

Geophysics Report - Magnetics

Durchführung am 24.05.2022

Modul: Geophysik

Betreuer: Prof. P. Dietrich

Team Bierdeckelrechnung

Jonas Weiss -5677984 - B. Sc. Umweltnaturwissenschaften

Felix Ewen - 5473186 - B. Sc. Umweltnaturwissenschaften

Teresa Weis Reyes - 5441419 - B. Sc. Umweltnaturwissenschaften

Sonja Spälter- 5454314 - B. Sc. Umweltnaturwissenschaften

Kai Herrmann - 5749892 - B. Sc. Umweltnaturwissenschaften

Johanna Krastel - 5744884 - B. Sc. Umweltnaturwissenschaften

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Methoden	5
2.1 Overhauser (Proton Magnetometer)	5
2.1.1 Unsicherheiten und Prozessstrategie	5
2.2 Fluxgate Magnetometer (Förstersonde)	5
2.2.1 Unsicherheiten und Prozessstrategie	5
2.3 Erwartungen	6
3 Ergebnisse	6
3.1 Referenzwerte und Korrektur	8
3.2 Halbwertsbreite	9
4 Diskussion	11
5 Fazit	13
6 Appendix	15

1 Einleitung

In der Geophysik gibt es verschiedene Möglichkeiten Anomalien im Untergrund zu detektieren. Dabei handelt es sich beispielsweise um Überreste von Ruinen oder Rohre, die man lokalisieren kann ohne eine Grabung durchführen zu müssen. Je nach Besonderheit der Anomalie wird eine andere Messmethode gewählt. Wenn beispielsweise Dichteunterschiede zwischen der Anomalie und dem Rest des Untergrunds vorliegen, wird die Gravimetrie angewandt.

Eine andere Möglichkeit, Anomalien aus Metall im Untergrund zu finden und zu bestimmen, ist Magnetismus. Hierbei wird die Tatsache genutzt, dass das Magnetfeld der Erde durch das dadurch induzierte oder remanente Magnetfeld des Objektes entweder verstärkt oder abgeschwächt wird. Hierbei hängt die Stärke der Magnetfeldänderung von der Tiefe und der Größe des Objekts, sowie der magnetischen Suszeptibilität des Materials ab.

Im Modul Geophysik wurde ein Feldexperiment zum Thema Magnetismus durchgeführt, dessen Ziel es war eine Gasleitung zu lokalisieren und verschiedene Eigenschaften dieser zu bestimmen. Die Messungen fanden am 24.05.2022 zwischen 15:37 Uhr und 18:06 Uhr statt. Das Wetter am Tag des Versuches war warm und sonnig mit etwas Wind. Die Temperatur betrug in etwa 19 °C.

Die untersuchte Messfläche war ein 20m x 20m großes Messgitter, in welchem im Abstand von 1m gemessen wurde, sodass schlussendlich 441 Messwerte vorlagen. Die Koordinaten der Eckpunkte wurden vor Ort per GPS bestimmt (siehe Abbildung 1b); 1=48.53758°N, 9.03131°E; 2=48.53745°N, 9.03145°E; 3=48.53739°N, 9.03118°E und 4=48.53756°N, 9.03107°E). Das Messgebiet wurde vor Beginn der Messungen mit Hilfe von Maßbändern abgesteckt.

Besonderheiten im Messgebiet waren einige metallische Bauzäune (siehe Abbildung 1a) orangenes Rechteck und Abbildung 2 b)) am nordwestlichen Rand, wie auch ein Holzstapel (siehe Abbildung 2 a)) in fünf bis sieben Metern Entfernung von Punkt eins, dessen genaue Position in Abbildung 1a) mit einem roten Rechteck dargestellt wurde.



Abbildung 1: a) Messstelle mit 20m x 20m Seitenlänge. Das rote Rechteck zeigt den genauen Ort des Holzstapels, das orangene die Stelle, an der die Bauzäune standen; b) GPS Koordinaten der Eckpunkte der Messfläche des Magnetometer-Versuchs



Abbildung 2: a) Holzstapel am südöstlichen Straßenrand zwischen $x = 0\text{m}$ und $x = 2,5\text{ m}$; b) NNW-Seite des Messabschnitts mit Baumaterial rechts davon

Wie bereits erwähnt war das Ziel des Feldexperiments eine Gasleitung zu detektieren. Die Fragen, die im Folgenden eingehender diskutiert werden, lauten: Wo genau liegt diese Gasleitung? Wie tief liegt die Gasleitung und wie genau sieht sie aus? Es gibt mehrere Magnetometer, mit denen das Magnetfeld bzw. die Magnetfeldänderungen gemessen werden können. Am Versuchstag wurden das Overhauser- und das Fluxgate Magnetometer verwendet, welche in den Methoden genauer vorgestellt werden.

