



Fachabteilung Geophysik

Projekt ÜLG74/2019

*Reprocessing (aero)geophysikalischer Daten
in verschiedenen
rohstoffrelevanten Gebieten Österreichs*

Zwischenbericht über das Projektjahr 07.2018-12.2019

von
E. WINKLER

29 S., 8 Abb.

Wien, Jänner 2020

PROJEKTLEITUNG

Dr. E. WINKLER GEOPHYSIK

Mag. K. MOTSCHKA GEOPHYSIK

Die Projektdurchführung erfolgte im Rahmen des Lagerstättengesetzes im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung und des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	1
2	Anpassung der Konvertierungssoftware an Flugdaten 2002,2006,1991-1993.....	2
3	Reprozessierte Gebiete	3
3.1	Rankweil (2009).....	2
3.2	Sibratsgfäll (2009).....	5
4	Dokumentation des Processing von AEM-Daten	11
5	Ausblick	11
6	Literatur.....	11
7	ANHANG.....	12

1. Zusammenfassung

Dieser Jahresbericht ist der zweite Zwischenbericht des für 5 Jahre angesetzten Projekts zum Reprocessing (aero)geophysikalischer Daten.

Der aktuelle Stand der Software für das Processing von (aero)geophysikalischen Daten wurde im Projektjahr 2019 an die Datenformate der Jahre 2006-2007 und 2002 angepasst und Rohdaten der Messgebiete MELK 2002 und Eferdinger Becken (2006/2007) damit in das aktuelle Datenformat konvertiert. Die Anpassung des Processing an die Messdaten der Jahre 1991-1993 konnte erst teilweise abgeschlossen werden, da für Struktur und Ablauf des Processing keine Dokumentation vorhanden ist und der Quelltext in schwer lesbarem Fortran 77, mit kaum vorhandenen Kommentaren, vorliegt.

Die Radiometrie- und Laserhöhen-Daten von Sibratsgfäll und Rankweil 2009 wurden neu bearbeitet. Der Vergleich der aeroradiometrischen mit bodenradiometrischen Daten in Sibratsgfäll führte zur Entwicklung von Methoden zur verbesserten Qualitätskontrolle aeroradiometrischer Messergebnisse.

Ein Handbuch zum Processing von aerogeophysikalischen Daten, mit der Beschreibung der Messdaten, der Ablaufstruktur des Datenprocessing und der Bedienung verschiedener Programme mittels Steuerfiles, wurde begonnen.

2. Anpassung Konvertierungssoftware an die Jahrgänge 2002, 2006-2007 und 1991-1993

Ein Hauptziel des vorliegenden Projektes ist es das Processing der Messdaten in einem Fortran 95 Programm zur Verfügung zu stellen. Um es mit der Materie wenig vertrauten Nutzer später zu erleichtern das Programm zu warten, bzw. auf andere Systeme zu portieren, wird besonders Wert auf einen gut strukturierten, modularen Aufbau nach der Fortran 95 Norm, ohne veraltete und fehleranfällige Sprachmittel von FORTRAN 77, gelegt. Auf gute Lesbarkeit und eingefügte Kommentare im Quelltext wird besonders geachtet.

Da mit einem Konvertierungs-Programm eine Datenschnittstelle erzeugt wird, auf die alle weiteren Processingschritte (Korrektur der gemessenen Flughöhen, Radiometrie-, EM- und Magnetik-Processing) aufbauen, genügt es, nur dieses Programm an Datenformate früherer Befliegungen anzupassen.

In diesem Projektjahr wurde das Konvertierungsprogramm an die Datenformate der Jahre 2006-2007 und 2002 angepasst.

Die Daten der Messgebiete MELK 2002 und Eferdinger Becken (2006/2007) wurden konvertiert und für das weitere Processing bereitgestellt.

Die Anpassung des Programms an die Messjahre der Befliegung Gallneukirchen 1991/93 konnte erst teilweise durchgeführt werden, da für das Datenprocessing dieser Jahre keine Dokumentation vorhanden ist und die vorliegenden Quellcodes in einem unstrukturierten, schwer lesbaren Fortran 77 Programmierstil mit kaum vorhandenen Kommentaren verfasst sind. Der im Verhältnis zu den bisherigen Anpassungen relativ große Aufwand ist jedoch zu rechtfertigen, da mit der Fertigstellung des Konvert-Programms für 1991/93 die Anpassung an die benachbarten Jahrgänge mit geringem Aufwand durchgeführt werden kann weil sich die Struktur der Messdaten der späten 80-er und frühen 90-er Jahre wenig unterscheidet.

3. Reprozessierte Gebiete

Neben dem Befliegungsgebiet Schnepfau (2009), bearbeitet im Projektjahr 2018, sind Rankweil (2009) und Sibratsgfäll (2009) Teil des Datenpools zur Entwicklung einer Klassifikation von regenerativen Lockergesteinsvorkommen mit den aeroradiometrischen Parametern K40 und Th232 (Tilch et al. 2018).

3.1 Reprocessing der Radiometrie von Rankweil (2009)

Für die Befliegung Rankweil (2009) wurden die Laserhöhenmessungen unter Hinzuziehung von Flugvideos neu ausgewertet und ein Reprocessing der Radiometrie mit gefilterten Gammaspektren durchgeführt.

Die Karten der Radionuklidkonzentrationen von K40 und Th232 (Abb. 1 und 2) wurden neu bestimmt. Die nicht interpolierten Werte für jeden Messpunkt wurden in Tabellenform für die Klassifikation bereitgestellt.

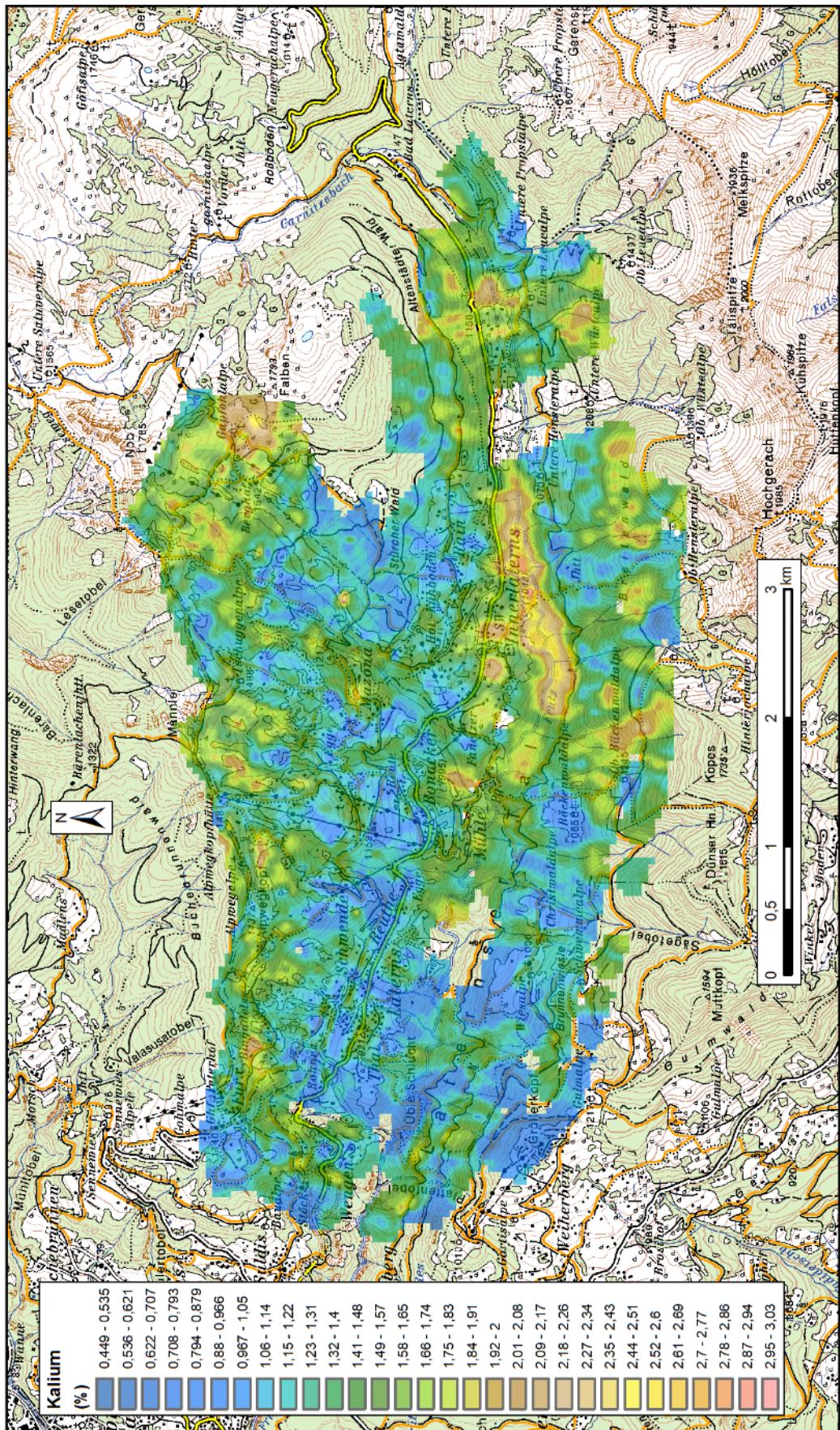


Abbildung 1: Verteilung der Äquivalentkonzentrationen von K40 im Fluggebiet Rankweil (2009).

