

Aeromagnetik – Alte Methode / Neue Bilder

RAINIER ARNDT¹

„...Aeromagnetic surveys have become an indispensable tool in the exploration for mineral resources, as well as an important adjunct to regional mapping programs...”
MCENROE et al., (2001)

„...but the headlines need very little editing: Aeromagnetics can justify itself even more soundly and has still a youthful vitality and positive outlook on the future...”
REEVES et al., (1997)

Einleitung²

Mit dem Auslaufen des operativen Jahrs 2003 waren in Kanada 80% der Landmasse und 20 % des Off-Shore Gebiets mit Aeromagnetik befliegen. In Kanada liegen insgesamt ca. 11 Mill. Profilkilometer, mit einem Profilabstand von 800m, bei regionalen Fragestellungen 300m, in den öffentlichen Datenbanken vor. Im Jahr 2002 wurde das Okavango-Binnendelta mit 101,000 Km Aeromagnetik überdeckt, und eine Kampagne in Saudi Arabien, mit 1,7 Mill. Flugkilometer weitgehend abgeschlossen. In der Republik Namibia lagen 1997 insgesamt 750,000 Profilkilometer, HUTCHINS *et al.* (1997), auf und Österreich wurde bis 2003 von insgesamt 100,000 Profilkilometern magnetisch kartiert – Aeromagnetik weckt nach der Seismik die grösste Neugier der Investoren. Für jede \$ 1Mill. die von staatlicher Seite in eine kanadische „*Geoscience Knowledge Base*“ flossen, wurden \$ 5Mill. private in die folgende Exploration investiert und, bei erfolgreicher Lagerstättenverritzung, können bis zu \$ 125 Mill. an Folgeinvestitionen nachgezogen werden. ANONYMUS (2000a). Aus Australien werden von CORCORAN (2000) ähnliche Größenordnungen genannt: pro AUS\$ 1 die von staatlicher Seite in die Mineralexploration gesteckt wurden ergaben sich AUS\$ 3 an direkten Folgeinvestitionen, bei fündigen Lagerstätten konnten daraus bis zu AUS\$ 250 in das Bruttoinlandsprodukt wieder zurückgeführt werden. Zum Vergleich – im operativen Jahr 2001 wurden weltweit 2.2 Mrd. US\$ in die Lagerstättenexploration (ohne Kohlenwasserstoffe) investiert, KILLEEN (2002).

¹ Diplom-Geophysiker Dr. Rainier Arndt
Geologische Bundesanstalt Wien
Postfach 127, A – 1031 Wien

✉ rainier.arndt@cc.geolba.ac.at
☎ 0043-664-1820 400

² *Das Aufführen von Markennamen, Produkten oder Firmen beinhaltet keine Empfehlung sondern sind nur als Beispiel zu verstehen;*

Selbst nach über 50-Jahren haftet der Methode Aeromagnetik noch der Nimbus eines Werkzeugs zum spontanen Glück bei der Suche nach Lagerstätten an. Das „alte“ „*Anomaly Spotting*“ oder „*Bump-finding*“ ist in den letzten 10 Jahren jedoch erheblich professionalisiert worden: Hardware-Entwicklungen bei den magnetischen Aufnehmern, hohe Lagegenauigkeit durch D-GPS, selbstkontrollierende Flugwegsteuerungen, automatisches Pre-Processing der geophysikalischen Massendaten und das 3-D Modellieren geologischer Detailstrukturen sind zum Standard in der Gegenwart geworden. Aeromagnetik bleibt preiswert – und damit ist es die immer „mitfliegende“ Methode bei grossen aerogeophysikalischen Kampagnen.

Historische Entwicklung

Die technischen Meilensteine der Aeromagnetik wurde von RYSTROM *et al.* (2000) mittels Beispieldaten aufgezeigt:

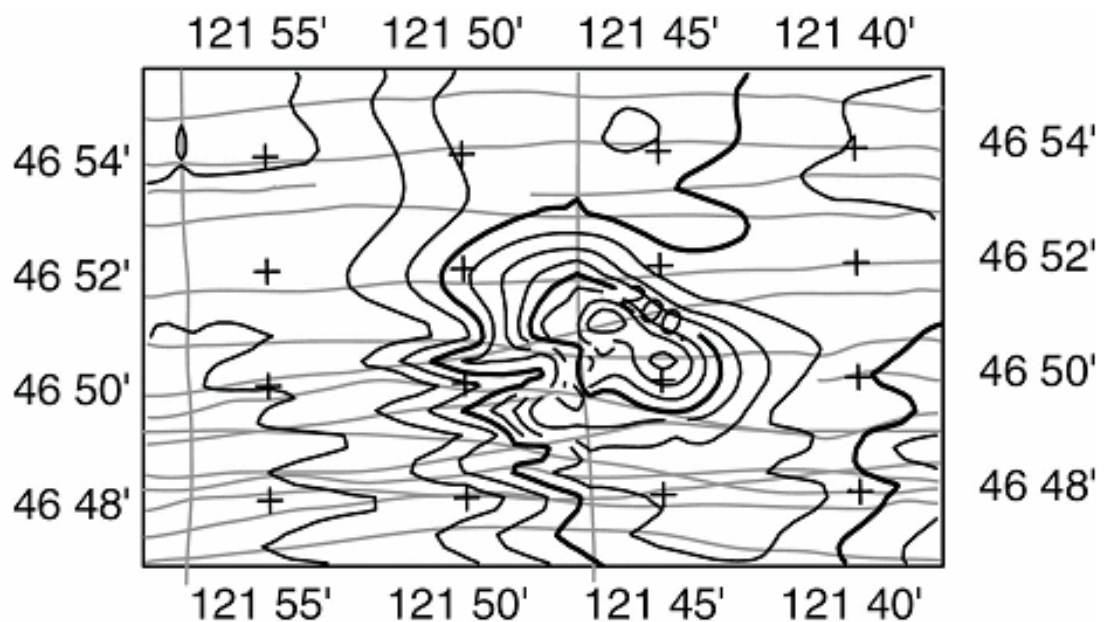


Abbildung 1

Aeromagnetischen Vermessung der 80'er Jahre

Kampagne 1981; Gebiet Mt. Rainier / Cascade Range / Washington
open-file 2000-0027 des USGS, cf. RYSTROM *et al.* (2000)

Deutlich ist das im Text besprochene Fischgrätenmuster / [engl. Herringboneeffect] der interpolierten Isolinien zu erkennen.

