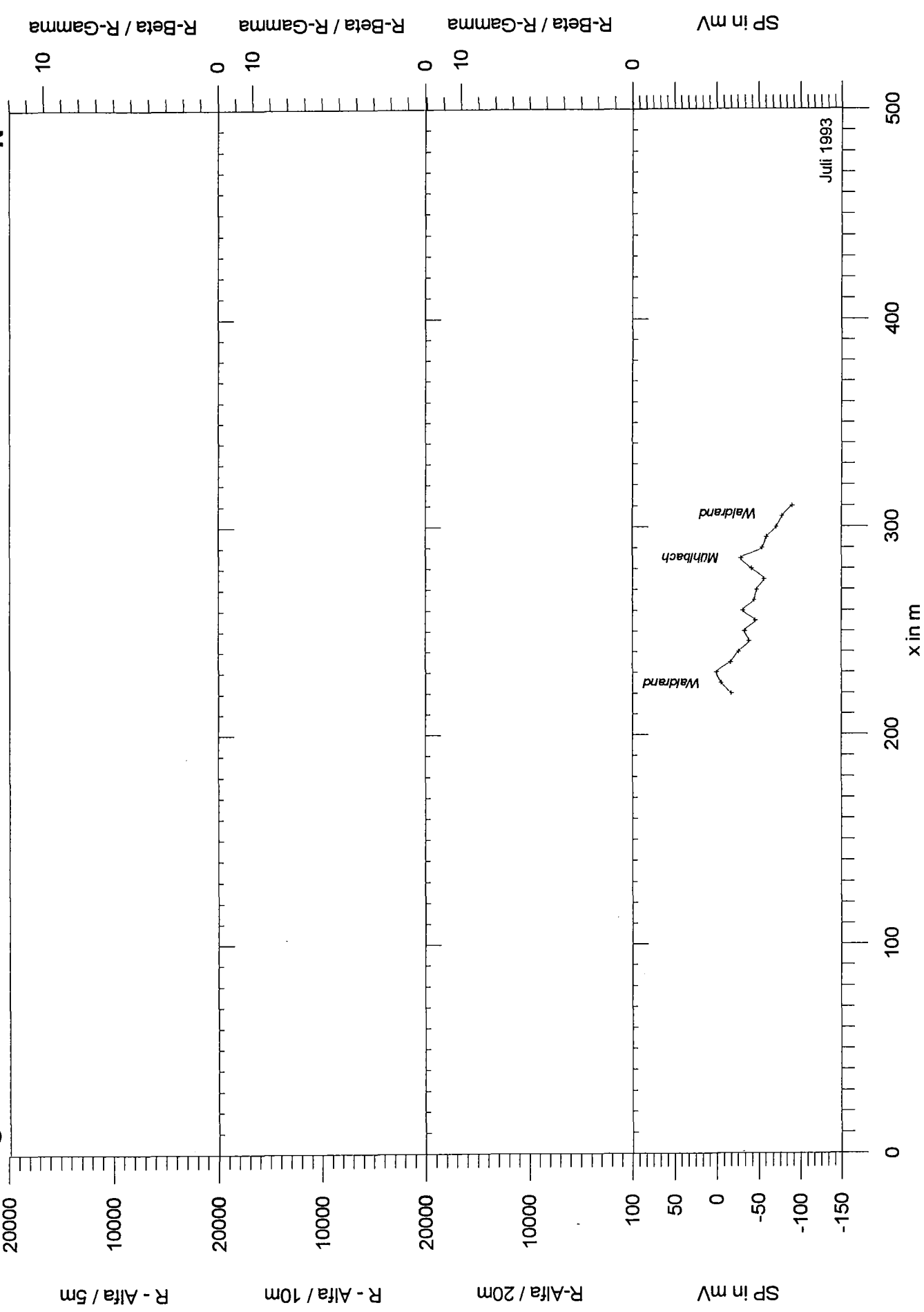
N

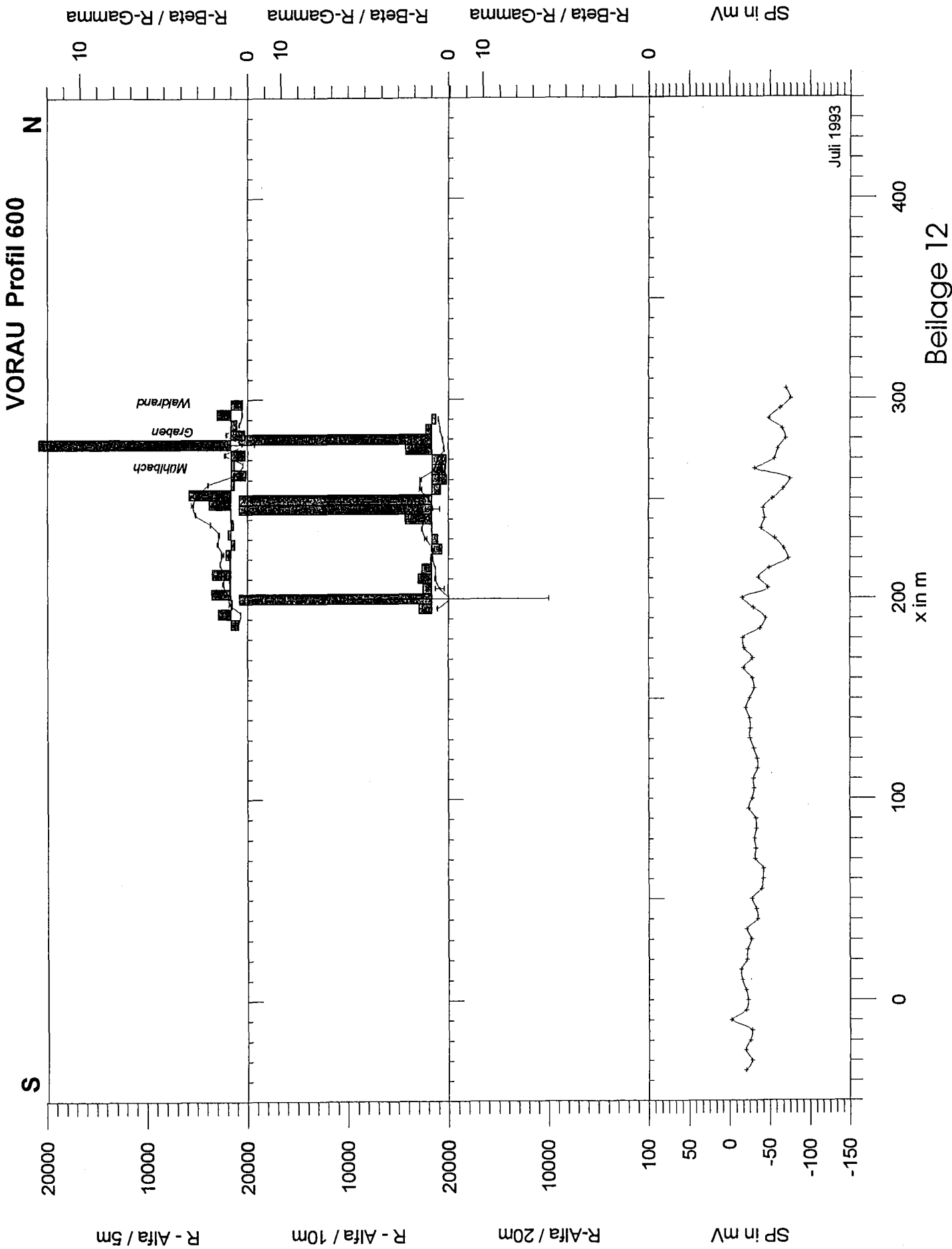


