

Die unmagnetische Bombe - ein Märchen?

von Prof. Dr. Dr. habil Kord Ernstson

Zusammenfassung.- Die bei der Kampfmittelräumung nach wie vor favorisierte und eingesetzte passive Magnetfeldmessung hat gravierende Nachteile, die geophysikalisch begründet sind, seit zwei Dekaden immer wieder angemahnt aber heute immer noch weitgehend ignoriert werden. Die bei Kampfmitteln existierende, vielfach starke remanente Magnetisierung verurteilt alle Versuche und regelmäßig praktizierten Berechnungen, aus den gemessenen magnetischen Anomalien die Größe von Verdachtsköpern zu ermitteln, als unzulässig und grundsätzlich zum Scheitern. Die remanente Magnetisierung kann ferner zu irreführenden Modellierungen der räumlichen Lage von vermuteten Blindgängern führen. Im Rahmen des Signal-Rausch-Verhältnisses von Nutz- und Störsignal bleiben wegen einer remanenten Magnetisierung Kampfmittel wie z.B. Bombenblindgänger unerkannt und können weiterhin selbst auf freigegebenen Flächen im Untergrund existieren. Aktive geophysikalische Sondierungen mit elektromagnetischen Induktionsverfahren unterliegen diesen Problemen nicht.

1 Einleitung

Obgleich heute - aus guten Gründen - zunehmend aktive geophysikalische Messverfahren der Elektromagnetik in der Kampfmittelortung und -räumung eingesetzt werden, dominiert weiterhin die passive Messmethode der Magnetfeldmessungen. Das Hauptinstrument ist ein Fluxgate-Vertikalgradiometer für die erdmagnetische Vertikalkomponente, das Ende der dreißiger Jahre von Friedrich Förster erfunden und bereits im Krieg eingesetzt wurde. Nach dem Krieg und bis heute wird es schwerpunktmäßig für die Bomben-Blindgängerortung von der Erdoberfläche oder von Bohrungen aus eingesetzt. Magnetometer, die zum Teil andere Messprinzipien nutzen (Protonenpräzessions-Magnetometer, optisch gepumpte Magnetometer), werden ebenfalls eingesetzt, wobei das auch auf dem Fluxgate-Prinzip beruhende Dreiachs-Magnetometer in jüngster Zeit bei der Kampfmittelräumung einen gewissen Wirbel verursacht, ohne dass überhaupt irgendwelche signifikanten Vorteile zu erkennen sind (worauf ein gesonderter Artikel in den Ebinger NEWS eingeht).

Unabhängig von der Art und Ausführung der Magnetometer leiden sie alle unter einer gravierenden Schwäche, die physikalisch begründet ist, in großen Teilen der Kampfmittelräumung ignoriert und hier die Basis der folgenden Ausführungen sein wird. Bereits vor über 20 Jahren ist der Verf. mit dieser eigenartigen Konstellation konfrontiert worden, als er zum ersten Mal mit der praktischen Kampfmittelräumung in engen Kontakt kam. In Gesprächen mit Sondengängern der Räumgruppen fielen Bemerkungen der Art, dass das Magnetometer bei der Bohrlochmessung wieder einmal unmittelbar beim Vorbeifahren an einer Bombe praktisch kein Signal gegeben habe. Als der Verf. entgegnete, dass das nicht überraschend und physikalisch ganz einfach zu erklären sei, wanderten - bildlich gesprochen - die Zeigefinger an die Lippen: Darüber sprechen wir lieber nicht. Dieses Bild ist bis heute lebhaft geblieben, zumal festzustellen ist, dass sich an dieser Einstellung bei den Kampfmittelräumdiensten inzwischen praktisch nichts geändert hat und die "unmagnetische" bzw. praktisch nicht messbare Bombe bei der Ortung verdrängt wird.

