

Lösungsansatz zur Suche von ferromagnetischen Metallen

Ein Beitrag von
Dr. Manfred Grigo
Uwe Ulrich



Bx Component



Aufgabenstellung

Nutzung der ferromagnetischen Eigenschaften von Objekten

- Erfassung der Abschattung des Erdmagnetfelds (z. Bsp. bei Munitionssuche)
- Erfassung einer magnetischen Signatur bei aktiven Geometrien (z. Bsp. bestromte Leiterplatte)

Folgende Herausforderungen:

- die zu messende Größe des Magnetfeldes liegt im Bereich von einigen Nano Tesla. Dementsprechend sind kleine Nutzsignal/Rauschverhältnisse, infolge des elektronischen Rauschens zu erwarten.
- Das Erdmagnetfeld stellt ein Problem hinsichtlich seiner dynamischen Veränderungen und seines Rauschens dar. Das stellt jedoch im Sinne einer Fehlerbetrachtung einen systematischen Fehler dar (das gilt nur in einem räumlich begrenzten Bereich).
- aktive magnetischen Störquellen
- wesentliche Störeinflüsse, die durch ferromagnetische Materialien (passiv im Sinne durch einfaches Vorhandensein) wirksam werden.

Vorteile:

- passives System (keine externe Energie notwendig)
- keine Bewegung notwendig (funktioniert statisch)

Aufgaben

1. Lokalisierung, Identifikation und Datenerfassung in zwei Koordinaten (Länge- und Breitengrad, jedoch nicht die Entfernung vom Messort zum Objekt) von optisch nicht sichtbaren verdeckten Objekten (z. B. Rohrleitungssysteme im Erdreich)
 - von einem ortsfesten magnetisch markierten Objekt mittels beweglicher Detektoren
 - von einem beweglichen magnetisch markierten Objekt mittels ortsfester Detektoren
2. Lokalisierung, Identifikation und Datenerfassung in allen drei Koordinaten (Länge- und Breitengrad wie unter Pkt. 1 sowie Entfernung vom Messort zum Objekt) von optisch nicht sichtbaren verdeckten Objekten (z.B. bewegliche Unterwassermessbojen im Flachwasserbereich, die durch Strömungen eine Ortveränderung vollziehen).
3. Detektion von verdeckten oder nicht verdeckten ferromagnetischen Objekten. Des Weiteren soll auf Basis der hochauflösenden Erfassung der Beeinflussung des Erdmagnetfeldes durch das ferromagnetische Objekt dieses selbst in seiner Oberflächenstruktur erkannt werden.
4. Detektion von schnellbeweglichen verdeckten oder nicht verdeckten Objekten.

Stand der Technik

Um verdeckte Objekte, Rohrleitungen, Waren in Containern, Unterwassergeräte etc., zur Lokalisierung und ggf. Informationen über sie zu erfassen sind folgende Messmethoden bekannt:

- Akustische Messverfahren – z. B. Ultraschallortungsverfahren
- Messverfahren auf Basis von elektromagnetischen Wellen – z. B. Radar, RFID
- Messverfahren mittels Magnetfeld Sensorik
- Radioaktive Markierung

Kenngrößen

Der Dauermagnet ist durch folgende Kenngrößen charakterisiert:

Remanenz

Mit Remanenz bezeichnet man die Flussdichte \vec{B} , die ohne äußeres Feld auftritt. Ihr Wert ist an der Hysteresekurve ablesbar als der Wert von \vec{B} bei der Feldstärke $\vec{H} = 0$.

Koerzitivfeldstärke

Die Feldstärke, die aufgewendet werden muss, um den Magneten vollständig zu entmagnetisieren (Flussdichte $\vec{B} = 0$) ist Schnittpunkt der Hysteresekurve mit der Achse der Feldstärke \vec{H} . Je größer die Koerzitivfeldstärke, desto größer ist die Beständigkeit des Magneten gegen Entmagnetisierung durch äußere Felder.

Energiedichte

Das Energieprodukt, auch $\vec{B} \cdot \vec{H}$ -Produkt genannt, ist die gesamte im Magneten gespeicherte Feldenergie. Die Energiedichte ist die auf das Volumen des Magneten bezogene magnetische Energie.

Maximale Betriebstemperatur

Während die Curie Temperatur den Punkt des Verschwindens der ferromagnetischen Eigenschaft eines Materials angibt, verschwindet die makroskopische Orientierung der Weiss'schen Bezirke und damit die Dauermagneteigenschaften schon bei deutlich geringeren Temperaturen irreversibel.

