



GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT



**AEROGEOPHYSIKALISCHE
VERMESSUNG**

im Bereich

Sibratsgfall / VlbG

Vollzug des Lagerstättengesetzes: Projekt ÜLG-20/00-1

AEROGEOPHYSIKALISCHE VERMESSUNG

im Bereich

Sibratsgfall/Vlbg

von

Wolfgang Seiberl
Klaus Motschka
Martin Heidovitsch
Birgit Jochum
Edmund Winkler
Robert Supper
Andreas Ahl
Herbert Pirkel

Wien, 2002

Geologische Bundesanstalt Wien

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	3
1. Zielsetzung und Ablauf des Projekts	4
2. Verwendete Meßmethoden und allgemeine Bemerkungen zu aerogeophysikalischen Messungen	5
3. Planung und Durchführung der Vermessung	7
3.1. Meßausrüstung.....	7
3.2. Fluglinien	9
3.3. Durchführung der Messungen	9
3.4. Personal	12
4. Datenverarbeitung und Kartenherstellung	13
4.1. Aufgabe der ADV.....	13
4.2. Datenkontrolle	15
4.3. Flugwegdaten.....	15
4.4. Elektromagnetische Widerstandskartierung	15
4.5. Isoanomalien der magnetischen Totalintensität (ΔT)	20
4.6. Radiometrische Kartierung	23
4.6.1. Die Quellen der natürlichen Gammastrahlung.....	23
4.6.2. Korrekturen der Meßdaten.....	23
4.6.3. Herstellung der Farbrasterkarten.....	34
4.7 Infrarot und Bodenfeuchte	34
5. Geologie des Meßgebietes und erste Ergebnissdiskussion.....	38
5.1 Geologische Situation	38
5.2 Erste Beurteilung der aerogeophysikalischen Meßergebnisse	41
6. Literatur	45

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Lage des Meßgebietes	4
Abb. 2 Datenfluß des Hubschrauber-Meßsystems	8
Abb. 3: Gammastrahlenspektrometer (Kristall I), Beispiel einer Spektralregistrierung - Cäsiumquelle (^{137}Cs)	10
Abb. 4: Gammastrahlenspektrometer (Kristall I), Beispiel einer Spektralregistrierung - Thoriumquelle (^{208}Tl)	11
Abb. 5: Lage der Flugprofile im Meßgebiet von Sibratsgfall	14
Abb. 6: Widerstand der 1. Schicht	17
Abb. 7: Widerstand der 2. Schicht	18
Abb. 8: Mächtigkeit der 1. Schicht	19
Abb. 9: Isoanomalien der magnetischen Totalintensität von Sibratsgfall	21
Abb. 10: Die aeromagnetische Karte der Republik Österreich	22
Abb. 11a - e: Darstellung der Korrekturschritte in der Gammastrahlenspektrometrie	24
Abb. 12: Beispiel eines Gammastrahlenspektrums (MeV) im Bereich des Flugfeldes Aigen im Ennstal	28
Abb. 13: Topographie im Meßgebiet von Sibratsgfall	29
Abb. 14: Dosisleistung im Meßgebiet von Sibratsgfall	30
Abb. 15: Kaliumverteilung im Meßgebiet von Sibratsgfall	31
Abb. 16: Uranverteilung im Meßgebiet von Sibratsgfall	32
Abb. 17: Thoriumverteilung im Meßgebiet von Sibratsgfall	33
Abb. 18: Bodentemperatur im Meßgebiet von Sibratsgfall	36
Abb. 19: Bodenfeuchte im Meßgebiet von Sibratsgfall	37
Abb. 20: Ausschnitt aus der Geologisch-tektonischen Übersichtskarte von Vorarlberg 1:200.000 (OBERHAUSER & RATAY 1998)	38
Abb. 21: Tektonischer Schnitt durch den Nordrand der Ostalpen im Bregenzer Wald; aus: OBERHAUSER & RATAY 1998	38
Abb. 22: Stratigraphie Rheno-danubischer Flysch/Vorarlberg; aus: GWINNER 1971	40
Abb. 23: Stratigraphie Feuerstätter Klippendecke; aus: GWINNER 1971	40
Abb. 24: Stratigraphie der helvetischen Decken in Vorarlberg; aus: GWINNER 1971	41

Zusammenfassung

Das komplexe aerogeophysikalische Vermessungsprogramm im Bereich des Meßgebietes Sibratsgfäll hat teilweise zur Klärung geologischer Fragen betreffend der in diesem Gebiet auftretenden Massenbewegungen beigetragen.

Im Meßgebiet können an Hand der gammaspektrometrischen Messungen – insbesondere durch die Kaliumverteilung – einerseits tonreiche Gesteinsserien (Junghansen-Schichten) von den sandsteinreichen- bzw. karbonatischen Serien deutlich unterschieden werden.

Ebenso konnten über die Widerstandsverteilung im Meßgebiet Sibratsgfäll sehr plausible Tiefenmodelle für verschiedene Fragestellungen, wie z.B. jenes der rezenten Rutschmasse und seiner westlichen Fortsetzung erarbeitet werden.

Es wird empfohlen durch Geländebegehungen, aber auch durch bodengeoelektrischer Meßverfahren die Ergebnisse im Meßgebiet zu verifizieren.

1. Zielsetzung und Ablauf des Projekts

Mit der hubschraubergeophysikalischen Vermessung im Meßgebiet Sibratsgfäll/VlbG sollen in erster Linie geowissenschaftliche Beiträge zur

- Erkundung und Kartierung von hangrutschgefährdeten Gebiete

sowie zur

- Unterstützung der regionalen geologischen Kartierung

erstellt werden.

Die Meßflüge im genannten Meßgebiet - die Lage des Meßgebietes kann der Abb. 1 entnommen werden - fanden im Sommer 2000 statt. Dabei wurde ein temporärer Hubschrauberlandeplatz bei Bludesch eingerichtet. Mit der Herstellung erster Ergebniskarten wurde im Herbst 2001 begonnen. Die Fertigstellung letzterer wurde im Sommer 2002 abgeschlossen.

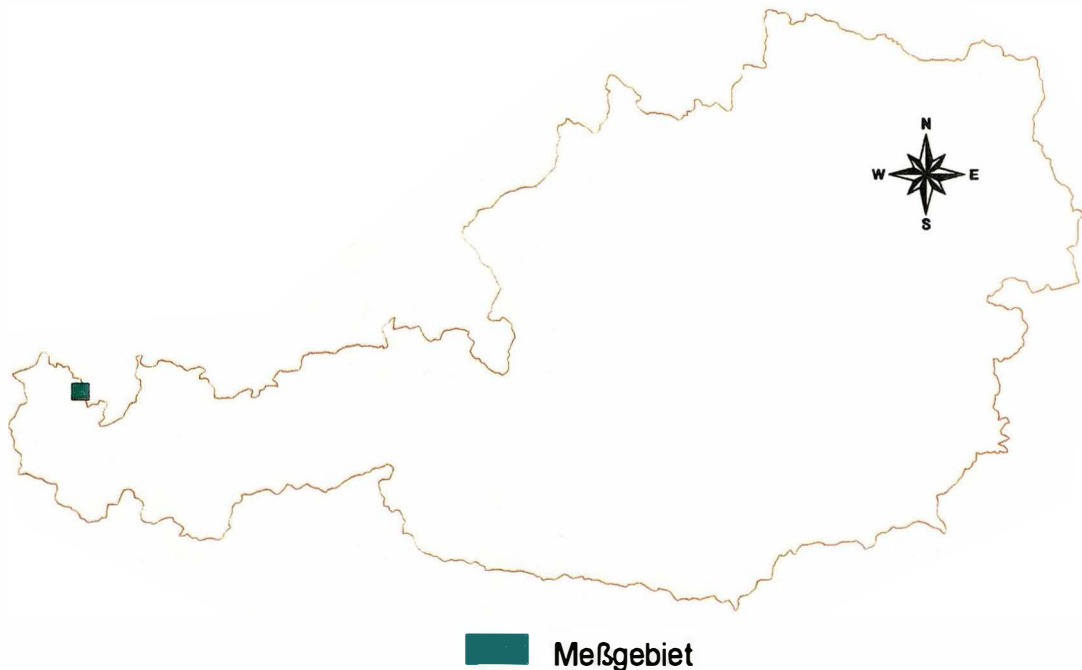


Abb. 1: Lage des Meßgebietes

2. Verwendete Meßmethoden und allgemeine Bemerkungen zu aerogeophysikalischen Messungen

Die verschiedenen Gesteinsserien können sich in unterschiedlichster Weise in den geophysikalischen Meßergebnissen widerspiegeln. Dabei ist zu bedenken, daß eine entsprechende meßtechnische Erfassung von unterschiedlichen Parametern abhängig ist:

- physikalische Eigenschaften der die Gesteine bildenden Mineralien, deren Poren- bzw. Kluftraum sowie deren Füllungen
- 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 (Funktion des Gehalts an radioaktiven Mineralien). Weist nun eine Gesteinsserie 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 zu untersuchende Gesteinsabfolge muß solch eine Mindestgröße bzw. Position aufweisen, daß noch ein nutzbares Meßsignal 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 Gesteinseigenschaft nicht festgestellt werden kann, weil sie entweder zu klein ist oder zu tief liegt, bzw. der gesteinsphysikalische Kontrast zu gering ist.

Beim Flugprogramm im Meßgebiet Sibratsgfall wurde der Profilabstand mit 100 m bzw 50m festgelegt. Der Meßpunktabstand entlang der Profile ist von der jeweiligen Fluggeschwindigkeit abhängig, so z.B. beträgt die Datenabtastrate für die Radiometrie 1 Sekunde. 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. Die Abtastrate für magnetische Messungen beträgt ebenfalls 10 Werte pro Sekunde, somit erhält man alle 3 m einen magnetischen Meßwert.

Trotz aller oben angeführten Einschränkungen sind aerogeophysikalische Meßverfahren bei vielen geowissenschaftliche Untersuchungen gut geeignet, entsprechende Grundlagen zu erstellen, da häufig nicht nur der direkte Hinweis auf interessante Zonen von Bedeutung sein

kann, sondern auch der indirekte. Die indirekte Beurteilung von geophysikalischen Daten im Hinblick auf Geologie, Strukturen, Tektonik etc., wird in Zukunft stark an Bedeutung gewinnen.

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.

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.

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.

3. Planung und Durchführung der Vermessung

3.1. Meßausrüstung

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

Die Meßausrüstung hat folgende Komponenten:

- Ein elektromagnetisches Mehrfachspulensystem vom Typ GEOTECH „Hummingbird“. Das System induziert elektrische Ströme in den Untergrund, deren Magnetfeld (= sekundäres Feld) gemessen wird. Die vier Sender arbeiten mit vier unterschiedlichen Frequenzen, (400 Hz vertikal koplanar, 3200 Hz horizontal koaxial, 7200 Hz vertikal koplanar, 28800 Hz horizontal koaxial). Das sekundäre Magnetfeld wird mit vier Empfangsspulen aufgenommen, die die gleiche Lage wie die Sendespulen haben ("maximale Kopplung") und rund 4.5 m von diesen entfernt sind. Sender und Empfänger sind in einer etwa 5.4 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 80 Meßdaten pro Sekunde für das Elektromagnetiksystem an.
- Ein Gammastrahlenspektrometer (Scintrex PGAM-1000) mit zwei nach unten gerichteten Natrium-Jodid Kristallpaketen mit einem Gesamtvolumen von 33,6 l und einem nach oben gerichteten Kristall (Volumen 4,2 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.
- Ein Absorptionszellen-Magnetometer vom Typ Scintrex CS-2. Es mißt die Totalintensität des erdmagnetischen Feldes mit einer relativen Empfindlichkeit von 0.003 nT. Die Meßrate beträgt 10 Meßwerte pro Sekunde. Der Sensor ist in der elektromagnetischen Meßsonde eingebaut.
- Infrarot und Bodenfeuchte: Die Bestimmung der Bodenfeuchte in Prozent-Wassergehalt des Erdbodens wird mit einer passiven L-Band-Antenne durchgeführt. Diese mißt die vom Untergrund bei 1.4 GHz reflektierte Strahlung. Die Intensität dieser Strahlung ist stark vom Bodenwassergehalt abhängig. Um den Wassergehalt berechnen zu können, muß man

außerdem die Oberflächentemperatur des Erdbodens kennen. Diese wird mit einem Infrarotsensor im Frequenzbereich 8-14 μm bestimmt.

