

AERO-GEOPHYSIK

ÖSTERREICH

**AEROGEOPHYSIKALISCHE
VERMESSUNG**

im Bereich von

SEMRIACH

AEROGEOPHYSIKALISCHE VERMESSUNG

im Bereich von

SEMRIACH

von

Wolfgang Seiberl

mit einem Beitrag

von

Julian Pistotnik

Wien, April 1994

Geologische Bundesanstalt Wien

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1. Zielsetzung und Ablauf des Projekts	3
2. Verwendete Meßmethoden und allgemeine Bemerkungen zu aerogeophysikalischen Messungen	4
3. Planung und Durchführung der Vermessung.....	6
3.1. Meßausrüstung	6
3.2. Fluglinien	7
3.3. Durchführung der Messungen.....	8
3.4. Personal	11
4. Datenverarbeitung und Kartenherstellung	12
4.1. Aufgabe der ADV	12
4.2. Datenkontrolle	13
4.3. Flugwegdaten	13
4.4. Elektromagnetische Widerstandskartierung	13
4.4.1. Auswertung der EM-Daten	13
4.4.2. Bedeutung der Ergebnisparameter ρ_a und d_a	14
4.5. Kartierung der anomalen magnetischen Totalintensität (ΔT).....	15
4.6. Radiometrische Kartierung.....	17
4.6.1. Die Quellen der natürlichen Gammastrahlung	17
4.6.2. Korrekturen der Meßdaten	17
4.6.3. Herstellung der Isolinienkarten	23
5. Geologischer Rahmen	24
6. Ergebnisse	27
6.1. Widerstandskartierung (Anlagen 2, 3)	27
6.2. Isanomalien der Totalintensität ΔT ; Anlage 4	27
6.3. Gammastrahlenspektrometrie.....	28
6.3.1. Strahlenschutz.....	28
Dosisleistung (Anlage 5)	28
Verteilung des Cäsium-137 (Anlage 6)	29
6.3.2. Die Verteilung des Kaliums (^{40}K); Anlage 7.....	29
6.3.3. Die Verteilung des Urans (^{214}Bi); Anlage 8	29
6.3.4. Die Verteilung des Thoriums (^{208}Tl); Anlage 9.....	29
6.3.5. Verhältnisse U/Th, U/K, Th/K; Anlagen 10, 11, 12.....	30
7. Diskussion der Ergebnisse	31
8. Literatur.....	32
9. Verzeichnis der Anlagen.....	33
Anhang A: Einsatz Neuraler Netze bei der Interpretation von aeroelektromagnetischen Messungen in der angewandten Geophysik	34
Anhang B: Einfluß der Topographie auf die Anomalien der magnetischen Totalintensität (ΔT)	38

Zusammenfassung

Die aerogeophysikalischen Messungen geben die oberflächennahe geologische Situation im Bereich des Meßgebietes Semriach teilweise gut wieder. So z.B. lassen sich die Grünschieferkomplexe der Passailer Gruppe gut durch die geomagnetischen Messungen erfassen.

Die bekannten Vererzungen des Grazer Paläozoikums korrelieren teilweise mit den aerogeophysikalischen Meßergebnissen (elektrischer Widerstand, Magnetik, Radiometrie), insbesondere der südliche Vererzungszug Schönberg-Arzberg-Kaltenberg-Burgstall. Weiters konnten einige andere unter Umständen höffige Gebiete (Bereich Passail, Breitenau-Wallhütten, Pfannberg-Rinnwegkogel) für eventuelle weiterführende geowissenschaftliche Untersuchungen mit Hilfe der Aerogeophysik eingegrenzt werden.

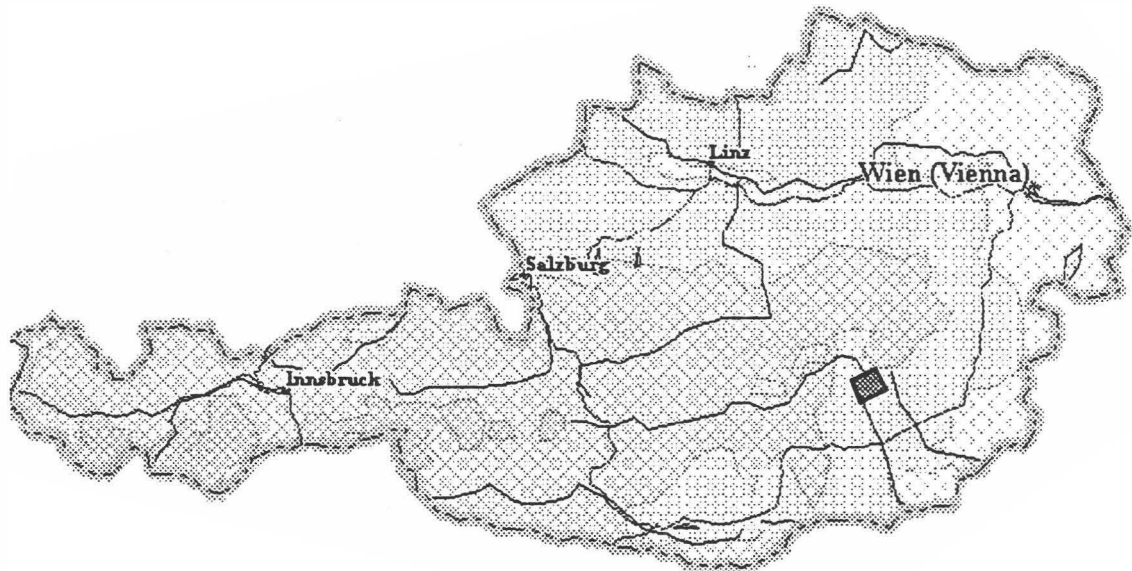


Abb. 1: Lage des Meßgebietes

1. Zielsetzung und Ablauf des Projekts

Mit der hubschraubergeophysikalischen Vermessung im Bereich von Semriach - die Finanzierung des Projektes erfolgte über die Mittel der Bergbauförderung - sollen in erster Linie geowissenschaftliche Beiträge zur

- Abschätzung der Mineralrohstoffsituation aus der Sicht der Aerogeophysik

im Untersuchungsgebiet erstellt werden. Zusätzlich sollen die Vermessungsergebnisse auch im Hinblick auf folgende Anwendungs- und Umsetzungsziele beurteilt werden, weil diese unter Umständen bei der Gesamtbeurteilung der Rohstoffsituation von Bedeutung sein könnten:

- Unterstützung der regionalen geologischen Kartierung
- Erfassung geogener Risikofaktoren (z.B.: Massenbewegungen)

Die Meßflüge im Raum Semriach - die Lage des Meßgebietes kann der Abbildung 1 entnommen werden - fanden im Herbst 1993 statt. Dabei wurde ein temporärer Hubschrauberlandeplatz bei Gratkorn eingerichtet. Mit der Herstellung erster Ergebniskarten wurde im Herbst 1993 begonnen. Die Fertigstellung letzterer wurde im März 1994 abgeschlossen.

2. Verwendete Meßmethoden und allgemeine Bemerkungen zu aerogeophysikalischen Messungen

Die Lagerstätten mineralischer Rohstoffe können sich in unterschiedlichster Weise in den geophysikalischen Meßergebnissen widerspiegeln. Dabei ist zu bedenken, daß ein entsprechendes Resultat von folgenden Parametern abhängig ist:

- physikalische Eigenschaften der die Lagerstätte bildenden Mineralien,
- Auflösungsvermögen der verwendeten Meßverfahren.

Zu den wichtigsten, für aerogeophysikalische Messungen relevanten physikalischen Eigenschaften von Mineralien bzw. Gesteinen zählt unter anderem die elektrische Leitfähigkeit, die magnetische Suszeptibilität (Gehalt an magnetischen Mineralien) und die natürliche Radioaktivität (Gehalt an radioaktiven Mineralien). Weist nun eine Lagerstätte einen signifikanten Unterschied bezüglich der eben erwähnten physikalischen Eigenschaften gegenüber den sie umgebenden Gesteinen auf, so können entsprechende Meßmethoden zu deren Ortung herangezogen werden.

Weiters ist das Auflösungsvermögen des verwendeten Meßverfahrens entscheidend. Eine Lagerstätte muß solch eine Mindestgröße bzw. Position aufweisen, daß noch ein Nutzsignal erzeugt werden kann. Dabei muß berücksichtigt werden, daß dabei der Meßpunktraster (Profilabstand, Meßpunktabstand, Flughöhe etc.) einen sehr wesentlichen Einfluß auf das Ergebnis hat. Aus wirtschaftlichen Überlegungen kann der Profil- und Meßpunktabstand nicht beliebig verkleinert werden. Daher ist es durchaus möglich, daß bei einer bestimmten Meßrasterdimension eine Lagerstätte nicht festgestellt werden kann, weil sie entweder zu klein ist oder zu tief liegt, bzw. der physikalische Kontrast zu gering ist.

Beim Flugprogramm im Meßgebiet Semriach wurde der Profilabstand mit 200 m festgelegt. Der Meßpunktabstand entlang der Profile ist von der jeweiligen Fluggeschwindigkeit abhängig, weil die Datenabtastrate für die Magnetik und die Radiometrie 1 Sekunde beträgt. Dies entspricht einem mittleren Punktabstand von ca. 30 m. Die elektromagnetischen Meßwerte werden 10 mal die Sekunde abgefragt; d.h. der Meßpunktabstand beträgt in diesem Fall etwa 3 m.

Trotz aller oben angeführten Einschränkungen sind aerogeophysikalische Meßverfahren bei vielen Rohstoffpotentialuntersuchungen gut geeignet, entsprechende geowissenschaftliche Grundlagen zu erstellen, da häufig nicht nur der direkte Hinweis auf hoffige Gebiete von Bedeutung sein kann, sondern auch der indirekte. Die indirekte Beurteilung von geophysikalischen Daten (Geologie, Strukturen, Tektonik etc.) wird in Zukunft stark an Bedeutung gewinnen.

Die Blei-Zinkvererzungen im Bereich des Meßgebietes Semriach sind an die Gesteinsserien der "Passailer Gruppe" (inklusive der Arzbergschichten) gebunden. Aus der Sicht der Geophysik sind hier zwei stratigraphische Einheiten von Interesse:

- Schwarzschiefer
- Grünschiefer

Die Schwarzschiefer sollten sich durch erhöhte elektrische Leitfähigkeitswerte, die Grünschiefer im magnetischen Anomalienmuster bemerkbar machen. Es empfiehlt sich daher die Anwendung der

- Elektromagnetik
- und
- Magnetik.

Als begleitendes Meßverfahren sollte auch die

Gammastrahlenspektrometrie (Radiometrie)

zum Einsatz kommen.

Elektromagnetik: Bei der elektromagnetischen Meßmethode werden auf induktivem Weg Wirbelstromsysteme im vermessenen Untergrund erzeugt. Diese sind eine Funktion der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit. Man kann daher umgekehrt aus den, den Wirbelströmen entsprechenden, magnetischen Sekundärfeldern und über bestimmte Modellannahmen auf die elektrischen Verhältnisse im Meßgebiet schließen (siehe Abschnitt 4.4).

Magnetik: Dem globalen Erdfeld sind lokale Anomalien überlagert, die die Information über den geologischen Aufbau des Meßgebietes beinhalten, wobei sich die Magnetisierbarkeitskontraste der unterschiedlichen Gesteine bzw. Minerale bemerkbar macht.

Gammastrahlenspektrometrie: Natürlich radioaktive Isotope, die in höheren geochemischen Gehalten auftreten können, sind für die Elemente Kalium, Uran und Thorium bekannt. Mit entsprechenden Meßmethoden kann nun auf die Verteilung dieser drei Elemente im Untersuchungsgebiet geschlossen werden. Die Gammastrahlenspektrometrie (Radiometrie) läßt sich häufig bei der indirekten Beurteilung von aerogeophysikalischen Daten verwenden.

3. Planung und Durchführung der Vermessung

3.1. Meßausrüstung

Die aerogeophysikalischen Messungen im Raum Semriach wurden mit einem Hubschrauber des österreichischen Bundesheeres vom Typ AB 212 durchgeführt.

Die Meßausrüstung hat folgende Komponenten:

- 1) Ein elektromagnetisches Mehrfachspulensystem vom Typ DIGHEM-II. Das System induziert elektrische Ströme in den Untergrund, deren Magnetfeld (= sekundäres Feld) gemessen wird. Die zwei Sender arbeiten mit zwei unterschiedlichen Frequenzen, (900 Hz koaxial, 3.600 Hz koplunar). Das sekundäre Magnetfeld wird mit zwei Empfangsspulen aufgenommen, die die gleiche Lage wie die Sendespulen haben ("maximale Kopplung") und 7,97 m von diesen entfernt sind. Sender und Empfänger sind in einer etwa 10 m langen Flugsonde ("bird") untergebracht, die an einem 30 m langen Kabel unter dem Hubschrauber hängt. Die aufgenommenen Signale werden in zwei zeitliche Komponenten ("inphase" und "quadrature") relativ zur Phase des Sendesignales aufgespalten. Die Meßrate beträgt 10 Meßdaten pro Sekunde, es fallen also insgesamt 40 Meßdaten pro Sekunde für das Elektromagnetiksystem an.
- 2) Ein Gammastrahlenspektrometer (Geometrics GR-800D) mit zwei nach unten gerichteten Natrium-Jodid Kristallpaketen mit einem Gesamtvolumen von 33,6 l und einem nach oben gerichteten Kristall (Volumen 4,1 l). Dieses Gerät mißt die Intensität der Gammastrahlung in jeweils 256 Energiekanälen für die nach unten und oben gerichteten Kristalle. Zusätzlich werden 6 Energiesummenbereiche aufgezeichnet: Gesamtstrahlung (0,4 - 3,0 MeV, bzw. 0,2 - 3,0 MeV), für Uran-weit (1,041 - 1,207 MeV, 1,66 - 2,41 MeV), Kalium (^{40}K ; 1,36 - 1,56 MeV), Uran (^{214}Bi ; 1,67 - 1,87 MeV) und Thorium (^{208}Tl ; 2,42 - 2,83 MeV). Die Integrationszeit beträgt 1 Sekunde.
- 3) Ein Protonen-Präzessions-Magnetometer vom Typ Geometrics G-801/3. Es mißt die Totalintensität des erdmagnetischen Feldes mit einer Anzeigegenauigkeit von $\frac{1}{2}$ nT. Die Meßrate beträgt 1 Meßwert pro Sekunde. Der Sensor hängt an einem Kabel, etwa 20 m unter dem Hubschrauber.
- 4) Ein Infrarotsensor (8 - 13 μm) zur Messung der Erdoberflächentemperatur.
- 5) Zur Messung der Flughöhe über Grund dient ein Radarhöhenmesser Sperry AA-220.
- 6) Der Flugweg wird auf einer Breite von $\pm 100\text{m}$ durch eine Videokamera aufgezeichnet.
- 7) Eine Dopplemnavigationsanlage (System LDNS der Fa. Singer-Kearfott, USA) stellt durch ihre Flugweganzeige eine wesentliche Unterstützung für die Meßflugdurchführung dar. Weiters können mit diesem Gerät die Flugwegkoordinaten (im UTM-System) unmittelbar auf einen Datenträger aufgezeichnet werden.

8) Das gesamte Meßsystem wird durch einen Personalcomputer (PCQT, Industriestandard), an dem einige Modifikationen durchgeführt wurden, gesteuert. Die Datenaufzeichnung erfolgt auf einer Festplatte. Die Kontrolle der Meßdaten erfolgt während der Meßflüge über einen Farbgraphikschirm.

Der Datenfluß des Hubschrauber-Meßsystems ist in Abb. 2 vereinfacht dargestellt.

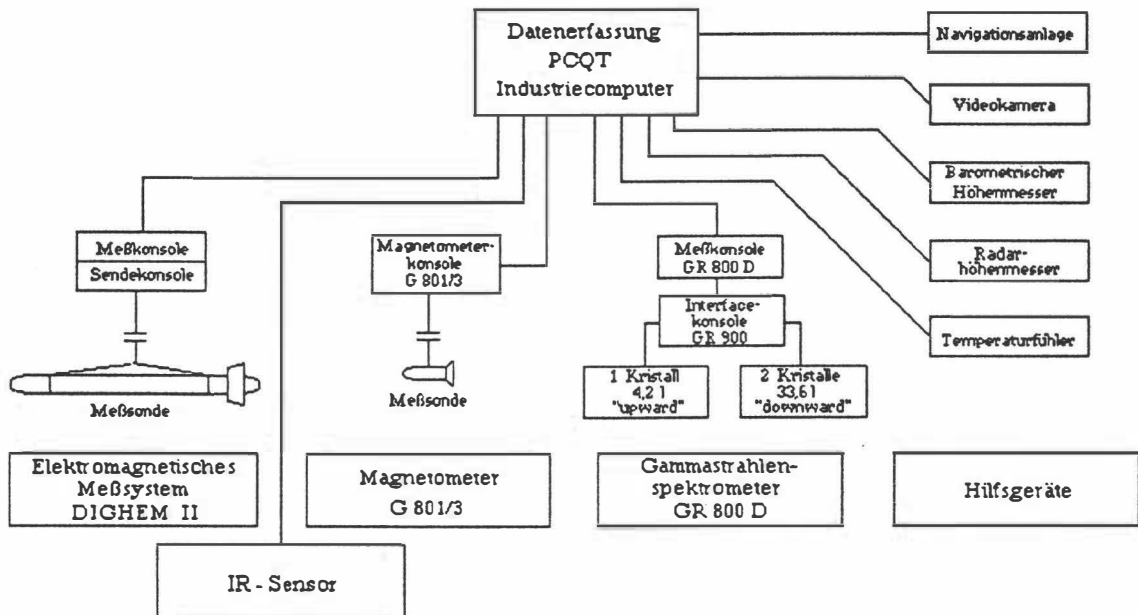


Abb.2: Datenfluß des Hubschrauber-Meßsystems

3.2. Fluglinien

Flugrichtung: Folgende Richtung wurde für die Fluglinien gewählt:

Meßprofile ... $150^\circ \leftrightarrow 330^\circ$

Kontrollprofile ... $60^\circ \leftrightarrow 240^\circ$

Für die später folgende Datenverarbeitung wurden im Meßgebiet entsprechende Kontrollprofile vermessen, die die Meßprofile möglichst im rechten Winkel schneiden sollten.

Abstand: Der Soll-Abstand der Meßprofile beträgt 200 m.

Flugprofilkennung: Die Fluglinien haben eine achtstellige alphanumerische Bezeichnung, die eine zweistellige Buchstabenkennung für das Meßgebiet beinhaltet.

3.3. Durchführung der Messungen

Navigationsunterlagen: Als Navigationsunterlage für die Hubschrauberbesatzung dienten Karten im Maßstab 1:50.000, auf der die Sollagen der Meßprofile eingetragen wurden.

Kontrolle der Geräte: Vor jedem Meßflug wurde eine Kalibrierung des Gammastrahlenspektrometers sowohl mit einer Cäsium- (^{137}Cs) als auch mit einer Thoriumquelle (^{208}Tl) durchgeführt. Bei der ersten Kalibrierung wird die Trennung der einzelnen Kanäle abgestimmt (siehe Abb. 3), während beim zweiten Kalibriervorgang die richtige Lage des für das Thorium charakteristischen Energiesummenfensters (2,42 - 2,83 MeV) überprüft wird (Abb. 4). Ebenso wurde die Phaseneinstellung des elektromagnetischen Meßsystems mit Hilfe eines Ferritstabes jeweils vor Flugbeginn kontrolliert und gegebenenfalls justiert.

Meßflüge: Während der Messungen auf den Profilen wurde eine Sollflughöhe des Hubschraubers von 80 m angestrebt, was nur teilweise möglich war. Das entspricht folgenden Meßhöhen über Grund für die Sensoren der geophysikalischen Geräte:

- EM-Sonde: 50 m
- Magnetometer-Sonde: 60 m
- Detektoren des Gammastrahlenspektrometers: 80 m

Die Fluggeschwindigkeit betrug über leicht welligem Gelände ca. 125 km/h, an steileren Hängen entsprechend weniger. Die durchschnittliche Meßflugdauer lag bei etwa 1,5 Stunden (inkl. An- und Abflug zum und vom Meßgebiet).