2 Methoden

2.1 Overhauser (Proton Magnetometer)

Mithilfe des Overhauser Magnetometers kann die totale Feldstärke eines Magnetfeldes gemessen werden. Dabei wird genutzt, dass die atomeigene Präzessionsfrequenz von Wasserstoffatomen innerhalb eines externen Magnetfeldes proportional zum Betrag dieses Magnetfeldes ist. Über die Messung des durch die Präzession verursachten Stromes kann nun die Präzessionsfrequenz und somit die Feldstärke bestimmt werden. Die Richtung des Magnetfeldes hat allerdings keinen Einfluss auf die Präzessionsfrequenz [1].

2.1.1 Unsicherheiten und Prozessstrategie

Das Magnetfeld der Erde ist über die Dauer der Messung nicht konstant. Deshalb ist es notwendig, circa alle 5 Minuten die totale Feldstärke des Erdmagnetfeldes an einem außerhalb des Messbereiches liegenden Referenzpunkt zu messen. Die zeitliche Änderung des Erdmagnetfeldes kann dann in die Auswertung mit einfließen.

Weiter verfälschen Magnetfelder in der Umgebung des Messbereiches die Messung. Um etwaige Anomalien erklären zu können, müssen deshalb metallische Gegenstände im Bereich der Messung berücksichtigt werden. Die Messgenauigkeit des Overhauser Magnetometers beträgt 0.1 nT [2].

2.2 Fluxgate Magnetometer (Förstersonde)

Die Funktionsweise des Fluxgate Magnetometers beruht auf dem Faradayschen Induktionsgesetz. Nach diesem Gesetz erzeugt die Änderung eines durch eine Leiterschleife fließendes Magnetfeld einen Strom in dieser. Durch Messung des Stromes kann die Magnetfeldstärke bestimmt werden. Da die Leiterschleifen der Förstersonde in z-Richtung ausgerichtet sind, misst diese nur die Feldstärke der z-Komponente des Magnetfeldes. Um unabhängig von der zeitlichen Variation des Erdmagnetfeldes zu sein, hat die Förstersonde 2 parallel zueinander ausgerichtete Leiterschleifen. Die Differenz der beiden Magnetfelder an den Orten der Leiterschleifen ist das Messergebnis der Förstersonde [1].

2.2.1 Unsicherheiten und Prozessstrategie

Die z-Komponente externer Magnetfelder hat Einfluss auf die Messung. Um etwaige Anomalien erklären zu können, müssen deshalb etwaige metallische Gegenstände im

Bereich der Messung berücksichtigt werden. Die Förstersonde kann mit einer Genauigkeit von 0.1 nT messen [3].

2.3 Erwartungen

Es wird eine Superposition des Erdmagnetfeldes mit der Anomalie erwartet. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass das induzierte Magnetfeld dem remanenten Magnetfeld des Rohres deutlich überwiegt. Das magnetische Moment der Anomalie wäre in diesem Fall parallel zum Erdmagnetfeld. Da eine Gasleitung detektiert werden soll, die als eine Verbindung der Gasversorgung zwischen 2 Orten dient, ist zu vermuten, dass die Leitung, wie auch ihre Anomalie, durchgehend durch das Messfeld verläuft. Zudem sollte das Magnetfeld im Inneren des Rohres über dessen gesamte Länge ein Maximum aufweisen und radial zu den Seiten hin abfallen. Außerdem sollte das Rohr parallel zur Erdoberfläche verlegt sein.

Abgesehen von der Anomalie durch das Rohr werden noch andere Anomalien aufgrund von weiteren metallischen Gegenständen erwartet. Zum Beispiel durch im Messbereich entsorgten Abfall. Die vermutete Tiefe des Rohrs liegt bei ca. 70 cm bis 120 cm unter Flur [4].

