

Gemeinde Neuried, Kirchstr. 21, 77743 Neuried

Es schreibt Ihnen:
Herbert Treyer

badenova AG & Co. KG
Frau Anke Held
Tullastraße 61
79108 Freiburg

07807 / 97-162 (Telefon)
07807 / 97-167 (Fax)
h.treyer@neuried.net
Az.: 794.611
Sch
10.04.2012

Abschlussbericht Aeromagnetische Vermessung

Aeromagnetische Vermessung von Erdmagnetfeldern zur Evaluierung des Nutzens dieser Geophysikalischen Messungen für Tiefengeothermische Projekte
Das Forschungsprojekt wurde von der Firma Badenova AG & CO. KG innerhalb des Informationsfonds Klima- und Wasserschutz gefördert.

Die Aeromagnetische Vermessung zur Kartierung des magnetischen Inventars gehört seit langem zu den Standardverfahren bei der Öl, Gas und Erzprospektion.
Ihr Einsatz liegt dabei im Vorfeld von weitergehenden detaillierten geophysikalischen Untersuchungen wie zum Beispiel der Seismik.
Ob eine Aeromagnetische Messung auch Erkenntnisse für ein Geothermievorhaben bringt, wurde bisher noch nicht untersucht.

Da auf der Gemarkung Neuried für das geplante Geothermieprojekt umfangreiche 3D Seismik Daten vorliegen und interpretiert wurden, bestand hier die einmalige Möglichkeit, die aeromagnetischen Untersuchungsergebnisse mit den Ergebnissen aus der Seismik und den daraus abgeleiteten geologischen Schnitten und Karten zu vergleichen und zu validieren.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

Die aeromagnetische Vermessung am Standort Neuried brachte die Erkenntnis, dass auch diese Messmethodik für die Planung eines Geothermieprojektes eingesetzt werden kann. Mit der aeromagnetischen Vermessung konnte die Größe-, Tiefenlage des Grundgebirges und auch die Störungzonen ermittelt werden.

Bisher musste vor der Planung eines Geothermieprojektes im Vorfeld zur Festlegung des besten Bohrstandortes das gesamte Erlaubnisfeld mit einer aufwendigen 3-D Seismik untersucht werden. Eine 3-D Seismik konnte nur dann etwas reduziert werden, wenn aus alten 2-D Seismiken oder alten Bohrungen schon Erkenntnisse über den Untergrund vorlagen.

Diese alten Daten stammten jedoch meist von der Kohlenwasserstoffindustrie und waren nur schwer zugänglich. Eine 3-D Seismik ist sehr teuer und bedeutet ein umfangreiches Genehmigungsverfahren, da alle Grundstückseigentümer um Erlaubnis gefragt werden müssen.

Die aeromagnetische Vermessung geschieht durch ein Ultraleichtflugzeug aus der Luft und erfordert kein Einverständnis von Grundstückseigentümern bzw. von Inhabern der Erlaubnisfelder. Die Ergebnisse des Forschungsprojektes Neuried zeigen auf, dass künftig die Kosten für die geophysikalische Untersuchung des Erlaubnisfeldes zur Festlegung eines Bohrplatzes für ein tiefengeothermisches Projekt deutlich reduziert werden können, wenn im Vorfeld das Erlaubnisfeld zuerst überflogen und eine aeromagnetische Vermessung durchgeführt wird. Die Ergebnisse der aeromagnetischen Vermessung können dann zur genauen Planung einer räumlich begrenzten 3-D Seismik verwendet werden. Die 3-D Seismik kann dann wesentlich kleiner und somit deutlich kostengünstiger im Bereich der größten Tiefenlage des Zielhorizontes geplant werden. Das Ergebnis aus dem Forschungsprojekt Neuried kann auf andere Standorte übertragen werden.

Mit freundlichen Grüßen

Treyer, Bauamtsleiter

Anlagen:

Kostenaufstellung

Rechnungen: RP Freiburg

terrascan airborne

Gemeinde Neuried

AIRBORNE MAGNETISCHE VERMESSUNG NEURIED

ARBEITSBERICHT



Aircraft Finder 1 im Messbetrieb

Durchführung der Messungen: terrascan airborne
Messgebiet: Neuried
Datum der Messungen: August 2011
Kunde: Bauamt Neuried
Projekt Nummer terrascan: 8134
Fördermittel: Innovationsfond Klima- und Wasser-
schutz der badenova AG & Co. KG
Projekt Nr. Innovationsfond: 2011-2

0 Vorbemerkung

Von der Gemeinde Neuried wurde beim Innovationsfond Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG im Oktober 2010 ein Förderantrag zum Thema aeromagnetische Vermessung von Erdmagnetfeldern gestellt, dem mit Bescheid vom 11.04.2011 statt gegeben wurde. Da magnetische Messungen von der Erdoberfläche aus sehr zeitaufwändig und sehr umständlich sind und da in der Regel nicht alle Bereiche wegen eingeschränkter Zugangsmöglichkeiten gleichmäßig abgedeckt werden können, erfolgte die Messung von einem Flugzeug aus. Dadurch war eine flächenhafte Abdeckung sowie eine rasche und unkomplizierte Messung gewährleistet. Bei der Interpretation der Messergebnisse, insbesondere bei der abschließenden Bewertung des Messverfahrens im Hinblick auf eine indirekte unterirdische Vorerkundung für geothermische Projekte und die Übertragbarkeit auf andere Gebiete wirkte das RPF, Abt. Umwelt, Frau Prof. Dr. Stober, mit.

1 Aufgabenstellung

Aeromagnetische Vermessung im Rahmen eines Geothermieprojektes im Raum Kittersburg/Neuried. Darstellung der Messwerte in Karten des magnetischen Totalfeldes (TMI), des Analytical Signals (AS) und magnetischen Totalfelds mit Polreduktion (RTP). Abgleich der Karten mit den existierenden geologischen und seismischen Daten, Erstellung einer magnetische Strukturkarte sowie einer Modellrechnung der Oberfläche des kristallinen Grundgebirges, Vergleich mit den Ergebnissen der 3D-Seismik.

2 Messgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt westlich der Stadt Offenburg und südlich der Stadt Kehl, mit der Gemeinde Neuried im mittleren Bereich. Das Untersuchungsgebiet hat eine Größe von ca. 12km * 20km. Die Messdaten sind im Koordinatensystem WGS84, UTM 32N georeferenziert.