Verwendbare Magnete

- Neodym-Eisen-Bor ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$)
- Samarium-Cobalt (SmCo_5 und $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$)
- Samarium-Eisen-Stickstoff ($\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$)

Typische bekannte Magnetfeldsensoren

Induktive Sensoren (Spulen)

Fluxgate-Sensoren

Hall-Sensoren

Magneto-resistive Sensoren (XMR)

SQUID-Sensoren

Idee

- Das avisierte Verfahren dient zur Lokalisierung von vorrangig verdeckten Objekten sowie der automatischen Identifikation und Datenerfassung auf der Basis von Magnetfeldern für relativ große Entfernungsbereiche (einige Meter).
- Anordnung von Magneten in einem Sensor Array.
- Die Erkennungswahrscheinlichkeit des Objektes hängt einerseits von der Magnetflussdichte und andererseits von der ausreichenden räumlichen Auflösung des Magnetfeldes am Magnetsensorarray in einer Entfernung von einigen Metern (mindestens 1 m) vom Objekt ab.
- Für eine praktikable Ausführung sind die Abmessungen und Abstände der Permanentmagnete auf den Objekten entscheidend. So sollten z. B. Permanentmagnete mit einem maximalen Durchmesser von 20 mm zum Einsatz kommen. Die Abstände der Permanentmagneten untereinander sollten auch in dieser Größenordnung liegen.
- Für einige Messungen wird das Erdmagnetfeld selbst als zu bestimmende Messgröße verwendet.

Ergebnisse

- Im Echtzeitbetrieb lässt sich eine relativ große Fläche eines Magnetfeldes mittels einer Magnetfeldsensormatrix erfassen und auflösen.
- Damit können unbekannte verdeckte Objekte gefunden und in gewisser Hinsicht charakterisiert werden.

Auffinden von ferromagnetischen Objekten

Mittels der Sensormatrix kann die Veränderung des Erdmagnetfeldes durch das ferromagnetische Objekt soweit ermittelt werden, dass die Umriss- u. ggf. Struktur der Oberfläche des Objektes dargestellt werden.

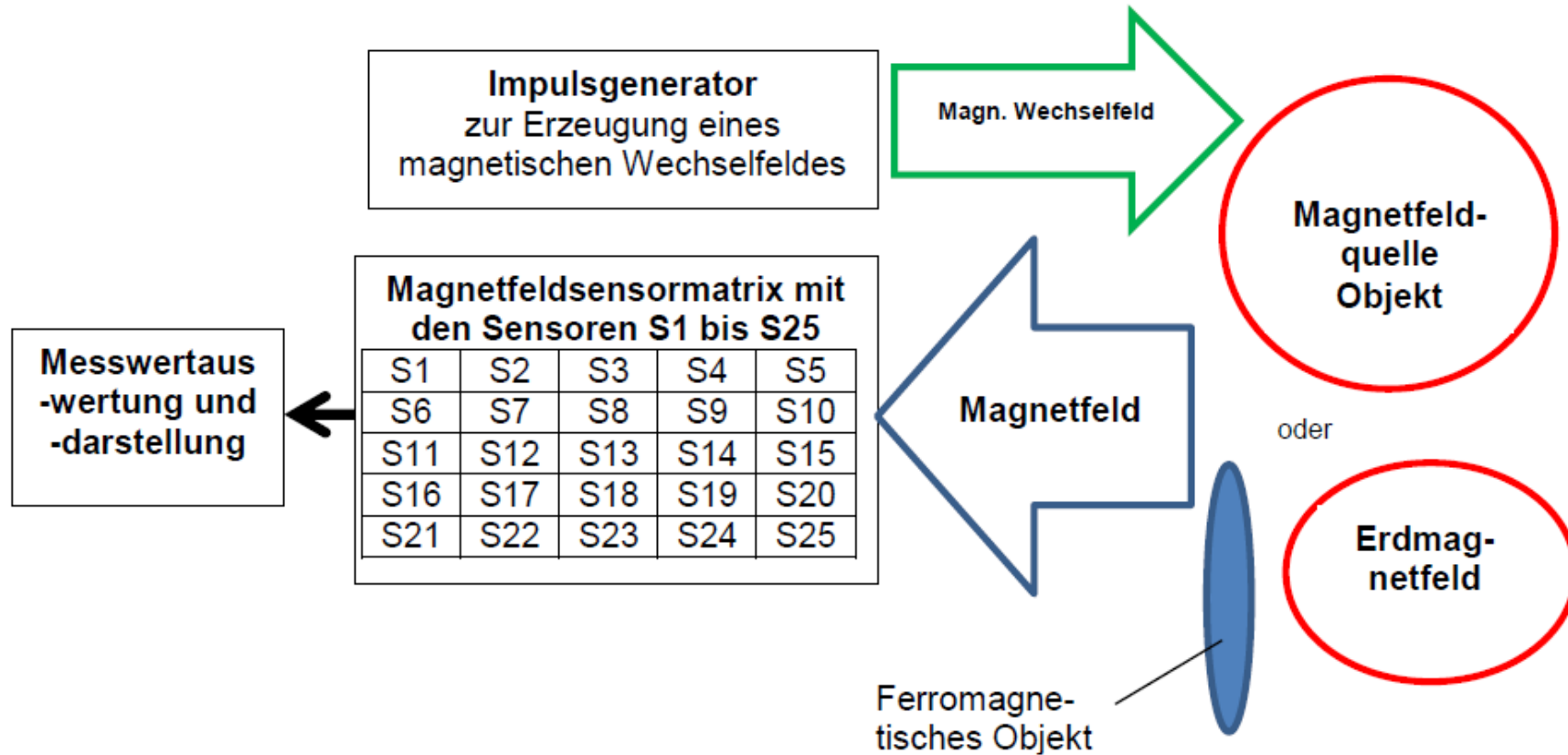
Auffinden von Objekten, die ein Magnetfeld aufweisen