Methodisch einher damit gehen Beobachtungen, dass weiterhin Gefahrenpotenziale von Blindgängern nach der Amplitude der gemessenen Anomalien als signifikant oder nicht signifikant beurteilt werde, dass von Auftraggebern an die Magnetik-Räumgruppen Listen verteilt werden, in der die Größe der magnetischen Objekte einzutragen ist, und dass in Prospekten von Räumfirmen und Geräteherstellern immer noch die Zuordnung von gemessenen Magnetfeldwerten zu bestimmten Objekten propagiert wird.

Die folgenden Ausführungen werden vermitteln, dass in der Geophysik seit Generationen bekannte Zusammenhänge bei Magnetfeldmessungen nicht wirklich Eingang in die Kampfmittelortung und -räumung gefunden haben.

2 Geophysikalische Grundlagen: die induzierte Magnetisierung

Grundlage aller Magnetik-Messungen in der Kampfmittelortung ist das Erdmagnetfeld (Abb. 1), das ein Vektorfeld und in jedem Punkt durch die Richtung und den Betrag des Vektors gekennzeichnet ist. Das irdische Magnetfeld F induziert in jeder Materie einen Magnetismus, der als Vektorgröße mehr oder weniger parallel zum Vektor des induzierenden Erdmagnetfeldes ausgerichtet ist (Abb. 1). Der Vektor heißt induzierte Magnetisierung M_i . Der Magnetisierungsprozess bei der Induktion hat verschiedene Gesichter: man spricht von Dia-, Para-, Ferri-, Ferro- und Antiferromagnetismus. Ferri- und Ferromagnetismus sind besonders stark, Dia-, Para und Antiferromagnetismus ziemlich schwach. Die Stärke wird durch die materialspezifische Größe der magnetischen Suszeptibilität k bestimmt, die als Proportionalitätsfaktor zwischen den Beträgen des induzierenden Feldes F und der induzierten Magnetisierung M_i vermittelt:

$$M_i = k * F$$

M_i und F haben die Einheit Ampère/Meter (A/m); k ist als SI-Einheit dimensionslos. Die Minerale Quarz und Calcit, aber auch Wasser sind (negativ) diamagnetisch mit $k \approx -10^{-5}$, Feldspat und Glimmer sind paramagnetisch mit $k = +10^{-4} - 10^{-2}$, Basaltgesteine sind überwiegend ferrimagnetisch, Eisen ist ferromagnetisch mit $k = +10^3 - 10^4$. Bomben sind vor allem ferromagnetisch.

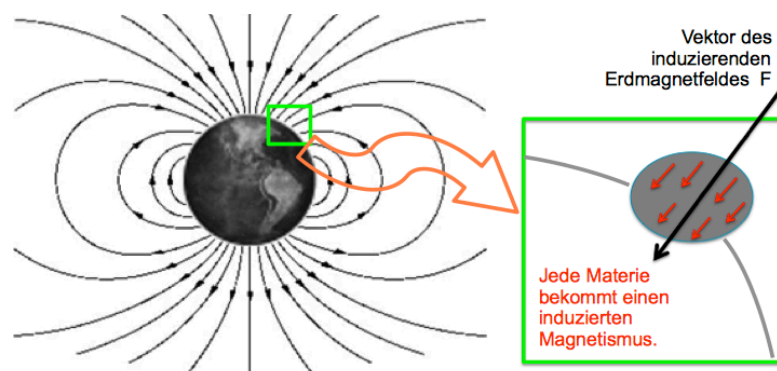


Abb. 1. Das Dipolfeld der Erde als Ursache für die induzierte Magnetisierung jeglicher Materie.

Eine weitere wichtige Größe ist die magnetische Induktion (= magnetische Flussdichte) B , die das Magnetometer misst und anzeigt. Die Einheit ist das dem Sondengänger geläufige Tesla (T) bzw. Nanotesla (nT); bei Gradiometern ist es sinnvoll, die Messgröße

auf das Meter mit der normierten Einheit nT/m zu beziehen. Mit der induzierenden Feldstärke F hängt die magnetische Induktion B über die magnetische Permeabilität μ zusammen,