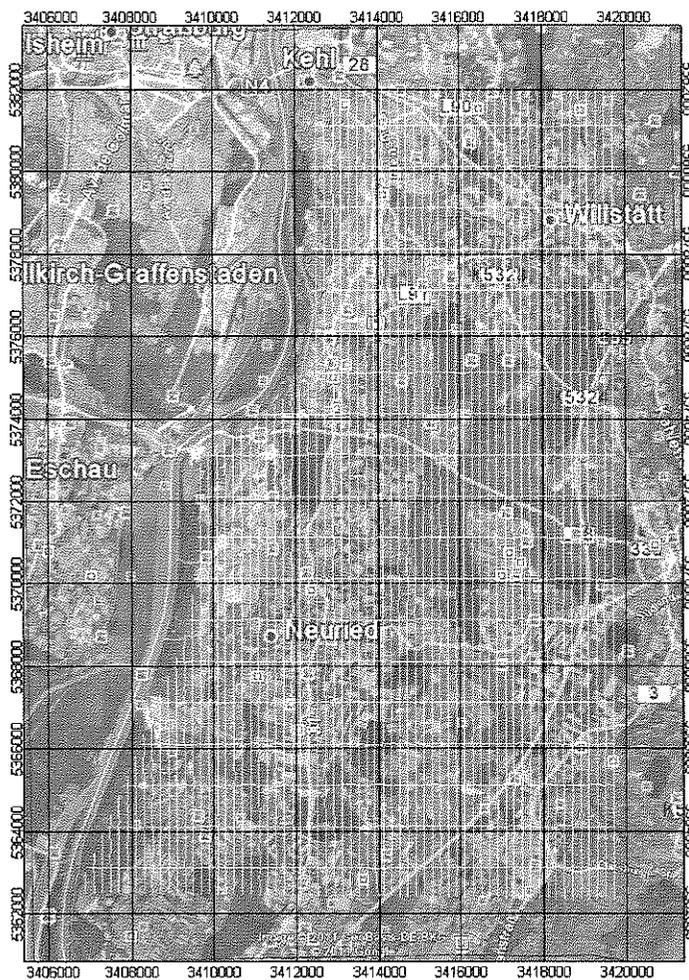


Abb. 1: Lageplan des Messgebiets mit Flugrichtung (NS) und Tie Linien (EW).
(Koordinaten des Meßgebiets (GK DHDN Zone3): unten links: Rechtswert 3406900 / 5362500, unten rechts: 3419700 / 5362330, oben rechts: 3419700 / 5382000, oben links 3412500 / 5382000)

2.1 Messparameter

Grid Name:	IGEM Neuried
Größe des Grids:	ca. 20km* 12km (max. Ausdehnung)
Flugrichtung:	NS
Tie Line Richtung:	EW
Abstand der Fluglinien:	200m
Abstand der Tie Line:	1000m
Flughöhe (GPS):	300 mNN - 380 mNN (Ø 320m).
Flughöhe über Grund (Laser):	100m - 180m (Ø 120m).

Anhand der Flugparameter ergibt sich folgende Flugstatistik:

Statistik		
Anzahl Messlinien	65	
Anzahl Tie Lines	19	
Gesamt Linien	84	
Strecke Messlinien	939,7	Km
Strecke Tie Lines	182,5	Km
Gesamt km	1122,2	Km

2.2 Ausrüstung

Magnetometer:	GEM Potassium GSMP40, 10 Hz sampling interval
Mag Base station:	GEM GSM19 Overhauser, 1 Hz sampling interval
Data acquisition system:	Geoduster DAS Integrated GPS Inertial Measurement System, Magnetic Heading Sensors, 1 Hz sampling Interval Laser Altimeter MDL LT400, Freeflight Radar Altimeter TRI 3000, 1Hz Sampling interval
Plattform:	Skyranger light aircraft (Finder1)

3 Datenerhebung und Bearbeitung

Zur Bearbeitung und Auswertung der Messdaten wurden die Programme Oasis Montaj und hauseigene Software benutzt. Hierfür wurden folgende Schritte abgearbeitet:

1. Kompensation der Flugzeuglage und Richtung
2. Tagesgang Korrektur
3. **Internation Geomagnetic Reference Field** Korrektur
4. Levelling
5. Micro-Leveling
6. Erweiterte Datenbearbeitung (Reduction to Pole, Analytical Signal und Tiefe des kristallinen Grundgebirges nach Phillips)

Die Datenerhebung erfolgt mit einem sog. Magnetometer durch systematisches Vermessen des Messgebiets entlang von Messprofilen. Der Magnetometer ist an den beiden Flügeln des Flugzeugs montiert, wie in Abbildung 2 zu sehen ist.



Abb. 2: SKYRANGER beim Produktionsflug

Die magnetischen Daten werden alle 0.1 Sekunden (10 Hz) gemessen und aufgezeichnet. Dies entspricht einem Messpunktabstand von ca. 3 m. Die Daten-Effekte die durch Lage und Richtung des Flugzeugs im Erdmagnetfeld erzeugt sind, werden durch die Anwendung eines Kompensationsalgorithmus herausgerechnet. Nachweis hierfür sind die auf den Seiten 11 -13 dargestellten Messdaten.

Das Magnetfeld kann überall auf der Erdoberfläche durch einen dreidimensionalen Vektor beschrieben werden. Die magnetische Totalintensität (TMI) ist die Amplitude dieses Vektors ohne Richtungsinformation. Um eine Karte der magnetischen Totalintensität erstellen zu können, muss die tägliche Variation des Erdmagnetfelds kompensiert (bereinigt) und die Messdaten IGRF korrigiert (IGRF2010) werden. Normalerweise ändert sich das Erdmagnetfeld täglich nur um einen geringen Prozentsatz. Manchmal ereignen sich sog. Sonnenstürme, die dann starke Änderungen hervorrufen und unbedingt kompensiert werden müssen. Die zeitlichen Änderungen des Erdmagnetfelds werden hierzu mit einer magnetischen Basisstation gemessen und aufgezeichnet (Basisstationsdaten Seite 15).

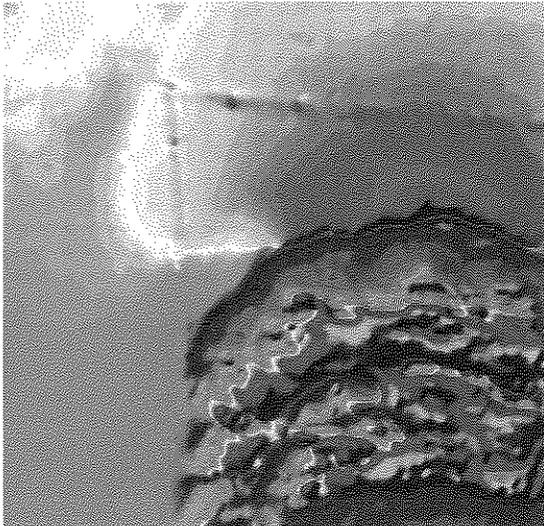


Abb. 3: Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus einer Karte der magnetische Totalintensität (TMI). Die Farben sind so gewählt, dass die niedrigen Werte durch blau und grün, die hohen durch rot und lila dargestellt werden.