- Zur Messung der Flughöhe über Grund dient ein Radarhöhenmesser Sperry AA-220 und ein Laserhöhenmesser Riegl LD 90-3.
- Der Flugweg wird auf einer Breite von $\pm 100\text{m}$ durch eine Infrarot - Videokamera Inframetrics (Spektralbereich 3,4 – 5 μm) aufgezeichnet.
- Eine GPS-Navigationsanlage (System Trimble 2000) 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.
- 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.

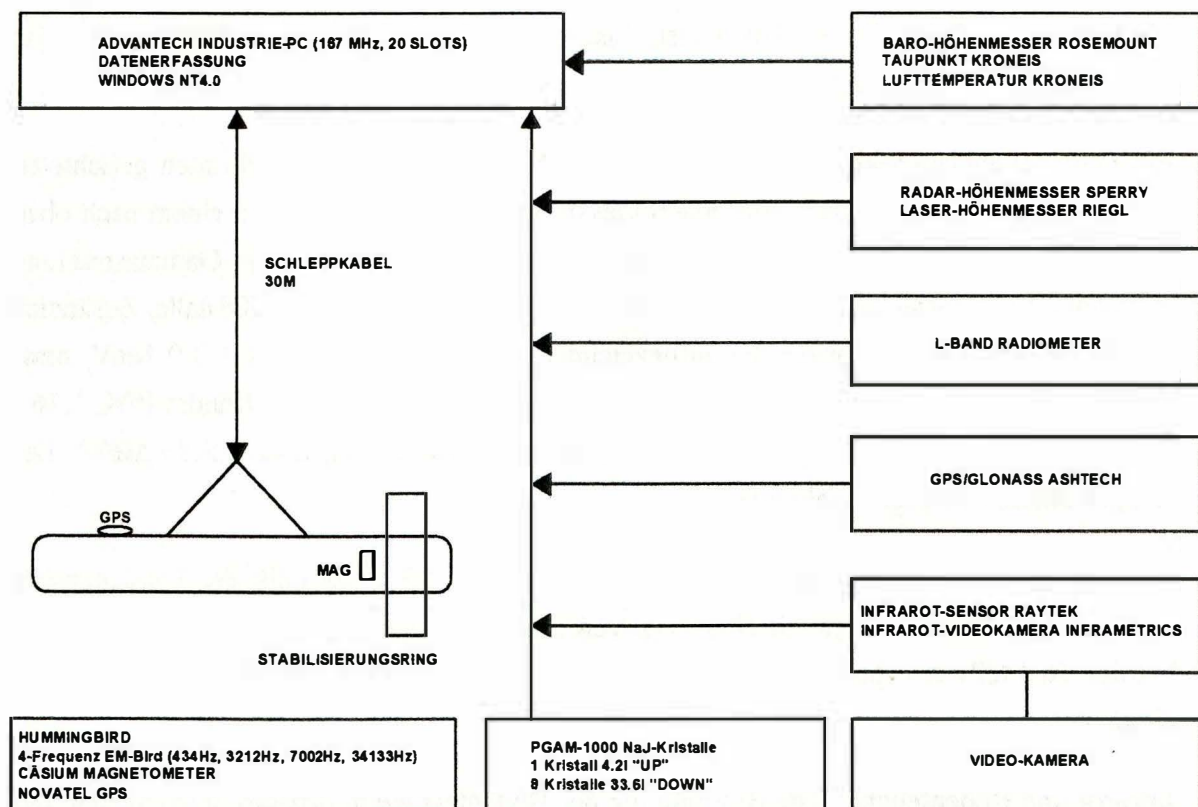


Abb. 2 Datenfluß des Hubschrauber-Meßsystems

3.2. Fluglinien

Flugrichtung: Folgende Richtung wurde für die Fluglinien gewählt:

25° - 205°

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 50 bzw 100 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: 50 m (in EM-Sonde eingebaut)
- 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.

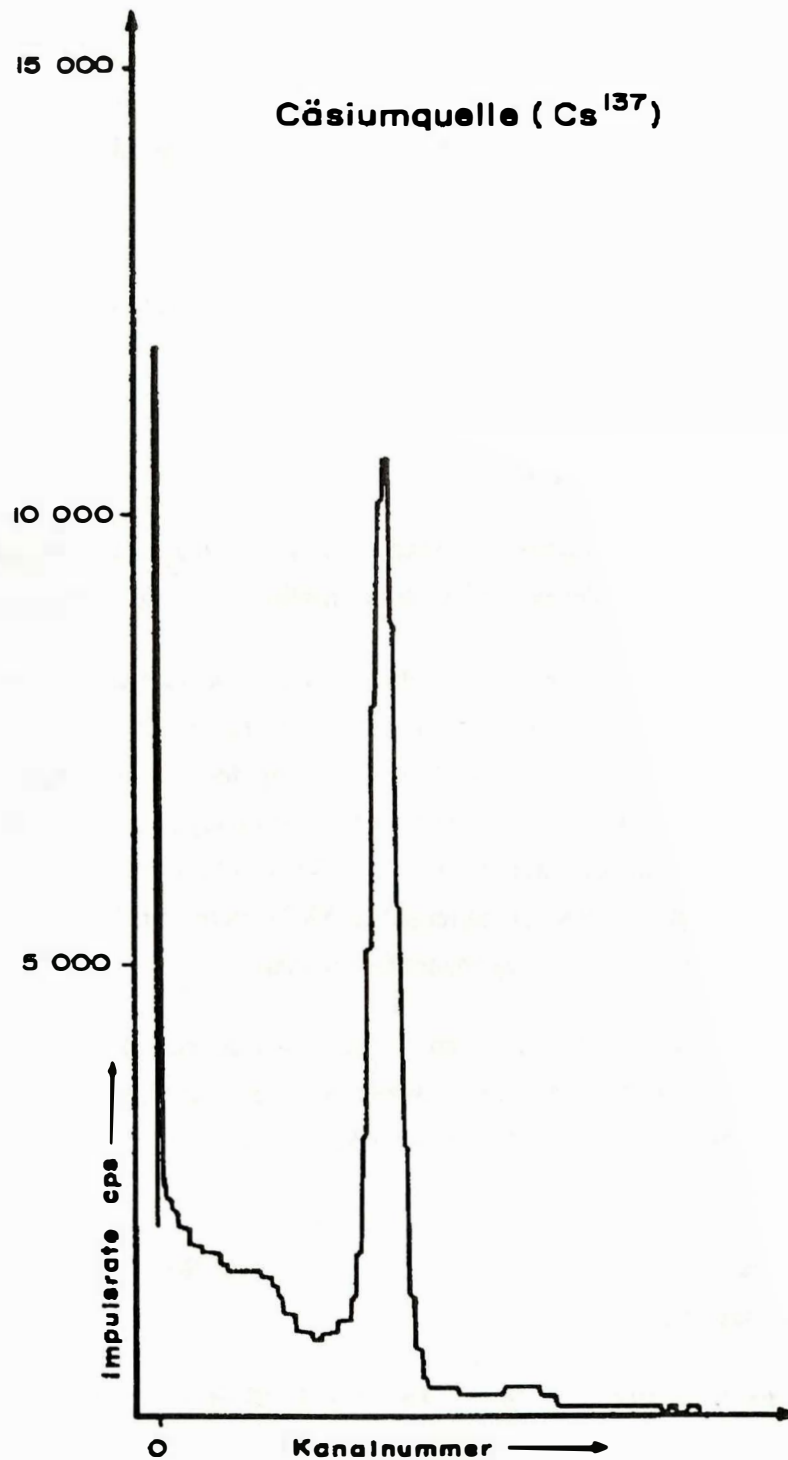


Abb. 3: Gammastrahlenspektrometer (Kristall I), Beispiel einer Spektralregistrierung - Cäsiumquelle (¹³⁷Cs)

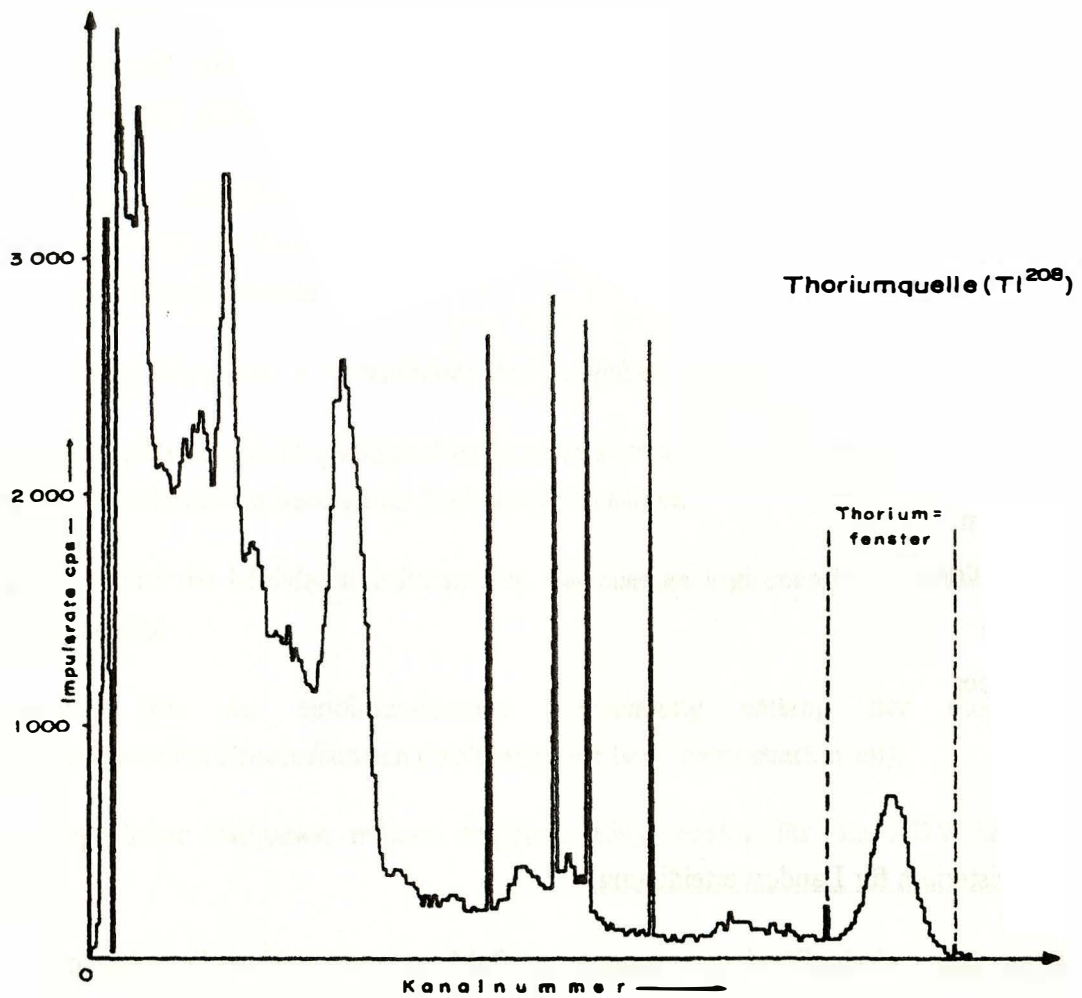


Abb. 4: Gammastrahlenspektrometer (Kristall I), Beispiel einer Spektralregistrierung - Thoriumquelle (^{208}Tl)