VORAU Profil 550

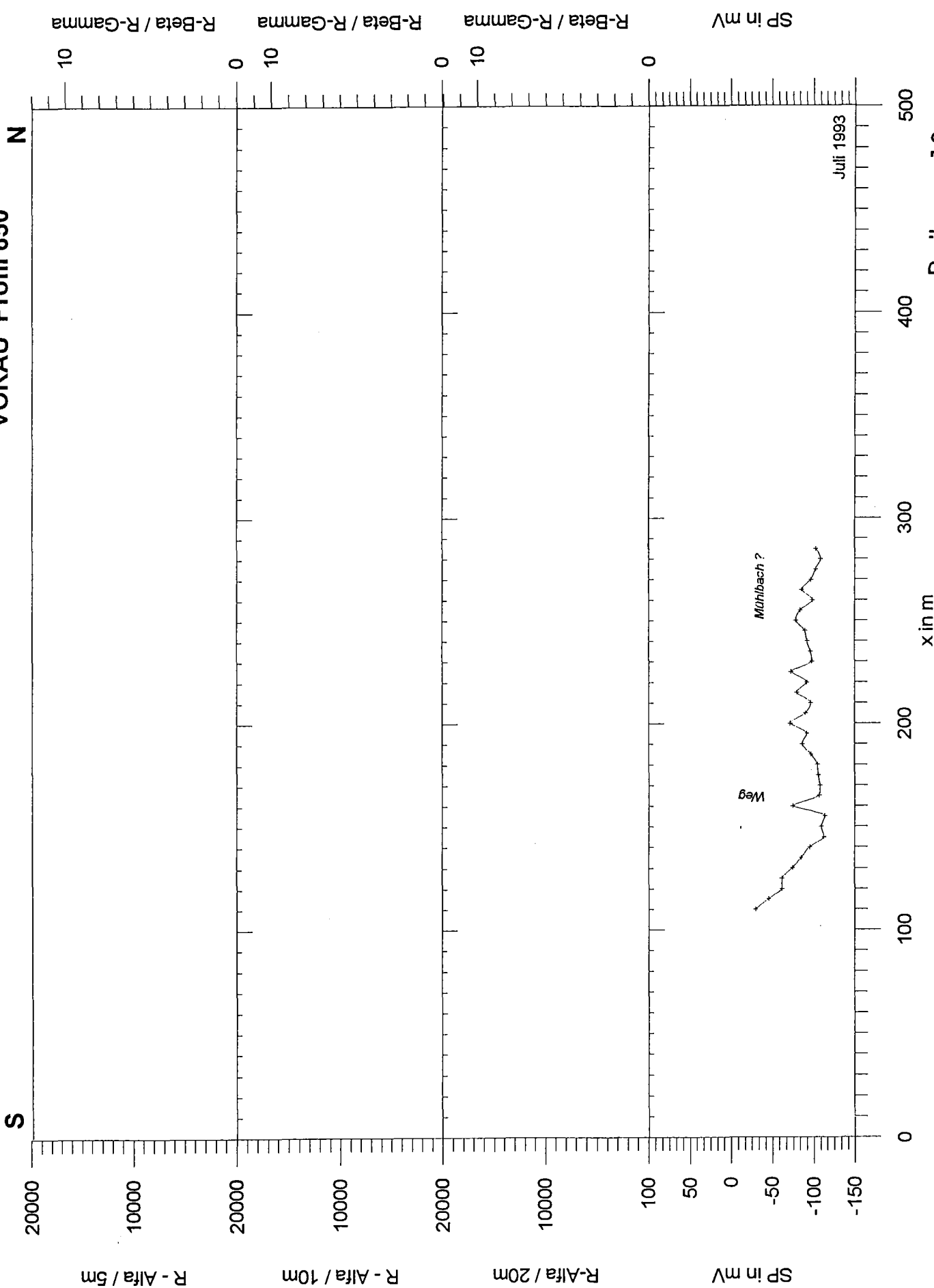
S

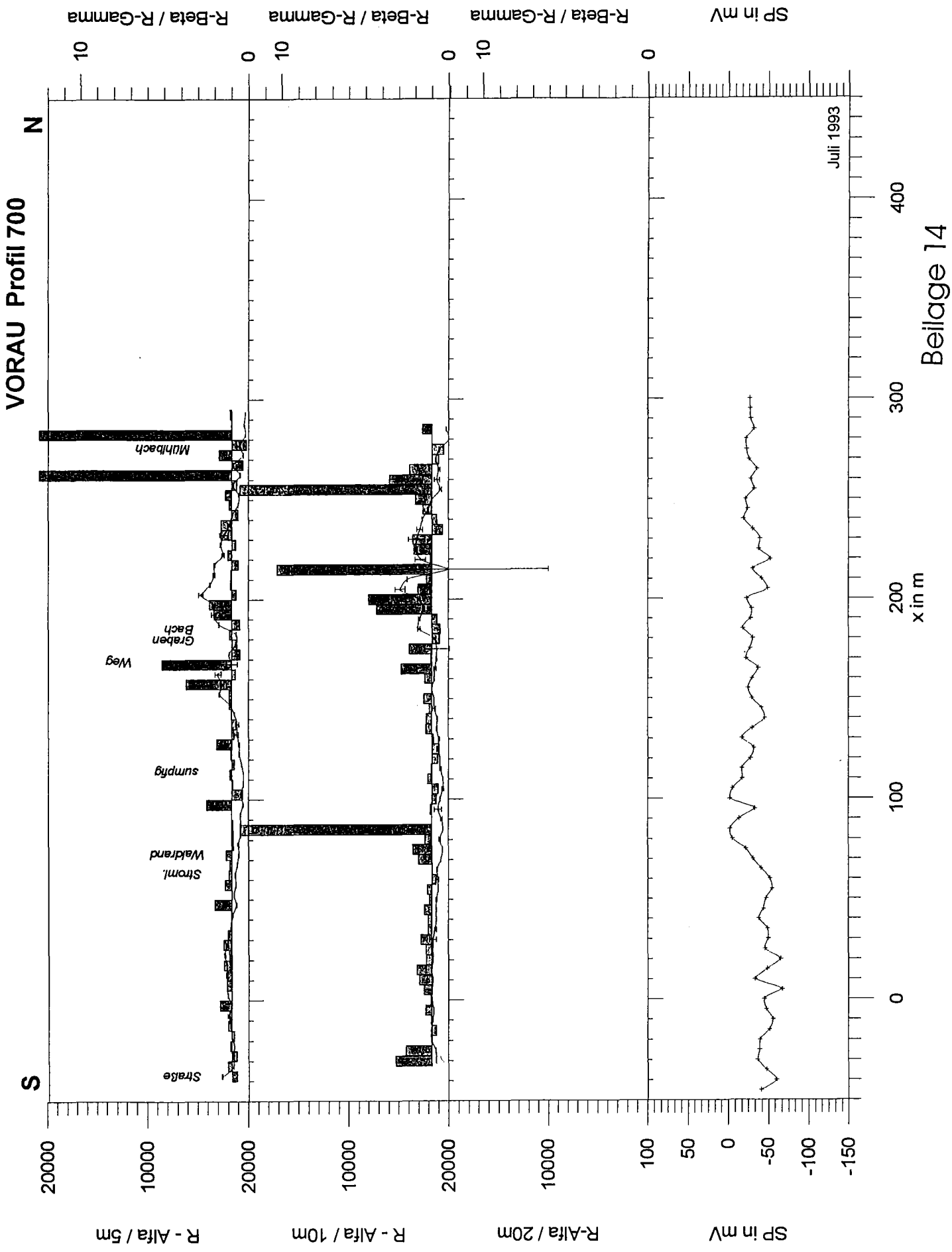