Ein weiterer Schritt zur Erstellung der endgültigen Karte der magn. Totalintensität ist das „Levelling“ der Fluglinien. Bei diesem Bearbeitungsschritt werden die Messdaten der einzelnen Linien mit Hilfe der „tie lines“, die rechtwinklig zu den Messlinien geflogen werden, auf ein gemeinsames Niveau (Abbildung 4) justiert.

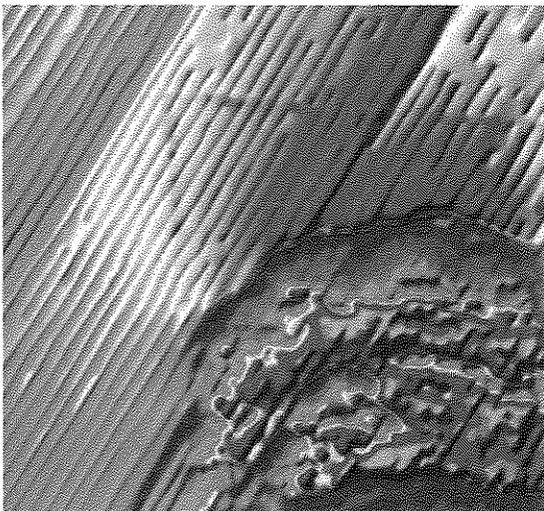
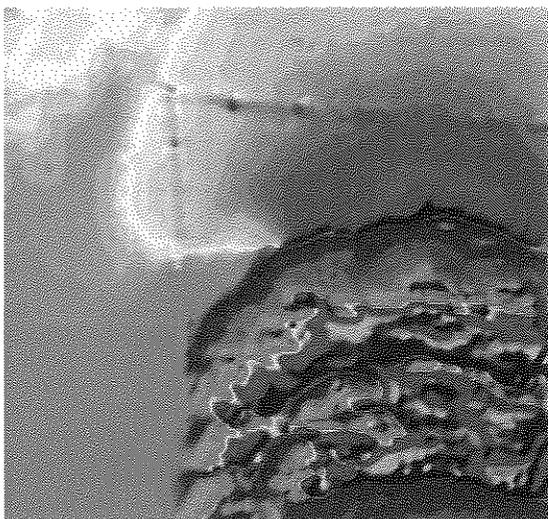


Abb. 4: Die Abbildung zeigt die TMI Karte vor den levelling (oben) und nach dem levelling (unten).



Erweiterte Datenbearbeitung “advanced data processing”

Nachdem die Daten bereinigt sind kann die Karte der „Totalen Magnetischen Intensität“ (TMI) erstellt werden. Basierend auf dieser Karte bzw. Daten wird dann das sogenannte “advanced data processing” durchgeführt. Ziel dieser weiterführenden Datenbearbeitung (Daten Filterung) ist es, die Anomalien, die von Interesse sind, hervorzuheben bzw. die störenden Anomalien (anthropogene Störungen) zu dämpfen.

3.1 Reduction to the Pole (RTP)

Das magnetische Verhalten eines magnetisch wirksamen Körpers oder einer Ansammlung von Köpern ändert sich in Abhängigkeit von der Lage auf der Erdkugel, weil das magnetische Feld (Inklination, Deklination) der Erde unterschiedlich ist. Für den Betrachter ist es verwirrend, dass ein magnetischer Körper zum Beispiel am Äquator ein komplett anderes Erscheinungsbild hat, als der gleiche Körper am Nordpol. Ein Lösung für dieses Problem liefert die Reduction to the Pole (RTP) oder Polreduktion. Bei dieser Bearbeitung / Berechnung werden die Daten so neu berechnet, dass alle magnetischen Anomalien das gleiche Erscheinungsbild haben, so als wären sie am Nordpol gemessen worden.

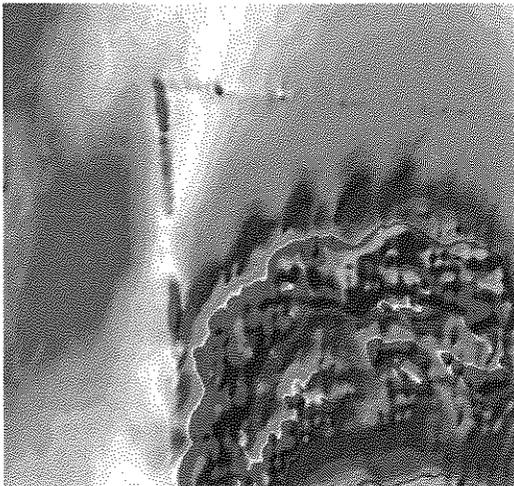
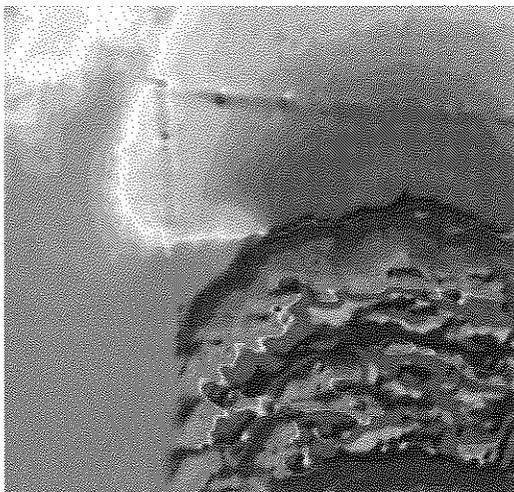


Abb. 5: TMI Karte (oben) und die RTP-Berechnung (unten)



Ein wesentlicher Vorteil dieser Darstellung ist, dass das Anomalie-Maximum direkt über dem verursachenden Körper liegt. Es ist eine der wichtigsten Aufgaben dieser Datenbearbeitung, die interessanten Strukturen zu betonen, wie z.B. die Oberkante des verursachenden Gesteinskörpers, der hier durch Farben (rot und lila) deutlich hervorgehoben wurde. Die Polereduktion (RTP) funktioniert allerdings nur dann richtig, wenn ausschließlich induzierter Magnetismus vorhanden ist. Wenn nach der RTP - Berechnung eine Vielzahl von magnetischen Minima (hier blaue Farben) um das magnetische Hoch verteilt sind, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass der Gesteinskörper auch remanenten Magnetismus enthält.