Mittels der Sensormatrix kann das charakteristische Magnetfeld eines stromführenden Kabels in einer relativ großen Entfernung (ca. 2 m) mit großer Wahrscheinlichkeit mit relativ geringem Zeitaufwand erfasst werden.

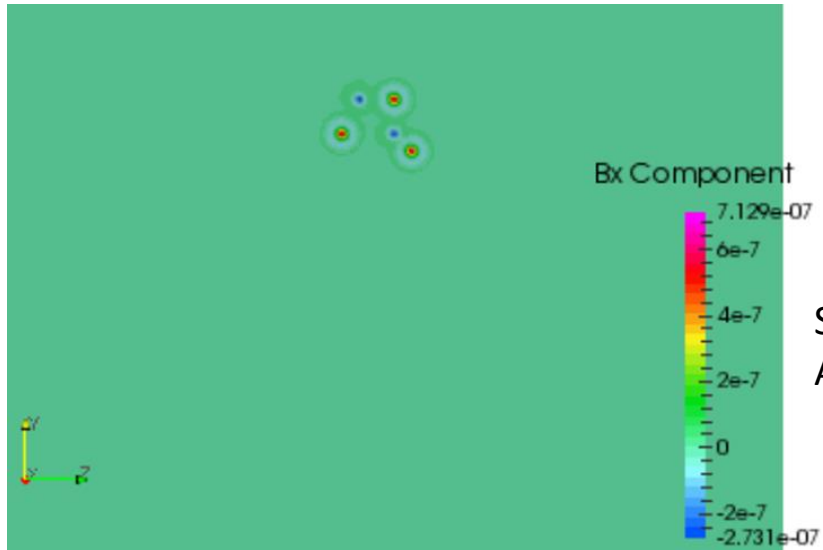
Auffinden von elektrisch leitenden Objekten

Um elektrisch leitende Objekte, wie z.B. nichtferromagnetische Metalle, mittels einer Magnetfeldsensor-Matrix zu erkennen, muss erst in ihnen ein Magnetfeld erzeugt werden.

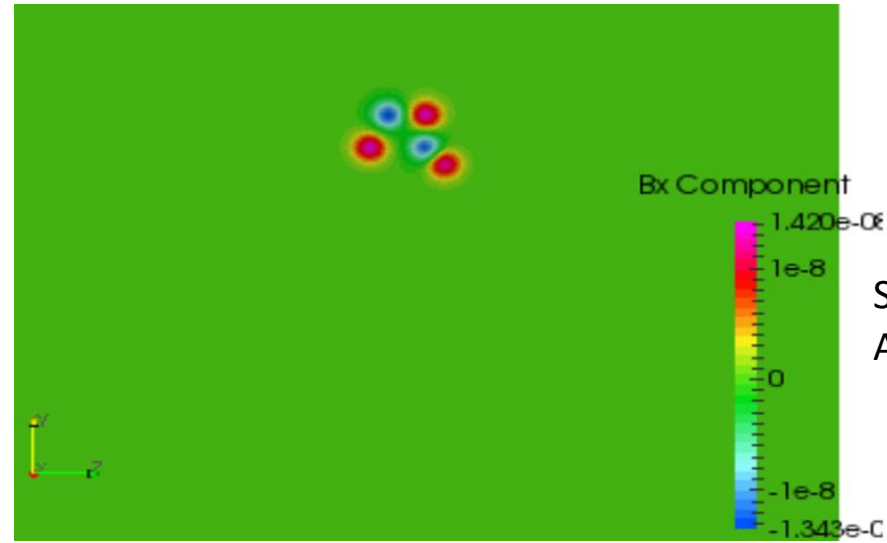
Verfahren zur Messung der Magnetfelder von unbekanntem Objekten



