



**GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT**



**AEROGEOPHYSIKALISCHE  
VERMESSUNG**

**im Bereich**

**Drautal/Gailtal 1  
Kärnten**

**Vollzug des Lagerstättengesetzes: Projekte ÜLG-20/03b &  
ÜLG-20/04 & ÜLG-28/05b**

# AEROGEOPHYSIKALISCHE VERMESSUNG

im Bereich

## Drautal/Gailtal 1 Kärnten

von

Andreas Ahl  
Gerhard Bieber  
Klaus Motschka  
Peter Slapansky  
Edmund Winkler

Wien, 2006

Geologische Bundesanstalt Wien

	ÜLG-20	ÜLG-28	ÜLG-35
2003a	Schruns		
2003b	Drautal/Gailtal 1		
2004	Drautal/Gailtal 1		Melk
2005a	Drautal/Gailtal 2	Arzberg 1	Jahresbericht
2005b		Drautal/Gailtal 1	Drautal/Gailtal 2
2005c		Sibratsgfäll	
2006a	Drautal/Gailtal 2	Drautal/Gailtal 2	Drautal/Gailtal 2
2006b	Eferding	Arzberg 2	
2006c	Ulrichsberg		

Rot: vorliegender Bericht  
Grau: erledigt  
Weiß: ausständige Berichte

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
1. Zielsetzung und Ablauf des Projekts .....	2
2. Verwendete Messmethoden und allgemeine Bemerkungen zu aerogeophysikalischen Messungen.....	3
3. Planung und Durchführung der aerogeophysikalischen Vermessung.....	5
3.1. Messausrüstung.....	5
3.2. Fluglinien.....	8
3.3. Durchführung der Messungen .....	9
3.4. Personal.....	12
4. Datenverarbeitung und Kartenherstellung .....	13
4.1. Aufgabe der ADV .....	13
4.2. Datenkontrolle.....	14
4.3. Flugwegdaten.....	14
4.4. Elektromagnetische Widerstandskartierung.....	14
4.5. Isanomalien der magnetischen Totalintensität ( $\Delta T$ ).....	15
4.6. Radiometrische Kartierung.....	16
4.6.1. Die Quellen der natürlichen Gammastrahlung.....	16
4.6.2. Korrekturen der Messdaten .....	17
4.6.3. Herstellung der Farbrasterkarten .....	22
4.7. Infrarot und Bodenfeuchte .....	22
5. Methodenentwicklung des aerogeophysikalischen Processings.....	23
5.1. Inversion der Aeroelektromagnetik: Probleme und Lösungen.....	23
5.2. Problem der exakten Höhenbestimmung.....	25
6. Geologie des Messgebietes und erste Ergebnisdiskussion.....	27
6.1. GIS-Grundlagen .....	27
6.2. Geographische und geologische Übersicht.....	27
6.3. Radiometrie.....	29
6.4. Elektromagnetik.....	34
6.5. Magnetik.....	34
7. Literatur .....	39
Beilage 1 .....	42
Ergebnisse radiometrischer Messungen.....	42
Beilage 2.....	48
Isanomalien der Totalintensität.....	48

## Zusammenfassung

Die aerogeophysikalische Vermessung im Bereich Drautal / Gailtal 1 (Kärnten) erfolgte in den Jahren 2003 bis 2005 und hatte die Erarbeitung von Grundlagen für die geologische Kartierung, die Erfassung von Rohstoffhoffnungsgebieten sowie die Unterstützung in Fragen der angewandten geologischen Kartierung zum Inhalt.

Zur Anwendung kamen die aerogeophysikalischen Messverfahren von Elektromagnetik, Gammastrahlenspektrometrie, Magnetik, und Bodenfeuchte. Die Fertigstellung der aerogeophysikalischen Ergebniskarten wurde im Sommer 2006 abgeschlossen. Die Editierung der Daten ist noch nicht abgeschlossen, an der Verfeinerung der Ergebnisse wird laufend weiter gearbeitet.

Die geologische Interpretation der Daten basiert einerseits auf der Auswertung der Radiometrie, andererseits auf der geologischen Interpretation der Magnetik.

Anhand der Gammastrahlenspektrometrie wurde eine flächenhafte, geologische Charakterisierung der Gesteinsserien in Bezug auf ihre K-, U- und Th-Gehalte, sowie die Erkennung von lithologischen Inhomogenitäten („Anomalien“) innerhalb einer Gesteinsserie vorgenommen. Die wichtigsten Kaliumminerale sind Glimmer (Muskowit, Biotit), kaliumhaltige Tonminerale, sowie Kalifeldspat, während Uran und Thorium überwiegend an akzessorische Schwerminerale (Zirkon, Monazit, Titanit, Orthit, Xenotim etc.) gebunden sind.

Aus den Ergebnissen der Radiometrie können Informationen für quartärgeologische, sowie geotechnische und baueologische Fragestellungen gewonnen werden (z. B. Feststellung unterschiedlicher Zusammensetzungen in den Talalluvionen, Charakterisierung von Schwemmfächern, deren Einzugsgebiet und eventuelle Fortsetzung im Material des Talbodens, Abgrenzung von Moränenmaterial und Hangschutt, bzw. von Moränenstreu über andersartigem anstehendem Gestein, Feststellung von Inhomogenitäten innerhalb von Schutt- oder Murenkörpern aufgrund lithologischer bzw. Korngrößenbedingter Unterschiede etc.).

Die Ergebnisse der Magnetik sind in Form einer Isanomalenkarte der magnetischen Totalintensität dargestellt, wobei Abweichungen der Totalintensität des Erdmagnetfeldes vom globalen Internationalen Geomagnetischen Referenzfeld (IGRF), welche durch die magnetischen Eigenschaften der oberen bis obersten Erdkruste bedingt sind, als Anomalien erkennbar werden.

Zusammenfassend betrachtet ist das Messgebiet durch eine relativ inhomogene geomagnetische Struktur mit zahlreiche kleinräumige Anomalien gekennzeichnet, die aber durchaus beträchtliche Amplituden aufweisen können. Diesen zahlreichen Anomalien wurde in der geologischen Interpretation nachgegangen, und versucht, basierend auf bisherigem, geologischem Wissensstand, Erklärungsmodelle zu finden.

## 1. Zielsetzung und Ablauf des Projekts

Mit der hubschraubergeophysikalischen Vermessung im Bereich Drautal/Gailtal/K (ÖK-Blätter 181, 182, 183, 198, 199, 200)) sollen in erster Linie geowissenschaftliche Beiträge zur

- Erkundung und Kartierung von Rohstoffen
- sowie zur
- Unterstützung der regionalen geologischen Kartierung

erstellt werden.

Die Messflüge im genannten Messgebiet - die Lage des Messgebietes kann der Abb. 1.1 entnommen werden - fanden in den Jahren 2003 bis 2005 statt und werden im Jahr 2006 abgeschlossen. Dabei wurden mehrere temporäre Hubschrauberlandeplätze eingerichtet (Spittal/Drau, Villach sowie Dellach im Gailtal). Mit der Herstellung erster Ergebniskarten wurde im Sommer 2005 begonnen. Die Fertigstellung letzterer wurde im Sommer 2006 abgeschlossen.

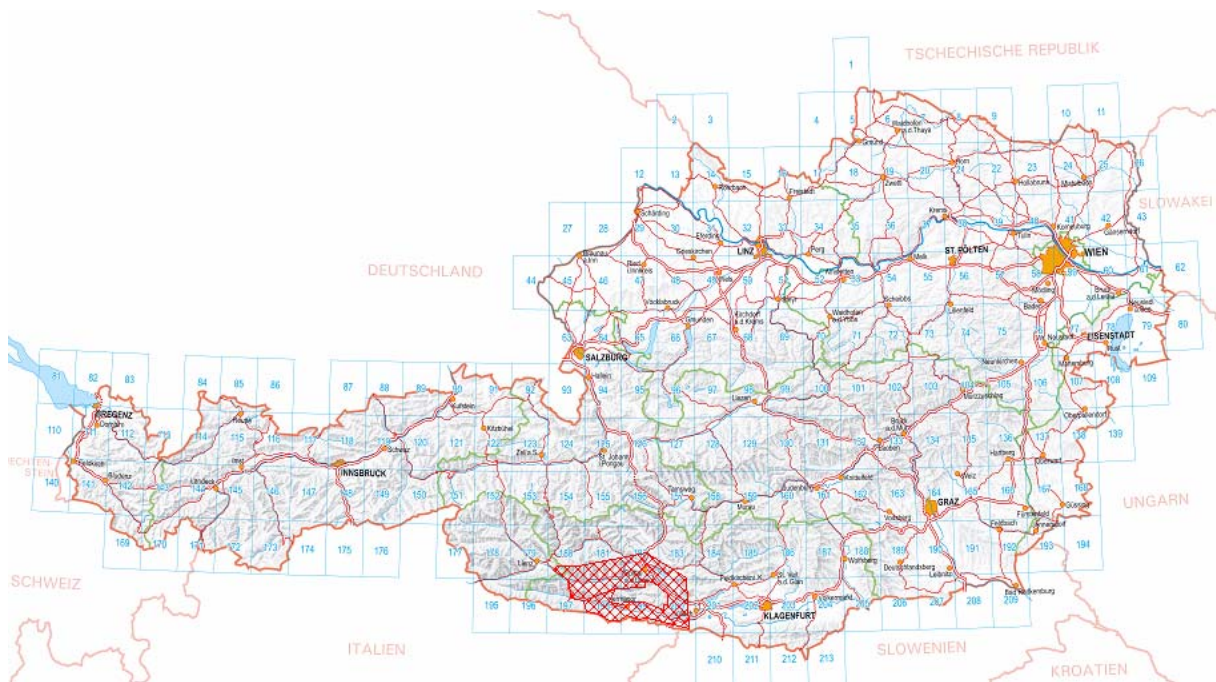


Abb. 1.1: Lage des Messgebietes (Karte aus AMap-Fly)

## 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 ein entsprechendes Resultat von folgenden Parametern abhängig ist:

- physikalische Eigenschaften der gesteinsbildenden Mineralien, der Poren- bzw. Kluftraum der Gesteinsserien 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 eine Mindestgröße bzw. Position aufweisen, die ein noch nutzbares Messsignal erzeugt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass 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 Gesteinsserie nicht festgestellt werden kann, weil sie entweder zu klein ist oder zu tief liegt, bzw. der physikalische Kontrast zu gering ist. Die Aerogeophysik liefert auch keine „punktgenauen“ Ergebnisse wie dies z.B. bei Bohrungen der Fall ist. Der Radius des kreisförmigen Messbereiches der verwendeten Messinstrumente liegt zwischen 65 und 190 Metern bei einer Flughöhe von 50 Metern (Kovacs, Holladay & Bergeron, 1995). Der gemessene Wert stellt daher ein integratives Mittel über diese Fläche dar. Aus allen diesen Gründen empfiehlt es sich, bei einem Profilabstand von 200 Metern, auf ein 200 x 200 Meter großes Grid zu interpolieren.

Beim Flugprogramm im Messgebiet Drautal/Gailtal wurden teilweise parallele Profile im Abstand von etwa 200 m (vor allem in den Tälern) sowie Konturlinien (im Gebirge) beflogen. Dies deshalb, da man im Gebirge bei parallelen Profilen die Sollflughöhe von 80m über Grund kaum einhalten kann und dadurch sehr große Datenlücken entstehen würden. Der Messpunktabstand entlang der Profile ist von der jeweiligen Fluggeschwindigkeit abhängig, so beträgt z.B. die Datenabtastrate für die Radiometrie 1 Sekunde. Dies entspricht einem mittleren Punktabstand von ca. 30 m. Die elektromagnetischen und magnetischen Messwerte werden 10-mal pro Sekunde abgefragt; d.h. der Messpunktabstand beträgt in diesem Fall etwa 3 m.

Trotz aller oben angeführten Einschränkungen, sind aerogeophysikalische Messverfahren bei vielen Untersuchungen gut geeignet, entsprechende geowissenschaftliche Grundlagen zu erstellen. Sie können jedoch weder Bohrungen noch Bodengeophysik noch eine geologische Aufnahme ersetzen.

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: Natürliche radioaktive Isotope, die in höheren geochemischen Gehalten auftreten, sind für die Elemente Kalium, Uran und Thorium bekannt. Mit entsprechenden Methoden 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 aerogeophysikalischen Vermessung

#### 3.1. Messausrüstung

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

Die Messausrüstung hat folgende Komponenten:

- Elektromagnetisches Mehrfachspulensystem: Das System induziert elektrische Ströme in den Untergrund, deren Magnetfeld (= sekundäres Feld) gemessen wird. Die vier Sender arbeiten mit vier unterschiedlichen Frequenzen (360 Hz vertikal koplanar, 3160 Hz horizontal koaxial, 7260 Hz vertikal koplanar, 27800 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. Für die Jahre 2004 und 2005 stand außerdem eine interne Kalibrierungsmöglichkeit zur Verfügung. Dadurch konnte der Einfluss des Erdbodens bei der Phasen- und Amplitudenkalibrierung ausgeschaltet werden.
- Gammastrahlenspektrometer (PICO ENVIROTEC GRS410) mit zwei nach unten gerichteten Natrium-Jodid Kristallpaketen mit einem Gesamtvolumen von 29,4 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 (0,2 - 3,0 MeV), Uran-weit (1,041 - 1,207 MeV, 1,66 - 2,41 MeV), Kalium ( $^{40}\text{K}$ ; 1,36 - 1,56 MeV), Uran ( $^{214}\text{Bi}$ ; 1,67 - 1,87 MeV) und Thorium ( $^{208}\text{Tl}$ ; 2,42 - 2,83 MeV). Die Integrationszeit beträgt 1 Sekunde.
- 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  $\mu\text{m}$  bestimmt.

- Zur Messung der Flughöhe über Grund dient ein Radarhöhenmesser Sperry AA-220 und ein Laserhöhenmesser Riegl LD 90-3 (2003 und 2004) bzw. Riegl LD90-3800VHS-FLP (2005). Letzterer misst sowohl eine erste als auch zweite Reflexion und die Genauigkeit der Flughöhenmessung konnte erheblich verbessert werden.
- Der Flugweg wird auf einer Breite von  $\pm 100\text{m}$  durch eine Videokamera aufgezeichnet.
- Zwei DGPS-Navigationsanlagen (DGPS MAX, CSI) stellen durch ihre Flugweganzeige eine wesentliche Unterstützung für die Messflugdurchführung dar. Weiters können mit diesen Geräten die Flugwegkoordinaten (im WGS84-System) unmittelbar auf einen Datenträger aufgezeichnet werden. Ein GPS-Empfänger befindet sich am Heckrotor, der zweite auf der EM-Sonde. Speziell im Gebirge kann letztere sehr stark pendeln und die Hubschrauberposition kann erheblich von der Bird-Position abweichen.
- 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. 3.1 vereinfacht dargestellt.