3.2 Analytical Signal (AS)

Das Analytical Signal (AS) ist eine Kombination der ersten Ableitungen nach dx, dy und dz. Das Analytical Signal hat den Vorteil, dass die Anomalie direkt über der verursachenden Quelle positioniert und die Stärke der Anomalie proportional zu der Größe der magnetischen Quelle ist.

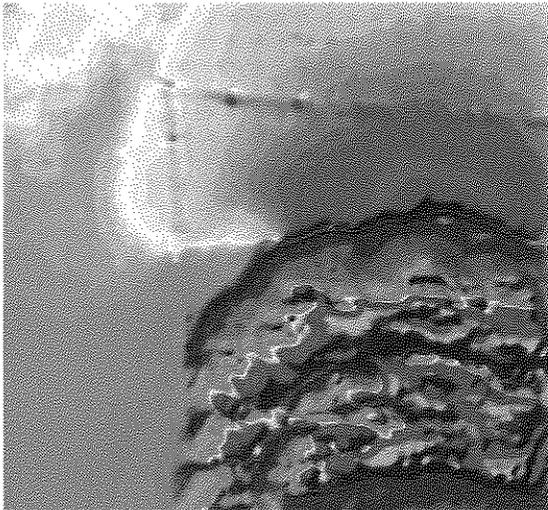
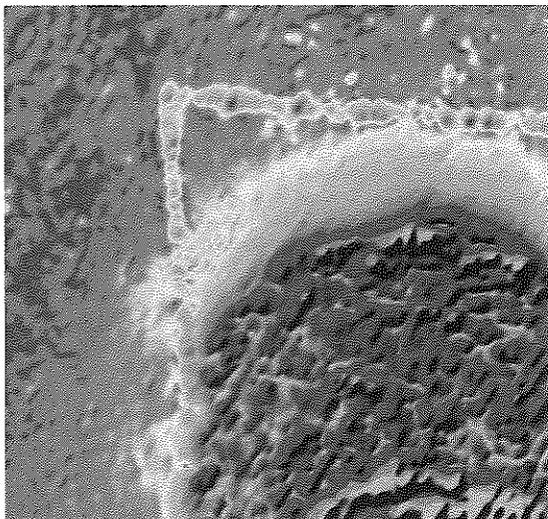


Abb. 6: TMI Karte (oben) und das Analytical Signal (unten)



3.3 Tiefe des kristallinen Grundgebirge (magnetischen Basements)

Die erfolgreiche Berechnung (Abschätzung) der "Tiefe des magnetischen Basements" ist stark abhängig von einem ausreichend großen Suszeptibilitäts-Kontrast zwischen der geologischen Schicht, die als Basement angesehen wird und den darüberliegenden Gesteinen, das heißt es muß eine genügend große Anzahl magnetischer Anomalien vorhanden sein, die vom Basement erzeugt werden. Die gängigen Methoden eine Tiefenkalkulation durchzuführen sind: **Euler Deconvolution**, die „**semi-automatic Naudy modeling technique**“ und die „**Source Parameter Imaging technique**“ von GEOSOFT.

Wenn genügend und gut identifizierte magnetische Anomalien des Basements vorhanden sind, erzeugen alle Berechnungsmethoden eine Schar von Lösungen. Durch sorgfältiges Klassifizieren werden dann die Lösungen ausgewählt, die die Tiefe des "magnetischen Basements" am Besten wiedergeben. Einige dieser Methoden liefern allerdings nur dann gute Ergebnisse, wenn auch noch ein starker Suszeptibilitäts-Kontrast zwischen dem "magnetischen Basement" und den oberflächennahen Strukturen besteht und außerdem ein ausreichend großer Kontrast innerhalb des "magnetischen Basements" vorhanden ist.

Die obengenannten Methoden werden häufig durch bewährte Methoden unterstützt, wie zum Beispiel 2.5D- und 3D- Modellierung der Messdaten bzw. durch eine Tiefenberechnung anhand des Power-Spektrums, das die Berechnung auf einer großen Anzahl von Teilmengen des ursprünglichen Magnetik-Grids bzw. der Linien Daten durchführt. Beide Techniken geben jedoch nur dann hinreichend genaue Ergebnisse, wenn der Umfang der Datengrundlage auf die sie angewendet werden, die gesuchten Strukturen räumlich weit überdeckt.

Das Messgebiet Neuried ist leider ziemlich klein und erfaßt die magnetische Antworten der gesuchten Strukturen des tiefliegenden Grundgebirges nicht weit genug, um die erzeugten Anomalien genau zu erfassen (d.h. die gesamte Wellenlänge). Außerdem ist das magnetische Feld durch eine Vielfalt von oberflächennahen Anomalien verzerrt, von denen die Mehrheit offensichtlich einen technischen Ursprung hat.

Für die Tiefenberechnung mußten deshalb zuerst diese oberflächennahen Anomalien entfernt werden, um möglichst nur die Anomalien des magnetischen Grundgebirges zu erhalten. Es wurden mehrere Versuche mit gridbasierten Filtertechniken unternommen, wie z.B. low-pass Filter, upwards continuation, oder die sog. „depth sliding“ Technik. All diese Techniken scheiterten bei dem Versuch zuverlässige Ergebnisse zu erzeugen, weil die maximal auflösbare Wellenlänge durch die Größe der Untersuchungsfläche eingeschränkt ist (wie weiter oben schon erwähnt wurde).

Der einzige gangbare Weg war, die oberflächennahen Anomalien durch Filtern der Liniendaten zu entfernen. Die besten Ergebnisse zeigte eine Kombination eines „nicht linearen Naudy Filters“, gefolgt von einem „Fuller low-pass Filter“. Siehe dazu das Beispiel in der Abbildung 1, wo die gemessenen magnetischen Daten (rot) und die gefilterten Daten (schwarz) verglichen werden.