In den Wenden zwischen den Meßprofilen ist es notwendig, für jeweils ca. 1 min auf etwa 350 m zu steigen. In dieser Höhe läßt sich das Nullniveau für die elektromagnetischen Meßsignale bestimmen. Dies ist vor und nach jedem Profil erforderlich, da das Nullniveau durch Temperatureffekte an der EM-Sonde driftet.

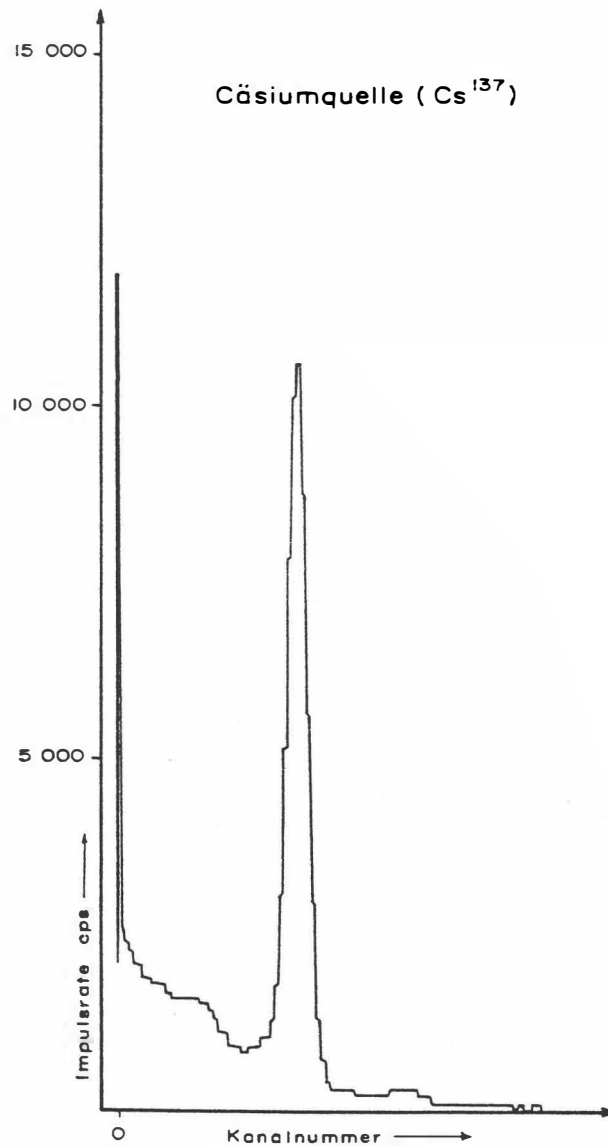


Abb. 3: GR - 800D Gammastrahlenspektrometer (Kristall I),
Beispiel einer Spektralregistrierung (10.6.1983) - Cäsiumquelle (¹³⁷Cs)

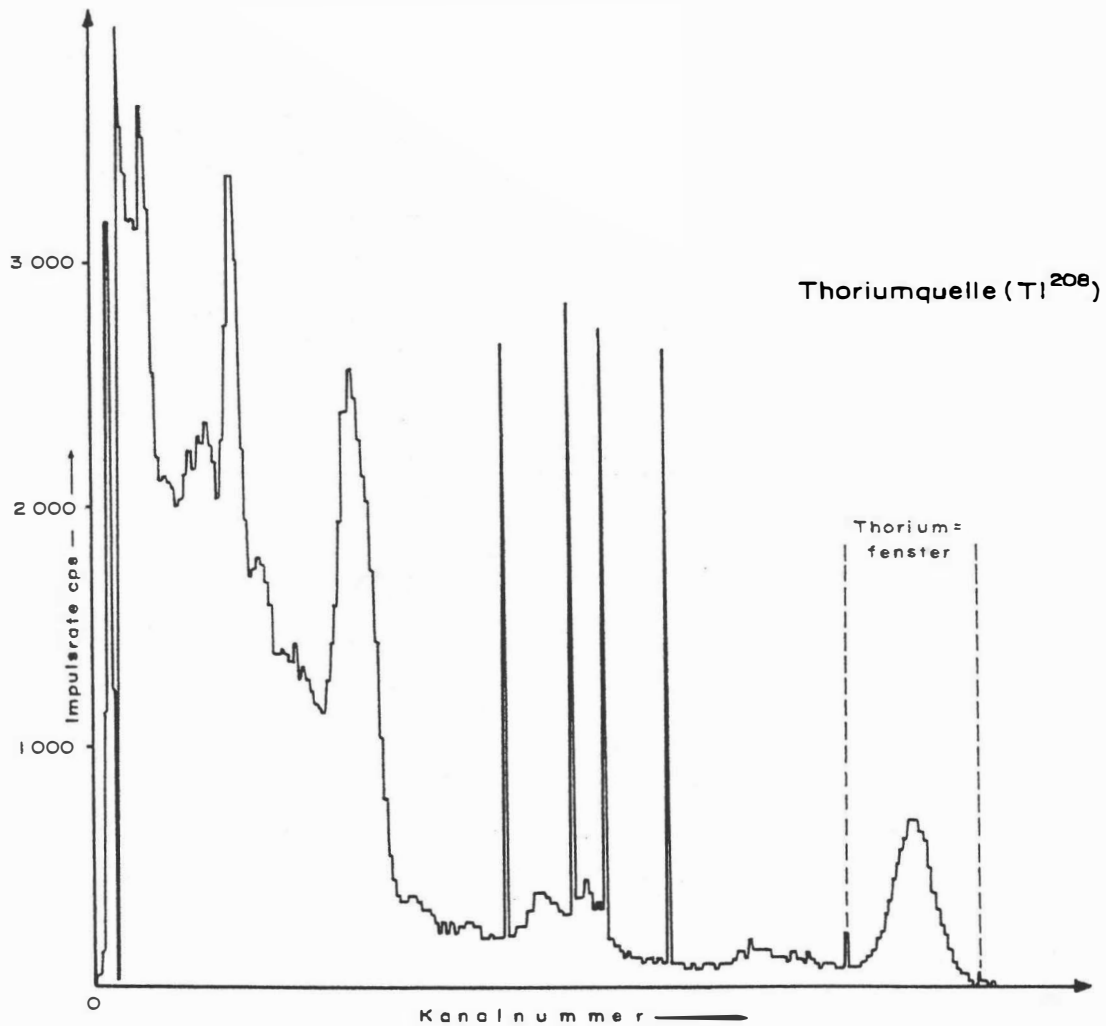


Abb.4: GR - 800D Gammastrahlenspektrometer (Kristall I),
Beispiel einer Spektralregistrierung (10.6.1983) - Thoriumquelle (^{208}Tl)

3.4. Personal

An der Durchführung der aerogeophysikalischen Arbeiten im Raum Semriach waren folgende Personen beteiligt:

Universität Wien / Geologische Bundesanstalt:

Univ. Prof. Dr. Wolfgang Seiberl

Geologische Bundesanstalt:

Horst Eichberger

Martin Heidovitsch

Klaus Motschka

Gernot Oberlercher

Robert Supper

Bundesministerium für Landesverteidigung:

Michael Mück

Peter Lang

Harald Rosa

Robert Staudinger

Rainer Wehrle

Harald Gramang

Thomas Kropik

Oskar Schabus

Die fachliche und administrative Abwicklung des Projekts erfolgte durch die Geologische Bundesanstalt.

4. Datenverarbeitung und Kartenherstellung

4.1. Aufgabe der ADV

Die Verarbeitung der Meßdaten des Untersuchungsgebietes fand in Wien statt, wobei die lokale Rechenanlage des Instituts für Meteorologie und Geophysik benutzt wurde.

Die Datenverarbeitung hat im wesentlichen drei Aufgaben:

- 1) Entfernung aller von nicht-geologischen Quellen stammenden Störsignale aus den Meßdaten bzw. die Durchführung bestimmter Meßwertkorrekturen.
- 2) Transformation der Meßdaten in Parameter, die einer geologischen Interpretation möglichst zugänglich sind.
- 3) Übergang von der eindimensionalen Vermessung entlang der Fluglinien zu zweidimensionalen Ergebniskarten (Isolinienpläne bzw. Farbrasterkarten).

Zur Lösung dieser Aufgaben müssen folgende Eingabedaten für die ADV bereitgestellt werden:

- 1) die geophysikalischen Meßdaten (mit Meßwertnummer) und die Flughöhe auf Datenträger,
- 2) die Koordinaten der Meßpunkte entlang der verschiedenen Flugprofile auf Datenträger,
- 3) die Registrierdaten der geomagnetischen Basisstation bei Gratkorn und des magnetischen Observatoriums Wien-Kobenzl (magnetischer Tagesgang).
- 4) eine Reihe von Gerätekonstanten und Kalibriergrößen, die z.T. für jeden Meßflug neu bestimmt werden müssen,
- 5) Flugberichte mit Angaben über Flugnummer, Fluglinien und Abweichungen von der Norm (z.B. Unterbrechung von Fluglinien, besondere Störungen),
- 6) topographische Unterlagen für die Ergebniskarten.

Die nachfolgende Beschreibung der wesentlichen Schritte bei der Verarbeitung der Daten hat zum Ziel, die physikalische Aussagekraft der in den Ergebniskarten dargestellten Parameter aufzuzeigen.

4.2. Datenkontrolle

Im Anschluß an die Meßflüge wurden die digital vorliegenden Meßdaten mit Hilfe eines kleinen Trommelplotters profilmäßig zur Darstellung gebracht. Auf diese Weise konnte die Qualität letzterer unmittelbar im Untersuchungsgebiet überprüft werden.

Die auf den Datenträgern aufgezeichneten digitalen Daten wurden in Wien auf der Rechenanlage des Instituts für Meteorologie und Geophysik abgespielt und diversen Fehlerkontrollen unterzogen.

Die Meß- und Datenerfassungssysteme sind im Hubschrauber großen mechanischen Belastungen ausgesetzt. So können sich Datenverluste ergeben, die sich zwar nur im Promillebereich der gesamten Daten bewegen, die aber trotzdem korrigiert werden müssen. Weiters werden am Beginn der Auswertung die Meßdaten auf Plausibilität und sogenannte statistische Ausreißer ("spikes") überprüft. Das alles wird von Computerprogrammen vollautomatisch durchgeführt.

4.3. Flugwegdaten

Die Lage sämtlicher Profile (Anlage 1) wurde mit Hilfe der aufgezeichneten Flugwegkoordinaten rekonstruiert und an Hand der Videoaufzeichnungen überprüft. Bei der kartenmäßigen Flugwegdarstellung wird das Bundesmeldenetz benutzt.

4.4. Elektromagnetische Widerstandskartierung

4.4.1. Auswertung der EM-Daten

Mit dem DIGHEM-II - System werden

Inphase (Real)	Komponente R
und	
Quadrature (Imaginär)	Komponente Q

des Magnetfeldes der im Untergrund induzierten Ströme für die zwei Sendefrequenzen gemessen. Jeweils nach 3 - 4 m Wegstrecke (d.h. alle 0,1 Sekunden) werden die Daten abgefragt und auf einem Massenspeicher registriert. Die EM-Daten einiger Meßflüge enthalten Störimpulse durch "sferics", d.h. durch elektromagnetische Impulse aufgrund von luftelektrischen Entladungen, insbesondere Gewittern.

Es gibt zwei Kriterien für die Erkennung der durch Fremdfelder gestörten Registrierungen:

- 1) irreguläre Form der Anomalien
- 2) Aufzeichnung von Fremdfeldern mit Frequenzanteilen nahe der Meßfrequenz in den sogenannten "sferics-Kanälen".

Mit diesen Kriterien wurden stark gestörte und damit für die geophysikalische Auswertung unbrauchbare Intervalle aus den Registrierungen ausgeschieden und bei der weiteren Datenverarbeitung nicht mehr berücksichtigt.

EM-Anomalien von künstlichen Leitern, wie z.B. Blechdächern, wurden nicht beseitigt, da die gemessenen Anomalien künstlicher Leiter oft nicht eindeutig von denen geologischer Leiter zu unterscheiden sind. Eine Identifizierung künstlicher Leiter muß einer späteren Befahrung vorbehalten bleiben.

Die Datenverarbeitung beginnt mit einer digitalen Filterung, wodurch die Rohdaten von hochfrequenten Störsignalen befreit werden. Die nächsten Schritte sind:

- Bestimmung des absoluten Nullniveaus für R und Q (an sogenannten Stützstellen) in den Registrierungen bei großer Flughöhe vor und nach jedem Meßprofil,
- Bestimmung der eingestellten Empfindlichkeit (für jeden einzelnen Meßflug) durch ein Kalibrierungsprogramm,
 - Umrechnung der Meßsignale auf das Nullniveau,
 - Transformation der Werte R und Q in zwei Ergebnisparameter, nämlich
 - den scheinbaren spezifischen Widerstand ρ_a
 - die scheinbare Tiefe d_a (eines äquivalenten Halbraumes, bezogen auf die Erdoberfläche).

Bei kleinen Signalamplituden war eine deutliche, zum Teil nichtlineare Drift des Nullniveaus in den EM-Kanälen zu erkennen. Diese Drift wird vermutlich durch Temperatureffekte auf die Flugsonde verursacht, bedingt durch die Höhenunterschiede längs der Fluglinien. Deshalb waren die beiden Stützstellen für das Nullniveau bei Profilanfang und Profilende nicht immer ausreichend.

In der Folge wurden die so berechneten ρ_a und d_a -Werte mit Hilfe eines Trommelplotters in Form von Isolinienplänen im Maßstab 1:25.000 dargestellt (Anlagen 2 u. 3).

4.4.2. Bedeutung der Ergebnisparameter ρ_a und d_a

Die Parameter ρ_a und d_a können für das Interpretationsmodell "homogener Halbraum" aus jedem Meßwertepaar R und Q berechnet werden (z.B. nach MUNDRY, 1984). Die Werte ρ_a und d_a stimmen annähernd mit dem wahren spezifischen Widerstand ρ und der wahren Tiefe d eines verdeckten Leiters überein, wenn dieser

- 1) eine bestimmte Mindestausdehnung (Größenordnung 100m) und eine Mindestmächtigkeit hat,
- 2) sich in schlechtleitender Umgebung befindet.

Dies trifft für bestimmte Vererzungen, aber auch für graphitische und tonige Medien häufig zu.

Ist Bedingung 1) nicht erfüllt, d.h. der Körper ist zu klein, so ist im allgemeinen $\rho_a > \rho$ und $d_a > d$. Ist Bedingung 2) nicht erfüllt, insbesondere z.B. wegen einer elektrisch gut leitenden Überdeckung, so wird ebenfalls $\rho_a > \rho$, aber $d_a < d$.

Der Tiefenwert d_a kann daher größer, kleiner oder gleich Null sein. Bezogen auf einen Zweischichtfall, d.h. eine Deckschicht mit einem Widerstand ρ_1 und einer Mächtigkeit d_1 sowie einem (unendlich ausgedehnten) Substratum mit dem Widerstand ρ_2 , gelten folgende Zusammenhänge (FRASER, 1978):

- $d_a > 0$: $\rho_1 > \rho_2$, d.h. das Substratum ist besser leitend als die Deckschicht,
- $d_a = 0$: $\rho_1 = \rho_2$, d.h. im Bereich der Erkundungstiefe (siehe unten) ist kein guter elektrischer Leiter vorhanden,
- $d_a < 0$: $\rho_1 < \rho_2$, d.h. eine besser leitende Deckschicht (z.B. Verwitterungsschicht) liegt über einem schlechtleitenden Untergrund.

Durch das Vorzeichen von d_a können also qualitative Aussagen über die vertikale Leitfähigkeitsverteilung gemacht werden. Die Erkundungstiefe ist die Maximaltiefe, bis zu der ein guter elektrischer Leiter im Untergrund durch die Meßmethode erfaßt werden kann. Bei schlechtleitender Deckschicht und großen Zielkörpern sind mit dem DIGHEM-II - System Erkundungstiefen von 100 - 150 m zu erreichen.

Seit dem Herbst 1993 werden die elektromagnetischen Meßdaten nicht mehr über ein direktes Verfahren getrennt für beide Frequenzen ausgewertet, sondern es wird ein neurales Netz zur parallelen Bearbeitung beider Datensätze verwendet. Der Vorteil der neuronalen Netze liegt in der erheblichen Einsparung von Rechenzeit bei der Auswertung und einer wesentlich verbesserten Stabilität und Fehlertoleranz bei der Inversionsberechnung. Im Anhang A dieses Berichtes sind die wichtigsten Punkte für die Anwendung neuraler Netze bei der Bearbeitung aeroelektromagnetischer Meßdaten zusammengefaßt.

4.5. Kartierung der anomalen magnetischen Totalintensität (ΔT)

In der Anlage 4 ist der Isolinienplan der magnetischen Totalintensität (ΔT) dargestellt. Diese Anomalien stellen die Feldabweichungen vom globalen Erdmagnetfeld dar, wobei letzteres durch das "Internationale Geomagnetische Referenzfeld" (IGRF) definiert wird. Da das Magnetfeld auch zeitlich veränderlich ist, stellt sich der anomale Feldanteil (ΔT), der von den unterschiedlich magnetisierbaren Gesteinen herrührt, wie folgt dar:

$$\Delta T(x,y,z) = T(x,y,z,t) - T(t) - T_{int} - \delta T$$

mit

$T(x,y,z,t)$... Meßwert am Flugprofil
$T(t)$... zeitliche Variation des Magnetfeldes
T_{int}	... magnetisches Hauptfeld
δT	... Restfehler (Feldwirkungen des Hubschraubers etc.)

Die zeitlichen Variationen $T(t)$ werden durch ortsfeste Stationen beobachtet, wobei im Rahmen des vorliegenden Meßprogrammes das Observatorium Wien-Kobenzl bzw. eine lokale Basistation bei Gratkorn verwendet wurden. Der Verlauf des Hauptfeldes T_{int} kann für kleine Meßgebiete, wie z.B. jenes im Raum Semriach, gut durch eine Ebene angenähert werden, sodaß nur die beiden Gradienten des IGRF (zur Epoche 1977,7)

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = 2,67 \text{ nT / km Richtung N,}$$

sowie

$$\frac{\partial T}{\partial \lambda} = 0,75 \text{ nT / km Richtung O}$$

und eine Konstante ($T_c = 47.241 \text{ nT}$) zu seiner Darstellung notwendig sind.

Die Restfehler (δT) beinhalten vor allem die Störungen des Hubschraubers am Ort des Sensors, die in beiden Flugrichtungen relativ zum Erdmagnetfeld unterschiedlich sein können (=heading error). Diese Fehler können mit Hilfe der Daten von Kontrollprofilen weitgehend eliminiert werden. Dazu werden die Meßwertdifferenzen an den Kreuzungspunkten von Meß- und Kontrollprofilen bestimmt. Aus den Differenzen an vielen Kreuzungspunkten werden unter Anwendung statistischer Verfahren Korrekturwerte ermittelt und die Restfehler damit zum Großteil beseitigt.

Ein etwaiges hochfrequentes Rauschen in den gemessenen Werten $T(x,y,z,t)$, das vor allem von den starken Luftwirbeln durch die Rotordrehungen herrührt, wird bereits zu Beginn der Verarbeitung der magnetischen Daten durch Anwendung von sorgfältig angepaßten digitalen Filtern minimiert.

Nach Bestimmung der Werte T_{int} , $T(t)$ und δT kann nach obiger Gleichung der anomale Anteil $\Delta T(x,y,z)$ der Totalintensität für jeden Meßpunkt $P(x,y,z)$ berechnet werden. Die Anomalien der Totalintensität werden in Form eines Isolinienplanes flächenhaft dargestellt (siehe S. 12).