## STANDARDKONFIGURATION MESSGERAETE HUBSCHRAUBERGEOPHYSIK

IM ODER AM HUBSCHRAUBER MONTIERT AUSSENLAST

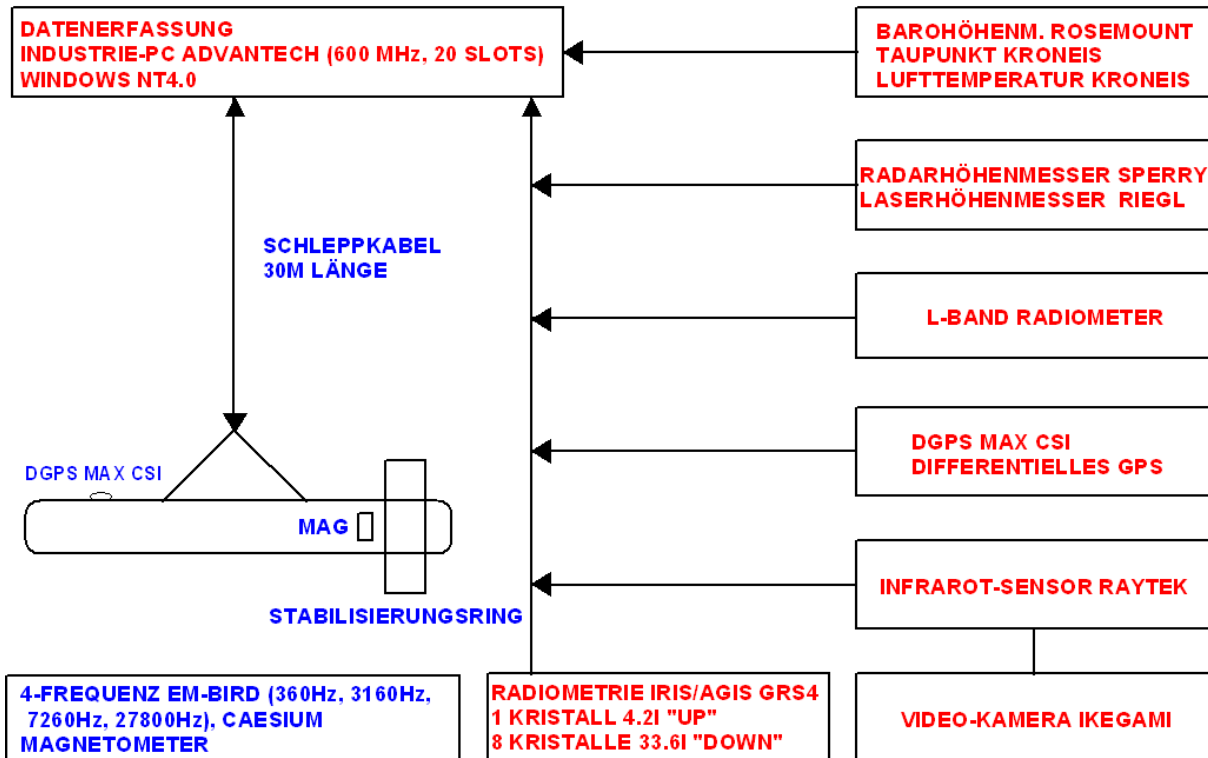


Abb. 3.1: Datenfluss des Hubschrauber-Messsystems

### 3.2. Fluglinien

Die Befliegung erfolgte in Form paralleler Fluglinien sowie Konturlinien mit einem geplanten Sollabstand von 200 m.

Flugprofilkennung: Die Fluglinien haben eine 15-stellige alphanumerische Bezeichnung, die eine zweistellige Buchstabenkennung für das Messgebiet beinhaltet.

Die Abbildung 3.2 zeigt die Lage der Flugprofile im Messgebiet.

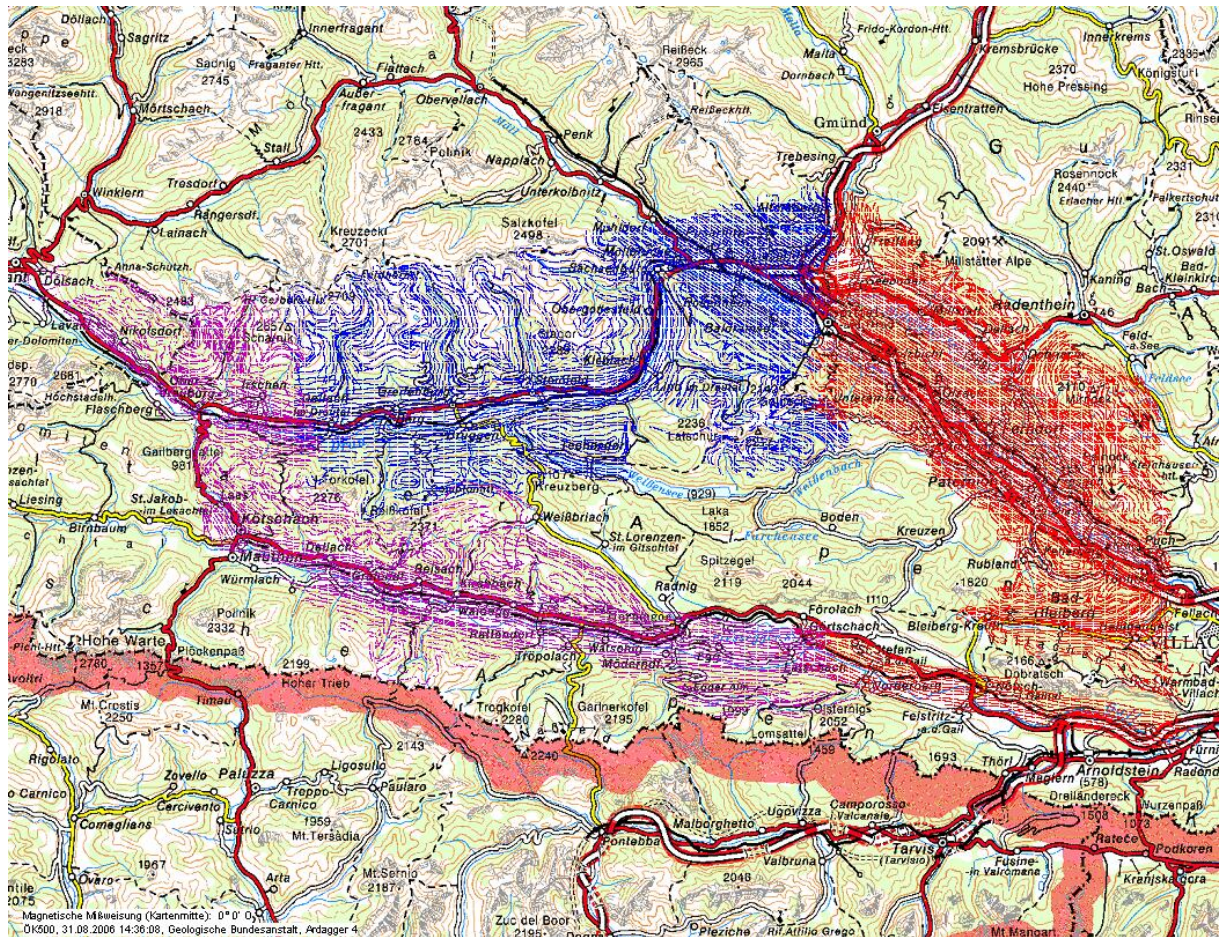


Abb. 3.2: Lage der Flugprofile im Messgebiet Drautal/Gailtal. **Blau:** Befliegung 2003, **Rot:** Befliegung 2004, **Violett:** Befliegung 2005 (Karte aus AMap)

### 3.3. Durchführung der Messungen

*Navigationsunterlagen:* Als Navigationsunterlage für die Hubschrauberbesatzung dienten Karten im Maßstab 1:50.000, auf der das Messgebiet eingetragen wurde.

*Kontrolle der Geräte:* Vor jedem Messflug wurde eine Kalibrierung des Gammastrahlenspektrometers sowohl mit einer Cäsium- ( $^{137}\text{Cs}$ ) (Abb. 3.3) als auch mit einer Thoriumquelle ( $^{208}\text{Tl}$ ) (Abb. 3.4) durchgeführt. Bei der ersten Kalibrierung wird die Trennung der einzelnen Kanäle abgestimmt, während beim zweiten Kalibriervorgang die richtige Lage des für das Thorium charakteristischen Energiesummenfensters (2,42 - 2,83 MeV) überprüft wird. Ebenso wurde die Phaseneinstellung des elektromagnetischen Messsystems mit Hilfe eines Ferritstabes jeweils vor Flugbeginn kontrolliert und gegebenenfalls justiert. Dies war nur mehr im Jahr 2003 nötig (siehe Kapitel 3.1.).

*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)
- Alle weiteren Geräte: 80 m

Die Fluggeschwindigkeit betrug über leicht welligem Gelände ca. 125 km/h, an steileren Hängen entsprechend weniger. Die durchschnittliche Messflugdauer lag bei etwa 2 Stunden (inkl. An- und Abflug zum und vom Messgebiet).

In den Wenden zwischen den Messprofilen ist es notwendig, für jeweils ca. 3 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. Weiters erfolgt zu Beginn des Messfluges in dieser Höhe auch eine Kalibrierung des gesamten EM-Systems. Dabei wird sowohl die Phasenlage als auch die Amplitude (Gain) des Systems überprüft und bei Bedarf korrigiert.

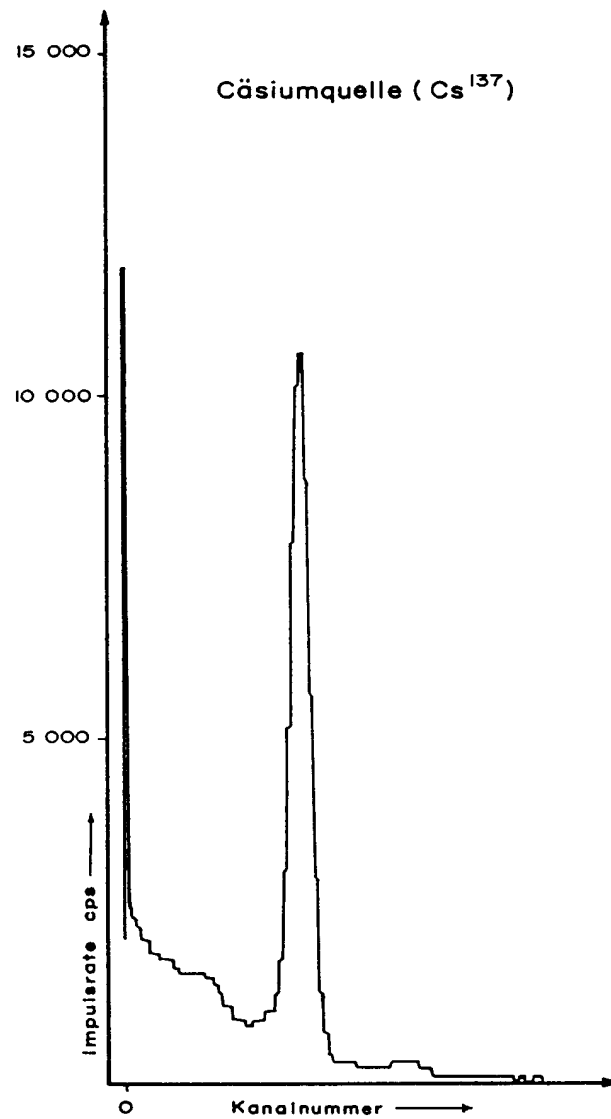


Abb. 3.3: Gammastrahlenspektrometer (Kristall I), Beispiel einer Spektralregistrierung - Cäsiumquelle (<sup>137</sup>Cs)

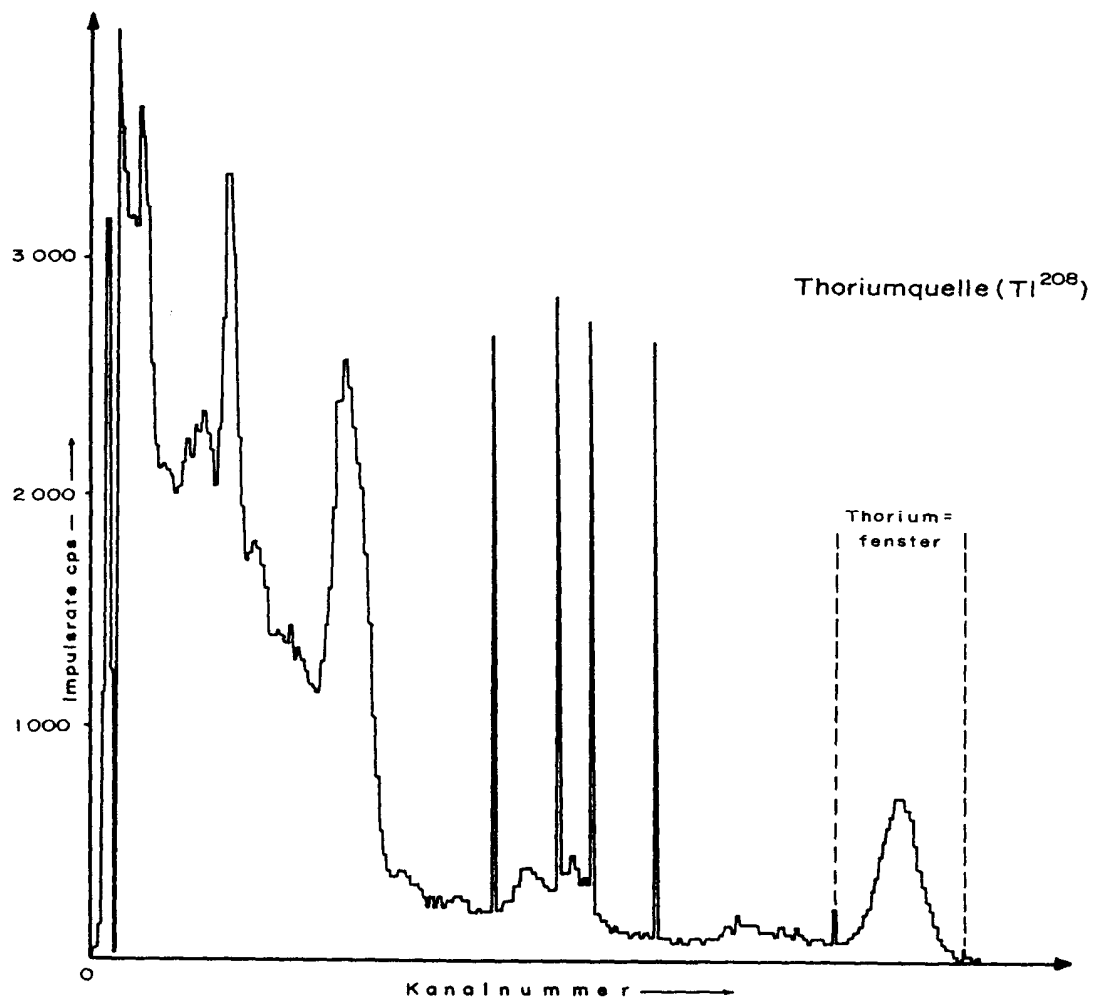


Abb. 3.4: Gammastrahlenspektrometer (Kristall I), Beispiel einer Spektralregistrierung - Thoriumquelle ( $^{208}Tl$ )

### 3.4. Personal

An der Durchführung der aerogeophysikalischen Arbeiten im Messgebiet Drautal/Gailtal waren folgende Personen beteiligt:

#### Geologische Bundesanstalt:

Klaus Motschka  
Martin Heidovitsch  
Edmund Winkler  
Andreas Ahl  
Gerhard Bieber  
Peter Slapansky

#### Bundesministerium für Landesverteidigung:

Jürgen Sölkner  
Robert Gallmeyer  
Gerhard Ladstätter  
Gerhard Österreicher  
Christian Ragossnig  
Markus Neßböck  
Christian Moser  
Karl Kinzl

## 4. Datenverarbeitung und Kartenherstellung

### 4.1. Aufgabe der ADV

Die Verarbeitung der Messdaten des Untersuchungsgebietes fand in Wien statt, wobei lokale Rechner der Geologischen Bundesanstalt benutzt wurden.

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.

## 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 Rechananlage der Geologischen Bundesanstalt 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 so genannte statistische Ausreißer ("spikes") überprüft. Das alles wird von Computerprogrammen vollautomatisch durchgeführt.

## 4.3. Flugwegdaten

Die Lage sämtlicher Profile 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 EM - 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 luftelektrischer 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 so genannten Stützstellen) in den Registrierungen bei großer Flughöhe vor und nach jedem Messprofil,
- Umrechnung der Messsignale auf das Nullniveau,
- Inversion der Werte  $R$  und  $Q$  in

zwei Ergebnisparameter des homogenen Halbraummodells, nämlich

- den scheinbaren spezifischen Widerstand  $\rho_a$
- die scheinbare Tiefe  $d_a$  (eines äquivalenten Halbraumes, bezogen auf die Erdoberfläche)

oder in

drei bzw. fünf Ergebnisparameter des Zwei- bzw. Dreischichtmodells, nämlich

- Widerstand der 1.Schicht
- Mächtigkeit der 1. Schicht
- Widerstand der 2.Schicht bzw. und
- Mächtigkeit der 2. Schicht und
- Widerstand der 3. Schicht.

Zur Inversion der EM-Daten werden auf Modellrechnungen beruhende 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.