3.4. Personal

An der Durchführung der aerogeophysikalischen Arbeiten im Meßgebiet Sibratsgfall waren folgende Personen beteiligt:

Geologische Bundesanstalt / Universität Wien:

Univ. Prof. Dr. Wolfgang Seiberl

Geologische Bundesanstalt:

Martin Heidovitsch

Klaus Motschka

Birgit Jochum

Edmund Winkler

Andreas Ahl

Robert Supper

Bundesministerium für Landesverteidigung:

Peter Lang

Werner Nehring

Christian Strobl

Wolfgang Leeb

Rainer Wehrle

Herbert Strümpf

Peter Waldbauer

Rudolf Beschliesser

Michael Doppler

4. Datenverarbeitung und Kartenherstellung

4.1. Aufgabe der ADV

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

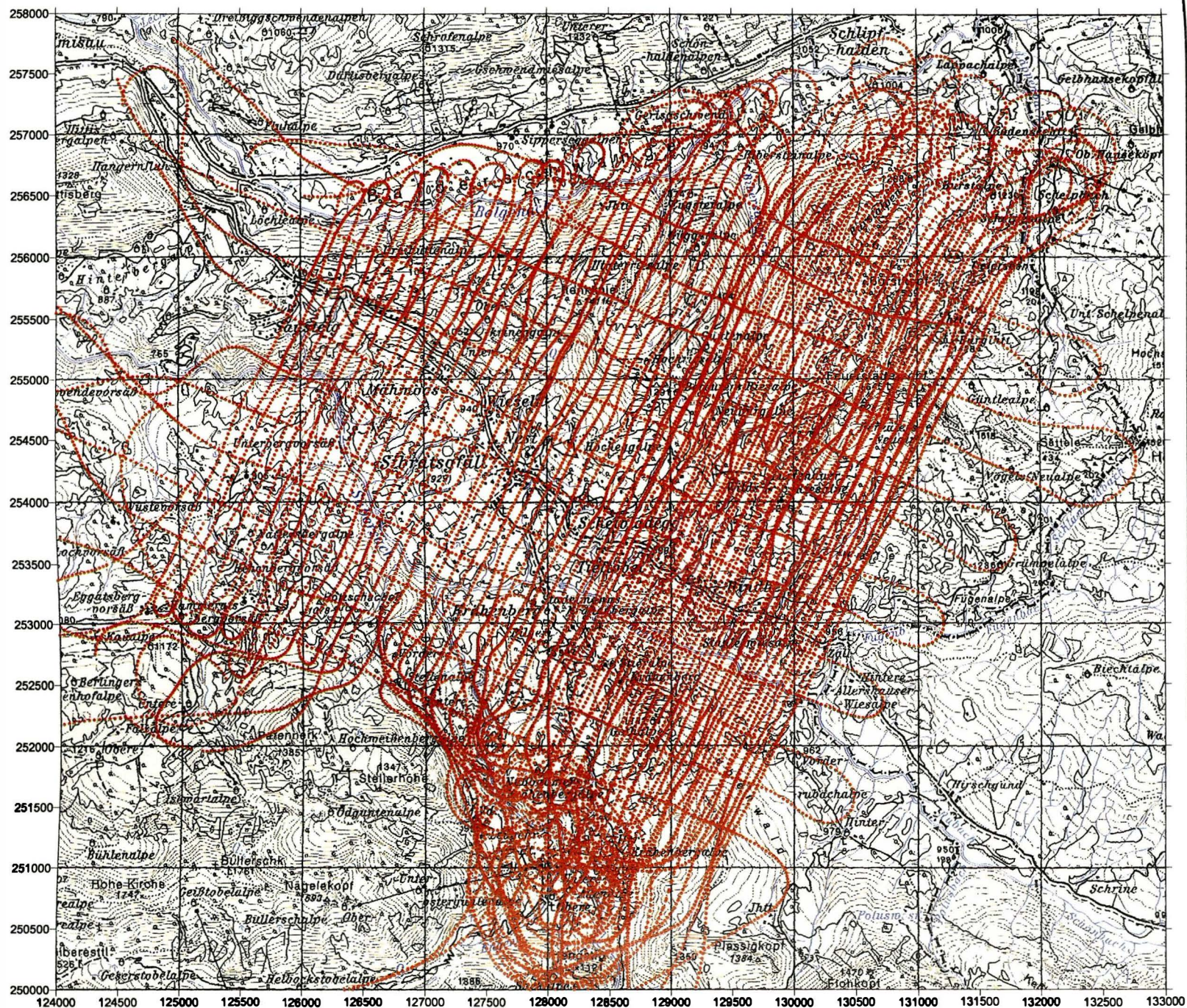
Die Datenverarbeitung hat im wesentlichen drei Aufgaben:

- Entfernung aller von nicht-geologischen Quellen stammenden Störsignale aus den Meßdaten bzw. die Durchführung bestimmter Meßwertkorrekturen.
- Transformation der Meßdaten in Parameter, die einer geologischen Interpretation möglichst zugänglich sind.
- 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:

- die geophysikalischen Meßdaten (mit Meßwertnummer) und die Flughöhe auf Datenträger,
- die Koordinaten der Meßpunkte entlang der verschiedenen Flugprofile auf Datenträger,
- die Registrierdaten der geomagnetischen Basisstation bei Bludesch,
- eine Reihe von Gerätekonstanten und Kalibriergrößen, die z.T. für jeden Meßflug neu bestimmt werden müssen,
- Flugberichte mit Angaben über Flugnummer, Fluglinien und Abweichungen von der Norm (z.B. Unterbrechung von Fluglinien, besondere Störungen),
- 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.



MEßGEBIET: SIBRATSGALL

Abb.5:

Meßparameter
LAGE der
FLUGPROFILE



0 250 500 750 1000 m

Lage des Meßgebietes - Übersicht:

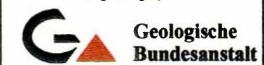


Koordinatensystem: Bundesmeldenetz



Projektleitung: W. Scherl
Ortsvermesser: Motzsch, Goldavitch
Datengewinnung: Jochum, Winkler, Supper
Plotten: Doppler, Lang, Leeb,
Nehring, Stroh, Weber
Techniker: Beckbauer,
Strumpf, Waldner

Datumaufnahme: 8. 2000
Fertigstellung: 3. 2002



4.2. Datenkontrolle

Im Anschluß an die Meßflüge wurden die digital vorliegenden Meßdaten mit Hilfe eines Farbdruckers 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 (Abb. 5) wurde mit Hilfe der aufgezeichneten Flugwegkoordinaten rekonstruiert und bei Bedarf kann diese über die Videoaufzeichnungen überprüft werden. Bei der kartenmäßigen Flugwegdarstellung wird das Bundesmeldenetz benutzt.

4.4. Elektromagnetische Widerstandskartierung

Mit dem GEOTECH - System werden

Inphase (Real)

Komponente R

und

Quadrature (Imaginär)

Komponente Q

des Magnetfeldes der im Untergrund induzierten Ströme für die vier Sendefrequenzen gemessen. Jeweils nach 3 - 4 m Wegstrecke (d.h. alle 0,1 Sekunden) werden die Daten abgefragt und auf einem Massenspeicher registriert. EM-Daten können Störsignale, sogenannte "sferics", aufgrund luftelektrischen Entladungen, insbesondere bei Gewittern enthalten.

Stark gestörte und damit für die geophysikalische Auswertung unbrauchbare Intervalle der Registrierungen werden ausgeschieden und bei der weiteren Datenverarbeitung nicht mehr berücksichtigt.

EM-Anomalien von künstlichen Leitern, wie z.B. Blechdächern, werden 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 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 Kalibrierprogramm,
 - Umrechnung der Meßsignale auf das Nullniveau,
 - Inversion der Werte R und Q in

zwei Ergebnisparameter des homogenen Halbraummodells, nämlich

- den scheinbaren spezifischen Widerstand ρ_a
- die scheinbare Tiefe d_a (eines äquivalenten Halbraumes, bezogen auf die Erdoberfläche).

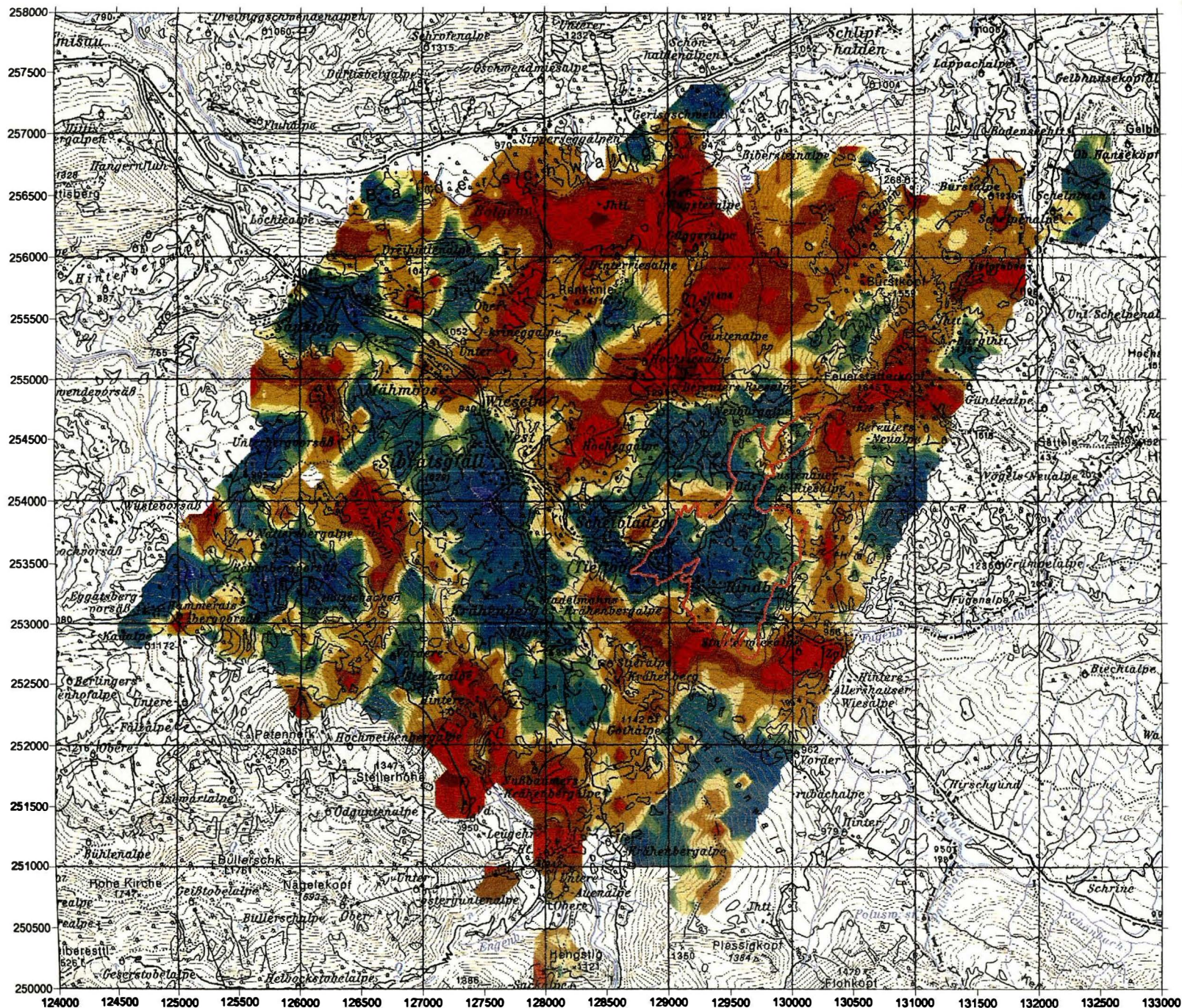
oder in

drei Ergebnisparameter des Zweischichtmodells, nämlich

- Widerstand der 1. Schichte
- Widerstand der 2. Schichte, und
- Mächtigkeit der 1. Schichte.

