



GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT



**AEROGEOPHYSIKALISCHE
VERMESSUNG**

im Bereich

St. Jakob / Stmk.

Vollzug des Lagerstättengesetzes: Projekt ÜLG-20/96-97

AEROGEOPHYSIKALISCHE VERMESSUNG

in Bereich

St. Jakob/Stmk.

von

Wolfgang Seiberl

und

Reinhard Belocky

Wien, März 1999

Geologische Bundesanstalt Wien

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1. Zielsetzung und Ablauf des Projekts	3
2. Verwendete Meßmethoden und allgemeine Bemerkungen zu aerogeophysikalischen Messungen	4
3. Planung und Durchführung der Vermessung	6
3.1. Meßausrüstung	6
3.2. Fluglinien	7
3.3. Durchführung der Messungen	8
3.4. Personal	11
4. Datenverarbeitung und Kartenherstellung	12
4.1. Aufgabe der ADV	12
4.2. Datenkontrolle	13
4.3. Flugwegdaten	13
4.4. Elektromagnetische Widerstandskartierung	14
4.4.1. Auswertung der EM-Daten	14
4.4.2. Bedeutung der Ergebnisparameter ρ_a und d_a	15
4.5. Kartierung der anomalen magnetischen Totalintensität (ΔT)	17
4.6. Radiometrische Kartierung	19
4.6.1. Die Quellen der natürlichen Gammastrahlung	19
4.6.2. Korrekturen der Meßdaten	19
4.6.3. Herstellung der Farbrasterkarten	24
4.7. Infrarot und Bodenfeuchte	25
5. Geologie des Meßgebietes	26
6. Erste Ergebnisse der Aerogeophysik	29
6.1 Magnetik	29
6.2 Radiometrie	29
6.3 Elektrischer Widerstand	30
7. Literatur	32
8. Verzeichnis der Beilagen	33

Zusammenfassung

Das komplexe aerogeophysikalische Vermessungsprogramm im Raum St. Jakob hat teilweise zur Klärung rohstoffgeologischer Fragen im Untersuchungsgebiet beigetragen.

Ein im Vergleich zu jenem im Bereich der Lagerstätte Breitenau relativ ähnliches Anomalienmuster (Magnetik, elektrischer Widerstand) konnte etwa 5 km nordöstlich des genannten Bergbaues festgestellt werden. Es wird empfohlen, diesen Raum durch

- geologische Begehungen und
- bodengeophysikalische Messungen (Magnetik, Elektromagnetik)

näher einzugrenzen.

Weiters wurden im gegenständlichen Projekt die schon vorhandenen aerogeophysikalischen Daten im Hoffnungsgebiet „Straßegg“ (Arsen-Gold-Vererzung) Richtung W und NW ergänzt.

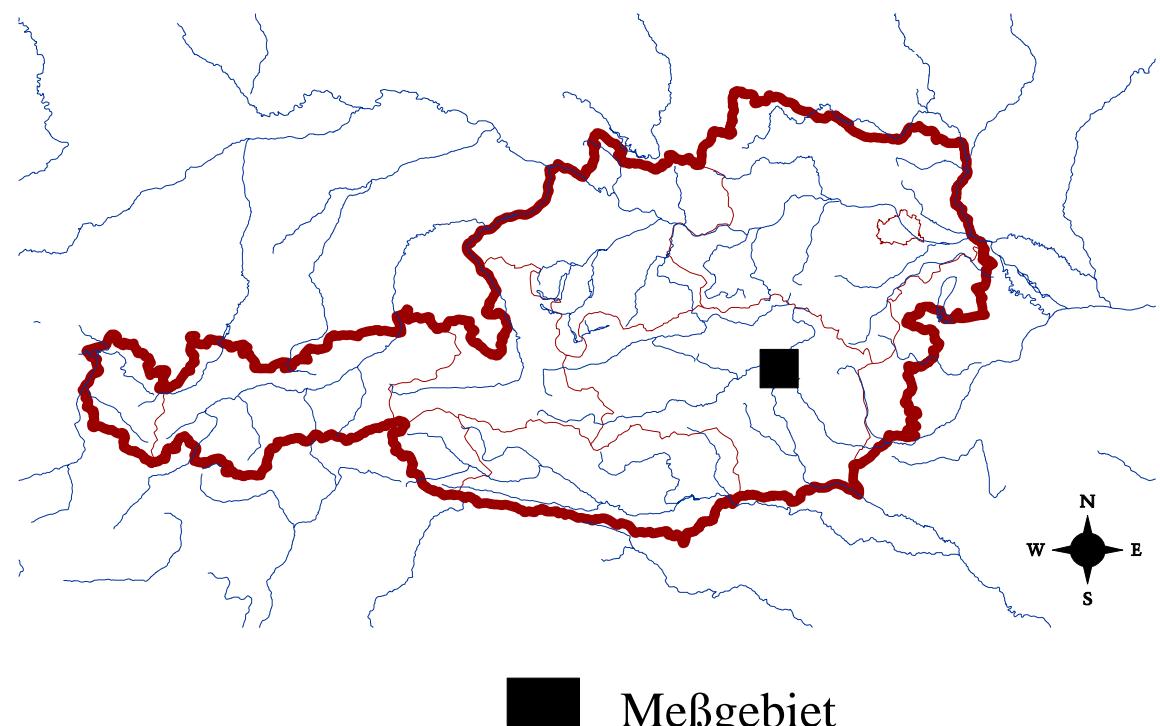


Abb. 1: Lage des Meßgebietes

1. Zielsetzung und Ablauf des Projekts

Mit der hubschraubergeophysikalischen Vermessung im Bereich von St. Jakob/Stmk. sollen in erster Linie geowissenschaftliche Beiträge zur

- Abschätzung der Mineralrohstoffsituation aus der Sicht der Aerogeophysik,

sowie zur

- Unterstützung der regionalen geologischen Kartierung

im Untersuchungsgebiet erstellt werden.

Die Meßflüge im Raum St. Jakob - die Lage des Meßgebietes kann der Abbildung 1 entnommen werden - fanden im Herbst 1996 und im Jahre 1997 statt. Dabei wurde ein temporärer Hubschrauberlandeplatz bei Gratkorn eingerichtet. Mit der Herstellung erster Ergebniskarten wurde im Frühjahr 1998 begonnen. Die Fertigstellung letzterer wurde im Winter 98/99 abgeschlossen.

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 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 Meßpunkt raster (Profilabstand, Meßpunkt abstand, Flughöhe etc.) einen sehr wesentlichen Einfluß auf das Ergebnis hat. Aus wirtschaftlichen Überlegungen kann der Profil- und Meßpunkt abstand 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.

Beim Flugprogramm im Meßgebiet St. Jakob wurde der Profilabstand mit 200 m festgelegt. Der Meßpunkt abstand entlang der Profile ist von der jeweiligen Fluggeschwindigkeit abhängig, so z.B. beträgt die Datenabtastrate für die Radiometrie 1 Sekunde. Dies entspricht einem mittleren Punkt abstand von ca. 30 m. Die elektromagnetischen Meßwerte werden 10 mal die Sekunde abgefragt; d.h. der Meßpunkt abstand 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 Rohstoffpotentialuntersuchungen gut geeignet, entsprechende geowissenschaftliche Grundlagen zu erstellen, da häufig nicht nur der direkte Hinweis auf höfliche Gebiete von Bedeutung sein kann, sondern auch der indirekte. Die indirekte Beurteilung von geophysika-

lischen Daten im Hinblick auf Geologie, Strukturen, Tektonik etc., wird in Zukunft stark an Bedeutung gewinnen.

Die im Raum St. Jakob auftretenden Gesteinsserien können im Wesentlichen dem Raabalpen Kristallin, dem Mugel-Rennfeld bzw. dem Gleinalmkristallin sowie dem Grazer Paläozoikum zugeordnet werden.

Für solche geologische Bedingungen empfiehlt sich die Anwendung der

- Magnetik
- Gammastrahlenspektrometrie (Radiometrie) und der
- Elektromagnetik.

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 St. Jakob 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, (434 Hz vertikal koplanar, 3212 Hz horizontal koaxial, 7002 Hz vertikal koplanar, 34133 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 40 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 4,1 l). Dieses Gerät mißt die Intensität der Gammastrahlung in jeweils 256 Energiekanälen für die nach unten und oben gerichteten Kristalle. Zusätzlich werden 6 Energiesummenbereiche aufgezeichnet: Gesamtstrahlung (0,4 - 3,0 MeV, bzw. 0,2 - 3,0 MeV), für Uran-weit (1,041 - 1,207 MeV, 1,66 - 2.41 MeV), Kalium (⁴⁰K; 1,36 - 1,56 MeV), Uran (²¹⁴Bi; 1,67 - 1,87 MeV) und Thorium (²⁰⁸Tl; 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 Meßwert pro Sekunde. Der Sensor ist in der elektromagnetischen Meßsonde eingebaut.
- Ein Infrarotsensor (8 - 13 mm) zur Messung der Erdoberflächentemperatur.
- Zur Messung der Flughöhe über Grund dient ein Radarhöhenmesser Sperry AA-220.
- Der Flugweg wird auf einer Breite von ± 100 m durch eine Videokamera 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.

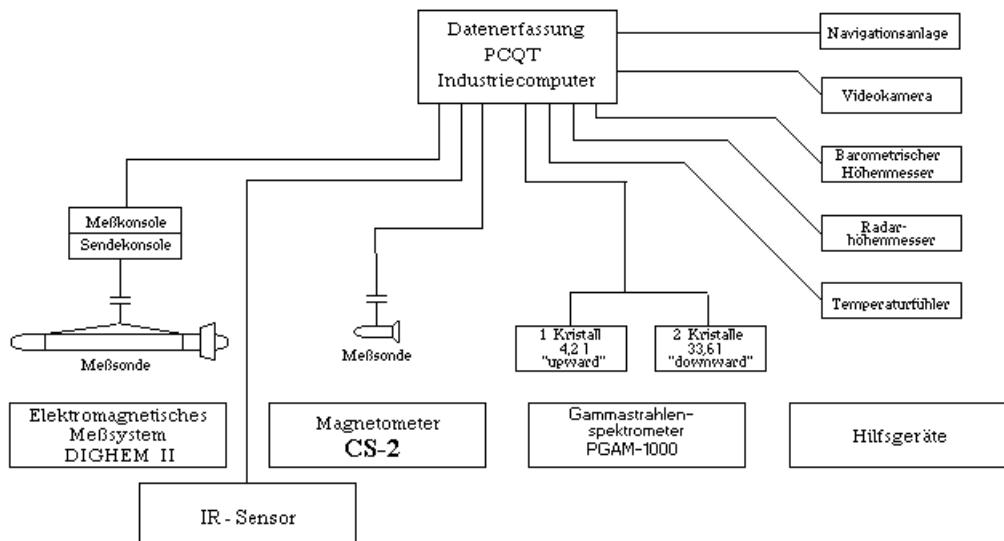


Abb.2: Datenfluß des Hubschrauber-Meßsystems

3.2. Fluglinien

Die Flugrichtung wurde etwa senkrecht zum generellen geologischen Streichen im Meßgebiet mit $150^\circ \leftrightarrow 330^\circ$ festgelegt.

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

Abstand: Der Soll-Abstand der Meßprofile beträgt 200 m. Im Bereich der Lagesrätte Breitenau wurde der Meßprofilabstand auf 100 m verdichtet.

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.

