

Umbau von MAGSON-Magnetometern und Kalibrierung mittels Rotation des Sensors im Erdfeld

E. Pulz, O. Ritter

GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam, Germany

1. Einleitung

Zum Gerätepool des GFZ Potsdam gehören seit 1993 10 MAGSON 3 axial fluxgate Magnetometer (Abb. 1). Die Sensoren wurden mit großem Aufwand in der mechanischen Werkstatt des Geomagnetischen Observatoriums Niemegk des GFZ wasserdicht gemacht. Danach hatten sich die Sensoren im Feldeinsatz bewährt, die Elektroniken dagegen nicht.



Abb. 1 MAGSON 3 axial fluxgate Magnetometer Baujahr 1993

Die Eckpunkte für die Entwicklung einer neuen Elektronik lauteten:

- Stromverbrauch $<1.5\text{W}$ (Original ca. 3W)
- keine Bedienelemente (Strom anschließen fertig)
- Platinengröße $218 \times 94 \text{ mm}^2$ (kompatibel zum Castle System)
- Bessere Eigenschaften gegenüber der Originalelektronik bzgl. Rauschen und Temperaturabhängigkeit
- Arbeitsbereich $\pm 60000 \text{ nT}$

2. Realisierung

Einfach zu realisieren war der Punkt, keine Bedienelemente, da der moderne 24bit ADC des Earthdataloggers (EDL) zum Einsatz kommen sollte. Es ist nun nicht mehr erforderlich, eine Feldkompensation vorzusehen.

Die Verbesserung der Eigenschaften konnte erreicht werden durch eine andere Art der Kernanregung. Es wird die so genannte ferroresonance excitation mode (FEM) in Anwendung gebracht (Berkman u.a.).

Der niedrige Stromverbrauch steht im krassen Gegensatz zur Vorgabe, geringes Rauschen und hohe Auflösung, erschwerend kam hinzu, daß keine Eingriffe am Sensor möglich waren. Die Leistungsaufnahme von 1W konnte nur erreicht werden, durch die Festlegung der Betriebsspannung auf +/- 5V.

Aus diesen Prämissen ergibt sich ein Skalenfaktor von 0.075mV/nT .

Die Leiterkartengröße $218 \times 94 \text{ mm}^2$ wurde entsprechend der „standardisierten“ Gehäuse des MT-Gerätepools gewählt und in SMD-Technik gefertigt (Abb2,3).

Die Abb. 4 zeigt einen Vergleich zwischen alter und neuer Elektronikeinheit.