#### 4.5. Isanomalien der magnetischen Totalintensität ( $\Delta T$ )

Die Isanomalien der Totalintensität 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 ( $\Delta T$ ), 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
$\delta T$	... Restfehler (Feldwirkungen des Hubschraubers etc.)

Die zeitlichen Variationen  $T(t)$  werden durch ortsfeste Stationen beobachtet, wobei im Rahmen des vorliegenden Messprogrammes lokale Basisstationen in Spittal/Drau, Villach und Dellach/Gailtal verwendet wurden.

Die Restfehler ( $\delta T$ ) 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  $\delta T$  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.

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.

#### 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  $^{40}\text{K}$ .

Mit dem Gammastrahlenspektrometer GRS410 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 (3,0 - 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 ( $^{40}\text{K}$  - 1,46 MeV,  $^{214}\text{Bi}$  - 1,76 MeV,  $^{208}\text{Tl}$  - 2,62 MeV) des Kaliums, des Urans und des Thoriums liegen, sowie die Gesamtzählrate (0,2 - 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  $\sigma$  ergibt sich aus

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

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

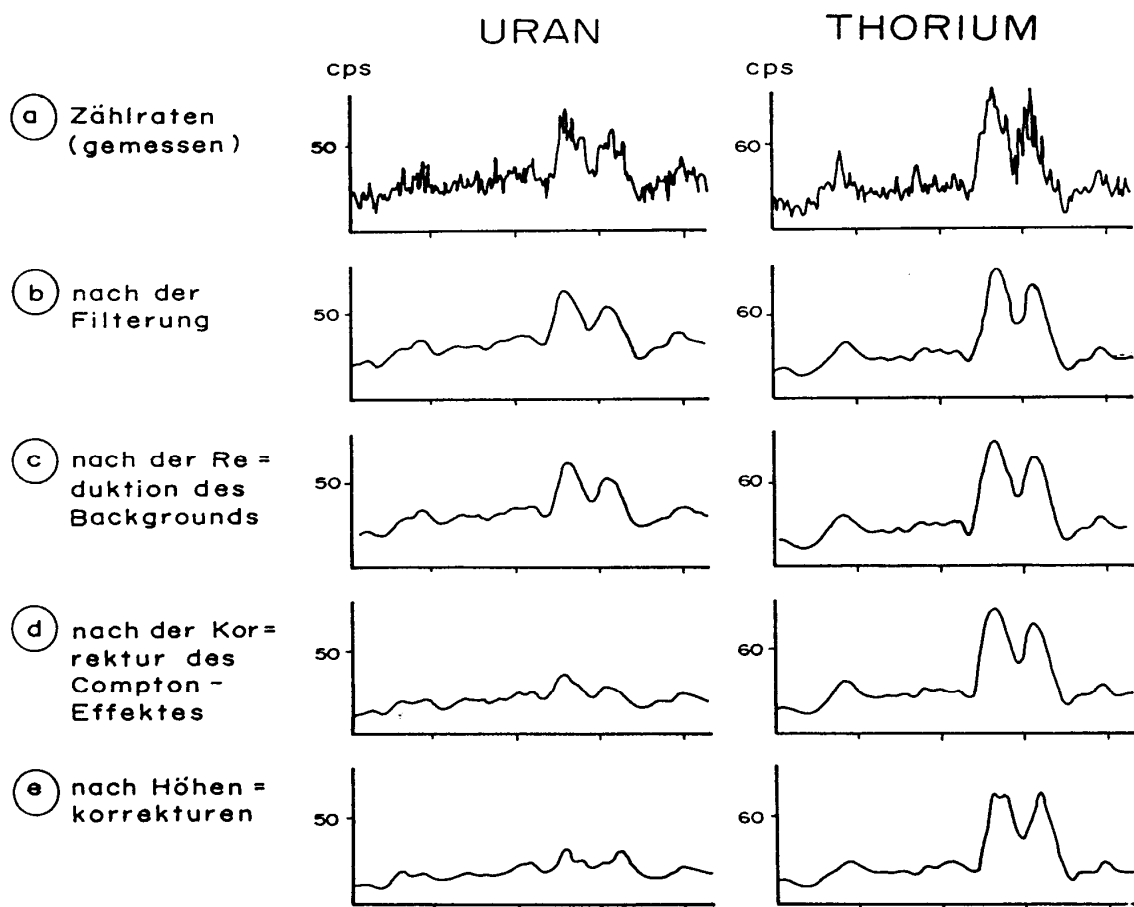


Abb. 4.1a - e: Darstellung der Korrekturschritte in der Gammastrahlenspektrometrie

Bei der Messung während des Fluges erhält man z.B. die in Abb. 4.1a 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. 4.1b. Das Ziel der nun folgenden Korrekturschritte, die in Abb. 4.1a bis 4.1e dargestellt sind, ist, die geglätteten Messdaten noch von unerwünschten Anteilen zu befreien:

- Reduktion der kosmischen Strahlung: Die durch die kosmische Strahlung in die niederenergetischen Energiebereiche eingestreuten Anteile, werden mit Hilfe der im Kanal 256 aufgezeichneten Zählraten korrigiert.
- Reduktion des "Backgrounds": Die von nicht-geologischen Quellen stammenden Strahlungsanteile, d.h. die Strahlung der die Detektor-Kristalle umgebenden Materie, wird abgezogen (Abb. 4.1c). Der Background in den einzelnen Kanälen wird durch entsprechende Steigflüge in große 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-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. 4.1d 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  $^{222}\text{Rn}$  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  $\mu$  ergaben sich im Messgebiet im Höhenbereich von 30 m bis 300 m über Grund folgende Mittelwerte:

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

Mit den angegebenen Werten für  $\mu$  und den mit dem Laserhöhenmesser 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. 4.1e zeigt die Wirkung dieser Höhenkorrektur.

- Topographische Korrektur: Es 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. 4.2 entnehmen kann, wurden dabei hauptsächlich Isotope mit größeren Halbwertszeiten abgelagert, die Gammastrahlenquanten mit Energien bis maximal 1,0 MeV emittieren ( $^{103}\text{Ru}$  0,49 MeV;  $^{137}\text{Cs}$  0,66 MeV;  $^{134}\text{Cs}$  0,61 MeV;  $^{134}\text{Cs}$  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 Kontaminierungen (z.B. Reaktorunfall von Tschernobyl)

festgestellt werden.

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

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

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.

Von den, bei Kernspaltungsprozessen (siehe Abb. 4.2) 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  $^{137}\text{Cs}$ -Kontaminationen, so sind es derzeit nur noch die Folgen des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

# AIRBORNE GAMMA-RAY SPECTRUM / 256 CHANNELS

AIGEN - ENNSTAL

28.7.1987

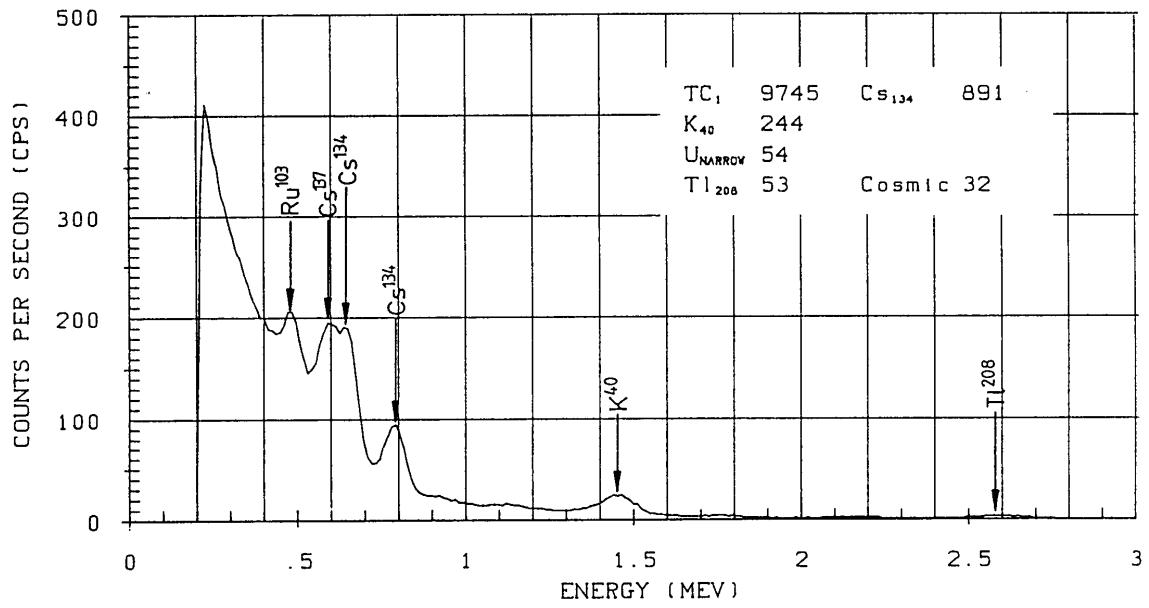


Abb. 4.2: Beispiel eines Gammastrahlenspektrums (MeV) im Bereich des Flugfeldes Aigen im Ennstal

#### 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.

Eine zusätzliche Problematik von Gammastrahlenmessungen in topographisch schwierigem Gelände stellt die Abweichung von einer horizontalen Messebene ( $2\pi$ -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  $2\pi$ ) 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  $\mu\text{m}$  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 max. 5 cm.

## 5. Methodenentwicklung des aerogeophysikalischen Processings

In den letzten beiden Jahren wurden umfangreiche Arbeiten für die methodische Weiterentwicklung des aerogeophysikalischen Processings durchgeführt. Im Folgenden werden die einzelnen Punkte dieser, z.T. mit erheblichem Programmieraufwand verbundenen, Auswerteschritte angeführt.

### 5.1. Inversion der Aeroelektromagnetik: Probleme und Lösungen

Eingangsdaten für das AEM-Processing sind die gemessenen AEM-Daten und die korrigierten Flughöhen. Da die AEM-Messwerte zeitlichen Driften unterliegen, müssen diese vor einer Inversion (Modellrechnung) korrigiert werden. Neben der Korrektur der Flughöhen ist das der arbeitsaufwendigste Teil des Processings. Als Hilfestellung bei der Driftkorrektur werden für jeden Messpunkt gemäß seiner Sensorhöhe und der Vorgabe einer maximalen Bandbreite des im Messgebiet zu erwartenden elektrischen Widerstandes des Untergrundes ein minimal bzw. ein maximal zu erwartender Messwert berechnet. Bei der Vorgabe dieser Bandbreite können bereits Vorinformationen in das Processing einfließen.

Die Aufgabe der EM-Inversion drift- und höhenkorrigierter AEM-Messwerte ist die Berechnung einer Verteilung des elektrischen Widerstandes im Untergrund, die die Messdaten am besten repräsentiert. Eine Inversion großer AEM-Messgebiete mit 2D oder 3D Widerstandsmodellen ist derzeit praktisch nicht durchführbar. Hier ist die Entwicklung im Hardware und Softwarebereich des nächsten Jahrzehntes abzuwarten. Für die praktische Inversion von AEM-Daten werden deshalb homogene, horizontal geschichtete Halbraummodelle verwendet. Als Beispiel sei ein 3-Schichtmodell angenommen (Abb. 5.1):

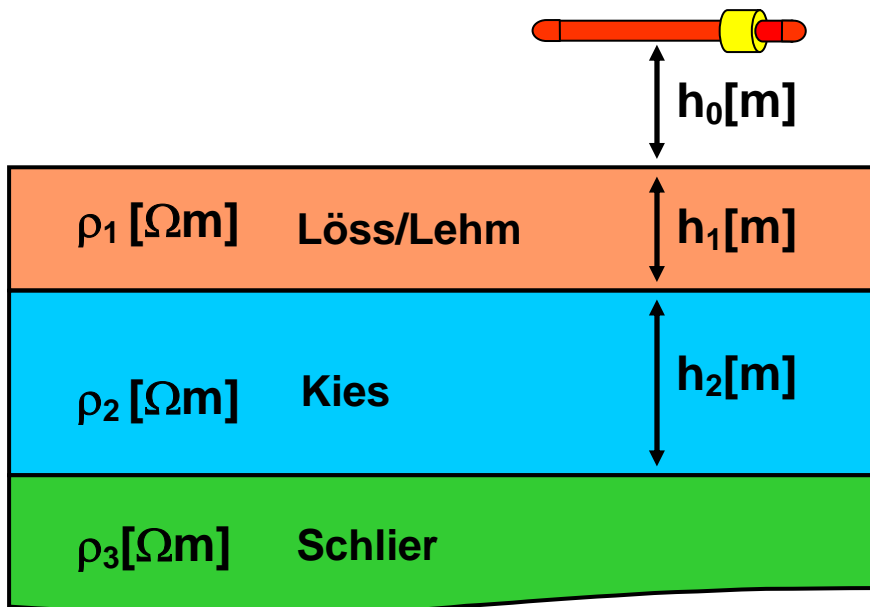


Abb. 5.1: Homogenes, horizontal geschichtetes 3-Schichtmodell des elektrischen Widerstandes

Die Inversion von AEM-Daten (Berechnung von Modellparametern aus Messwerten) mit einem 3-Schichtmodell ist, wie viele andere Verfahren der Geophysik, nicht eindeutig. Der Grund dafür ist ein prinzipieller: Aus einer endlichen Anzahl von mit Messfehlern behafteten AEM-

Messdaten, können die elektrischen Erdparameter nicht eindeutig bestimmt werden (Parker, 1980). Inversionsergebnisse im Falle des vorliegenden 3-Schichtmodelles müssen daher als Mittelwerte, bzw. wahrscheinlichste Werte mit Streubreiten bzw. Unschärfen für die Parameter  $\rho_1$  (Widerstand Löss/Lehm),  $\rho_2$  (Widerstand Kies),  $\rho_3$  (Widerstand Schlier),  $h_1$  (Mächtigkeit Löss/Lehm) und  $h_2$  (Mächtigkeit Kies) betrachtet werden. Abb. 5.2 zeigt die Abweichung des Inversionsergebnisses für die Mächtigkeit der ersten Schicht von der tatsächlichen Mächtigkeit anhand eines 3-Schichtmodells bei verschiedenen Flughöhen.

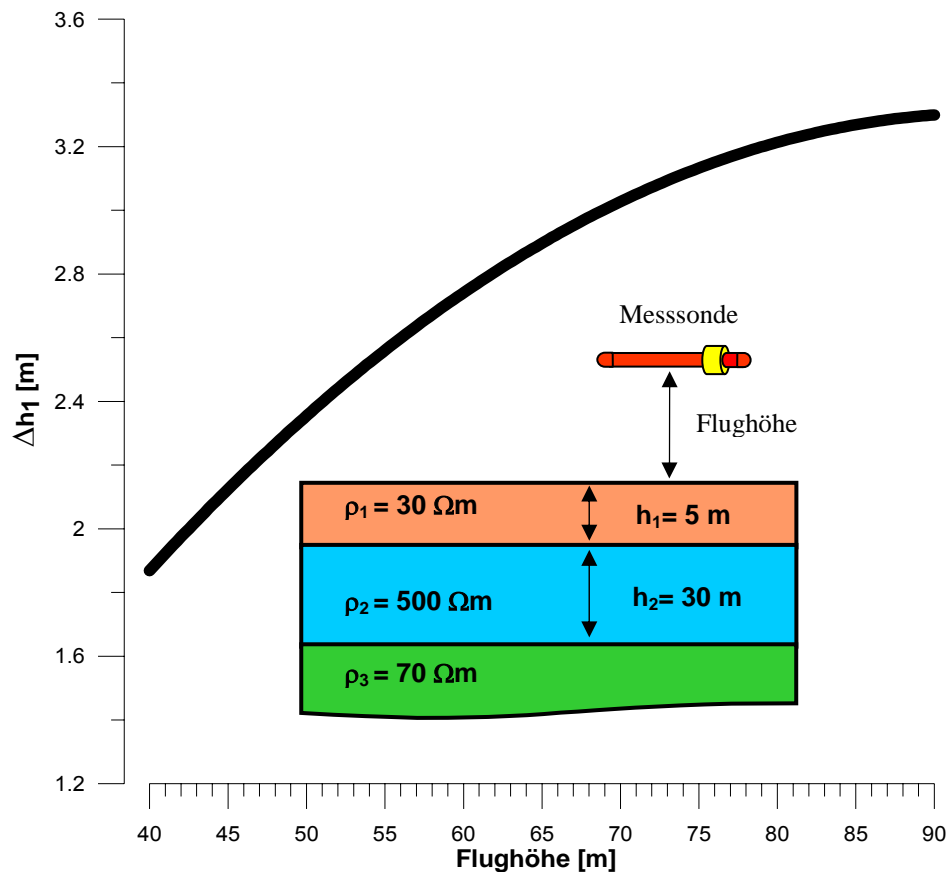


Abb. 5.2: Fehler in der Berechnung der Mächtigkeit der ersten Schicht ( $\bullet h_1$ ) eines 3-Schichtmodells aus AEM-Messdaten bei 3000 Hz, 7000Hz und 28000 Hz, in Abhängigkeit von der Flughöhe.