3 Ergebnisse

Im Feldexperiment wurden mit beiden Magnetometern Messreihen durchgeführt und deren Rohdaten im Anschluss mit Matlab graphisch dargestellt. Abbildung 3a) zeigt die geplotteten Rohdaten des Overhauser-Magnetometers. Diese weisen eine starke Anomalie im Bereich von 8 m bis 14 m in x-Richtung am unteren Rand des Messgebiets auf, an welchem die metallischen Absperrzäune standen. Da das Ziel der Messungen darin besteht eine Anomalie im Untergrund zu detektieren, wurden die ersten beiden Messreihen mit dem Wert $y = 0$ m und $y = 1$ m aus dem Datensatz entfernt. In dem daraus resultierenden Plot (Abbildung 3b)) ist ein deutliches Maximum an Punkt (20/8) und Minimum an Punkt (6/6) der Messwerte sichtbar. Es wird angenommen, dass das Rohr durch diese beiden Extrempunkte verläuft, was Abbildung 3c) verdeutlicht.

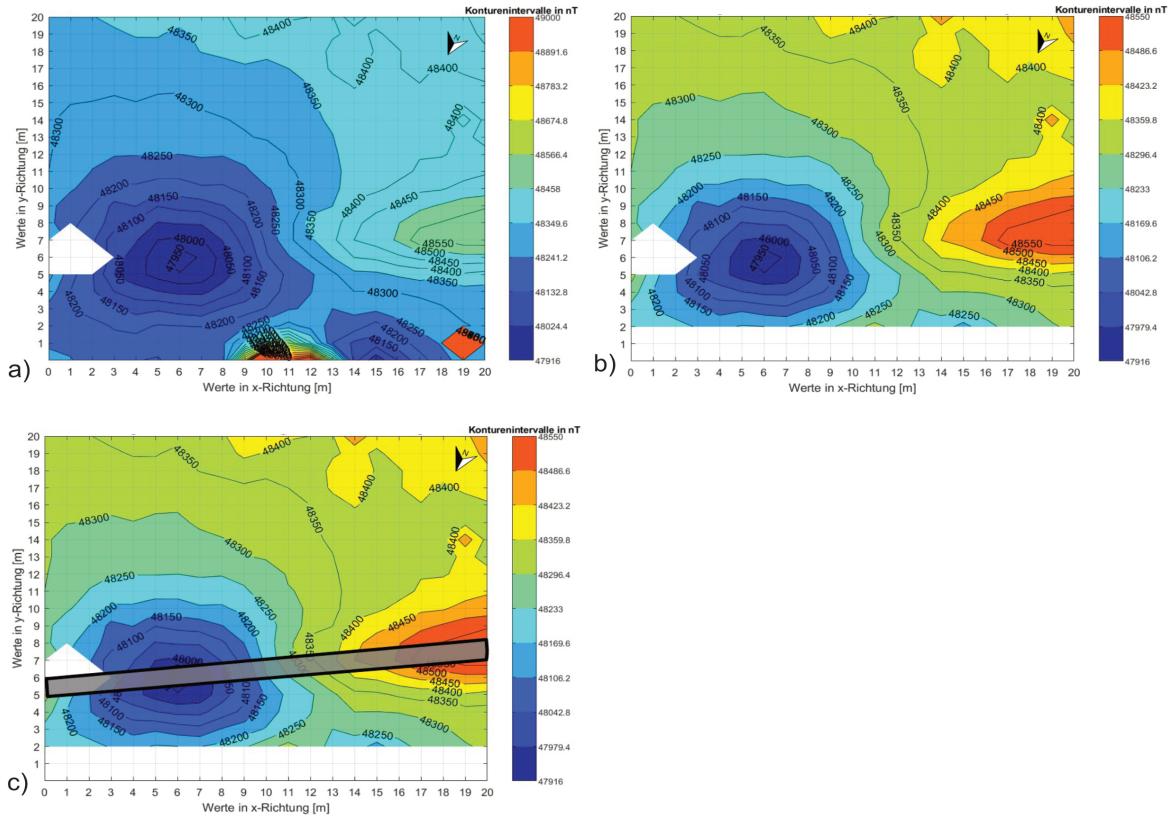


Abbildung 3: **Darstellung der gemessenen Daten des Overhauser-Magnetometers;** a) gemessene Rohdaten der gesamten Messfläche, der Bereich ohne Daten kennzeichnet den Holzstapel; b) gemessene Daten ohne die ersten zwei Messreihen in x-Richtung; c) Vermutete Position der Gasleitung

Anschließend wurden die Rohdaten der Messungen mit dem Fluxgate-Magnetometer graphisch dargestellt (Abbildung 4). Auch hier weisen die Messwerte, wie in Abbildung 4a) ersichtlich, eine starke Anomalie am unteren Rand des Messgebiets auf. Diese wurden ebenfalls entfernt und die vermutete Position des Rohrs eingezeichnet (Abbildung 4b)).