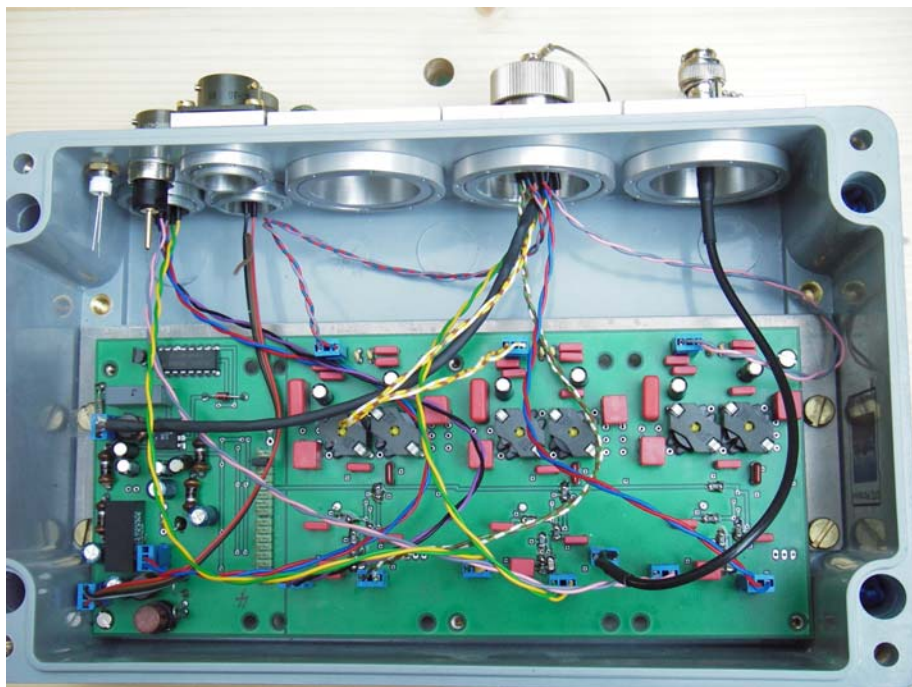


Abb. 2 Leiterkarte im Gehäuse



Abb. 3 Elektronik in Operation

Linke Buchse:	Ausgang Y, zur Sensororientierung
Weißes Kabel:	Sensoranschluss
Schwarzes Kabel:	EDL-Anschluß + Stromversorgung
Kleine Buchse unten:	separate Stromversorgung
Große Buchse oben u. andere Anschlüsse:	nicht belegt



Abb. 4 Vergleich alte/ neue Elektronik

3. Kalibrierung

Die „neuen“ fluxgate Magnetometer liefern die volle magnetische Flussdichte in jeder Komponente im Gegensatz zum Vorgängermodell, das nur die Variationen lieferte. Dieser Umstand erleichtert die Kalibrierung der Magnetometer.

AUSTER u. a. haben nachgewiesen, dass in diesem Fall eine Kalibrierung durch Drehung des Sensors im Magnetfeld möglich ist. Man braucht hierfür kein Spulensystem und es ist keine aufwendige Justierung erforderlich. Man muss lediglich dafür sorgen, dass die Drehachse nicht mit der Richtung des magnetischen Feldvektors übereinstimmt. Eine weitere Voraussetzung ist eine hinreichende Feldhomogenität. Zusätzlich benötigt man ein Skalar-Magnetometer, das die Flussdichte am Ort der Drehung liefert. Um Fehler auszuschließen, wurde eine Iteration angewandt, die zwei Rotationsachsen verlangt mit jeweils 12 Stellungen des Sensors.

Als Resultat erhält man die Skalierungsfaktoren für alle 3 Komponenten, die Nullpunktfehler und die Orthogonalitätsfehler.

3.1. Physikalische Grundlagen der Kalibrierung

Man transformiert mit Hilfe der Euler'schen Gleichungen den herrschenden Magnetfeldvektor in das 3-dimensionale orthogonale Koordinatensystem des zu kalibrierenden Magnetometers.

$$\vec{B}_R = \vec{R} \times \vec{B}$$

B_R	Magnetfeld im Magnetometersystem
R	Rotationsmatrix
B	Magnetfeldvektor

Die Einführung von Fehlergruppen

O	für Orthogonalität
Sk	für Skalenwert
N	für Nullpunktfehler

führt zu folgender Gleichung:

$$\vec{B}_{RN} = O \times Sk \times R \times B + N$$

Weiterhin muss gelten:

$$|\vec{B}_{RN}|^2 = |\vec{B}_R|^2 = |\vec{B}|^2$$

Während der Iteration wird demnach der mit Hilfe der Fehlermatrizen berechnete Feldbetrag B_{RN} mit dem tatsächlichen Betrag des Magnetfeldes verglichen. Die Kenntnis der Matrix R ist dabei nicht erforderlich. (D. h. man braucht die Rotationswinkel nicht zu kennen.)

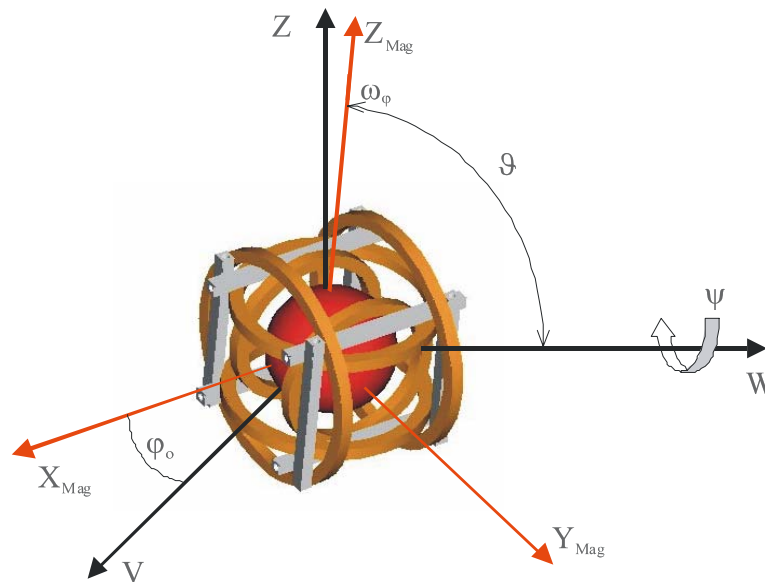
Warum? Benutzt man die Messergebnisse von 3 verschiedenen Positionen einer Drehachse für die Feldberechnung in einem neuen Koordinatensystem, dem Rotationssystem, so kann man zeigen, dass die Winkelmatrix eine Einheitsmatrix ist:

Die magn. Flussdichte in Richtung der Rotationsachse W ist:

$$B_w = B_{MagX} \cdot \sin \phi_0 \cdot \sin \delta_0 + B_{MagY} \cdot \cos \phi_0 \cdot \sin \delta_0 + B_{MagZ} \cdot \cos \delta_0$$

B_w hängt nicht vom Rotationswinkel ψ ab.

Benutzt man drei Messungen zur Bestimmung der magn. Flussdichte:



$$B_w \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} B_{Mag\ x1} & B_{Mag\ y1} & B_{Mag\ z1} \\ B_{Mag\ x2} & B_{Mag\ y2} & B_{Mag\ z2} \\ B_{Mag\ x3} & B_{Mag\ y3} & B_{Mag\ z3} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \sin \varphi_0 \sin \vartheta_0 \\ \cos \varphi_0 \sin \vartheta_0 \\ \cos \vartheta_0 \end{pmatrix}$$

$$= \mathbf{M} \mathbf{B}_{Mag} * \hat{\mathbf{n}}(\varphi_0, \vartheta_0)$$

Berechnet man den Betrag des Vektors B_w , stellt man fest, dass die Matrix mit den Winkeln gleich 1 ist.

D. h. man braucht die Positionswinkel des Sensors nicht zu kennen.

3.2 Kalibriervorgang

Der Sensor wird in eine Vorrichtung (Abb. 5) gespannt und um die Rotationsachse in 6 Positionen (ca. alle 60°) gedreht und in jeder Stellung werden die Flussdichten der Komponenten gespeichert. Parallel dazu werden die F- Messwerte mit einem Skalarmagnetometer registriert. Dann wird der Sensor um seine eigene Achse gedreht und der Vorgang wiederholt.

Das ganze wird in einer zweiten Richtung der Rotationsachse wiederholt, so dass insgesamt 24 Sensorstellungen zur Auswertung kommen.

Die Vorrichtung erlaubt die Rotation in zwei orthogonalen Richtungen. Die Fixierung in 60° Positionen erfolgt mit Holzstößeln. Eine Drehung des Sensors um die eigene Achse ist zusätzlich möglich. In Tab. 1 findet man als Beispiel das Resultat der Kalibrierung eines der umgebauten Magnetometer.