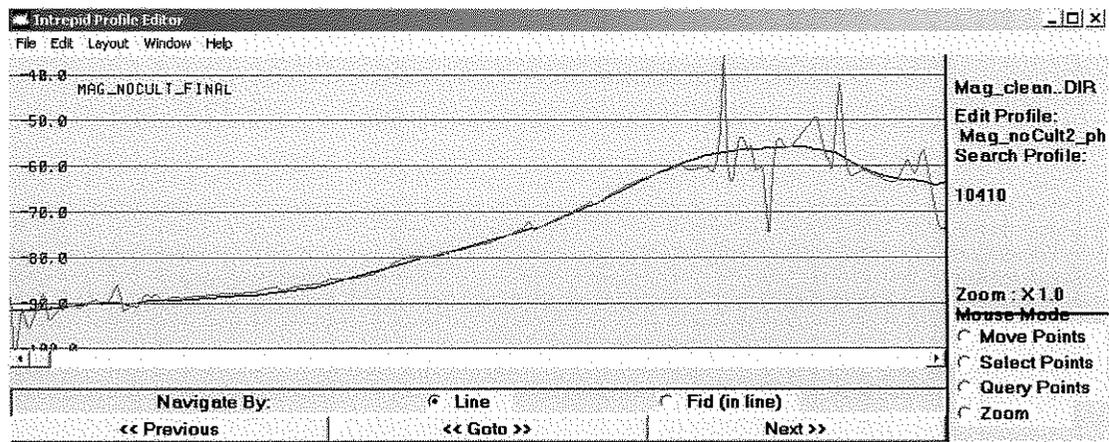


Abb. 7: Vergleich der gemessenen sowie prozessierten Magnetikdaten (rot) und den gefilterten (decultured) Daten (schwarz)

Die gefilterten Liniendaten wurden dann „re-levelled“ und „micro-levelled“, um die endgültigen „culture free“ Magnetik-Daten (ohne technischen Einfluß) zu erhalten. Da für die Filterung ein automatisierter Prozess verwendet wurde, ist es möglich, daß einige oberflächennahen Anomalien (technischer noise), die herausgefiltert wurden, möglicherweise auch einen geologischen Ursprung haben können. Das Ergebnis ist in der Abb. 8 zu sehen.

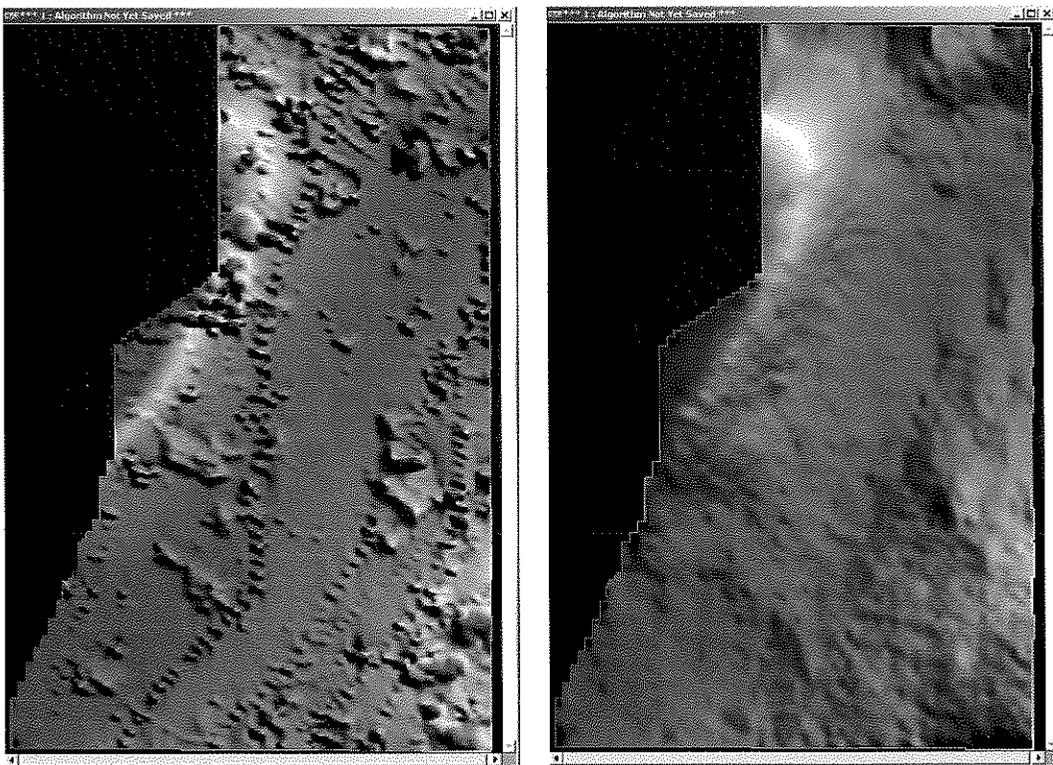


Abb. 8: Die Abbildung zeigt links die Pol reduzierten und ungefiltert Daten (RTP, NW-shaded) und rechts die gefilterten, von technischen und oberflächennahen Anomalien befreiten Messdaten.

Es wurden mehrere vergebliche Versuche mit den oben genannten **semi-automatischen Modellierungstechniken** unternommen, um wenigstens die Begrenzung der erkennbaren Grabenstruktur des Grundgebirges zu modellieren. Auch der Versuch mit unterschiedlichen Rasterzellweiten brachte kein befriedigendes Ergebnis. Alle diese Techniken sind abhängig von der Verfügbarkeit von Anomalien für die Modellierung und, wie aus dem rechten Bild in Abbildung 8 zu sehen ist, sind nur wenige bzw. nur schwache Anomalien aus dem mittleren Teil der Untersuchungsfläche verfügbar. Zudem zeigt sich deutlich, dass die Untersuchungsfläche zu klein ist, um die gesamte Wellenlänge der Anomalien der Grabenstruktur des Grundgebirges und der umgebenden Geologie zu erfassen und zuverlässig mit den 2,5D oder 3D-Modellierungs-Tools modellieren zu können.

Vernünftige Ergebnisse zeigte nur die Linie-Daten basierte „**Phillips-Depth-Methode**“, die vom USGS veröffentlicht wurde. Die Phillips-Methode berechnet die Tiefe zum magnetischen Grundgebirge anhand des Z-Feld-Signals. Diese 2D-Methode geht davon aus, daß das magnetische Basement durch eine Ansammlung von dünnen vertikalen (oder nahezu vertikalen) Prismen annähernd beschrieben werden kann und verwendet Auto-korrelationsfunktionen der Anomalien um diese Prismen zu berechnen. Diese Funktionen sind unabhängig von dem magnetischen Einfallen. Um eine konsistente Tiefenschätzung zu erhalten bedarf es einer Reihe von Berechnungen mit verschiedenen Schrittweiten, die interpretiert und zu einer gültigen Tiefenschätzung benutzt werden. Abbildung 9 zeigt das Ergebnis der Phillips-Depth-Methode entlang der Linie 10410 zusammen mit den gemessenen und gefilterten Magnetfelddaten .

Die Ergebnisse der Tiefenschätzungen wurden entlang der einzelnen Messlinien unter Anwendung einer variablen „density gridding technique“ gegridded. Diese Technik wurde speziell entwickelt, um Strukturen mit langen Wellenlängen zu erfassen. Das Endresultat ist in der Abbildung 10 als eine 3 dimensionale Darstellung dargestellt. Das Grid der gefilterten magnetischen RTP Daten ist hier auf das Tiefenmodell des Grundgebirges projiziert.

