



# Gradientenkalibrierung für aeromagnetische Messungen

C. Kulüke<sup>1</sup>, C. Virgil<sup>1</sup>, J. Stoll<sup>2</sup>, A. Hördt<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Technische Universität Braunschweig | Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, <sup>2</sup>Mobile Geophysical Technologies  
 c.kulueke@tu-braunschweig.de | Telefon +49 (0) 531 391-5228

### Einleitung

Dreikomponentige Fluxgate-Magnetometer benötigen neue Kalibrierparameter, die zum Beispiel anhand von Relativdrehungen zwischen Sensor und Erdmagnetfeld bestimmt werden können. Auster et al. (2002) liefern dafür eine entsprechende Methode für ein bekanntes, homogenes Hintergrundfeld. Die Gradientenkalibrierung mit zwei Sensoren ist eine Erweiterung dieser Methode, bei der neben den beiden Totalfeldern die Komponentengradienten angepasst werden. Diese Methode bringt jedoch vor allem in der Aeromagnetik spezielle Anforderungen mit sich, die berücksichtigt werden müssen. Dies ist neben der relativen Orientierung der beiden Sensoren der Einfluss des Trägersystems. Dieser lässt sich nur im Flug vollständig bestimmen, sodass eine sogenannte „In-Flight“-Kalibrierung durchgeführt werden muss.



- ### Anforderungen
- Vollständige Kalibrierung der Sensoren (Skalenfaktoren, Offsets, Winkelfehler) unter Berücksichtigung der magnetischen Anomalien der Drohne (induziert, remanent, elektrisch)
  - Bestimmung der relativen Orientierung der Sensoren zueinander
  - Reduktion der Abweichungen in den Komponentengradienten
  - Berücksichtigung des Induktionseffekts

### Mathematische Beschreibung

Die allgemeine Formel für die Kalibrierung lässt sich schreiben als

$$\vec{B}_{cal} = \underline{\omega} \underline{\sigma} (\vec{B}_{raw} - \vec{B}_{off} + \Delta \vec{B}_{ind})$$

mit den Skalenwerten  $\underline{\sigma}$  und den Fehlwinkeln  $\underline{\omega}$ . Für den zweiten Sensor wird diese Transferfunktion erweitert um eine Drehmatrix  $\underline{R}$ , um die relative Lage der Sensoren zueinander zu bestimmen.

Die Zielfunktion  $\Phi$  berücksichtigt die Totalfelder der einzelnen Sensoren sowie die Gradientenkomponenten zwischen den Sensoren, das heißt man minimiert den Term

$$\Phi = \left( \begin{array}{c} \left\| \vec{B}_{ref} - \underline{\omega} \underline{\sigma} (\vec{B}_{1,raw} - \vec{B}_{1,off} + \Delta \vec{B}_{ind}) \right\| \\ \left\| \vec{B}_{ref} - \underline{R} \underline{\omega} \underline{\sigma} (\vec{B}_{2,raw} - \vec{B}_{2,off} + \Delta \vec{B}_{ind}) \right\| \\ \left\| \begin{pmatrix} \vec{B}_{1,cal} - \underline{R} \vec{B}_{2,cal} \\ \vec{B}_{1,cal} - \underline{R} \vec{B}_{2,cal} \\ \vec{B}_{1,cal} - \underline{R} \vec{B}_{2,cal} \end{pmatrix}_x \\ \begin{pmatrix} \vec{B}_{1,cal} - \underline{R} \vec{B}_{2,cal} \\ \vec{B}_{1,cal} - \underline{R} \vec{B}_{2,cal} \\ \vec{B}_{1,cal} - \underline{R} \vec{B}_{2,cal} \end{pmatrix}_y \\ \begin{pmatrix} \vec{B}_{1,cal} - \underline{R} \vec{B}_{2,cal} \\ \vec{B}_{1,cal} - \underline{R} \vec{B}_{2,cal} \\ \vec{B}_{1,cal} - \underline{R} \vec{B}_{2,cal} \end{pmatrix}_z \end{array} \right)$$

### Berücksichtigung der Induktion

In den im Sensor verbauten Spulen wird bei einer Feldänderung eine Spannung induziert, die das Messsignal beeinflusst. Dieser Effekt kann im Totalfeld Anomalien von einigen Zehner Nanotesla hervorrufen. Die Kompensation dieses Einflusses erfolgt vor der Kalibrierung über

$$\Delta \vec{B}_{ind} = -\int \frac{d\vec{B}_{raw}}{dt}$$

### Literatur

Auster, H. U. et al. (2002). „Calibration of flux-gate magnetometers using relative motion“. In: *Measurement science and technology* 13,7, S. 1124–1131.

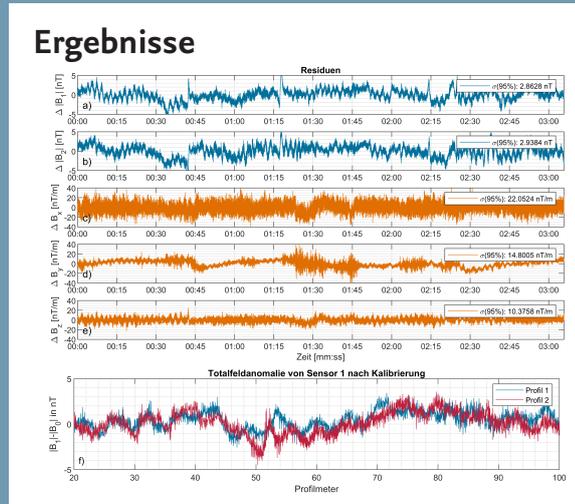


Abbildung 2: Residuen der Gradientenkalibrierung im Profilflug. a) und b) zeigen die Residuen der Totalfelder der beiden Sensoren in nT, c) bis e) zeigen die Residuen der Komponentengradienten in nT/m. f): Darstellung der Restanomalie über der Profilkordinate für Hin- und Rückprofil. Die Residuen in a) und b) sind dominiert durch räumliche Variationen.

- Durchführung einer gleichzeitigen Kalibrierung mehrerer Sensoren im Flug
- Geringe Residuen im Totalfeld  $\lesssim 3$  nT  $\Rightarrow$  Erfolgreiche Bestimmung aller Kalibrierparameter im Flug
- Rauschen in den Gradienten aufgrund von Vibrationen der Aufhängung, ansonsten auch gute Anpassung der Gradienten  $\Rightarrow$  erfolgreiche Reorientierung der Sensoren in ein gemeinsames Koordinatensystem
- Messflug als Datengrundlage  $\Rightarrow$  kein spezieller Kalibrierflug nötig