$$B = \mu * F,$$

die ihrerseits über

$$\mu/\mu_0 = 1 + k$$

mit der Suszeptibilität verknüpft ist (μ_0 magnetische Feldkonstante). Letztlich führt der Induktionsprozess dazu, dass insbesondere Einzelkörper - vereinfacht gesprochen - zu einem Magneten werden, der selbst ein Magnetfeld besitzt, das sich dem induzierenden Erdfeld überlagert und es in seinem Umfeld verformt. Diese Verformungen oder Anomalien des Erdfeldes aufzuspüren und zu deuten, ist Aufgabe der geophysikalischen Geomagnetik; der Sondengänger versucht, damit z.B. Bombenblindgänger als sogenannte magnetische Störkörper zu identifizieren

3 Geophysikalische Grundlagen: die gemessene magnetische Anomalie, die homogen magnetisierte Kugel und der magnetische Dipol

Magnetfeldmessungen in der Kampfmittelräumung nutzen heute vielfach die unschätzbaren Vorteile einer digitalen Datenaufnahme und ihrer kartenmäßigen Verarbeitung. Die gemessene Anomalie eines Bombenblindgängers kann sich dann darstellen, wie es Abb. 2 A vermittelt. Beschränkt man sich auf ein Messprofil, das über das Zentrum der Anomalie verläuft, mag man einen Kurvenverlauf der Magnetfeldwerte erhalten, wie es Abb. 2 B zeigt. In dieser Kurve stecken wichtige Größen des Blindgängers - Tiefe, Größe, Orientierung, Magnetisierung - die zu analysieren sind und für eine Bergung Bedeutung haben.

Im allgemeinen sind Bomben bzw. ihre Blindgänger sehr komplexe magnetische Störkörper. Man behilft sich deshalb in aller Regel mit der sehr einfachen, aber in guter Näherung probaten Näherung, dass man das Objekt als einen magnetischen Dipol betrachtet. Vereinfacht ist ein solcher Dipol ein Magnet mit Nord- und Südpol, bei dem die beiden Pole aber unendlich nahe zusammengerückt sind. Ein Maß für die Stärke eines solchen magnetischen Dipols ist das (magnetische) Dipolmoment m , und sein magnetisches Feld, das Dipolfeld, hat genau die Gestalt, wie es Abb. 1 für die Erde zeigt, deren Magnetfeld bekanntlich in erster Näherung auch ein Dipolfeld ist.

Steht man mit einem Magnetometer über einem solchen magnetischen Dipol, so ist die angezeigte magnetische Induktion B (z.B. in nT) vom Abstand zwischen beiden und vom Dipolmoment abhängig, was sofort einleuchtet. Für den einfachsten Fall - das magnetische Moment m des Dipols ist als Vektorgröße vertikal ausgerichtet, und das Magnetometer befindet sich im Abstand z direkt darüber - misst man mit den hier unwichtigen Konstanten c, c' einen Betrag

$$B = c * m/z^3,$$

wenn das Magnetometer ein 1-Sensor-Gerät ist, und

$$B = c' * m/z^4$$

für ein Gradiometer (Nebenbei zeigen die Exponenten 3 und 4, wie rasch die magnetische Wirkung eines Dipols mit der Tiefe z abnimmt). Sind der Dipol und sein magnetischer Momentvektor gedreht und befindet sich das Magnetometer seitlich versetzt, so ist mit den einzelnen Vektorkomponenten zu operieren, was am Grundsätzlichen nichts ändert, aber die Möglichkeit eröffnet, aus dem kompletten Messprofil mit dem Magnetometer über dem Dipol beides, m mit Betrag und Richtung sowie z zu ermitteln.

Hier setzt die Auswertung bei der Kampfmittelräumung ein, über das Dipol-Modell die Tiefe und das magnetische Moment des Blindgängers zu berechnen. Nun hat der magnetische Dipol im Gegensatz zur Bombe durch die unendlich dicht zusammengerückten Pole aber ein Volumen Null. Für die Praxis bedeutet das, dass aus der Messung die Tiefe und das magnetische Moment des Bomben-Ersatzdipols zu gewinnen sind, aber überhaupt nichts über die Größe zu erfahren ist. Eine kleine Granate und eine 250 kg-Bombe erzeugen dasselbe Magnetfeld, wenn sie bei gleicher Tiefenlage nur dasselbe magnetische Moment besitzen.