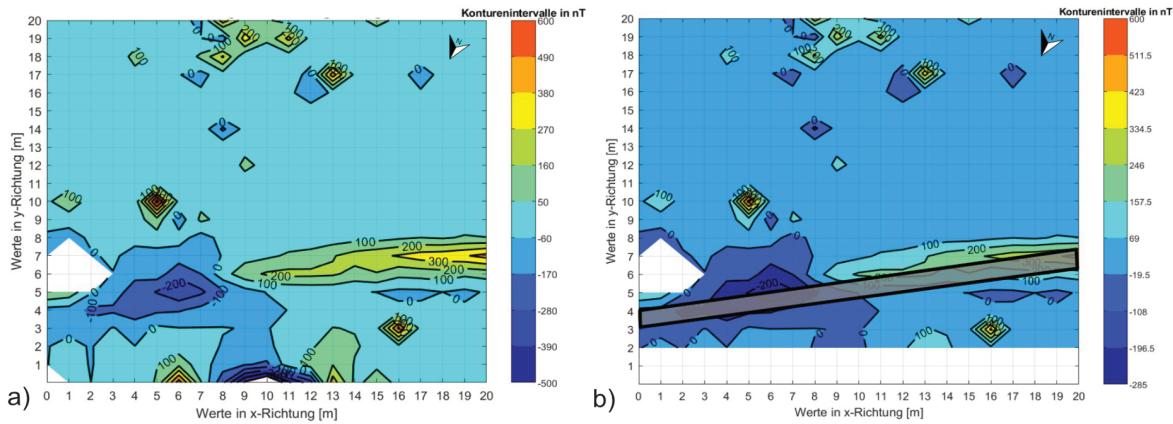


Abbildung 4: **Geplottete Messdaten der Messung mit dem Fluxgate Magnetometer.** a) Rohdaten des gesamten Messgebiets; b) gemessene Daten ohne die zwei ersten Reihen in x-Richtung, sowie vermutete Position des Leitungsrohrs

3.1 Referenzwerte und Korrektur

Mit dem Overhauser-Magnetometer wurde die Superposition des Erdmagnetfeldes mit dem Magnetfeld des Rohres gemessen, sodass mögliche zeitliche Schwankungen des Erdmagnetfeldes die vorhandene Anomalie verfälschen könnten. Daher wurden nach jeder Reihe an einem definierten Referenzpunkt, welcher sich außerhalb des Messgitters befand, mit dem Overhauser-Magnetometer Referenzwerte gemessen. Anhand dieser kann beurteilt werden, ob eine Korrektur der Rohdaten nötig ist. Abbildung 5 a) zeigt die Referenzwerte über den Messzeitraum. Hierbei fallen maximale Änderungen von $\Delta R \approx 50$ nT auf. Nach dem Abziehen des Erdmagnetfeldes schwankt die Anomalie in einem Bereich von ca. -400 nT bis 250 nT. Dies entspricht einer Änderung von $\Delta A \approx 650$ nT. Somit würde ohne Korrektur folgender Fehler auftreten:

$$\frac{\Delta R}{\Delta A} \approx \frac{50 \text{ nT}}{650 \text{ nT}} = 0.077 \hat{=} 7.7 \%$$

Dies würde, im Verhältnis zu der Anomalie des Rohres, einen Fehler von 7.7 % bedeuten, was die Messgenauigkeit signifikant beeinträchtigen würde. Aus diesem Grund wurden die Rohdaten korrigiert, indem die Referenzwerte abgezogen wurden, was in Abbildung 5 b) dargestellt ist.