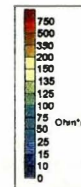
Zur Inversion der EM-Daten werden auf Modellrechnungen beruhenden Datenbanken benutzt, wobei auch die Sondenhöhe über GOK berücksichtigt wird. Bei kleinen Signalamplituden war eine deutliche, zum Teil nichtlineare Drift des Nullniveaus in den EM-Kanälen zu erkennen. Diese Drift wird vermutlich durch Temperatureffekte der Flugsonde verursacht, bedingt durch die Höhenunterschiede längs der Fluglinien. Deshalb waren die beiden Stützstellen zur Bestimmung des Nullniveaus bei Profilanfang und Profilende nicht immer ausreichend, und es mußten entsprechende Zwischenpunkte gesetzt werden.

In der Folge wurden die jeweils berechneten Ergebnisparameter mit Hilfe eines Druckers in Form von Farbrasterkarten (Abb. 6: Widerstand der 1. Schicht, Abb. 7: Widerstand der 2. Schicht, Abb. 8: Mächtigkeit der ersten Schicht) zur Darstellung gebracht.



MEßGEBIET:
SIBRATSGFALL

Abb. 7
Meßparameter
ELEKTROMAGNETIK
Widerstand 2. Schicht



0 250 500 750 1000 m

Lage des Meßgebietes - Übersicht:



Koordinatensystem: Bundesmeldenetz



Projektleitung: W. Seiberl
Datenverarbeiter: M. Böhm, B. Bader
Datenaufbereitung: A. Jocham, W. Winkler, S. Sapper
Flotten: Doppler, Lang, Leeb,
Nehring, Strobl, Wehrle
Techniker: Bockmann,
Strumpf, Wolfbauer

Datenaufnahme: 8. 2000
Veröffentlichung: 3. 2002

4.5. Isoanomalien der magnetischen Totalintensität (ΔT)

In der Abb. 9 sind die Isoanomalien der Totalintensität 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.)

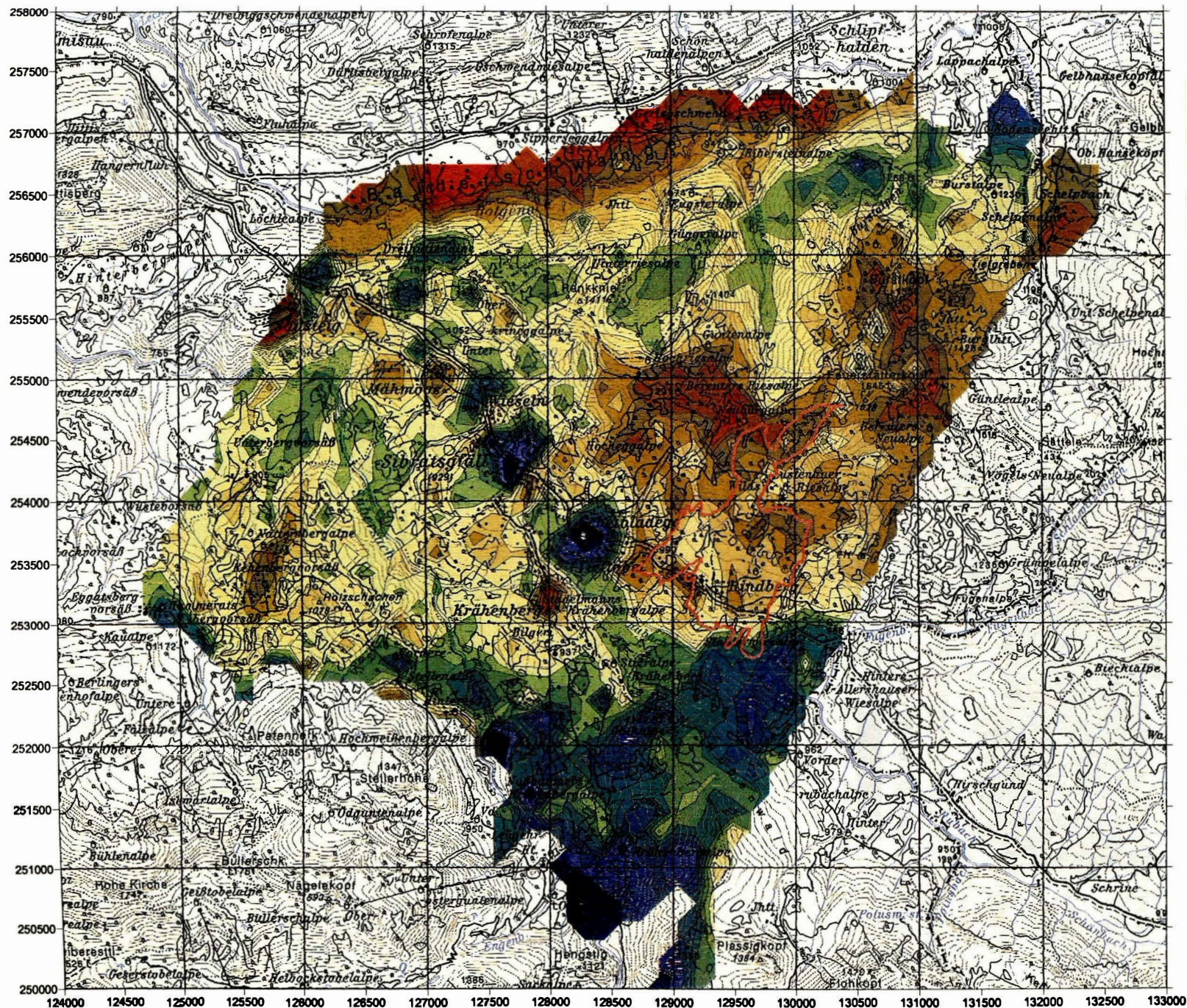
Die zeitlichen Variationen $T(t)$ werden durch ortsfeste Stationen beobachtet, wobei im Rahmen des vorliegenden Meßprogrammes eine lokale Basistation bei Bludesch verwendet wurde.

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 allen Kreuzungspunkten des Meßgebietes werden unter Anwendung statistischer Verfahren Korrekturwerte ermittelt und die Restfehler damit zum Großteil beseitigt.

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 von Farbrasterkarten flächenhaft dargestellt.

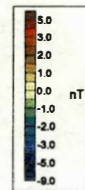
Abb. 10 zeigt eine Karte des anomalen Anteils $\Delta T(x,y,z)$ der Totalintensität für das gesamte österreichische Bundesgebiet (Seiberl, 1991). Dieses Meßprogramm wurde mit einem Flächenflugzeug durchgeführt, wobei ein Profilabstand von 2 bzw 2,2 km gewählt wurde.

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



MESSEGEBIET:
SIBRATSGFALL

Abb.9:
 Meßparameter
MAGNETIK



0 250 500 750 1000m

Lage des Meßgebietes - Übersicht:



Koordinatensystem: Bundesmeldenetz



Projektierung: W. Seiberl
 Datenerfassung: Matheika, Heiderich
 Datenumrechnung: Jochum, Wukler, Sapper
 Ploten: Doppler, Lang, Leeb
 Netzung, Streib, Wukler
 Textarbeit: Gockhofer, Struppl, Wukler

Datenerfassung: 8. 2000
 Fortführung: 3. 2002

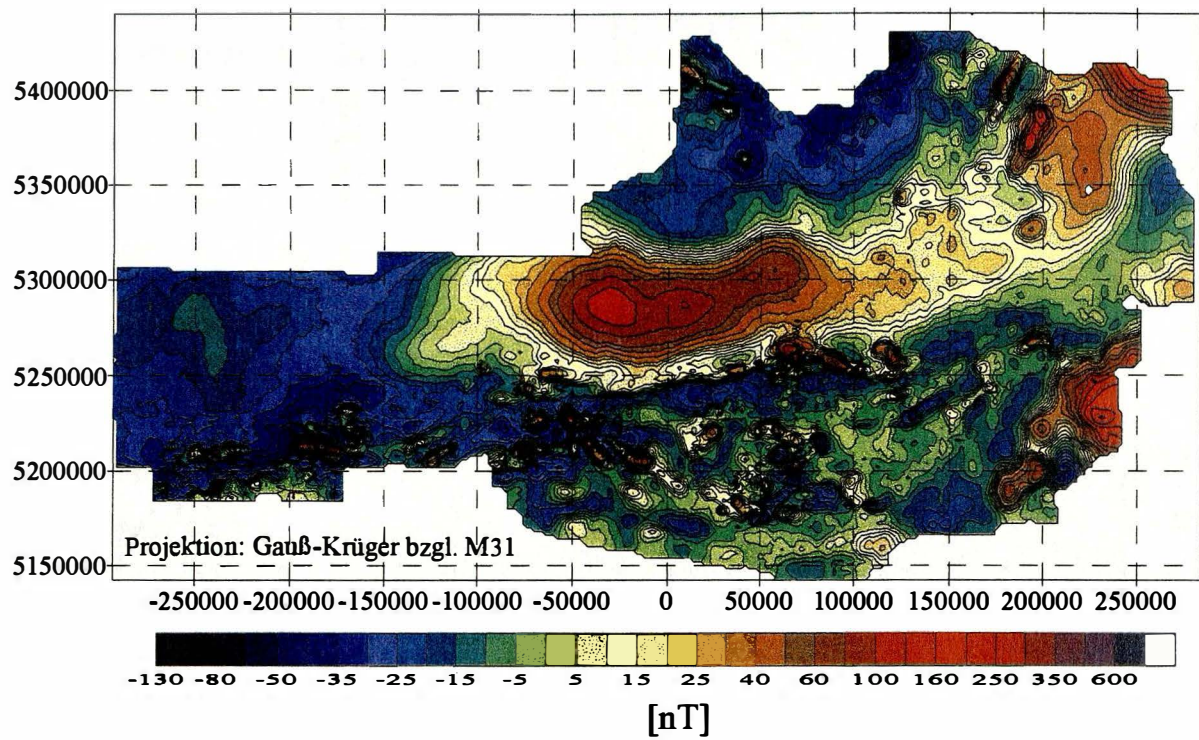


Abb. 10: Die aeromagnetische Karte der Republik Österreich

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 PGAM-1000 wird in jeweils 256 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 $\sigma/N = 1/\sqrt{N}$ kleiner als bei kleinen Zählraten.