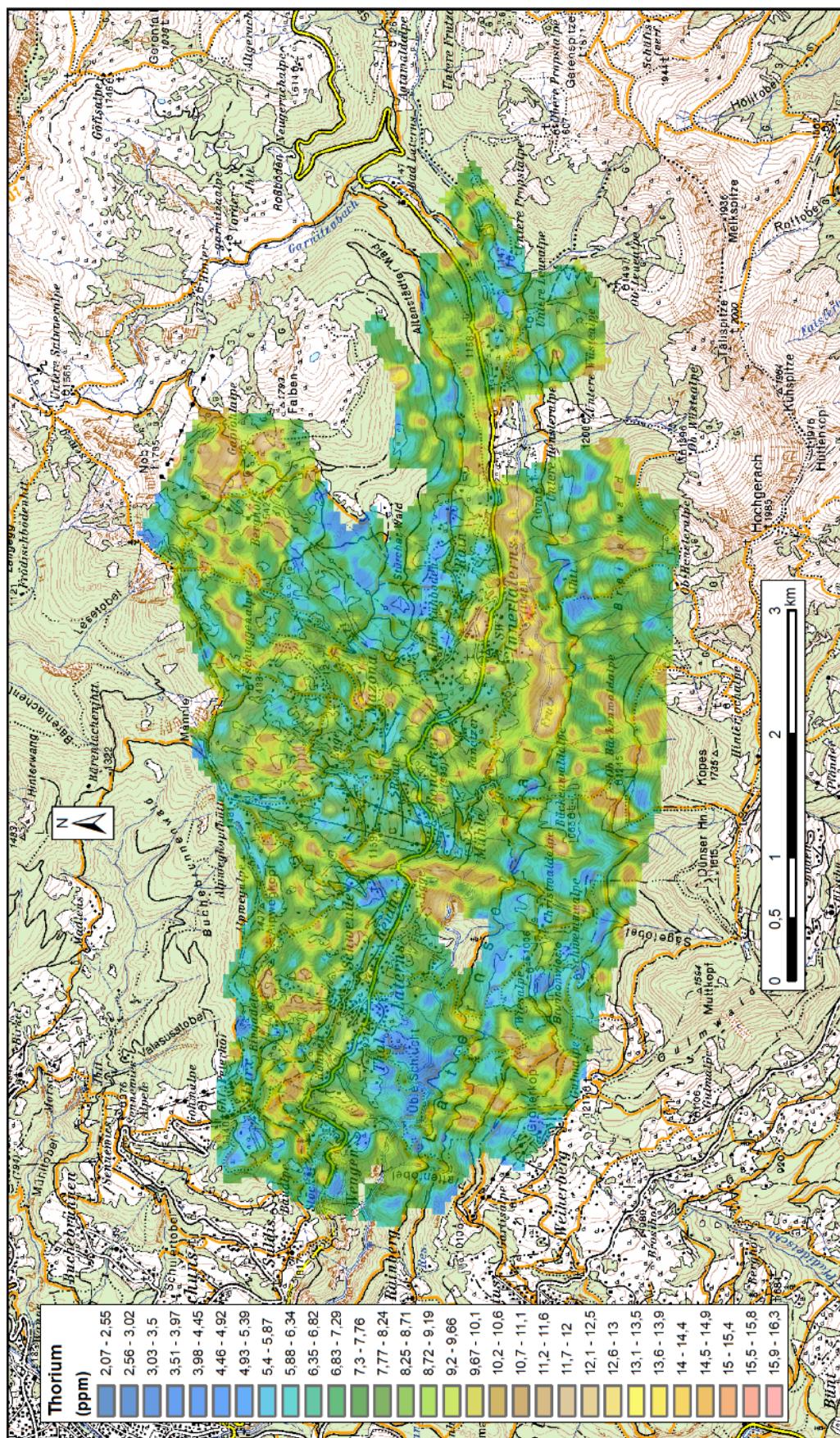


Abbildung 2: Verteilung der Äquivalentkonzentrationen von Th232 im Fluggebiet Rankweil (2009).

3.2 Reprocessing der Radiometrie von Sibratsgfäll (2009)

Im Rahmen der Entwicklung einer Klassifikation von regenerativen Lockergesteinsvorkommen mit den aeroradiometrischen Parametern K40 und Th232 wurde das Befliegungsgebiet Sibratsgfäll 2009 neu bearbeitet. Die Befliegung wurde an zwei Tagen durchgeführt, die SW-Hälfte am 18 August (SW18) und die NO-Hälfte am 19 August 2009 (NO19). In der Mitte des Gebietes wurden in den Flügen SBL011 und SBL016 4 Linien in entgegengesetzter Flugrichtung doppelt beflogen (Abb.4).

Die Korrektur der, aus den Lasermessungen zu bestimmenden, Flughöhe und der Vegetationshöhe wurden teilweise unter Beachtung der Flugvideos durchgeführt, um Übergänge in der Vegetationshöhe besser in ihrem Einfluss auf die Messergebnisse der Radiometrie zu berücksichtigen. Nach einer standardmäßig durchgeföhrten Berechnung des Hubschrauberhintergrunds aus den Messdaten beider Tage wurden die Korrekturen für

- Kosmische Strahlung
- Hintergrundstrahlung im Hubschrauber
- Radon
- Compton-Streuung
- Dämpfung durch Flughöhe
- Dämpfung durch Vegetation

durchgeführt um die Äquivalentkonzentrationen der Radionuklide im Boden zu berechnen und mit den Indikatorvariablen K40 und Th232 eine Klassifikation von Lockergesteinsvorkommen im Messgebiet zu erstellen. Im Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit Bodendaten waren die Ergebnisse im NO19 Gebiet generell schlechter als in SW18. Eine Analyse der möglichen Einflussfaktoren führte zum Ergebnis, dass die Hintergrundstrahlung im Hubschrauber an den zwei Flugtagen unterschiedlich war. Da beim Hin- und Rückflug zum Messgebiet genügend Messungen in großer Flughöhe (> 800 m) vorhanden waren, wurde der Hintergrund für jeden Flugtag getrennt berechnet. Während aus einem Steigflug (berechnet für die gesamte Befliegung) der Hintergrund eine Zählrate von 24 counts/sec im K40 Energiefenster aufwies, sind die neuen Werte 23 counts/sec in SW18 und 27 counts/sec in NO19 (Abb. 3). Der Unterschied im Th232 Energiefenster war zu vernachlässigen. Mit diesen Werten wurden die Elementkonzentrationen neu berechnet (Abb.4 und 5). Eine erste Überprüfung der Resultate wurde anhand doppelt beflogener Profile der Flüge SBL011 und SBL016 durchgeführt. Um die Reproduzierbarkeit von aeroradiometrischen Messungen in Abhängigkeit vom Abstand benachbarter Messpunkte bewerten zu können, wurde ein Werkzeug in Form eines R-Programms entwickelt. Damit kann schnell und effizient aus aeroradiometrischen Daten untereinander, oder im Vergleich von aero- und bodenradiometrischen Messungen zueinander, ermittelt werden, welche Faktoren (z.B. starkes Geländerelief, Vegetationswechsel, Flughöhe) die Aussagekraft aeroradiometrischer Messungen verbessern oder verschlechtern.

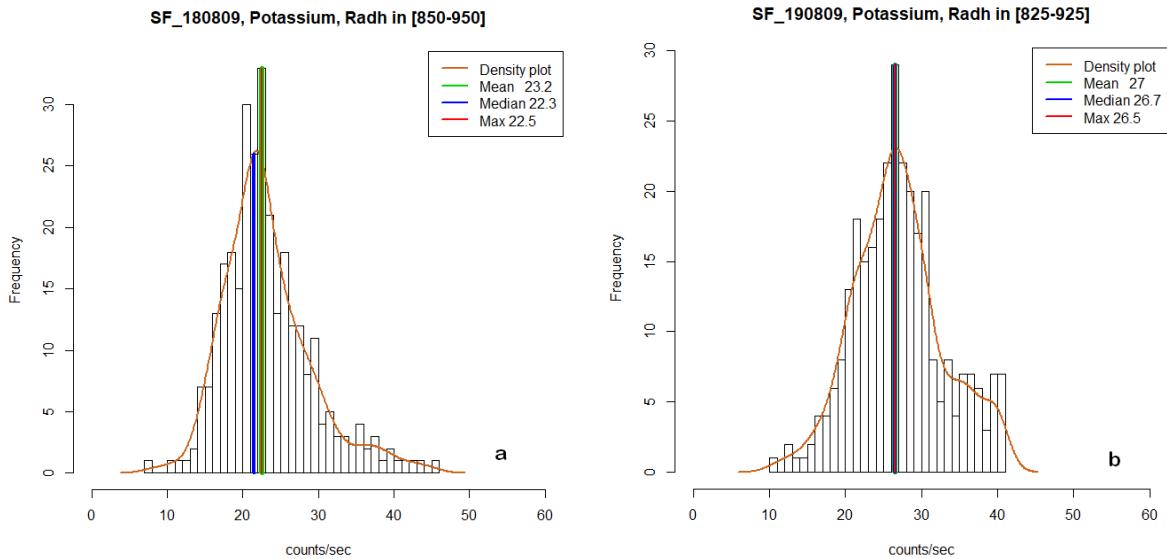


Abbildung 3: Sibratsgfäll 2009, Zählraten der Hubschrauber-Hintergrundstrahlung im Kalium Energiefenster. Die Histogramme wurden berechnet aus Messdaten von 18-08-09 (a) und 19-08-09 (b).