Bis zu den späten 80' er Jahren dominierten auf barometrischer Höhe geflogene Profillinien mit relativ grossen Abstände zueinander (1 Km, 1 mi, 2 Km). Ein typisches Beispiel dieser Zeit ist die erste aeromagnetische Messkampagne im Gebiet des Vulkanes Mt. Rainier, **Abbildung 1** - Flughöhe 5,000m, Profilabstand 1,600m. Die relative Höhe über der Geländeoberkante reichte von ~4200m an den Vulkanflanken bis ~670m über der Gipfelregion. Das geplante Flugprogramm wurden vom Navigator auf Sicht verfolgt, aber die dokumentierten Flugwegpunkte entsprachen nicht immer der geplanten Position über Grund. Die Flugprofile wurden meist in unterschiedlicher Richtung „abgeflogen“. Das Magnetometer war in einem externen Schleppkörper untergebracht und mittels Seil / Kabel am Lasthaken des Flugzeugs befestigt. Der magnetische Sensor war ein Protonenmagnetometer und pro Sekunde wurde ein Messwert auf Magnetband geschrieben. – Bei einer mittleren Geschwindigkeit von 200 km/h ergab sich ein mittlerer Stützstellenabstand von 50 bis 70m. Die ungenaue Positionsbestimmung (*Time-Lag*) der Sonde zeigte sich beim späteren Bearbeiten der Daten – beim Interpolieren bildeten sich numerische Artefakte, die sog. *Fischgräten-Muster*, aus. Die prozessierten Daten wurden als Isolinienpläne in Schwarz/Weiss dargestellt und bis in die frühen 90' er Jahre als Arbeitsunterlage veröffentlicht, z.B. HEINZ&SEIBERL (1990).

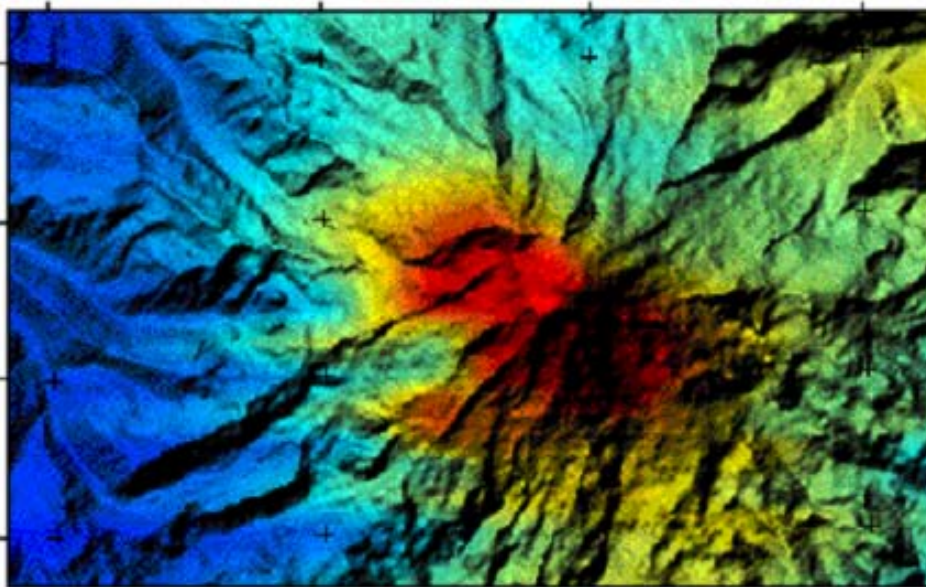


Abbildung 2

Beispiel eines aeromagnetischen Re-Processings

Gebiet Mt. Rainier / Cascade Range / Washington

open-file 2000-0027 des USGS, cf. RYSTROM *et al.* (2000)

Datenausschnitt sowie Lagekoordinaten der Karte genau Abb. 01. entsprechend.

Durch wachsende Möglichkeiten in der EDV – Hard- wie Software- konnten verfeinerten Feldfortsetzungs-, Filter & Interpolationsmethoden eingesetzt werden, z.B. die *Minimum Curvature* Routine zum Interpolieren der Rasterdaten. Dadurch ergaben sich etwas nuanciertere Darstellungen, cf. **Abbildung 2**. Prinzipiell aber bildeten sich die Anomalien immer als kreisförmige Figuren ab.