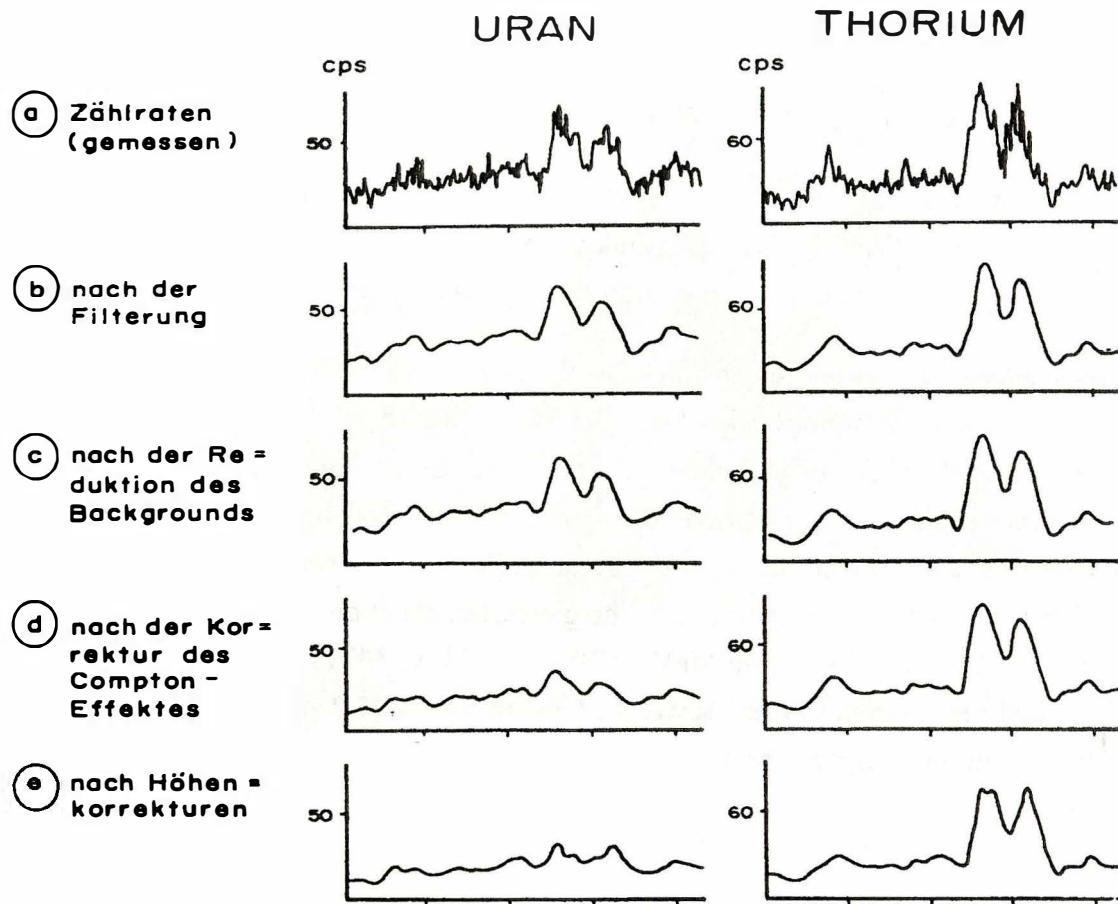


Abb. 11a - e: Darstellung der Korrekturschritte in der Gammastrahlenspektrometrie

Bei der Messung während des Fluges erhält man z.B. die in Abb. 11a 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.

Das Ergebnis dieser Filterung zeigt Abb. 11b. Das Ziel der nun folgenden Korrekturschritte, die in Abb. 11 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. 11c). 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 vorne angegebenen Fensterbereiche folgende Werte:

Compton-Streuungskoeffizienten:

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 Streuungskoeffizienten S_{UTh} in der Form

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

geschieht.

Wie Abb. 11d 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 unbekannten 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. 11e zeigt die Wirkung dieser Höhenkorrektur.

- Topographische Korrektur: Wie in Abb. 13 zu entnehmen ist, liegen im Meßgebiet sehr schwierige topographische Verhältnisse vor. Daher wurden alle radiometrischen Parameter einer topographischen Korrektur unterzogen.

- 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

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 Abb. 12 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 256 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):

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

wobei diese von der momentanen Bodenfeuchte abhängig ist. Es stellt somit die aus der obigen Gleichung berechnete Dosisleistung eine Größe dar, die für durchschnittliche 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. In der Abb. 14 ist die Verteilung der Dosisleistung in den Untersuchungsgebieten dargestellt.

Von den, bei Kernspaltungsprozessen (siehe Abb. 12) 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.

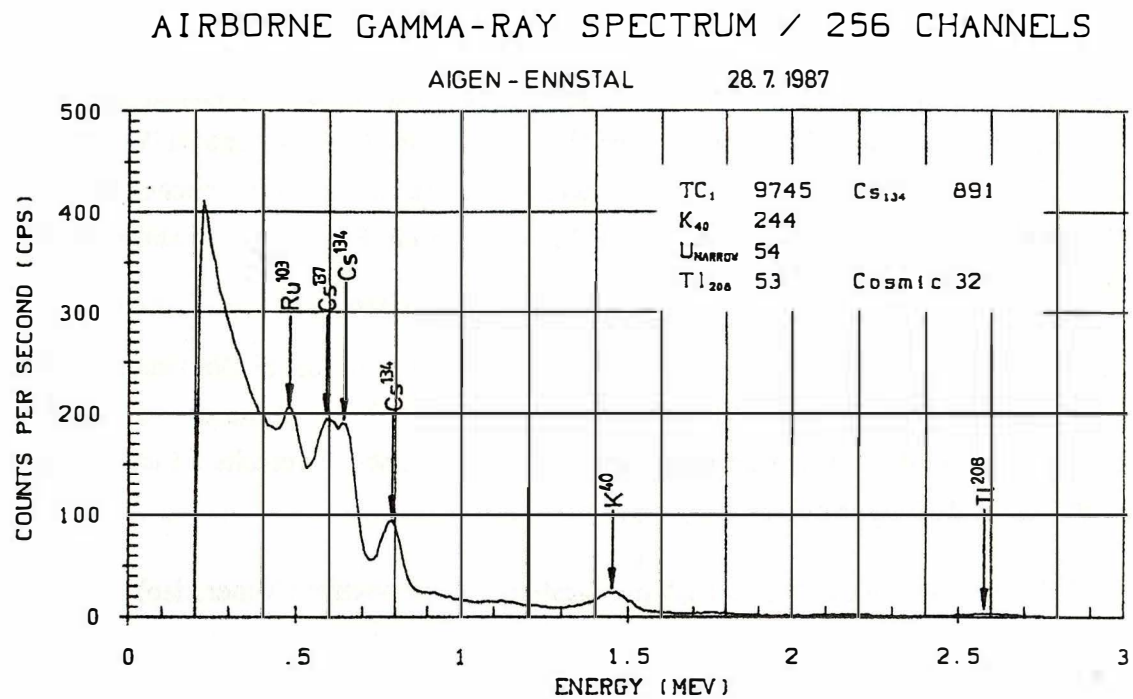
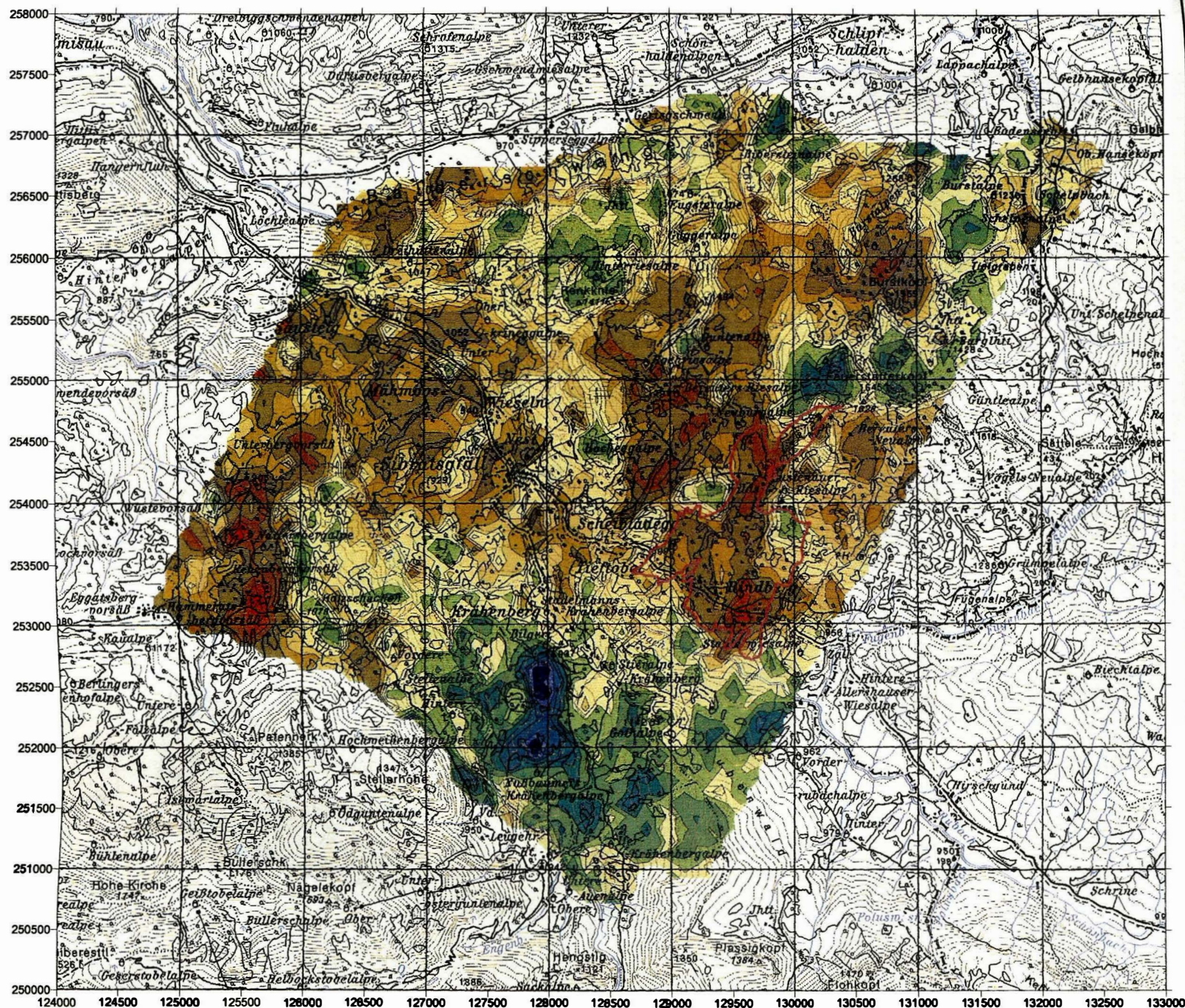
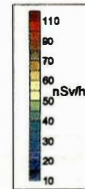


Abb. 12: Beispiel eines Gammastrahlenspektrums (MeV) im Bereich des Flugfeldes Aigen im Ennstal