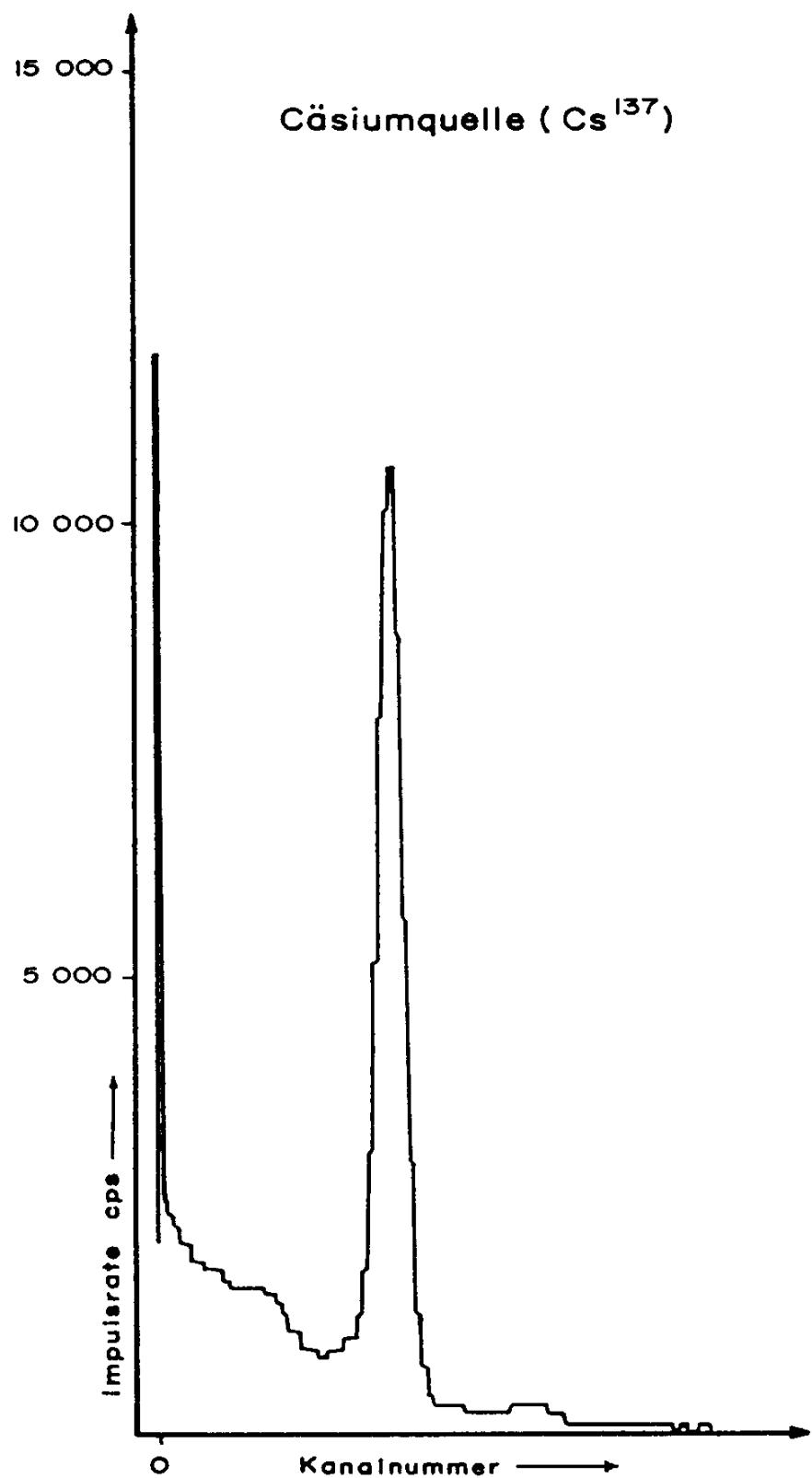


Abb. 3: GR - 800D Gammastrahlenspektrometer (Kristall I),
Beispiel einer Spektralregistrierung (10.6.1983) - Cäsiumquelle (¹³⁷Cs)

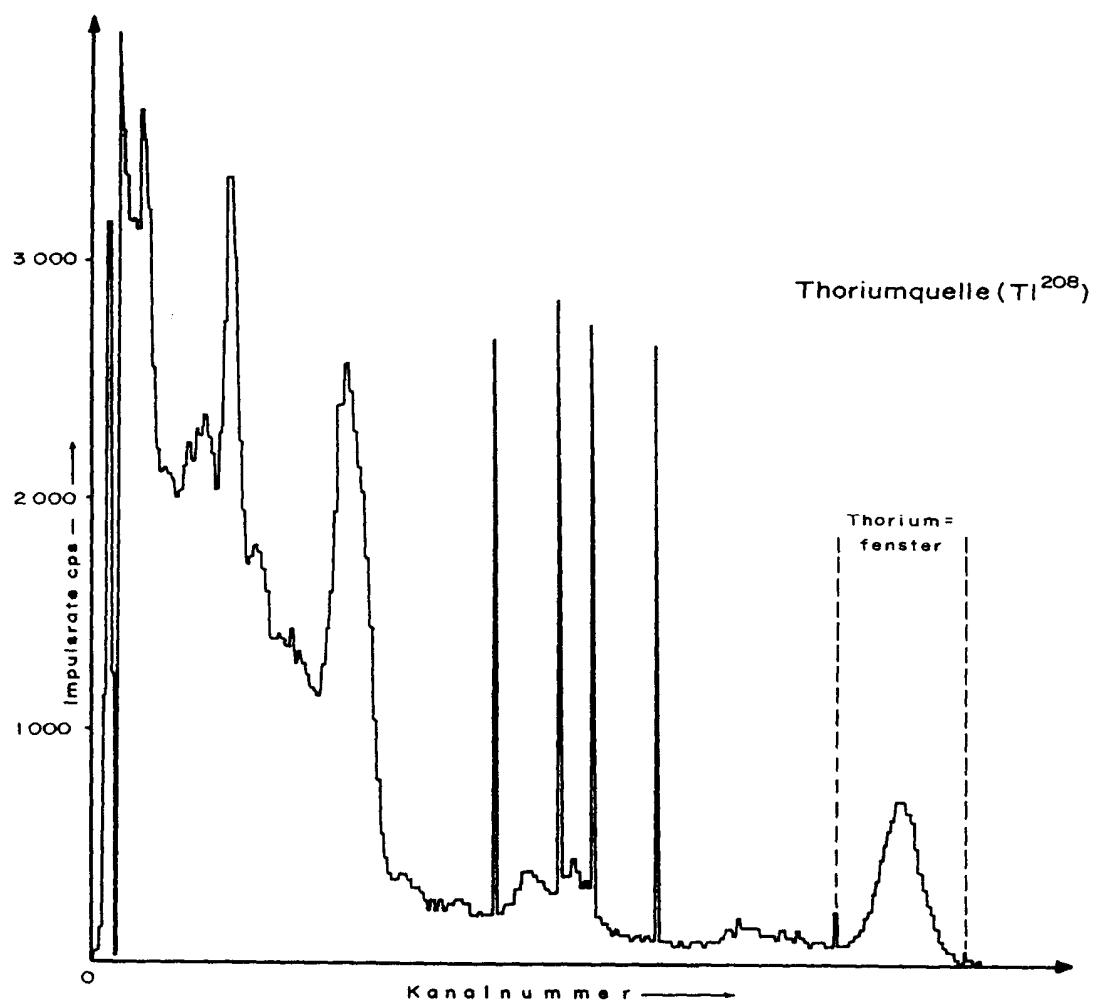


Abb.4: GR - 800D Gammastrahlenspektrometer (Kristall I),
Beispiel einer Spektralregistrierung (10.6.1983) - Thoriumquelle (^{208}Tl)

3.4. Personal

An der Durchführung der aerogeophysikalischen Arbeiten im Raum St. Jakob waren folgende Personen beteiligt:

Geologische Bundesanstalt / Universität Wien:

Univ. Prof. Dr. Wolfgang Seiberl

Geologische Bundesanstalt:

Martin Heidovitsch

Klaus Motschka

Gernot Oberlercher

Robert Supper

Edmund Winkler

Bundesministerium für Landesverteidigung:

Herbert Santner

Peter Lang

Robert Staudinger

Rainer Wehrle

Thomas Kropik

Wolfgang Leeb

Josef Strümpf

Werner Nehring

Anton Giessenbacher

Peter Waldbauer

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 Gratkorn.
- 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 Tintenstrahldruckers 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 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 (Beilage 1) wurde mit Hilfe der aufgezeichneten Flugwegkoordinaten rekonstruiert und an Hand der Videoaufzeichnungen überprüft. Bei der kartenmäßigen Flugwegdarstellung wird das Bundesmeldenetz benutzt.

4.4. Elektromagnetische Widerstandskartierung

4.4.1. Auswertung der EM-Daten

Mit dem 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. Die EM-Daten einiger Meßflüge enthalten Störimpulse durch "sferics", d.h. durch elektromagnetische Impulse aufgrund von luftelektrischen Entladungen, insbesondere Gewittern.

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

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

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

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

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

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

- die scheinbare Tiefe d_a (eines äquivalenten Halbraumes, bezogen auf die Erdoberfläche).

oder in

drei Ergebnisparameter, nämlich

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

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

In der Folge wurden die jeweils berechneten Ergebnisparameter mit Hilfe eines Tintenstrahldruckers in Form von Farbrasterkarten im Maßstab 1:50.000 dargestellt (Beilage 9: elektrischer Widerstand [Ωm], berechnet aus allen Frequenzen). Im Meßgebiet St. Jakob kam wegen der geologischen Bedingungen nur das homogene Halbraummodell zur Anwendung. Auf die Darstellung des Meßparameters d_a wurde in der Folge verzichtet.

4.4.2. Bedeutung der Ergebnisparameter ρ_a und d_a

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

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

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

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

Der Tiefenwert d_a kann daher größer, kleiner oder gleich Null sein. Bezogen auf einen Zweischichtfall, d.h. eine Deckschicht mit einem Widerstand ρ_1 und einer Mächtigkeit d_1 sowie

einem (unendlich ausgedehnten) Substratum mit dem Widerstand ρ_2 , gelten folgende Zusammenhänge (FRASER, 1978):

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

Durch das Vorzeichen von d_a können also qualitative Aussagen über die vertikale Leitfähigkeitsverteilung gemacht werden. Die Erkundungstiefe ist die Maximaltiefe, bis zu der ein guter elektrischer Leiter im Untergrund durch die Meßmethode erfaßt werden kann. Bei schlechtleitender Deckschicht und großen Zielkörpern sind mit dem GEOTECH - System Erkundungstiefen von 100 - 120 m zu erreichen.

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

4.5. Kartierung der anomalen magnetischen Totalintensität (ΔT)

In der Beilage 2 ist die Farbrasterkarte der magnetischen Totalintensität (ΔT) dargestellt. Diese Anomalien stellen die Feldabweichungen vom globalen Erdmagnetfeld dar, wobei letzteres durch das "Internationale Geomagnetische Referenzfeld" (IGRF) definiert wird. Da das Magnetfeld auch zeitlich veränderlich ist, stellt sich der anomale Feldanteil (ΔT), der von den unterschiedlich magnetisierbaren Gesteinen herröhrt, 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 Gratkorn verwendet wurden. Der Verlauf des Hauptfeldes T_{int} kann für kleine Meßgebiete, wie z.B. jenes im Raum St. Jakob, gut durch eine Ebene angenähert werden.

Zur Darstellung dieser sind drei Parameter notwendig, nämlich die Feldgradienten Richtung Nord bzw. Ost und ein konstanter Term. Diese Größen werden aus dem IGRF (s.o) hergeleitet und anschließend rechnerisch berücksichtigt.

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 (siehe Beilage 2: Totalintensität [nT]).

Abb. 5 zeigt eine Karte des anomale Anteil $\Delta T(x,y,z)$ der Totalintensität für das gesamte österreichische Bundesgebiet (Seiberl, 1991). Der Profilabstand bei dieser Aufnahme mit einem Flächenflugzeug betrug 2-2.2 km.

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.