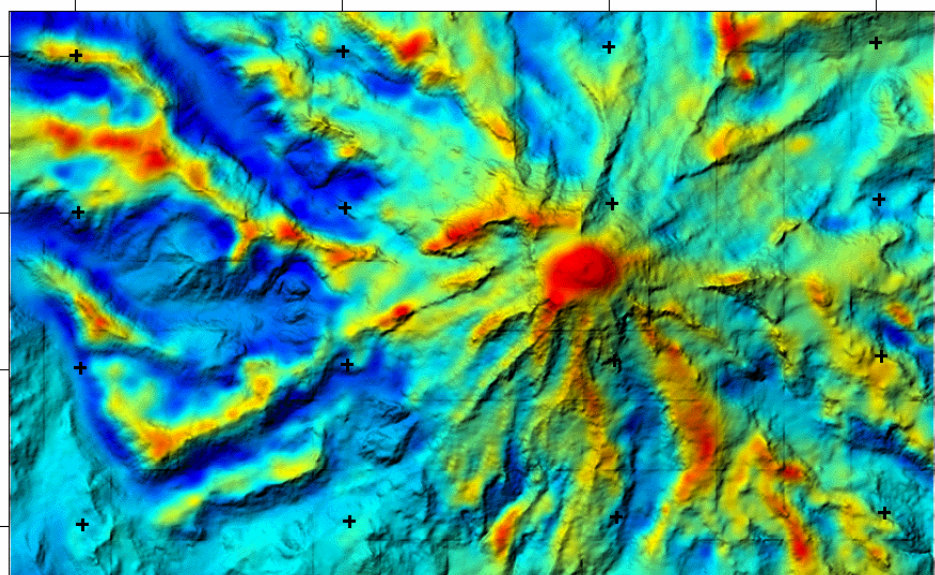


Abbildung 3

Aeromagnetischen Vermessung der 90'er Jahre

Kampagne 1996; Gebiet Mt. Rainier / Cascade Range / Washington
open-file 2000-0027 des USGS, cf. RYSTROM *et al.* (2000)

Angegebener Profilabstand 250m, Stützstellenabstand 5m; Auch hier entspricht das dargestellte Datenfenster genau in Lage und Grösse den Abb. 01 und Abb.02.

Mit dem Beginn der 90'er Jahren zog auch die eigentliche, die digitale Revolution in die Aeromagnetik ein. Es begann die Entwicklung einer besseren / dichten Datenakquisition, eines schnelleren Pre-Prozessings und es ergaben sich wesentlich bessere Kartendarstellung. Mit dem Einzug des Differential GPS und vorprogrammierter Flugwege wurden die horizontalen Positionsfehler auf 2m bis 3m, die Vertikalen auf ca. 10m bis 15m reduziert, DENHAM (1997). Dieser systematische Lagefehler paust sich somit nur noch als absoluter Fehler von $< 2\text{nT}$ auf die eigentlichen magnetischen Rohdaten durch, GRAUCH & MILLIGAN (1998). Heute werden die meisten aeromagnetische Programme nach dem Prinzip

Geringe Flughöhe + Enger Profilabstand = Hochauflösende Aeromagnetik

implementiert. Damit können magnetische Lokalstrukturen erfasst und, mittels sehr verfeinerter Rohdatenbearbeitung, für geologische Detailansprachen bereitgestellt

werden, cf. FINN *et al* (1999) oder WILSON *et al.* (1997). **Abbildung 3** zeigt einen solchen typischen Datensatz der späten 90'er Jahre.

Ende der 90'er gelten die wichtigsten technologischen Hürden in der Aeromagnetik praktisch als übersprungen, und REEVES *et al.* (1997)³ orten – trotz ständig sinkender Kosten pro Profilkilometer - nur noch bei den Explorationsmanagern und Investoren den eigentlichen Widerstand für eine erhöhte Einbindung aeromagnetischer Kampagnen in die Prospektionsportfolios.

Die nahe Zukunft ist in der Aeromagnetik aber schon angebrochen: Die Flugzeuge werden kleiner und leichter (Typus *Crop-Duster*) und erlauben nun auch sehr flache Konturenflüge – Flughöhen von 40m und 25m über Grund werden in aktuellen Fallstudien angeführt. Die Anzahl der Sensoren hat weiter zugenommen und „echte“ Gradientenaufnahme bilden sich als Standard heraus. **Abbildung 4** dokumentiert den aktuellen Trend in der Aeromagnetik.



Abbildung 4

Aeromagnetische Gradientenvermessung & UXO

Bild entnommen von <http://www.edwards.af.mil/penvmng>

³

Der Autor wurde besonders von dieser Publikation inspiriert.

Der nächste Fluchtpunkt in der Entwicklung ist avisiert: Komplexe Interpretation von Magnetik, Radiometrie, digitalen Luftbildern und Elektromagnetik werden dem Sog der Seismik folgen – weg von der teuren operativen Bodenlogistik und dem problematischen Permitting zu mehr, billigeren, besser auflösenden geophysikalischen Massendaten.

Kunden & Lieferanten

In den 80'er bis frühen 90'er Jahren waren für viele Länder die aeromagnetischen Befliegungen ein Teil der nationalen Rohstoffsicherung oder wurden *ad-hoc* zur Unterstützung regionaler geologischer Kartierungen eingesetzt. Als Paradebeispiel sei Australien angeführt – der gesamte Kontinent ist völlig von aeromagnetischen Befliegungen überdeckt. Andere Beispiele einer staatlich geförderten („*non-exclusive*“) Aeromagnetik ist die Erforschung von Vulkanen, URRUTIA-FUCUGAUCHI *et al.* (2002) oder RAPOLLA *et al.* (2000), oder eine grossflächige Grundwasserkartierung, MAUS *et al.* (1999).

Vereinzelte Hybrid-Kampagnen, z.B. *Operation Treasure Hunt* in Ontario, REDFORD *et al.* (2000), wurden zwischen staatlicher Förderung und kommerzieller Endnutzung implementiert: Die Morgendämmerung einer völligen Marktveränderung kündigte sich an. Seit Mitte der 90'er Jahre erfolgte ein gradueller Wechsel von grossregionalen Kartierungen der Vergangenheit zu den kleinen, regionalen Kampagnen der Gegenwart, welche auf die Erkundung spezieller, regionaler, geologischer Einzelstrukturen fokussiert sind. Diese geologischen Detailziele haben eine direkte, unmittelbar kommerzielle Nutzung, z.B. (i) die Aufsuche von Kimberlite-Schloten, die als Diamant hoffig gelten, (ii) die Vorkartierungen bei der Erdölsuche, *cf.* SPECTOR (2001) oder (iii) die klassische Prospektion nach metallogenetischen Massenlagerstätten wie den *Banded Iron Structures*, CHRISTENSEN (2002) oder die Edelmetallprospektion, ANONYMUS (2001).