Bei der Bearbeitung von magnetischen Anomalien, die in geographisch schwierigem Gelände gemessen wurde, muß der Einfluß der Geländeform bedacht werden. So machen sich z.B. unterschiedliche Hangneigungen, Bergkämme usw. erheblich im Anomalienmuster bemerk-

bar (SEREN, 1980). In diesem Zusammenhang sei auf die Ausführungen im Anhang B verwiesen.

4.6. Radiometrische Kartierung

4.6.1. Die Quellen der natürlichen Gammastrahlung

Die Gammastrahlung der Gesteine und der aus ihnen entstandenen Böden stammt im wesentlichen aus drei Quellen: den radioaktiven Elementen Thorium und Uran mit einer Reihe von strahlenden Tochterprodukten, sowie von Kalium mit dem radioaktiven Isotop ^{40}K .

Mit dem Gammastrahlenspektrometer GR-800D wird in jeweils 255 Kanälen die Energie der Gammastrahlung im Bereich zwischen 0,2 und 3,0 MeV für die "downward looking" und "upward looking" Kristalle aufgezeichnet. In einem zusätzlichen Kanal (3,1 - 6,0 MeV) werden jene Gammastrahlenimpulse registriert, die von der Höhenstrahlung herrühren. Neben den Gesamtspektren, die jeweils mit einer Wiederholungsrate von einer Sekunde gemessen und abgespeichert werden, werden zusätzliche Energiefenster, die in den Bereichen der wichtigsten natürlichen Photopeaks (^{40}K - 1,46 MeV, ^{214}Bi - 1,76 MeV, ^{208}Tl - 2,62 MeV) des Kaliums, des Urans und des Thoriums liegen, sowie die Gesamtzählrate (0,2 - 3,0 MeV; 0,4 - 3,0 MeV) für spätere Kontrollen aufgezeichnet:

Kalium - Kanal: 1,36 - 1,56 MeV

Uran - Kanal: 1,67 - 1,87 MeV

Thorium - Kanal: 2,42 - 2,83 MeV

Die Messungen mit dem "upward looking" Kristall dienen zur eventuellen Korrektur von Radonkonzentrationen in der Luft.

4.6.2. Korrekturen der Meßdaten

Die mit dem Zerfall der radioaktiven Isotope verbundene Emission von Gammaquanten ist ein statistischer Prozeß. Die mit einem ruhenden Gerät gemessene Zählrate N streut in Form einer Poisson-Verteilung um einen Mittelwert. Die Standardabweichung σ ergibt sich aus

$$\sigma = \sqrt{N}.$$

Bei hohen Zählraten ist also die relative Streuung $\frac{\sigma}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}$ kleiner als bei kleinen Zählraten.

Bei der Messung während des Fluges erhält man z.B. die in Abb.5a gezeigten Zählraten in cps (counts per second) - hier für Uran und Thorium - mit der natürlichen statistischen Streuung. Durch entsprechend angepaßte digitale Filter wird das hochfrequente Rauschen in den Rohdaten weitgehend eliminiert, ohne daß das längerwellige Nutzsignal (d.h. die Variationen der Zählrate, die durch wechselnde Gehalte der strahlenden Elemente im Gestein verursacht werden) verändert wird.

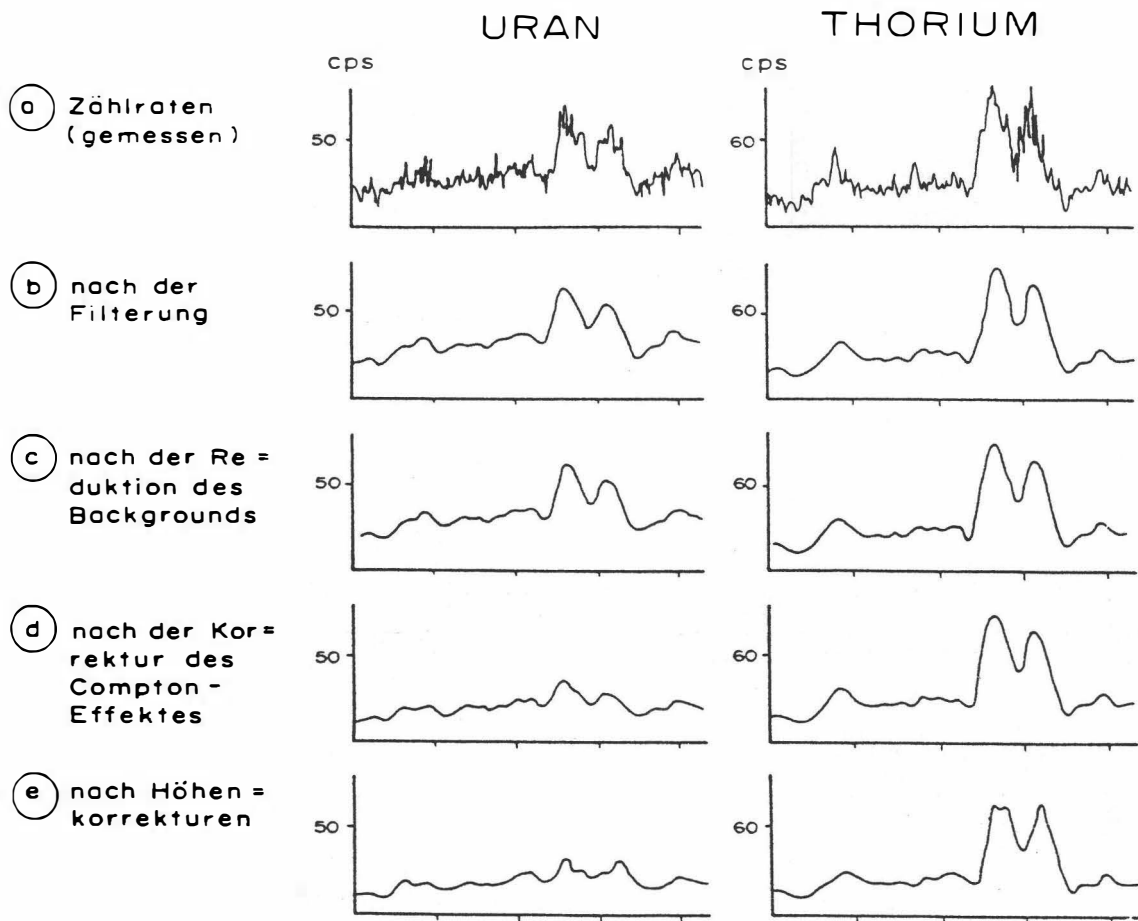


Abb.5a - e: Darstellung der Korrekturschritte in der Gammastrahlenspektrometrie.

Das Ergebnis dieser Filterung zeigt Abb. 5b. Das Ziel der nun folgenden Korrekturschritte, die in Abb. 5c - Abb. 5e dargestellt sind, ist, die geglätteten Meßdaten noch von unerwünschten Anteilen zu befreien:

- Reduktion der kosmischen Strahlung: Die durch die kosmische Strahlung in den niederenergetischen Energiebereichen eingestreuten Anteile werden mit Hilfe der im Kanal 256 aufgezeichneten Zählraten korrigiert.
- Reduktion des "Backgrounds": Die von nicht-geologischen Quellen stammenden Strahlungsanteile, nämlich die Strahlung der die Detektor-Kristalle umgebenden Materie wird abgezogen (Abb. 5c). Der Background in den einzelnen Kanälen wird durch entsprechende Steigflüge in großen Höhen bestimmt.
- Reduktion des Comptoneffektes: Beim Durchgang durch Materie wird die Gammastrahlung unter Energieverlust gestreut (Comptoneffekt). Dies hat zur Folge, daß z.B. ein bestimmter Anteil der Strahlung von Th-Quellen in den Uran- und Kaliumkanal sowie von U-Quellen in den K-Kanal eingestreut wird. Die Korrektur der Comptonstreuung erfolgt über die sogenannten "stripping ratios" (IAEA, 1979). Für die österreichische Meßkonfiguration haben sie für die vome angegebenen Fensterbereiche (siehe Punkt 3.6.1) folgende Werte:

Compton-Streukoeffizienten:

S_{UTh} (Th in den U-Kanal): 0,27

S_{ThU} (U in den Th-Kanal): 0,06

S_{KTh} (Th in den K-Kanal): 0,18

S_{KU} (U in den K-Kanal): 0,82

Diese Werte gelten für den Abstand 0 zwischen Detektor und einer unendlich ausgedehnten Strahlungsquelle. Zu ihnen ist noch der Beitrag des Comptoneffekts in der Luft, d.h. ein höhenabhängiger Term, zu addieren, was aber nur für den Streukoeffizienten S_{UTh} in der Form

$$S_{UTh} = (S_{UTh})_0 + 0.0076 h, \quad h \text{ in Fuß}$$

geschieht.

Wie Abb. 5d zeigt, bleibt nach der Compton-Reduktion von einer großen Anomalie im U-Kanal unter Umständen kaum noch etwas übrig. Für Meßwerte im Total-Kanal entfällt die Compton-Reduktion.

- Radonkorrektur: Mit dem sogenannten "upward looking" Kristall - er wird durch den darunterliegenden "downward looking" Kristall weitgehend von der Strahlung des Untergrundes abgeschirmt - können die vom atmosphärischen Radon herrührenden Strahlungsanteile erfaßt werden. Eine entsprechende Radonkorrektur entfällt meist, weil i.a. die Zählraten im "upward looking" Kristall nicht signifikant sind.
- Höhenkorrektur: Die Intensität der vom Boden kommenden Gammastrahlung nimmt mit der Höhe über Grund ab. Die Höhenabhängigkeit läßt sich grundsätzlich berechnen. In den theoretischen Wert gehen u.a. die Dichte und Feuchtigkeit der Luft ein. Außerdem wird die Zählrate für Uran und Kalium durch den unbekanntem Gehalt der Luft an $^{222}\text{Radon}$ verfälscht. Es werden daher standardmäßig Steigflüge im Meßgebiet durchgeführt, um die charakteristische Höhenänderung der Gammastrahlung in diesem Gebiet zu ermitteln.

Die gemessene Höhenabhängigkeit der Strahlungsintensität I läßt sich in begrenzten Höhenintervallen in guter Näherung durch die Formel

$$I(h) = I_0 e^{-\mu h}$$

beschreiben. Für die Absorptionskonstante μ ergaben sich im Meßgebiet im Höhenbereich von 30 m bis 300 m über Grund folgende Mittelwerte:

$$\begin{aligned}\mu(\text{Total}) &= 0,002179 \\ \mu(\text{Kalium}) &= 0,002814 \\ \mu(\text{Uran}) &= 0,002426 \\ \mu(\text{Thorium}) &= 0,002271 \\ \mu(\text{Cs-137}) &= 0,002907\end{aligned}$$

Mit den angegebenen Werten für μ und den mit dem Radarhöhenmesser gemessenen Werten für die Flughöhe h werden die Strahlungsintensitäten nach der Formel

$$I(240 \text{ ft}) = I(h)e^{+\mu(h-80\text{m})}$$

auf die Normalhöhe $h = 80 \text{ m}$ umgerechnet. Abb. 5e zeigt die Wirkung dieser Höhenkorrektur.

– Übergang zu Radioelementkonzentrationen: Die "International Atomic Energy Agency" (IAEA, 1979) empfiehlt die Umrechnung der Zählraten in Äquivalent - Konzentrationen der drei strahlenden Elemente. Dies hat u.a. den Vorteil, daß die Ergebnisse von Messungen mit verschiedenen Instrumenten, insbesondere mit verschiedenem Kristallvolumen, untereinander vergleichbar werden. Für die Umrechnung in Äquivalent-Konzentrationen der drei radioaktiven Elemente wurden folgende Faktoren benutzt (reduziert auf die Sollflughöhe von 80 m):

Kalium ...	47 cps	= 1 %
Uran ...	6,4 cps	= 1 ppm eU
Thorium ...	3,7 cps	= 1 ppm eTh

Sämtliche bei der Verarbeitung der radiometrischen Daten verwendeten Kalibrier- und Korrekturfaktoren sind im Anhang zusammengefaßt.

Durch den Reaktorunfall in der UdSSR wurden mehrere Gebiete in Österreich erheblich mit radioaktiven Spaltprodukten belastet (z.B.: BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT UND UMWELTSCHUTZ, 1986). Wie man der Abbildung 6 entnehmen kann, wurden dabei hauptsächlich Isotope mit größeren Halbwertszeiten abgelagert, die Gammastrahlenquanten mit Energien bis maximal 1,0 MeV emittieren (^{103}Ru 0,49 MeV; ^{137}Cs 0,66 MeV; ^{134}Cs 0,61 MeV; ^{134}Cs 0,80 MeV). Aus diesem Grund werden bei den aeroradiometrischen Messungen nur die Zählraten in den Kanälen bis ca. 1,0 MeV durch die Folgen des Reaktorunfalls von Tschernobyl beeinträchtigt.

Da das an der GBA in Verwendung stehende Aeroradiometer die Energie der Gammastrahlung im Bereich zwischen 0,2 und 3,0 MeV in 255 Kanälen aufzeichnet, ist dieses Gerät auch zum Einsatz im Rahmen des Strahlenschutzes hervorragend geeignet. Einerseits können mit dieser Apparatur die Belastungen durch

- natürliche radioaktive Quellen (Gehalt der Gesteine an radioaktiven Mineralien)

und andererseits

- künstliche radioaktive Kontaminationen (z.B. Reaktorunfall von Tschernobyl)

festgestellt werden.

Die Dosisleistung (DL) ergibt sich aus den geochemischen Äquivalentwerten (s.o.), wie folgt (GRASTY et al; 1984):

$$DL [nSv/h] = 10 \cdot (1,52 \cdot K[\%] + 0,63 \cdot U[ppm] + 0,21 \cdot Th[ppm]),$$

wobei diese von der momentanen Bodenfeuchte abhängig ist. Es stellt somit die aus der obigen Gleichung berechnete Dosisleistung eine Größe dar, die für durchschnittlichen Meßbedingungen gültig ist. GRASTY et al. (1984) haben aber gezeigt, daß eine relativ gute Übereinstimmung zwischen berechneten (s.o.) und im Gelände direkt experimentell bestimmten Dosisleistungen besteht.

Von den, bei Kernspaltungsprozessen entstehenden radioaktiven Isotopen ist das Cäsium-137, wegen seiner, im Vergleich zu anderen Spaltprodukten relativ großen Halbwertszeit, auch nach mehreren Jahren bei Geländemessungen feststellbar. Waren früher hauptsächlich die atmosphärischen Kernwaffenversuche die Ursache für erhöhte ^{137}Cs -Kontaminationen, so sind es derzeit nur noch die Folgen des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

Das Energiemaximum des Cs-137 liegt bei 0,66 MeV. Um nun die Statistik der Cs-Zählraten zu verbessern, werden die Zählraten der Kanäle 53 bis 60 (0,63 bis 0,71 MeV) aufsummiert. An diesen werden entsprechend der weiter oben beschriebenen Prozedur verschiedene Korrekturen (Background-, Compton-, Höhenkorrektur) vorgenommen. Diese vom Cs-137 herührenden Nettozählraten werden in der Folge zur Herstellung eines Isolinienplanes (Anlage 6) verwendet. Bei geeigneter Kalibrierung könnten die Zählraten in entsprechende physikalische Einheiten (z.B. Bq/m²) umgerechnet werden. Eine für das Cäsium-137 gültige Kalibrierung des Aeroradiometers soll im Laufe des Jahres 1994 vorgenommen werden.

AIRBORNE GAMMA-RAY SPECTRUM / 256 CHANNELS

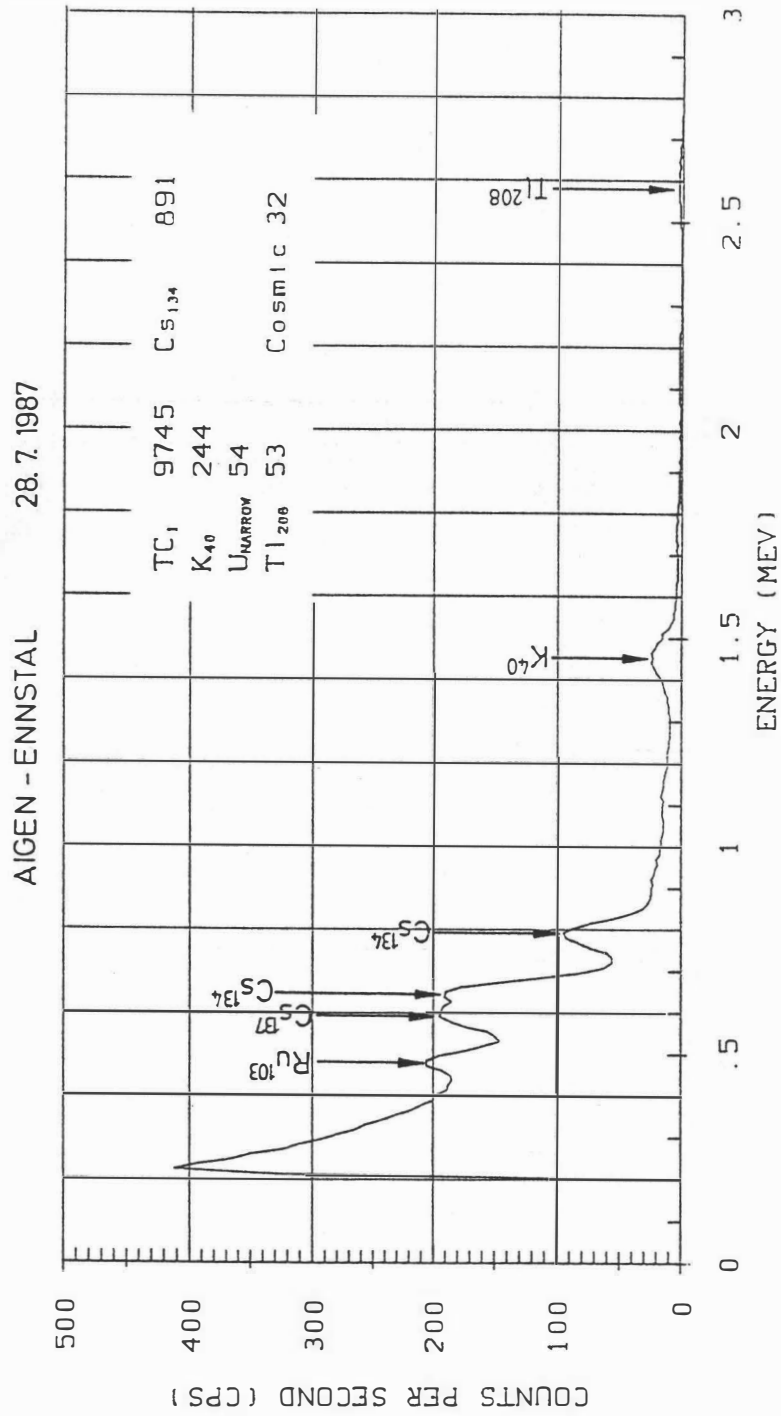


Abb.6: Beispiel eines Gammastrahlenspektrums (MeV) im Bereich des Flugfeldes Aigen im Ennstal.

4.6.3. Herstellung der Isolinienkarten

Es ist bekannt, daß die Strahlungsintensitäten zeitlichen Schwankungen unterliegen. Sie stehen meist im Zusammenhang mit dem Wettergeschehen (z.B. Erhöhung der Absorption im Boden durch Regenwasser, Zufuhr von Radon aus der Bodenluft). Die an verschiedenen Tagen gemessenen Zählraten können also etwas unterschiedliche Mittelwerte ergeben, was eine Isoliniendarstellung beeinträchtigen würde. Um dies zu vermeiden, wurden teilweise entsprechende Korrekturen vorgenommen.

Ähnlich wie bei der Darstellung der elektromagnetischen Daten (s. Abschnitt 3.4.1.) wurden in der Folge die korrigierten Energiewerte der Gammastrahlung in Form von Isolinienplänen flächenhaft zur Darstellung gebracht (Anlagen 7, 8, 9).