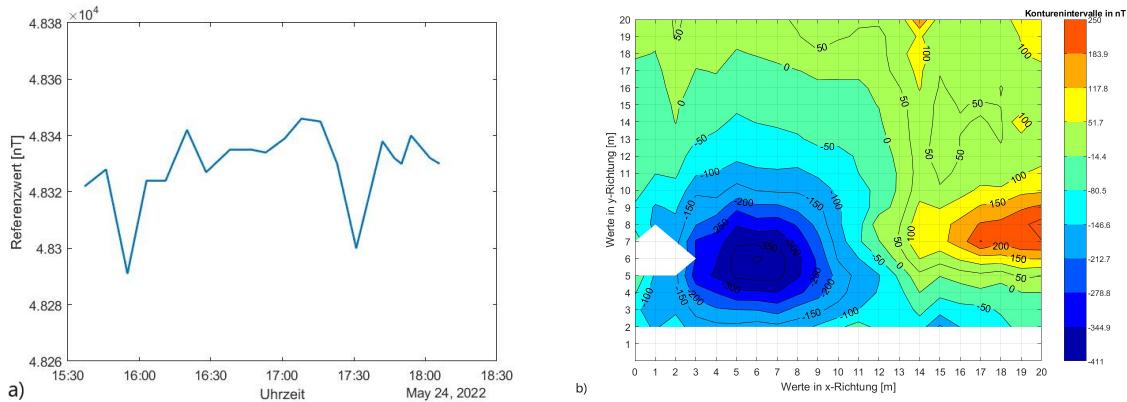


Abbildung 5: **Referenzmessungen** a)gemessene Referenzwerte des Overhauser-Magnetometers nach jeder Reihe. b) mit Referenzwerten korrigierte Daten des Overhauser-Magnetometers

3.2 Halbwertsbreite

Aufgrund der deutlicher ausgeprägten Anomalie bei den Daten mit dem Overhauser-Magnetometer, werden diese verwendet um die Tiefe des Rohrs abzuschätzen.

Um die Halbwertsbreite der Peaks zu bestimmen, wurden aus den Daten die Spalten mit dem höchsten, bzw. niedrigsten Wert gesucht. Um in jedem Plot nur ein lokales Minimum bzw. Maximum erkennen zu können, wurden die Werte in y-Richtung ausgelesen.

Das Minimum lag hierbei bei $x = 20$ m, das Maximum bei $x = 6$ m. Die Halbwertsbreite entspricht der Breite des Peaks auf Höhe der Hälfte des Maximal bzw. Minimalwertes.

Für diese Auswertung wurden die um die Referenzwerte korrigierten Daten genutzt.

Um die Halbwertsbreite aus der Abbildung besser abschätzen zu können, wurden die Daten interpoliert.

Abbildung (6) zeigt die gemessene Anomalie für die Reihen mit dem Minimum und Maximum, welche nach Abzug der Referenzwerte über die y-Koordinaten des Messfeldes geplottet wurden.