Abb. 6 und 7 demonstrieren, dass Wiederholungsmessungen trotz unterschiedlicher Flughöhe sehr gut übereinstimmen, wenn im Einflussbereich der Radiometrie (bei einer Flughöhe von 80 m liefern aeroradiometrische Messungen einen Mittelwert über eine Fläche von 150x150 m) gleichmäßige Vegetationsbedingungen vorherrschen. Die Abbildung 8 zeigt, dass z.B. bei sehr inhomogener Vegetation im Einflussbereich der Radiometrie eine Messunsicherheit auftreten kann, nach der eine Interpretation des Messwertes nicht durchgeführt werden sollte. Weitere Faktoren können starkes Geländerelief oder Neigung des Hubschraubers sein. Da solche Abweichungen im Vergleich von SBL011 und SBL016 nur in 20 von 500 Fällen auftraten, wird im weiteren Verlauf des Projektes untersucht, ob aus Flugvideos, aero- und bodenradiometrischen Daten ein Ausschlusskriterium entwickelt werden kann.

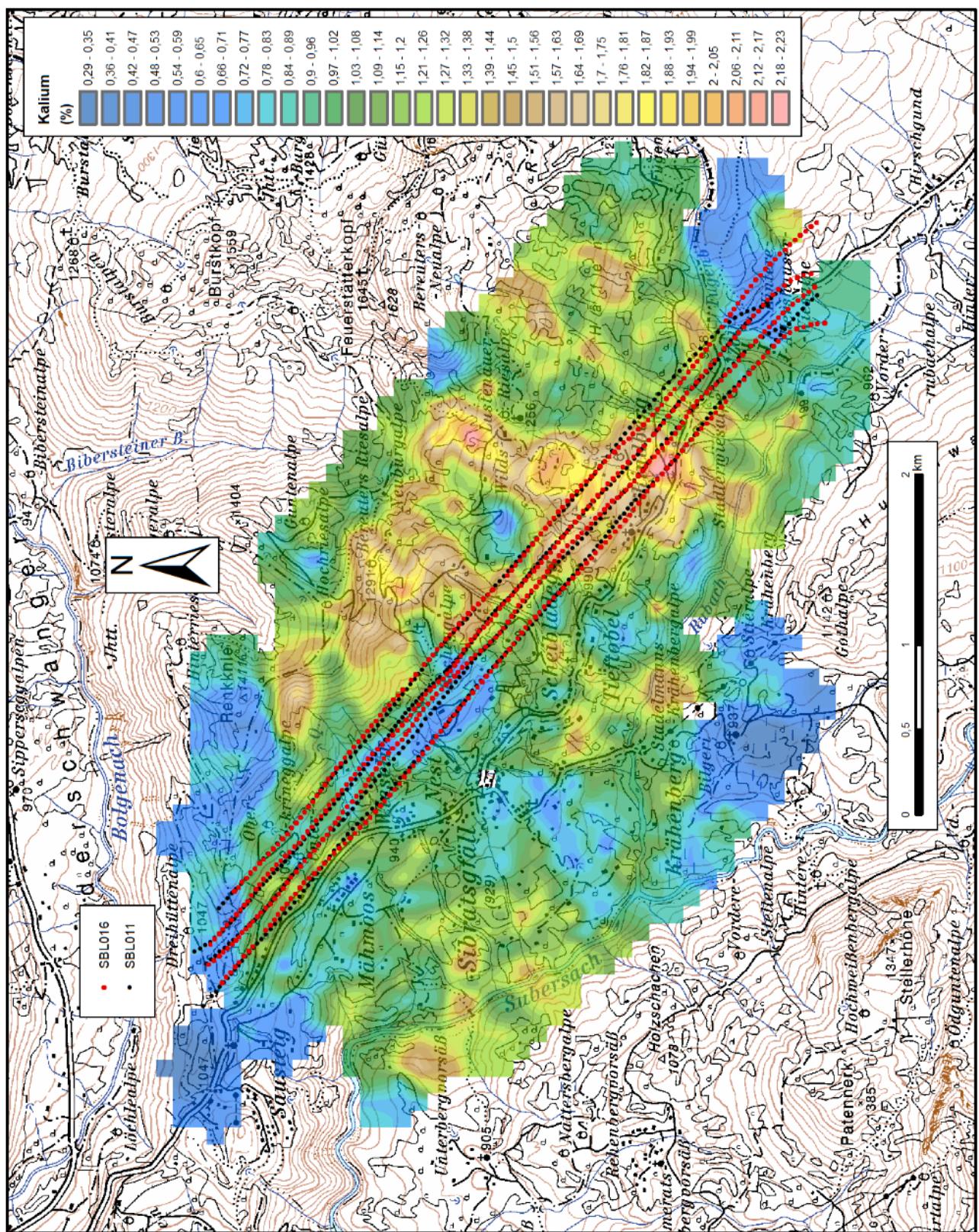


Abbildung 4: Verteilung der Äquivalentkonzentrationen von K40 im Fluggebiet Sibratsgfäll (2009). In den Messflügen SBL011 (schwarz) und SBL016 (rot) wurden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen 4 Messprofile wiederholt überflogen.

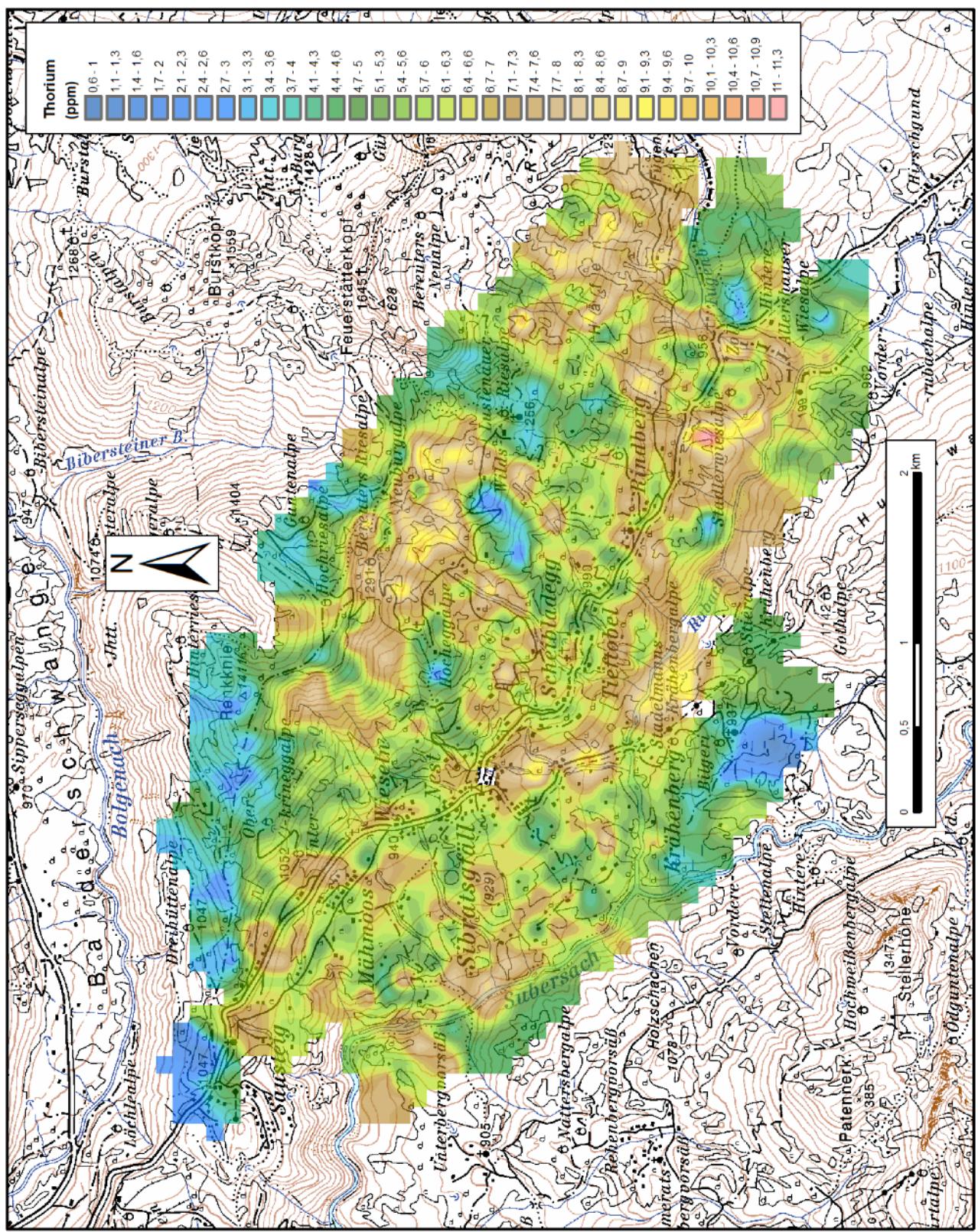
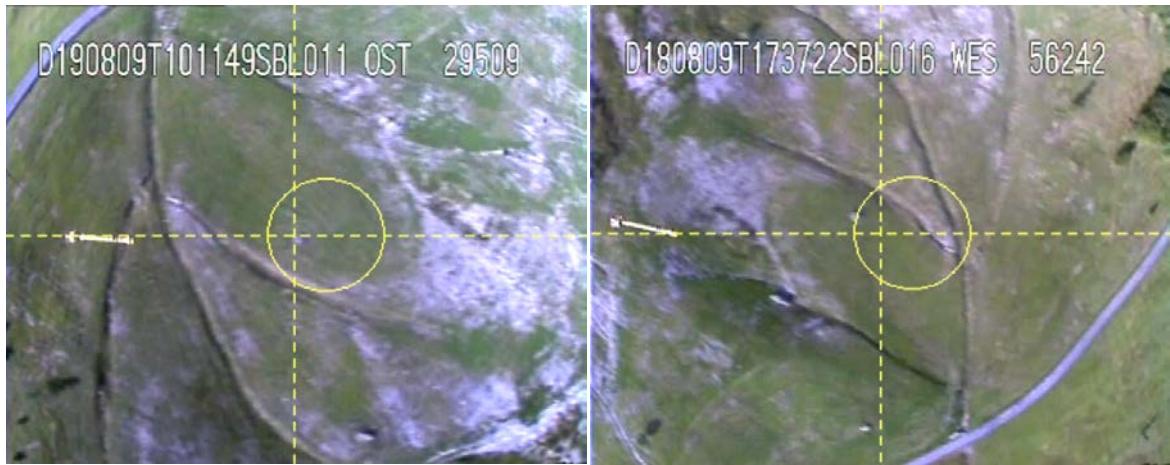
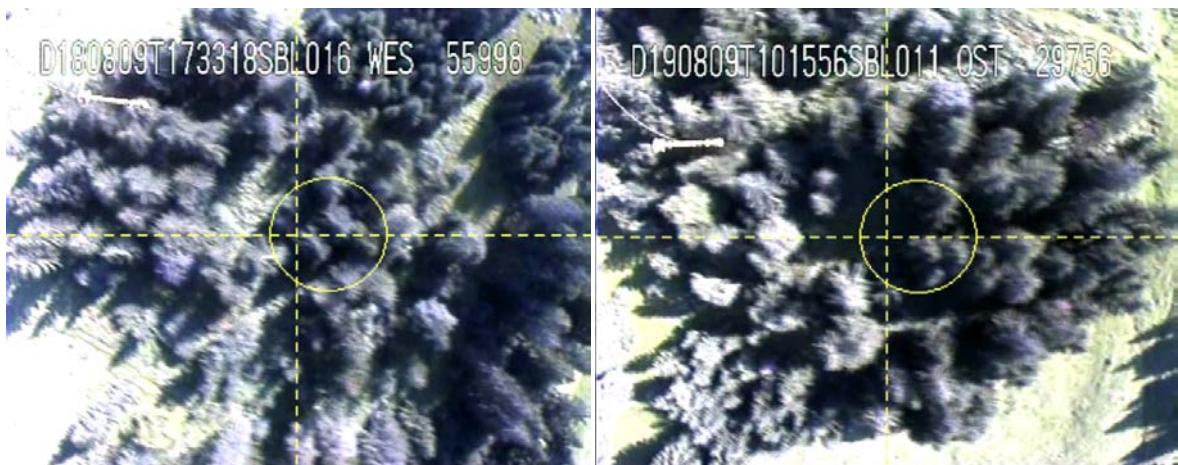