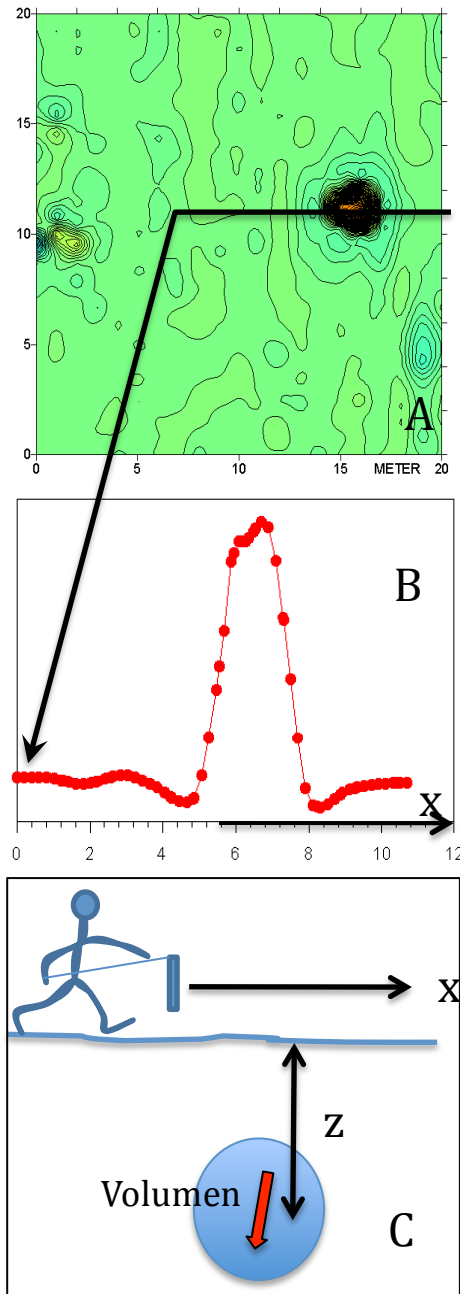


Abb. 2. A: Die magnetische Anomalie eines Bombenblindgängers nach digitaler Datenaufnahme. B: Ein Profil von Magnetfelddaten über das Zentrum der Anomalie. C: Ersatz des Bombenblindgängers durch eine homogen magnetisierte Kugel (roter Pfeil als Vektordarstellung) zur Modellierung der Tiefe z und des magnetischen Dipolmomentes der Kugel.

Einen Ausweg bietet das Konzept mit der Kugel, die homogen magnetisiert ist, d.h. dass der Vektor der Magnetisierung M_i durch den Induktionsprozess überall in der Kugel dieselbe Richtung und denselben Betrag hat, mit anderen, sehr einfachen Worten, dass die kleinen Magnetpartikelchen in der Kugel überall homogen verteilt, gleichstark magnetisch und einheitlich ausgerichtet sind. Dann hat das magnetische Feld außerhalb dieser induktiv magnetisierten Kugel genau das Feld eines magnetischen Dipols, der im Mittelpunkt der Kugel sitzt, und es gelten die Beziehungen:

$$m = M_i \cdot V = k \cdot F \cdot V \quad V = m/k \cdot F$$

(m = magnetisches Dipolmoment, M_i = induzierte Magnetisierung, F = induzierendes Magnetfeld, k = magnetische Suszeptibilität, V = Volumen der Kugel)

Wird dieser Formalismus auf die Bombe und ihre magnetische Ersatzkugel angewandt (Abb. 2 C), so kann bei bekanntem induzierenden Erdmagnetfeld und bekannter Suszeptibilität des Materials das Volumen berechnet werden. Da die Suszeptibilität für Eisen größenordnungsmäßig bekannt ist, ergibt sich mit dem Volumen der Durchmesser und mit der bekannten Dichte für Eisen die Masse der Ersatzkugel. Zusammengefasst beruht also die bei Kampfmittelräumen benutzte Abschätzung der "Größe" von magnetischen Objekten auf der Ermittlung des magnetischen Dipolmoments m aus der gemessenen Anomalie (was der Computer zusammen mit der Bestimmung der Tiefe z erledigt), was zu Volumen und Eisenmasse der Ersatzkugel führt.