Im Jahr 2002 war der Marktführer in der Aeromagnetik Fugro Airborne Systems mit weltweit über 50 eigenen, operativen Flugzeugen bzw. Helikoptern und Sanders Geophysics Ltd., Ontario, galt mit 7 eigenen Flugzeugen als zweitgrösster Anbieter. Weitere Firmen sind z.B. SCANAIR aus Frankreich, Terraquest Ltd. Toronto und Kevron aus Australien. In Europa führen auch die staatlichen Geologischen Dienste, von Finnland, Deutschland und Österreich mit Eigenmitteln aeromagnetische Messungen durch.

Hardware

Die klassischen Protonenmagnetometer (Messgenauigkeit 5 nT, 1 Messwert pro Sekunde) sind mittlerweile vom Cäsium-Dampf-Magnetometer völlig verdrängt worden, NABIGHIAN & ASTEN (2002). Ein typisches kommerzielles Cäsium-Dampf Magnetometer ist das G-823-A Modell von Geometrics mit einem Einsatzbereich von 20,000 nT bis 100,000 nT und einem Heading Error von ± 0.15 nT. Gegenüber anderen Messprinzipien, z.B. dem OVERHAUSER-Magnetometer oder Helium-gefüllten Sensoren, hat sich das Cs-Dampf Magnetometer durch sein gutes Nutz-/Rauschsignal und wegen seiner grossen Bandbreite als Standard in der kommerziellen Aeromagnetik durchgesetzt. Die hohe Messgenauigkeit bedarf aber aufwendiger Kompensation der internen magnetischen Störsignale, die z.B. durch Änderung der Fluglage (Rollen & Nicken des Flugzeugs) oder durch Magnetfelder und Stromflüsse im Flugzeug selbst ausgelöst werden. Als typische Restfehler für die Flugzeug-Kompensation gelten Grössenordnungen von < 0.03 nT für das Totalfeld bzw. < 0.0035 nT/Km für magnetische Gradienten.

Die hohe Genauigkeit der Sensoren zieht auch eine starke Kontrolle der zeitabhängigen magnetischen Variationen (Tagesgang) mit sich, und MAURING *et al.* (2002) fordern, dass die Ränder eines aeromagnetischen Messgebietes nicht weiter als 50 Km von der registrierenden Basisstation entfernt sein dürfen. Normalerweise sammelt die Basisstation mindestens alle 5 sec ein Messwert, wobei die gleiche Zeitbasis wie der Sensor im Flugzeug (GPS-Zeit) eingehalten wird.

Akquisition



Die erste methodische Basis zur Planung von aeromagnetischen Kampagnen wurde von REID (1980) gelegt. Zur Zeit dieser Publikation lagen die Flughöhen typischerweise bei 500m oder 1000m und die als „hochauflösend“ bezeichneten Einzelkampagnen mit 150m über dem eigentlichen magnetischen Störkörper. Bei mächtigen Bedeckungen ergaben sich zwangsgemäss sehr geringe Flughöhen über Grund. Als Daumenregel für den Abstand der Profile gilt noch heute, dass bei einer einfachen Totalfeldaufnahmen die Profilweite der zweifachen Sensorhöhe über dem magnetischen Störkörper entspricht. Bei Detailkartierungen und Gradientenmessungen ist die Sensorhöhe über dem magnetischen Störkörper *gleich* dem Profilabstand.

Zur Kontrolle der Produktionsprofile werden dazu rechtwinklig liegende Profile beflogen, die sog. *Tie-Lines*. Als grobe Regel gilt – Kontrollprofile haben den 5- bis 15-fachen Abstand der Produktionsprofile. Physikalisch gesehen ist dieses Grundkonzept jedoch allgemein gültig, den die Aufnahme hoher räumlicher

Frequenzanteile ist die Voraussetzung für eine richtige Interpretation. Nur bei stark richtungsgebundener Geologie, etwa der Befliegung von Intrusionsschwärmen, wird die Daumenregel um den Faktor „Zwei“ gelockert.



Das Problem bei Flügen entlang barometrischer Höhenlinien ist die natürliche Geomorphologie – liegt der Anomaliebildner unter einem tiefen Tal ist auch die „wahre“ Entfernung zwischen Magnetometer und magnetisiertem Körper grösser – das aufgenommene Anomalienbild ist im oberen Frequenzbereich gedämpft. Deshalb muss mit konstantem Abstand zwischen Sensor und Anomaliebildner geflogen werden – das Flugzeug bewegt sich in konstanter Höhe über Geländeoberkante: „Drape Flight“.

Um einer stark gegliederten Topographie ohne Sicherheitsrisiko folgen zu können, werden den Flugzeugen entsprechende Leistungen abverlangt, z.B. die Sink-/Steigraten müssen unter 14m/s liegen. In alpiner und hochalpiner Topographie, wie z.B. in Österreich, werden deshalb Hubschrauber eingesetzt.

Die eigentliche Sensorhöhe variiert zwischen 150m, TAYLOR (2000), bis 50m über Grund (Befliegung Österreichs). Bei UXO Projekten kann die Freihöhe des Sensors sogar bis auf 2m über Grund reduziert sein, DOLL *et al.* (2002). Bei komplexen Windverhältnissen, z.B. Fallwinden an Berghängen die verschiedene Steig- / Sinkraten des Flugzeugs bedingen, werden später aufwendige Korrekturen an die magnetischen Rohdaten angebracht, PILKINGTON & THURSTON (2001).