Eine zusätzliche Problematik von Gammastrahlenmessungen in topographisch schwierigem Gelände stellt die Abweichung von einer horizontalen Meßebene (2π -Geometrie) dar, weil bei den Meßflügen mit möglichst konstanter Höhe über dem Gelände geflogen werden soll. So z.B. tragen vor allem Hangflächen zur Verstärkung der Gammastrahlung bei. Bei homogener Strahlungsdichte an der Erdoberfläche und gleicher Meßhöhe über Grund resultiert in Tälern eine höhere Zählrate als in der Ebene, umgekehrt über Bergkämmen (geometrische Konstellation kleiner 2π) eine niedrigere Zählrate (KILLEEN, 1979).

Weiters wurden aus den vorliegenden Äquivalentwerten drei Verhältnisse ($\frac{U}{Th}$, $\frac{U}{K}$, $\frac{Th}{K}$; Anlagen 10, 11, 12) berechnet und ebenso in Form von Isolinienplänen zur Darstellung gebracht.

5. Geologischer Rahmen

(J. Pistotnik)

Das Projektgebiet liegt im Zentrum des als Grazer Paläozoikum bezeichneten Deckenstapels paläozoischer Gesteine, die dem zentralalpinen kristallinen Grundgebirge tektonisch auflagern und dem oberostalpinen Stockwerk der Ostalpen zugezählt werden.

Relativ kleinflächig tritt im W (bei Laufnitzdorf, Gleinalm-Rennfeld-Kristallin) und im SE (bei Plenzengreith, Radegunder Kristallin) die kristalline Unterlage im Vermessungsbereich auf. In beiden Fällen handelt es sich um eher eintönige, vielfach stärker quarzitisches Glimmerschiefer mit Hellglimmerdominanz, meist Granat-, selten Staurolith- und Disthenführung, die eine mehr oder minder starke diaphthoritische Überprägung aufweisen. Im Westen sind darin vereinzelt Marmorlagen sowie teilweise mächtigere Amphibolitlagen und -züge (z.B. Lerchkogel) eingeschaltet.

Das Grazer Paläozoikum hat einen (fossilbelegten) stratigraphischen Umfang, der vom Silur mit überwiegend klastischen, durchwegs schwach metamorphen Gesteinsfolgen beginnend, in denen häufig vulkanische Einschaltungen auftreten, mit einem allmählichen Übergang in eine, ab dem unteren Devon fast rein karbonatische Sedimentfolge bis in das Oberkarbon reicht. Die intensive interne tektonische Durcharbeitung mit Falten-, Schuppen- und Deckenbau und die bis epizonale metamorphe Überprägung erschwert in weiten Bereichen allerdings die stratigraphische, fazielle und damit auch paläogeographische Interpretation. Im wesentlichen ausgehend von den stratigraphisch höheren, besser deutbaren Anteilen wird das Grazer Paläozoikum in verschiedene Faziesbereiche gegliedert (die grob den internen tektonischen Großeinheiten entsprechen), deren ursprüngliche gegenseitige Anordnung und Beziehung allerdings noch weitgehend ungeklärt ist:

1. Hochschlag-Fazies: Diese vermutlich tektonisch tiefste Einheit im Norden und Nordosten des Grazer Paläozoikums umfaßt, in stark gestörtem, tektonischem Verband, Metapelite und -psammite mit Kalk- und Dolomiteinschaltungen sowie Metatuffite, eine Folge von Kalkschiefern bis Plattenkalken, Biogenschuttkalken, Dolomiten und lokalen Metavulkaniten (Grünschiefer, Spilite) und eine Abfolge von sericitischen Kalkschiefern, (meist dunklen) Phylliten, Lyditen, Siltschiefern und Metabasiten mit tholeiitischem Chemismus. Stratigraphische Anhaltspunkte lieferten ein obersilurischer Orthocerenkalk in der metaklastischen Serie sowie mitteldevonische Fossilfunde in Karbonaten der beiden anderen Folgen.

2. Pelagische Fazies: Am nord- und nordwestlichen Rand des Grazer Paläozoikums tritt mit mehreren hundert Metern Gesamtmächtigkeit eine wechselnde Abfolge von basischen Vulkaniten, Tonschiefern, Sandsteinen und verschiedenen Karbonatgesteinen auf, deren biostratigraphisch belegter Umfang vom tiefen Silur bis in das tiefste Oberdevon reicht. Ihr gehört auch, im tieferen Abschnitt, der Magnesit der Breitenau an.

3. Rannach-Fazies: Dieser, den Süd- und Westteil des Grazer Paläozoikums bildende Bereich umfaßt über der basalen vulkanoklastischen Abfolge, die in den höheren Anteilen zunehmend (in das Obersilur eingestufte) karbonatische Einschaltungen führt (Schichten von Kher), eine im tiefen Devon mit peritidalen Dolomiten (Dolomit-Sandstein-Folge) beginnende, fast durchgehend karbonatische, küstennahe Seichtwasserentwicklung bis in das tiefere Oberkarbon und wird mit den dunklen, dem Westfal zugezählten, Schiefen der Dult abgeschlossen. Der Ablagerungsraum der Rannach-Fazies wird als der südlichste des Grazer Paläozoikums angesehen und war ursprünglich nördlich gefolgt vom Bereich der

4. Hochlantsch-Fazies: Sie ist ab dem Mitteldevon als Schelfentwicklung differenzierbar und nimmt heute den tektonisch höheren Bereich des Grazer Paläozoikums im Norden und Nordwesten ein. Ihre Schichtenfolge umfaßt über der Dolomit-Sandstein-Folge des Unterdevons eine insgesamt fast zweitausend Meter mächtige Folge von Dolomiten, Sandsteinen, Kalken und Vulkaniten (Tuffe, Diabase), darüber z.T. fossilreiche Flachwasserkalke mit örtlich Riffknochen (Hochlantschkalk) und wird mit Flaserkalken des tieferen Oberkarbons abgeschlossen.

5. Tonschiefer-Fazies: Im zentralen und östlichen Raum des Grazer Paläozoikums werden dieser Einheit als tieferer Anteil die Gesteine der Passailer Gruppe, ferner stellenweise an der Basis des Schöckelkalkes auftretende stark tektonisierte Gesteine der "Grenzzone" zum unterlagernden Radegunder Kristallin sowie Striatoporenkalke und der gebänderte, metamorphe und tektonisierte Schöckelkalk selbst zugezählt. Geochemische Analysen in jüngster Zeit (L. WEBER 1990) machen wahrscheinlich, daß etwa ab dem Obersilur beginnendes Rifting zwischen Rannach- und Hochlantsch-Faziesbereich zur Bildung eines Beckens mit akzentuiertem Relief mit intensivem basischem Vulkanismus führte. Dieses Becken erfuhr eine Füllung mit klastischen Sedimenten, die nun als Passailer Phyllite mit Metavulkaniten und karbonatischen Einschaltungen wechsellagern und eine mehrere hundert Meter mächtige Abfolge bilden. Darüber folgt ein mehrere Zehnermeter mächtiges Quarzitniveau (Hundsbergquarzit), das wiederum von einer Folge von Metaklastika in Wechsellagerung mit (gegenüber dem liegenden Paket reichlicherer) vulkanischer Zwischenschaltung (Grünschiefer, Metabasalte) und Karbonatführung gekennzeichnet ist. Diese, als Arzberge-Schichten bezeichnete Sequenz, zeugt von einer reichen internen Gliederung in Teilbecken, die (zumindest teilweise bedingt durch Bruchstörungen) durch mangelnden Wasseraustausch zur Ausbildung euxinischer Verhältnisse und der reichen Erzführung in diesen Schichten Anlaß gaben (L. WEBER 1990). Die allmähliche Eintiefung des Gesamtbeckens zeigt sich im allmählichen Ausgreifen gegen Westen, wo (westlich des Rechberges) nur die hangenden Arzberg-Schichten auftreten.

Das die Bildung des Beckens verursachende Rifting scheint im Unterdevon ausgelaufen zu sein. Über den Beckensedimenten folgt ein Komplex von Karbonatgesteinen, der allerdings einen hohen Tektonisierungsgrad und eine metamorphe Überprägung erfahren hat. Für diese bändrigen Kalkmarmore, die Schöckelkalke, wird im Zuge einer Faziesangleichung an die

benachbarten Räume (der Rannach- und Hochlantsch-Fazies) mitteldevonisches Alter vermutet. Die Schwierigkeit liegt darin, daß die tektonische Situation keine eindeutige Zuordnung der Schöckelkalke zu den angrenzenden Gesteinen erlaubt und die Zusammenfassung der Schöckel-Gruppe mit der Passailer Gruppe in der Tonschiefer-Fazies zwar durch die geographischen Gegebenheiten naheliegend, aber keineswegs gesichert und unumstritten ist. Der von H.W. FLÜGEL (zuletzt in FLÜGEL & NEUBAUER 1984) lokal angenommenen sedimentären Verknüpfung von Arzberg-Schichten mit den Schöckelkalken wird von L. WEBER 1990 widersprochen, der an diesen Stellen tektonische Kontakte festgestellt hat und wegen der gleichen lithologischen Entwicklung der Passailer und Arzberg-Schichten einen primären Konnex dieser Folgen annimmt.

Entsprechend den oben angedeuteten Schwierigkeiten ist der Internbau des Grazer Paläozoikums noch nicht befriedigend geklärt, während die Natur als Gesamtschubmasse allgemein anerkannt ist. Das mit Modifikationen aus jüngerer Zeit auf E. CLAR 1935 zurückgehende Modell eines (alt)alpidischen Überfaltungsdeckenbaues wird den beobachteten Verhältnissen einigermaßen gerecht. Danach bildet die flach lagernde, gegen Norden überschlagene Schöckelkalk(groß)falte den Kern, der liegend und hangend von den phyllitischen Komplexen der Tonschiefer-Fazies umhüllt wird. Aus deren liegendem Anteil entwickelt sich gegen Norden die Hochlantsch-Fazies, die im Stimbereich die Pelagische und Hochschlag-Fazies anschopt. Als höchstes tektonisches Element überschiebt die Rannach-Fazies(decke) die überfalteten Einheiten.

6. Ergebnisse

Vorbehaltlich einer folgenden detaillierten Bewertung der aerogeophysikalischen Ergebnisse im Raum Semriach durch Geländebegehungen, bodengeophysikalische Messungen etc., werden im Folgenden die Ergebnisse diskutiert.

6.1. Widerstandskartierung (Anlagen 2, 3)

In den Anlagen 2 bzw. 3 ist die Verteilung des scheinbaren spezifischen Widerstandes bzw. der scheinbaren Tiefe - beruhend auf dem homogenen Halbraummodell - wiedergegeben. Dabei wurden über ein neurales Netz die 900 Hz- und 3600 Hz-Ergebnisse einem parallelen Auswerteverfahren unterzogen.

Im Zentrum des Meßgebietes treten Bereiche mit elektrischen Widerständen unter 100 Ω m auf. Diese sind im Zusammenhang mit jungtertiären Gesteinsserien - inklusive Toneinschaltungen - zu sehen. Hier sind vor allem die Bereiche 2,5 km WSW, 1 km SW und 4 km SSW von Fladnitz (a.d.Teichalm) sowie jene 2 km WSW und 0,8 km S von Passail zu erwähnen.

Die Kalkschiefer und die meisten anderen Gesteinsfolgen der Passailer Gruppe weisen erwartungsgemäß höhere elektrische Widerstände auf. Der Sporn des kristallinen Untergrundes nördlich des Schöckls ist durch niedrige elektrische Widerstände gekennzeichnet.

Betrachtet man nun die Ergebnisse im Detail, so erkennt man, daß sich die bekannten Vererzungen teilweise im Anomalienmuster durch geringere Widerstandswerte widerspiegeln. Dies gilt insbesondere für die Bereiche Schönberg-Haufenreith (< 750 Ω m), Arzberg-Wiedenbergl (westlich der Raab, < 500 Ω m), Burgstall-Kaltenberg (< 1000 Ω m) und Peggau-Taschen (< 500 Ω m).

Der nördliche Vererzungszug Schrems-Thalgraben-Rechberg ist im Widerstandsanomalienmuster nicht indiziert.

Aus den Ergebnissen der Aeroelektromagnetik können zwei weitere Zielgebiete ausgeschieden werden:

- Gaasberg, östlich der Ortschaft Passail. Diese Zone geringen elektrischen Widerstandes korreliert mit einer magnetischen Anomalie.
- Bereich Breitenau-Wallhütten (< 750 Ω m).

6.2. Isanomalien der Totalintensität ΔT ; Anlage 4

Die geomagnetischen Ergebnisse spiegeln die geologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet teilweise gut wieder.

Im S des Meßgebietes sind mehrere Züge magnetischer Anomalien zu erkennen. Möglicherweise stehen sie in Zusammenhang mit den Grünschieferkomplexen der Passailer Gruppe. Dem Anomalienmuster entsprechend dürften diese in der Tiefe eine erheblich größere Ausdehnung aufweisen als es der Oberflächenkartierung entsprechen würde. Bemerkenswert ist, daß diese Grünschieferkomplexe anscheinend nur in den südlichen Teilen der Passailer Gruppe vermehrt auftreten, da z.B. der nördliche Vererzungszug (Schrems-Thalgraben-Rechberg) nur durch sehr kleine magnetische Anomalien indiziert ist.

Erwartungsgemäß zeigen die kalkigen Gesteinsserien im Meßgebiet ein relativ ruhiges Anomalienmuster. Der Sporn des kristallinen Untergrundes, nördlich des Schöckls, dürfte sich dem Anomalienmuster entsprechend im Vergleich zur geologischen Kartierung wesentlich weiter nach N strecken.

Bei einem Vergleich der geomagnetischen Anomalien mit den im Meßgebiet bekannten Vererzungen zeigt sich, daß diese teilweise miteinander korreliert werden können. So z.B. sind in den Bereichen folgender Bergreviere magnetische Anomalien zu beobachten: Schönberg, Arzberg, Burgstall-Kaltenberg, Schrems-Thalgraben-Rechberg (teilweise). Die Vererzungen bei Peggau-Taschen liegen am Rande eines magnetischen Minimums.

Sollten weitere detaillierte Untersuchungen geplant sein, so bieten sich neben den bekannten Vererzungszonen folgende Gebiete an:

- Gaasberg, östlich der Ortschaft Passail. Dieser Bereich weist auch geringe elektrische Widerstände auf (s.o.)
- Bereich ca. 1 km S der Ortschaft Passail
- Bereich Breitenau-Wallhütten
- Bereich S der Ortschaft Semriach
- Bereich Pfannberg-Rinnwegkogel

6.3. Gammastrahlenspektrometrie

6.3.1. Strahlenschutz

Dosisleistung (Anlage 5)

Wie im Punkt 3.6.2 dieses Berichtes ausgeführt worden ist, ist es von Vorteil, aus den aeroradiometrischen Messungen die von natürlichen radioaktiven Quellen herrührende Dosisleistung (nSv/h) abzuschätzen.

In Europa wurde die durchschnittliche Strahlenbelastung - ausgedrückt in der Einheit Dosisleistung -, deren Ursachen auf natürliche Quellen zurückgeführt werden können, mit 40 - 80 nSv/h festgelegt. Betrachtet man die Anlage 5, so erkennt man, daß im gesamten Meßgebiet

die eben genannte mittlere Strahlenbelastung praktisch nicht überschritten wird (Maximum: 90 nSv/h).

Verteilung des Cäsium-137 (Anlage 6)

Da das österreichische Aeroradiometer noch nicht in geeigneter Weise kalibriert werden konnte, kann nur eine relative Aktivitätsverteilung des Cäsium-137 in Form von Zählraten/Zeiteinheit (cps) zur Darstellung gebracht werden.

Wie die Anlage 6 zeigt, weist das gesamte Meßgebiet nur ganz geringe Zählraten im Cäsiumkanal auf (Durchschnitt ~ 40 cps). Nur im Süden, zum Schöckl hin, treten etwas höhere Zählraten (bis 100 cps) auf.

6.3.2. Die Verteilung des Kaliums (^{40}K); Anlage 7

Wie zu erwarten, weisen die kalkigen und dolomitischen Gesteinsfolgen im Meßgebiet den geringsten Kaliumgehalt auf (< 1 %). Die Kalkschiefer im N zeigen einen durchschnittlichen Kaliumgehalt von etwa 2 %.

Bei einer detaillierten Betrachtung der Meßergebnisse ist zu beobachten, daß sich die südliche mineralisierte Zone Schönberg bis Arzberg (> 2,4 %), Taschen (> 2,4 %) durch höhere Kalium-Werte auszeichnen. Interessanterweise konnten im nördlichen vererzten Bereich Schrems-Thalbach-Rechberg die höchsten Kaliumgehalte (>3,2 %) im Meßgebiet beobachtet werden.

Auch das Fahlerzvorkommen beim Wetterbauersattel ist durch höhere Kaliumgehalte (> 2,7 %) indiziert.

Zusätzlich zu den eben erwähnten Zonen treten erhöhte Gehalte an Kalium im Bereich Breitenau-Wallhütten (2,4 - 2,6 %) und in einer ca. 2 km langen Zone (> 3 %) südlich Pfannberg auf.

6.3.3. Die Verteilung des Urans (^{214}Bi); Anlage 8

Die Uranverteilung ist im Meßgebiet nicht sehr signifikant. Nur in wenigen Bereichen treten Werte größer als 1 ppm eUran auf. Diese konzentrieren sich im wesentlichen auf die bekannten Mineralisierungszonen: Schönberg-Arzberg-Kaltenberg-Burgstall; Schrems-Thalgraben-Rechberg. Auch der Bereich Breitenau-Wallhütten ist indiziert.

6.3.4. Die Verteilung des Thoriums (^{208}Tl); Anlage 9

Auch die Thoriumverteilung ist in vielen Teilen des Meßgebietes wenig signifikant. Die Durchschnittswerte liegen zwischen 6 ppm und 8 ppm eThorium. Geringfügig erhöhte Thori-

umgehalte treten zwischen Schönberg und Arzberg, bei Wallhütten, Taschen sowie im nördlichen Mineralisierungszug Schrems-Thalgraben-Rechberg auf. Im letztgenannten Bereich treten die höchsten Thoriumwerte ($> 14 \text{ ppm eTh}$) im Meßgebiet auf.

6.3.5. Verhältnisse U/Th, U/K, Th/K; Anlagen 10, 11, 12

Der durchschnittliche Wert des U/Th-Verhältnisses im Meßgebiet liegt bei etwa $0,1 \cdot 10^{-3}$. Der Mineralisierungszug Arzberg-Kaltenberg-Burgstall ist durch etwas höhere U/Th-Verhältnisse ($> 0,3 \cdot 10^{-3}$) gekennzeichnet. Weiters zeigen sich auch ca. 1 km SE der Ortschaft Passail im Raabtal ("Pammerhof") erhöhte U/Th-Werte.

Beim U/K-Verhältnis kann eine ähnliche Verteilung im Meßgebiet beobachtet werden. Bei einem durchschnittlichen U/K-Verhältnis von $0,4 \cdot 10^{-3}$ ist die Mineralisierungszone Arzberg-Kaltenberg-Burgstall durch höhere Werte indiziert ($> 2 \cdot 10^{-3}$).

Der oben erwähnte anomale Bereich "Gaasberg" östlich der Ortschaft Passail weist auch erhöhte U/K-Werte auf ($> 1,6 \cdot 10^{-3}$).

Die Werte der Th/K-Verhältnisse sind im Meßgebiet wenig signifikant.

7. Diskussion der Ergebnisse

Betrachtet man nun die Ergebnisse im Hinblick auf die im Punkt 1 aufgezählten Zielsetzungen, so kann Folgendes festgestellt werden:

- Die bekannten Vererzungszonen bzw. Bergbaureviere (Schönberg-Arzberg-Kaltenberg-Burgstall; Peggau-Taschen; Schrems-Thalgraben-Rechberg) spiegeln sich teilweise gut in den aerogeophysikalischen Meßergebnissen wider. Die Bereiche
 - "Gaasberg" östlich der Ortschaft Passail
 - Bereich ca. 1 km S der Ortschaft Passail
 - Bereich "Breitenau-Wallhütten"
 - Bereich S der Ortschaft Semriach
 - Bereich Pfannberg-Rinnwegkogel

zeichnen sich als zusätzliche eventuelle Höffigkeitsgebiete ab.