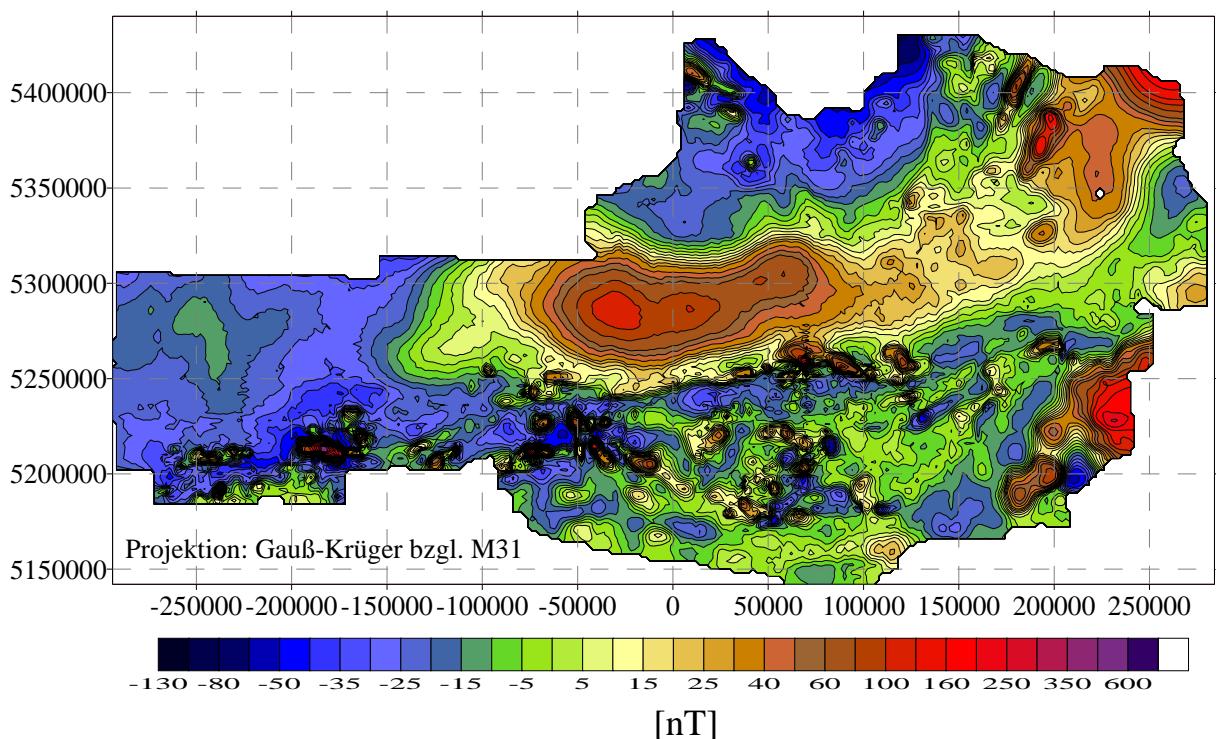


Abb. 5: Die aeromagnetische Karte der Republik Österreich

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

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

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

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

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

4.6.2. Korrekturen der Meßdaten

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

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

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

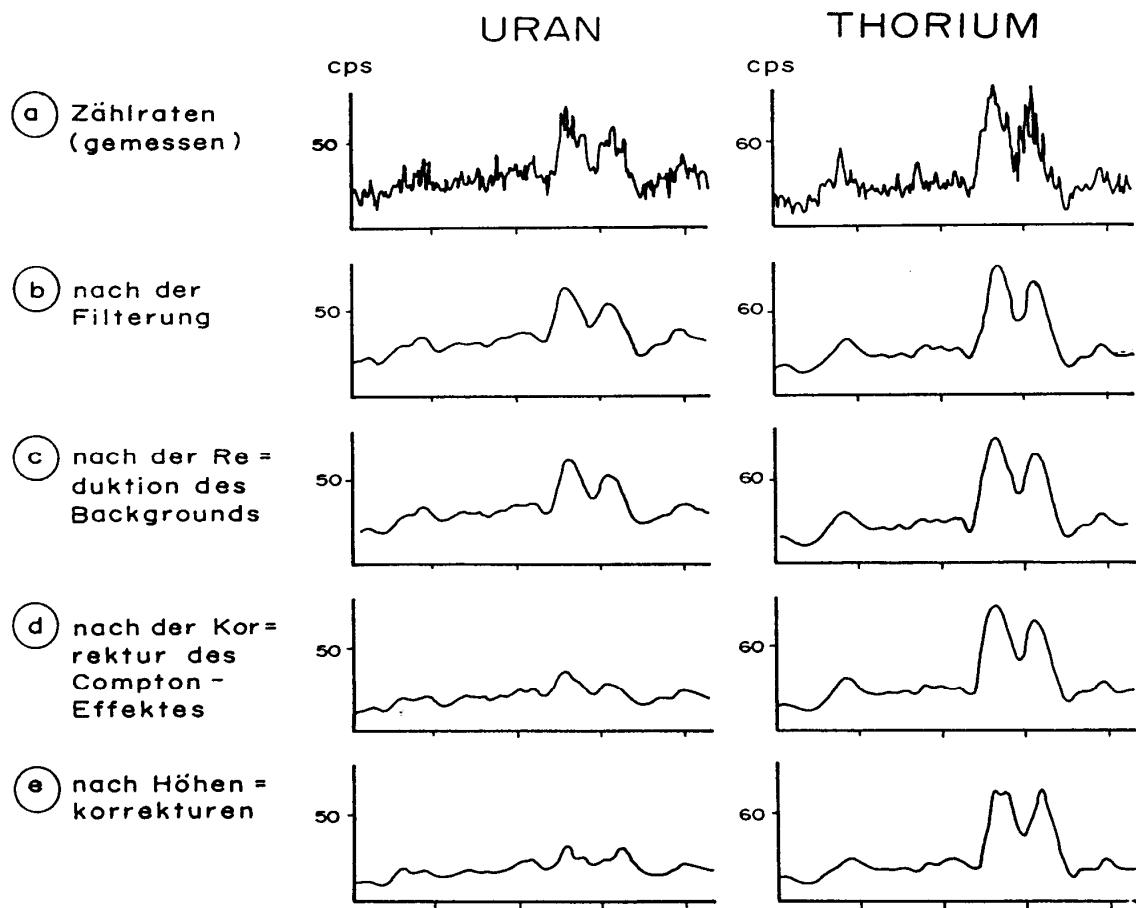


Abb.6a - e: Darstellung der Korrekturschritte in der Gammastrahlenspektrometrie.

Bei der Messung während des Fluges erhält man z.B. die in Abb.6a 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. 6b. Das Ziel der nun folgenden Korrekturschritte, die in Abb. 6c - Abb. 6e dargestellt sind, ist, die geglätteten Meßdaten noch von unerwünschten Anteilen zu befreien:

- Reduktion der kosmischen Strahlung: Die durch die kosmische Strahlung in den niedrigen 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.6c). 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 Korrektor 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. 6d 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 $h = 80$ m umgerechnet. Abb. 6e zeigt die Wirkung dieser Höhenkorrektur.

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

$$\begin{aligned}\text{Kalium ...} &47 \text{ cps} &= 1 \% \\ \text{Uran ...} &6,4 \text{ cps} &= 1 \text{ ppm eU} \\ \text{Thorium ...} &3,7 \text{ cps} &= 1 \text{ ppm eTh}\end{aligned}$$

Durch den Reaktorunfall in der UdSSR wurden mehrere Gebiete in Österreich erheblich mit radioaktiven Spaltprodukten belastet (z.B.: BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT UND UMWELTSCHUTZ, 1986). Wie man der Abbildung 7 entnehmen kann, wurden dabei hauptsächlich Isotope mit größeren Halbwertszeiten abgelagert, die Gammastrahlenquanten mit Energien bis maximal 1,0 MeV emittieren (^{103}Ru 0,49 MeV; ^{137}Cs 0,66 MeV; ^{134}Cs 0,61 MeV; ^{134}Cs 0,80 MeV). Aus diesem Grund werden bei den aeroradiometrischen Messungen nur die Zählraten in den Kanälen bis ca. 1,0 MeV durch die Folgen des Reaktorunfalls von Tschernobyl beeinträchtigt.

Da das an der GBA in Verwendung stehende Aeroradiometer die Energie der Gammastrahlung im Bereich zwischen 0,2 und 3,0 MeV in 255 Kanälen aufzeichnet, ist dieses Gerät auch

zum Einsatz im Rahmen des Strahlenschutzes hervorragend geeignet. Einerseits können mit dieser Apparatur die Belastungen durch

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

und andererseits

- künstliche radioaktive 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):

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

wobei diese von der momentanen Bodenfeuchte abhängig ist. Es stellt somit die aus der obigen Gleichung berechnete Dosisleistung eine Größe dar, die für durchschnittlichen Meßbedingungen gültig ist. GRASTY et al. (1984) haben aber gezeigt, daß eine relativ gute Übereinstimmung zwischen berechneten (s.o.) und im Gelände direkt experimentell bestimmten Dosisleistungen besteht. In der Beilage 3 ist die Verteilung der Dosisleistung im Untersuchungsgebiet dargestellt.

Von den, bei Kernspaltungsprozessen entstehenden radioaktiven Isotopen ist das Cäsium-137 (Beilage 7), 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.

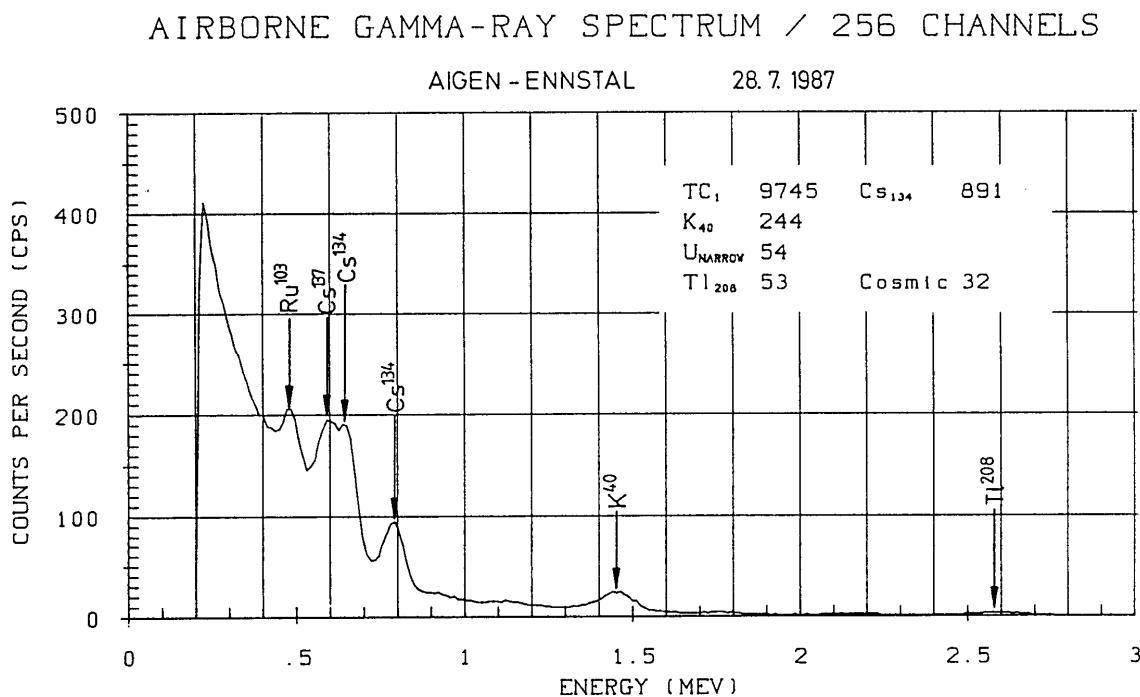


Abb.7: Beispiel eines Gammastrahlenspektrums (MeV) im Bereich des Flugfeldes Aigen im Ennstal.

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 (Beilagen 4, 5 und 6).

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

Tälern eine höhere Zählrate als in der Ebene, umgekehrt über Bergkämmen (geometrische Konstellation kleiner 2π) eine niedrigere Zählrate (KILLEEN, 1979).

Weiters wurden aus den vorliegenden Äquivalentwerten eine Ternärdarstellung angefertigt, um die Verhältnisse der einzelnen radioaktiven Elemente zueinander geeignet darzustellen (siehe Beilage 8).

5. Geologie des Meßgebietes

5.1 Einleitung

Das Meßgebiet St. Jakob, das sich zwischen den Ortschaften Kapfenberg, Mixnitz und Stanz erstreckt, hat Anteil an einer Reihe von geologischen Einheiten. Der N-Teil des Meßgebietes berührt das Raabalpen Kristallin und das Tertiär des Mürztals. Südlich anschließend erstreckt sich das Mugel-Rennfeld Kristallin, das im W zum Teil von den paläozoischen Sedimenten der Grauwackenzone überlagert wird. Das Gleinalm Kristallin schließt südlich an das Mugel-Rennfeld Kristallin an. Der SE-Teil des Meßgebietes wird vom Deckenstapel des Grazer Paläozoikums eingenommen (Abb. 8).

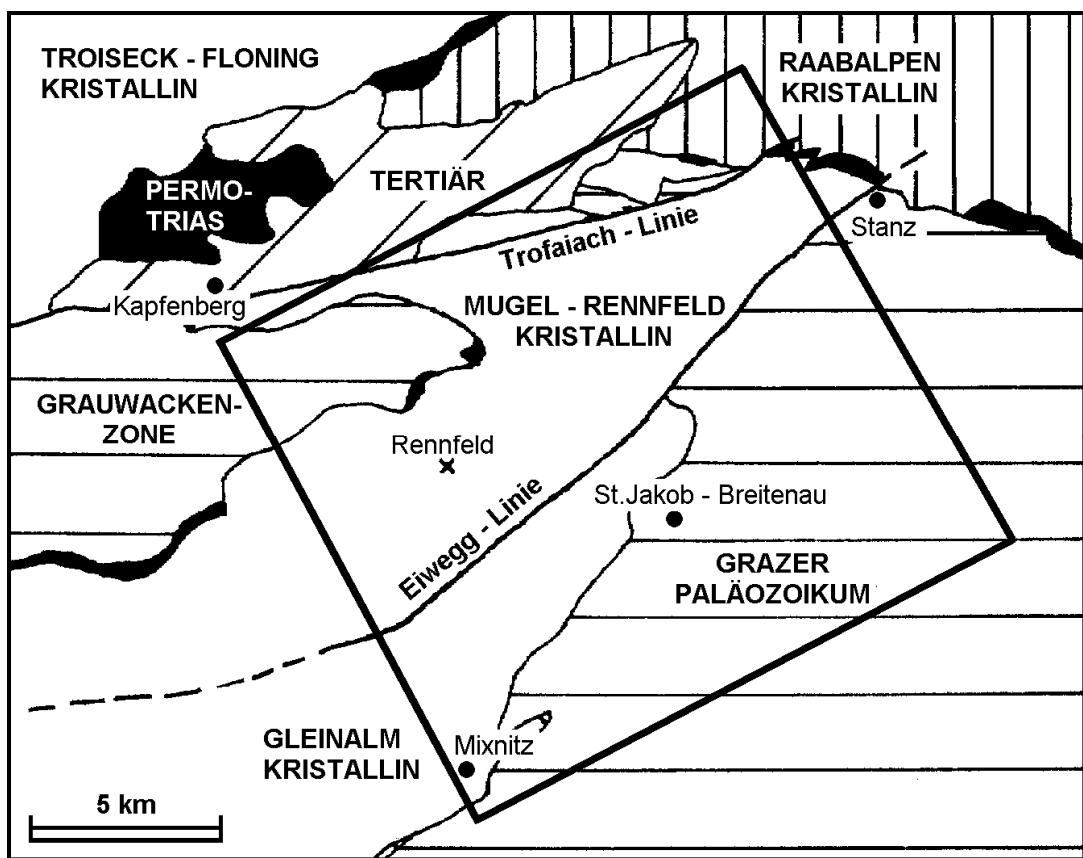


Abb. 8: Geologische Übersichtskarte des Meßgebietes (nach NEUBAUER 1988, verändert).