Abbildung 5: Verteilung der Äquivalentkonzentrationen von Th232 im Fluggebiet Sibratsgfäll(2009)



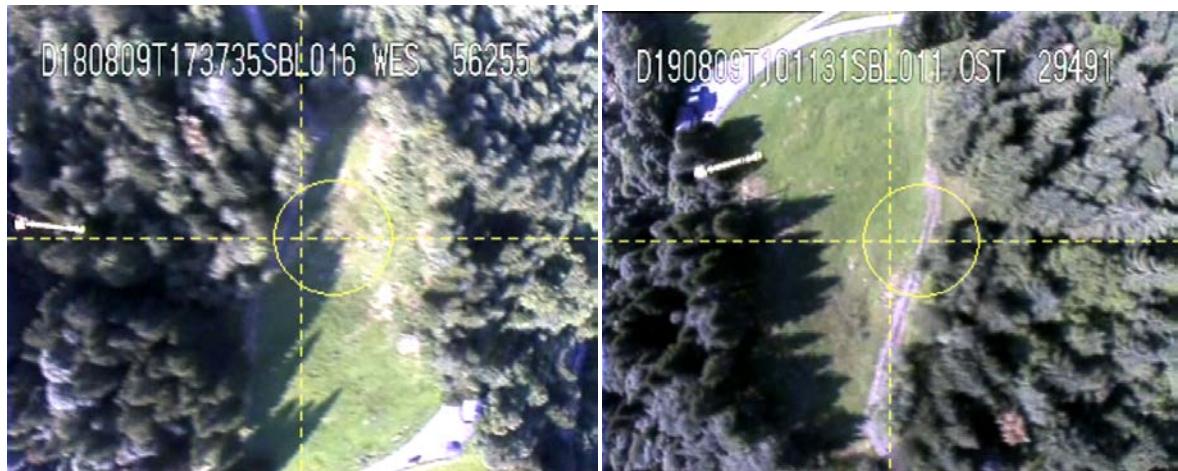
Flug	FID	X(m)	Y(m)	Radh(m)	K40(%)	$\Delta K40(%)$	Dist(m)
SBL011_190809_100609	29509	129791.5	253250.5	80.3	1.8	0.0	2.6
SBL016_180809_172757	56242	129792.8	253252.7	108.8	1.8		

Abbildung 6: Einzelbilder aus Flugvideos, zugehörig zu jeweils einer Radiometriemessung aus den Flügen SBL011 und SBL016 im Fluggebiet Sibratsgfäll (2009). Die Distanz zwischen den Positionen (GPS Ortung) beider Messungen mit der Kennzeichnung FID 29509 und FID 56242 ist Dist = 2.6 m. Beide Messungen ergaben eine Äquivalentkonzentration von K40 = 1.8 %. Die Differenz der Flughöhen (Radh) beträgt 28.5 m. Die beiden Positionen wurden aus entgegengesetzter Richtung angeflogen.



Flug	FID	X(m)	Y(m)	Radh(m)	L1Env(m)	L2Env(m)	K40(%)	$\Delta K40(%)$	Dist(m)
SBL011_190809_100609	29756	128930.4	253913.3	93.3	43.1	66.1	1.4	0.0	6.1
SBL016_180809_172757	55998	128927.5	253918.7	109.4	64.7	82.2	1.4		

Abbildung 7: Einzelbilder aus Flugvideos, zugehörig zu jeweils einer Radiometriemessung aus den Flügen SBL011 und SBL016 im Fluggebiet Sibratsgfäll (2009). Die Distanz zwischen den Positionen (GPS Ortung) beider Messungen mit der Kennzeichnung FID 29756 und FID 55998 ist Dist = 6.1 m. Beide Messungen ergaben eine Äquivalentkonzentration von K40 = 1.4 %. Die Differenz der Flughöhen (Radh) beträgt 16.1 m. Die gemessene Höhe der Vegetation ist durch die Differenz von erster (L1Env) und zweiter Laserreflexion (L2Env) dargestellt. Die beiden Positionen wurden aus entgegengesetzter Richtung angeflogen.



Flug	FID	X(m)	Y(m)	Radh(m)	L1Env(m)	L2Env(m)	K40(%)	$\Delta K40(%)$	Dist(m)
SBL011_190809_100609	29491	130267.4	252846.7	112.2	79.2	84.8	0.7	-0.7	56.0
SBL016_180809_172757	56255	130230.4	252888.8	118.6	73.8	91.6	1.4	0	

Abbildung 8: Einzelbilder aus Flugvideos, zugehörig zu jeweils einer Radiometriemessung aus den Flügen SBL011 und SBL016 im Fluggebiet Sibratsgfäll (2009). Die Distanz zwischen den Positionen (GPS Ortung) beider Messungen mit der Kennzeichnung FID 29756 und FID 55998 ist Dist = 56 m. Die Differenz der berechneten Äquivalentkonzentration von K40 ist $\Delta K40(%) = -0.7 \%$. Die gemessene Höhe der Vegetation berechnet sich aus der Differenz von erster (L1Env) und zweiter Laserreflexion (L2Env). Die beiden Positionen wurden aus entgegengesetzter Richtung angeflogen.

4. Dokumentation und Handbuch

Neben der Programmentwicklung und dem Reprocessing wurde eine Beschreibung des, für das Processing aerogeophysikalischer Messdaten notwendigen Wissens begonnen. Im Anhang ist ein Ausschnitt des Handbuchs mit Beschreibung der Komponenten und Messdaten des Aerogeophysik Systems ab dem Jahre 2014 angefügt.

5. Ausblick

Im nächsten Projektjahr wird die Anpassung der Processing Software an die fehlenden Jahrgänge 1991-2000 und 198x, mit paralleler Gestaltung des Handbuchs vorrangig behandelt. Die Aeroradiometrie von Ardagger 2006/07, auf Grund der großen Datenmenge an aroradiometrischen Messungen zusammen mit Bodenproben ein wichtiger Input für die Untersuchung des Zusammenhangs von aero- und bodenradiometrischen Messungen, wird neu bearbeitet. Das Testen der Programme mit Messdaten der dazugehörigen Jahrgänge wird im Rahmen der Einschulung von Frau Mag. Schattauer durchgeführt. Weitere Messgebiete werden je nach vorhandenen Zeitressourcen bearbeitet.