Aus dem in Abb. 5.2 dargestellten 3-Schichtmodell wurden theoretisch zu erwartende Messdaten bei Flughöhen von 40 – 50 m berechnet. Der Messfehler bei den EM-Daten wurde mit  $\pm 1.5$  ppm und bei der Flughöhe mit 1 m angenommen. Die Inversion dieser Daten zeigt einen flughöhenabhängigen maximalen Fehler in der berechneten Mächtigkeit der ersten Schicht der bei einer tatsächlichen Schichtmächtigkeit von 5 m bis zu 3.5 m betragen kann. Bei größerer Ungenauigkeit der Flughöhe auf Grund von Geländeneigung und Vegetationsbedeckung vergrößern sich auch die Fehler der Inversionsergebnisse.

Eine möglichst hohe Genauigkeit bei der Messung der Flughöhe ist daher eine essentielle Voraussetzung für die Qualität der Inversionsergebnisse. Um die prinzipielle Unschärfe von Inversionsergebnissen zu verbessern, ist es notwendig Vorinformationen (z.B. Bohrlochdaten) in die Dateninterpretation einzubeziehen, um die Problematik der Mehrdeutigkeit einzuschränken.

Für die Inversion werden zurzeit zwei verschiedene Methoden verwendet.

Beim Suchansatz werden zunächst aus einer Tabelle von Modellen (Modellparameter und dazugehörige theoretischer EM-Messwerte) jene herausgesucht, die den Messwerten innerhalb einer vorgegebenen Fehlertoleranz entsprechen. Danach wird aus dieser Auswahl ein repräsentatives Modell ermittelt. Eine, die geologische Vorinformation berücksichtigende, selektive Auswahl von theoretisch möglichen Modellen die einen Messwert repräsentieren ist derzeit im Entwicklungsstadium.

Die probabilistische Inversion von AEM-Daten wurde in den letzten beiden Jahren entwickelt und steht seit Mitte 2004 zur Verfügung. Bei dieser Art der Inversion werden als Ergebnis nicht ein konkretes Modell des Untergrundes ermittelt, sondern eine Verteilung die für eine große Zahl von Modellen angibt, wie wahrscheinlich diese Modelle den jeweiligen Messwerten entsprechen. Diese Vorgangsweise ermöglicht es, auf einfache Weise ein Modell des Untergrundes zu ermitteln, welches sowohl den Messdaten als auch den Zusatzinformationen so weit wie möglich gerecht wird.

## 5.2. Problem der exakten Höhenbestimmung

Für die Berechnung der EM- und Radiometriesensorhöhen stehen die Flughöhe über Geoid der beim Heckrotor angebrachten GPS-Navigationsanlage und die Höhe über Grund des im Hubschrauberboden eingebauten Laserhöhenmessers bzw. Radarhöhenmessers zur Verfügung. Die Höhenwerte der GPS-Navigationsanlage (Flughöhe über Geoid) und des Radarhöhenmessers sind mit einem Fehler von  $\bullet z_{\text{GPS}} = 5\text{-}10\text{ m}$  behaftet, die Laserhöhenwerte weisen eine Ungenauigkeit von  $\bullet z_{\text{Laser}} \approx 10\text{ cm}$  auf. Für die Interpretation der Radiometriewerte und insbesondere die Inversion der AEM Messwerte kann deshalb nur der Laserhöhenwert verwendet werden. Da die Laserimpulse nicht nur vom Boden, bzw. Bodenbewuchs, sondern auch vom Laubdach reflektiert werden (und damit eine um die Baumhöhe verminderte Flughöhe anzeigen können) ist es notwendig eine Korrektur der Laserhöhen durchzuführen:

- Eine automatische Korrektur beim Aufbereiten der Daten berechnet eine Einhüllende der gemessenen Laserwerte. Damit können Abschnitte eines Flugprofils korrigiert werden, in denen die Laserimpulse über eine Strecke von 50 m mindestens einmal den Boden erreichen. Um nicht Geländestufen zu übergehen und die Höhenwerte zusätzlich zu verfälschen, wurde der Algorithmus zur Berechnung der Einhüllenden (digitaler Filter) bewusst eingeschränkt.
- Bereiche in denen die Laserimpulse über mehr als 50 m den Boden nicht erreichen, müssen manuell editiert werden. Da nur aus dem Verlauf der gemessenen Laserwerte nicht eindeutig entschieden werden kann, ob ein Waldgebiet mit dichter Belaubung

oder eine Geländestufe vorliegt, werden bei der Korrektur der Laserwerte digitalisierte Flugwegvideos hinzugezogen. Um die Bearbeitung der Flughöhen effizient am PC durchführen zu können, wurden die analogen Flugvideos in ein digitales Format konvertiert und auf DVDs gespeichert. Das bedeutet, dass die Laserhöhe mittels Flugvideos kontrolliert werden müssen, um die Ursache der Höhendifferenzen zu klären. Bei einem oftmaligen Wechsel von bewaldeten und freien Flächen ist, ist eine aufwendig und damit sehr zeitintensive Nachbearbeitung nötig.

In Abb. 5.3 treffen die Laserpulse bei den Messpunktnummern 64132 und 64134 den Boden, und ergeben an diesen Punkten korrekte Laserhöhen. Im Bereich dazwischen, der sich über 100 m erstreckt, werden die Laserimpulse jedoch vom dichten Laubdach reflektiert, und liefern eine Flughöhe, die um den Betrag der Baumhöhe ( $\approx 20\text{m}$ ) zu klein ist. Ein Höhenfehler dieser Größenordnung führt bei der Inversion der AEM- Messwerte zu einem falschen Bild der Widerstandsstruktur des Untergrundes. Bei der Interpretation der aeroradiometrischen Messwerte mit dieser fehlerhaften Laserhöhe werden zu kleine Konzentrationen der Radionuklide im Boden berechnet.

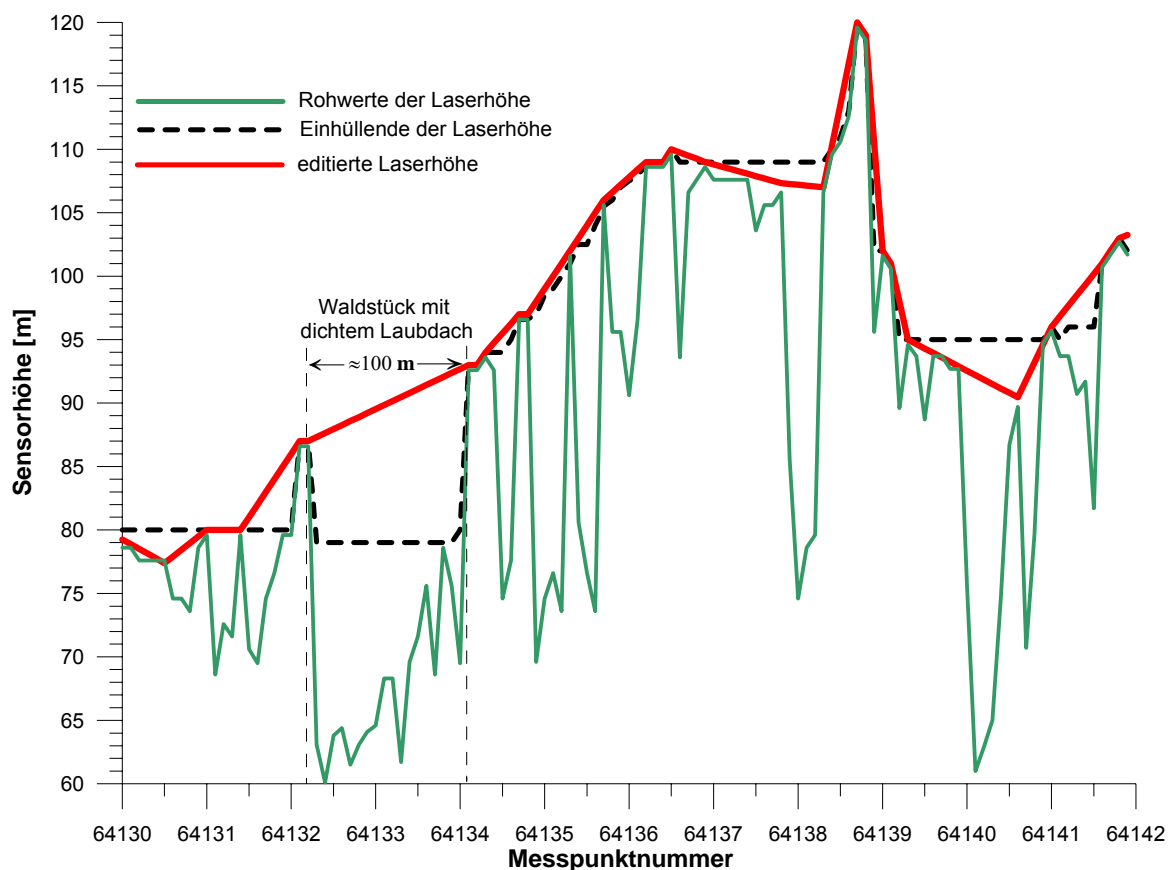


Abb. 5.3: Laserhöhenwerte über einem Waldgebiet

## 6. Geologie des Messgebietes und erste Ergebnisdiskussion

### 6.1. GIS-Grundlagen

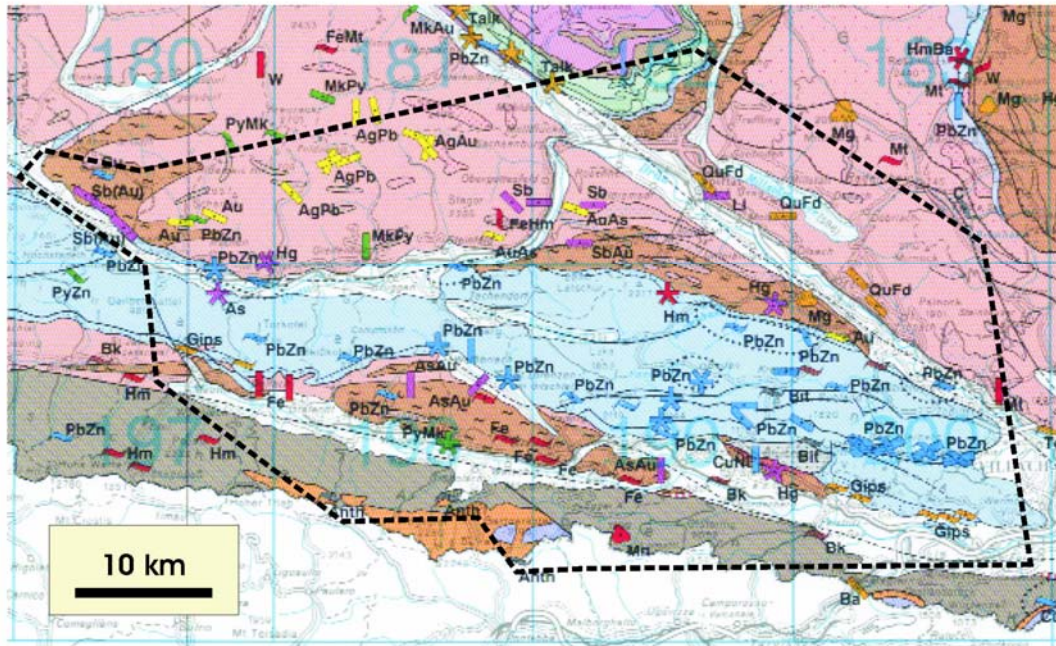
Das den Auswertungen zugrunde liegende GIS-Projekt enthält folgende räumliche Informationen:

- Geländemodell / berechnete Höhenschichten
- Radiometrie, Elektromagnetik und Magnetik der Hubschrauber-geophysik
- Geologie (Lockersedimentkartierung FA Rohstoffgeologie, Metallogenetische Karte)
- Situation

### 6.2. Geographische und geologische Übersicht

Das Untersuchungsgebiet umfasst die SE Reißbeckgruppe, den SW Abschnitt des Nockgebiets (östlich des Millstätter Sees sowie den Bergzug des Mirnock), die südliche Kreuzeckgruppe, den kärntner Abschnitt des Oberdrautals, das Lurnfeld und das Unterdrautal (bis etwa Töplitsch im E), die Gailtaler Alpen (mit Ausnahme der Villacher Alpe (Dobratsch) und jener Bereiche im Zentrum der Gailtaler Alpen, die bereits in den 80er Jahren aerogeophysikalisch vermessen wurden (Messgebiete „Drauzug“, „Zentraler Drauzug“ und „Kirchbach/Gailtal“ (SEIBERL & HEINZ, 1985, 1986 und 1987), sowie das Gailtal zwischen Kötschach – Mauthen und Arnoldstein und die südlich anschließenden Anteile der Karnischen Alpen.

Einen großräumigen Überblick über die Geologie des Messgebiets gibt die Abb. 6.1 anhand der „Metallogenetischen Karte von Österreich 1 : 500 000“.



PENNINISCHE EINHEITEN

PENNINIC UNITS

- Ozeanisches Metasediment, z. T. flyschartig (Bündner Schiefer, Rechnitzer Serie, Prättigauflysch); Jura – Kreide, z.T. Alttertiär – oceanic metasediment (schists, partly flysch); Jurassic – Cretaceous, partly Paleogene
- Grünschiefer, Prasinit, Serpentinitt – greenschist, prasinite, serpentinite
- Eklogit führendes Metasediment – metasediment with eclogite

- Orthogneis (Zentralgneis); Permokarbon – orthogneiss; Permo–Carboniferous

- Metasediment, Metavulkanit (Habach – Greiner –, Storz –, Kareck – Serie); Paläozoikum – metasediment, metavolcanic rock (Habach –, Greiner –, Storz –, Kareck – Fr.); Paleozoic

OSTALPINE EINHEITEN

AUSTROALPINE UNITS

Kalkalpen, Drauzug, Mesozoika über der Gurktaler Decke  
Calcareous Alps, Drau Range, Mesozoic cover of Gurktal Nappe

- überwiegend Karbonatgestein; Mitteltrias – Unterkreide – mainly carbonate rock; Middle Triassic – Lower Cretaceous
- Siliciklastika; Permoskyth – siliciclastic rock; Permo – Skythian
- Karbonatgestein, Klastika (Karbon von Nötsch); oberes Vise – Oberkarbon – carbonate rock, clastic rock (Carboniferous of Nötsch); late Viséan – Upper Carboniferous

- überwiegend pelitisch-psammritisches Sediment; Oberordovicium – Karbon – mainly pelitic-psammitic sediment; Upper Ordovician – Carboniferous
- Quarzphyllite, z. T. Phyllonite – quartzphyllite, partly phyllonite
- Karbonatgestein – carbonate rock
- Basischer Vulkanit – basic volcanic rock
- Porphyroid (Blasseneck Porphyroid); Oberordovicium – porphyroid (Blasseneck Porphyroid); Upper Ordovician

- Altkristallin i. a. (meist Paragneis, Glimmerschiefer; lokal auch Granatphyllit) – "Altkristallin" i. g. (mainly paragneiss, micaschist; locally garnetiferous phyllite)
- Orthogneis – orthogneiss
- Amphibolit – amphibolite
- Marmor – marble

PERIADRIATISCHE INTRUSIVGESTEINE

PERIADRIATIC INTRUSIVE ROCKS

- Tonalit, Granodiorit; Oligozän – tonalite, granodiorite; Oligocene

SÜDALPINE EINHEITEN

(Karnische Alpen, Südkarawanken)

SOUTHALPINE UNITS

(Carnic Alps, Southern Karawanken)

- Karbonatgestein; Trias – carbonatic rock; Triassic
- Post-variszische Klastika und Karbonatgestein; Oberkarbon – Perm – Post-Variscan clastic and carbonate rock; Upper Carboniferous – Permian
- Kalk, Feinklastika – limestone, pelitic rock

TEKTONISCHE LINIEN (nachgewiesen, vermutet)

TECTONIC LINES (proved, assumed)

- Störung i. a. – fault i. g.
- mylonitische Scherzone – mylonitic shear zone
- Hauptdeckengrenzen der helvetischen, penninischen und ostalpinen Einheiten – major thrust fault of helvetic, penninic and austroalpine units
- Deckengrenzen zweiter Ordnung – second order thrust fault

Abb. 6.1: Die Umgrenzung des Messgebiets, eingetragen in einen Ausschnitt der metallogenetischen Karte von Österreich.