5.2 Geologischer Aufbau

Im folgenden ist der geologische Aufbau des Meßgebietes nach den Arbeiten von FLÜGEL et al. 1990, NEUBAUER 1988, SCHÖNLAUB 1980a, SCHÖNLAUB 1980b zusammengefaßt:

Das Gleinalm Kristallin bildet eine antiformale SW-NE streichende Kuppel, die im S von der alpidischen Decke des Grazer Paläozoikums überlagert wird. Die N-Grenze bildet die E-W bis NE-SW streichende Eiwegg-Linie. Das Gleinalm Kristallin ist die NE-Fortsetzung der Stubalpe.

Im N der Eiwegg-Linie folgt das E-W streichende Mugel-Rennfeld Kristallin. Es wird als E-Ausläufer des Seckauer Kristallins angesehen. Das Mugel-Rennfeld Kristallin wird von der aufgrund lithologischer Vergleiche als Permoskyth angesehenen Rannach Formation vermutlich primär überlagert. Darauf liegen die altalpidisch überschobenen Decken der Grauwackenzone. Die E-W verlaufende sinistrale Trofaiach-Linie trennt das Mugel-Rennfeld Kristallin von seiner NE-Fortsetzung im Troiseck-Floning Zug ab.

Das Mugel-Rennfeld Kristallin besteht aus E-W bis ENE-WSW streichenden, in der Regel steil N-fallenden grobknotigen Biotitplagioklasgneisen und quarzitischen Gneisen, die bereichsweise mit dm- bis m-dicken Amphibolitlagen wechsellagern. Diese Gneise werden durch Einschaltung von drei mächtigen Amphibolitzügen, östlich der Buchecksattelstörung durch vier Amphibolitniveaus, gegliedert. Im Bereich SW Rennfeld treten auch Metagabbros und Hornblendefelse auf. Vor allem die Paragesteine zeigen eine migmatitische Beeinflussung und eine Durchschwärmung mit dikordanten und konkordanten Leukosomkörpern unterschiedlicher Größenordnung bis hin zu langgestreckten Orthogneiszügen.

Das Gleinalmkristallin kann im Meßgebiet in die Kernkomplexe sowie den Glimmerschiefer-Marmor Komplex unterteilt werden. Letzterer tritt nur in Form einer schmalen Schuppe NNE Mixnitz im Randbereich zum Grazer Paläozoikum auf. Die Kernkomplexe umfassen den Plagioklasgneis-Komplex und den Gleinalm-Amphibolit-Komplex. Letzter, der hauptsächlich aus Bänderamphiboliten und migmatitischen Paragneisen mit eingeschalteten Orthogneisen besteht, baut den überwiegenden Teil des Gleinalmkristallins im Meßgebiet auf.

Das Raabalpen Kristallin gehört zum unterostalpinen Semmering-Wechsel System und wird von granitischen Augengneisen und phyllitischen Glimmerschiefern aufgebaut.

Die lithofazielle Gliederung des Grazer Paläozoikums im Meßgebiet umfaßt die Hochlantsch Gruppe, die Laufnitzdorfer Gruppe und die Schöckel Gruppe. Die Hochlantsch Gruppe stellt eine vorwiegend kalkige Entwicklung mit untergeordnet sandigen Einschaltungen dar, die vom Unterdevon bis ins Karbon reicht und den S-Teil des Meßgebietes aufbaut. Die Laufnitzdorfer Gruppe umfaßt Silur bis Oberdevon und besteht aus Schiefern, Sandsteinen, Grauwacken und basischen Extrusiva, sowie untergeordnet auch Karbonaten und ist vor allem im zentralen Bereich in Raum St. Jakob – Breitenau verbreitet. Die Schöckel Gruppe nimmt den E-Teil des Meßgebietes ein, reicht vom Ordovizium bis ins Devon und besteht aus dunklen Phylliten, Grünschiefern und Schwarzschiefern, die gegen das Hangende in ein kalkige Entwicklung übergehen.

Die Grauwackenzone gliedert sich in die liegende Veitscher Decke und die hangende Norische Decke. Die Veitscher Decke wird von dunklen Schiefern und Kalken karbonischen Alters aufgebaut. Die Norische Decke besteht im Meßgebiet aus ?ordovizischen phyllitischen Schiefern sowie an der Basis aus Paragneisen und Plagioklasamphiboliten (Frauenberg Kristallin).

6. Erste Ergebnisse der Aerogeophysik

6.1 Magnetik (Beilage 2)

Im Meßgebiet treten einige markante langgestreckte positive magnetische Anomalien auf, die sich mit amphibolit- bzw. grünschieferführenden Serien parallelisieren lassen: Es ist dies der gesamte S-Teil des Mugel-Rennfeld Kristallins zwischen Eiwegg-Linie bis zur Mitterriegler-Linie (sensu NEUBAUER 1988), welche die Anomalie im S bzw. N scharf begrenzen, wobei die Bucheksattel-Störung einen N-Versatz der Anomalie bewirkt. Der N-Teil des Gebietes W der Bucheksattel-Störung zeigt keine magnetische Anomalie, hier sind die Amphibolitzüge auch deutlich seltener. Im Gebiet N und NE des Jasnitzbachtales greift die Anomalie auch auf die Gesteine N der Mitterriegel-Linie bis in die isolierte Scholle paläozoischer Gesteine N Jasnitz über, die hier von mächtigen Amphibolit- bzw. Grünschieferkörpern durchzogen werden.

S der Eiwegg-Linie bilden sich die Bänderamphibolite des Gleinalm-Amphibolit-Komplexes in einer NE-SW streichenden positiven Anomalie ab. Die Anomalie reicht noch nach S in den Bereich des Grazer Paläozoikums, was das Abtauchen des Gleinalmkristallins unter das Grazer Paläozoikum abbildet. Gegen NE endet die Anomalie mit der oberflächlichen Verbreitung des Amphibolit-Komplexes 300 m S Eibeggsattel. Dies ist ein Hinweis darauf, daß sich die Bänderamphibolite nicht nach NE unterhalb des Grazer Paläozoikums fortsetzen.

Im E des Meßgebietes bilden sich die grünschieferführenden Serien der Schöckel Gruppe in einer NNW-SSE streichenden Anomalie ab. ANTES 1998 konnte mittels Modellrechnungen im Bereich der Arsenkies-Gold Lagerstätte Straßegg das Abtauchen dieses Grünschieferhorizontes nach W bestätigen.

Die Hochlantsch Gruppe, deren N-Rand im Bereich der Laufnitzdorfer Gruppe von einer schwach positiven magnetischen Anomalie begrenzt wird, weist im allgemeinen schwach negative magnetische Intensitätswerte auf.

Markante kleinräumige magnetische Anomalien befinden sich unmittelbar S der Magnesitlagerstätte Breitenau, sowie in einem SSW-NNE gestreckten Zug von 3 Anomalien im Bereich des Dornerkogels. Die positiven Anomalien N Teichalm dürften auf die in diesem Gebiet verbreiteten basischen Gänge in der Hochlantsch Gruppe zurückzuführen sein.

Die Gesteine des unterostalpinen Semmering-Wechsel Systems sind durch eine positive magnetische Anomalie gekennzeichnet.

6.2 Radiometrie

Kalium (Beilage 4)

Die Kalium-Verteilung ist mit den spezifischen Lithologien gut parallelisierbar. Sämtliche Einheiten des Grazer Paläozoikum mit Ausnahme der Hochlatsch Kalke weisen erhöhte K-Gehalte (> 0,75 %) im Vergleich zum Mugel-Rennfeld und Gleinalm Kristallin auf. Dies

zeigt sich auch an der isolierten Paläozoikums-Scholle N Jasnitz. Die Grenze zwischen Gleinalm und Mugel-Rennfeld Kristallin im Bereich der Eiwegg-Linie ist anhand schwach erhöhter K-Gehalte zu erkennen. Die Plattenkalke der Kogler Formation zeigen leicht verminderte K-Gehalte. Auffällig sind die relativ hohen K-Gehalte der Karbonat-Sandstein Abfolge E Hochlantsch im Bereich Heulantsch – Kulmkogel. Das häufigere Auftreten von Orthogneisen in den N der Mitterriegler-Linie gelegenen Serien des Mugel-Rennfeld Kristallins zeigt sich durch einen leicht erhöhten K-Gehalt. Auch die Grauwackenzone S Kapfenberg weist einen schwach erhöhten K-Gehalt auf. Die höchsten K-Werte (bis 4%) treten in den grobneisführenden Serien des Raabalpen Kristallins auf.

Uran (Beilage 5)

Die U-Verteilung ist relativ unregelmäßig und lässt nur schwer lithologisch zuordnen. Die Hochlantsch Kalke weisen generell niedrige U-Gehalte auf. Erhöhte Werte (3,5-4 ppm) finden sich im Raabalpen Kristallin, in der Grauwackenzone im Bereich des Frauenberg Kristallins, sowie innerhalb der klastischen Serien der Laufnitzdorfer Gruppe im Grazer Paläozoikum. Bemerkenswert sind die leicht erhöhten U-Gehalte in der unterdevonischen Dolomit-Sandstein Folge S Hochlantsch und S Teichalm. Im Bereich des oberen Zuckenhutgrabens treten ebenfalls erhöhte U-Gehalte auf.

Thorium (Beilage 6)

Die Th-Verteilung ähnelt sehr der des Kaliums. Die paläozoischen Serien des Grazer Paläozoikums (mit Ausnahme der Hochlantsch Kalke) und das Raabalpen Kristallin weisen im Vergleich zum Kristallin von Mugel-Rennfeld und Gleinalm erhöhte Th-Gehalte auf. Die Eiwegg-Linie innerhalb des Kristallins bildet sich ebenfalls in schwach erhöhten Th-Gehalten ab. Die höchsten Th-Gehalte (bis 6 ppm) finden sich im Raabalpenkristallin sowie in der Schöckelkalk Gruppe des Grazer Paläozoikums im Verbreitungsgebiet der Schwarzschiefer. Die Karbonat-Sandstein Abfolge E Hochlantsch im Bereich Heulantsch – Kulmkogel weist ebenfalls erhöhte Th-Gehalte auf. Auch in der Grauwackenzone S Kapfenberg sind Th-Gehalte bis 4 ppm zu beobachten.

Ternäre Darstellung K-Th-U (Beilage 8)

In der ternären Darstellung der Meßparameter Kalium, Thorium und Uran treten die klastischen Serien des Grazer Paläozoikums und der Grauwackenzone sowie das Raabalpen Kristallin durch die erhöhten Th- und K-Gehalte deutlich hervor. Generell sehr niedrige Gehalte der erfaßten Elemente weisen die Schöckelkalke und Teile des Mugel-Rennfeld Kristallins auf. Die Bänderamphibolite des Gleinalm Kristallins sind infolge ihrer U-Vormacht gut identifizierbar, die übrigen Kristallinteile zeigen in etwa gleiche Verhältnisse von U und Th. Auffallend ist die U-Vormacht im Bereich der Dolomit-Sandsteinfolge E Gerlerkogel im Grazer Palkäozoikum.

Cäsium (Beilage 7)

Die Cäsium-Verteilung zeigt eine deutliche Beziehung zu den morphologischen Verhältnissen. Die hohen Lagen des Rennfeld-Mittereck-Rumpoldeck Zuges und des Hochlantsch-Heulantsch-Kulmkogel Zuges weisen im allgemeinen deutlich erhöhte Cs-Gehalte (bis 70 cps) im Vergleich zu den Tallagen des Breitenauer Tales, des Ulrichsbach Tales oder des Zuckenhutgrabens auf. Speziell die Kammlage Rennfeld-Mittereck-Rumpoldeck tritt durch die erhöhten Cs-Gehalte klar hervor; gegen NW in Richtung Mürztal ist eine deutliche Abnahme des Cs-Gehaltes festzustellen.

Die Cs-Verteilung wird fast ausschließlich durch die Niederschlagsverhältnisse zum Zeitpunkt des Reaktorunfalls von Tschernobyl kontrolliert.

6.3 Scheinbarer elektrischer Widerstand (Beilage 9)

Die Interpretation der Widerstandsverteilung wird durch die Tatsache erschwert, daß sich die NW-SE verlaufenden Fluglinien der Sonde im Widerstandsbild deutlich abzeichnen.

Hohe Widerstandswerte zeigt das Kristallin S des Mitterriegeler Linie im Vergleich zu den N davon gelegenen Kristallin- und Paläozoikumsanteilen. Die karbonatischen Serien des Hochlantsch Massiv sind ebenfalls durch hohe Widerstandswerte gekennzeichnet. Das Breitenauer Tal bei St. Jakob sowie eine Zone von St. Jakob nach NE bis Stanz weist niedrige Widerstandswerte auf, während der Bereich im S dieser Zone bereichsweise höhere Widerstände zeigt, speziell N des Breitenauer Tales E St. Jakob und im Bereich Straßegg – Schweinskogel, wo die Widerstandswerte bis 1000 Ohmm erreichen.

7. Literatur

ANTES G. 1998: Geochemische und geophysikalische Anomalien im Bereich des Arsenkies-Goldvorkommens Straßegg, Steiermark. – Unveröff. Diss. Formal- u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 92 S., Wien

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

FLÜGEL H.W., HÖTZL H. & NEUBAUER F. 1990: Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 Blatt 134 Passail. – Geol. B.-A., Wien

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.