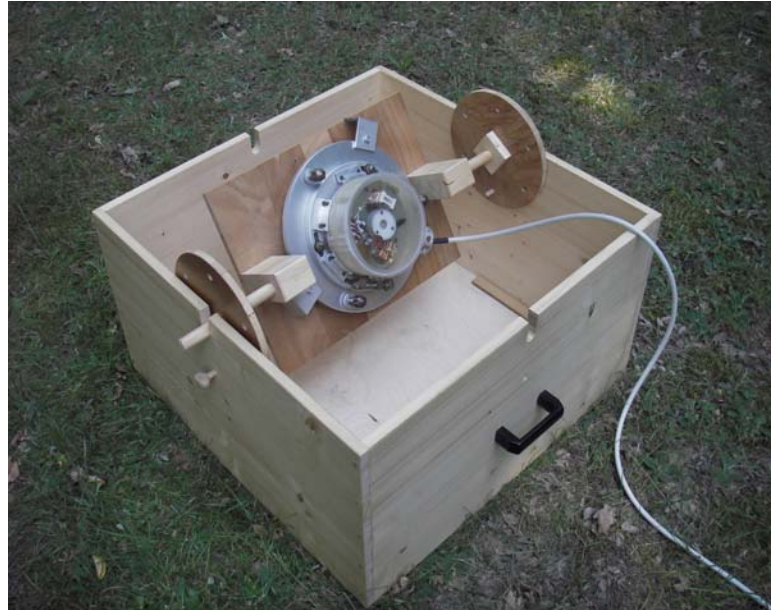


Abb.5 Kalibriervorrichtung

Komponente	X	Y	Z
Offset [nT]	6.2	-4.2	1.9
Skalenfaktor	1.019	0.993	1.001
Orthogonalitätsfehler (normiert)	-0.003	0.011	0.001
Skalenfaktor mit Spule ermittelt	1.009	0.99	0.996

Tab. 1 Kalibrierung MAG 07

4. Zusammenfassung

Die im Observatorium Niemegk neu entwickelte Ansteuerungselektronik für Fluxgate Magnetometer ermöglicht einen rauscharmen Betrieb bei niedrigem Stromverbrauch (1W). Das neue Gehäuse ist wasserdicht und benötigt keine externen Bedienelemente mehr. Nach Anschluss des Sensorkabels und des EDL-Kabels ist das Magnetometer einsatzbereit. (Stromversorgung erfolgt über das EDL-Kabel, aber auch separat möglich). Die Ausrichtung des Sensors erfolgt mit Hilfe eines Voltmeters, das an die BNC-Buchse (links) angeschlossen wird.

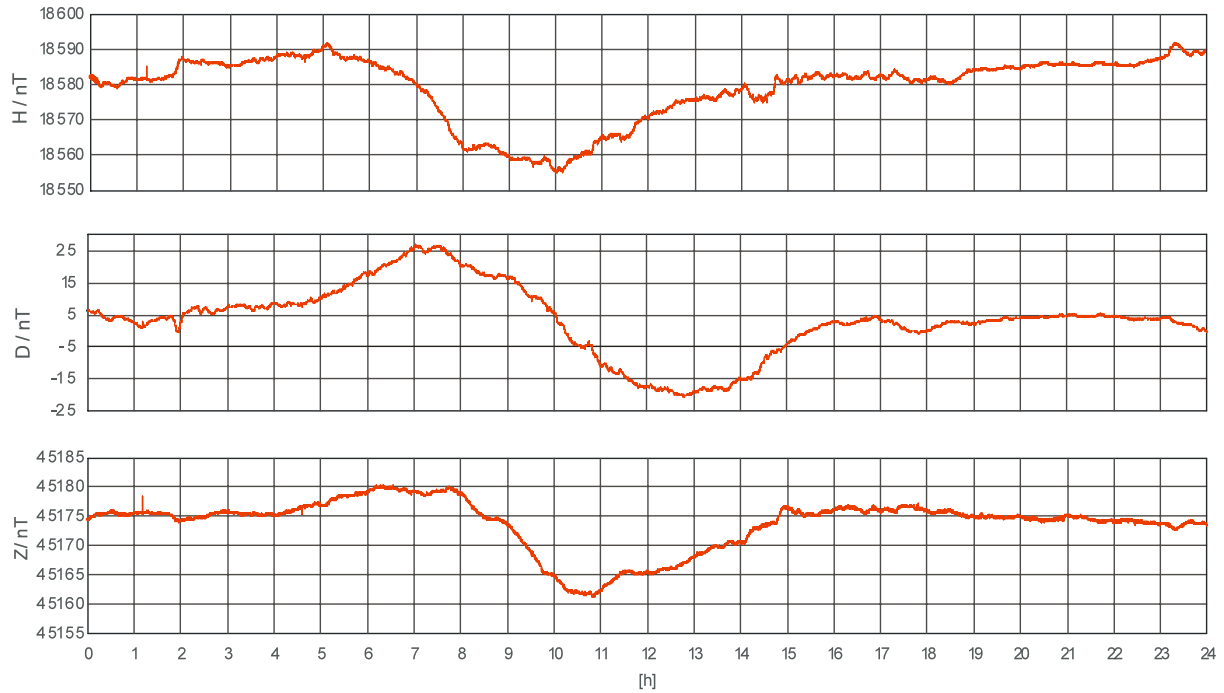
Die Geräte haben sich während zweier Expeditionen bewährt. Eine Registrierung über 24 Stunden und ein Vergleich zum LEMI (ebenfalls ein Magnetometer aus dem GFZ-Gerätepool) findet man in Abb. 6.