Grundsätzlich könnten die Bereiche mit niedrigen elektrischen Widerständen (2,5 km WSW, 1 km SW und 4 km SSW von Fladnitz a.d. Teichalm; 2 km WSW und 0,8 km S von Passail) für Massenrohstoffvorkommen - insbesondere Tone - von Interesse sein. Ehe aber weitere detaillierte Untersuchungen durchgeführt werden, müssen unbedingt bodengeophysikalische Messungen vorgenommen werden.

- Aus den aerogeophysikalischen Meßergebnissen konnten einige Hinweise zur Unterstützung der geologischen Kartierung ermittelt werden (z.B.: Ausdehnung des Grünschieferkomplexes).
- Größere Massenbewegungsareale konnten im Untersuchungsgebiet nicht festgestellt werden. Die Strahlenbelastung durch natürliche radioaktive Isotope (Kalium, Uran, Thorium) überschreitet im Meßgebiet Semriach den international festgelegten Grenzwert von 80 nSv/h nicht.

8. Literatur

- BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT UND UMWELTSCHUTZ: Tschernobyl und die Folgen für Österreich. - Ber. Umweltbundesamt, Wien, 1986.
- FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F.: Steiermark.- Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark 1:200.000.- Geol. d. österr. Bundesl. in kurzgef. Einzeldarst., 127 S., 1 geol. Karte, 28 Abb., 5 Tab., Wien 1984.
- FRASER, D.C.: Resistivity mapping with an airborne multicoil electromagnetic system. - Geoph.,**43**, Tulsa, 1978.
- GRASTY, R.L., CARSON, J.M., CHARBONNEAU, B.W., HOLMAN, P.B.: Natural background radiation in Canada. - Bulletin 360, Geol.Surv.Can., Ottawa, 1984.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA): Gamma Ray Surveys in Uranium Exploration. - Techn. Rep. Series No. **186**, Vienna, 1979.
- KILLEEN, P.G.: Gamma ray spectrometric methods in Uranium exploration - application and interpretation. - Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores. Geol. Surv. Can., Econ. Geol. Rep., **31**, Ottawa, 1979.
- MUNDRY, E.: On the interpretation of airborne electromagnetic data for the two-layer case. Geophys. Prosp., **32**, Den Haag, 1984.
- SEREN, S.: Geophysikalische Untersuchung des Kraubather Serpentins. - Unveröff. Diss., Phil.Fak., Univ. Wien, Wien, 1980.
- WEBER, L.: Die Blei-Zinkerzlagertstätten des Grazer Paläozoikums und ihr geologischer Rahmen.- Archiv f. Lagerstättenforschg. der Geol.B.A., Bd. 12, 289 S., 192 Abb., 25 Tab., Wien 1990.

9. Verzeichnis der Anlagen

1. Lageplan der Flugprofile
2. Isolinienplan scheinbarer Widerstand ρ_a
3. Isolinienplan scheinbare Tiefe d_a
4. Isolinienplan Totalintensität ΔT
5. Gammastrahlenspektrometrie: Dosisleistung
6. Gammastrahlenspektrometrie: Cäsium (^{137}Cs)
7. Gammastrahlenspektrometrie: Kalium (^{40}K)
8. Gammastrahlenspektrometrie: Uran (^{214}Bi)
9. Gammastrahlenspektrometrie: Thorium (^{208}Tl)
10. Gammastrahlenspektrometrie: Verhältnis U/TH
11. Gammastrahlenspektrometrie: Verhältnis U/K
12. Gammastrahlenspektrometrie: Verhältnis TH/K

Anhang A:

Einsatz Neuraler Netze bei der Interpretation von aeroelektromagnetischen Messungen in der angewandten Geophysik

(Edmund Winkler)

1.) Allgemeines

Ein Hauptproblem der angewandten Geophysik ist die Interpretation von Daten, dh. die Zuordnung zwischen der aus einem Versuch gewonnenen Meßdaten und einem diese Versuchsanordnung beschreibenden mathematischen Modell. Mit diesem kann man bei Eingabe aller notwendigen Modellparameter (vollständiger Parametermenge) die zu erwartenden Meßdaten berechnen, die von einer konkret vorliegenden Versuchsanordnung heraus zu erwarten sind. Diese Art der Datenverarbeitung wird Modellrechnung oder auch Vorwärtsmodellrechnung genannt. Zur Interpretation gemessener Daten ist es aber notwendig den soeben beschriebenen Rechenvorgang Modellparameter \rightarrow Meßdaten in seiner Richtung umkehren zu können (Inversionsverfahren) um von den gewonnenen Daten auf unbekannte Modellparameter schließen zu können (zB. Information über die Struktur des Erduntergrundes). Dies ist in der Praxis jedoch meist mit großen Schwierigkeiten verbunden, vor allem wenn der Vorwärtsmodellrechnung nichtlineare mathematische Methoden zugrunde liegen, die zudem nicht eindeutig umkehrbar sind, und sich für das Inversionsverfahren kein analytischer Formalismus angeben läßt. Solche Situationen sind dann nur mehr mit Hilfe numerischer Optimierungsalgorithmen lösbar, die meist eine Reihe weiterer Probleme nach sich ziehen:

- 1) Sehr großer Bedarf an Rechenzeit.
- 2) Die Konvergenz ist nicht immer garantiert, und wenn, muß es nicht das Modell sein das den eingegebenen Meßdaten am besten entsprechen würde, da die Umkehr der Vorwärtsmodellrechnung nicht eindeutig ist, und eine große Empfindlichkeit gegenüber Fehlern in den Daten besteht.

Bei der hier zu beschreibenden konkreten Problemstellung der Interpretation elektromagnetischer Messungen in der Hubschrauber-geophysik sind zudem noch weitere Anforderungen zu erfüllen:

- 1) aufgrund der Größe der anfallenden Datenmengen von $\sim 10^6$ Messungen /Meßgebiet ist es unbedingt erforderlich die zur Interpretation eines Datensatzes notwendige Rechenzeit gering zu halten, ohne den Einsatz von Großrechner-Rechenleistung erforderlich zu machen.
- 2) das Rechenverfahren sollte eine angemessene Fehlertoleranz zeigen
- 3) auf Grund der für das konkrete Problem zutreffenden Mehrdeutigkeit der Vorwärtsmodellrechnungen, sollte das Inversionsverfahren imstande sein, für die vorliegenden Daten, ein

im jeweiligen (geologischen) Kontext des Meßgebietes von mehreren theoretisch in Frage kommenden Modellen das plausibelste auszuwählen.

Mit den von uns getesteten Optimierungsalgorithmen wie zB. Gauß-Newton und Levenberg-Marquardt konnten diese Anforderungen nicht, oder nur in praxisuntauglichem Ausmaße erfüllt werden.

2.) Neurale Netze

Einen völlig anderen Lösungsansatz zur Bewältigung obgenannter Probleme stellt die in den letzten Jahren einen gewaltigen Aufschwung erlebende Neurale Netze-Forschung dar. Ursprünglich in der Absicht entwickelt, die mit herkömmlicher Computertechnologie nicht bewältigbaren Probleme der optischen Mustererkennung (wovon der häufig vorgebrachte Einwand gegen den Einsatz Neuraler Netze herkommt, sie eigneten sich nur für Mustererkennungsprobleme) in den Griff zu bekommen, werden sie in der Zwischenzeit in vielen anderen Forschungsgebieten bei Problemen angewandt, die zwar hinreichend mit empirisch gewonnenen Daten beschrieben werden können (das sind konkrete Ausprägungen von Modellparameter - Meßdaten Ereignissen), für die sich jedoch keine praktisch einsetzbare algorithmische Formulierung der Problemlösung angeben läßt. Aus der theoretischen Neurale Netze-Forschung wurde nämlich bewiesen, daß für jede beliebige Funktion $f: R^m \rightarrow R^n$ ein Neurales Netz existiert, das diese Funktion beliebig genau approximieren kann. Mit den heute zur Verfügung stehenden Neurale Netze-Technologie kann man auf ein konkretes Problem bezogen ein solches Netz durch Lernen von Trainingsdaten ermitteln. Unter Trainingsdaten versteht man dabei eine Menge von Daten die den Zusammenhang zwischen den bekannten Meß- und unbekanntem Modellparametern an Hand konkreter Beispiele beschreibt. Ein solches Netz ist in weiterer Folge nicht nur imstande die gelernten Trainingsdaten zu reproduzieren sondern auch noch nicht gelernte Fälle erfolgreich zu interpretieren; man sagt dazu daß ein trainiertes Netz generalisieren kann.

In unserer Anwendung ist die Meßanordnung ein elektromagnetisches Mehrfachspulensystem vom Type DIGHEM-II. Das System induziert elektrische Ströme in den Untergrund, deren Magnetfeld (sekundäres Feld) gemessen wird. Das System arbeitet mit zwei unterschiedlichen Frequenzen und Spulenanordnungen (900 Hz koaxial, 3600 Hz koplanar). Das sekundäre Magnetfeld wird mit zwei Empfangsspulen aufgenommen, und in zwei zeitliche Komponenten (inphase und quadrature) relativ zur Phase des Sendesignales aufgespalten. Das ergibt vier Meßwerte zusätzlich der mit einem Radarhöhenmesser ermittelten Meßhöhe über Grund. Die Aufgabe der Dateninterpretation ist es nun, daraus Aussagen über den geologischen Aufbau des Erduntergrundes zu machen. Dies geschieht im Rahmen der Modellvorstellung von einem homogenen, horizontal geschichteten Erduntergrund, wobei von den einzelnen Schichten die Mächtigkeit und der elektrische Widerstand des Substrates ermittelt werden soll. Die Vorwärtsmodellrechnung für dieses Modell ist analytisch gelöst und liegt in Form eines FORTRAN-Programms vor. Zur Berechnung auch großer Mengen von Modelldaten reicht die

Rechenleistung von PC's ≥ 386 . Somit sind Trainingsdaten für das Lernen eines Neuralen Netzes leicht und flexibel auf einem PC herzustellen, während Versuche das Inversionsverfahren numerisch zu implementieren auch auf einem Großrechner nicht zufriedenstellende Resultate lieferten.

Als erstes wurde ein Neutrales Netz für ein Meßgebiet trainiert, bei dem die Geologie die Annahme zuließ, daß man für einen großen Teil des Gebietes mit dem Modell des homogenen Halbraumes das Auslangen finden würde. Bei diesem Modell wird angenommen, daß der Aufbau des Erduntergrundes aus einem homogenen Material mit einem bestimmten elektrischen Widerstand besteht. Mit den erstellten Trainingsdaten wurde ein Netz trainiert, aus den 4 gemessenen Werten den gesuchten Widerstand des homogenen Erdhalbraumes und die bereits bekannte Flughöhe zu berechnen. Daß eine bekannte Meßgröße wie die Flughöhe nicht als Eingabe ins Netz (Inputparameter) sondern als Ergebnis (Outputparameter) betrachtet wird, ist darin begründet, daß wenn die vom Netz gelieferte Flughöhe mit der tatsächlichen übereinstimmt, die Annahme des homogenen Halbraummodells zutrifft. Tritt jedoch eine Differenz auf, dann ist dies ein Anzeiger dafür, daß doch zumindest ein 2-schichtiges Modell anzunehmen ist, und aus dem Vorzeichen der Differenz zwischen berechneter und gemessener Flughöhe kann man für den 2-Schichtfall bereits feststellen ob der Widerstand der ersten Schicht größer oder kleiner als der der ersten Schicht ist. Dadurch ist es möglich zu entscheiden welche Klasse von 2-Schichtmodellen hier zutrifft: ($\rho_1 > \rho_2$ oder $\rho_1 < \rho_2$). Dies erspart es, Netze für den gesamten 2-Schichtfall zu trainieren. Anstatt dessen werden 2 Netze für die 2 Klassen von 2-Schichtfällen trainiert und das jeweils zutreffende in einem zweiten Interpretationsschritt eingesetzt.

Die Trainingsdatenmenge setzte sich aus 107 Modellen zusammen, wobei der Widerstand von 1 Ωm bis 1000 Ωm und die Flughöhe von 30 m bis 140 m variierten. Für Probleme der "function estimation" hat sich in der Neural Netze-Technik der Typ des "feed forward MLP" (Multi Layer Perceptron) am besten bewährt. Als Lernverfahren wurde eine Variante der Backpropagation (BP) Methode verwendet. Gegenüber dem Standard BP Verfahren, wurden bei unserem Lernverfahren auch die Steilheiten der Transferfunktionen in den einzelnen Units des Netzes gelernt und die Lernrate selbstständig dem Lernfortschritt angepaßt. Bei der Netzarchitektur sind Input- und Outputlayer durch die Meßdaten (4) und gesuchten Modellparameter (2) mit ebensovielen Units vorgegeben, mit der Ausnahme daß beim Inputlayer noch eine Bias Unit hinzugefügt wird. Da die Erfahrung zeigte daß mehr als 3 Netzwerkschichten keine Verbesserung des Lernverhaltens und in der Dateninterpretation brachten, besitzen unsere Netze nur einen hidden-layer. Die Anzahl der Units im hidden-layer wurde von 10 bis 20 variiert und führte zu gleichwertigen Ergebnissen. Bei feedforward-Netzen im Problemgebiet der function-estimation werden in der Literatur hauptsächlich sigmoide Units verwendet. Bei unserer Anwendung zeigte sich jedoch daß mit Transferfunktionen vom Typus einer Gaußschen Glockenkurve im hidden layer die Netze eine wesentlich kürzere Lernzeit benötigen wie im Fall der sigmoiden Units. Da die Input- und Outputdaten unserer Netze einen Wertebereich innerhalb von [0.0 - 1.0] erfordern, war es bei

der Trainingsdatenmenge notwendig die Meßdaten und Modellparameter auf diesen Bereich zu transformieren. Da die Meßwerte und der Schichtwiderstand über 3 Dekaden variieren, wurden sie zuerst logarithmiert und dann linear auf [0.1, 0.9] transformiert. Bei der Flughöhe wurde nur eine lineare Transformation angewendet, da die Werte hier nicht über mehrere Größenordnungen schwanken. In der Anwendung werden dann die vom Netz gelieferten Werte für Flughöhe und Widerstand wieder auf den realen Wertebereich rücktransformiert.

Zur Simulation der Netze wurde ein selbstentwickelter Netzwerksimulator für feedforward Netze geschrieben, aufbauend auf public domain software. Zur Auswahl stehen dabei mehrere Lernverfahren (Backpropagation with adaptive slopes, Quickpropagation, SuperSAB und RPROP) und verschiedene Unittypen (standard sigmoid, tanh, und Gaußtyp). Entwickelt in C wird er sowohl unter DOS als auch UNIX eingesetzt.

Anhang B:

Einfluß der Topographie auf die Anomalien der magnetischen Totalintensität (ΔT)

Bis heute beruhen fast alle Auswerteverfahren für geomagnetische Anomalien auf der Annahme, daß die Meßergebnisse auf einer horizontalen Ebene gewonnen wurden (2π -Geometrie). Da aber gerade hubschraubergeophysikalische Messungen häufig in Gebieten mit starkem Relief durchgeführt werden, ist es erforderlich, sich mit dem Einfluß von bestimmten Geländeformen auf die Meßwerte zu beschäftigen. Der Anschaulichkeit wegen ist es günstig, dabei nur einfache topographische Gegebenheiten, wie z.B. Hangneigung, Bergkämme etc., zu betrachten. Dabei kann auf die Ergebnisse einer Dissertation (SEREN, 1980), die am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien vergeben wurde, zurückgegriffen werden.

Langgestreckte Störkörper mit beliebiger Form können auf zweidimensionale Modellkörper zurückgeführt werden, wobei ihre Querschnitte durch Polygonzüge (Abb. B1) angenähert werden.

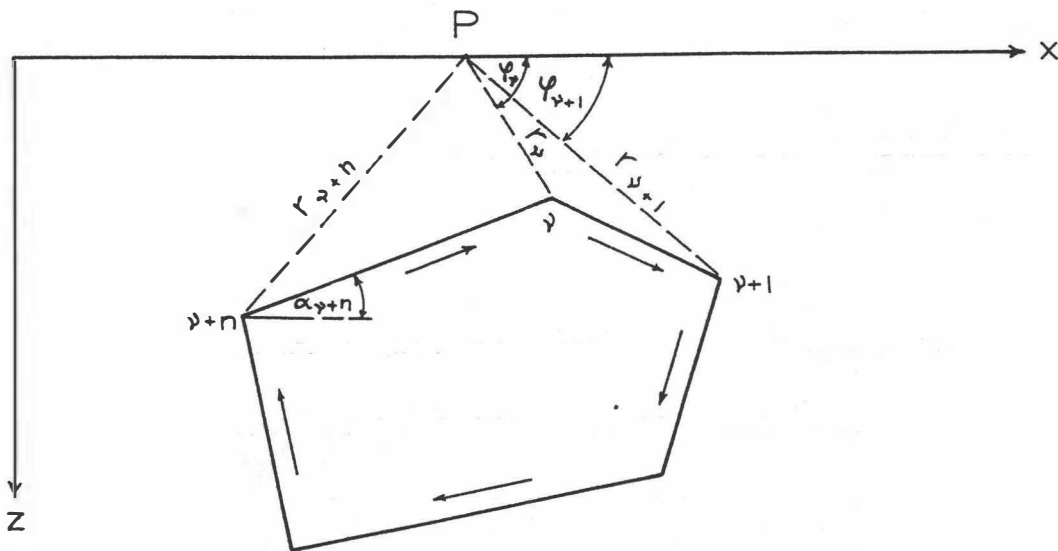


Abb. B1: Die Berechnung von magnetischen Störkörperanomalien mit Hilfe eines Polygonzuges.

Es läßt sich z.B. ein Bergkamm durch eine Kante (Abb. B2) vereinfacht darstellen. Um nun die magnetische Anomalie des in Abb. B2 gezeigten Störkörpers berechnen zu können, werden einige Vereinfachungen durchgeführt: Verlegt man die untere Berggrenzung in sehr große Tiefen, so ist ihr Beitrag zur ΔT -Anomalie zu vernachlässigen. Weiters sollen homogene und isotrope Magnetisierungsverhältnisse vorliegen. Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich die ΔT -Anomalie einer Kante (Bergkamm) mit:

$$\Delta T = 2M \ln(r) \sin 2\delta\alpha (\sin I \sin(\beta + 2\alpha_0) - \cos I \cos(\beta + 2\alpha_0))$$

M	... Magnetisierung
r	... Abstand zwischen Meßpunkt und Kante
$2\delta\alpha$... Öffnungswinkel der Kante
I	... Einfallswinkel des Globalfeldes
β	... Richtung einer eventuellen remanenten Magnetisierung
α_0	... Hangneigung

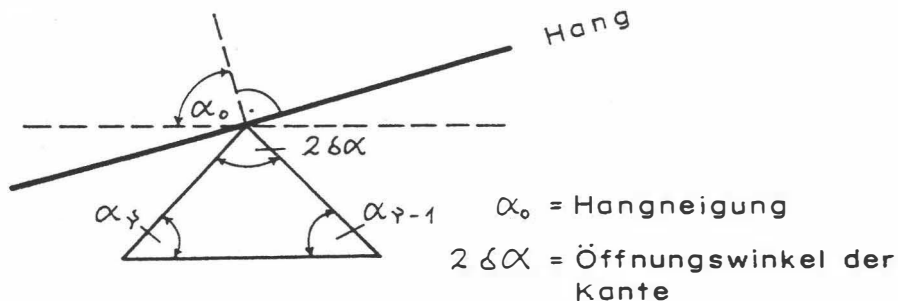


Abb. B2 Modellannahme zur Berechnung von magnetischen Anomalien eines Bergkammes.