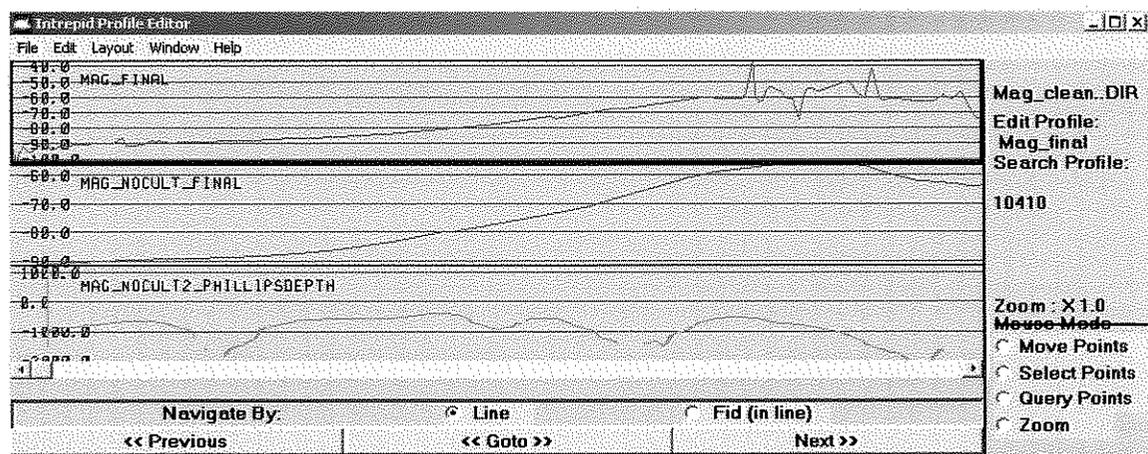


Abb. 9: Tiefenschätzung entlang der Messlinie 10410 unter Verwendung der Phillips-Depth-Methode.

Oben: Gemessene magnetische Felddaten, Mitte: Gefilterte magnetische Felddaten, Unten: Tiefenkalkulation

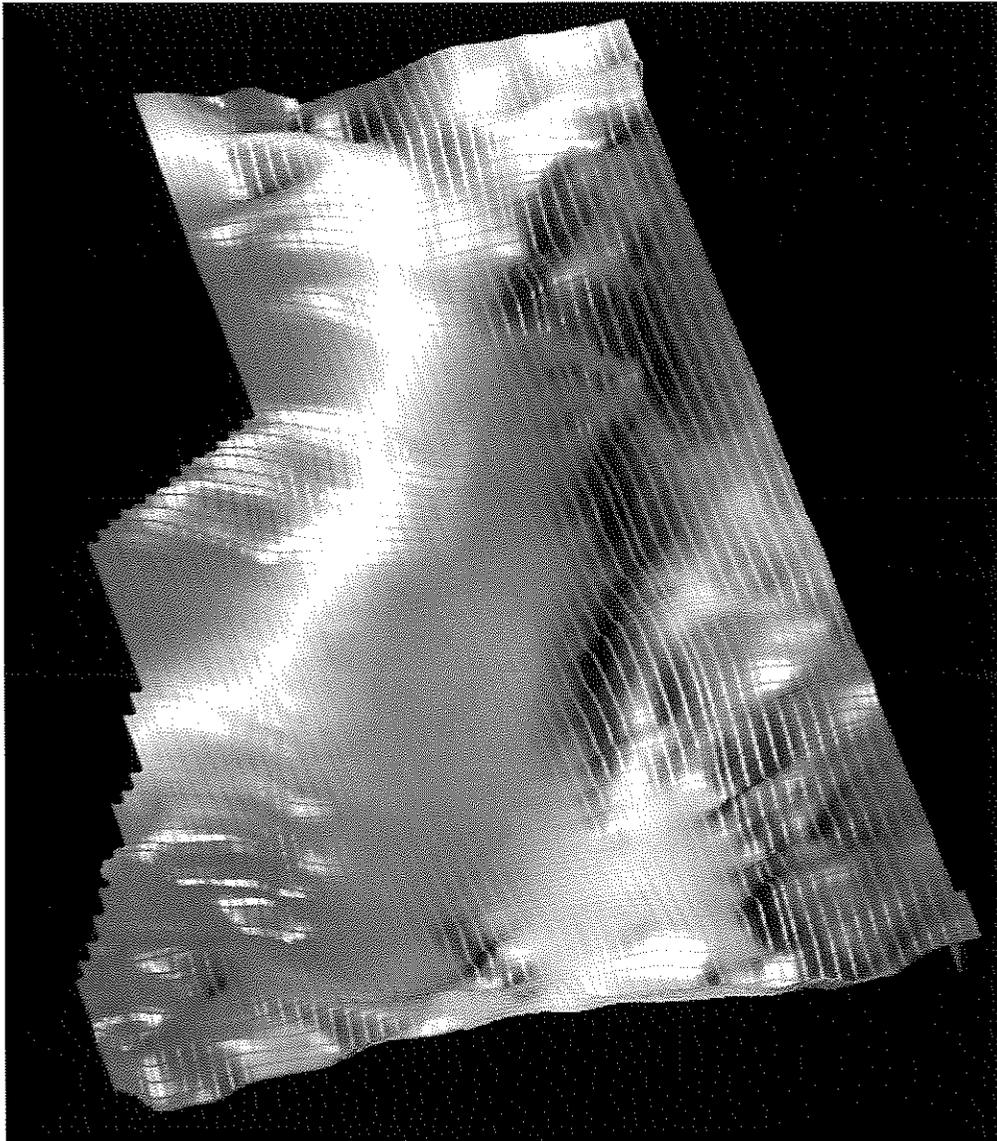


Abb. 10: Gefilterte magnetische Daten (RTP no culture) auf Tiefemodell projiziert.

4 Produktion

Die Messungen wurden vom 23. bis 25. August 2011 von zwei Piloten (Michael Lüke und Valentin Rosemann) durchgeführt. Es wurde entlang von 65 Messlinien und 19 Tie Linien (insgesamt 1122,2 km) die magnetische Totalintensität gemessen.