NEUBAUER F. 1988: Bau und Entwicklungsgeschichte des Rennfeld-Mugel- und des Gleinalm-Kristallins (Ostalpen). – *Abh. Geol. B.-A.* 42, 137 S., Wien

OBERHAUSER R. 1980 (Hrsg.): Der geologische Aufbau Österreichs. – 396-403, Springer, Wien

SCHÖNLAUB H.P. 1980a: Die Grauwackenzone. – In: OBERHAUSER R. 1980 (Hrsg.): Der geologische Aufbau Österreichs. – 265-289, Springer, Wien

SCHÖNLAUB H.P. 1980b: Das Bergland um Graz sowie Remschnigg und Sausal. – In:

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

8. Verzeichnis der Beilagen

1. Flugwegplan	1 : 50.000
2. Magnetik (Isanomalen Totalintensität ΔT) [nT]	1 : 50.000
3. Dosisleistung [nSv/h]	1 : 50.000
4. Kalium (^{40}K) [%]	1 : 50.000
5. Uran (^{234}U) [ppm]	1 : 50.000
6. Thorium (^{232}Th) [ppm]	1 : 50.000
7. Caesium [cps]	1 : 50.000
8. Ternärdarstellung K-U-Th	1 : 50.000
9. Widerstand [Ohmm]	1 : 50.000

Anhang A:

E. WINKLER

Quantitative Interpretation aeroelektromagnetischer Daten

Der Interpretation von aeroelektromagnetischen(AEM) Messungen liegt die Modellvorstellung zugrunde, dass die gemessenen Daten mit einer noch zu bestimmenden Verteilung des elektrischen Leitfähigkeit(bzw. des elektrischen Widerstandes) im Untergrund erklärt werden können. Bei einem Messvorgang wird von der Messsonde bei vier verschiedenen Frequenzen ein elektromagnetisches Wechselfeld (Primärfeld) ausgestrahlt. Auf Grund leitfähiger Materialien im Erduntergrund werden dort Ströme angeregt die selbst wieder ein elektromagnetisches Feld, das Sekundärfeld, erzeugen. Da ein elektromagnetisches Wechselfeld abhängig von seiner Frequenz und der Leitfähigkeit des Erduntergrundes nur bis in eine bestimmte Tiefe eindringt (Eindringtiefe), ist im Sekundärfeld Information über den Aufbau des Erduntergrundes auch nur bis zu dieser Tiefe enthalten.

Das Meßergebnis besteht aus dem Verhältnis von Sekundär- zu Primärfeld für jede der vier Frequenzen. Aufgabe der quantitativen Interpretation von AEM Daten ist es nun ein physikalisches Erdmodell (Verteilung der Leitfähigkeit im Erduntergrund) zu finden, das dieses Messergebnis erklärt und gleichzeitig mit bereits bekannten geologischen Daten über das Meßgebiet (z.B. aus Bohrungen) übereinstimmt.

Vorwärtsmodellrechnung

Um überprüfen zu können ob ein Meßergebnis durch ein bestimmtes Erdmodell erklärt wird, ist zunächst ein Rechenverfahren notwendig um für ein vorgegebenes Erdmodell die dazugehörigen theoretisch zu erwartenden Messdaten zu berechnen. Ein solches Verfahren wird Vorwärtsmodellrechnung genannt. Derzeit gibt es solche Verfahren nur für eine kleine Anzahl einfacher Erdmodellklassen, die aber wie die Praxis zeigt bereits ausreichen um wesentliche Charakteristika der Geologie eines Messgebietes zu beschreiben. Das einfachste in Frage kommende Modell ist das homogene Halbraum Modell (HHR) bei dem der Erduntergrund mit einem einheitlichen elektrischen Widerstand ρ_1 beschrieben wird(Abb.A.1a). Das HHR beschreibt die geologische Situation ausreichend wenn die Dicke der obersten Schicht größer als die Eindringtiefe der Meßapparatur ist, da in diesem Fall in den Meßdaten nicht genügend Information vorhanden ist um tiefere Erdstrukturen aufzulösen. Wie die Praxis aber zeigt trifft das HHR nur unter speziellen geologischen Bedingungen zu. Bei Untersuchungen von Grundwasservorkommen oder Vorkommen von Massenrohstoffen wie Tone, Kiese und Erzvorkommen ist es notwendig zumindest ein 2-Schichtmodell (2SM) bei der Auswertung zu verwenden (Abb.A.1b). Hierbei liegt die oberste Schicht mit dem Widerstand ρ_1 und der Dicke h_1 auf einem unendlich ausgedehnten Halbraum mit dem Widerstand ρ_2 . Die beiden Gebiete werden durch eine horizontale Schichtgrenze getrennt. Für Modelle dieser Art können bei gegebenen Modellparametern ρ_1 , ρ_2 , h_1 und der Höhe des Meßgerätes h_0 über Grund die zu erwartenden Messergebnisse auf einem PC berechnet werden.

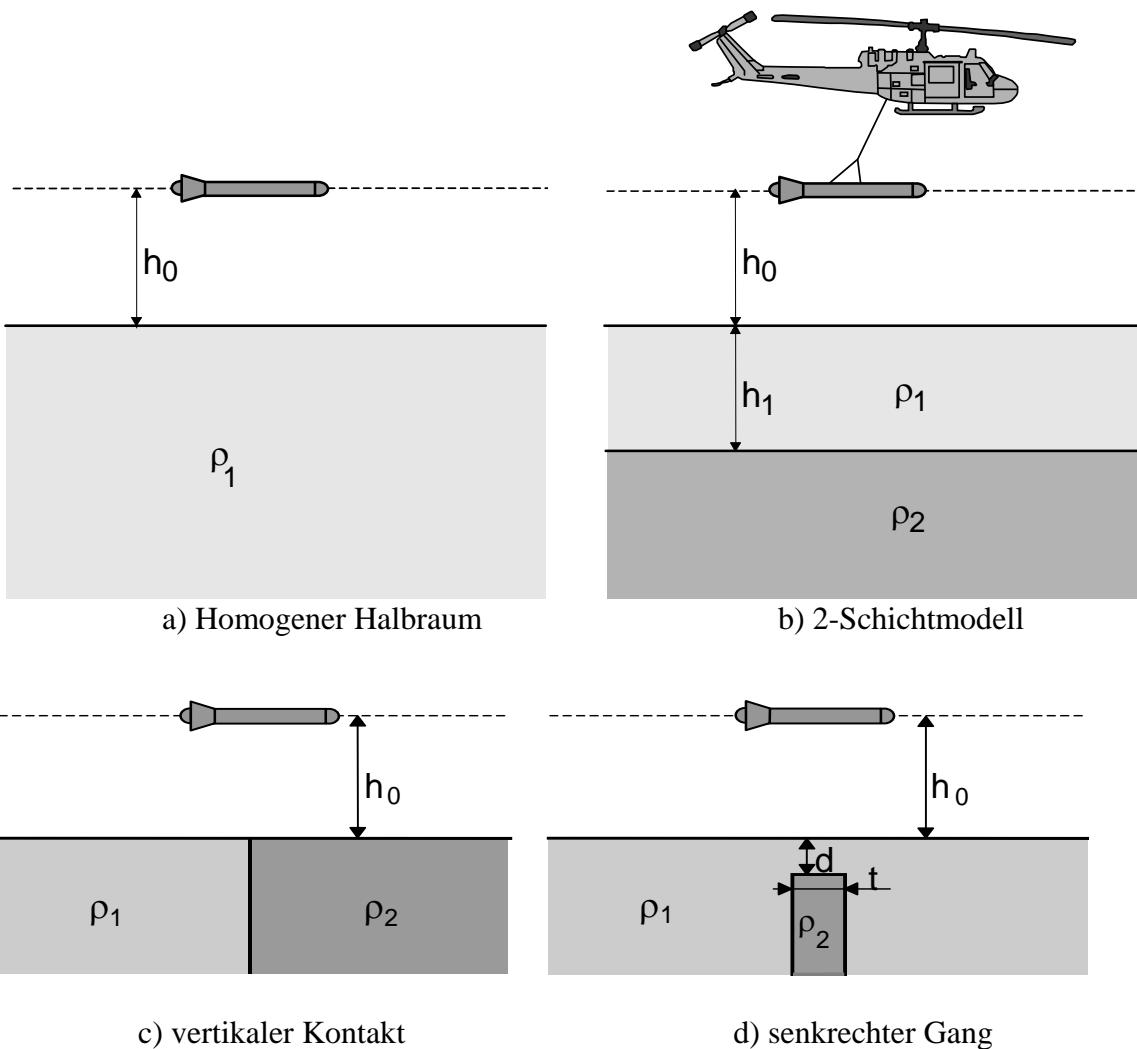


Abbildung A.1: Modelle des Erduntergrundes für die Interpretation von AEM Daten.

Um besser auf die Bedürfnisse der Exploration einzugehen ist es notwendig auch komplexere Modelle für die Interpretation anbieten zu können. Neueste Entwicklungen auf dem Gebiet der numerischen Modellrechnung ermöglichen es uns seit kurzem erste Versuche mit dem Modell des vertikalen Ganges und der vertikalen Schichtgrenze durchzuführen (Abb.A.1c, 1d).

Modellinversion

Die quantitative Interpretation der AEM Daten besteht darin die Modellparameter für ein HHR(ρ_1) oder ein 2SM(ρ_1, ρ_2, h_1) zu finden sodaß das zugehörige theoretische Meßergebnis aus der Vorwärtsmodellrechnung mit den tatsächlich gemessenen Werten möglichst gut übereinstimmt(Dateninversion). Da sich Gesteine, Schotter, Erze, Tonmineralien, wasser-führende Schichten, etc. durch charkteristische elektrische Widerstandsbereiche beschreiben lassen, kann von den mathematisch ermittelten Modellparametern auf die vorhandene Geologie geschlossen werden. Ein Ansatz, die zu einem Meßwert am besten passenden Modell-parameter zu finden, sind iterative Verfahren die im Prinzip die Modellparameter solange verändern, bis eine Übereinstimmung gefunden wird. Da in einem AEM Meßgebiet Millionen von Meßwerten anfallen ist der Zeitbedarf eines Inversionsverfahrens ein entscheidendes Auswahlkriterium. Diesen Anforderungen an die Rechenzeit genügen iterative Verfahren derzeit nicht. Ein völlig anderes Konzept die Inversion von Daten durchzuführen wird in der Technik der Neuralen Netze(NN) angewendet. Wenn für ein bestimmtes Erdmodell (zB. 2SM) genügend Beispiele (Trainingsmenge) von Modellparametern und dazugehörigem Meßwert vorhanden sind um die Relation zwischen Meßwert und Modell-parameter ausreichend zu beschreiben, dann kann ein NN eine für die Anforderungen der Praxis ausreichend genaue Annäherung der Funktion erlernen, die aus einem Meßwert die am besten dazu passenden Modellparameter berechnet. Dieser Lernvorgang wird Training genannt. Das Training eines NNs kann abhängig von der Größe der Trainingsmenge sehr zeitintensiv sein. Dies stellt aber weiter kein Problem dar, da der Lernvorgang nur einmal durchgeführt werden muss. Für den Anwender interessant sind jedoch Zeitbedarf und Genauigkeit eines NN im Einsatz. Gerade hier kommen die wesentlichen Stärken der NN zum Tragen. Da ein trainiertes Netz für die Berechnung des zu einem Meßwert am besten passenden Erdmodells nur wenige einfache numerische Operationen benötigt ist der Zeitbedarf minimal, er liegt bei unseren Anwendungen auf PC Platformen in der Größenordnung von Millisekunden. Beim Aufbau einer Trainingsmenge muß man eine stark eingeschränkte endliche Auswahl von allen möglichen Kombinationen von Modellparametern und dazugehörigen Meßwerten treffen. Mit einer geschickten Auswahl der Trainingsmenge und entsprechendem Wissen das Training zu steuern werden NN trainiert die nicht nur die Trainingsdaten erlernen sondern im Anwendungsfall auch Daten die im Training nicht vorgekommen sind richtig interpretieren. Die Eigenschaft eines trainierten NN unbekannte Daten vernünftig zu interpretieren wird Generalisierungsfähigkeit genannt.

Neurales Netz für den Homogenen Halbraum

Um ein NN zu trainieren daß Meßdaten mit einem HHR erklärt, wird eine Trainingsmenge mit 720 verschiedenen (h_0, ρ_1) Paaren und dazugehörigen theoretischen Meßdaten erzeugt. Das NN lernt nun durch Verändern seiner inneren Parameter für jedes Trainingsbeispiel, wenn am Eingang des Netzes die Meßdaten präsentiert werden, das dazugehörige (h_0, ρ_1) Paar am Netzausgang zu berechnen. Damit arbeitet das Netz nicht nur unabhängig von der Flughöhe h_0 sondern berechnet sie sogar zusätzlich zum Widerstand der ersten Schicht aus den Meßdaten. Hat der Erduntergrund am Ort der Messung tatsächlich die Struktur eines HHR, dann stimmen (h_0, ρ_1) mit den tatsächlichen Werten überein. Ist die Geologie am Meßort jedoch zB. besser mit einem 2SM zu beschreiben dann wird der vom NN vorhergesagte Wert für h_0 vom tatsächlichen abweichen. Der Widerstand ρ_1 den das NN berechnet wird ein Mischwert aus den beiden Widerständen des tatsächlichen 2SM sein.