### 6.3. Radiometrie

Die Gammastrahlung von Gesteinen und Böden stammt weitestgehend aus den radioaktiven Zerfall der Elemente K, U und Th. Die Strahlung wird für jedes dieser Elemente aufgrund der spezifischen Energien der jeweiligen Zerfälle separat registriert, und kann dadurch in die entsprechenden Elementkonzentrationen umgerechnet werden. Die Verteilung der Gehalte der Elemente (angegeben in % für K, in ppm für U und Th) wird dann flächenmäßig in Karten dargestellt.

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass. Ergebnisse sowohl für anstehendes Gestein, wie auch für völlig aufschlussfreie, vegetationsbedeckte Areale gleichermaßen ermittelt werden. Lediglich bei Waldbedeckung ist zumeist eine Erniedrigung der Messwerte festzustellen. Eine gewisse Dämpfung der Gammastrahlung stellt sich auch bei erhöhter Bodenfeuchte ein.

Die Eindringtiefe der Gamma-Messungen beträgt maximal etwa 15 cm in den Untergrund, es wird somit nur die direkte Geländeoberfläche erfasst.

Die wichtigsten Kaliumminerale im vorliegenden Gebiet sind Glimmer (Muskowit, Biotit), kaliumhaltige Tonminerale, sowie Kalifeldspat, während Uran und Thorium überwiegend an akzessorische Schwerminerale (Zirkon, Monazit, Titanit, Orthit, Xenotim etc.) gebunden sind.

Die Gammastrahlenspektrometrie ermöglicht die flächenhafte Charakterisierung von Gesteinsserien in Bezug auf ihre K-, U- und Th-Gehalte, sowie die Erkennung von lithologischen Inhomogenitäten innerhalb einer Gesteinsserie.

Die Ergebnisse können insbesondere für quartärgeologische, sowie geotechnische und baugeologische Fragestellungen von Relevanz sein (z. B. Feststellung unterschiedlicher Zusammensetzungen in den Talalluvionen, Charakterisierung von Schwemmfächern und deren eventueller Fortsetzung im Material des Talbodens, Abgrenzung von Moränenmaterial und Hangschutt, bzw. von Moränenstreu über andersartigem anstehendem Gestein, Feststellung von Inhomogenitäten innerhalb von Schutt- oder Murenkörpern aufgrund lithologischer bzw. korngößenbedingter Unterschiede etc.) Die im Kartenbild erkannten Anomalien müssen aber stets durch Geländebeobachtungen verifiziert werden.

Bei der Interpretation der Messergebnisse ist zu berücksichtigen, dass Wasser einen dämpfenden Effekt auf Gammastrahlung besitzt. So wirkt sich erhöhte Bodenfeuchte in Form reduzierter Zählraten aus. Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die Vegetation. So zeigen z. B. Waldgebiete durchwegs geringere Zählraten als offenes Land. Neuere Untersuchungen der FA Geophysik liefern Anhaltspunkte dafür, dass dieser Effekt durch den Boden des Waldes (Streuschicht) bedingt ist, und nicht durch den Baumbewuchs.

Die Interpretation der Radiometriedaten ist derzeit noch in Gange. Es wird hier eine allgemeine Übersicht gegeben. Eine detaillierte Darstellung erfolgt im nächsten Bericht.

## Kalium:

Die Verteilung von Kalium korreliert grundsätzlich mit den Gehalten von Kalifeldspat, Glimmer und/oder Tonmineralen. In Zusammenschau mit anderen Parametern können Aussagen über die Zusammensetzung des Materials der Talalluvionen flächenhaft auch in meist völlig aufschlusslosen Bereichen gemacht werden. Dies wird in vielen Bereichen des Drau- und des Gailtales deutlich.

Die Kaliumgehalte sind allgemein eher gering. Allerdings wird hier auch der dämpfende Effekt der Waldbedeckung deutlich. Sehr gering sind sie in z. B. Prasiniten, bzw Kalkglimmerschiefern der peripheren Schieferhülle.

Im Kristallin der Kreuzeckgruppe, das im Wesentlichen von unterschiedlichen Typen von Glimmerschiefern aufgebaut ist, fällt eine allgemeine Zunahme der Kaliumwerte gegen N auf. Derzeit ist noch unklar, worauf diese zurückzuführen ist. Es könnten hier lithologische Unterschiede in Bezug auf die Gehalte an Kalifeldspat oder Glimmer ausschlaggebend sein. Die unterschiedliche Waldbedeckung (Regionen unter und über der Baumgrenze) spielt bei näherer Betrachtung nur eine untergeordnete Rolle. Die unterschiedlichen Kaliumgehalte in den morphologisch höheren und tieferen Anteilen werden auch im transportierten Schutt entlang der Talverläufe deutlich. Das markante Minimum innerhalb dieser glimmerschieferbetonten Serien ist durch mächtige Amphibolite bedingt.

Die karbonatischen Einheiten sowohl des Drauzuges, wie z. B. auch die Mächtigen Marmorzüge des Kristallins, sind entsprechend ihrer Lithologie durch geringe Kaliumgehalte gekennzeichnet. Die lokalen internen Variationen müssen noch näher analysiert werden.

Relativ hohe Kaliumwerte treten lokal in den Talalluvionen von Drau- Gail-, Gitsch- und Mölltal auf.

Die Kaliumgehalte von Grundmoränen scheinen lokal sehr unterschiedlich zu sein, es finden sich sowohl relativ hohe, wie relativ niedrige Werte.

## Uran:

Die Urangelhalte sind fast im gesamten Messgebiet mit  $< 2$  ppm sehr gering. Lediglich in den Alluvionen des Drau- Gail- und Mölltales sind Werte bis max. 4 ppm weiter verbreitet. Ansonsten treten Werte bis zu 4 ppm nur punktuell in Grundmoränen, quartären Sanden und Schwemmfächer- oder Murablagerungen auf, selten auch in Glimmerschiefern und Phylliten.

Uran tritt vor allem in den Karbonatgesteinen der Mitteltrias, insbesondere im Hauptdolomit in den Vordergrund (bis zu 9 ppm). Ein erhöhter Urangelhalt im Hauptdolomit konnte bereits an einigen Lokalitäten in Österreich nachgewiesen werden (mit unterschiedlichen Messmethoden). Es ist bisher nicht geklärt, in welcher Form das Uran im Hauptdolomit vorliegt. Sicher ist jedenfalls, dass es keine Korrelation zwischen dem Gehalt von organischem Material ("bituminöse Schichten", Seefelder Schichten) und dem Urangelhalt gibt.

Thorium:

Die Thoriumwerte korrelieren weitgehend mit denen des Kaliums. Thorium ist in Gesteinen an akzessorische Minerale gebunden (Monazit, Zirkon, Xenotym, Titanit etc.)

Die Thoriumgehalte sind in den Marmorserien des Kristallins, in Prasiniten, bzw. Kalkglimmerschiefern der peripheren Schieferhülle und auch in Glimmerschiefern und Amphiboliten des Radenthein Komplexes gering. Hohe Thoriumgehalte treten in Glimmerschiefern der Kreuzeckgruppe, sowie in altpaläozoischen Serien der Karnischen Alpen auf. Relativ hohe Werte finden sich auch lokal in den Alluvionen des Drau- und Mölltales, sowie in lokalen Schwemmfächern, bzw. und Murenkegeln (Göriach, Lendorf, Treffling).

Die Verteilungen von Kalium und Thorium sind oft, aber bei Weitem nicht immer, sehr ähnlich. So weisen z. B. die Schwemmfächer- oder Murablagerungen von Göriach niedrige Kalium, aber hohe Thoriumgehalte auf, jene von Lendorf sowohl erhöhte Kalium- wie auch Thoriumwerte, während jene von Treffling bezüglich K und Th offenbar intern sehr inhomogen aufgebaut sind.

Cäsium:

Das heute in der Natur anzutreffende radiogene  $^{137}\text{Cs}$  ist fast ausschließlich auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurückzuführen. Die heutige Verteilung steht mit der damaligen Niederschlagstätigkeit in direktem Zusammenhang.

Es wurden im gesamten Messgebiet kaum auffälligen Werte gefunden. Lediglich im Bereich des Mirnock, sowie im Ostteil der Villacher Alpe treten leicht erhöhte Werte von  $^{137}\text{Cs}$  auf.

Total Count:

Die Dosisleistung ist ein rein rechnerisch ermittelter Wert und ergibt sich aus der Formel  $10 \times 1,52 \times K + 0,63 \times U + 0,21 \times \text{Th}$ .

Die Dosisleistung stellt einen für durchschnittliche Messbedingungen gültigen Wert dar.

### 6.3.1. Auswertung anhand eines ausgewählten Beispiels

Die Abbildung 6.3.1. zeigt die Verteilung des Kaliums und darunter zum Vergleich die geologische Karte des Gebiets (SCHÖNLAUB, 1987) im Gailtal im Bereich Grafendorf – Tressdorf (ÖK198 Weissbriach).

Wesentlich ist, dass hier anhand der Kaliumwerte Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der quartären bis rezenten Ablagerungen gemacht werden können. Diese Sedimente sind im

Gelände aufgrund der Vegetationsbedeckung meist nicht direkt zugänglich. Anhand der Radiometriedaten sind Rückschlüsse auf Gliederungen innerhalb der Alluvionen möglich. Die Daten können z. B. Hinweise auf den Internbau von Schwemmfächern geben

Als Fallbeispiel kann der große Schwemmfächer im Bereich Grafendorf, Gundersheim, Reisach, links der Bildmitte, Abb. dienen. Der morphologisch sehr markante Graben N Kirchbach (etwas rechts der Bildmitte) ist durch erhöhte Kaliumwerte gekennzeichnet, die nicht durch das anstehende Gestein zu erklären sind, und somit auf einen merklichen Eintrag von Fremdmaterial, eventuell Schutt von oben (sehr wahrscheinlich) oder liegen gebliebenes Moränenstreumaterial (eher unwahrscheinlich) hindeuten. Es könnte aber auch ein Zusammenhang mit den von SCHÖNLAUB (1987) kartierten gabbrodioritischen Ganggesteinen bestehen.

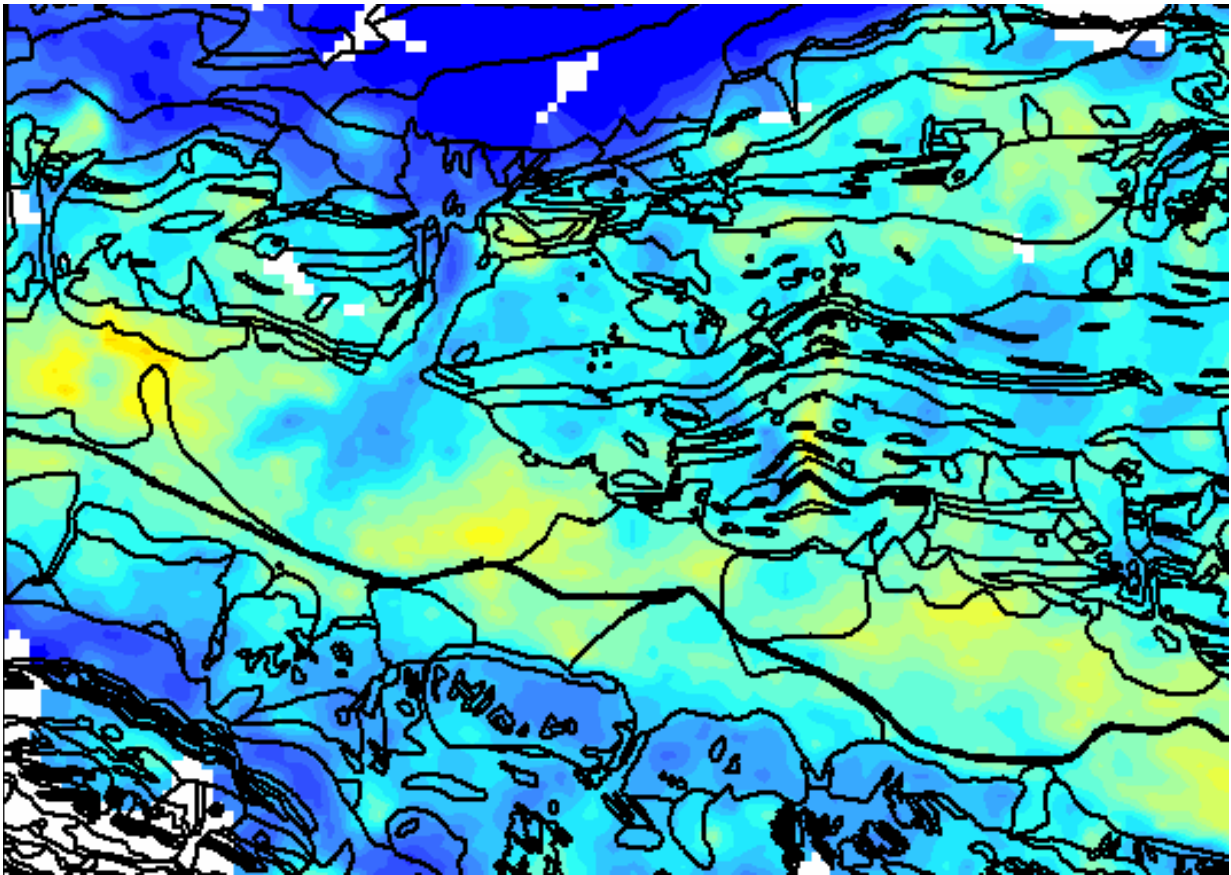


Abb.ZZZ: Ein Ausschnitt aus dem GIS (Verteilung des Kaliums), verglichen mit der geologischen Karte (ÖK198).

## 6.4. Elektromagnetik

Die Elektromagnetik-Daten wurden bereits prozessiert, eine geologische Interpretation von thematisch ausgewählten Detailgebieten erfolgt im Bericht Drautal/Gailtal 2. Die diesbezüglich bereits erfolgten bodengeophysikalischen Messungen zur Kalibrierung der EM-Modelle werden ebenfalls in selbigem Bericht berücksichtigt. Diese Messungen erfolgten in Zusammenarbeit mit den kartierenden Geologen der GBA.

## 6.5. Magnetik

Die erste Phase der Auswertung der Magnetik ist in Bezug auf „Schreibtischarbeit“ abgeschlossen. Es sollten aber weitere Schritte, wie petrologische und petrophysikalische Charakterisierung von magnetisch auffälligen Gesteinsserien, insbesondere Suszeptibilitätsmessungen, sowie Interpretationen durch räumliche Modellierungen folgen.

Die Ergebnisse sind in Form einer Isanomalienkarte der magnetischen Totalintensität dargestellt, wobei Abweichungen der Totalintensität des Erdmagnetfeldes vom globalen Internationalen Geomagnetischen Referenzfeld (IGRF), welche durch die magnetischen Eigenschaften der oberen bis obersten Erdkruste bedingt sind, als Anomalien erkennbar werden.