6. Literatur

Tilch, N., Schwarz, L., Koçiu, A., Winkler, E. & Motschka, K. (2018): Potentiale aerogeophysikalischer Daten hinsichtlich der Modellierung von realitätsnäheren Dispositionskarten für flachgründige Massenbewegungen - eine Fallstudie im Bregenzerwald (Vorarlberg, Österreich).- Tagungsband zum 20. Geoforum Umhausen: 240-245; Niederthai, Wien.

7. ANHANG : Kapitelausschnitt Komponenten und Messdaten des Aerogeophysik Messsystems ab 2014

1.) Komponenten des Aerogeophysik Messsystems

Die Messausrüstung der mit einem Hubschrauber durchgeführten aerogeophysikalischen Messungen ab 2014 hat folgende Komponenten:

Komponente	Messrate/Sekunde
Elektromagnetisches Mehrfachspulensystem	10
Absorptionszellen-Magnetometer	10
Gammastrahlenspektrometer	1
Infrarot	1
Bodenfeuchte	10
Lufttemperatur	1
Taupunkt	1
Radarhöhenmesser	1
Barometrische Höhe	1
DGPS (Differential Global Positioning System)	1
Laserhöhenmesser	400
Roll-Nick-Gier Winkel des Hubschraubers	1

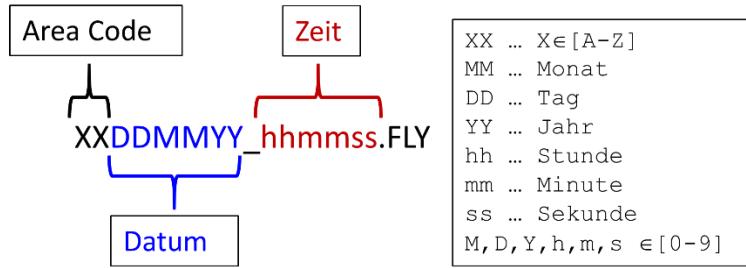
Abb.1.1: Komponenten und Messraten des Hubschrauber-Messsystems

Die aeromagnetischen Messungen werden ergänzt durch Messung der magnetischen Totalintensität an einer ortsfesten Basistation , der Bodenmagnetik.

2.) Messdaten

2.1.) Messdaten der Aerogeophysik

Das Ergebnis eines Messfluges liegt in Form einer binären Datei ("Flyfile") vor, die aus Datensätzen ("Frame") fixer Länge besteht. Das Format der Flyfile-Namen zeigt Abb.2.1



ex.: GD040914_171357.FLY, **GD** ... Area Code für GMUEND

Abb. 2.1: Format der Flyfile-Namen

Mit Tag, Monat und Jahr vom FlyFile-Namen und Stunde, Minute und Sekunde aus der GPS-Zeit wird die Sekunde des Jahres (SoY ... Second of Year) bzw. die Zehntelsekunde des Jahres zur Synchronisation von Aero- und Boden-Magnetik berechnet.

Jeder Frame enthält in einer fixen Anzahl an Feldern die Messergebnisse einer Sekunde (Abb. 2.2). Für eine detaillierte Auflistung der Einträge in einem Frame siehe Abb. 2.16.

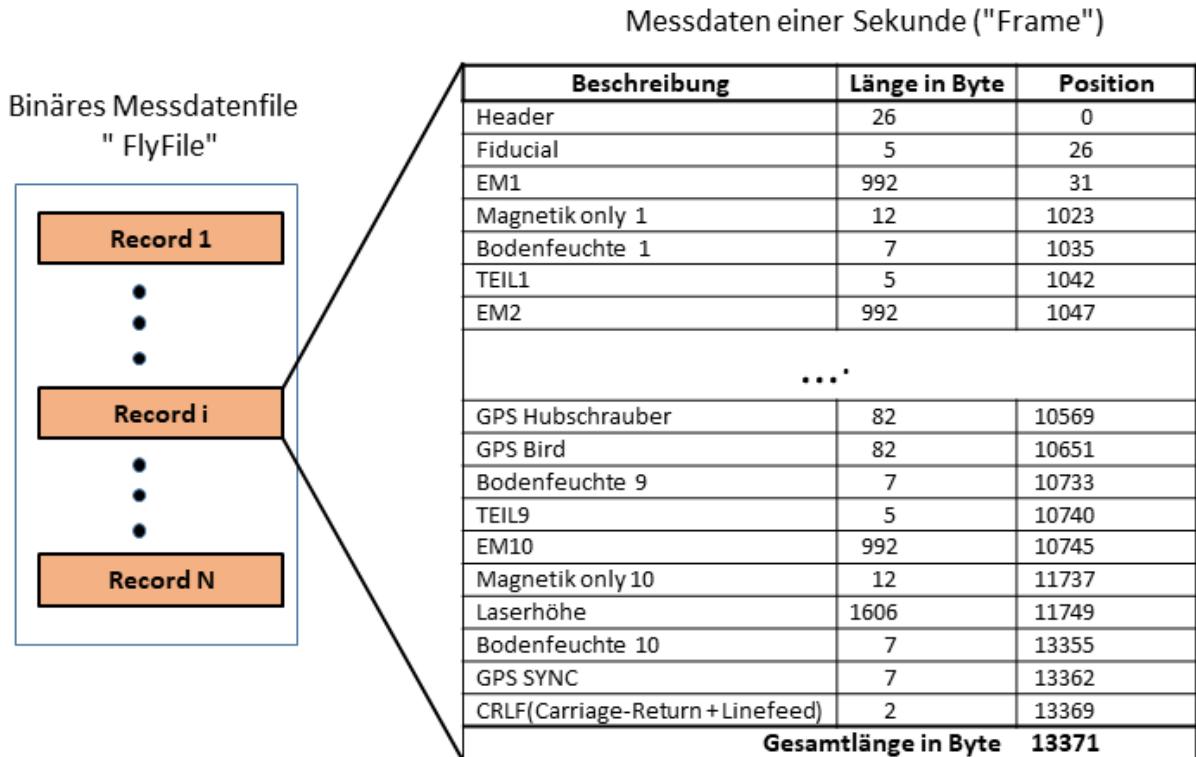


Abb. 2.2: Struktur binäres Messdatenfile ab 2014

2.2.) Komponenten eines Frame

Header und Fiducial:

Beispiel aus Gmuend 2014: 'D040914T172255GDL017 WES 55375'

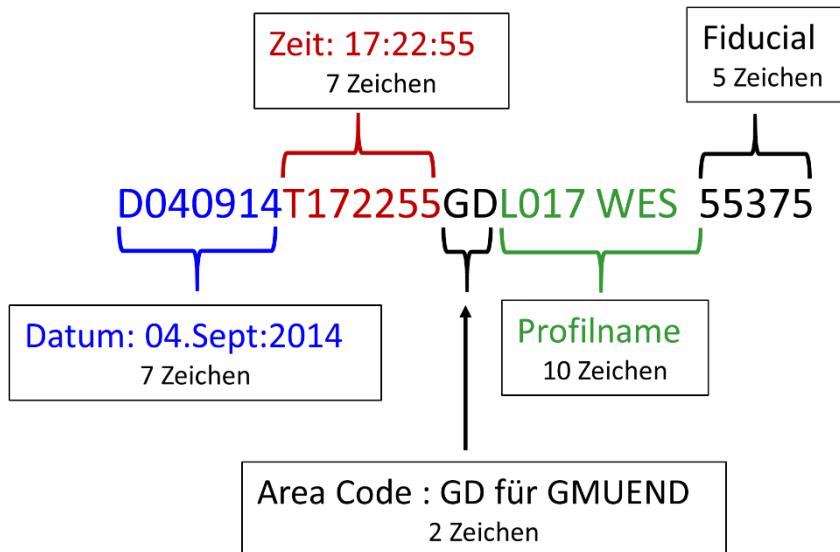


Abb. 2.3: Struktur von Header und Fiducial am Anfang eines Frame

Header (26 Zeichen) setzt sich zusammen aus

- Internes Datum und Zeit des Datenerfassung-PC
- Area Code: Buchstabenkombination (2 Buchstaben) zur Kennung des Messgebietes
- Profilname: setzt sich aus Fluglinie (5 Zeichen) und Flugrichtung ("OST", "NOR", "WES" oder "SUE") zusammen. Wenn die Messung des Fluges eine Radiometriestrecke darstellt, steht für Profilname der Text "RADSTREC".

Fiducial(FID) ist eine fünfstellige fortlaufende ganze Zahl zur eindeutigen Kennzeichnung der Messdaten einer Sekunde innerhalb eines Fluges.

Elektromagnetik(EM):

EM und Magnetik werden 10 Mal pro Sekunde gemessen und in den jeweils 992 Byte langen Strings EM1 .. EM10 abgespeichert. Ob das EM-System Teil der Messapparatur ist, wird durch die lesbare Zeichenkette "\$DATA" am Beginn des EM-string signalisiert. Ist das EM-System bei dem Messflug nicht in Betrieb dann steht am Beginn jedes EM-Strings die lesbare Zeichenkette "EM Bird OFF". Vor EM2 bis EM10 stehen die Zeichenketten "TEIL1" bis "TEIL9" um die Anfangspositionen der EM-Strings und die zeitliche Reihenfolge der 10 EM-Messungen eindeutig bestimmen zu können. Die Anfangsposition von EM1 ist unmittelbar nach dem FID String eindeutig festgelegt.