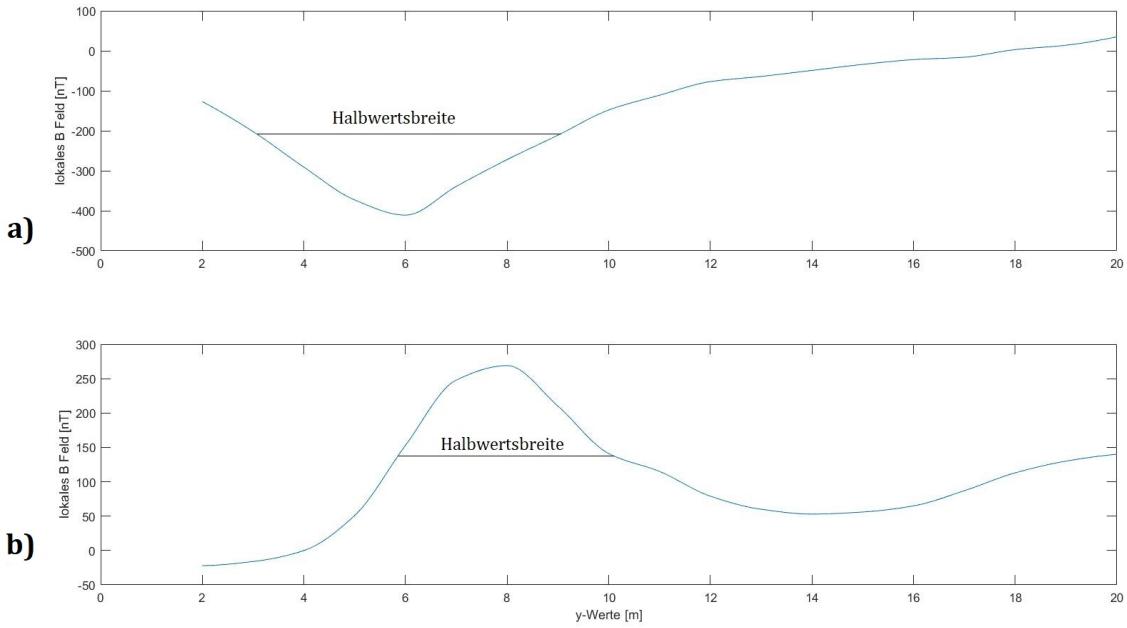


Abbildung 6: **Magnetfeldmessungen in y - Richtung.** x- Achse: y- Werte der Messung, y- Achse: lokales B- Feld (gemessenen Feld abzüglich der Referenzmessungen). a) für das Minimum der Messung, b) für das Maximum der Messung.

Für die Tiefe des Objekts (d) und die Halbwertsbreite (HW) gilt laut dem Vorlesungs- skript folgender Zusammenhang:

$$d \sim HW$$

In Abbildung 6 wird ersichtlich, dass die Halbwertsbreiten der beiden Peaks nicht gleich groß sind. Zudem ist in Abbildung 5 die Anomalie am Rand des Messgitters. Dies lässt vermuten, dass das Maximum in Abbildung 5 nicht vollständig in dem gemessenen Feld liegt. Für die Auswertung wurde daher nur die Halbwertsbreite des Minimums aus Abbildung 6 a) berücksichtigt.

Die Halbwertsbreite des Minimums in Abbildung 6 a) ist in etwa 6 Meter. Da es sich bei dem Zusammenhang zwischen Tiefe und Halbwertsbreite nur um eine Abschätzung handelt, ist eine genauere Bestimmung der Halbwertsbreite nicht notwendig.

4 Diskussion

Die Anomalie des gemessenen Magnetfeldes entspricht nicht den zuvor in 2.3 besprochenen Erwartungen. Während das Magnetfeld eines modellierten Rohres mit induziertem Magnetfeld von innen nach außen senkrecht zur Längsachse abnimmt (s. Abbildung 8), weist die gemessene Anomalie zwei Extrempunkte auf.

Aus der Lage der beiden Extrempunkte wird geschlossen, dass kein induziertes Magnetfeld vorliegt, da hier die Extrempunkte entlang des Erdmagnetfelds (Süd- Nord) liegen würden. Dass die Extrempunkte ungefähr in Ost-West Richtung liegen, lässt darauf schließen, dass es sich bei der Anomalie um einen remanenten Magneten handelt.

Möglicherweise liegt hierbei eine Leitung vor, die aus mehreren Segmenten besteht, die jeweils einen eigenen Dipolcharakter aufweisen (siehe Abbildung 7b)). In diesem Fall käme es zu einer Überlagerung der remanenten Magnetfelder. Eine weitere Erklärung wäre, dass es sich nur um einen in etwa 14 m langen Rohrabschnitt handelt (vgl. Abbildung 7a)). In beiden Fällen würden die einzelnen Rohrsegmente einen Dipolcharakter mit Polen an den Enden aufweisen.