Starke Magnetisierungen in Gesteinen entstehen durch ferrimagnetische Minerale mit hoher magnetischer Suszeptibilität, zumeist Magnetit, Titanomagnetit, Maghemit und Pyrrhotin. Gesteine mit hoher Suszeptibilität sind vorwiegend mafische bis ultramafische Magmatite und aus diesen hervorgegangene Metamorphite, sowie Mineralisierungen oder Erze der oben genannten Minerale.

Das Messgebiet ist allgemein charakterisiert durch eine relativ inhomogene geomagnetische Struktur, die durch zahlreiche kleinräumige Anomalien gekennzeichnet ist, die aber durchaus beträchtliche Amplituden aufweisen können.

Die tektonisch tiefsten Einheiten des Messgebiets sind die höheren penninischen Decken des Tauernfensters. Nordöstlich von Möllbrücke finden sich einige sehr markante magnetische Anomalien, die im Bereich von Aufschlüssen von Bündnerschiefern der Peripheren Schieferhülle (Glockner Deckensystem) liegen. Diese Metasedimentserien enthalten reichlich basische Metavulkanite in Form von Grünschiefern und Amphiboliten, welche als Ursache magnetischer Anomalien in Frage kommen könnten.

Es ist allerdings offensichtlich, dass die Metabasitserien nicht gleichmäßig stark magnetisiert sein können. Die Struktur der Anomalie lässt vielmehr auf mindestens vier lokale separate Störkörper schließen, die eventuell durch andere Ursachen bedingt sind. Die Anomalie könnte möglicherweise auch auf kleine, aber hoch magnetisierte Körper, eventuell Serpentine, zurückzuführen sein. Serpentine der Bündnerschiefer treten zwar in diesem Bereich an der

Oberfläche nicht auf, sie finden sich aber in der Fortsetzung dieser Einheiten gegen NW (ANGEL & STABER, 1952, EXNER, 1957), wo auch eine Zone magnetischer Anomalien bis in den Bereich des Hohen Sonnblicks verfolgbar ist (HEINZ et al., 1987). Messwerte der magnetischen Suszeptibilität von penninischen Mafiten und Ultramafiten des zentralen Tauernfensters (Venediger Deckensystem) wurden von HEINZ & PESTAL (1988) publiziert. (Basisamphibolit, Stubachtaler Ultrabasis-Komplex, Habachformation): randlich serpentinierte Ultrabasis:  $\kappa = 36 \text{ bis } 592 \times 10^{-3}$  (SI), Basisamphibolit:  $\kappa = 6 \times 10^{-3}$  (SI), Amphibolite der Habachformation:  $\kappa = 1 \text{ bis } 2 \times 10^{-3}$  (SI) (HEINZ & PESTAL, 1988).

Es ist aber ebenso möglich, dass diese Anomalie durch Metabasite, eventuell auch Serpentinite des auf den Zentralgneisen auflagernden Altkristallins (Storz-Komplex) im Untergrund bedingt ist, wie dies auch für etwas weiter nördlich liegende magnetische Anomalien angenommen wird (HÄUSLER et al., 1995).

Wenn man allerdings das magnetische Maximum NE Möllbrücke in Zusammenhang mit einem in der AMVÖ erfassten deutlichen nördlichen Minimum im Bereich des Maltatales (HEINZ et al., 1987), sieht, würde diese relativ langwellige Struktur auf einen wesentlich tiefer liegenden Störkörper schließen lassen. Da die Zentralgneise aufgrund ihrer Lithologie dafür nicht in Frage kommen, müsste der Störkörper jedenfalls unterhalb des Gößkernes liegen. Die Daten der AMVÖ würden eine solche Interpretation ebenfalls nahe legen (SCHUSTER et al., in Vorbereitung).

Modellierungen der Störkörper könnten Klarheit über die mögliche Tiefenlage bringen. Es ist allerdings hierbei mit Schwierigkeiten durch bedeutende remanente Magnetisierungen zu rechnen, die sich deutlich im Vergleich von polreduzierter und nicht polreduzierter Berechnung der Anomalien zeigen.

Im östlich an das Penninikum und die unterostalpine Katschbergzone, welche magnetisch nicht in Erscheinung tritt, anschließenden Bereich der Oberostalpinen Decken tritt innerhalb des Radenthein Komplexes ein zusammenhängender Zug von markanten Anomalien auf, der mit dem Auftreten lokal mächtigerer Amphibolitserien zusammenfällt (PESTAL et al. im Druck, PISTOTNIK, 1996). Amphibolite können als magnetische Störkörper durchaus in Betracht kommen. Es müsste allerdings eine Erklärung dafür gefunden werden, warum die Anomalien auch hier nur lokal über einem Teil der Amphibolite auftreten und öfters dort, wo die Amphibolite z. T. sehr mächtig sind, manchmal zur Gänze fehlen. Es könnten lithologische Inhomogenitäten der Amphibolite vorliegen, die sich in Bezug auf die Magnetik durch Kappametermessungen im Gelände belegen lassen müssten. Andererseits könnten die magnetischen Anomalien auch auf andere, tiefer liegende Gesteinsserien zu beziehen sein, eventuell auch auf den gegen NNE unter den Radenthein Komplex abtauchenden Millstatt Komplex. Zur Lösung dieser Frage könnten Modellrechnungen weiterhelfen.

Eine weitere äußerst markante starke Anomalie liegt im Bereich S des Mirnockgipfels, etwa 8 km NE Paternion. Sie ist eher kurzweilig ausgebildet und lässt somit auf eine relativ oberflächennahe Lage des Störkörpers schließen. Eine tektonische Zuordnung ist derzeit aber trotzdem noch nicht möglich, da sich die geologische Situation durch die Auffindung einer Deckscholle des Radenthein Komplexes über den Gesteinen des Millstatt Komplexes

(SCHUSTER, 1998) als komplexer erweist, als in den bisherigen Karten (ANDERLE, 1977, PISTOTNIK, 1996) dargestellt ist. Zur Klärung dieser Situation ist eine 3D Modellrechnung an der GBA in Planung.

Flachwellige und relativ schwache Anomalien im Bereich der Goldeckgruppe dürften auf Strukturen des tieferen Untergrundes zurückzuführen sein und sind somit geologisch nicht eindeutig zuordenbar.

Eine Anomalie etwa 6 km SSE Spittal a. d. Drau besitzt hingegen eine kurzwellige scharfe Amplitude, was auf einen oberflächennahen Störkörper hinweist. Dabei könnte es sich um jene Grünschiefer (Metadiabase, -tuffe und -tuffite) des Goldeckkomplexes handeln, die in diesem Bereich lokal an der Oberfläche anstehen (SCHÖNLAUB, 1989, PESTAL et al., im Druck). Auch hier stellt sich wiederum die Frage, warum diese Gesteine, die in vergleichbarer Lithologie im gesamten Goldeckkomplex immer wieder auftreten, gerade hier stärker magnetisiert sind, bzw. ob die Ursache der Magnetisierung eventuell wo anders liegen könnte.

Eine kleine, aber gut erkennbare Anomalie südlich Spittal a. d. Drau, am Südufer der Drau, ist eindeutig anthropogener Natur und auf eine Deponie zurückzuführen.

Das Drauzugmesozoikums ist entsprechend der überwiegend karbonatischen Lithologie seiner permomesozoischen Schichtfolgen nur sehr gering magnetisiert.

Im Bereich des Ostalpinen Kristallins der Kreuzeckgruppe finden sich im Messgebiet die südlichen Ausläufer einer größeren magnetischen Anomalie, die in der AMVÖ deutlich in Erscheinung tritt (HEINZ et al., 1987) und ihr Zentrum etwa im Bereich des Gipfelgrates zwischen Hochkreuz und Kreuzeck hat. Diese Struktur dürfte dem tieferen Untergrund zuzuordnen sein (HEINZ et al., 1987). Allerdings scheinen hier Überlagerungseffekte eine Rolle zu spielen, die ein sehr inhomogenes Anomalienbild erzeugen. An der Oberfläche anstehende mächtige Amphibolitserien im Bereich der Hochtristen (BECK et al., 1958, PUTIS, 1997) sind in der Magnetik nur undeutlich erkennbar. Mehrere sehr kleinräumige, starke Anomalien könnten hingegen mit Mineralisationen in Zusammenhang stehen. Sie liegen z. T. in direkter Fortsetzung der sulfidischen Vererzungen von Draßnitz – Riedschacher Kammer, bzw. Rotwieland und Kristallspitz, die wesentlich durch Pyrrhotin geprägt sind (FRIEDRICH, 1963, QUEDNAU, 1993, FEITZINGER et al., 1995). Einzelne kleine Anomalien sind bislang nicht eindeutig zuordenbar, anthropogene Ursachen sind anhand der Flugwegevideos jedoch nicht nachweisbar.

Die in der Kreuzeckgruppe kartierten wesentlichen Störungszonen (SCHUSTER, mündl. Mitt.) sind in der Magnetikkarte nicht direkt abzulesen. Sehr wohl bilden sich aber die Richtungen dieser Störungssysteme in der Magnetik ab, wobei die dreidimensionale Feldverteilung nicht direkt in die Topographie einer zweidimensionalen Karte projiziert werden kann.

Geologische Störungszonen können magnetisch identifizierbar werden, weil entweder Gesteine mit deutlich unterschiedlicher magnetischer Suszeptibilität an der Störung aneinander grenzen, oder weil es an den Störungsflächen selbst zur Ausfällung magnetischer Minerale kommt, wobei die exakte räumliche Lage solcher magnetischer Störzonen nur durch eine Modellierung ermittelt werden kann.

Auffällig sind weiters die über größere Strecken feststellbaren leicht erhöhten Magnetisierungen im Bereich des Talbodens des Drautals, sowohl im Ober- wie im Unterdrautal. Neben möglichen Effekten talparalleler Störungen dürfte dies vor allem dadurch bedingt sein, dass die Sedimentfüllung des Drautals aufgrund ihrer lithologischen Zusammensetzung eine pauschal etwas höhere magnetische Suszeptibilität besitzt als die angrenzenden Gesteinsserien. Exakte Untersuchungen zur lithologischen Zusammensetzung dieser Sedimente sind allerdings bisher noch nie durchgeführt worden. Lokal unterschiedliche Zusammensetzungen der Sedimente können allerdings auch zu entsprechend unterschiedlichen Magnetisierungen führen. So sind z. B. im Bereich der Einmündung des Mölltales in das Drautal im Talbereich nur auffällig niedrige Werte zu beobachten, ebenso im Einzugsbereich einzelner größerer Schwemmfächer im Oberdrautal.

Dass die leicht erhöhten Werte auch anthropogen bedingt sein könnten, kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Das Periadriatische Lineament tritt in der Magnetik nur undeutlich in Erscheinung, was auch schon die AMVÖ zeigte (HEINZ et al., 1987).

Im Verlauf des Gailtals tritt eine Gruppe von talparallel angeordneten Anomalien im Gebiet etwa zwischen Reisach im W und Dellach im E auf. Sie liegen z. T. über der Sedimentfüllung des Talbodens, z. T. über Serien des Gailtalkristallins (SCHÖNLAUB, 1985, 1987, 1989). Diese magnetischen Anomalien werden mit Intrusiva an der Periadriatischen Naht und ihren Begleitgesteinen in Verbindung gebracht (HEINZ et al., 1987). In diesen treten lokal, vor allem östlich des Bearbeitungsgebiets, basische und ultrabasische Gesteine auf (EXNER & SCHÖNLAUB, 1973, EXNER, 1976). Für den Bereich östlich Villach liegen auch umfangreiche bodenmagnetische Messungen vor (SEIBERL & STEINHAUSER, 1980).

Für drei der Anomalien im Gailtal wurden durch HEINZ et al. (1987) 2D-Modellierungen auf Basis der Daten der AMVÖ durchgeführt. Die oft deutlich langgestreckte Form der Anomalien gibt 2D-Modellierungen eine hohe Aussagekraft, da in diesen die x- und y-Achse (normal zur Längsachse der Anomalie) als Variable modelliert werden, während die z-Achse (parallel zur Längsachse der Anomalie) als theoretisch unendlich betrachtet wird.

Markante Minima fehlen hier zum Teil. Dies könnte durch lokale Überprägungen durch weitere kleinere Anomalien bedingt sein, eventuell auch durch ein generelles Einfallen der Störkörper gegen Norden.

Die Daten sind nicht polreduziert dargestellt, das heißt, dass aufgrund der Inklination des magnetischen Feldvektors (hier etwa 63°) die Anomalien nicht senkrecht über den Störkörpern liegen, sondern gegenüber den Störkörpern etwas gegen Süden verschoben sind.

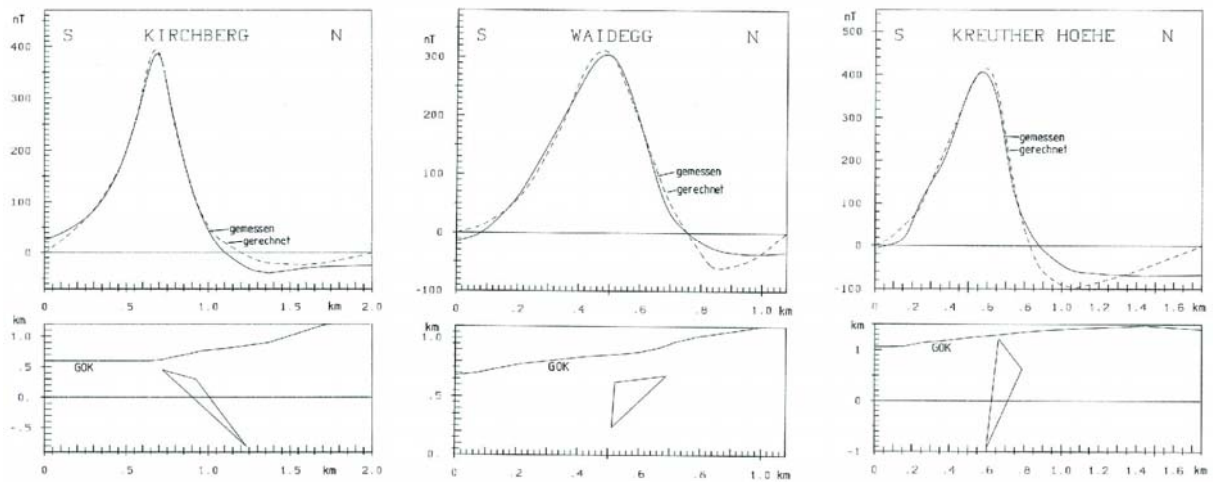


Abb. 6.5.1: 2-D Modellierungen der Geomagnetik im Bereich des Gailtales zwischen Kirchbach und Hermagor (HEINZ et al., 1987). Die genaue Lage der Profile ist leider anhand der Daten von HEINZ et al., (1987) nicht eindeutig nachvollziehbar.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit den hubschraubergeomagnetischen Untersuchungen eine umfangreiche Datenbasis geschaffen wurde, auf die je nach Fragestellung spezifische Detailuntersuchungen aufgebaut werden können. Die bisher vorliegenden Daten sollen im Rahmen von Projekten der GBA durch weitere gesteinsphysikalische Messungen (vor allem Kappparametermessungen im Gelände) und durch numerische Modellierungen ergänzt werden.