Neurales Netz für das 2-Schichtmodell

Der Vorgang ein NN zu trainieren um Messungen mit 2SM zu interpretieren ist ähnlich wie beim HHR. Da wir hier um die Trainingsdaten zu erzeugen jeden der 4 Parameter ρ_1, ρ_2, h_0 und h_1 gleichzeitig variieren müssen, ergeben sich bereits bei einer kleinen Anzahl von Werten für jeden Parameter sehr große Trainingsmengen. Zu große Trainingsmengen verlangsamen aber das Training beträchtlich, während bei zu kleinen das trainierte Netz ungenau wird. Befriedigende Ergebnisse wurden erzielt indem jeder Parameter 12 verschiedene Werte annehmen konnte, was zu einer Trainingsmenge mit 20.000 Elementen führte. Nach erfolgreichem Training zeigte sich, daß diese NN Messdaten die zu 2SM Modellen gehören sehr gut interpretieren kann, jedoch ungenau bei Daten ist die von HHR Modellen stammen. Deshalb war es notwendig den NN für HHR und 2SM ein drittes NN vorzuschalten, das die Unterscheidung durchführen sollte ob ein Messwert mit einem HHR oder mit einem 2SM Modell interpretiert werden soll(Klassifikation).

Neurale Netze für die Klassifikation in homogenen Halbraum und 2-Schichtmodell

Ein elektromagnetisches Wechselfeld mit tiefer Frequenz dringt weiter in den Erdhalbraum ein als eines mit höherer Frequenz. Deshalb enthalten auch die zu tieferen Frequenzen gehörenden Messwerte mehr Information über tiefere Erdstrukturen wie solche von höheren Frequenzen. Das Vorhandensein einer tiefer liegenden horizontalen Schichtgrenze in einem 2SM wird sich deshalb mehr auf die Messergebnisse im tieferen Frequenzbereich auswirken, und in denen von höheren Frequenzen kaum mehr zu erkennen sein. Während in einem solchen Fall aus der Sicht der tiefen Frequenzen noch ein 2SM vorliegt, ist es für die höheren Frequenzen nur mehr ein HHR. Dieser Effekt wurde benutzt indem 3 verschiedene NN für den HHR trainiert wurden. Das erste Netz interpretiert ein HHR Modell aus den Meßdaten der beiden tiefsten Frequenzen. Das zweite verwendet die beiden mittleren Frequenzen und das dritte die beiden höchsten. Für jedes dieser Netze verläuft das Training analog wie beim HHR Netz das mit allen vier Frequenzen gleichzeitig einen HHR interpretiert. Da allen drei NN nur Information bis zu unterschiedlicher Tiefe zur Verfügung steht, werden sich die Antworten der Netze auf Daten die von einem echten 2SM stammen im Allgemeinen unterscheiden. Wenn die Schichtgrenze sehr tief liegt werden die Antworten der drei Netze einander ähnlich sein, was auf ein HHR Modell schließen lässt. Kommt die Schichtgrenze höher, dann werden sich die Antworten der drei NN immer mehr unterscheiden. Für die automatische Durchführung dieser Unterscheidung wurde schließlich ein vierter NN trainiert, damit es an Hand der Ausgaben von den 3 HHR Netzen klassifiziert ob die Daten am besten mit einem HHR Modell oder einem 2SM interpretiert werden sollen.

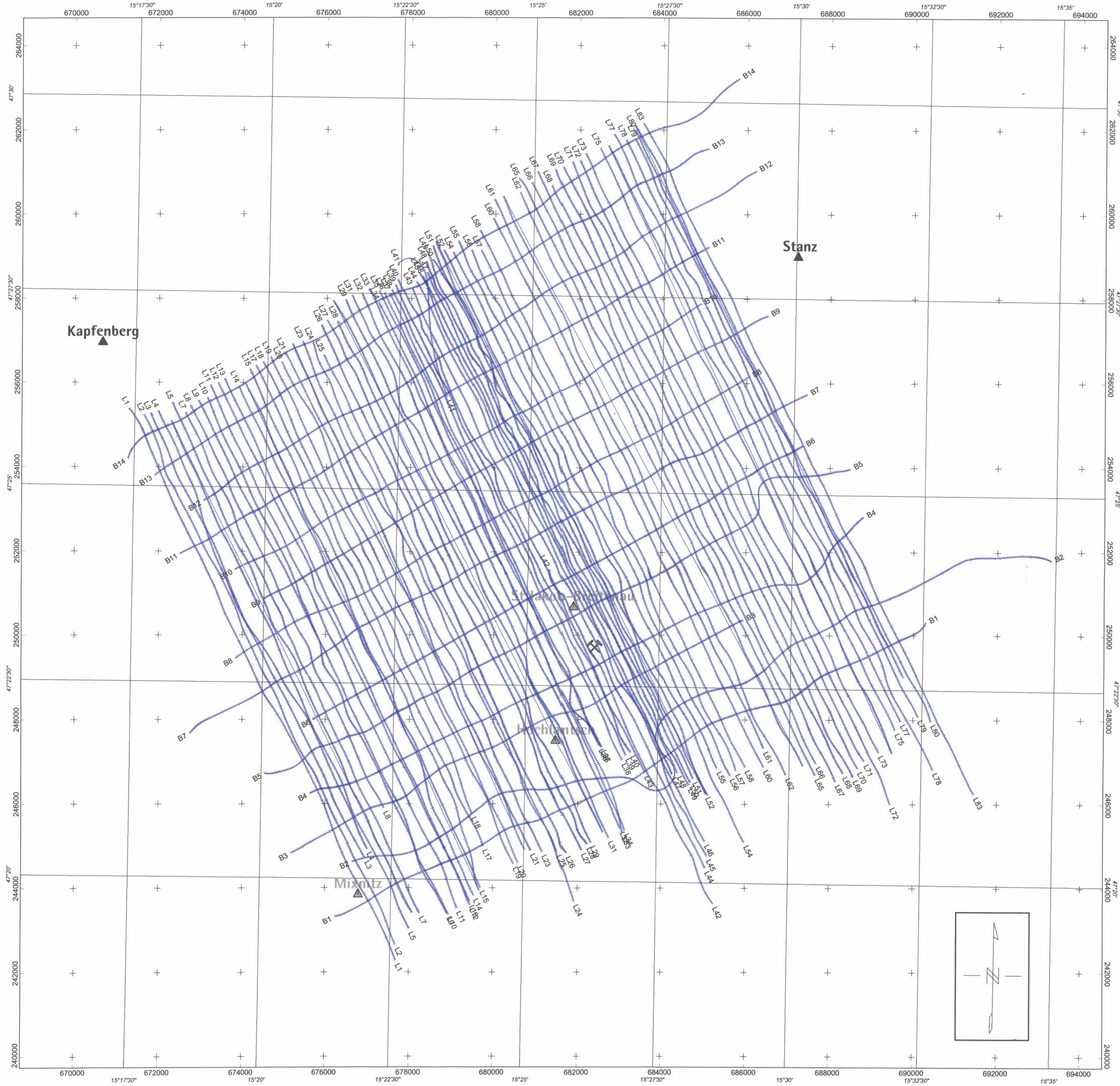


AEROGEOPHYSIKALISCHE VERMESSUNG

im Bereich

St. Jakob/Stmk.

BEILAGEN



Meßgebiet **St. Jakob**

Beilage 1

Flugweg

Bearbeiter:

Seiberl, Oberlechner, Supper,
Motschka, Heidovitsch, Hübl

Piloten:

Techniker:
**Strümpf, Kropik, Giessenbacher,
Waldbauer**



G Geologische
Bundesanstalt

Maßstab 1 : 50000

1000 0.0 1000 2000 3000

Meter

*Bessel 1841 / Bundesmeilenetz M34

Magnetik

Bearbeiter:

 Seiberl, Oberlecher, Supper,
 Motschka, Heidovitsch, Hübl

Piloten:

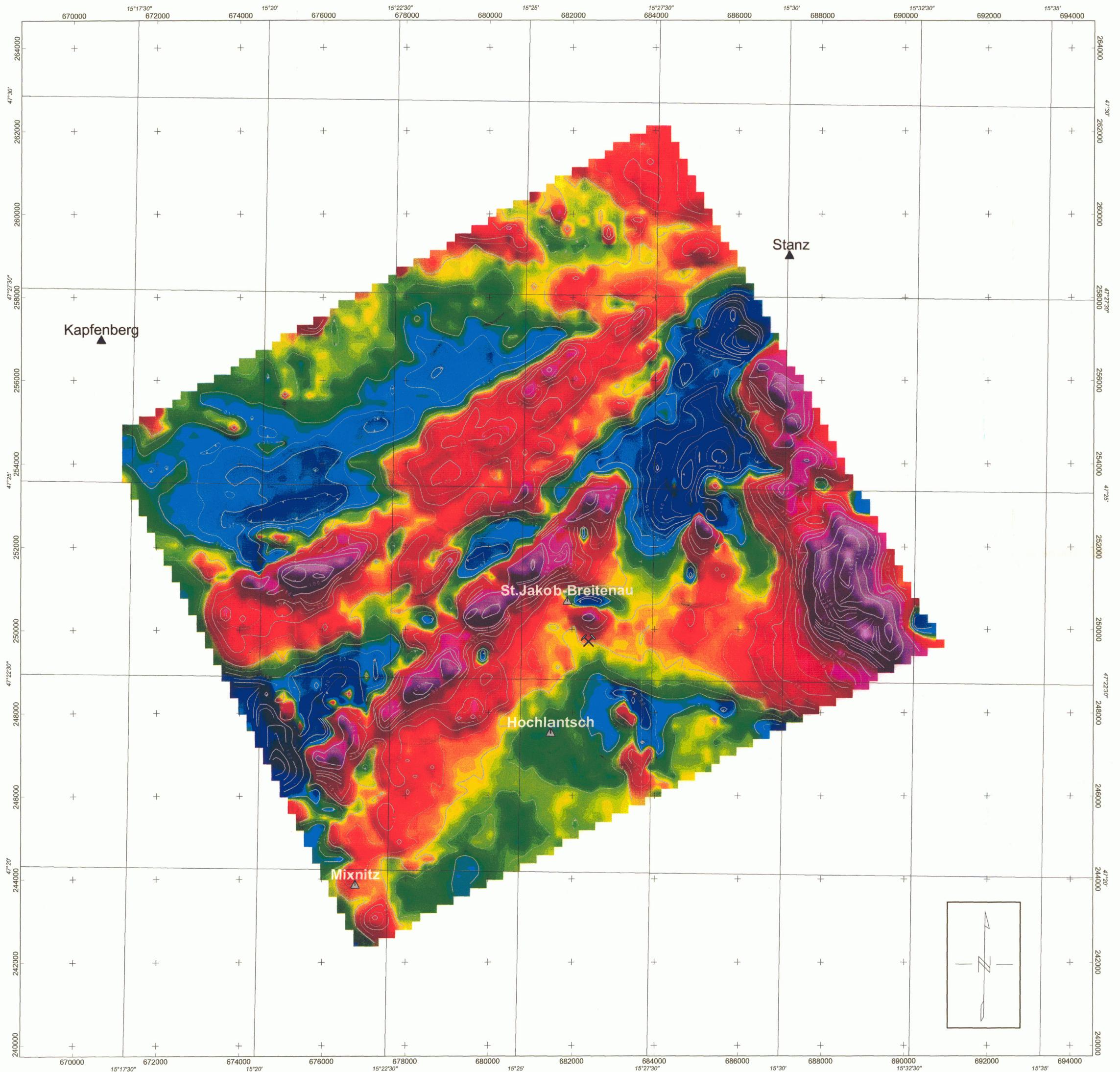
 Staudinger, Lang, Wehrle,
 Leeb, Nehring

Techniker:

 Strümpf, Kropik, Giessenbacher,
 Waldbauer


 112.8
 78.0
 57.5
 47.5
 38.1
 31.5
 25.8
 22.0
 19.1
 17.8
 15.8
 13.8
 12.2
 11.0
 9.6
 8.6
 7.7
 6.8
 6.1
 5.4
 4.8
 3.9
 3.2
 2.5
 1.8
 1.3
 0.8
 0.4
 -0.4
 -1.0
 -2.0
 -3.0
 -4.2
 -4.7
 -5.3
 -5.9
 -6.4
 -7.1
 -7.8
 -8.4
 -9.2
 -10.0
 -10.8
 -11.6
 -13.0
 -14.4
 -14.8
 -15.7
 -17.2
 -18.6
 -20.5
 -22.8
 -27.0
 -33.1
 -44.5

[nT]



Meßgebiet
St. Jakob

Beilage 3

Gammastrahlenspektrometrie
Dosisleistung

Bearbeiter:

Seiberl, Oberlercher, Supper,
Motschka, Heidovitsch, Hübl

Piloten:

Staudinger, Lang, Wehrle,
Leeb, Nehring

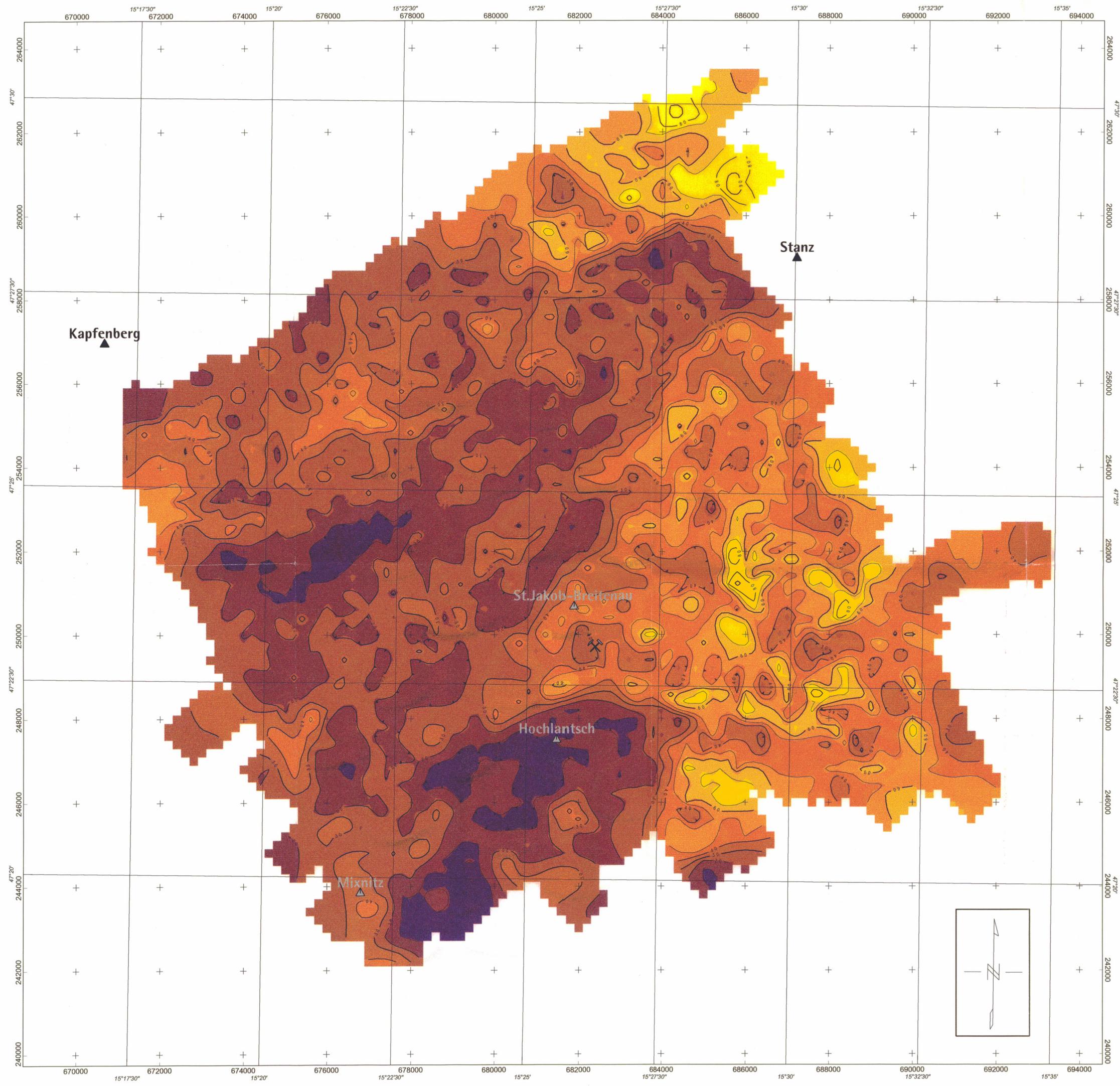
Techniker:

Strümpf, Kropik, Giessenbacher,
Waldbauer



Geologische
Bundesanstalt

70.0
60.0
50.0
40.0
30.0
20.0
10.0
[nS/h]



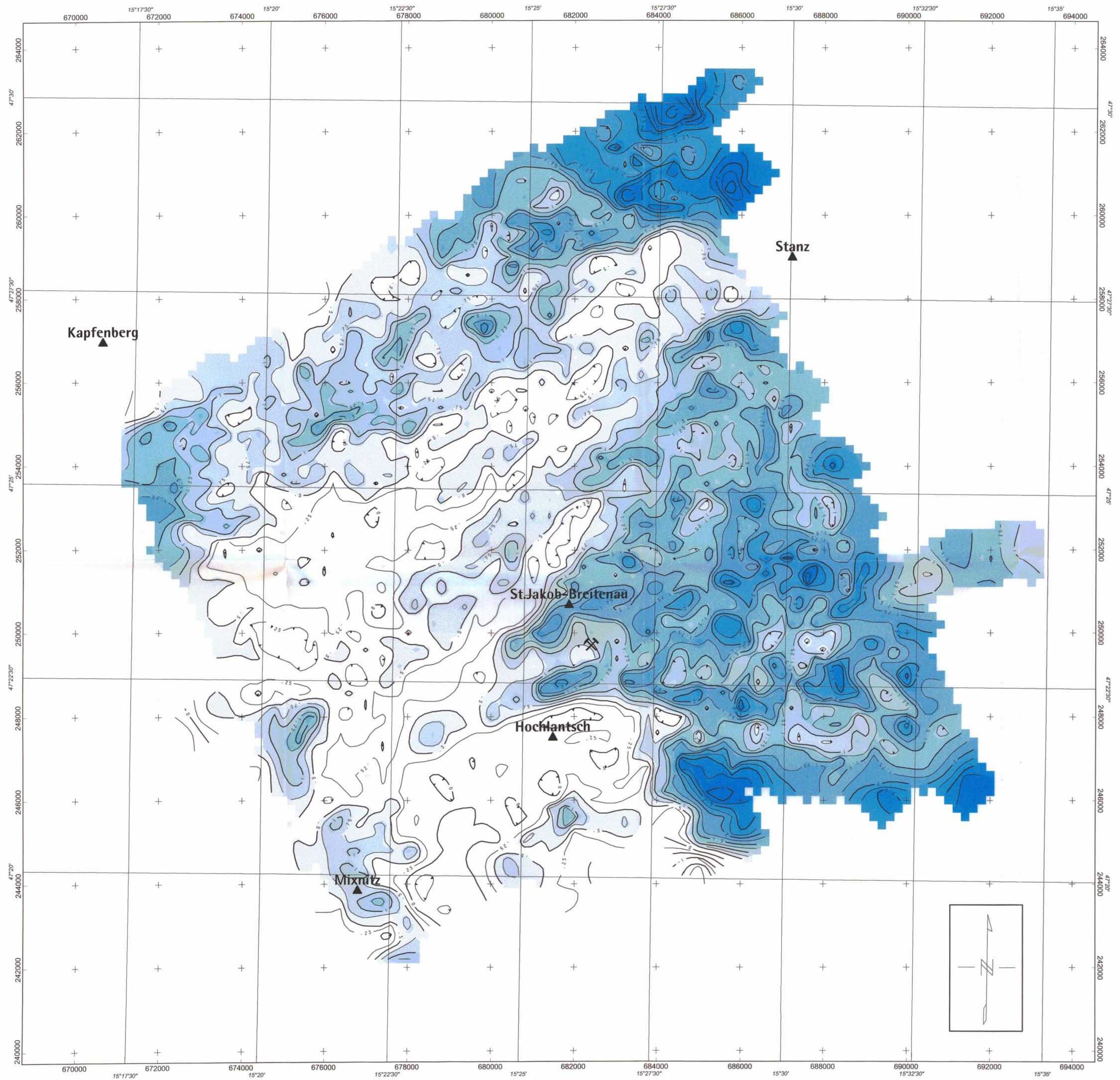
Meßgebiet
St. Jakob
Beilage 4
Gammastrahlenspektrometrie
Kalium
Bearbeiter:

 Seiberl, Oberlechner, Supper,
 Motschka, Heidovitsch, Hübl

Piloten:

 Staudinger, Lang, Wehrle,
 Leeb, Nehring

Techniker:

 Strümpf, Kropik, Giessenbacher,
 Waldbauer


Meßgebiet
St. Jakob
Beilage 5
Gammastrahlenspektrometrie
Uran
Bearbeiter:

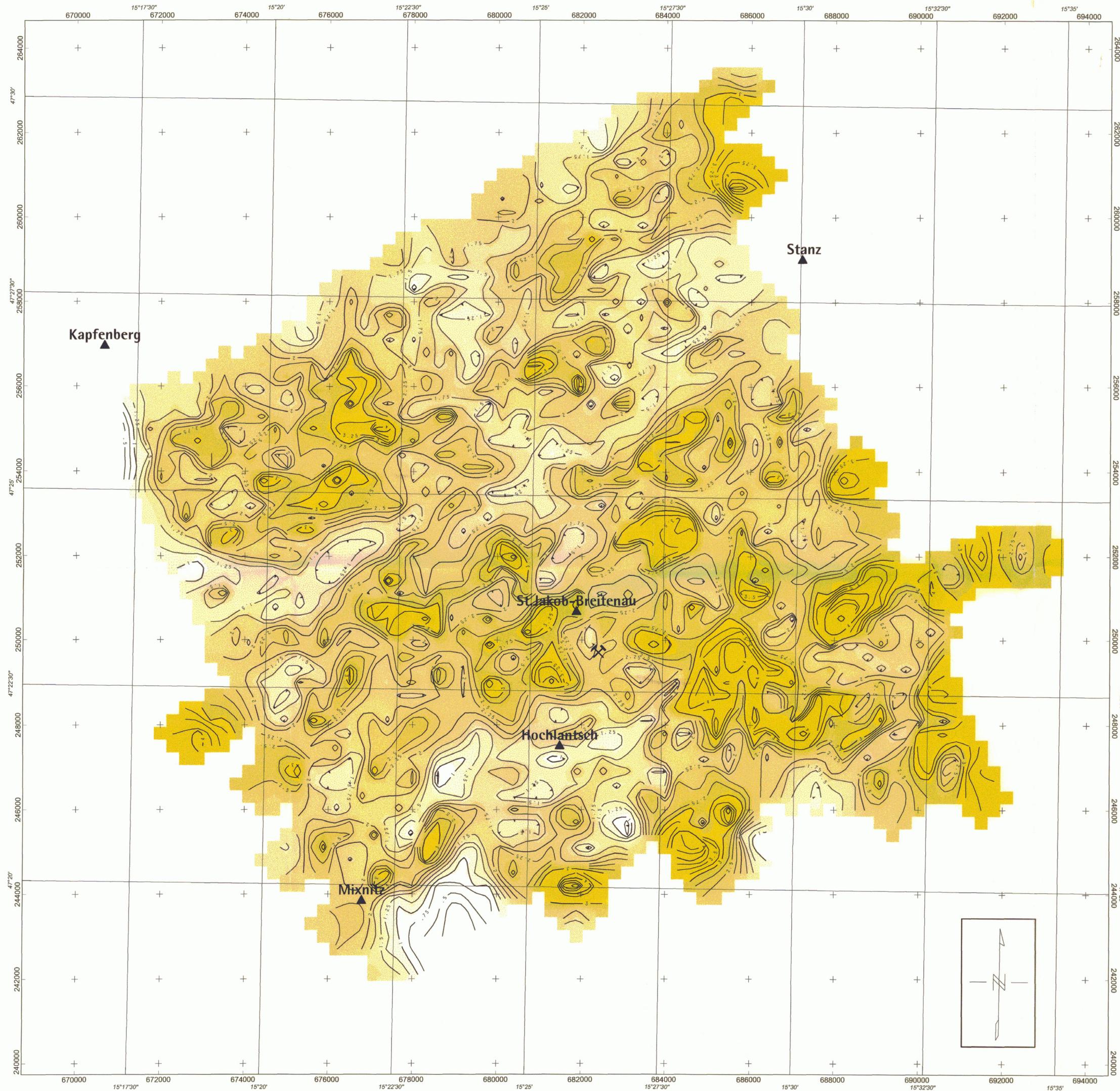
 Seiberl, Oberercher, Supper,
 Motschka, Heidovitsch, Hübl

Piloten:

 Staudinger, Lang, Wehrle,
 Leeb, Nehring

Techniker:

 Strümpf, Kropik, Giessenbacher,
 Waldbauer

[ppm]


**Meßgebiet
St. Jakob**

Beilage 6

**Gammastrahlenspektrometrie
Thorium**

Bearbeiter:

Seiberl, Oberlechner, Supper,
Motschka, Heidovitsch, Hübl

Piloten:

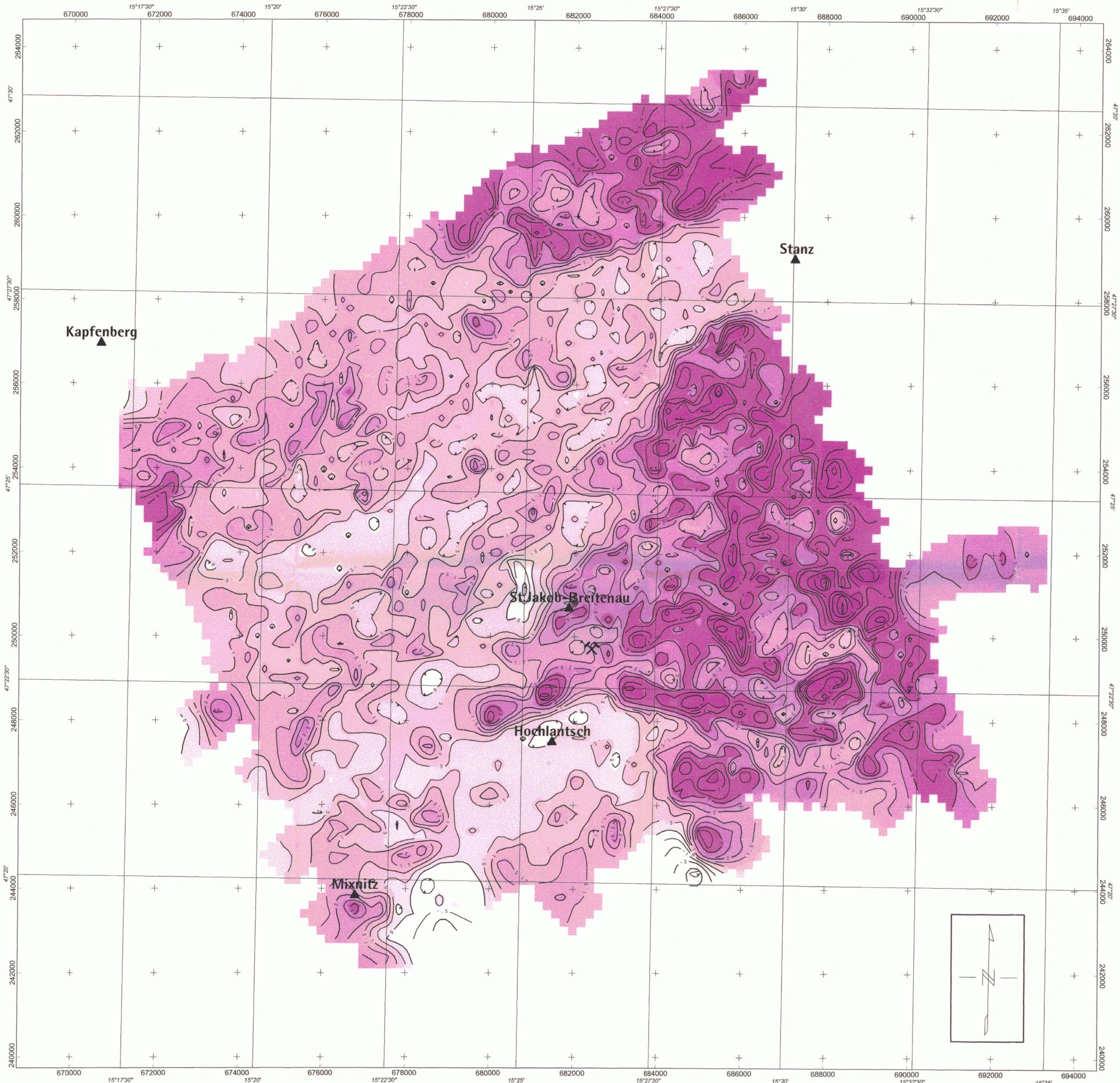
Staudinger, Lang, Wehrle,
Leeb, Nehring

Techniker:

Strümpf, Kropik, Giessenbacher,
Waldbauer

 **Geologische
Bundesanstalt**

4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
[ppm]



**Meßgebiet
St. Jakob**

Beilage 7

**Gammastrahlenspektrometrie
Cäsium**

Bearbeiter:

Seiberl, Oberlecher, Supper,
Motschka, Heidovitsch, Hübl

Piloten:

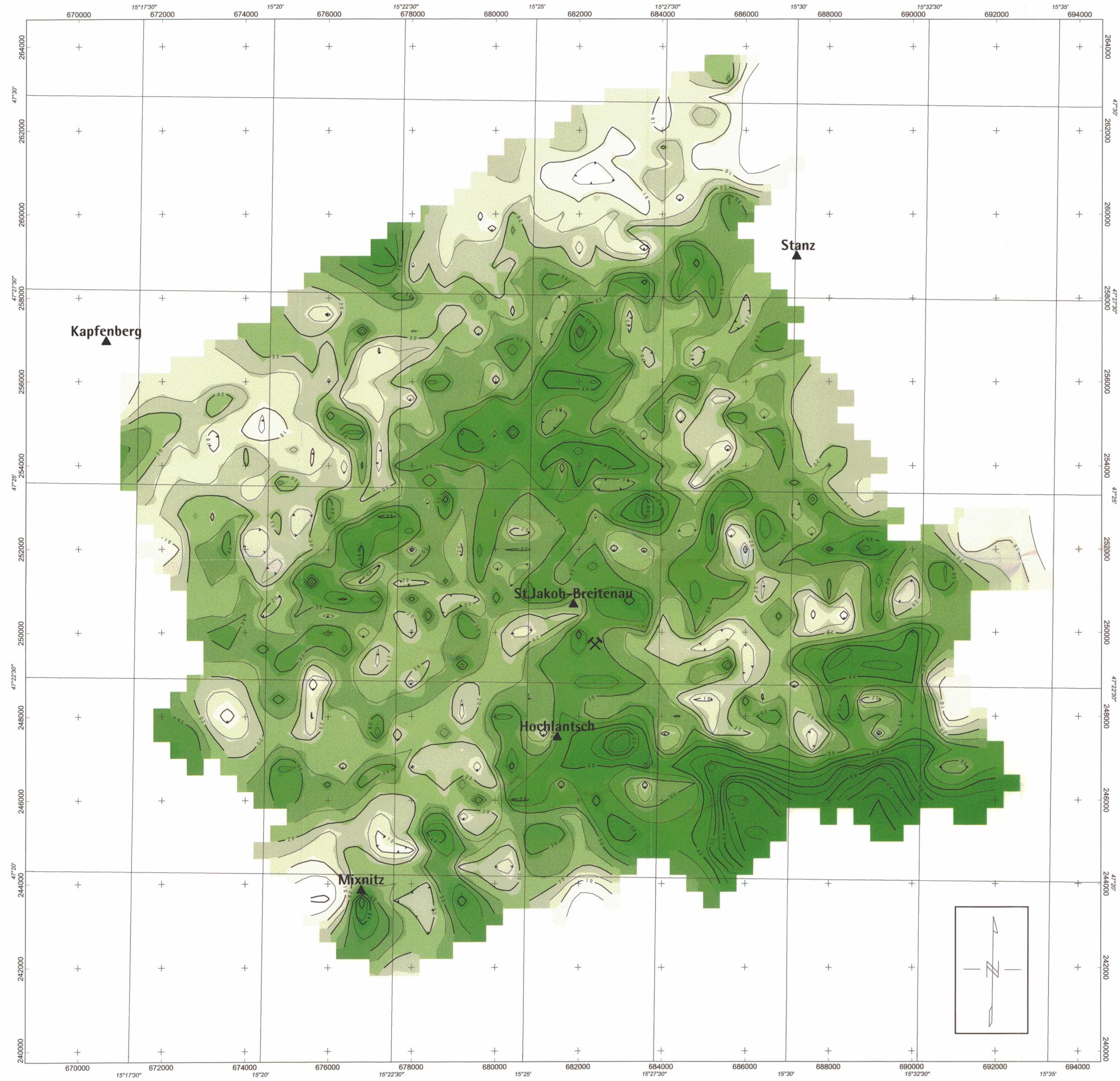
Staudinger, Lang, Wehrle,
Leeb, Nehring

Techniker:

Strümpf, Kropik, Giessenbacher,
Waldbauer




[cps]



Maßstab 1 : 50000
1000 0,0 1000 2000 3000
*Bessel 1841 / Bundesfeindesetz M34

**Meßgebiet
St. Jakob**

Beilage 8

Gammastrahlenspektrometrie

**Ternäre Darstellung
der Meßparameter
Kalium - Thorium - Uran**

Bearbeiter:

Seiberl, Oberercher, Supper,
Motschka, Heidovitsch, Hübl

Piloten:

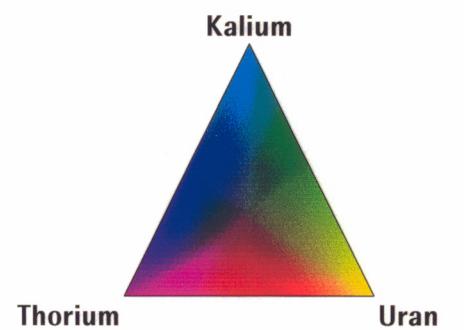
Staudinger, Lang, Wehrle,
Leeb, Nehring

Techniker:

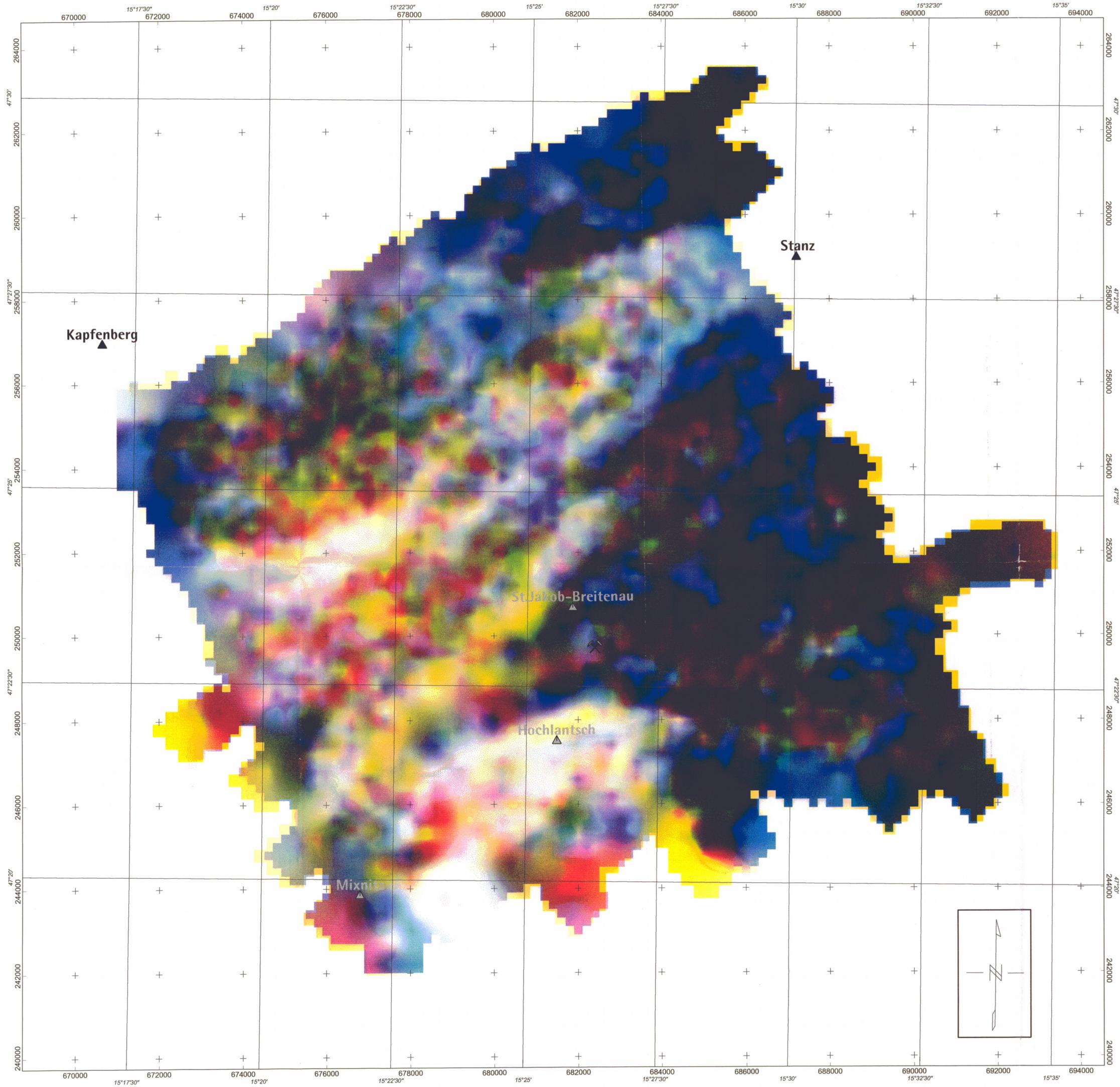
Strümpf, Kropik, Giessenbacher,
Waldbauer



**Geologische
Bundesanstalt**



Maßstab 1 : 50000
1000 0 1000 2000 3000
*Bessel 1841 / Bundesmeidernetz M34
Meter



Meßgebiet
St. Jakob

Beilage 9

Scheinbarer elektrischer Widerstand

(homogenes Halbraummodell)

Bearbeiter:

Seiberl, Oberlecher, Supper,
Motschka, Heidovitsch, Hübl

Piloten:

Staudinger, Lang, Wehrle,
Leeb, Nehring

Techniker:

Strümpf, Kropik, Giessenbacher,
Waldbauer



1001
976
930
885
853
823
801
776
749
721
694
666
636
609
587
560
541
522
500
483
464
448
427
407
387
374
359
342
328
309
294
276
258
236
219
202
186
169
144
117

[Ohmm]