In der operativen Aeromagnetik sind „Kalibrier-Flüge“ wie z.B. der sog. Lead-Lag Test üblich – dabei werden bekannte anthropogene Anomaliebildner, z.B. ein Schrotthaufen, überflogen. Mittels Vorwärtsrechnung werden die zu erwarteten mit den gemessenen Signalspitzen im Rohdatenfluss kontrolliert und, zusätzlich, der interne Zeitverzug der gesamten Messkette kontrolliert und dokumentiert.

Prozessing

Ähnlich wie in der Seismik sind die Prozessing-Sequenzen von Firma zu Firma, von Messgebiet zu Messgebiet verschieden. Zur Übersicht und als Beispiel ist ein Standard-Rezept nach PEARSON *et al.*(2002) aufgeführt:

– **Editieren der Rohdaten**

Rückrechnen der Daten gemäss Zeitverzug aus Lead-Lag Test, erste visuelle Kontrolle und Editieren der Rohdaten am Bildschirm, Spike-Filtern, händisches Interpolieren von „Datenlöchern“ (max 3-5 Stützstellen);

- **Identifikation von antropogenen Störungen**
Trennen der künstlichen Anomalien (Hochspannungsleitungen, Eisenbahnlinien, Zementöfen, Schrottplätzen, Pipelines *etc.*) von natürlichen Anomalien. Je nach Lage des Profils können in dichtbesiedelten Landstreifen 7% bis 70% der Profillänge über künstliche magnetische Quellen verlaufen, CUSS (2003);
- **Flughöhen**
Die aufgenommenen Höhen aus dem D-GPS, dem Barometer, der Radar- und der Laserhöhe werden homogenisiert und einzelnen Profilpunkten zugeordnet. Aus Fehlerüberlegungen werden in dieser Bearbeitungsstufe keine numerischen Filter angewandt;
- **Nicht-geologische Störquellen**
Die magnetische Tagesvariation wird für jeden Messwert kalkuliert und berücksichtigt – danach erfolgt eine erste regionale Korrektur mit dem aktuellen IGRF, z.B. nach ANONYMUS (2000b). Danach wird jedes Profil mittels „Spike-Rejecting Filter“ von anthropogene Ereignisse „gereinigt“, LEBLANC&MORRIS (2001);
- **Levelling**
Anpassen der Produktionsprofile an die Schnittpunktwerte der Kontrollprofile („DC-Levelling“) und profilgebundens Interpolieren der Daten, Vergleich der Profile untereinander und wenn nötig erfolgt ein vereinzelt Tiefpassfiltern von Nachbarprofilen;.
- **Rasterdaten**
Die angepassten Profile werden in Raster überführt, *evtl.* Polreduziert, und danach entweder (i) visualisiert oder mittels (ii) Graurasterbildern einer Bildbearbeitungsplattform übergeben. Zur Berechnung von Rasterdaten kommen üblicherweise *Bi-directional Splines*, *Minimum Curvature* oder *Equivalent Source* Algorithmen zum Einsatz;

Die prinzipielle Qualitätskontrolle von aeromagnetischen Rasterdaten wurde ausgiebig von BILLINGS & RICHARDS (?) dargestellt. Für das Processing aeromagnetischer Daten hat sich die Oasis-Montaj[®] Suite von Geosoft, Ontario, als Standard etabliert.

Das Hauptproblem beim *Gridding* bleibt ein richtungsforciertes Filtern der Daten – so werden z.B. geologische Strukturen normal oder 45° zu den Profillinien in der Amplitude erheblich geschwächt. Besonders sind davon Signale mit kleinen

Amplituden und sehr kleiner Wellenlänge betroffen, aber gerade solche Signale werden von intrasedimentären Strukturen generiert und sind spätere Fazies-Ansprachen besonders wichtig. Verschiedene Ansätze, entweder mittels *a priori* Information, KEATING (1997), oder durch profilgebundens Filtern & Bildbearbeitung, SKILBREI&KIHLE (1999) oder über geostatistische Variogramme, HANSEN (1993), werden als Lösungsansatz dieses Problems diskutiert.

Alte Daten – Neue Taten

Zur Neuerstellung überregionaler Karten werden Datensätze aus vergangenen Kampagnen zu einer einzigen Gesamtkarte zusammengeführt. Hierbei treffen Rohdaten verschiedener Generationen mit verschiedenen Dateneigenschaften aufeinander: barometrische Flughöhen, Konturenflüge in unterschiedlichen Höhen, variierende Profilabstände und Profilrichtungen, Magnetometersonden mit und ohne Drift, zeitlich verschobene Referenzepochen *etc.* Daraus ergeben sich hohe Ansprüche an ein Re-Processing, denn eine einfache Feldfortsetzung verschiedener Rasterdaten auf eine gemeinsame Höhe, also verschiedenes hoch- / tiefpassfiltern, ist nicht ausreichend, denn auch höhere Glieder der Taylorreihen-Entwicklung müssen berücksichtigt werden.

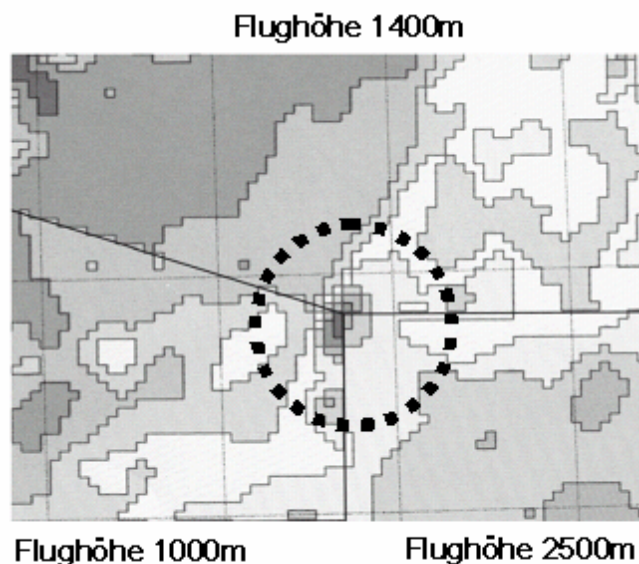


Abbildung 5
Blattrand-anomalie

Ausschnitt aus einer aeromagnetischen Arbeitskarte, GBA intern, 1990

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel einer „Blattrand-anomalien“, einem typischen numerischen Artefakt als Ergebnis verschiedener Feldfortsetzungen. Der Geologische Dienst in Kanada hat sich 10 Jahre lang mit dem Aufarbeiten alter