Es wurden nun für 3 verschiedene Öffnungswinkel ($2\delta\alpha$) die zugehörigen ΔT -Anomalien berechnet (Abb. B3). Dabei zeigt sich, daß die ΔT -Anomalie beim horizontalen Überfliegen von Bergkämmen ($\alpha_0 = 90^\circ$) mit zunehmendem Öffnungswinkel kleiner wird. Für positive Öffnungswinkel (Bergkämme) ist die Anomalie positiv, für negative (Täler) negativ.

Weiters wurde auch der Einfluß der Hangneigung auf die ΔT -Anomalie einer Kante berechnet (Abb. B4). Die vier Modellkurven für $\alpha_0 = 90^\circ, 75^\circ, 60^\circ$ und 45° zeigen, daß mit zunehmender Steilheit des Hanges der positive Teil der ΔT -Anomalie mehr und mehr unterdrückt wird, während der negative Anteil stärker negativ wird.

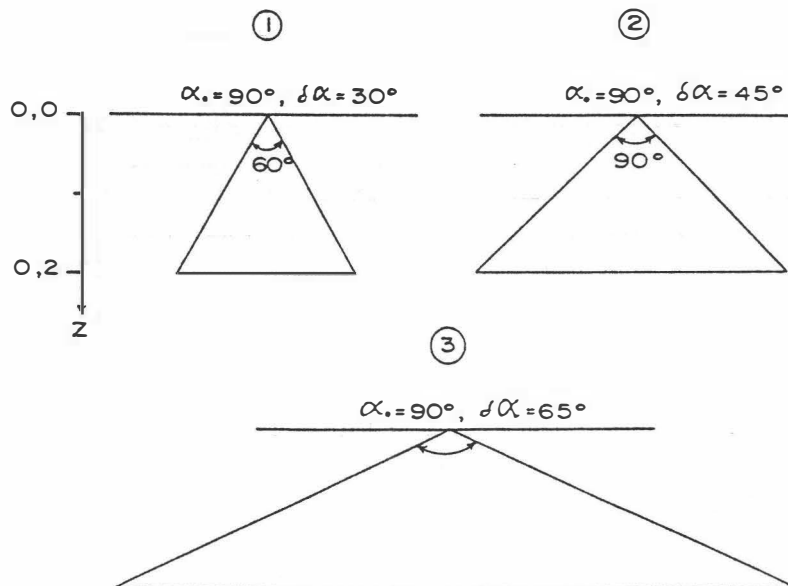
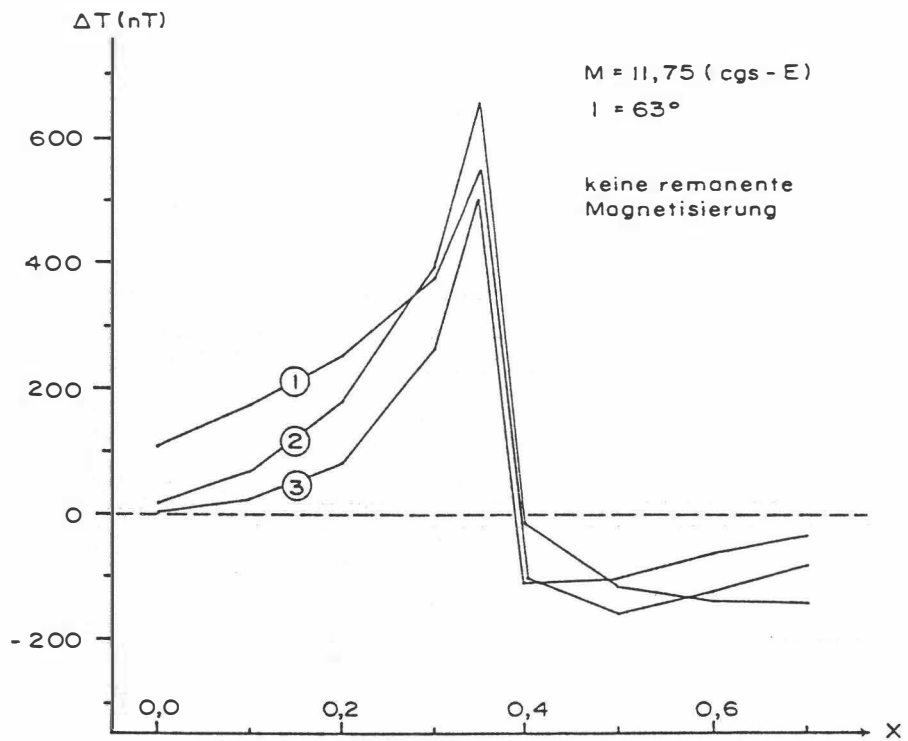


Abb.B3: Der Einfluß des komplementären Öffnungswinkels ($2\delta\alpha$) und einer Kante auf die ΔT -Anomalie, $\alpha_0 = 90^\circ$.

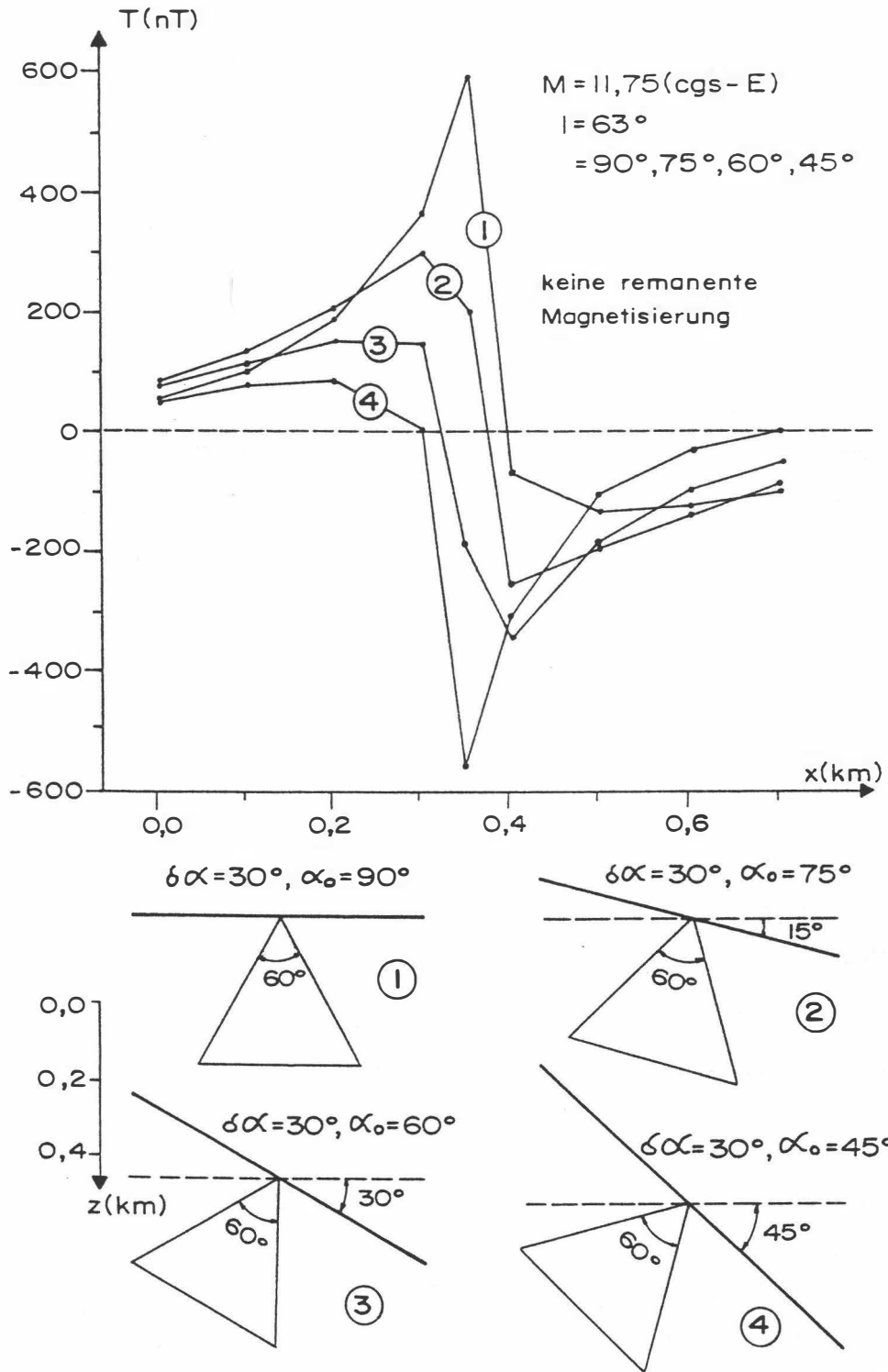
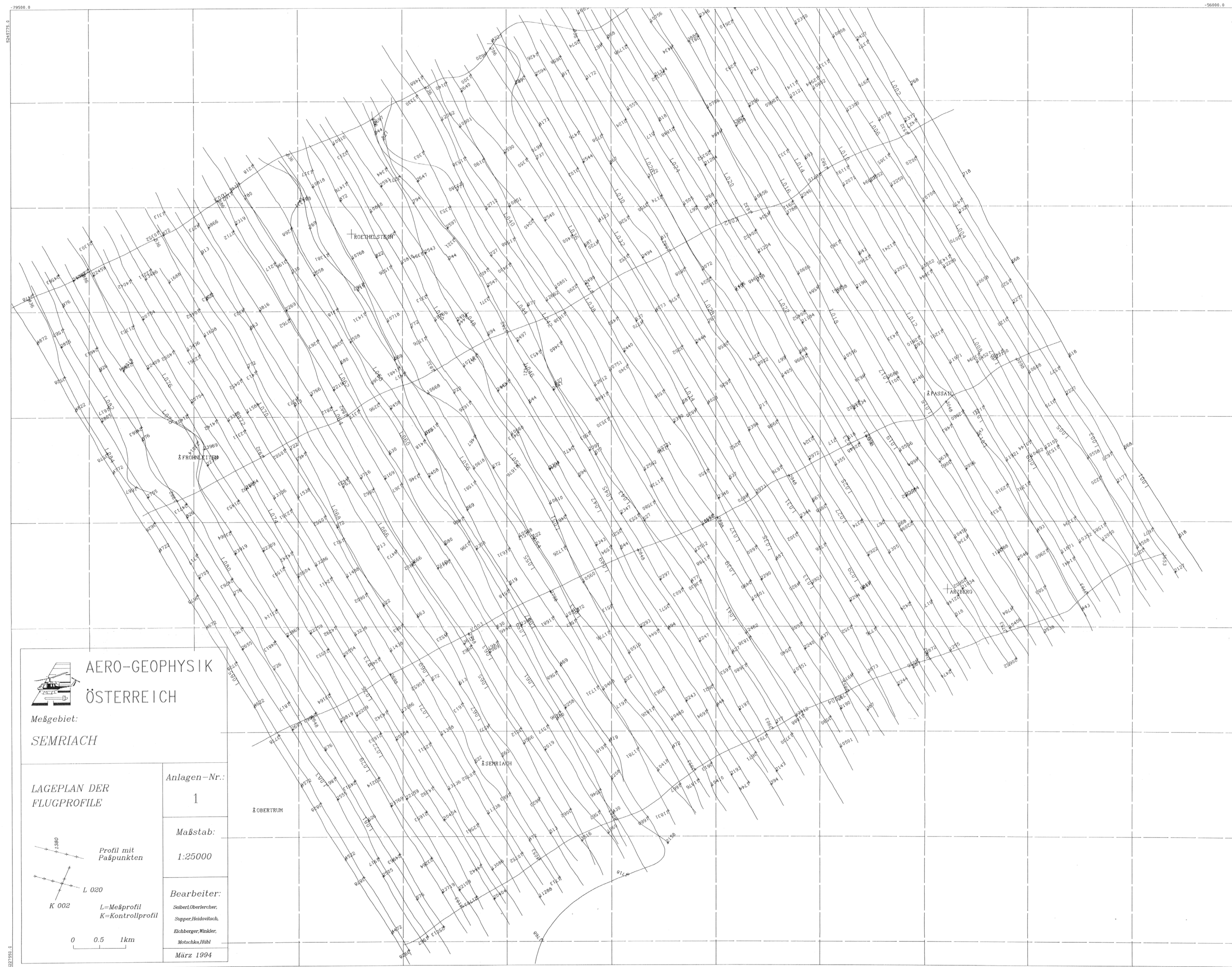


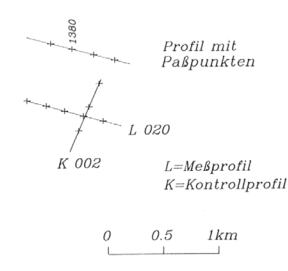
Abb.B4: Der Einfluß der mittleren Hangneigung (α_0) auf die ΔT -Anomalie;
 $\delta\alpha$ = komplementäre Öffnungswinkel, z = Tiefe in km.



AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH

Meßgebiet:
SEMRIACH

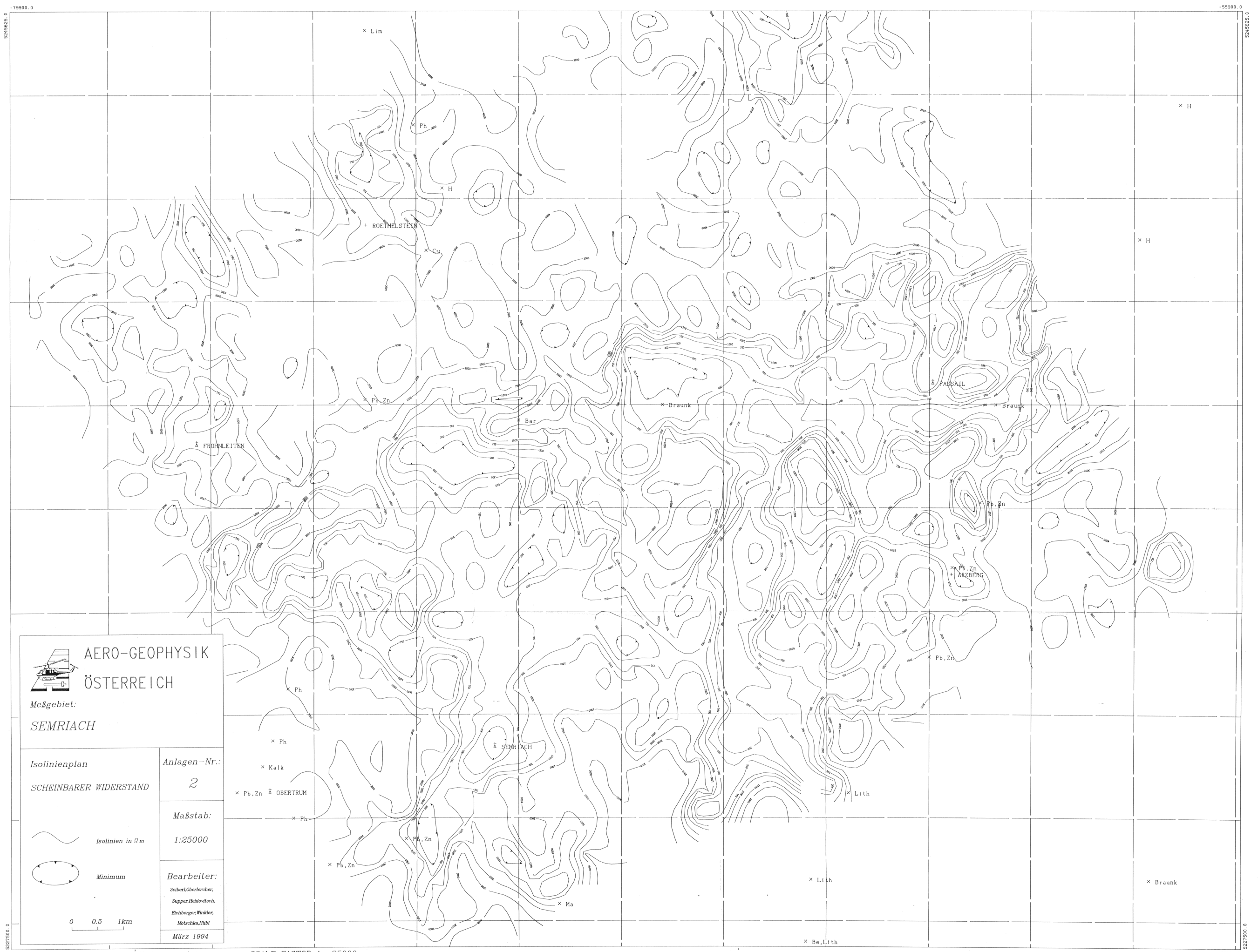
LAGEPLAN DER
FLUGPROFILE



Anlagen-Nr.:
1

Maßstab:
1:25000

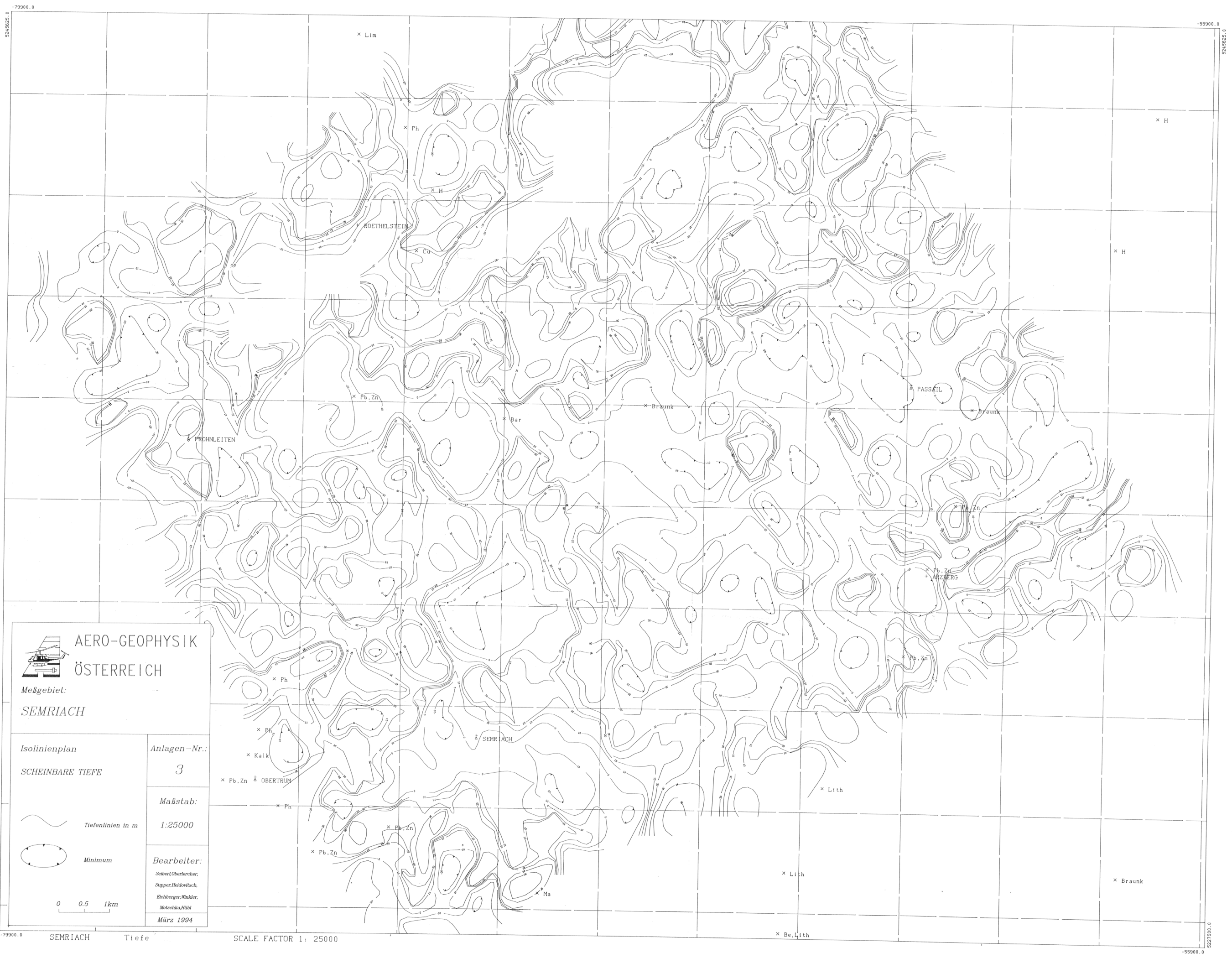
Bearbeiter:
Seberl, Oberlercher,
Supper, Heidevitsch,
Eichberger, Winkler,
Motschko, Hübl
März 1994



AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH

Meßgebiet:
SEMRIACH

Isolinienplan SCHEINBARER WIDERSTAND	Anlagen-Nr.: 2
 Isolinien in Ωm  Minimum	Maßstab: 1:25000
 0 0.5 1km	Bearbeiter: Seiberl, Oberlercher, Supper, Feldovitsch, Eichberger, Winkler, Mutschko, Hübl März 1994



AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH

Meßgebiet:
SEMRIACH

Isolinienplan
SCHEINBARE TIEFE

Anlagen-Nr.:
3

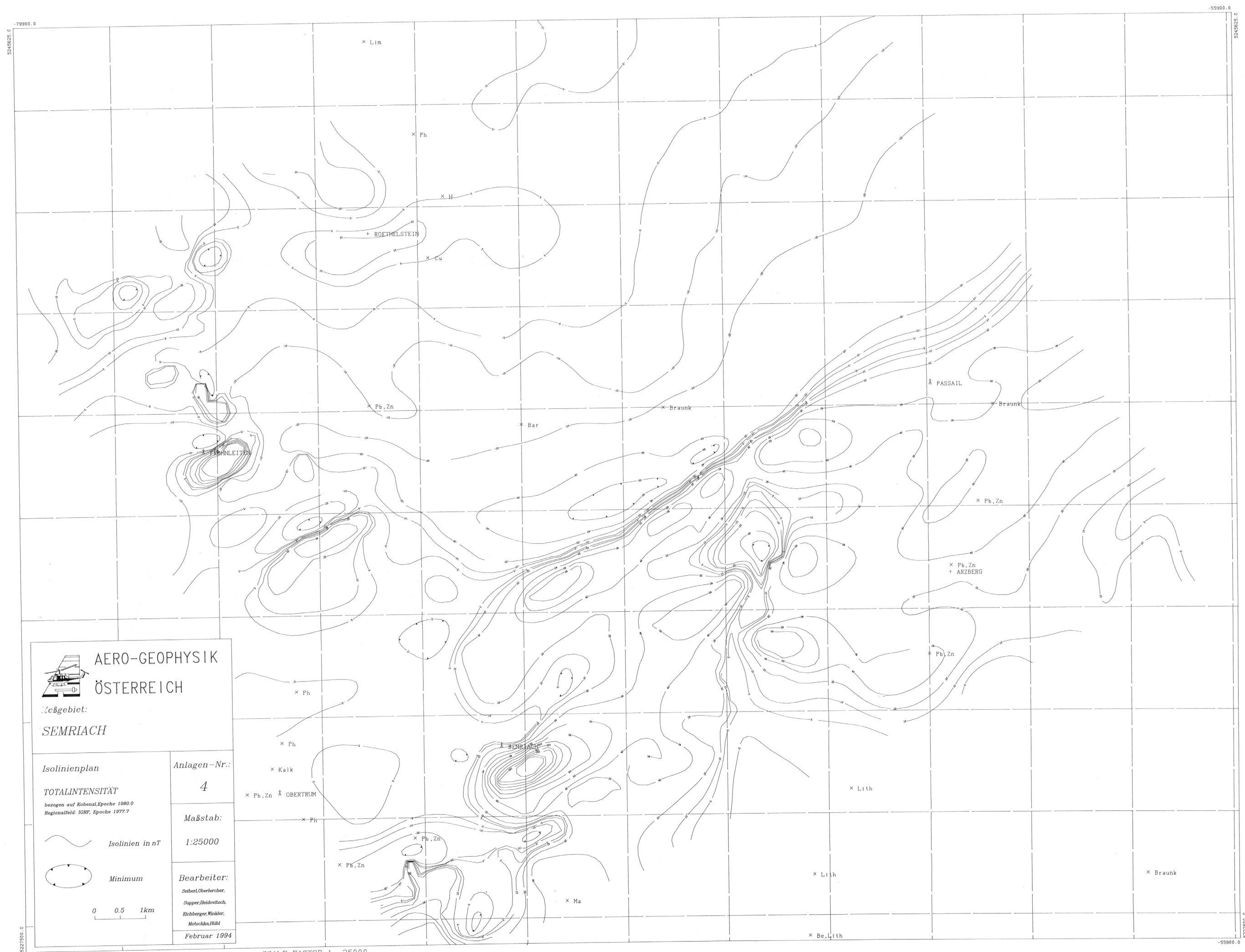
Maßstab:
1:25000

Bearbeiter:
 Seibert, Oberlechner,
 Stupper, Heindovitsch,
 Eichberger, Winkler,
 Mutschka, Hübl
 März 1994

Tiefenlinien in m

Minimum

0 0.5 1km



AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH

Arbeitsgebiet:
SEMRIACH

Isolinienplan
TOTALINTENSITÄT
 bezogen auf Kobenzl. Epoche 1980.0
 Regionalfeld: IGRF, Epoche 1977.7

Isolinien in nT

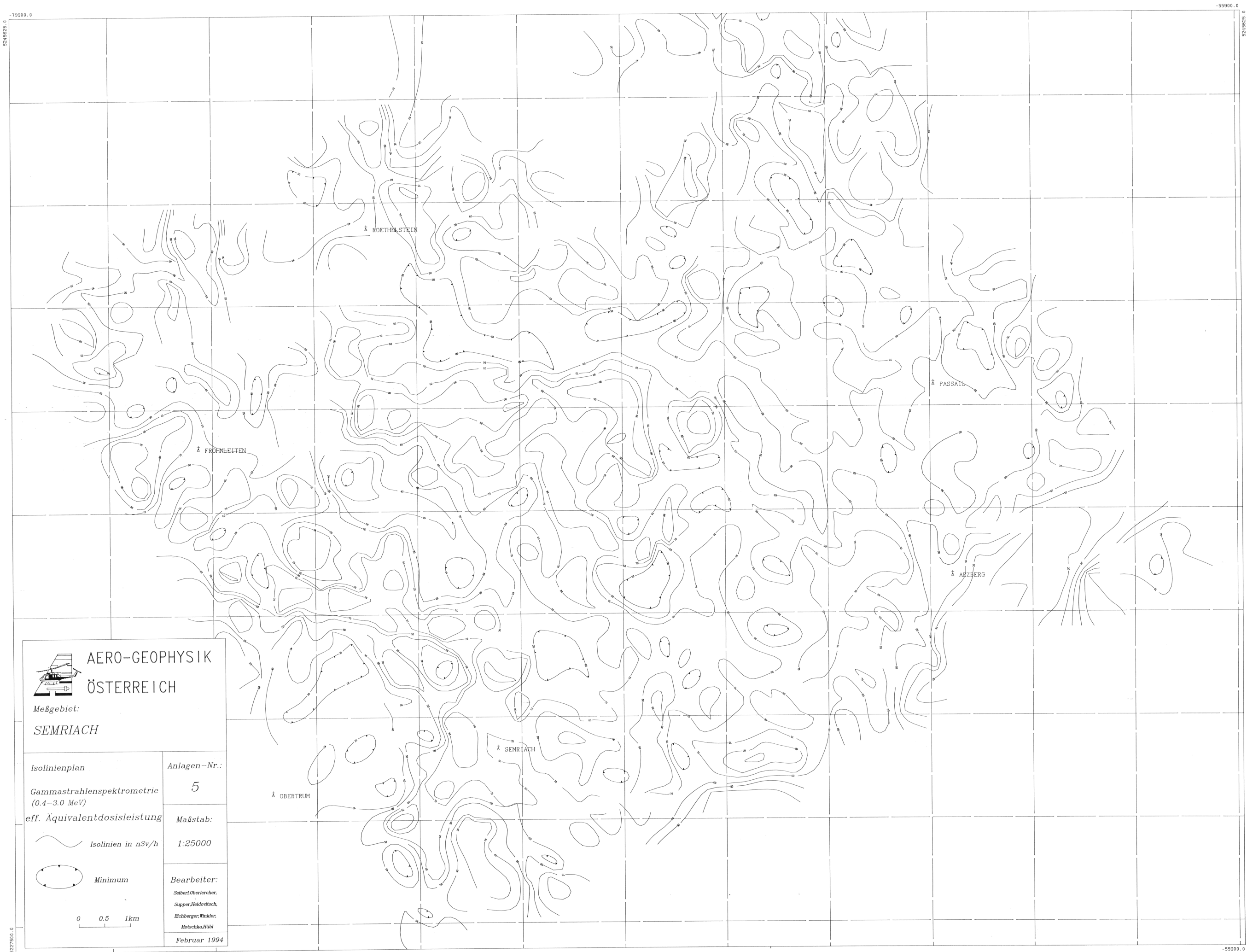
Minimum

0 0.5 1km

Anlagen-Nr.:
4



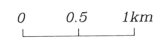
Maßstab:
1:25000

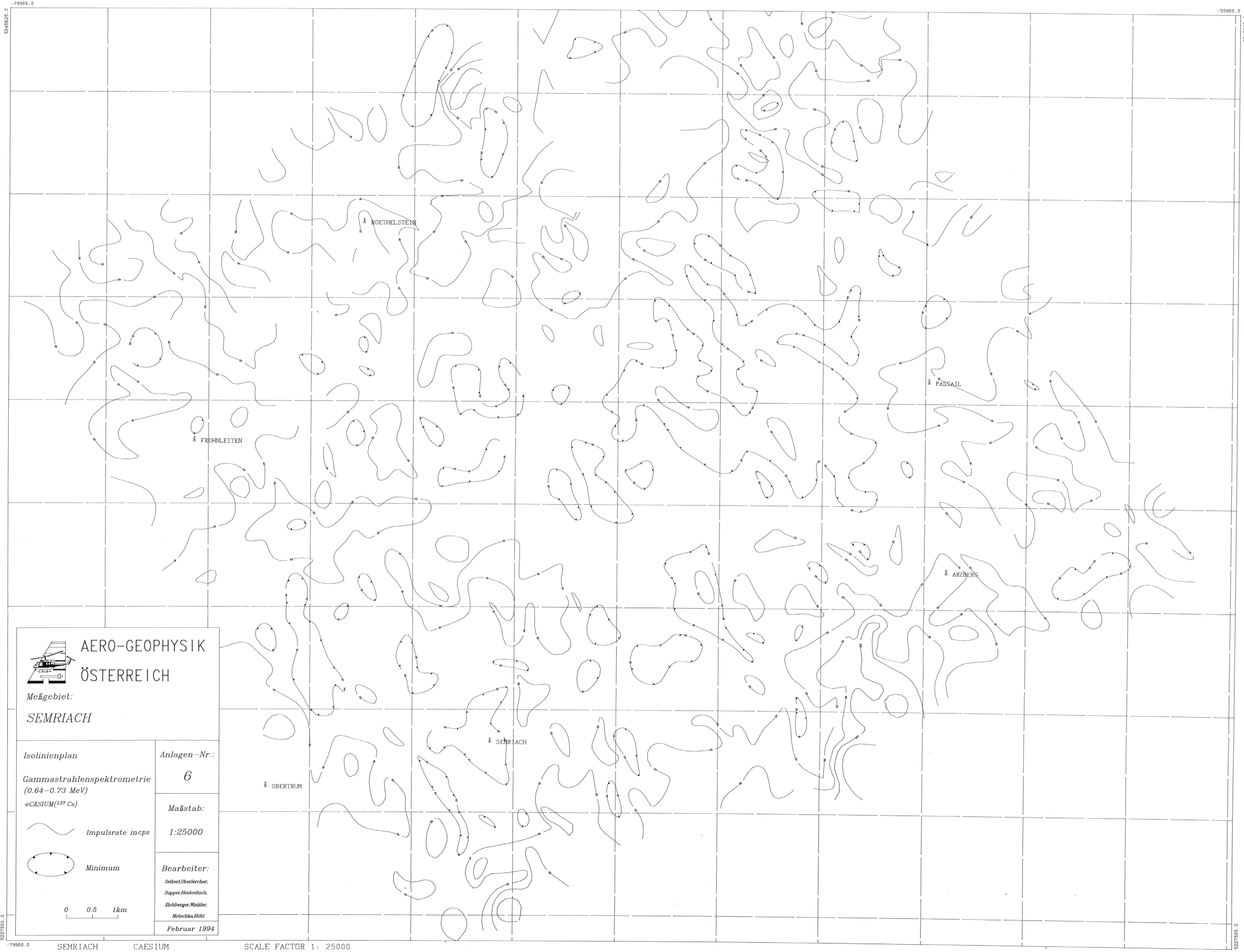
Bearbeiter:
 Seiberl, Oberlercher,
 Supper, Heidovitsch,
 Eichberger, Winkler,
 Motzsko, Hübl
Februar 1994



AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH

Meßgebiet:
SEMRIACH

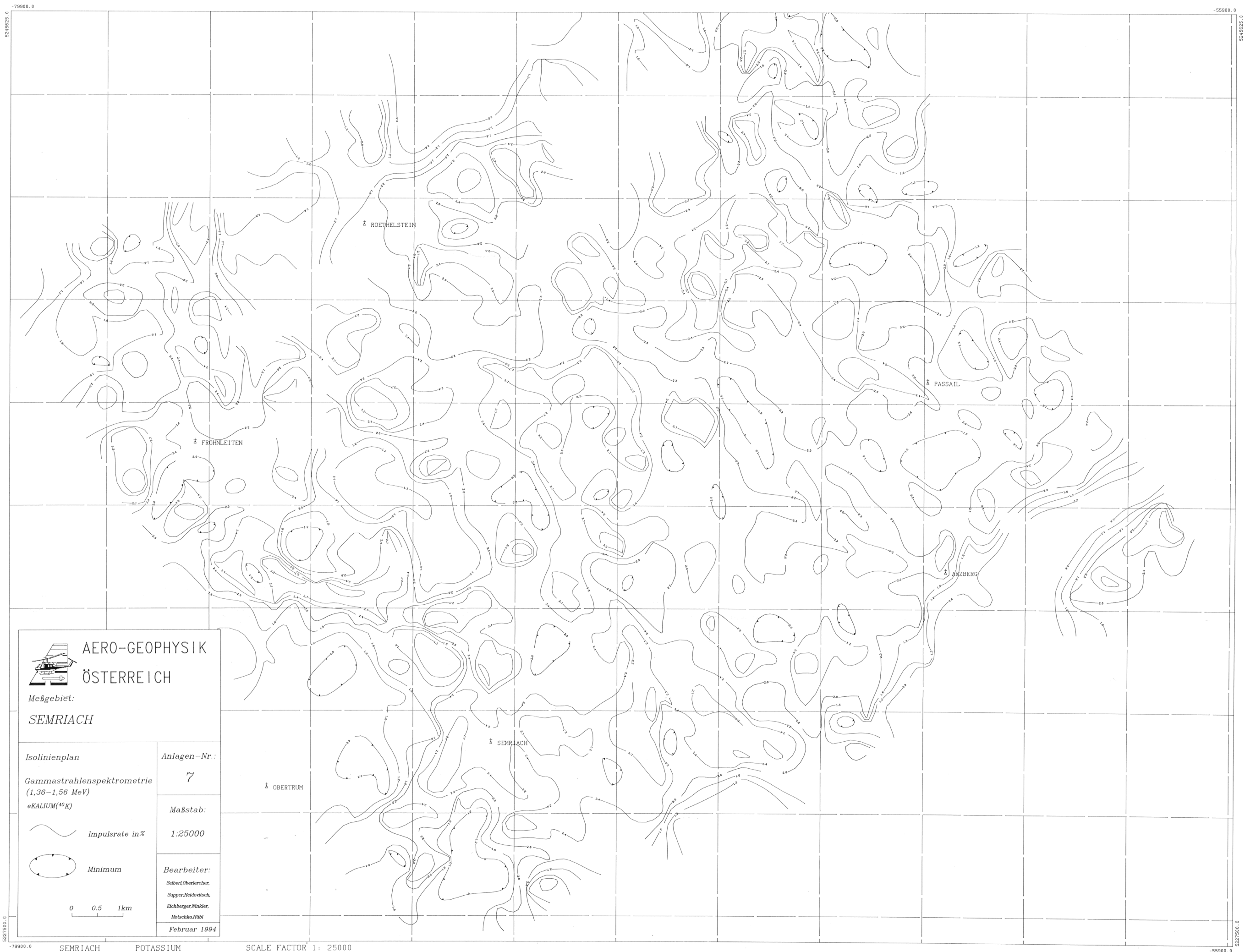
Isolinienplan	Anlagen-Nr.: 5
Gammastrahlenspektrometrie (0.4-3.0 MeV)	Maßstab: 1:25000
eff. Äquivalentdosisleistung	Bearbeiter: Seiber, Oberlercher, Supper, Hekdovitsch, Eichberger, Winkler, Motschka, Hüb
 Isolinien in nSv/h  Minimum 	Februar 1994



**AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH**



Meßgebiet:
SEMRIACH

<p>Isolinienplan</p> <p>Gammastrahlenspektrometrie (0.64–0.73 MeV) eCAESIUM(¹³⁷Cs)</p> <p> Impulsrate incps</p> <p> Minimum</p> <p>0 0.5 1km</p>	<p>Anlagen-Nr.: 6</p> <p>Maßstab: 1:25000</p> <p>Bearbeiter: Seiber/Oberlercher, Supper/Heidovitsch, Eichberger/Winkler, Motschka/Hilb Februar 1994</p>
---	--

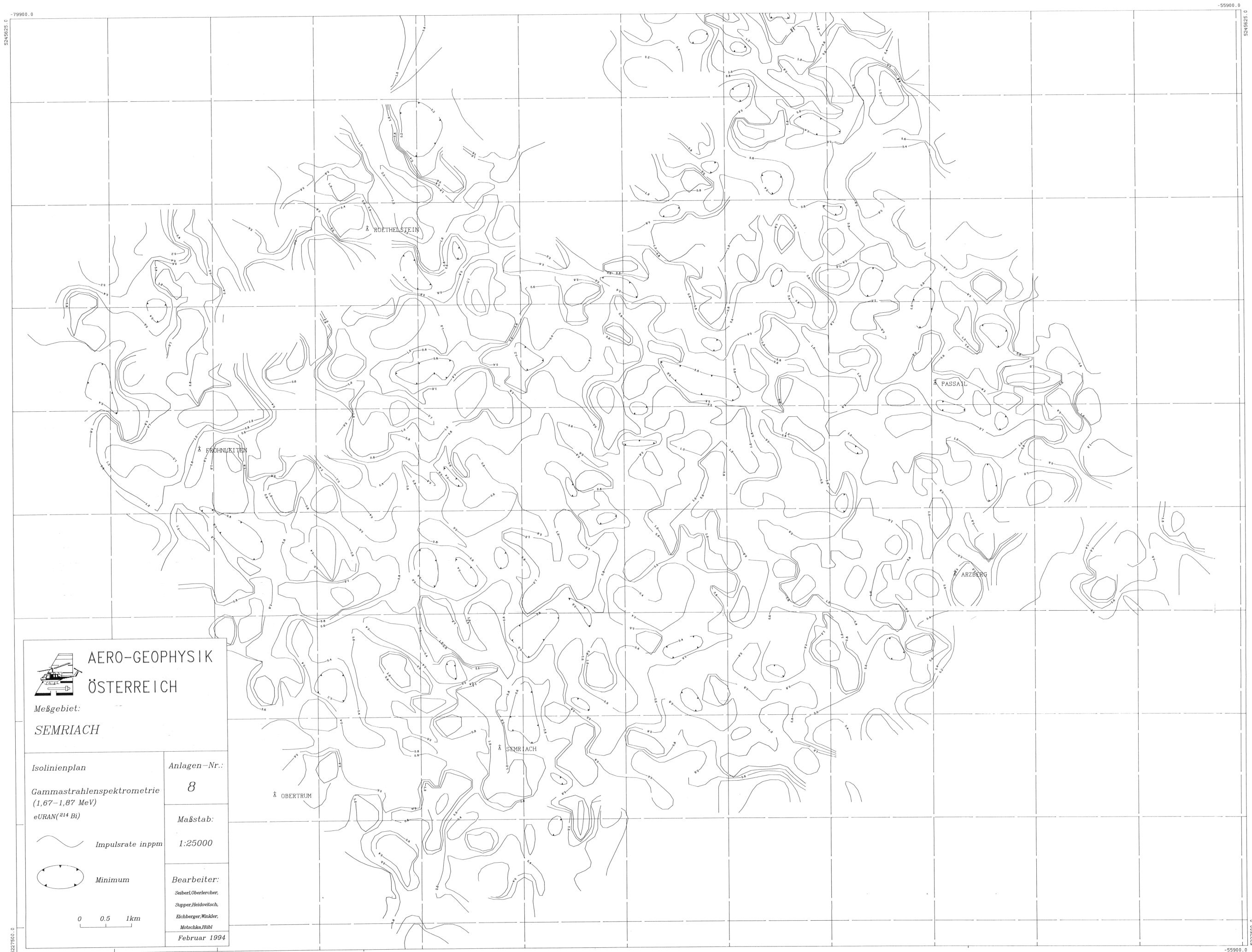


**AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH**

Meßgebiet:
SEMRIACH

Isolinienplan	Anlagen-Nr.: 7
Gammastrahlenspektrometrie (1,36-1,56 MeV) eKALIUM(⁴⁰ K)	Maßstab: 1:25000
 Impulsrate in‰  Minimum	Bearbeiter: Seiberl, Oberlercher, Supper, Heidovitsch, Eichberger, Winkler, Mutschka, Hübl Februar 1994