MEßGEBIET: SIBRATSGFALL

Abb.14:
Meßparameter
DOSISLEISTUNG



0 250 500 750 1000 m

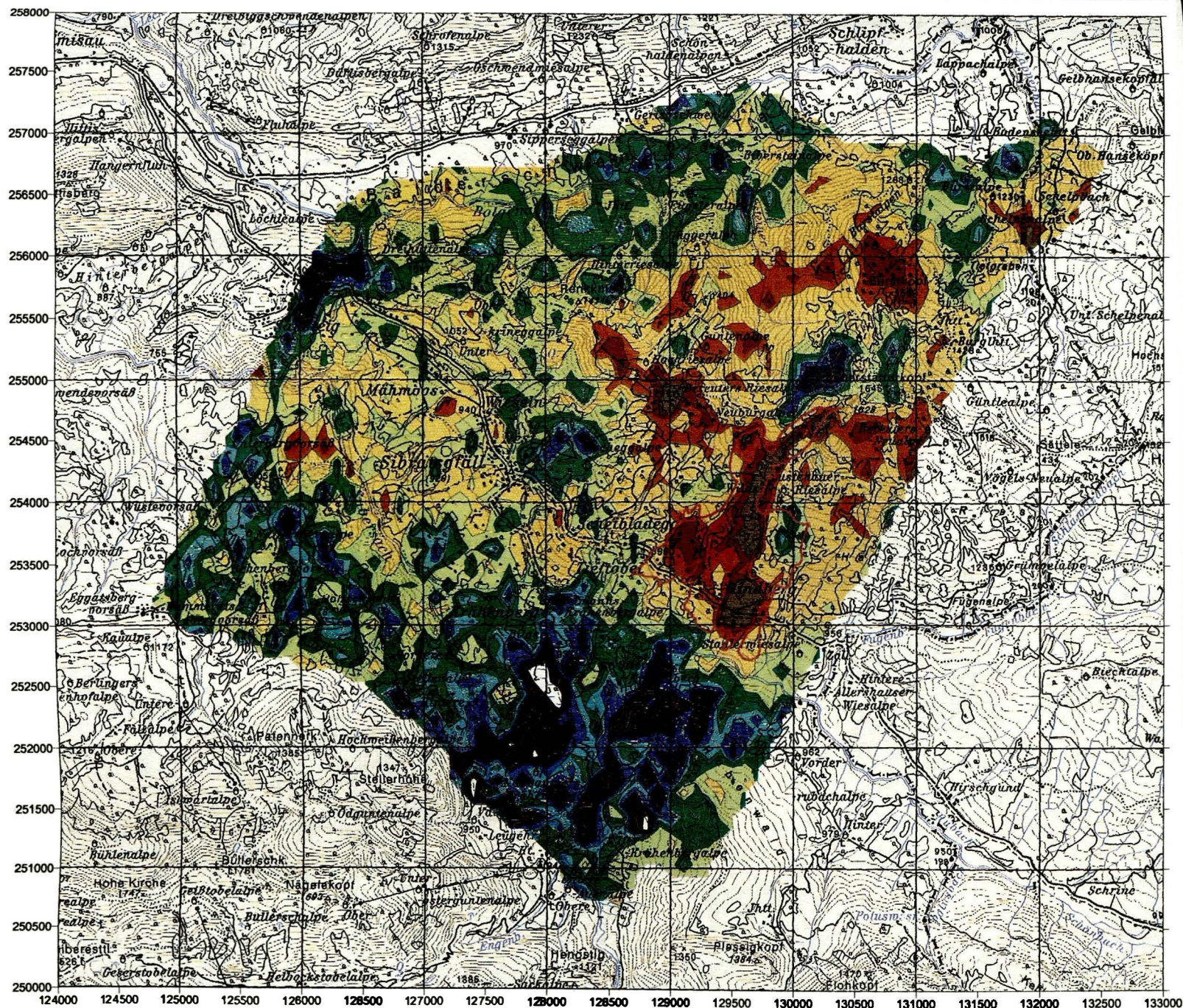


Koordinatensystem: Bundesmeldenetz



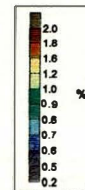
Projektleitung: W. Seiberl
Datenaufnahme: Metachitz, Goldorfsch
Datenverarbeitung: Jochum, Winkler, Sepper
Fotografie: Doppler, Lang, Lech,
Neuring, Strobl, Wehrle
Techniker: Gschlauer,
Strumpf, Waldner

Datenaufnahme: 8. 2000
Fertigstellung: 3. 2002



ÖSTERREICH
MEßGEBIET:
SIBRATSGFALL

Abb.15:
 Meßparameter
KALIUM



0 250 500 750 1000 m

Lage des Meßgebietes - Übersicht:



Koordinatensystem: Bundesmeldenetz

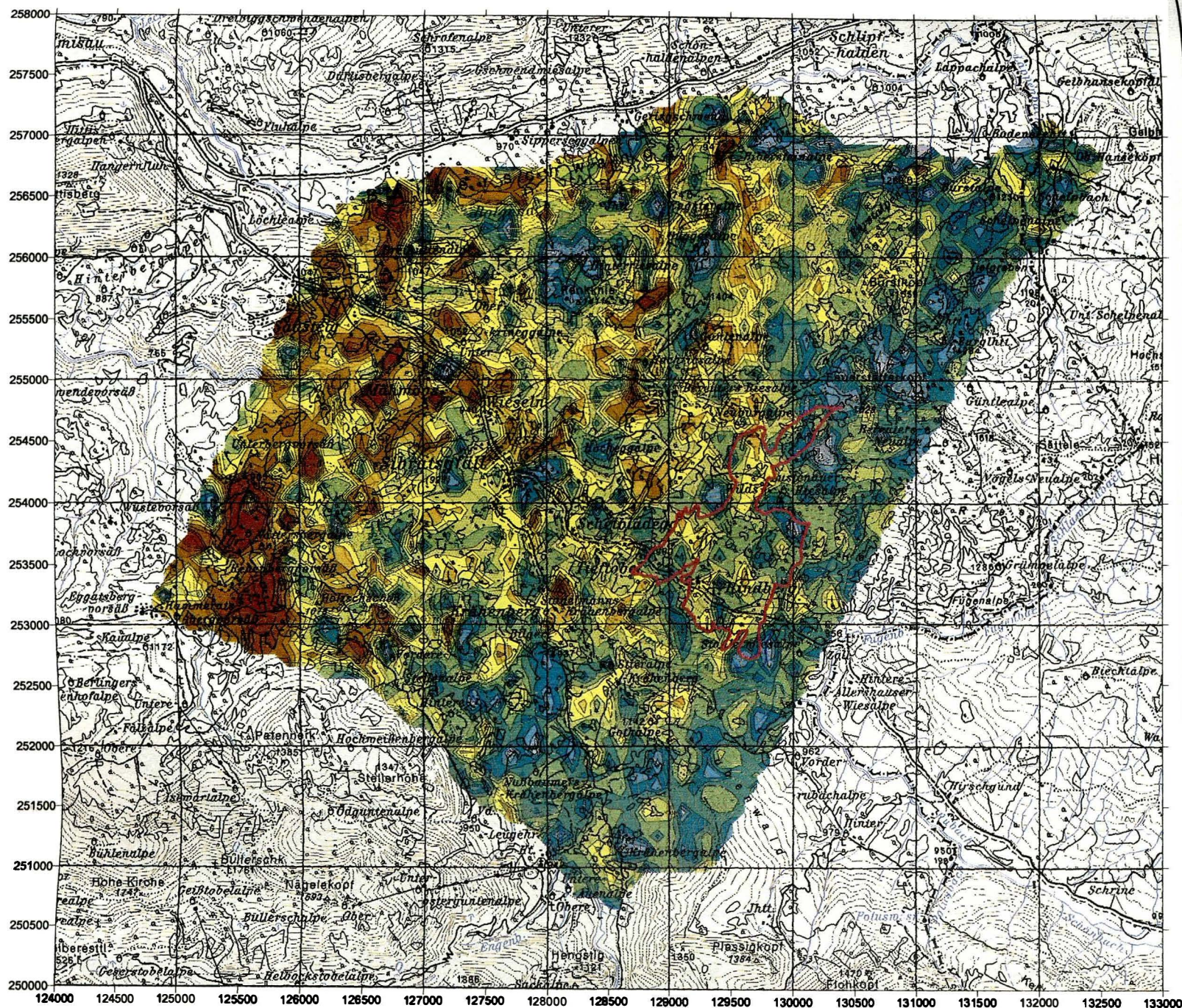


Projektdruck: W. Seifner
 Datenaufnahme: H. Seifner, W. Seifner
 Datenaufbereitung: J. Seifner, W. Seifner
 Plottung: Doppler, Lang, Leck
 Nachtrag: Strobl, W. Seifner
 Technische Bearbeitung: Strobl, W. Seifner

Datenaufnahme: 8. 2000
 Fertigstellung: 3. 2002

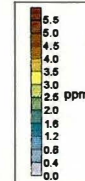


**Geologische
 Bundesanstalt**



MEDGEBIET: SIBRATSGFALL

Abb.16:
Meßparameter
URAN



0 250 500 750 1000m

Lage des Meßgebietes - Übersicht:



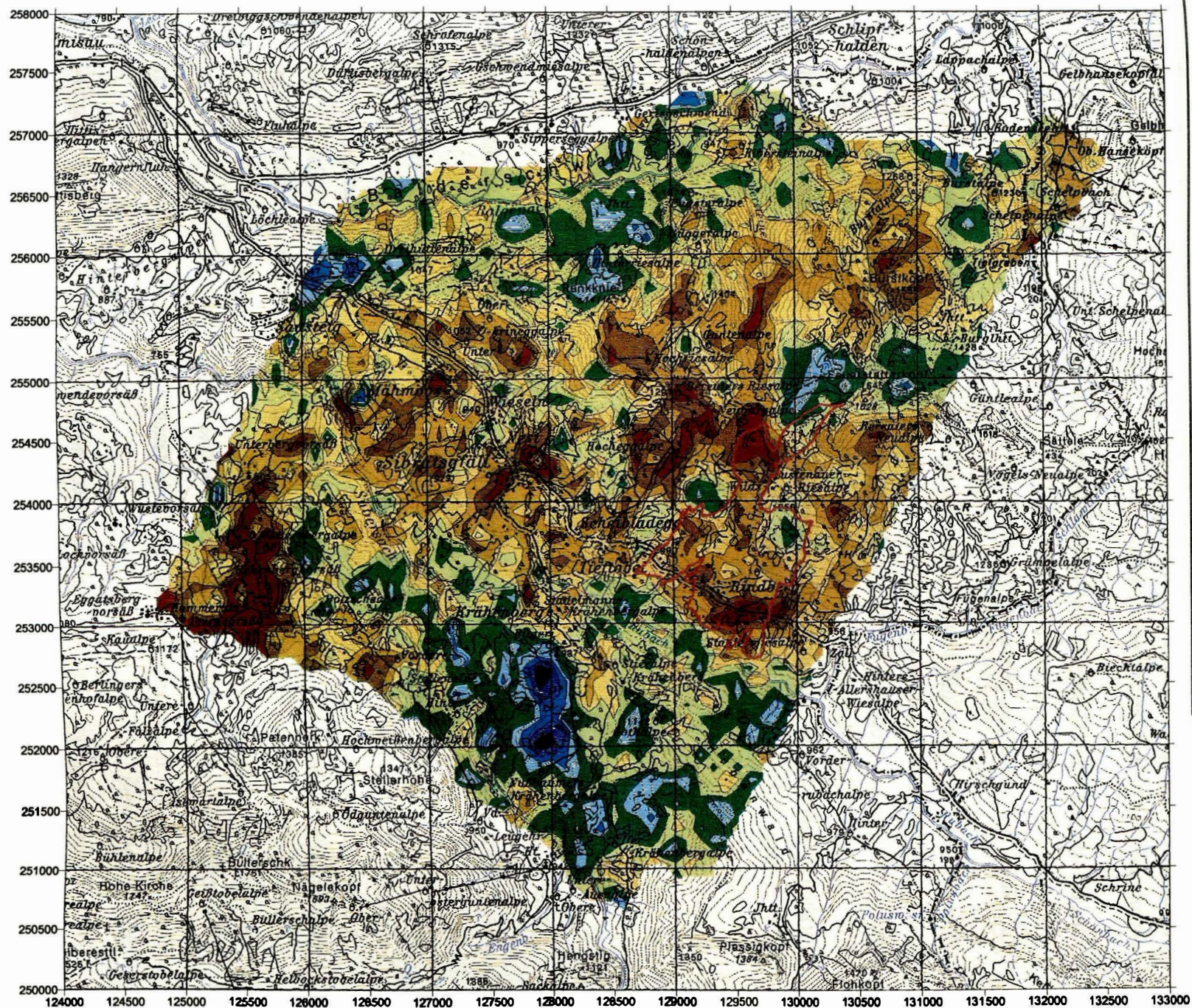
Koordinatensystem: Bundesmeldenetz



Projektleitung: W. Seiberl
Datenaufnahme: M. Seiberl, H. Seiberl
Datenverarbeitung: J. Seiberl, W. Seiberl, S. Seiberl
Fotografie: Doppler, Lang, Leeb
Technische Zeichnung: Seiberl, Seiberl
Schrift: Seiberl, Seiberl

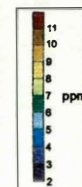
Datenaufnahme: 8. 2000
Fertigstellung: 3. 2002





AERO-GEOPHYSIK
ÖSTERREICH
MEßGEBIET:
SIBIRATSGFALL

Abb.17:
Meßparameter
THORIUM



Lage des Meßgebietes - Übersicht:



Koordinatensystem: Bundesmeldenetz



Projektleitung: W. Seibert
Datenaufnahme: Motacka, Heldorffsch
Datenprocessing: Jochim, Winkler, Sapper
Ploten: Doppler, Lang, Leeb,
Nehring, Strobl, Wehrle
Techniker: Beuchner,
Strumpf, Waldbauer

Dokumentennummer: 8, 2000
Fertigstellung: 3, 2002

Geologische
Bundesanstalt

4.6.3. Herstellung der Farbrasterkarten

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 Farbrasterdarstellung beeinträchtigen würde. Um dies zu vermeiden, wurden teilweise entsprechende Korrekturen vorgenommen.