Bei dem 4-Spulensystem wird jedes Spulenpaar mit einer eigenen Frequenz (f1,f2,f3,f4) betrieben. Der Messwert für jede Frequenz besteht aus der inphase(in) und der outphase(qu) des Verhältnisses von Sekundärfeld zu Primärfeld in ppm.

Die Werte (f1_in, f1_qu, f2_in, f2_qu, f3_in, f3_qu, f4_in, f4_qu) stehen an den Stellen (832, 840, 848, 856, 864, 872, 880, 888) des EM-Strings.

1	2	3	4	5	• • •	832	840	848	856	864	872	880	888	
'\$'	'D'	'A'	'T'	'A'										
EM-Data Header						f1_in	f1_out	f2_in	f2_out	f3_in	f3_out	f4_in	f4_out	
5 Byte						8 Byte								

Abb. 2.4: Lage der inphase und outphase Werte für 4 Frequenzen im EM-String

Die Spannungen der Transmitter(Tx) und Receiver(Rx) Spulen für die 4 Spulenpaare werden in vier Blöcken zu je 160 Bytes ab der 32. Stelle im EM-String abgespeichert. Jeder der Blöcke enthält 20 Werte zu je 8 Bytes (Abb.2.17 – 2.20)..

1	2	3	4	5	• • •	32	192	352	512	
'\$'	'D'	'A'	'T'	'A'		
EM-Data Header						TxRx von F1	TxRx von F2	TxRx von F3	TxRx von F4	
5 Byte						160 Byte	160 Byte	160 Byte	160 Byte	

Abb. 2.5: Tx-Rx Werte im EM-String

Die aufgenommenen Signale werden in zwei zeitliche Komponenten ("inphase" und "quadrature") relativ zur Phase des Sendesignales aufgespalten.

Q-Coil

Ob auf dem EM-Spulensystem gerade ein Kalibrierimpuls, genannt Qcoil, anliegt, wird durch einen 9 Zeichen langen String im Frame signalisiert (Abb. 2.16, Q-Coil Eintrag). Die beiden Stringvarianten sind "Q-Coil ON" oder "Q-CoilOFF".

Magnetik:

Der Sensor für die Totalintensität des erdmagnetischen Feldes ist in der elektromagnetischen Messsonde eingebaut. Der Messwert in NanoTesla ist auch im EM-String enthalten, in 8 Byte ab der Stelle 672.

1	2	3	4	5		672		832	840	
'\$'	'D'	'A'	'T'	'A'						
EM-Data Header					• • •	Magnetik	• • •	f1_in	f2_out	• • •
						8 Byte		8 Byte	8 Byte	

Abb. 2.6: Lage der Magnetik Werte im EM-String

Laserhöhen:

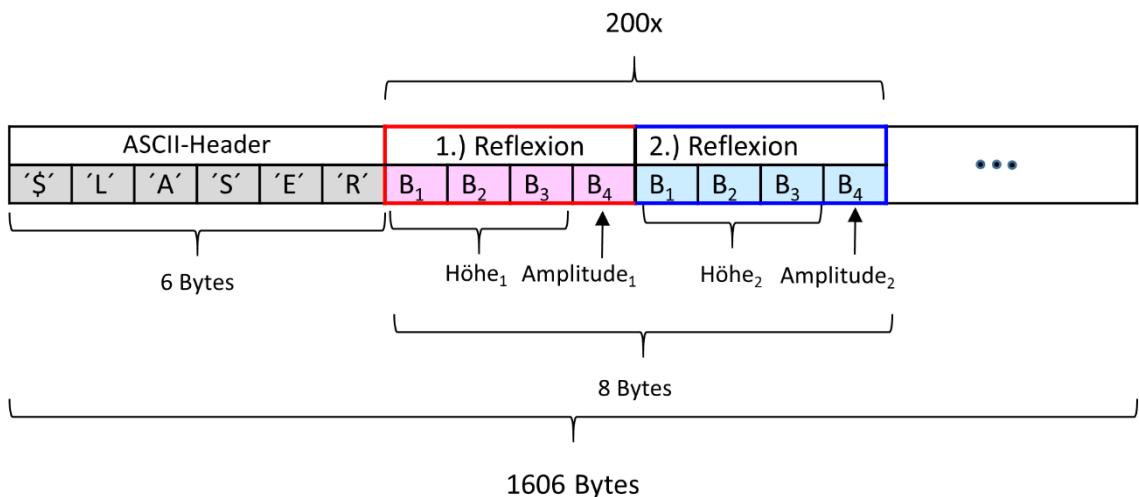


Abb. 2.7: Struktur des 1606 Bytes langen Laserdaten-Strings. B₁ bis B₄ stellen jeweils 1 Byte dar.

Die Laserhöhen werden 200 Mal pro Sekunde gemessen. Das Ergebnis jeder Messung besteht aus der Höhe und Amplitude der 1.) und 2.) Reflexion. Die Höhe in mm wird durch die 3 Bytes B₁, B₂ und B₃ dargestellt, wobei zur besseren Unterscheidbarkeit zum gemessenen Wert der 2. Reflexion 1000000 mm (1000 m) addiert wurde. Im Byte B₄ ist der Amplitudenwert der Laserreflexion codiert. Bei der Berechnung der Höhen und Amplituden wird für ein Byte die ganzzahlige Position (0 ..255) dieses Zeichens innerhalb der Anordnungsreihenfolge der ASCII Tabelle eingesetzt. In FORTRAN liefert diesen Wert die Funktion ichar().

Für die Berechnung von Höhe und Amplitude gelten die Formeln:

$$\text{Höhe[mm]} = (\text{ichar}(B_1) - 128) * 128 * 128 + \text{ichar}(B_2) * 128 + \text{ichar}(B_3)$$

$$\text{Amplitude} = \text{ichar}(B_4) + 128$$

Beispiel: Header und die ersten 8 Byte in Hex-Format :

ASCII-Header						1.) Reflexion				2.) Reflexion				...		
24	4C	41	53	45	52	99	34	2C	1C	D6	3B	5F	1C	...		

1.) Reflexion: 99 34 2C 1C

$$\text{Höhe} = (9 * 16 + 9 - 128) * 128 * 128 + (3 * 16 + 4) * 128 + 2 * 16 + 12 = 416300 \text{ mm} = 416.3 \text{ m}$$

$$\text{Amplitude} = 1 * 16 + 12 + 128 = 156$$

2).Reflexion: D6 3B 5F 1C

$$\text{Höhe} = (13 * 16 + 6 - 128) * 128 * 128 + (3 * 16 + 11) * 128 + 5 * 16 + 15 = 1416671 \text{ mm}$$

1000m abziehen

$$\text{Höhe} = 1416671 - 1000000 = 416671 \text{ mm} = 416.7 \text{ m}$$

$$\text{Amplitude} = 1 * 16 + 12 + 128 = 156$$

GPS

Global Positioning System Fix Data (GGA) Format

Mit 2 DGPS-Navigationsanlagen werden die Flugwegkoordinaten (im WGS84-System) erfasst. Ein GPS-Empfänger befindet sich am Heckrotor, der zweite auf der EM-Sonde. Jeder GPS-Empfänger liefert eine 82 Byte lange Zeichenkette im lesbaren Global Positioning System Fix Data (GGA) Format. Dieses Format enthält die wichtigsten Angaben zur Position und deren Genauigkeit, Höhe über Meeresoberfläche und andere Informationen. (Abb. 2.8).

\$GPGLL, hhmmss.ss, ddmm.mmmm, a, dddmm.mmmmmm, s, n, qq, pp.p, saaaa.aa, M, xxxx.xx, M, sss, xxxx*hh

Symbol	Bedeutung
hhmmss.ss	aktuelle Uhrzeit (UTC)
ddmm.mmmm	Breitengrad in Grad und Minuten
a	N oder S (North or South)
dddmm.mmmmmm	Längengrad in Grad und Minuten
s	E oder W (East or West)
n	GPS-Qualität: 0 für ungültig 1 für GPS fix 2 für DGPS fix
qq	Anzahl der benutzten Satelliten (00 – 12)
pp.p	horizontale Abweichung (dilution of precision)
saaaa.aa	Höhe der Antenne über Geoid
M	Einheit der Antennenhöhe (Meter)
xxxx.xx	Geoidal separation, the difference between the WGS-84 earth ellipsoid and mean-sea-level (geoid), "--" means mean-sea-level below ellipsoid
M	Units of geoidal separation, meters
sss	Age of differential GPS data, time in seconds since last SC104 type 1 or 9 update, null field when DGPS is not used
xxxx	DGPS-Referenzstation (0000 bis 1023)
*hh	Prüfsumme

Abb. 2.8: GPS-String im Global Positioning System Fix Data (GGA) Format

Roll, Pitch, Yaw:

Die Roll, Pitch, Yaw (Roll, Nick ,Gier) Winkel des Helikopters werden 1x pro Sekunde gemessen und als 22 Zeichen langer lesbarer String im Frame eingetragen. Jeder Winkelwert wird rechtsbündig als Dezimalzahl mit einer Nachkommastelle dargestellt. Ein Vorzeichen wird nur geschrieben wenn der Wert negativ ist. Die Feldbreite jedes Wertes ist 6, links aufgefüllt wird mit Leerzeichen. Sind keine Messwerte vorhanden dann beginnt der String mit "RPY 999" (Abb. 2.9).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
'\$'	'R'	'P'	'Y'	r	r	r	r	,	r	p	p	p	p	,	p	y	y	y	y	,	y
Header				Roll						Pitch						Yaw					

Abb. 2.9: Textstring für die Roll-, Pitch- und Yaw-Winkel. Jeder der 3 Werte wird rechtsbündig, eventuell mit einem "-" Vorzeichen, dargestellt. $r,p,y \in \{0..9, "-", "\ "\}$.