0 0.5 1km



**AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH**

Meßgebiet:
SEMRIACH

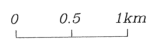
Isolinienplan
Gammastrahlenspektrometrie
(1,67-1,87 MeV)
eURAN(²¹⁴Bi)

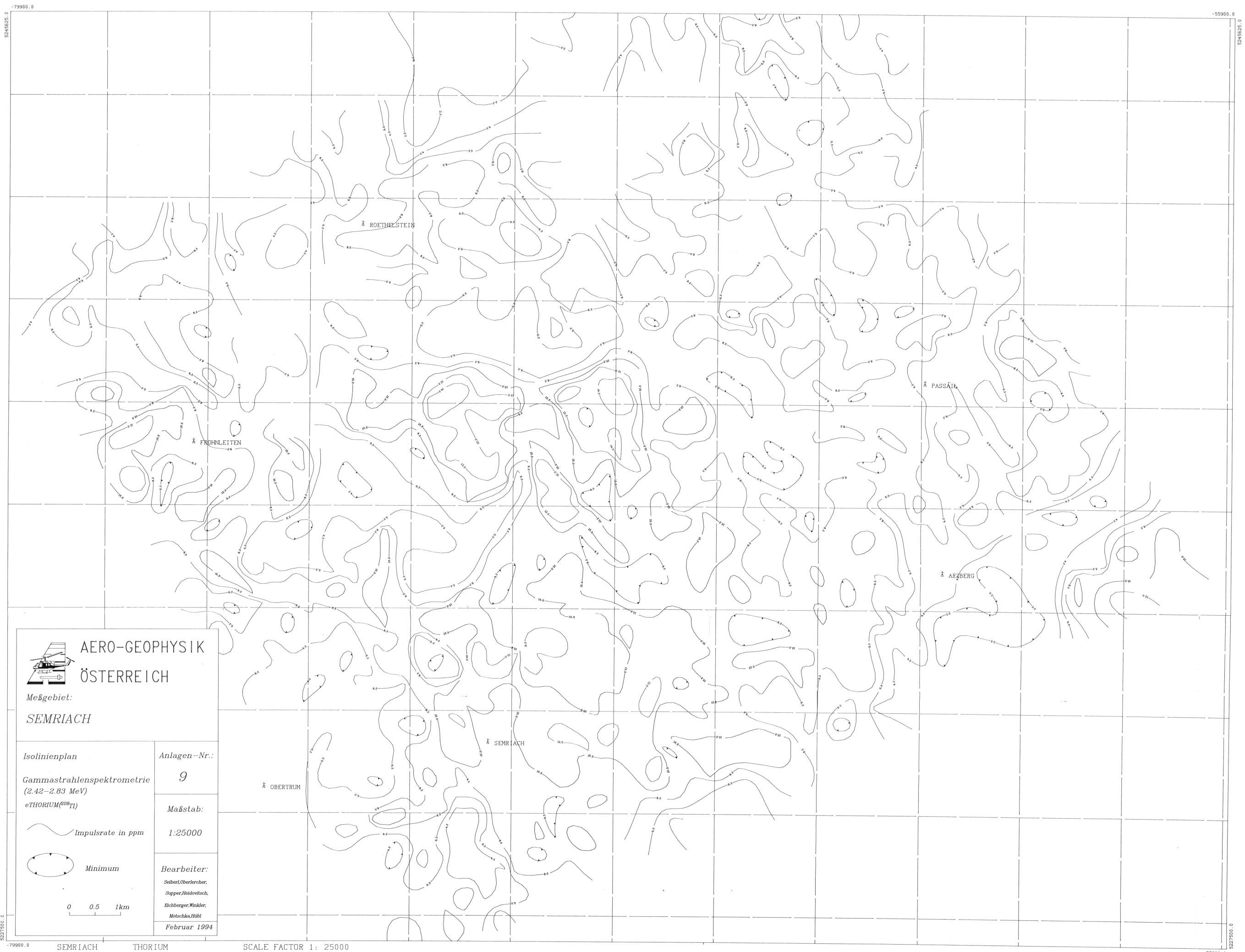
Anlagen-Nr.:
8

Impulsrate inppm
Minimum

Maßstab:
1:25000

Bearbeiter:
Seiberl, Oberlercher,
Supper, Heidovitsch,
Eichberger, Winkler,
Motschko, Hübhl
Februar 1994



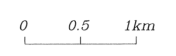
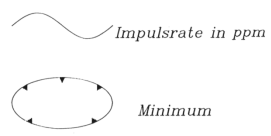


**AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH**

Meßgebiet:
SEMRIACH

Isolinienplan
Gammastrahlenspektrometrie
(2.42-2.83 MeV)
eTHORIUM(²³²Th)

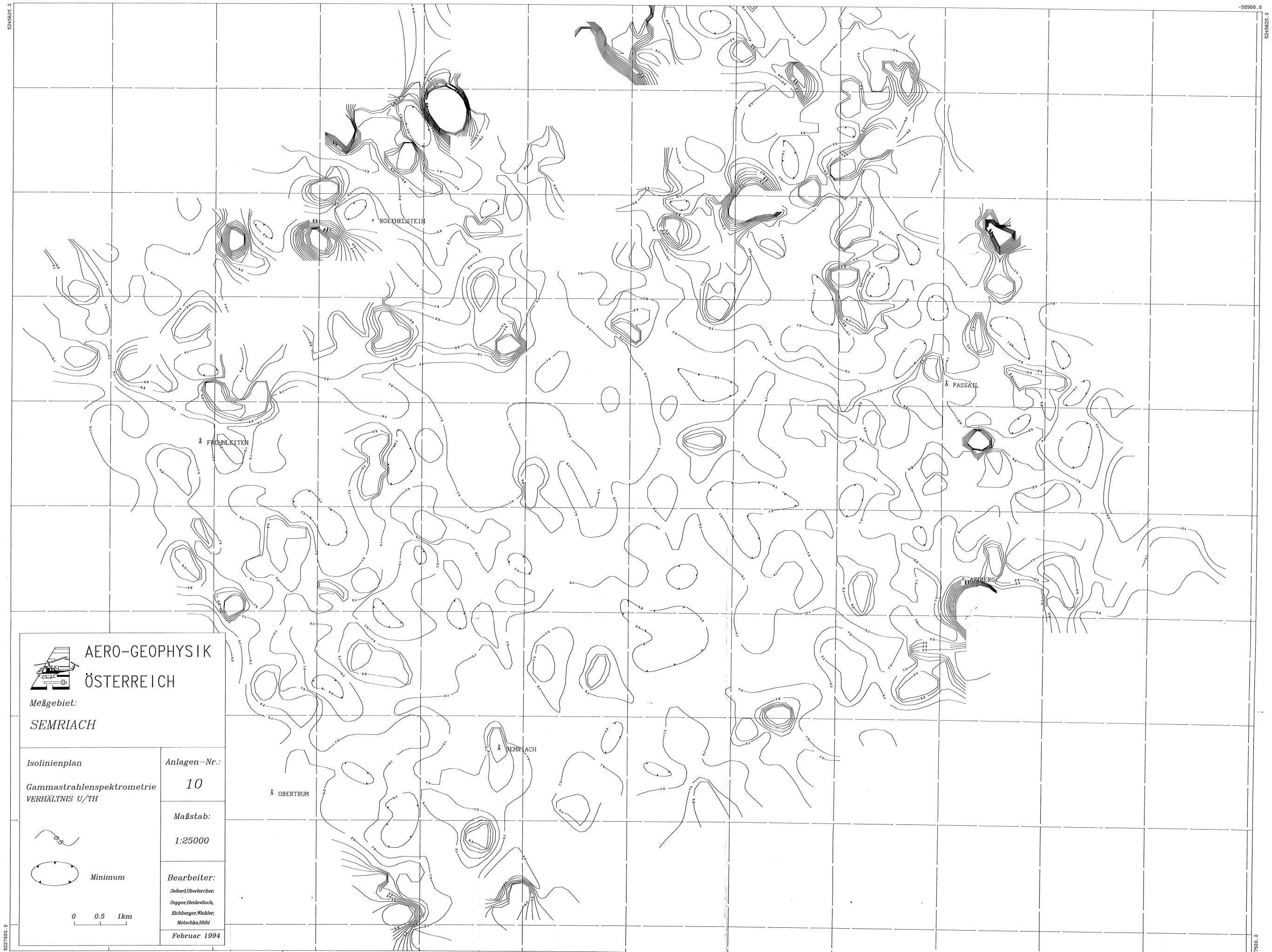
Anlagen-Nr.:
9
Maßstab:
1:25000



Bearbeiter:
Seiber/Oberlercher,
Supper/Heddvitsch,
Eichberger/Winkler,
Motschko/Hübli
Februar 1994

5248525.0
-79900.0

-55900.0
5248525.0



5227500.0

-55900.0
5227500.0

**AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH**

Meßgebiet:
SEMRIACH

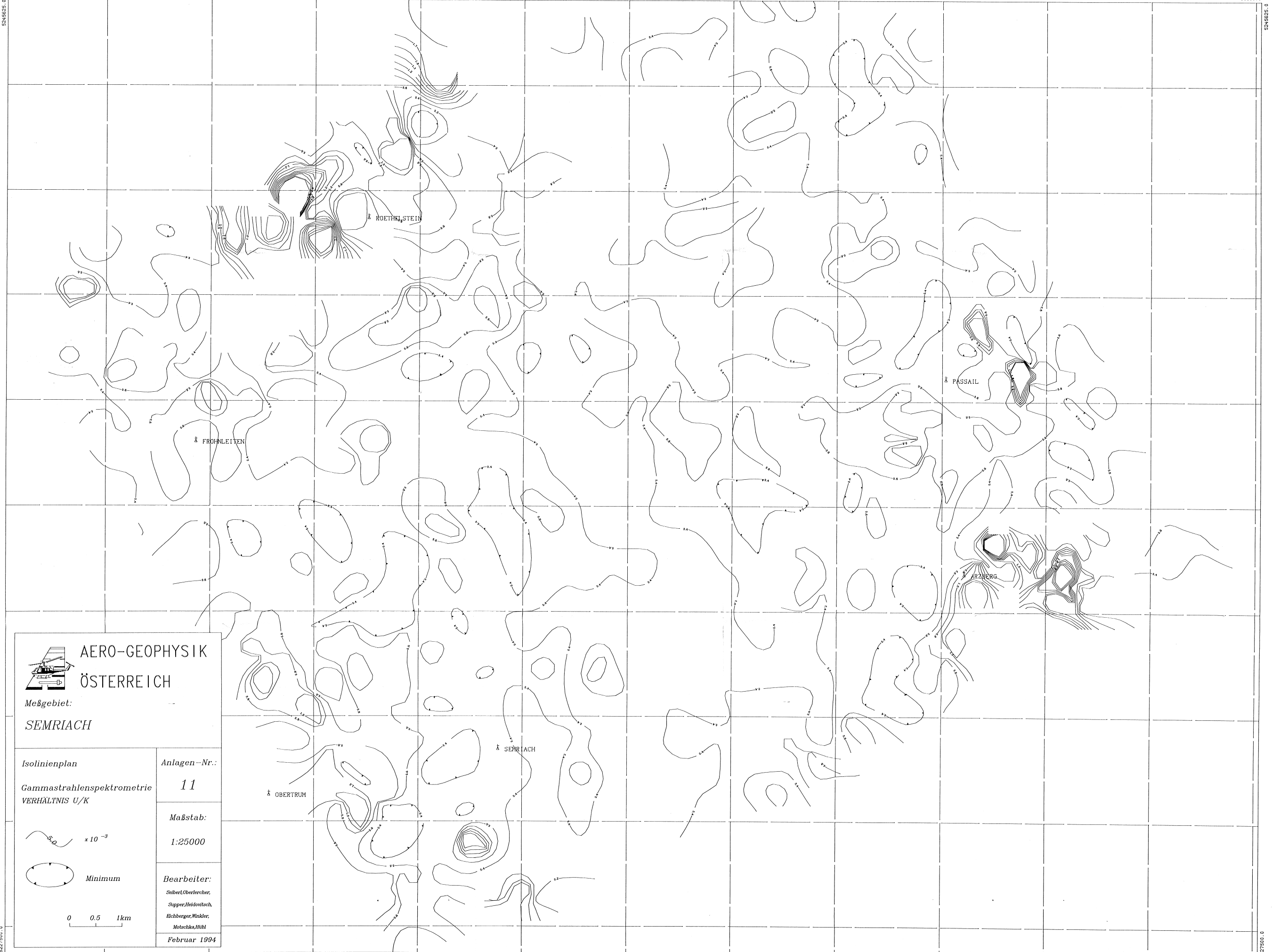
Isolinienplan Gammastrahlenspektrometrie VERHÄLTNIS U/TH	Anlagen-Nr.:
	10
	Maßstab:
	1:25000
Minimum	Bearbeiter:
	Seiber, Oberrecher, Supper, Heidovitsch, Eichberger, Winkler, Motzka, Hübl
	Februar 1994

SEMRIACH RATIO U/TH

SCALE FACTOR 1: 25000

-79900.0

-55900.0



**AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH**

Meßgebiet:
SEMRIACH

Isolinienplan
Gammastrahlenspektrometrie
VERHÄLTNIS U/K

Anlagen-Nr.:
11

$\times 10^{-3}$

Maßstab:
1:25000

Minimum

Bearbeiter:
Seiberl, Oberlercher,
Supper, Heidovitsch,
Eichberger, Winkler,
Motschka, Hübl
Februar 1994

0 0.5 1km

-79900.0

SEMRIACH

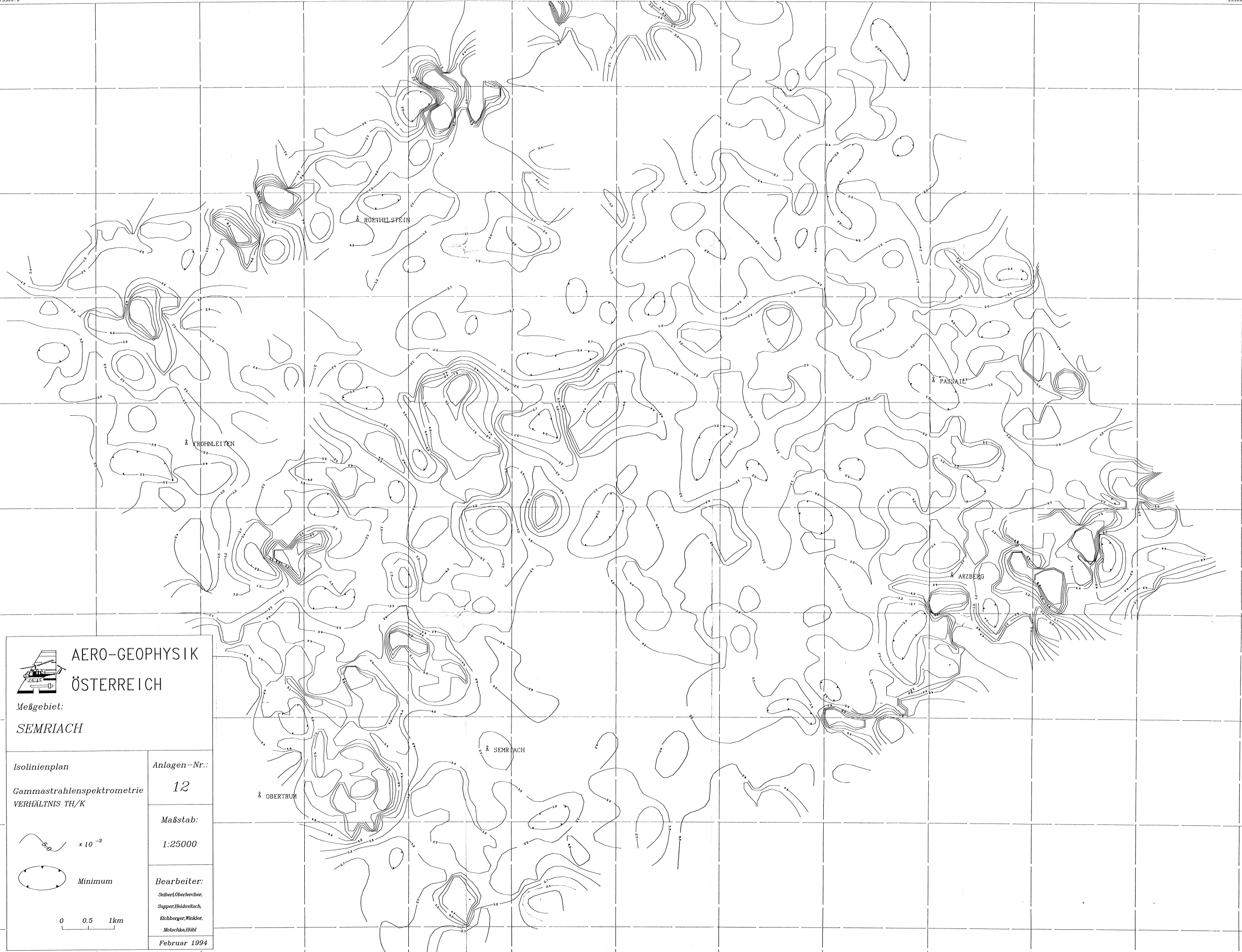
RATIO U/P

SCALE FACTOR 1: 25000

-55900.0

527500.0
-79900.0

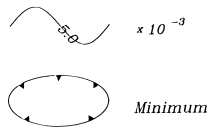
-59900.0
527500.0



**AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH**

Meßgebiet:
SEMRIACH

Isolinienplan
Gammastrahlenspektrometrie
VERHÄLTNIS TH/K



0 0.5 1km

Anlagen-Nr.:
12

Maßstab:
1:25000

Bearbeiter:
Seber, Oberacher,
Stupper, Heidwitsch,
Eichberger, Winkler,
Motschka, Hübl

Februar 1994

527500.0

SEMRIACH

RATIO TH/P

SCALE FACTOR 1: 25000

-59900.0