Tagesberichte

Date	Area	Magnetic base station	flown lines	Pilot	Remarks
2011_08_23	Neuried	48° 15' 17" / 07° 50' 20"	10010-10280	Michael	file 424, weather ok, mag dropouts on the last lines
2011_08_23	Neuried		10240-10280	Valentin	file 427, restarted system, strong wind from south
2011_08_23	Neuried		10290-10320	Valentin	file 428, restarted system, strong wind from south
2011_08_23	Neuried		10300-10360	Valentin	file 429, restarted system
2011_08_23	Neuried		10370-10460	Michael	file 430, didn't get permanent red light, so I didn't restart. On ferry back I checked temp, it was on 45 !!!! on mag1 but it still worked???
2011_08_24	Neuried		10470-10530	Valentin	file 431 weatherconditions perfect, after a few lines the mag red light starts, I restarted the system
2011_08_24	Neuried		10540	Valentin	file 432 system shut down by mistake, after restart no problems any more
2011_08_24	Neuried		10550-10600	Valentin	file 433
2011_08_24	Neuried		10610-10650 / 90010-90190	Michael	file 434, very bumpy. Have had to leave line 90170 due to traffic in Lahr Airport CTR - flew it again
2011_08_25	Neuried		10160,10180,10200,10210,10220,10230,10250,10270,10290,10320,10420,10440,10460,10480		file 436 and 437, perfect conditions... on line 10220 I had to circle on line and started again in the middle of the line, on line 10440 I had to stay outside the CTR for 20min. I flew there on 3000 and started again with the line in the middle. After line 10480 I had an shut down...I restarted the system and went on with 10550
2011_08_25	Neuried		10550,9015	Valentin	after line 10550 I went on 3000 and flew the last tie line
2011_08_25	Neuried		10540, 10330, 90190	Michael	file 438 no remarks

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Magnetik-Befliegung sind auf den Anlagen 1 bis 6 dargestellt.

Die Anlage 1 zeigt die **Karte des magnetischen Totalfelds (TMI)**. Im Nordwesten ist ein Bereich mit höheren Messwerten (-25 nT) zu erkennen. Dieser Bereich gehört zum östlichen Rand einer größeren Struktur (Anomalie), die größtenteils westlich des Rheins liegt. Nach Südosten nehmen die Werte kontinuierlich auf -90nT bis -95nT ab (vgl. hierzu Abb. 11). Vereinzelt sind kleinere Anomalien zu erkennen, die überwiegend auf anthropogene Störungen (Dörfer, technische Installationen wie z.B. Hochspannungsmaste) zurückzuführen sind.

Die Anlage 2 zeigt die Karte des **Analytical Signals (AS)**. In dieser Abbildung sind hauptsächlich die Anomalien der oberflächennahen anthropogenen Störkörper zu erkennen.

Die Anlage 3 zeigt die Karte der **Polreduktion (RTP)**. Diese Abbildung zeigt ein ähnliches Bild wie die Karte des magnetischen Totalfelds (TMI). Die Anomalien liegen hier allerdings direkt über dem Störkörper. Diese Darstellung enthält noch die Anomalien der oberflächennahen anthropogenen Störkörper.

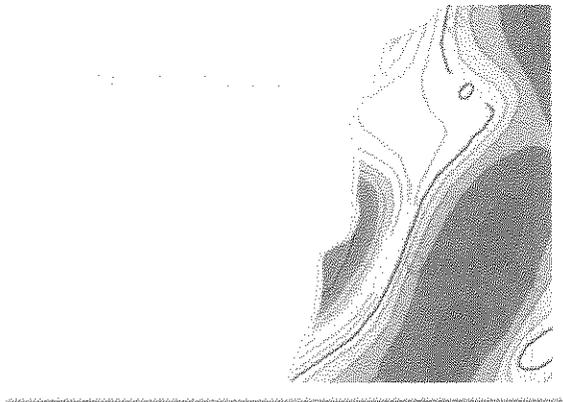


Abb. 11: Ausschnitt aus der Karte „Anomalien des erdmagnetischen Totalfelds der Bundesrepublik Deutschland. Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover. 2009. Maßstab 1: 1000000.

Die Abbildung zeigt die größere, positive Anomalie südlich von Kehl, die auch bei der vorliegenden Befliegung am westlichen Rand des Untersuchungsgebiets erfaßt wurde.

Die Anlage 4 zeigt die Karte der Polreduktion (RTP) ohne die oberflächennahen anthropogenen Störkörper (Anomalien), die hier herausgefiltert wurden. Diese Karte ist die Grundlage für die Berechnung der Tiefe des kristallinen Grundgebirges.

Die Anlage 5 zeigt die Karte des Tiefenmodells des kristallinen Grundgebirges. Das Tiefenmodell zeigt im mittleren Teil der Untersuchungsfläche eine NNE-SSW-streichende Muldenstruktur (Kehler Mulde) mit den größten Tiefen des kristallinen Grundgebirges bei ca. -2950m unter Flughöhe (-2600mNN bzw. ca. 2800m unter Gelände). Dieser Bereich liegt zwischen den Gemeinden Kittersburg und Hohnhurst.

Die Anlage 6 zeigt die Karte des Tiefenmodells des kristallinen Grundgebirges und die aus dem Tiefenmodell und dem RTP (ohne die oberflächennahen anthropogenen Störkörper) abgeleiteten magnetische Strukturen. Es sind überwiegend NNE-SSW-streichende und NW-SE-streichende Strukturen zu erkennen, die möglicherweise das Schollenmosaik im Untergrund nachzeichnen.

Der Vergleich des Tiefenmodells des kristallinen Grundgebirges anhand der Aeromagnetik mit dem Tiefenmodell der 3D-Seismik zeigt die Abbildung 12 auf der nächsten Seite. Die Gegenüberstellung zeigt eine gute Übereinstimmung, sowohl in der Lage als auch in der Ausdehnung dieser Muldenstruktur. Anhand der Aeromagnetik sind eine Vielzahl von magnetischen Strukturen erkennbar, die als tektonische Störungen (Bruchzonen) interpretiert werden können. Besonders auffallend ist eine Struktur, die von SE nach NW das Muldentiefste quert und als Verlängerung einer wahrscheinlich im Kinzigtal verlaufenden Störung betrachtet wird. Diese Struktur wurde ebenfalls im Muldentiefsten der 3D-Seismik vorgefunden und dort als Abschiebung nach SW mit sehr geringem Versatz interpretiert. Die Struktur ist möglicherweise Teil eines alt angelegten SE-NW verlaufenden Scherbruchsystems, so dass davon auszugehen ist, dass die Struktur im Muldentiefsten neben der Horizontal- auch eine Vertikalkomponente aufweist.