Bodenfeuchte:

Die Bestimmung der Bodenfeuchte in Prozent-Wassergehalt des Erdbodens erfolgt 10 Mal pro Sekunde. Die Messung wird mit einer passiven L-Band-Antenne durchgeführt. Diese misst die vom Untergrund bei 1.4 GHz reflektierte Strahlung deren Intensität stark vom Bodenwassergehalt abhängig ist. Der Bodenfeuchte Wert wird als Textstring der Länge 7 in den Frame geschrieben. Wird keine Bodenfeuchte gemessen, steht der Textstring "\$BF9,99" (Abb. 2.10).

'\$'	'B'	'F'	n	,	n	n
oder						
'\$'	'B'	'F'	'9'	,	'9'	'9'

Abb. 2.10: Textstring für die Bodenfeuchte, $0 \leq n \leq 9$.

Infrarot:

Um den Wassergehalt berechnen zu können, muss man außerdem die Oberflächentemperatur des Erdbodens kennen. Diese wird 1 Mal pro Sekunde mit einem Infrarotsensor im Frequenzbereich 8-14 μm bestimmt. Der Infrarot Wert wird als Textstring der Länge 8 in den Frame geschrieben. Ist keine Infrarotmessung vorhanden, dann steht im Frame der Textstring '\$IR999,9' (Abb. 2.11).

'\$'	'I'	'R'	n	n	n	n	n
oder							
'\$'	'I'	'R'	'9'	'9'	'9'	,	'9'

Abb. 2.11: Textstring für Infrarot, $0 \leq n \leq 9$.

Lufttemperatur,Taupunkt,barometrische Höhe, Radarhöhe, VLF

In einem 80 Zeichen langen lesbaren String, dem Analogstring, stehen Lufttemperatur, Taupunkt, barometrische Höhe, Radarhöhe und 6 VLF Werte in dieser Reihenfolge. Sind die Messwerte nicht vorhanden, steht 'Analog Input Karte off' am Anfang des 80 Zeichen langen Strings

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	...	8	0
\$	A	N	A	L	O	G	1	4	,	5				6	,	8			3	8	9	,	2			6	5	3	,	2	2	...			
Header						Lufttemperatur						Taupunkt						Barometr.-Höhe						Radarhöhe						VLF, 6x					

Abb. 2.12 : Beispiel für einen Analogstring

Radiometrie

Das Aeroradiometrie-System besteht aus einem Gammastrahlendetektor mit zwei nach unten gerichteten ("downward looking") Natrium-Jodid Kristallpaketen zu je 4 Kristallen mit einem Gesamtvolumen von 33.6 l, einem nach oben gerichteten ("upward looking") Kristall (Volumen 4.2 l) und der Auswerteelektronik. Das System zeichnet pro Sekunde ein komplettes Gammaspektrum mit 255 Kanälen im Bereich von 0 bis 3 MeV für die "downward looking" und "upward looking" Kristalle auf. Der Energiebereich pro Kanal ist 11.76 keV. In einem zusätzlichen Kanal (3 – 6 MeV) werden jene Gammastrahlenimpulse registriert, die von der Höhenstrahlung herrühren.

Das Messergebnis einer Sekunde wird durch folgende Einträge im 1287 Bytes langen Radiometrie-String dargestellt (Abb.RD1):

x[1..255] .. Zählraten in den 255 Energiefenster der "downward looking"-Kristalle
x[256] .. Zählrate im kosmischen Fenster (3,6 MeV) der "downward looking"-Kristalle

y[1..255] .. Zählraten in den 255 Energiefenster der "upward looking"-Kristalle
y[256] .. Zählraten im kosmischen Fenster (3-6 MeV) der "upward looking"-Kristalle

Jede der Zählraten x[i] und y[i] wird durch zwei aufeinanderfolgende Bytes dargestellt. Bei der Berechnung wird für ein Byte die ganzzahlige Position (0 ..255) dieses Zeichens innerhalb der Anordnungsreihenfolge der ASCII Tabelle eingesetzt.

In Abb.2.13 berechnet sich z.B. der Wert von x[1], dargestellt durch die zwei Bytes b1 und b2, wie folgt:

$$x[1] = \text{ichar}(b1) + \text{ichar}(b2)*256,$$

ichar(x) bezeichnet den Dezimalwert des Byte x in der ASCII-Tabelle (FORTRAN Funktion)

Der Crystal Status wird durch einen String von 10 lesbaren Zeichen im Radiometrie-String an der Stelle 1029 bis 1038 beschrieben. In Abb.2.13 sind dies die Zeichen D1 .. D8 und U, das Byte für den Status eines nicht vorhandenen 10. Kristall bleibt unbenutzt.

Die D1 .. D8 beschreiben den Status der 8 abwärts gerichteten Kristalle, U den Status des aufwärts gerichteten. D1 bis D8 und U können folgende Werte annehmen:

'A' .. automatisch getuned
'T' .. Th-tuned
K,U .. tuning nicht auf Th-peaks mindere Qualität
'0' .. NOT TUNED, keine Daten von diesem Kristall

1	2	3	4	5	6		515	516	517	518		1027	1028	1029			1038			1287
Header		downward looking				upward looking				Crystal Status										...
'*'	'D'	'0'	'0'	b1	b2	...														
Header		x[1]		x[256]		y[1]		y[256]		D1	D2	D3	D4	U	D5	D6	D7	D8	—	

Abb.2.13 Aufbau Radiometrie-String

2.3. Bodenmagnetik (Bomag) - Daten

Bei einer aerogeophysikalischen Vermessung wird an einer Bodenstation 10 Mal pro Sekunde die Totalintensität des erdmagnetischen Feldes gemessen. Für ein Messgebiet werden die Rohdaten der Bodenmagnetik in einer oder mehreren Textdateien abgespeichert. Für jede Sekunde werden in 12 Zeilen ein GPS-String, die PC-Zeit und die 10 im Zehntelsekundentakt gemessenen Werte der Totalintensität aufgezeichnet (Abb. 2.14).

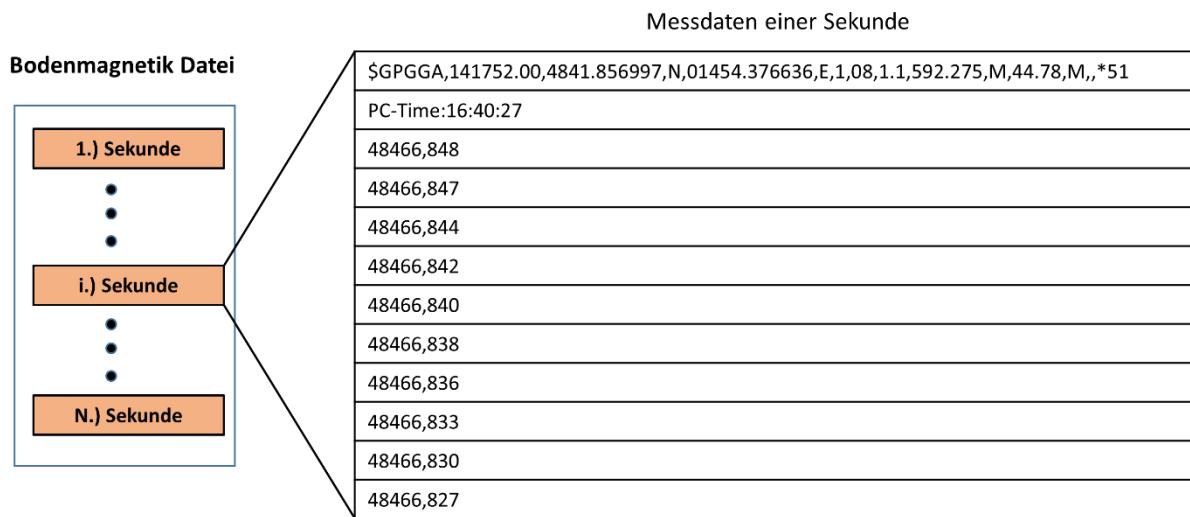


Abb.2.14: Aufbau einer Bodenmagnetik-Datei

Im AEM-Processing erfolgt die Zuordnung der Bomag-Daten zu den Aeromagnetik-Daten über die Zehntelsekunde des Jahres der GPS-Zeit. Die Rohwerte der Bomag Dateien werden deshalb nach der Zehntelsekunde des Jahres sortiert in eine Datei mit neuem Format zusammengespielt. Abb.2.15 zeigt die Messung aus Abb.2.14 im konvertierten Format.