N





VORAU Profil 650

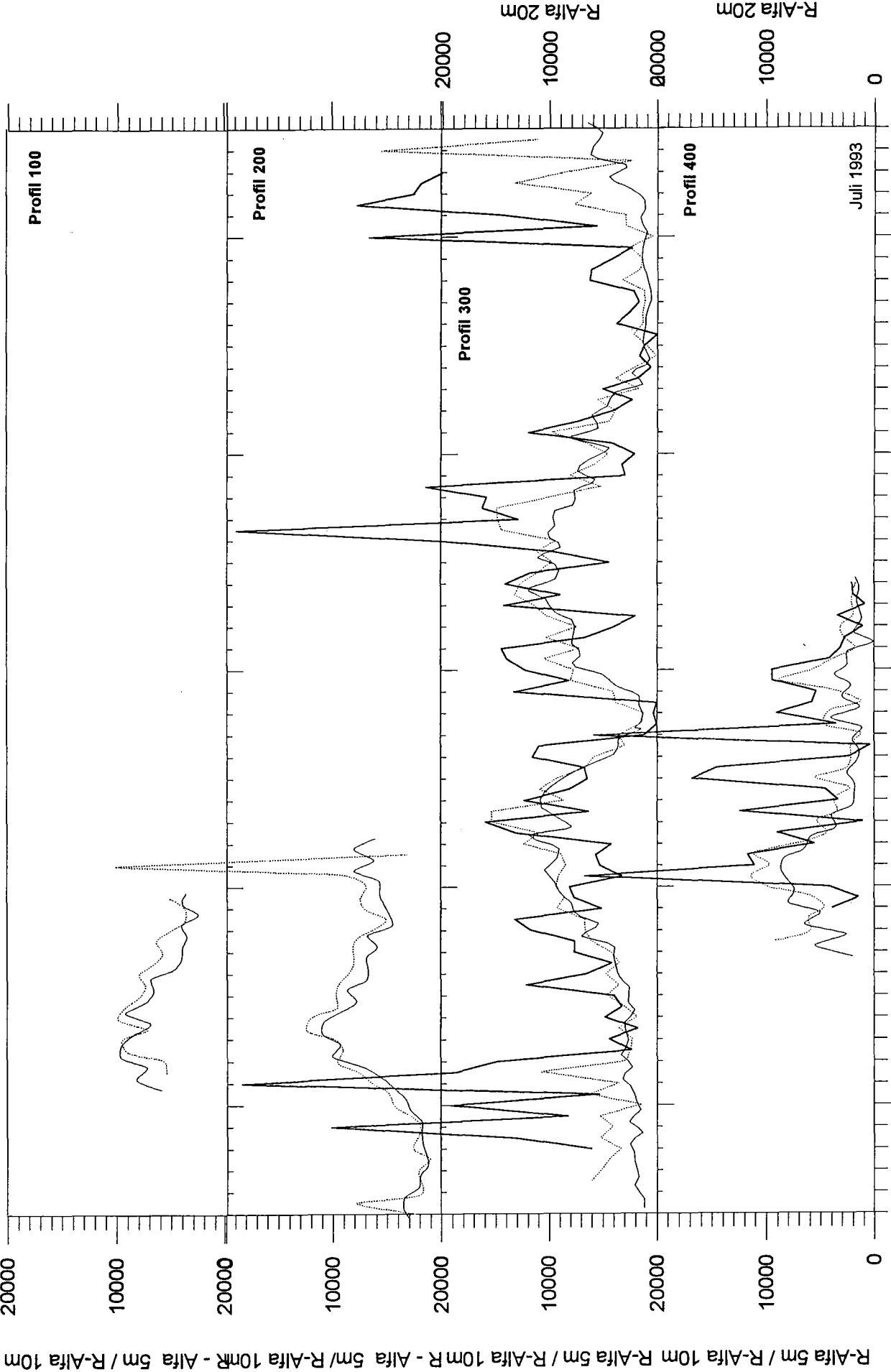