Ähnlich wie bei der Darstellung der elektromagnetischen Daten wurden in der Folge die korrigierten Energiesummenwerte für das K-, U- und Th-Fenster durch Farbrasterkarten flächenhaft zur Darstellung gebracht (Abb. 15 bis Abb. 17).

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) (s.o.: topographische Korrektur).

4.7 Infrarot und Bodenfeuchte

Die Bestimmung der Bodenfeuchte in Prozent-Wassergehalt des Erdbodens wird mit einer passiven L-Band-Antenne durchgeführt. Diese mißt die vom Untergrund bei 1.4 GHz reflektierte Strahlung. Die Intensität dieser Strahlung ist stark vom Bodenwassergehalt abhängig. Um den Wassergehalt berechnen zu können, muß man außerdem die Oberflächentemperatur des Erdbodens kennen. Diese wird mit einem Infrarotsensor im Frequenzbereich 8-14 μm bestimmt. Die Amplituden der reflektierten Strahlung, die Oberflächentemperatur, die Rauigkeit und der Bewuchs des Erdbodens werden dann in bestimmten Modellen verarbeitet und liefern als Endprodukt die Bodenfeuchte in Prozent-Wassergehalt. Die „Eindringtiefe“ dieses Verfahrens liegt bei 5-10 cm.

Die Ergebnisse der Bodentemperatur und der Bodenfeuchtekartierung sind in Abb. 18 sowie in Abb. 19 dargestellt.

Der Bodenwassergehalt ist von großer Bedeutung für viele hydrologische, agrar-meteorologische, ökologische und biologische Prozesse. Obwohl das Gesamtvolumen an

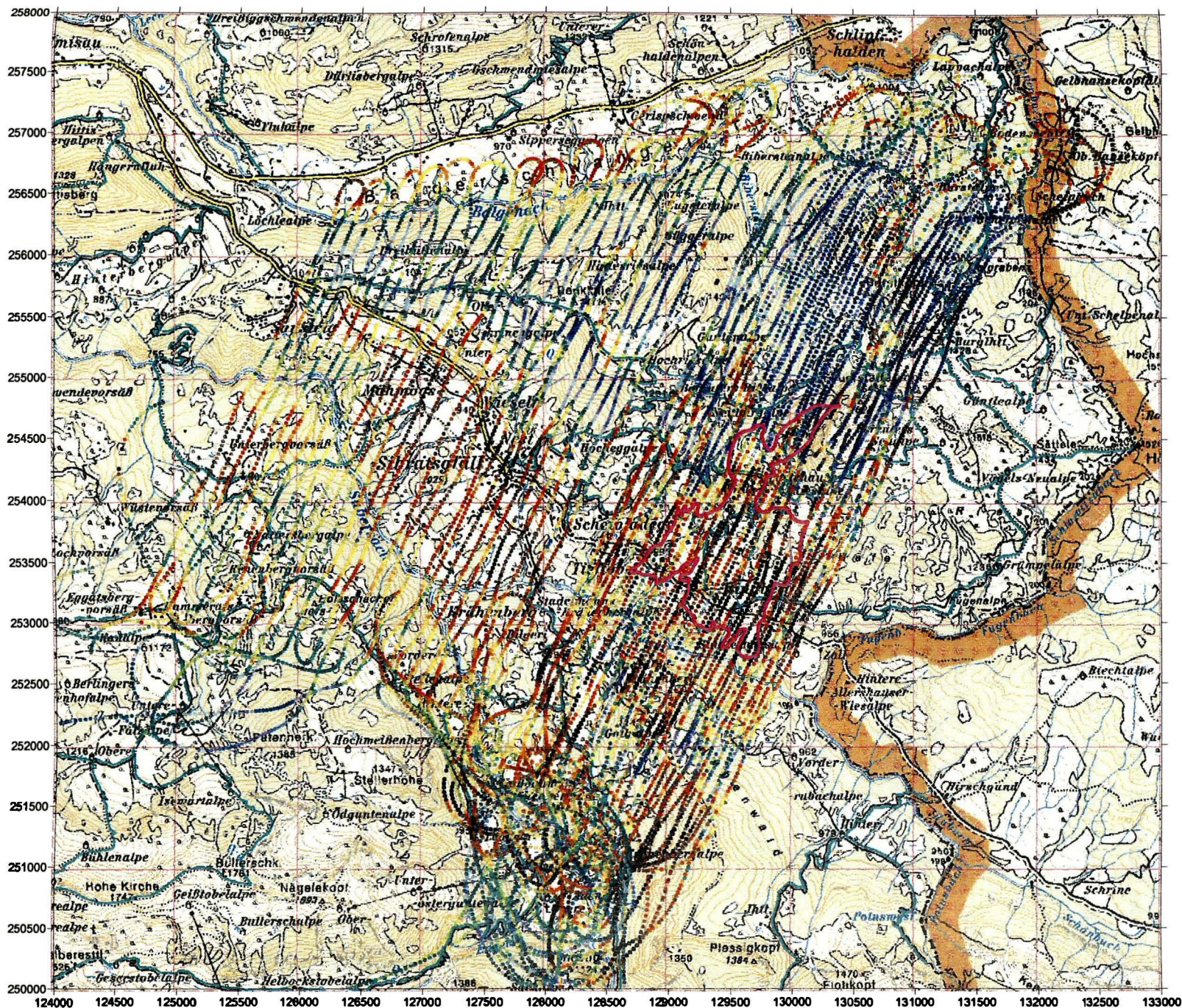
Bodenfeuchte gering ist, kontrolliert der oberflächennahe Wassergehalt den Energieaustausch zwischen dem Erdboden und der Atmosphäre. Die Verbindung der Bodenfeuchte zu Evaporation und Transpiration ist äußerst wichtig zur Vorhersage der reziproken Einflüsse der Erdoberfläche auf das Klima und Wetter.

Die **Anwendungen** liegen daher hauptsächlich im Bereich

- ☐ der Land- und Forstwirtschaft
- ☐ der Abschätzung von Niederschlagsraten verteilt über weiträumige Gebiete
- ☐ des Einsatzes künstlicher Bewässerung:

Es kann sowohl der Zeitpunkt des Beginns - in Zusammenhang mit der mittelfristigen Wetterprognose - als auch die notwendige Dauer der künstlichen Bewässerung ermittelt werden. Dadurch können erhebliche Mengen an Wasser eingespart werden.

- ☐ der Ermittlung oberflächennaher Wasserbewegungen.



MESSEGEbiet: SIBRATSGFALL

Abb.18:
Messparameter
BODENTEMPERATUR

17.0 - 18.0
18.0 - 19.3
19.3 - 20.8
20.8 - 21.4
21.4 - 21.8
21.8 - 22.2
22.2 - 22.6
22.6 - 22.9
22.9 - 23.1
23.1 - 23.4
23.4 - 23.6
23.6 - 24.1
24.1 - 24.6
24.6 - 25.1
25.1 - 25.1
25.1 - 26.0

0 250 500 750 1000 m

Lage des Messgebietes - Übersicht:



Koordinatensystem: Bundesmeldenetz



Projektleitung: W. Seibert
Datenaufnahme: M. Schick, W. Winkler, S. Sapper
Flächen: Doppler, Lang, Lech,
Nähring, Strobl, Wehrle
Techniker: Gschlatter,
Stadler, Waldner

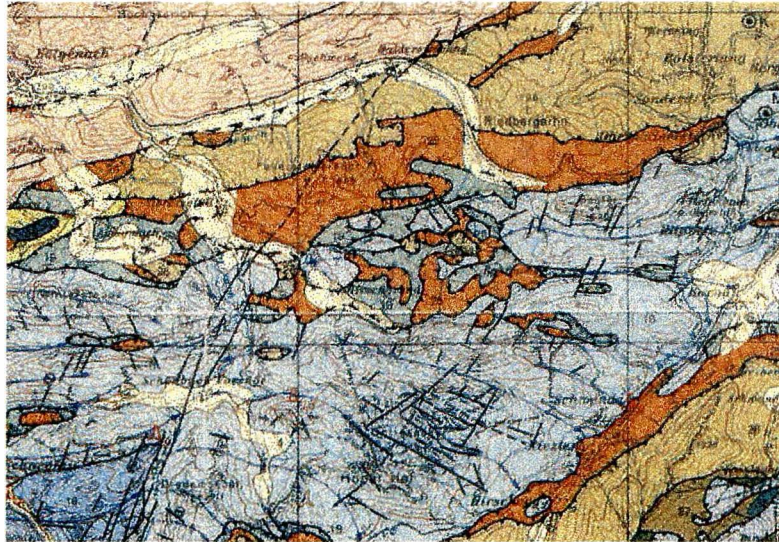
Datumerfassung: 8. 2006
Fertigstellung: 3. 2007

5. Geologie des Meßgebietes und erste Ergebnissdiskussion

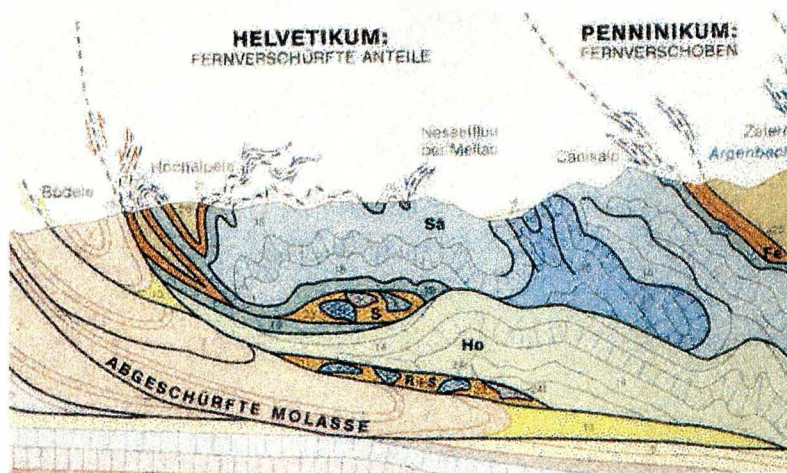
5.1 Geologische Situation

Anlassfall für den Messflug war eine ausgedehnte Hangbewegung (Rindberg / Ost Sibratsgfall) und die Frage, ob weitere Risikozonen in der Umgebung dieser Hangbewegung zu finden sind.

Das Messgebiet betrifft einen tektonisch äußerst komplexen Abschnitt am Nordrand der Ostalpen.



*Abb. 20: Ausschnitt aus der Geologisch-tektonischen Übersichtskarte von Vorarlberg
1:200.000 (OBERHAUSER & RATAY 1998)*



*Abb. 21: Tektonischer Schnitt durch den Nordrand der Ostalpen im Bregenzer Wald; aus:
OBERHAUSER & RATAY 1998*

Die Nordgrenze des Messgebiets bildet das Balderschwanger Tal, das die abgeschürfte Molasse von den darauf überschobenen Serien des Helvetikums und Flysch trennt. Von Nord nach Süd finden sich im Messgebiet folgende tektonische Einheiten (vereinfacht):

- abgeschürfter und in die Schuppen und Decken des Ultrahelvetikums eingefalteter Flysch,
- Serien der Feuerstätter Klippendecke und
- Serien der helvetischen Deckenstapels.

Im Detail sind diese Serien mehrfach ineinander verschuppt und komplex verfaltet. Diese Intensiv-Tektonik am Alpennordrand führte zu einer weitgehenden Zerrüttung der Gesteinsserien. Der verbreitet hohe Zerklüftungsgrad, verbunden mit hochteilbeweglichen Gesteinsserien (Tonschiefer, Mergel, u.ä.) führt zu Risiken ausgedehnter Rutschungen und Hangkriechens. Ein aktuelles Beispiel ist die Rutschung am Rindberg östlich Sibratsgfall. Den Hauptbewegungshorizont bilden dort die Sandstein-Tonschiefer-Abfolgen der Junghansenschichten.