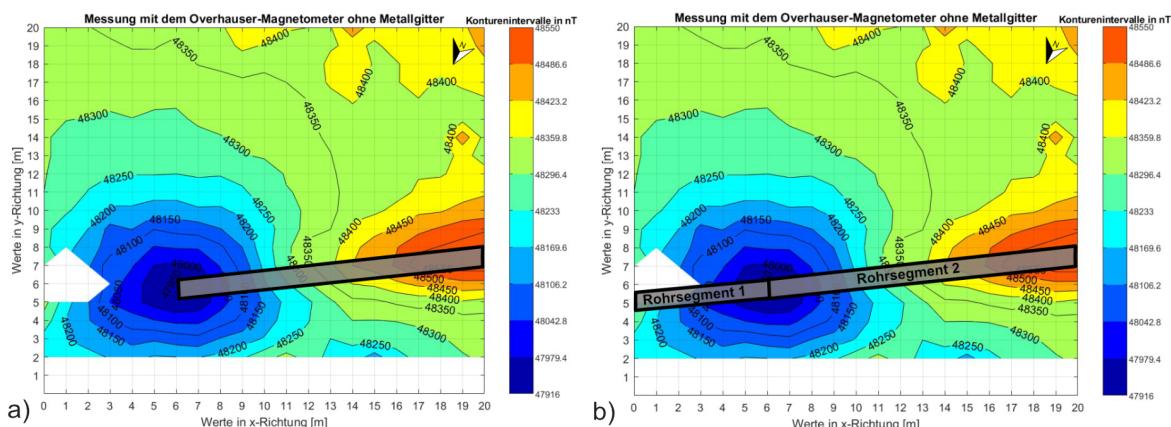


Abbildung 7: **Erklärungsmöglichkeiten für das gemessene Magnetfeld** a) 14 m langes Rohr mit Dipolcharakter; b) Gasleitung, die aus mehreren Segmenten besteht.

Des Weiteren wurde über die Halbwertsbreite die Tiefe des Rohres bestimmt. Dieses liegt den Ergebnissen der graphischen Darstellung zufolge in etwa 6 m Tiefe. Dies erscheint sehr viel, da in den Erwartungen von einer Tiefe von ca. einem Meter ausgegangen wurde. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass die negative Anomalie von zwei überlagerten Polen verursacht wird, welche von den Enden zweier aneinander gefügten Rohrsegmenten

ten stammen. Somit verstört sich die Anomalie, und die Halbwertsbreite entspricht nicht mehr der tatsächlichen Tiefe des Objektes.

Beide Messmethoden lieferten, die Position der Gasleitung betreffend, ähnliche Ergebnisse. Der Hauptunterschied liegt darin, dass bei den Messungen mit dem Fluxgate-Magnetometer noch weitere kleinere Anomalien im Untergrund detektiert wurden. Dies kann darauf zurckgefrt werden, dass das Fluxgate-Magnetometer einen Gradienten misst. Aus diesem Grund ist es sensitiver für die Detektion von magnetischen Anomalien nahe der Oberfche. Je nachdem wie tief das zu messende Objekt liegt, können die gemessenen Anomalien ungenauer erfasst werden als mit dem Overhauser-Magnetometer.