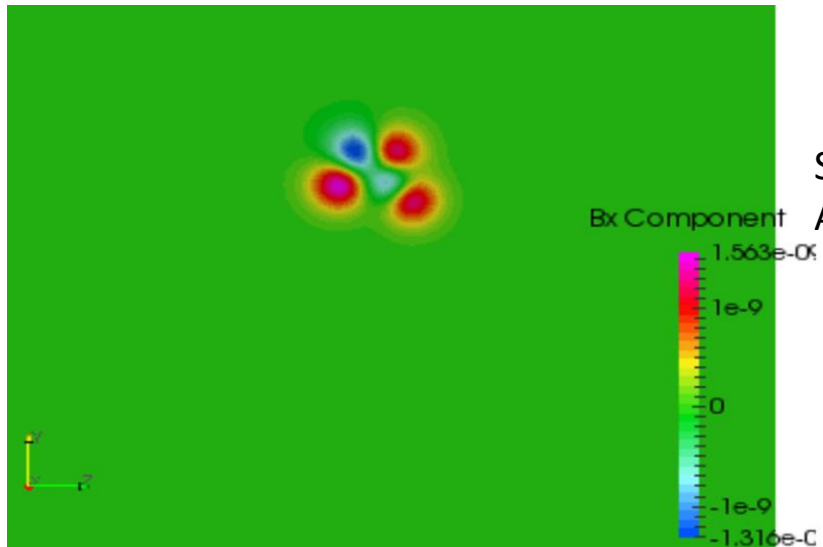
Bsp. Veränderung der Erkennbarkeit von fünf Objekten ($D = 5\text{mm}$)