Nicht nur tektonisch ist der Messbereich kompliziert, auch die stratigraphischen Verhältnisse innerhalb der einzelnen tektonischen Einheiten sind sehr differenziert. Eine Auflösung der Zusammenhänge zwischen Untergrundserie und geophysikalischen Messergebnissen muss daher besonders in diesem Fall den Weg über detaillierte Geländeaufnahmen gehen!

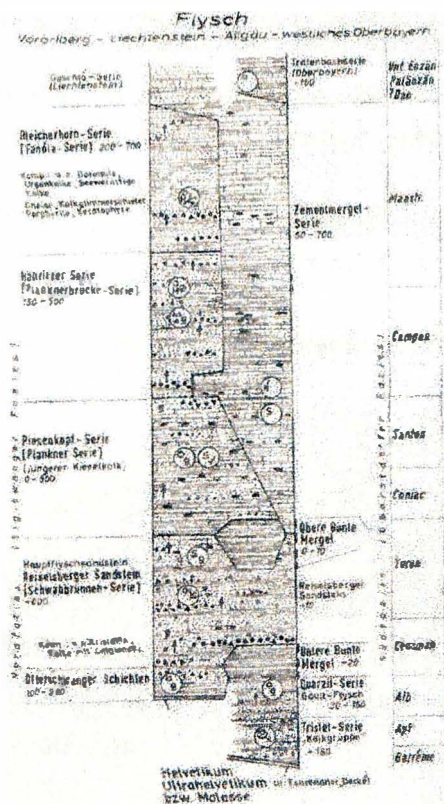


Abb. 22: Stratigraphie Rheno-danubischer Flysch/Vorarlberg; aus: GWINNER 1971

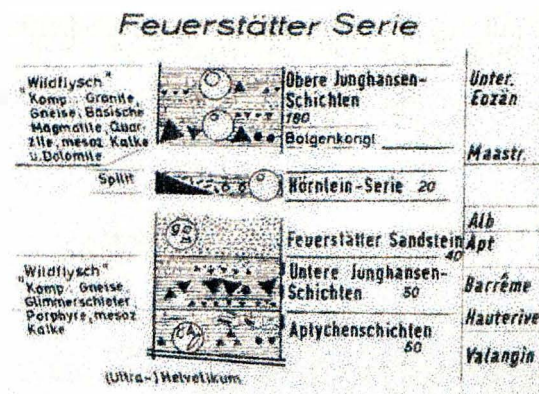


Abb. 23: Stratigraphie Feuerstätter Klippendecke; aus: GWINNER 1971

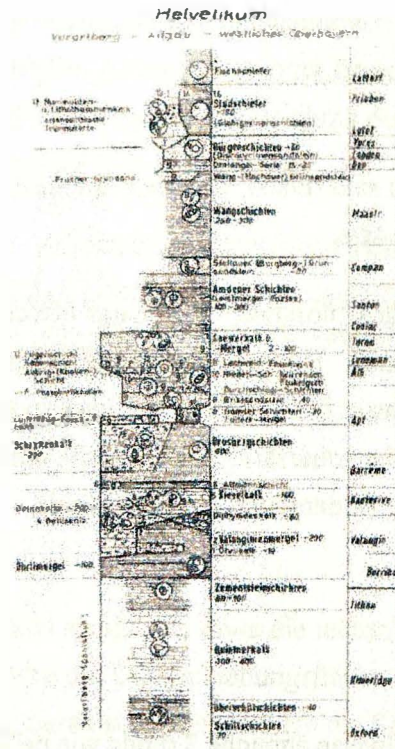


Abb. 24: Stratigraphie der helvetischen Decken in Vorarlberg; aus: GWINNER 1971

Nach der geologischen Manuskriptkarte des Blattes Bezau (ZACHER 1995) fehlen Reste von Moränen im Messgebiet. Möglicherweise wurden diese, soweit vorhanden, durch spät- und nacheiszeitliche Erosion und Hangbewegungen verlagert und abtransportiert. Die pleistozänen Sedimente werden durch Ablagerungen in Eisrandseen der Rückzugs- und Abschmelzphase des letzten Würmgletschers repräsentiert. Dies sind Schotterkörper, in denen immer wieder feinkörnige Sedimente (Schluffe, „Seetone“) eingelagert sind.

5.2 Erste Beurteilung der aerogeophysikalischen Meßergebnisse

Radiometrie

Die Intensität der Messsignale der natürlichen radioaktiven Strahlung sind nicht nur vom Aufbau des Untergrundes abhängig, sondern auch von der Verteilung der Landschaftsnutzung, der Bodenmächtigkeit, von der Art und Dichte der Vegetation sowie des Feuchtigkeitsgrads der Böden.

Die Messgebiete sind kleinräumig landwirtschaftlich strukturiert; Grünland und Waldflächen wechseln sich unregelmäßig ab.

Radiometrie/Thorium

Die Messergebnisse von Thorium sind relativ komplex und dürften in ihrer Verteilung stark von der Vegetation mitbeeinflusst sein.

Deutliche Minima stehen mit aufgeschlossenen Serien der Flysch und mit karbonatischen Serien im Helvetikum in Verbindung. Höhere Messwerte treten sowohl in Serien des Ultrahelvetikums und Helvetikums auf, als auch in den pleistozänen Eisrandsedimenten. Die Messwerte insbesondere in Bereichen quartärer Serien dürfte durch die Wald-Grünland-Verteilung und die teilweise hohe Bodenfeuchte maskiert sein.

Radiometrie/Uran

Bei den Uranmesswerten sind teilweise ähnliche Trends wie bei Thorium zu beobachten, besonders im südwestlichen Teil des Messgebiets. Im Bereich der ultrahelvetischen Serien besteht wenig Übereinstimmung. Die sollte durch Geländemessungen überprüft werden.

Radiometrie/Kalium

Die Kalium-Messwerte sind gegenüber denen von Thorium und Uran relativ logisch zu interpretieren. Maxima sind dort zu finden, wo tonreiche Gesteinsserien im Untergrund oder deren Schutt und Verwitterungsprodukte zu tonmineralreichen Böden führen – insbesondere im Bereich der Verbreitung der Junghansen-Schichten. Sandsteinreiche oder karbonatische Serien charakterisieren die Minima.

Bodentemperatur und Bodenfeuchte

Die Bodentemperatur wird durch berührungslose Infrarot-Messung erfasst. Es erfolgt dabei keine Kontrolle am Boden während der Befliegungszeitpunkte. Die Bodentemperaturverteilung spiegelt die Morphologie, Exposition und Vegetationsverteilung wider.

Die Verteilung der Bodentemperatur gibt eindeutig die Grünland-Wald-Gliederung des Messgebiets wider, wobei in diesem Fall die Exposition wenig Rolle zu spielen scheint.

Bodenfeuchte wird durch Rückstrahlung in einem bestimmten Frequenzbereich (L-Band) bestimmt. Es erfolgen dabei keine Bodenkontrollen oder Bodenfeuchtemessungen an ausgewählten Standorten zur Kalibrierung. Die Darstellung der gemessenen Bodenfeuchte kann somit „nur“ die relativen Unterschiede wiedergeben.

Relativ hohe Bodenwassergehalte werden auf zahlreichen Flächen im gesamten Messgebiet verstreut angetroffen. Ein eindeutige Zuordnung zu geologischen Einheiten oder bestimmten Serien kann dabei vorläufig nicht getroffen werden. Detaillierte Geländekontrollen wären notwendig.

Magnetik

Die Verteilung der Suszeptibilitäten spiegelt in etwa die tektonische Gliederung des Messgebiets wider. Im Norden wird die Überschiebungsfläche auf die Molassezone durch hohe Suszeptibilitäten nachgezeichnet; daran schließen südlich die Serien des Flysch als Minima an. Die Serien des Ultrahelvetikums werden wiederum durch höhere Suszeptibilitäten charakterisiert (Kristallinkomponenten in den grobkörnigeren Sedimenten, einschl. Ultrabasiten). Die Karbonatserien des Helvetikums im Südosten besitzen demgegenüber geringere Suszeptibilität.

Im Einzelnen sind jedoch die Verteilungen zu prüfen und die Interpretation durch Modellrechnungen abzusichern.

Elektromagnetik

Die Verschneidung der Elektromagnetik-Messwerte mit dem digitalen Höhenmodell erlaubt Schnitte in Tiefenstufen. Diese zeigen, dass eine Interpretation auf Grund der lokalen geologischen Situation bis in eine Tiefe etwa 65m sinnvoll erscheint.

Vier Bereiche mit geringen (scheinbaren) Widerständen lassen sich im Messgebiet abgrenzen:

- die quartären Sedimente in der näheren Umgebung von Sibratsgfäll
- den Bereich der Hangbewegung Rindberg und deren westliche Fortsetzung
- einen Abschnitt in den Talsedimenten des Balderschwanger Tals
- einen rechtsufrigen Hangbereich des Nebentales zum Balderschwanger Tal im Norden des Messgebietes

Die Schnitte nach Tiefenstufen lassen für die beiden letzteren Bereiche nur eine geringe Mächtigkeit (3-4m) der Schichten mit geringen Widerständen annehmen. Das heisst es handelt sich wahrscheinlich um geringmächtige tonige Deckschichten (Vernässungszonen).

Für die beiden anderen Bereiche ist jedoch jeweils ein ganz anderer Untergrundaufbau abzuleiten, da die Zonen geringerer Widerstände in größeren Tiefen (30-40m) ausgedehnter werden. Das heisst:

- In den pleistozänen Eisrand- und Stauseesedimenten, die die unteren Hänge und die Verebnungsflächen bei Sibratsgfäll und auf der gegenüberliegenden Talseite aufbauen, sind oberflächennahe und in größerer Tiefe feinkörnigere Schichtpakete eingebaut (Schluffe, „Seetone“).

Hochteilmobile, tonige Serien treten verbreitet in den Hangbereichen Ost Sibratsgfäll auf, wobei diese Gesteinsserien eine größere Mächtigkeit besitzen. Mit weiteren Hangbewegungen muss auf diesen Flächen gerechnet werden. Weitere Detailuntersuchungen sind hier unbedingt anzusetzen!

6. Literatur

a.) Geophysik

BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT UND UMWELTSCHUTZ: Tschernobyl und die Folgen für Österreich. - Ber. Umweltbundesamt, Wien, 1986.

FRASER, D.C.: Resistivity mapping with an airborne multicoil electromagnetic system. Geoph., **43**, Tulsa, 1978.

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.

SEIBERL, W. et al.: Aeromagnetische Karte der Republik Österreich 1:1000000, Geologische Bundesanstalt, Wien 1991.

b.) Geologie

DE GRAAFF, L.W.S.: Zur Morpho- und Chronostratigraphie des Oberen Würm in Vorarlberg.- Jb.Geol.BA, **135**, 809-824, Wien 1992

DE JONG, M.G.G., DE GRAAFF, L.W.S. & RUPKE, J.: Der Eisabbau im Vorderen Bregenzerwald und in den Nachbargebieten (Vorarlberg, Österreich ; Bayern, Deutschland) nach dem letzteiszeitlichen Eishochstand.- Jb.Geol.BA, **138**, 27-54, Wien 1995

GWINNER, M.P.: Geologie der Alpen.- Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1971

LOACKER, H.: Kraftwerksbauten im Bregenzer Wald und ihre Anpassung an die geologischen Verhältnisse.- Jb.Geol.BA, **135**, 857-866, Wien 1992

OBERHAUSER, R. & RATAJ, W.: Geologisch-tektonische Übersichtskarte von Vorarlberg 1:200.000.- Geologische Bundesanstalt, Wien 1998

ZACHER, W.: Geol.Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 113 Mittelberg.- Geol.Bundesanstalt, Wien 1990

ZACHER, W.: Geol.Manuskriptkarte Blatt 112 Bezau.- Unveröffentl.Manuskriptkarte Archiv
Geol.Bundesanstalt, München 1995