Daten beschäftigt. Dort sind in einem ersten Schritt alte Analog-Karten digitalisiert worden, dann das entsprechende IGRF gemäss Epoche und Flughöhe abgezogen, zu Datenbezirken zusammengesetzt und „lokale Artefakte“ schliesslich durch „lokale Polynome“ geglättet. Damit wurde als erstes Ergebnis ein „Aeromagnetisches Master-Grid“ aller kanadischer Provinzen erstellt, REDFORD *et al.* (1990). Aus den Arbeiten von MINTY *et al.* (2003) wurden Verbesserungen durch robuste lokale Interpolation mittels kontrollierter Wellenlängen erzielt.

Interpretation

Eine dreidimensionale Interpretation hat immer dann zu erfolgen, wenn die überflogene Anomaliebreite kleiner als die 5- bis 10-fache Länge in Streichrichtung ist. Darum geht der Trend in der Interpretation von (aero-) magnetischen Daten weg von den traditionellen 2-D, 2.5-D, 2.75-D Ansprachen hin zu den neu entwickelten 3-D Algorithmen. Verschiedene Lösungsstrategien werden besprochen:

– **Isolierte Anomalien**

NABIGHIAN & HANSEN (2001) adaptieren den bekannten EULER-Algorithmus in die dritte Dimension. THURSTON & SMITH (1997) schlagen eher das analytische Signal für Rasterdaten vor, um daraus Quellenparameter zu ermitteln (*Source Parameter Imaging*).

– **Zerlegung in Blöcke**

LI & OLDENBURG (1996) „zerlegen“ den Untergrund in gleich grosse Blöcke und teilen jedem Block eine konstante Suszeptibilität zu. Durch das Anbringen einer Tiefengewichtung erfolgt die Inversion der Einzelblöcke. Dieser Ansatz wurde z.B. erfolgreich im nördlichen Quebec bei der RAGLAN Lagerstätte (NI, Co, CU) eingesetzt.

– **Wavelets**

Die Funktion eines Potentialfeldes kann als Summation vieler einzelner Wavelets interpretiert werden und werden mit ortsunabhängigen Frequenzfiltern bearbeitet. Die Gradienten die sich aus solchen, lokalen Ableitungen generieren, beschreiben wesentlich kleinere magnetische Zonen als typische globale Inversionen mittels FFT oder anderen räumlichen Filtern, RIDSILL-SMITH (2000);

Unabhängig von der Potentialfeldforschung etabliert sich, durch angewandte Geologen forciert, eine rein deskriptive Interpretation aeromagnetischer Daten (Anomalieform, Texture, Trendrichtung) – als Beispiele dafür sind ANONYMUS (1999),

GETTINGS (2002), GRAUCH *et al.* (2001) und besonders PILKINGTON *et al.* (2002) angeführt.

Fallbeispiel Österreich

Eine markante magnetische Anomalie wurde im Rahmen der Befliegung von Österreich gefunden und erfolgreich von AHL&SLAPANSKY (2003) bearbeitet. Die Anomalie liegt im wesentlichen innerhalb der Ötztal-Stubaier Masse, die dem Altkristallin angehört. Zum tektonischen Internbau gehören grossräumige isoklinale Falten und Grossfaltenzüge. Das eigentliche Messgebiet wird durch einen Amphibolit gebildet. In einem ersten Bearbeitungsschritt wurde der Untergrund in gleich grosse Würfel mit 500m Kantenlänge zerlegt. Jedem Würfel wurde einer seiner Lage und der vorherrschenden Geologie entsprechender Suszeptibilitätswert zugeordnet. Die Topographie lag digital vor und wurde berücksichtigt. Als Startmodell wurden die magnetischen Einzelwirkungen der Würfel berechnet und aufsummiert.

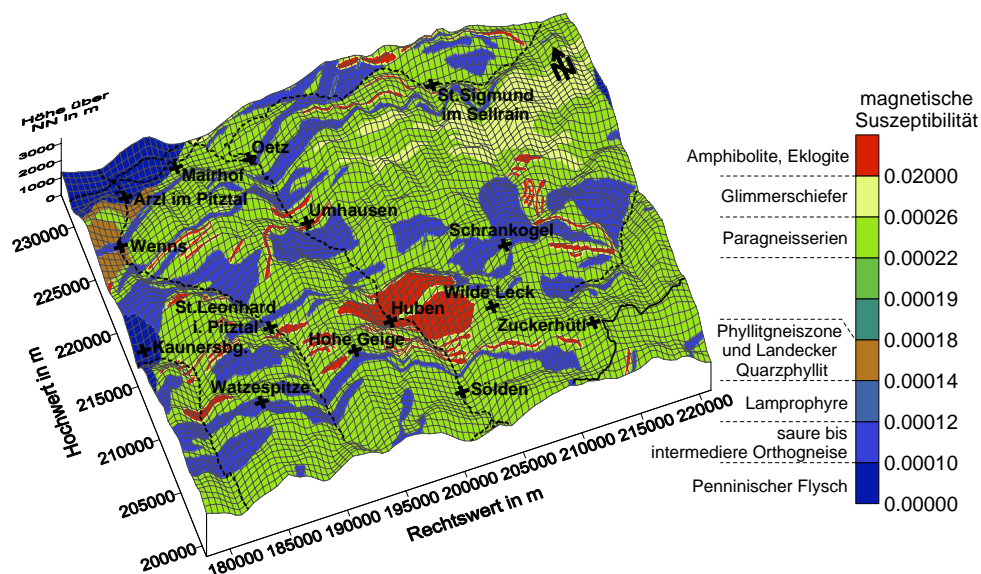


Abbildung 6
Lage und geologische Ansprache des Suszeptibilitätsmodells im Ötztal
 Ausschnitt von AHL&SLAPANSKY (2003)