Dieses Vorgehen, eine komplex aufgebaute Bombe mit einer homogen magnetisierten Kugel für grobe Abschätzungen zur Objektgröße zu nutzen, ist auf den ersten Blick zulässig, weist letztlich aber einen grundsätzlichen und schwerwiegenden Fehler auf, der die ganze Methode ins Abseits stellt und auf die Beantwortung der Frage nach der unmagnetischen Bombe zielt.

3 Geophysikalische Grundlagen: die remanente Magnetisierung

Ein bedeutsamer Umstand bei allen Magnetfeldmessungen in der Geophysik, Geologie und auch der Kampfmittelräumung ist die Eigenschaft von ferri- und ferromagnetischen Stoffen, zwei Arten von Magnetismus aufzuweisen: den zuvor behandelten induzierten Magnetismus und einen remanenten (bleibenden) Magnetismus. In einem Gedankenexperiment lässt sich das so veranschaulichen: Schalte ich das Erdmagnetfeld aus oder bringe ich den Körper aus dem Erdmagnetfeld heraus (z.B. auf den Mond), so verschwindet auch die induzierte Magnetisierung. Trotzdem kann ich in vielen Fällen feststellen, dass das Magnetometer weiterhin einen verbliebenen, remanenten Magnetismus anzeigt. Wird er analysiert, so stellt man fest, dass diese natürliche remanente Magnetisierung (NRM) vielfach aus mehreren verschiedenen Komponenten besteht. Sie können ganz unterschiedlichen Prozessen zugeordnet werden, die der Körper in seiner Vergangenheit durchgemacht hat, und man unterscheidet u.a. eine thermoremanente Magnetisierung TRM (durch Abkühlung eines erhitzten Körpers unter seine Curie-Temperatur in einem äußeren Feld), eine chemische Remanenz CRM (durch chemische Mineralumwandlungen), eine meist nicht stabile viskose Remanenz VRM (durch das zeitweise Einbringen des Körpers in ein Magnetfeld) oder auch eine isothermale Remanenz IRM (z.B. durch Blitzschlag). In der Geophysik und Geologie ist eine stärkere remanente Magnetisierung der Gesteine meist eine TRM, die bei der Abkühlung magmatischer Gesteine (z.B. Basalt) im Erdmagnetfeld aufgeprägt wird. Stähle bekommen eine starke remanente Magnetisierung häufig bei ihrer Herstellung.

Die Existenz einer Remanenz führt dazu, dass sich in einem magnetischen Körper beide Komponenten, die induzierte und die remanente Magnetisierung vektoriell überlagern, wobei die magnetische Suszeptibilität den induktiven und die Vorgeschichte den remanenten Anteil bestimmen. Ein Bild verdeutlicht die Konsequenz: Drehe ich einen magnetisierten Körper, so bleibt der Vektor der induzierten Magnetisierung raumfest, während sich der Remanenzvektor mit der Probe dreht, mit der er fest verankert ist.

Nach außen hin bestimmt die *wirksame Magnetisierung*, also der Summenvektor aus beiden Komponenten das magnetische Verhalten. Wird bei einer Messung und ihrer Auswertung eine merkliche Remanenz ignoriert, ergeben sich falsche Resultate.

4 Die remanente Magnetisierung bei Blindgängern

In den Abb. 3-5 werden die zuvor erläuterten Zusammenhänge zur remanenten Magnetisierung am Beispiel von Kampfmitteln aufgezeigt. Abb. 3 vermittelt, dass in einem Blindgänger, dem im Zuge der Stahlherstellung eine starke remanente Magnetisierung aufgeprägt wurde, zwei Komponenten existieren, die sich zur wirksamen Magnetisierung vektoriell addieren. Dessen Störfeld registriert das Magnetometer bei der Messung im Gelände.