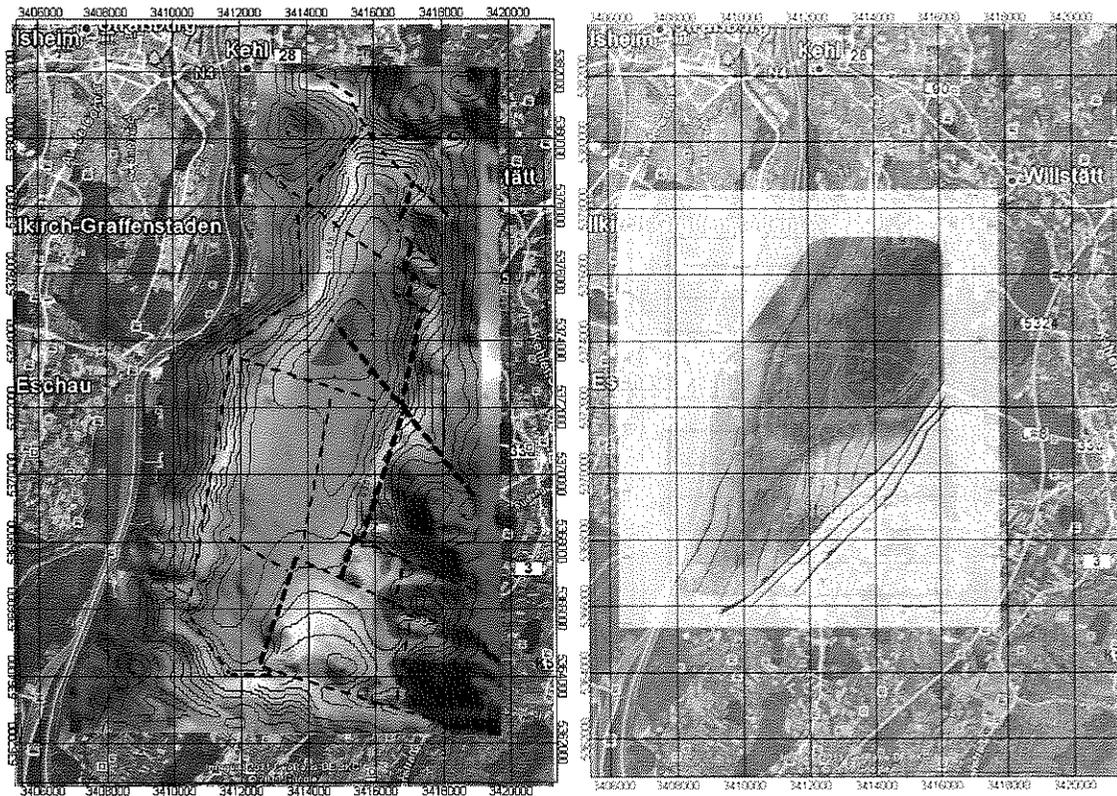


Abb. 12: Gegenüberstellung Tiefenmodell kristallines Grundgebirge aus der Geomagnetik (links) und Tiefenmodell des Oberen Muschelkalks aus der 3D-Seismik (rechts).

Wie schon im Abschnitt 4.3 erwähnt wurde, ist das Messgebiet Neuried für eine detaillierte Auswertung hinsichtlich der Grundgebirgstiefe eigentlich zu klein, da die magnetischen Anomalien des tiefliegenden Grundgebirges nicht immer in der gesamten Wellenlänge erfasst wurden. Durch die Konzessionsgröße des Geothermieprojektes Kittersburg/Neuried sowie die Grenze zu Frankreich war es leider nicht möglich das Messgebiet zu vergrößern.

Zusätzlich zu diesen Einschränkungen ist das magnetische Feld durch eine Vielfalt von oberflächennahen Anomalien (technische Störungen wie z.B. Dörfer, Hochspannungsmaste usw.) teilweise verzerrt, wodurch die Auswertung ebenfalls erschwert wurde. **Das hier vorgelegte Tiefenmodell kann deshalb nur als Tiefenabschätzung betrachtet werden.** Bei zukünftigen aeromagnetischen Untersuchungen sollte bei der Erkundung des Grundgebirges in diesen Tiefen das Untersuchungsgebiet wesentlich größer bemessen werden. Trotz dieser Einschränkungen überrascht die vergleichsweise gute Übereinstimmung zur 3D-Seismik.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen haben einen grundsätzlichen Erkenntnisgewinn über das Aeromagnetik-Verfahren im Hinblick auf seine Aussagekraft für die Untergrunderkundung beispielsweise bei geothermischen Projekten im Oberrheingraben erbracht, da im Nachhinein ein direkter Vergleich mit einer zuvor durchgeführten, in ihrer Aussagekraft höher wertigen 3D-Seismik möglich war.

Im vorliegenden Untersuchungsgebiet war es trotz einschränkender Randbedingungen möglich, eine grobe Untergrundkartierung vorzunehmen. Mit der Aeromagnetischen Vermessung konnte die Tiefenlage vom Top des kristallinen Grundgebirges grob erfasst werden und damit die Tiefe der geothermisch lukrativen sedimentären Grundwasserleiter abgeschätzt werden. Zusätzlich waren auch Rückschlüsse auf plausible tektonische Strukturen möglich. Eine Validierung der Ergebnisse war im vorliegenden Fall nur dadurch möglich, weil bereits seismische 2D- und 3D-Untersuchungsergebnisse zur Verfügung standen.

Im vorliegenden Fall, d.h. bei den geologischen Verhältnissen im Untersuchungsgebiet wäre es möglich gewesen, vorab mit der aeromagnetischen Vermessung eine grobe Untergrundkartierung vorzunehmen und darauf in einem zweiten Schritt aufbauend in einem kleineren, definierten Areal eine 3D-Seismik zur detaillierten Erfassung des Untergrundes vorzunehmen. Diese Vorgehensweise wäre mit einem geringeren Aufwand verbunden und hätte Einsparungen bei der detaillierten seismischen Vorerkundung erbracht.

Zu Bestätigung und zur Ergänzung der im Bereich Neuried gemachten Erfahrungen wird eine weitere aerometrische Vermessung in einem komplexeren Gebiet vorgeschlagen, in dem durch anderen Untersuchungen bereits detaillierte Informationen über den geologischen Aufbau des Untergrundes vorliegen. Diese Vorgehensweise dient dem Erfahrungsgewinn, der Interpretationsabsicherung und dem zielgerichteten Vorgehen bei der Erkundung geothermischer Reservoirs.

Alle beschriebenen Ergebnisse sind wissenschaftlich - interpretativ aus den Messwerten gewonnen. Unsere Gewährleistung erstreckt sich daher ausschließlich auf die ordnungsgemäße Durchführung der Ingenieurleistung.

Heiterheim, den 5.12.2011

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dr. Kopp'.

Dr. Dietmar Kopp
terrascan airborne