Durch Modelloptimierung wurden Suszeptibilitätswerte verändert und dem Gesamtbild der gemessenen Anomalie angepasst. **Abbildung 6** zeigt die oberflächennahe Lösung des Endmodells. Als Ergebnis eine Teufenerstreckung bis zu 10 Km festgestellt. Damit ist dieser Anomaliebildner ein Teil des ostalpinen

Kristallins und nicht – wie lange angenommen – im liegenden Penninikum eingebettet. Das grosstektonische Bild im Bereich Ötztal konnte damit verfeinert werden.

Zusammenfassung

Gerade in den letzten 10 Jahren hat sich innerhalb der angewandten Geophysik die Aeromagnetik erhebliche Marktanteile gesichert. Durch die Einführung des Cäsium-Magnetometers wird das Totalfeld mit Genauigkeiten unter einem nT vermessen. Damit lassen sich Internstrukturen und Faziesbilder von Sedimentpaketen auflösen. Die Interpretation geht einerseits stark mathematisiert in die 3-D Algorithmen oder nimmt einen sehr deskriptiven Weg.

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei seinen Kollegen Dr. PETER SLAPANSKY und Mag. Dr. ANDREAS AHL, beide in der Fachabteilung Geophysik der GBA tätig, für die gewährte Unterstützung.

Diese Publikation wurde im Rahmen des ÜLG 20 und ÜLG 35 erstellt.

Literatur

AHL, A., SLAPANSKY, P., 2003: Die aeromagnetische Anomalie des mittleren Ötztal-Stubaikristallins und ihr Rahmen: 3D-Modellierung und geologische Interpretation – Tagungsband, Arbeitstagung, Geologische Bundesanstalt, 01.-05.09.2003, Trinns, Gschnitztal, 161-170;

ANONYMUS, 1999: Comparison of Aeromagnetic Data with Geologic Map data, – USGS, Open File Report 02-99,1-10;

ANONYMUS, 2000a: Action Agenda for Mining in Canada Committee - [in] The Investment Climate for Exploration in Canada, [für] Energy & Mines Minister Conference, Toronto, 10. – 13. September 2000, PDCA Büro, Toronto/Ontarion;

ANONYMUS, 2000b: International Geomagnetic reference Field 2000, IAGA Division V Working Group 8, 2000 – Geophysical Journal International, **141**, 1, 259-262;

- Anonymus, 2001: Quarterly Report 2001-12-31 – Cullen Resources Ltd. [Link unter] <http://www.cullenresources.com.au;>
- ANONYMUS, 2002: RAGLAN Lagerstätte, [Link unter] <HTTP://WWW.GEOP.UBC.CA/UBCGIF/CASEHIST/RAGLAN/INTRO.HTML>
- BILLINGS, S., RICHARDS, D., ?: Quality Control of Gridded Aeromagnetic Data - [Interne Firmenschrift], Gesoft Inc. Corp, Toronto; 1-65, [Link unter] [http://www.geosoft.com/support/ Papers / pdf / quality_control_of_magnetic_data.pdf;](http://www.geosoft.com/support/Papers/pdf/quality_control_of_magnetic_data.pdf)
- CHRISTENSEN, N. A., 2002: Airborne vector magnetometry over banded iron-formations - SEG Jahreskonferenz, [Vortrag bei] ACQ 1.4, 1-50 Folien, Salt Lake City;
- CORCORAN, M. B., 2000: Pressemitteilung des Urban Renaissance Institutes, Sudbury, [Link unter] <http://www.urban-renaissance.org>
- Cuss, R. J., 2003: manual approaches to the removal of cultural noise from high-resolution aeromagnetic data acquired over highly developed areas – First Break, **21**, 43-49;
- DENHAM, 1997: Airborne geophysics in Australia; government contribution - Airborne magnetic and radiometric surveys, Journal of Australien Geology and Geophysics, **17** (2), 3-9;
- DOLL, W.,E., BEARD, L. P., GAMEY, T., J., 2002: An advanced airborne magnetic system for high-resolution mapping – [Erweitertes Abstrakt], SEG 62. Jahrestreffen 2002, Salt Lake City;
- FINN, C., DESCZ-PAN, M., 1999: Estimates of volumes and distribution of altered zones on Mt. Rainier [sic!] with Aerogeophysical data [Zusammenfassung] , EOS, Transactions, Supplement 1999-11-16, V32B-04;
- GETTINGS, M., 2002: An Interpretation of the 1996 aeromagnetic data for the Santa Cruz basin, Tumacacori Mountains, Santa Rita Mountains, and Patagonia Montains, south-central Arizona - USGS, Open File Report 02-99, 1-44;
- GRAUCH, V. J., MILLIGAN, P. S., 1998: Mapping intrabasinal faults from high-resolution aeromagnetic data - TLE, **17** (1), 53-55;
- GRAUCH, V., HUDSON, M., SCOTT, A., 2001: Case History: Aeromagnetic expression of faults that offset basin fill, Albuquerque, New Mexico – Geophysics, **66**, 707-720;
- HANSEN, R. O., 1993: Interpretive gridding by anisotropic kriging – Geophysics, **58**, 1491-1497;
- HEINZ, H., SEIBERL W., 1990: Bewertung und Problematik aerogeophysikalischer Anomalien im österreichischen Bundesgebiet (Stand: Mitte 1990) - Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **44**, 1-244, Wien