## 7. Literatur

- ANDERLE, N. (1977): Geologische Karte der Republik Österreich, 1 : 50 000, 200 Arnoldstein.- Geologische Bundesanstalt, Wien.
- ANGEL, F. & STABER, R. (1952): Gesteinswelt und Bau der Hochalm-Ankogel-Gruppe.- Wiss. Alpenvereins., 13, 112 S., 4 Abb., 10 Profilblätter, 1 geol. Kt.; Innsbruck.
- BECK, H., HOLZER, H. & VOHRZYKA, E. (1958): Geologische Karte Kreuzeckgruppe.- Unveröff. Manuskriptkarte 1 : 50 000, Archiv der Geol. B.-A.; Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT UND UMWELTSCHUTZ (1986): Tschernobyl und die Folgen für Österreich. - Ber. Umweltbundesamt, Wien, 1986.
- EXNER, Ch. & SCHÖNLAUB, H. P. (1973): Neue Beobachtungen an der Periadriatischen Narbe im Gailtal und im Karbon von Nötsch.- Verh. Geol. B.-A. 1973, 357-365, 1 Abb.; Wien.
- EXNER, Ch. (1957): Erläuterungen zur geologischen Karte der Umgebung von Gastein 1 : 50.000, 168 S., 8 Abb., 8 Taf.; Wien.
- EXNER, Ch. (1976): Die geologische Position der Magmatite des periadriatischen Lineamentes.- Verh. Geol. B.-A. 1976, 3-64, 13 Abb.; Wien.
- EXNER, Ch. (1980): Geologie der Hohen Tauern bei Gmünd in Kärnten.- Jb. Geol. B.-A., 123, 343-410, 10 Abb., 6 Taf.; Wien.
- FEITZINGER, G., PAAR, W.H., TARKIAN, M., RECHE, R., WEINZIERL, O., PROCHASKA, W. & HOLZER, H. (1995): Vein type Ag-(Au)-Pb, Zn, Cu-(W,Sn) mineralization in the Southern Kreuzeck Mountains, Carinthia Province, Austria.- Mineral. Petrol., 53, 307-332, 10 Abb., 2 Tab., Wien.
- FRASER, D.C. (1978): Resistivity mapping with an airborne multicoil electromagnetic system. Geoph.,43, Tulsa.
- FRIEDRICH, O. M. (1963): Monographie der Lagerstätten in der Kreuzeckgruppe, Monographien kärntner Lagerstätten, 3.Teil.- Arch. Lagerstättenforsch. Ostalpen, 1, 220 S., zahlreiche Abb., Leoben.
- GRASTY, R. L., CARSON, J. M., CHARBONNEAU, B. W. & HOLMAN, P. B. (1984): Natural Background Radiation in Canada. Geological Survey of Canada, Bulletin 360.
- GUTDEUTSCH, R. & SEIBERL, W. (1987): Die aeromagnetische Vermessung Österreichs (Endbericht).- 32 S., 5 Abb, 1 Beil., 1 Anh., Inst. f. Meteor. u. Geophys., Univ. Wien.
- HÄUSLER, H. , BECHTOLD, D., BRANDECKER, H., DEMMER, W. & HEINZ, H. (1995): Geologische Karte der Republik Österreich: Erläuterungen zu Blatt 156 Muhr, 59 S., Wien.
- HEINZ, H. & PESTAL, G. (1988): Geologisch-geophysikalische Analyse von Ultrabasiten aus den zentralen Hohen Tauern.- Jb. Geol. B.-A., 131, 285-289, 1 Abb.; Wien.

- HEINZ, H., SEIBERL, W. & BIEDERMANN, A. (1987): Aeromagnetische Vermessung des Bundeslandes Kärnten.- Bericht Projekt KC-16/85, 16 S., 5 Abb., 9 Beil.; Wien.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) (1979): Gamma Ray Surveys in Uranium Exploration. - Techn. Rep. Series No. 186, Vienna.
- KILLEEN, P.G. (1979): 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.
- KOVACS, A., HOLLADAY, J. S. & BERGERON, C.J. (1995): The footprint/altitude ratio for helicopter electromagnetic sounding of sea-ice thickness: Comparison of theoretical and field estimates. Geophysics, Vol 60, No. 2, March-April 1995
- PESTAL, G, RATAJ, W., REITNER, J. & SCHUSTER, R. (1996): Geologische Karte der Republik Österreich, 1 : 50 000, 182 Spittal an der Drau.- Geologische Bundesanstalt, Wien (im Druck).
- PISTOTNIK, J. (1996): Geologische Karte der Republik Österreich, 1 : 50 000, 183 Radenthein.- Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PUTIS, M. (1997): Kompilation der Kartierungen auf ÖK Blatt 181 Obervellach.- Unveröff. Manuskriptkarten 1 : 25 000, Archiv der Geol. B.-A.; Wien.
- QUEDNAU, M. S. (1993): Gold in der Kreuzeck- und Goldeck-Gruppe Kärnten, Österreich: Geochemie und Metallogenie.- Berliner geowiss. Abh. A, 154, 138 S., 70 Abb., 11 Tab., Berlin.
- SCHÖNLAUB, H.P. (1985): Geologische Karte der Republik Österreich, 1 : 50 000, 197 Kötschach.- Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÖNLAUB, H.P. (1987): Geologische Karte der Republik Österreich, 1 : 50 000, 199 Hermagor.- Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÖNLAUB, H.P. (1989): Geologische Karte der Republik Österreich, 1 : 50 000, 198 Weißbriach.- Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHUSTER, R. (1998): Bericht 1997 über geologische Aufnahmen im Kristallin auf Blatt 182 Spittal a. d. Drau.- Jb. Geol. B.-A., 141, 323-325; Wien.
- SCHUSTER, R., PESTAL, G. & REITNER, J. (2006): Geologische Karte der Republik Österreich: Erläuterungen zu Blatt 182 Spittal a. d. Drau. - Geol. B.-A, (in Vorbereitung), Wien.
- SEIBERL, W. & HEINZ, H. (1985): Aerogeophysikalische Vermessung des Drauzuges.- Bericht Auftragsforschungsprojekt KC-8/80, 45 S., 12 Abb., 8 Anl.; Wien.
- SEIBERL, W. & HEINZ, H. (1986): Aerogeophysikalische Vermessung des zentralen Drauzuges.- Bericht Forschungsprojekt KA-33d/84.- 37 S., 12 Abb., 11 Anl.; Wien.
- SEIBERL, W. & HEINZ, H. (1987): Aerogeophysikalische Vermessung im Raum Kirchbach / Gailtal.- Bericht Forschungsprojekt KA-33a/84.- 39 S., 12 Abb., 11 Anl.; Wien.

SEIBERL, W. & STEINHAUSER, P. (1980): Magnetische Messungen entlang dem östlichen Teil des Periadriatischen Lineaments.- Mitt. österr. geol. Ges., 71/72 (1978/1979), 291-298, 4 Abb.; Wien.

SEIBERL, W. (1991): Aeromagnetische Karte der Republik Österreich 1 : 1,000.000 (Isanomalien der Totalintensität).- Geologische Bundesanstalt (Hrsg.), Wien.

## Beilage 1

### Ergebnisse radiometrischer Messungen

Beilage 1a.....Kalium

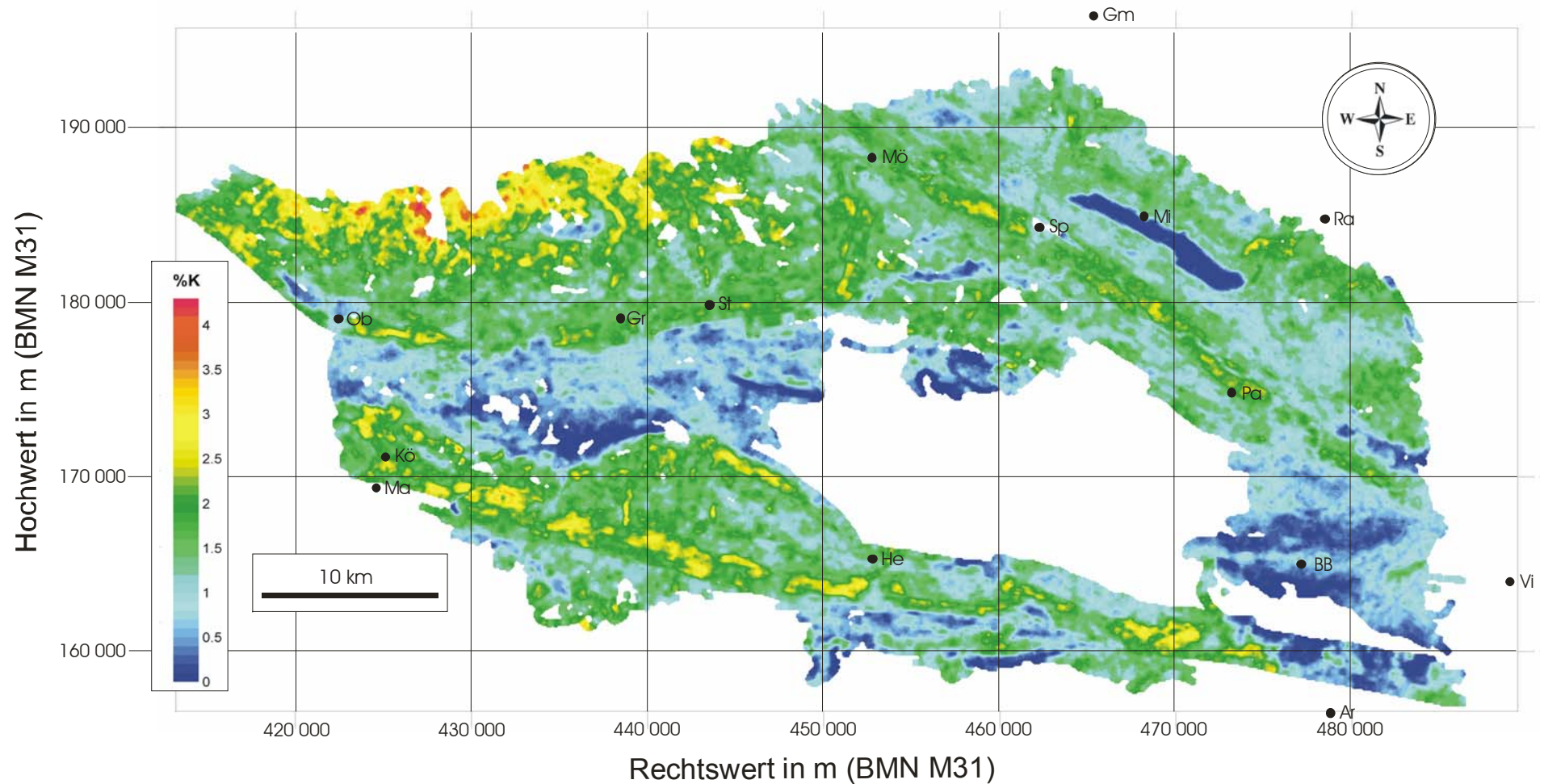
Beilage 1b.....Uran

Beilage 1c.....Thorium

Beilage 1d.....Dosisleistung

Beilage 1e.....Cäsium 137

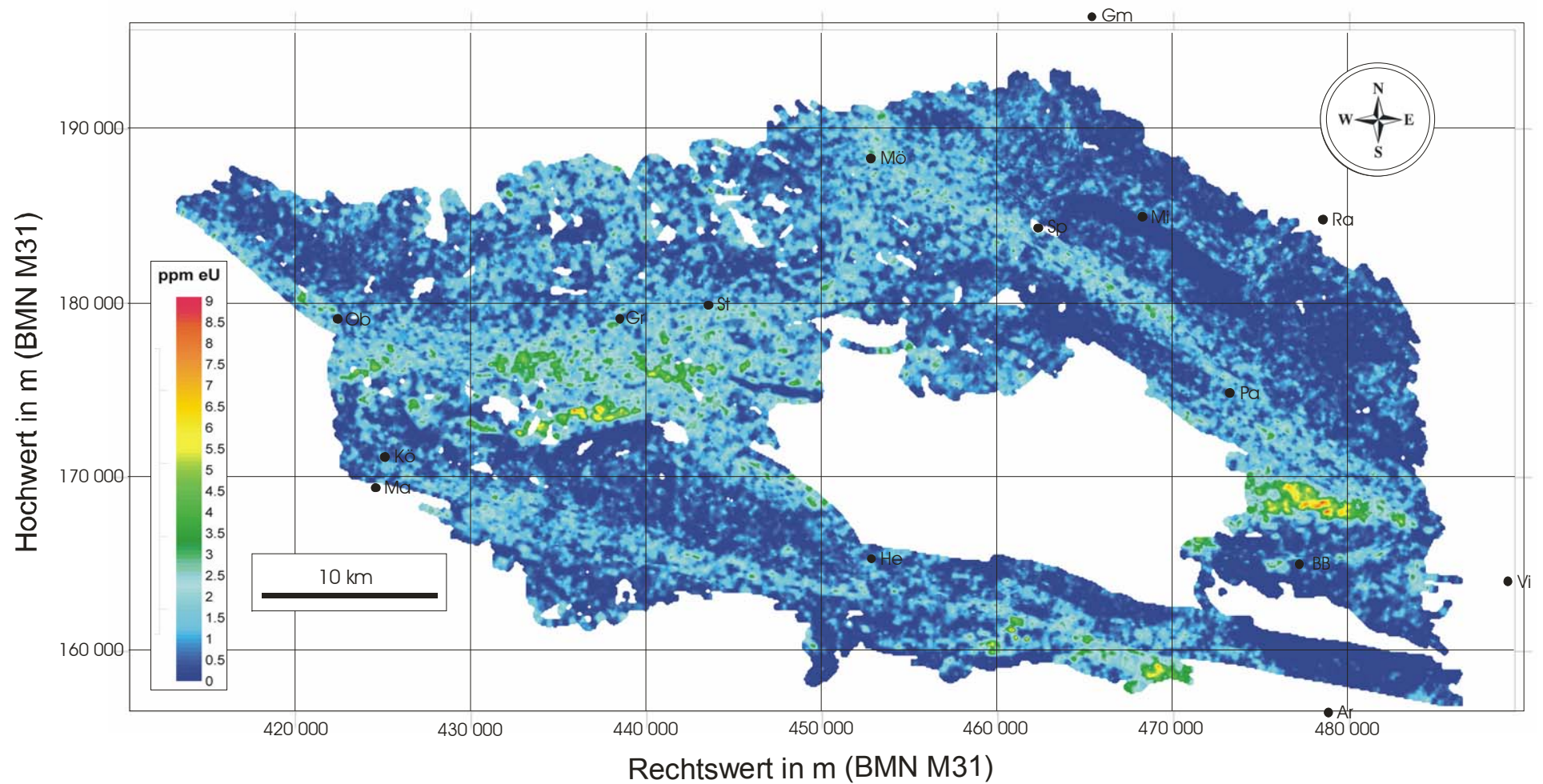
# Kärnten 2003/2004/2005 : Kalium



Beilage 1 a: Karte der Verteilung des Kalium (%)

Abkürzungen der Ortschaften: Ar...Arnoldstein, BB...Bad Bleiberg, Gm...Gmünd, Gr...Greifenburg, He...Hermagor, Kö...Kötschach, Ma...Mauthen, Mi...Millstatt, Mö...Möllbrücke, Ob...Oberdrauburg, Pa...Paternion, Ra...Radenthein, Sp...Spittal an der Drau, St...Steinfeld, Vi...Villach