YY	MM	DD	HH	mm	10S	10SYear	Bomag	BomagFilt	IGRF	PC-hour	PC-min	PC-sec	PC_1/10_sec
2014	9	10	14	17	520	218242720	48466.848	48466.848	48599.758	16	40	27	1
2014	9	10	14	17	521	218242721	48466.847	48466.847	48599.758	16	40	27	2
2014	9	10	14	17	522	218242722	48466.844	48466.844	48599.758	16	40	27	3
2014	9	10	14	17	523	218242723	48466.842	48466.842	48599.758	16	40	27	4
2014	9	10	14	17	524	218242724	48466.840	48466.840	48599.758	16	40	27	5
2014	9	10	14	17	525	218242725	48466.838	48466.838	48599.758	16	40	27	6
2014	9	10	14	17	526	218242726	48466.836	48466.836	48599.758	16	40	27	7
2014	9	10	14	17	527	218242727	48466.833	48466.833	48599.758	16	40	27	8
2014	9	10	14	17	528	218242728	48466.830	48466.830	48599.758	16	40	27	9
2014	9	10	14	17	529	218242729	48466.827	48466.827	48599.758	16	40	27	10

Abb.2.15: konvertierte Bodenmagnetik Daten

- YY, MM, DD ... Jahr, Monat, Tag (sind im Dateinamen der Rohdaten enthalten)
- HH, mm, 10S, 10Syear ... Stunde, Minute, Zehntel Sekunde und Zehntel Sekunde des Jahres (Info aus dem GPS-String)
- Bomag, BomagFilt ... Totalintensität-Werte (gemessen und automatisch gefiltert)
- IGRF ... Internationales Geomagnetisches Referenzfeld (IGRF) berechnet für Koordinaten und Zeitpunkt des GPS.

2.4.) Digitales Geländemodell (DGM)

Optional kann bei Konvertierung der Messdaten ein digitales Geländemodell (DGM) hinzugefügt werden. Die DGM Daten können in 2 Formaten vorliegen:

1.) Surfer 6 Text Grid:

```
DSAA 'Surfer ASCII GRD ID
nCols nRows 'number of columns and rows
xMin xMax 'XYZ min max
yMin yMax
zMin zMax
z11 z21 z31 ... 'List of Z values
```

2.) ESRI ArcInfo ASCII Grid:

```
NCOLS xxx
NROWS xxx
XLLCENTER xxx | XLLCORNER xxx
YLLCENTER xxx | YLLCORNER xxx
CELLSIZE xxx
NODATA_VALUE xxx
row 1
...
row n
```

Beschreibung	Länge in Byte	Position
Header: D Datum(7) T Zeit(7) Area(2) Profilname(10)	26	0
Fiducial	5	26
EM1 (\$DATA wenn ON, "EM Bird OFF" wenn OFF)	992	31
Magnetik only 1 (\$MAG wenn ON, \$MAG99999,99 wenn OFF)	12	1023
Bodenfeuchte 1 (\$BF wenn ON, \$BF9,99 wenn OFF)	7	1035
"TEIL1"	5	1042
EM2	992	1047
Magnetik only 2	12	2039
Bodenfeuchte 2	7	2051
"TEIL2"	5	2058
EM3	992	2063
Magnetik only 3	12	3055
Q-Coil ("Q-Coil ON" oder "Q-CoilOFF")	9	3067
Bodenfeuchte 3	7	3076
"TEIL3"	5	3083
EM4	992	3088
Magnetik only 4	12	4080
AnalogString (\$ANALOG wenn ON, "Analog Input Karte off" wenn OFF)	80	4092
Bodenfeuchte 4	7	4172
"TEIL4"	5	4179
EM5	992	4184
Magnetik only 5	12	5176
Radiometriestring (\$D00 wenn ON, "Radiometrie off" wenn OFF)	1287	5188
Bodenfeuchte 5	7	6475
"TEIL5"	5	6482
EM6	992	6487
Magnetik only 6	12	7479
Infrarot (\$IR wenn ON, \$IR999,9 wenn OFF)	8	7491

Bodenfeuchte 6	7	7499
"TEIL6"	5	7506
EM7	992	7511
Magnetik only 7	12	8503
Bodenfeuchte 7	7	8515
Roll_Pitch_Yaw(\$RPY)	22	8522
"TEIL7"	5	8544
EM8	992	8549
Magnetik only 8	12	9541
Bodenfeuchte 8	7	9553
"TEIL8"	5	9560
EM9	992	9565
Magnetik only 9	12	10557
GPS Hubschrauber (\$GPGGA wenn ON, "CSI DGPS off" wenn OFF)	82	10569
GPS Bird (\$GPGGA wenn ON, "GPS Bird off" wenn OFF)	82	10651
Bodenfeuchte 9	7	10733
"TEIL9"	5	10740
EM10	992	10745
Magnetik only 10	12	11737
Laserhöhe (\$LASER wenn ON, \$LASER OFF wenn OFF)	1606	11749
Bodenfeuchte 10	7	13355
GPS SYNC	7	13362
CRLF(Carriage-Return + Linefeed)	2	13369
Gesamtlänge in Byte		13371

Abb. 2.16: Recordstruktur eines binären Messdatenfiles ab 2014

Beschreibung	Bedeutung	Position
TxF1i	Tx-Spannung , inphase, Frequenz = F1	32
TxF1q	Tx-Spannung , outphase, Frequenz = F1	40
RxF1i	Rx-Spannung , inphase, Frequenz = F1	48
RxF1q	Tx-Spannung , outphase, Frequenz = F1	56
RxF1(F2)i		64
RxF1(F2)q		72
RxF1(F3)i		80
RxF1(F3)q		88
RxF1(F4)i		96
RxF1(F4)q		104
RxF1(50Hz)i		112
RxF1(50Hz)q		120
RxF1(16Hz)i		128
RxF1(16Hz)q		136
RxF1(F?1)i		144
RxF1(F?1)q		152
RxF1(F?2)i		160
RxF1(F?2)		168
RxF1(all)i		176
RxF1(all)q		184

Abb. 2.17: Position der Transmitter(Tx) und Receiver(Rx) Spannungen vom 1.) Spulenpaar im EM-String (i .. inphase, q .. outphase). Jeder Wert wird in 8 Byte gespeichert.

Beschreibung	Bedeutung	Position
TxF2i	Tx-Spannung , inphase, Frequenz = F2	192
TxF2q	Tx-Spannung , outphase, Frequenz = F2	200
RxF2i	Rx-Spannung , inphase, Frequenz = F2	208
RxF2q	Tx-Spannung , outphase, Frequenz = F2	216
RxF2(F1)i		224
RxF2(F1)q		232
RxF2(F3)i		240
RxF2(F3)q		248
RxF2(F4)i		256
RxF2(F4)q		264
RxF2(50Hz)i		272
RxF2(50Hz)q		280
RxF2(16Hz)i		288
RxF2(16Hz)q		296
RxF2(F?1)i		304
RxF2(F?1)q		312
RxF2(F?2)i		320
RxF2(F?2)		328
RxF2(all)i		336
RxF2(all)q		344

Abb. 2.18: Position der Transmitter(Tx) und Receiver(Rx) Spannungen vom 2.) Spulenpaar im EM-String (i .. inphase, q .. outphase). Jeder Wert wird in 8 Byte gespeichert.

Beschreibung	Bedeutung	Position
TxF3i	Tx-Spannung , inphase, Frequenz = F3	352
TxF3q	Tx-Spannung , outphase, Frequenz = F3	360
RxF3i	Rx-Spannung , inphase, Frequenz = F3	368
RxF3q	Tx-Spannung , outphase, Frequenz = F3	376
RxF3(F1)i		384
RxF3(F1)q		392
RxF3(F2)i		400
RxF3(F2)q		408
RxF3(F4)i		416
RxF3(F4)q		424
RxF3(50Hz)i		432
RxF3(50Hz)q		440
RxF3(16Hz)i		448
RxF3(16Hz)q		456
RxF3(F?1)i		464
RxF3(F?1)q		472
RxF3(F?2)i		480
RxF3(F?2)		488
RxF3(all)i		496
RxF3(all)q		504

Abb. 2.19: Position der Transmitter(Tx) und Receiver(Rx) Spannungen vom 3.) Spulenpaar im EM-String (i .. inphase, q .. outphase). Jeder Wert wird in 8 Byte gespeichert.

Beschreibung	Bedeutung	Position
TxF4i	Tx-Spannung , inphase, Frequenz = F4	512
TxF4q	Tx-Spannung , outphase, Frequenz = F4	520
RxF4i	Rx-Spannung , inphase, Frequenz = F4	528
RxF4q	Tx-Spannung , outphase, Frequenz = F4	536
RxF4(F1)i		544
RxF4(F1)q		552
RxF4(F2)i		560
RxF4(F2)q		568
RxF4(F3)i		576
RxF4(F3)q		584
RxF4(50Hz)i		592
RxF4(50Hz)q		600
RxF4(16Hz)i		608
RxF4(16Hz)q		616
RxF4(F?1)i		624
RxF4(F?1)q		632
RxF4(F?2)i		640
RxF4(F?2)		648
RxF4(all)i		656
RxF4(all)q		664

Abb. 2.20: Position der Transmitter(Tx) und Receiver(Rx) Spannungen vom 4.) Spulenpaar im EM-String (i .. inphase, q .. outphase). Jeder Wert wird in 8 Byte gespeichert.