- HUTCHINS, D.G., MILNER, S.C., KORCIAKOSKI, E., 1997: Regional Airborne Geophysics and Geochemistry: A Namibian Perspective - [in]: GUBINS, A., G., [Ed.] (1997): Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, Planning - Paper #101, 779-792;
- KEATING, P., 1997: Automated trend reinforcement of aeromagnetic data – Geophysical Prospecting, 45, 521-534;
- KILLEEN, P., 2002: Exploration trends & developments – Canadian Mining Journal, Februar / März 2002;
- LEBLANC, G., MORRIS, W., 2001: Denoising of aeromagnetic data via the wavelet transform – Geophysics, **66**, 1793-1804;
- LI, Y., OLDENBURG, D. W., 1996: 3-D inversion of magnetic data – Geophysics, **61**, 394-408;
- MAURING, E., BEARD, L. P., KIHLE, O., SMETHURST, M. A., 2002: A comparison of aeromagnetic levelling techniques with an introduction to median leveling – Geophysical Prospecting, **50**, 43-54;
- MAUS, S., SENGPIEL, K., RÖTTGER, B., SIEMON, B., TORDIFFE, E., 1999: Variogram analysis of helicopter magnetic data to identify paleochannels of the Omaruru River, Namibia – Geophysics, **64**, 785-794;
- MCENROE, S., ROBINSON, P., PANISH, P., 2001: Aeromagnetic anomalies, magnetic petrology, and rock magnetism of hemo-ilminite- and magnetite-rich cumulate rocks from Sokndal region, South Rogaland, Norway – American Mineralogist, **86**, 1447-1468;
- MINTY, R. B., MILLIGAN, P., LUYENDYK, A., MACKEY, T., 2003: Merging airborne magnetic surveys into continental-scale compilations – Geophysics, **68/3**, 988-995;
- NABIGHIAN, M. N., ASTEN, M. W. (2002): Metalliferous mining geophysics – State of the art in the last decade of the 20th century and the beginning of the new millennium, Geophysics, **67/3**, 964-978, Tulsa;
- NABIGHIAN, M., N., HANSEN R. O., 2001: Unification of Euler and Werner deconvolution in three dimensions via the generalized Hilbert transform – Geophysics, **66**, 1805-1810;
- PEARSON, DE RIDDER, JOHNSON, 2002: Final Acquisition and Processing Report, Helicopter Borne Magnetic Survey, Dixie Valley, Nevada - USGS, [Open File Record], Vertragsnummer :2CRSA0165, 1-36, Denver;
- PILKINGTON, M., BLAKELY, R., JOHNSON, S., CANNON, W., GETTINGS, M., ROEST, W., 2002: Examples of the utility of magnetic anomaly data for geologic mapping – USGS, Open File Report 02-400, 1-16;
- PILKINGTON, M., THURSTON, J., 2001: Draping Corrections for aeromagnetic data: line-versus grid-based approaches – Exploration Geophysics, **32/2**, 95-101;

- RAPOLLA, A., CHIAPPINI M., FEDI M., FLORIO G., PAOLETTI V., SUPPER R, 2000: Indagini Aeromagnetiche nell'Area Vulcanica Vesuviana, Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra, Solisida, 19° Convegno Nazionale, C.N.R., 7-9 November 2000, Rom;
- REDFORD, S, 2000: Ontarios Operation Treasure Hunt. Stimulating Mineral Exploration in Ontarion Through Airborne Geophysics - SEG, Annual Meeting 2000, Expanded Abstracts, San Antonio;
- REDFORD, S. W., GUPTA, V. K., PATERSON, N. R., KWAN, K. C. H., MCLEOD, I. N., 1990: Ontario master aeromagnetic grid: a blueprint for detailed compilation of magnetic data on a regional scale – [Erweitertes Abstrakt], SEG, 62. Jahrestreffen 1990, 617-619;
- REEVES, C.V., REDFORD, S. W., MILLIGAN, P.R., 1997: Airborne Geophysics: Old Methods, New Images - [in]: GUBINS, A., G., [Hrsg.] (1997): Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, Planning - Paper #3, 13-30;
- REID, A. B., 1980: Aeromagnetic survey design – Geophysics, **45/5**, 973-976;
- RIDSILL-SMITH, 2000: Wavelet compression of an equivalent layer - [Erweitertes Abstrakt], SEG, 70. Jahrestreffen 2000, 378-381;
- RYSTROM, V.L., FINN, C. A., DESCZ-PAN, M., 2000: High Resolution, Low Amplitude Aeromagnetic and Electromagnetic Survey of Mt. Rainier - Open-file Report U.S.G.S., 00-27, 1-10; Virginia;
- SKILBREI, J. R., KIHLE, O., 1999: Display of residual profiles versus gridded image data in aeromagnetic study of sedimentary basins: A case history – Geophysics, **64**, 1740-1747;
- SPECTOR, A., 2001: Aeromagnetic data and Hydrocarbon Exploration in the Apalachian and Michigan Basins – SEG, Annual Meeting 2001, Expanded Abstracts, San Antonio;
- TAYLOR, R., 2000: Fixed-wing magnetic- and radiometric surveys over extreme terrain - [Erweitertes Abstrakt], SEG Jahrestreffen 2000, San Antonio;
- THURSTON, J. B., SMITH, R. S., 1997: Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using SPI methods – Geophysics, **62**, 807-813;
- URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., FLORES-RUIZ, J. H., ARCINIEGA-CEBALLOS, A., 2002: Aeromagnetic survey over an active stratovolcano in Central Mexico – TLE, **22**, 560-563;
- WILSON C. R., TSOFLIAS, G. P., BARTELMANN, M., PHILLIPS, J., 1997: A High Precision Aeromagnetic Survey Near the Glen Hummel Field in Texas; Identification of Cultural and Sedimentary Anomaly Sources - The Leading Edge, **16/1**, 37-42;