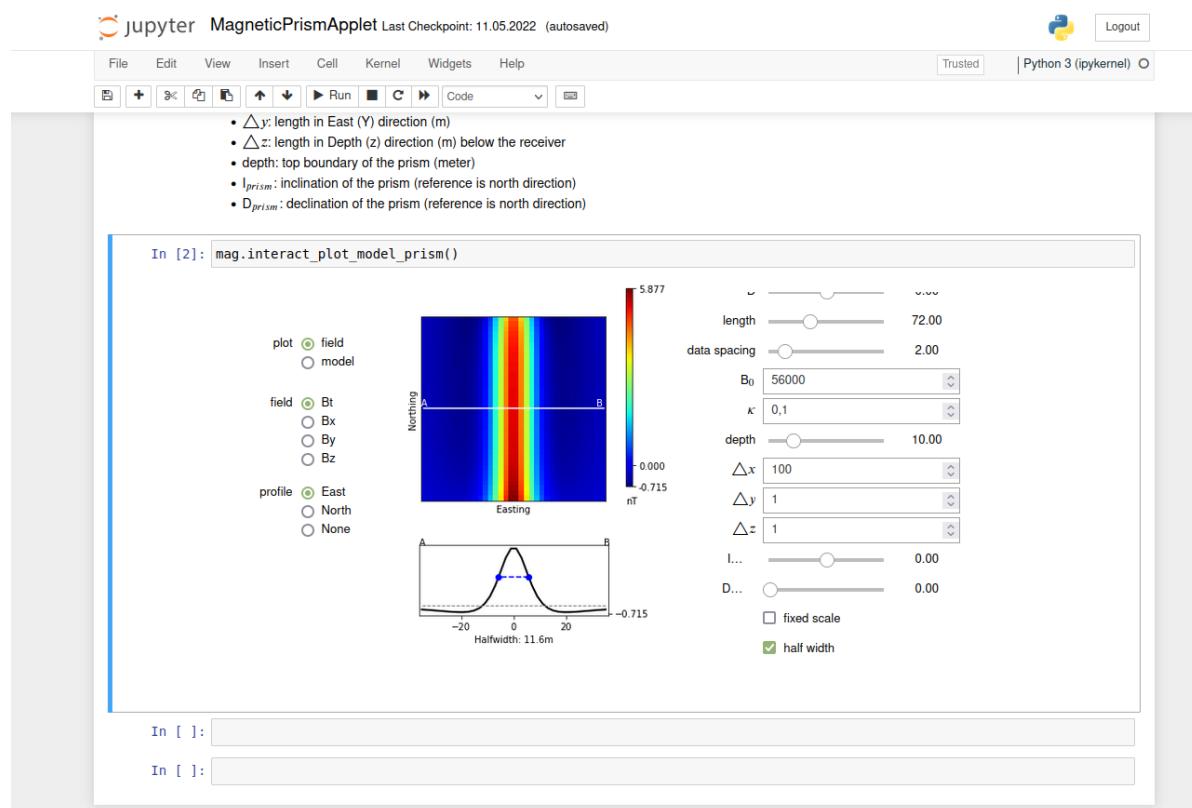


Abbildung 8: Modellierung des induzierten Magnetfeldes eines Rohrs im Untergrund

5 Fazit

Ziel des Feldexperiments war es die genaue Lage, wie auch die Tiefe einer Gasleitung im Untergrund zu detektieren. Hierzu wurden Messungen mit einem Overhauser- und einem Fluxgate-Magnetometer durchgeführt. Mithilfe der erhobenen Messdaten wurde die Lage des Rohres bestimmt. Dieses ist in nordwestlicher Richtung orientiert. Es besteht die Annahme, dass das magnetische Moment eines induzierten Magnetfeldes immer in Richtung des externen Feldes ausgerichtet ist. Dies würde im Erdmagnetfeld einer Ausrichtung nach Norden entsprechen, was bei der vorliegenden Gasleitung nicht der Fall ist. Aus diesem Grund wurde angenommen, dass es sich bei der Anomalie um ein remanentes Magnetfeld handelt.

Eine weitere Auffälligkeit besteht in der Tatsache, dass das Magnetfeld des Rohres eher dem eines Dipols gleicht. Mögliche Erklärungen hierfür wären die Überlagerung der Magnetfelder mehrerer Rohrsegmente oder das Vorliegen eines einzelnen Rohrabschnitts mit Dipolcharakter im Untergrund.

Die Tiefe des Rohres wurde mithilfe der Halbwertsbreite bestimmt und beträgt demnach in etwa 6 m. Dies erscheint im Vergleich zu einer üblichen Rohrtiefe von etwa einem Meter sehr groß. Eine Erklärung hierfür wäre die Überlagerung zweier remanenter Dipolfelder, was zu einer Veränderung der Halbwertsbreite führen würde.

Des Weiteren kann aus dem Feldexperiment geschlossen werden, dass sich das Fluxgate-Magnetometer insbesondere für die Detektion oberflächennaher Anomalien eignet. Das Overhauser-Magnetometer hingegen liefert gleichmäßiger verteilte Messwerte mit weniger Ausreißern, was eine klare Abgrenzung der Maximal- und Minimalwerte möglich macht.

Literatur

- [1] Institut für Geowissenschaften UNI Jena. Geophysikalisches laborpraktikum. pdf, November 2012. Online erhältlich unter <https://www.igw.uni-jena.de/igwmedia/geophysik/pdf/geomagnetik-neu.pdf>; abgerufen am 05.06.2022.
- [2] M.; Bosbach B.; Klügel A. Dodeneck, T.; Müller. Feld- und marine magnetik. Webseite, 2020. <http://www.geophysik.uni-bremen.de/page.php?pageid=636&langid=DE>; abgerufen am 05.06.2022.
- [3] Foerstergroup. Magnetoscop 1.069. pdf, 2014. Online erhältlich unter https://www.fluxgate-magnetometer.com/es/assets/foerster/media/Downloads/Magnetoscop%201.069/1069_GB_DE_REV0114.pdf; abgerufen am 05.06.2022.
- [4] Stadtwerke Lindau. Merkblatt zum schutz unterirdischer versorgungsleitungen. pdf, April 2018. Online erhältlich unter <https://www.sw-lindau-netz.de/mediathek/downloads/merkblatt-fuer-unterirdische-versorgungsleitungen>; abgerufen am 05.06.2022.