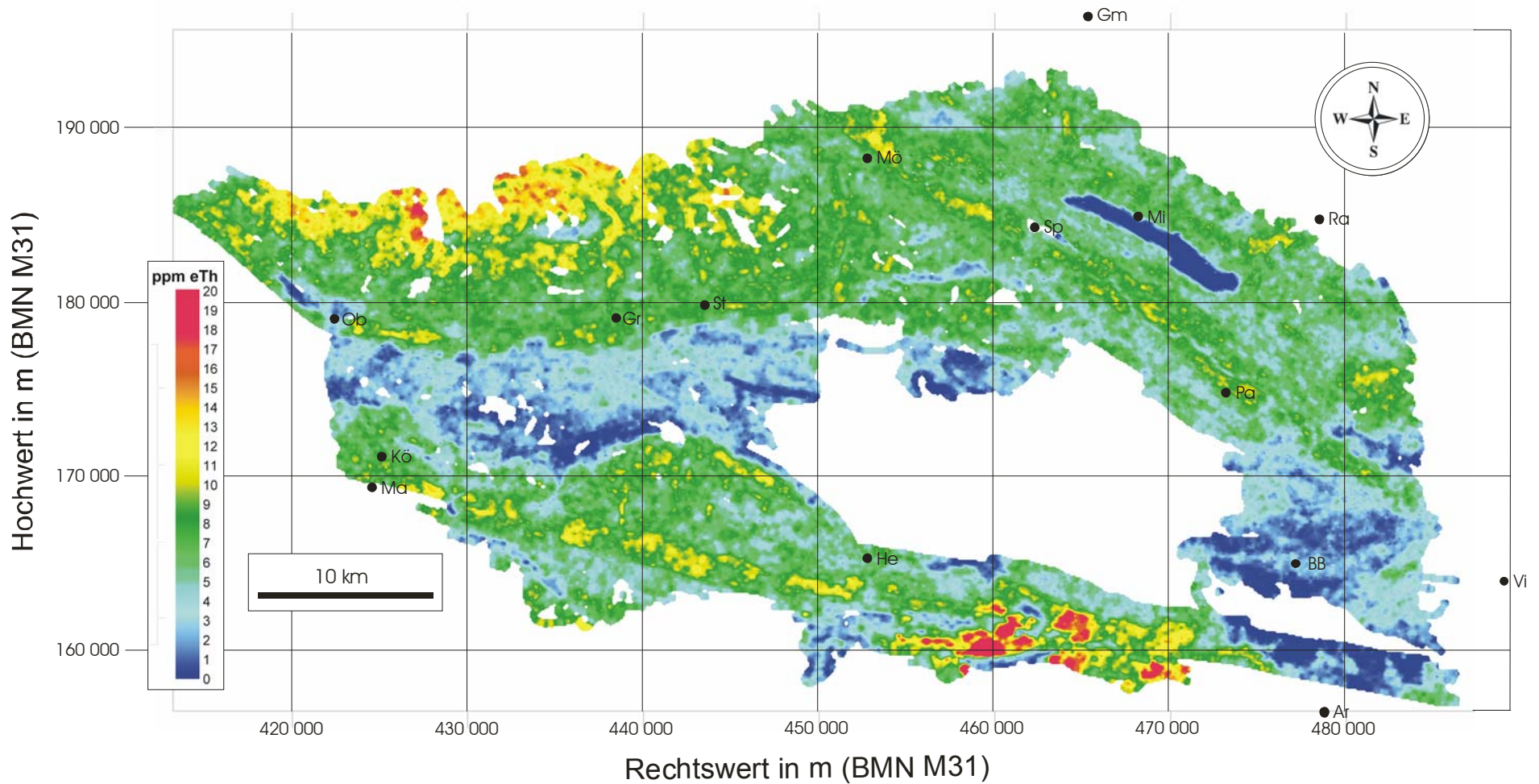
## Kärnten 2003/2004/2005: Uran



Beilage 1 b: Karte der Verteilung des Uran (ppm)

Abkürzungen der Ortschaften: Ar...Arnoldstein, BB...Bad Bleiberg, Gm...Gmünd, Gr...Greifenburg, HeHermagor, Kö...Kötschach, Ma...Mauthen, Mi...Millstatt, Mö...Möllbrücke, Ob...Oberdrauburg, Pa...Paternion, Ra...Radenthein, Sp...Spittal an der Drau, St...Steinfeld, Vi...Villach

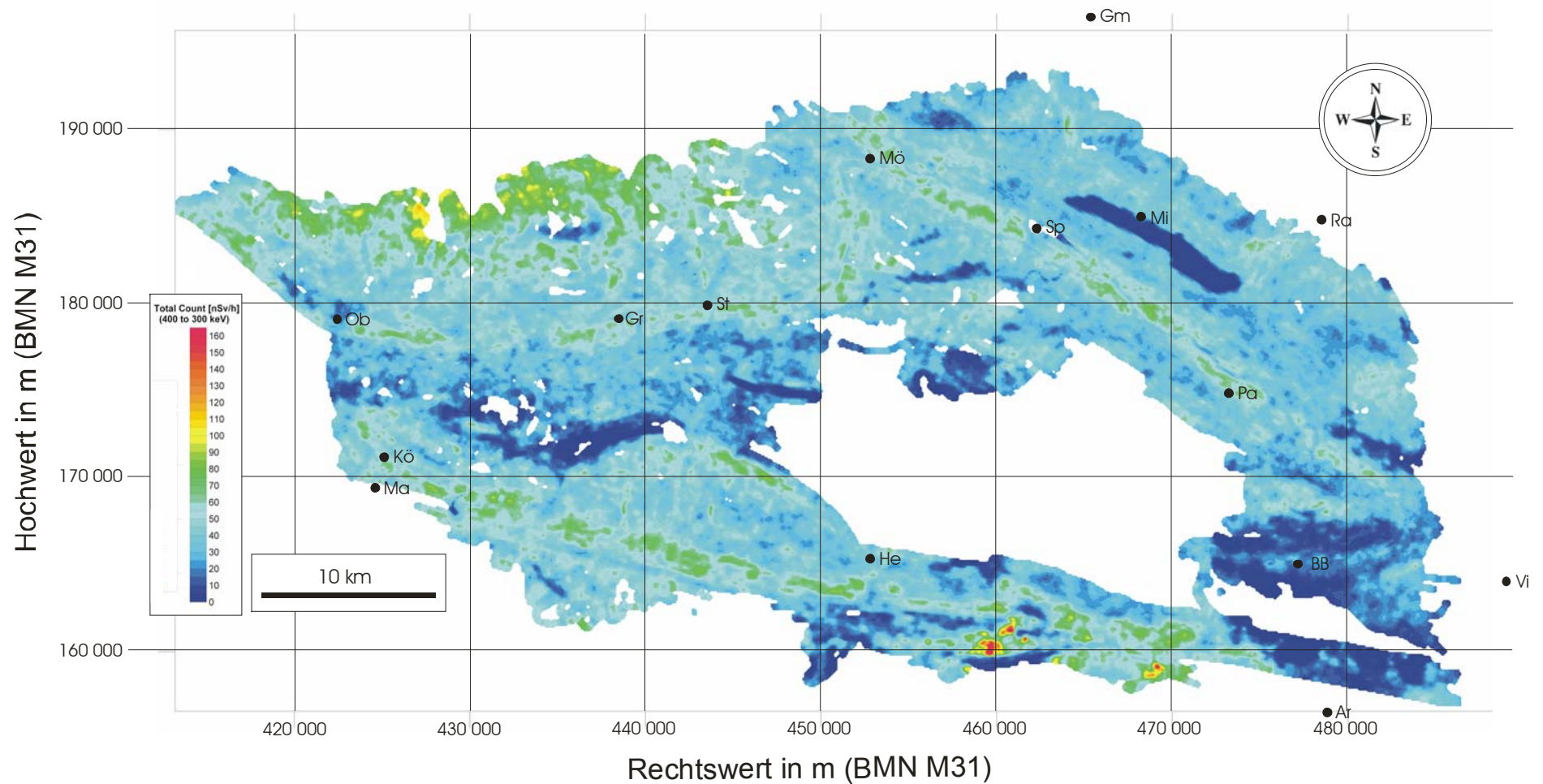
# Kärnten 2003/2004/2005 : Thorium



Beilage 1 c: Karte der Verteilung des Thorium (ppm)

Abkürzungen der Ortschaften: Ar...Arnoldstein, BB...Bad Bleiberg, Gm...Gmünd, Gr...Greifenburg, He...Hermagor, Kö...Kötschach, Ma...Mauthen, Mi...Millstatt, Mö...Möllbrücke, Ob...Oberdrauburg, Pa...Paternion, Ra...Radenthein, Sp...Spittal an der Drau, St...Steinfeld, Vi...Villach

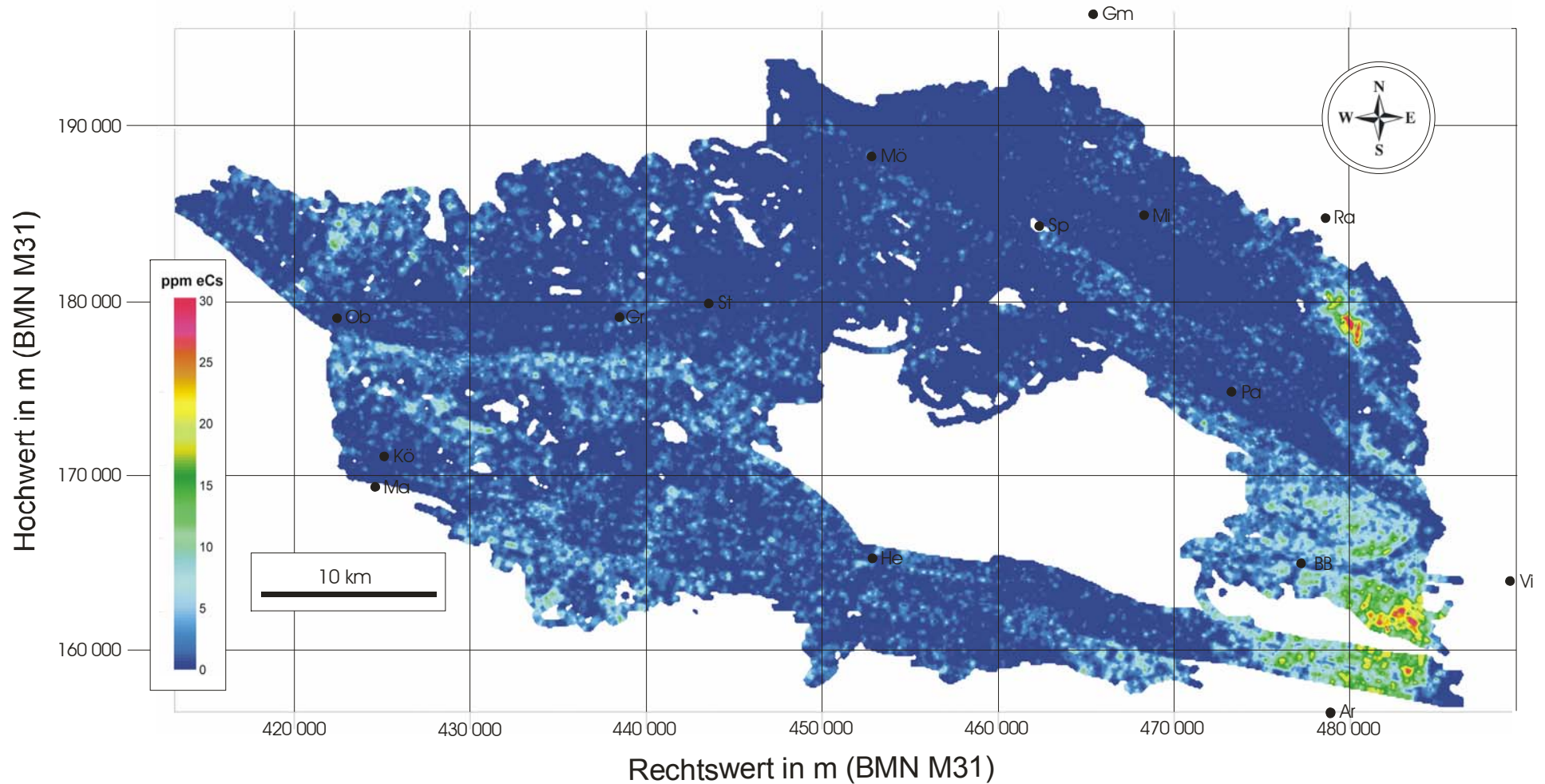
## Kärnten 2003/2004/2005 : Total Counts



Beilage 1 d: Verteilung der Dosisleistung

Abkürzungen der Ortschaften: Ar...Arnoldstein, BB...Bad Bleiberg, Gm...Gmünd, Gr...Greifenburg, He...Hermagor, Kö...Kötschach, Ma...Mauthen, Mi...Millstatt, Mö...Möllbrücke, Ob...Oberdrauburg, Pa...Paternion, Ra...Radenthein, Sp...Spittal an der Drau, St...Steinfeld, Vi...Villach

# Kärnten 2003/2004/2005 : Caesium



Beilage 1 e: Karte der Verteilung des Caesium (ppm)

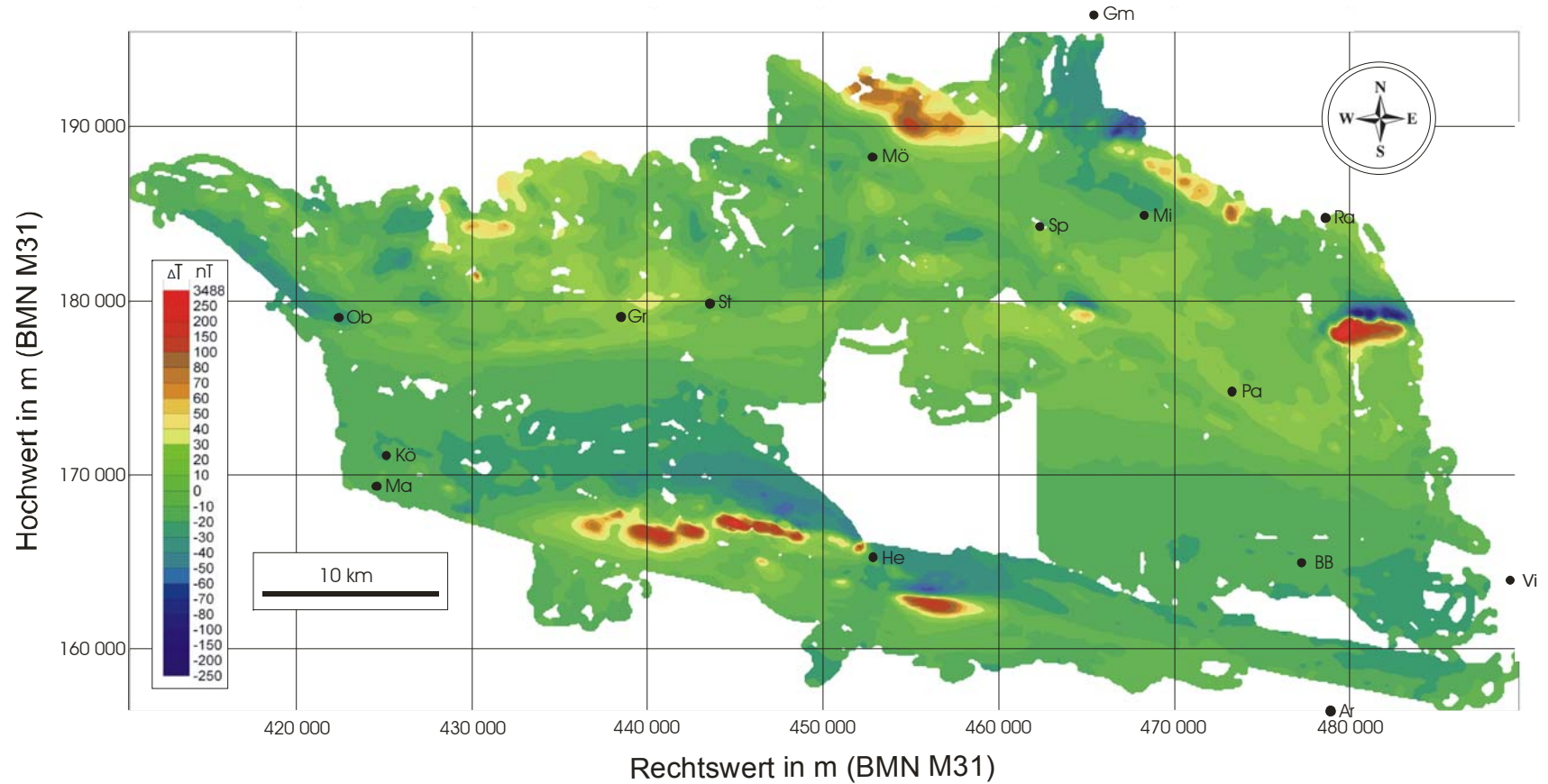
Abkürzungen der Ortschaften: Ar...Arnoldstein, BB...Bad Bleiberg, Gm...Gmünd, Gr...Greifenburg, He...Hermagor, Kö...Kötschach, Ma...Mauthen, Mi...Millstatt, Mö...Möllbrücke, Ob...Oberdrauburg, Pa...Paternion, Ra...Radenthein, Sp...Spittal an der Drau, St...Steinfeld, Vi...Villach

## Beilage 2

### Isanomalien der Totalintensität

?

## Kärnten 2003/2004/2005 : Magnetik



Beilage 2: Karte der magnetischen Anomalien

Abkürzungen der Ortschaften: Ar...Arnoldstein, BB...Bad Bleiberg, Gm...Gmünd, Gr...Greifenburg, HeHermagor, Kö...Kötschach, Ma...Mauthen, Mi...Millstatt, Mö...Möllbrücke, Ob...Oberdrauburg, Pa...Paternion, Ra...Radenthein, Sp...Spittal an der Drau, St...Steinfeld, Vi...Villach