Die Elektronik kommt mittlerer Weile auch an Sensoren anderer Hersteller zum Einsatz. Die Anregungsfrequenz kann man einfach verändern.

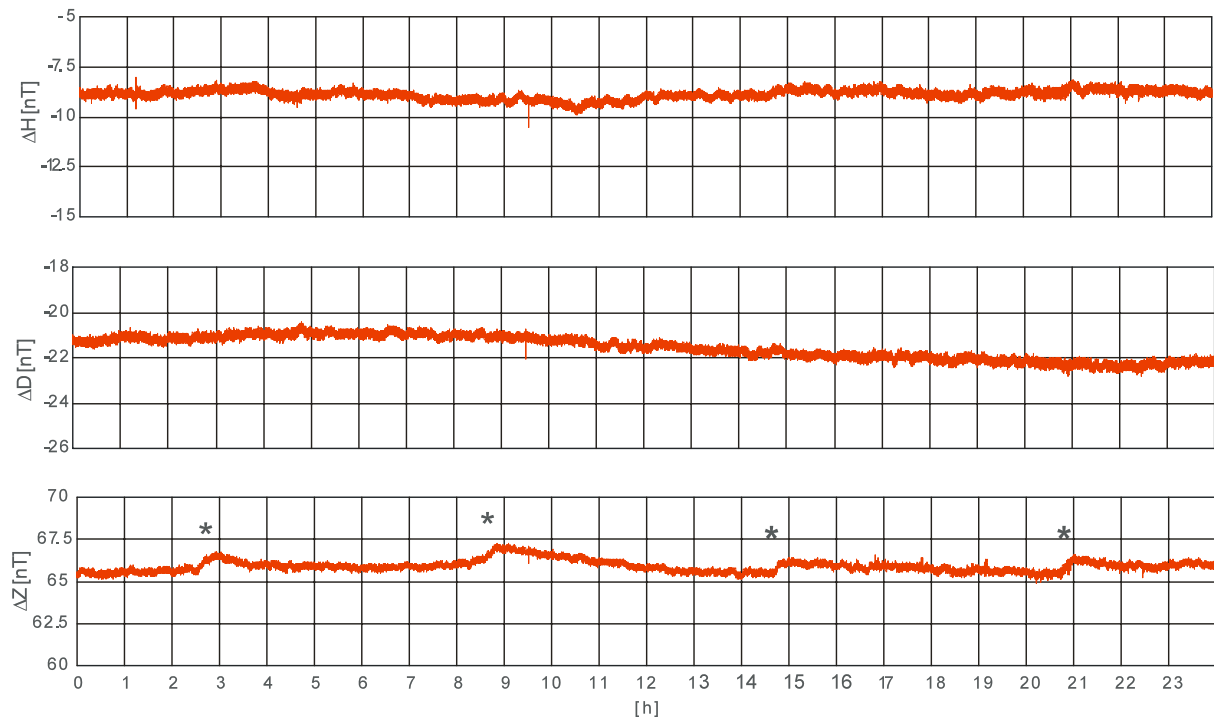
5. Literatur

R. Berkman, B. Bondaruk, V. Korepanov
Advanced Flux-gate Magnetometers with Low Drift
XIV IMECO World Congress 1997 Tampere June pp 121-6

H.U. Auster, K.H. Fornacon, E. Georgescu, K.H. Glassmeier and U. Motschmann
Calibration of flux-gate magnetometers using relative motion
Meas. Sci. Technol. 13 (2002) 1124-1131



a)



* Ursache EDL, Speichervorgang auf Festplatte

b)

Abb. 6 a) Registrierung mit MAG07/ EDL am 21.09.2005 Abtaste 10 samples/ sec (Darstellung ohne jegliche Filterung)
 b) Mag07 (EDL 3 Kanal) –LEMI09 (EDL 6 Kanal) am 21.09.2005 Abtaste 10 samples/ sec