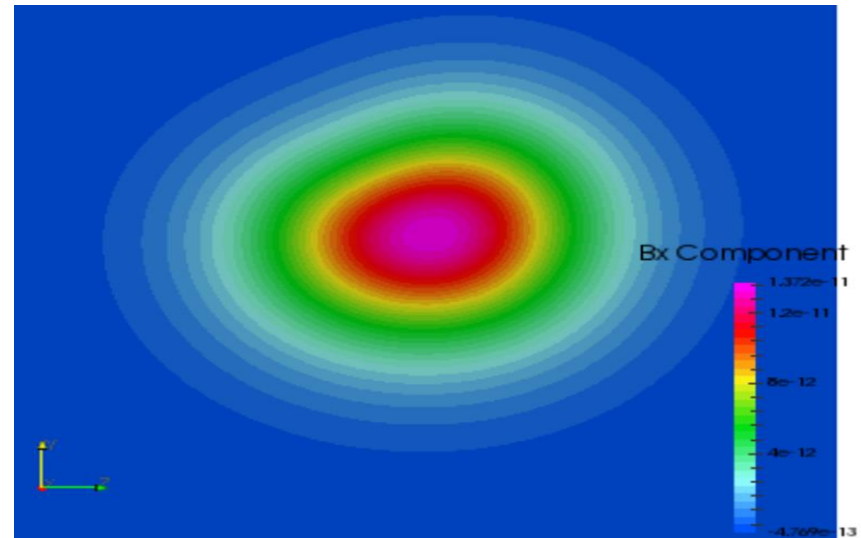
Sensorabstand
 $A=10\text{mm}$



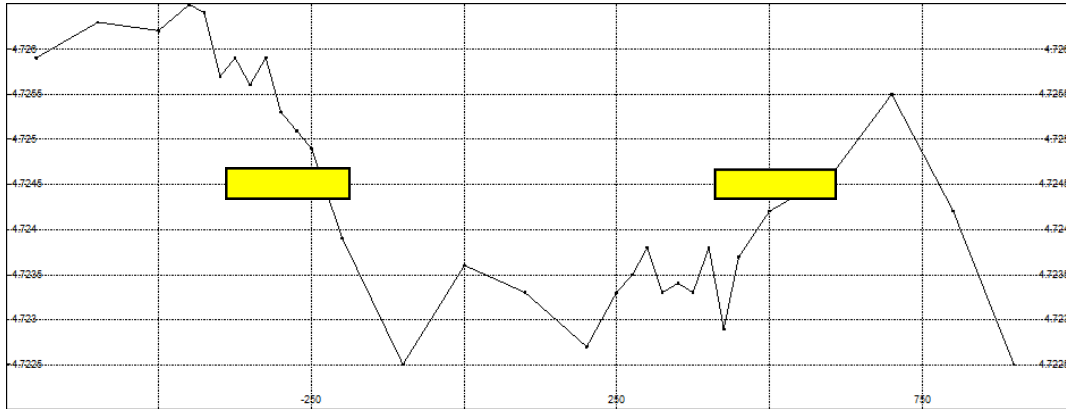
Sensorabstand
 $A=50\text{mm}$



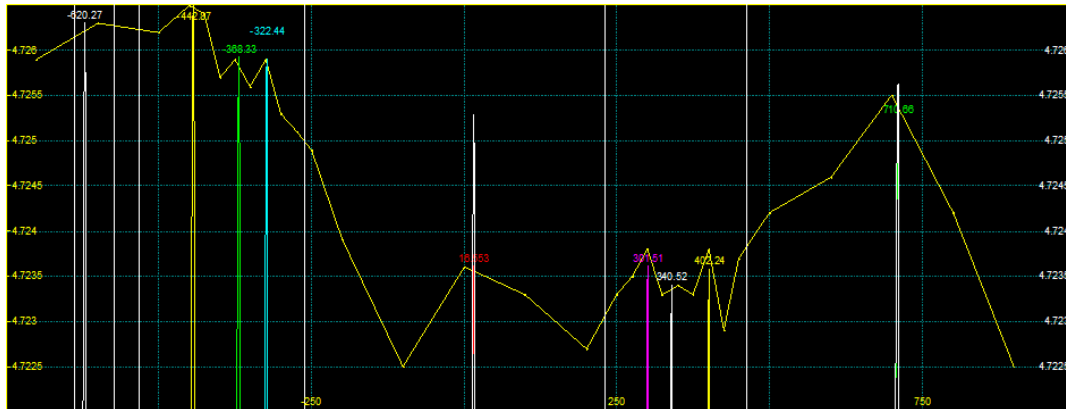
Sensorabstand
 $A=100\text{mm}$



Sensorabstand
 $A=500\text{mm}$

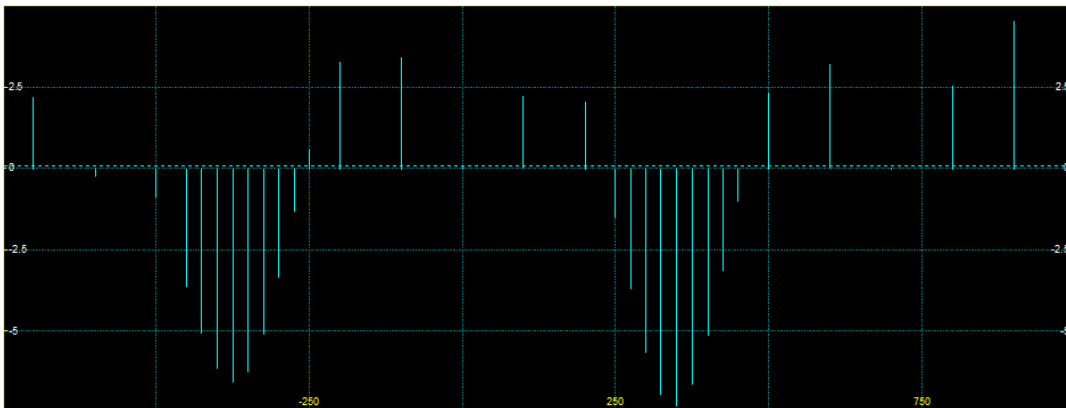


Abschattung des Erdmagnetfeldes durch zwei ferromagnetische Platten (gelb)
 Die Zentren der Platten liegen bei -350 und +350 mit einer Länge von $y=100$ mm
 Gewählter Sensorabstand 500mm
 Ausgezogene Kurve: Meßsignal am Sensor



Position einiger für die Spektralanalyse verwendeten Gaußkurven.

Hier wurden die einzelnen Peaks des Messsignals verwendet



Ergebnis der Spektralanalyse.

Die Dichte der Residuen zeigt die Position der beiden Platten eindeutig an.