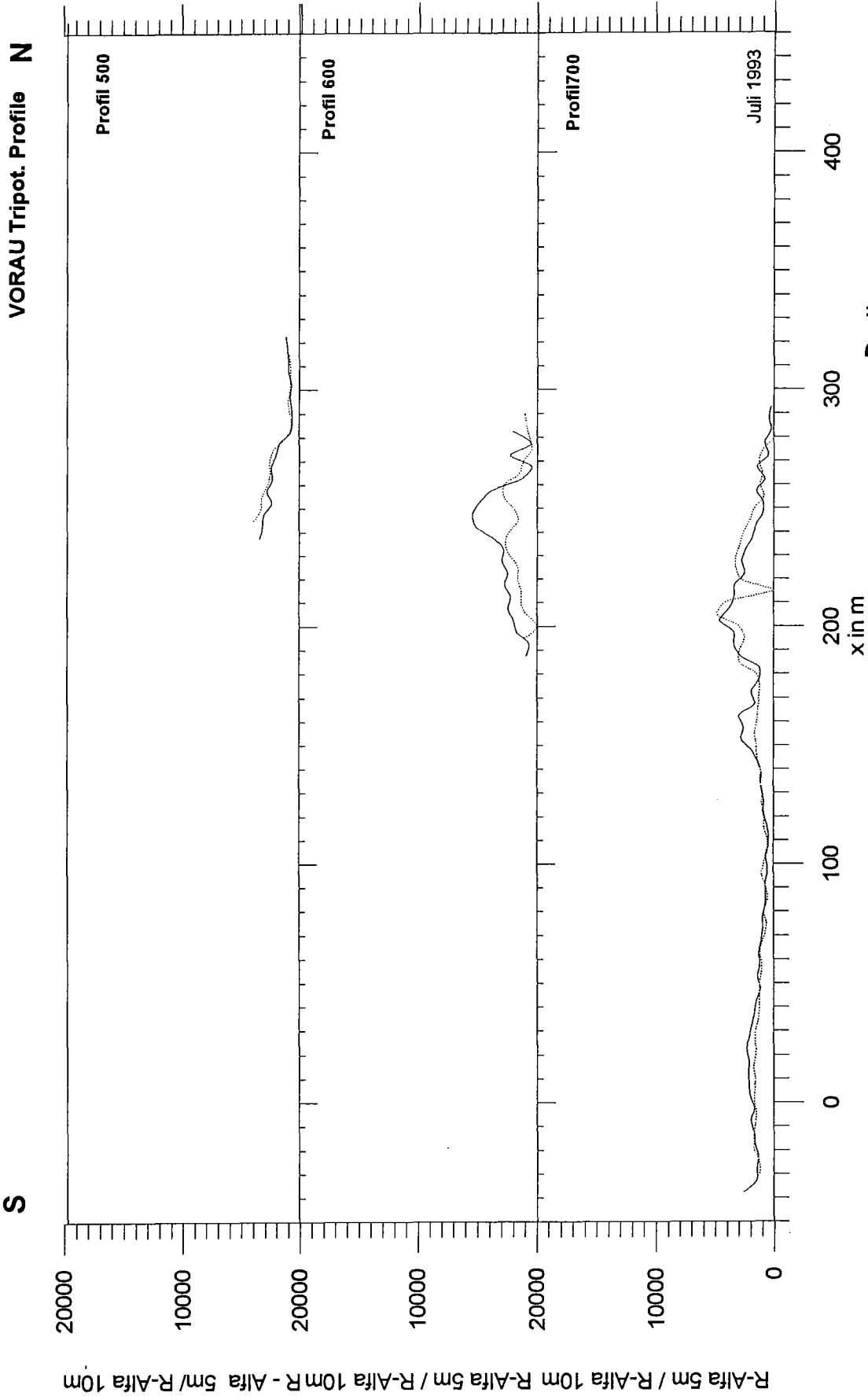


VORAU Tripot. Profile

N

S





ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [226](#)

Autor(en)/Author(s): Niesner Erich, Weber Franz

Artikel/Article: [Geophysikalische Untersuchung des Leukophyllitvorkommens im Mühlgraben / SW Vorau 1-56](#)