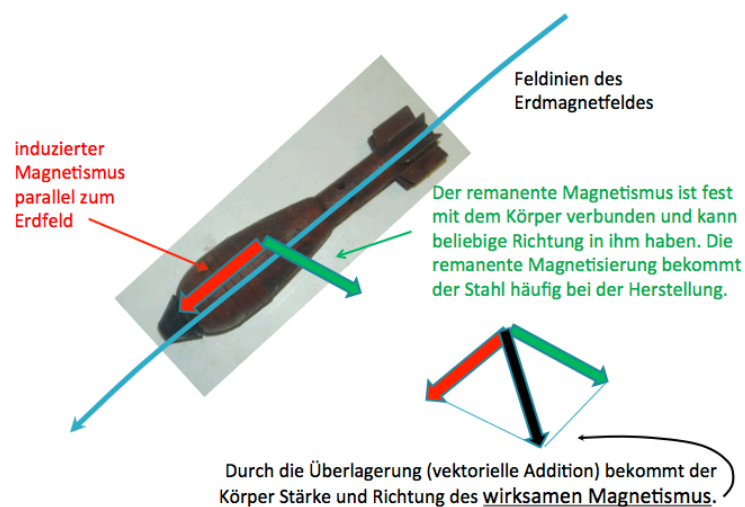


Abb. 3. Die Vektoren der induzierten und der remanenten Magnetisierung überlagern sich zum Summenvektor der wirksamen Magnetisierung.

Abb. 4 zeigt, wie sich das bei der Ortung eines Blindgängers im Gelände auswirken kann. Je nach seiner Lage im Untergrund und der Orientierung und Stärke des remanenten Magnetismus ergeben sich ganz unterschiedliche „Reaktionen“ des Magnetometers, was für drei ausgewählte Konstellationen zusammengestellt ist und deutlich macht, dass je nach Rotation der Magnetismus zwischen den Extremen "starker Magnetismus" und "sehr geringer Magnetismus" liegen kann.

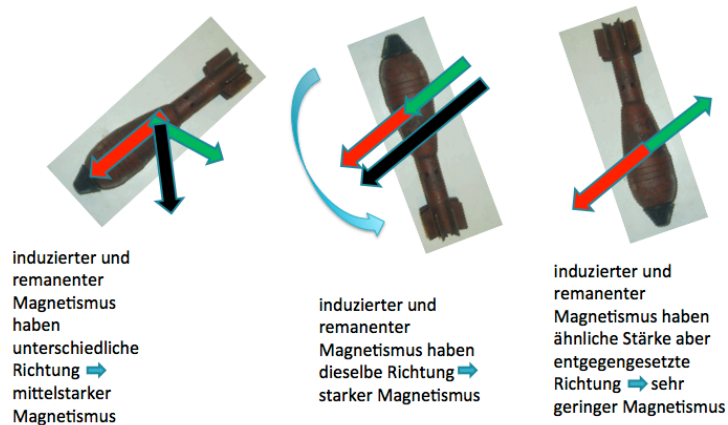


Abb. 4. Bei der Rotation eines Körpers dreht sich der Remanenzvektor (grün) mit diesem fest verbunden mit. Der Vektor der induzierten Magnetisierung (rot) verharrt raumfest. Der resultierende wirksame Vektor (schwarz) verändert sich entsprechend oder - im Extremfall - verschwindet nahezu ganz.

Den mit dem Magnetometer gemessenen Kurven teilt sich das mit, was in Abb. 5 skizziert ist, und die mit aller Eindringlichkeit zu formulierende Konsequenz lautet schon hier: Eine Abschätzung der Objektgröße aus der Amplitude der gemessenen magnetischen Anomalie verbietet sich grundsätzlich, wenn nichts Genaueres über eine remanente Magnetisierung des Verdachtskörpers bekannt ist. Das ist einleuchtender Weise stets der Fall.

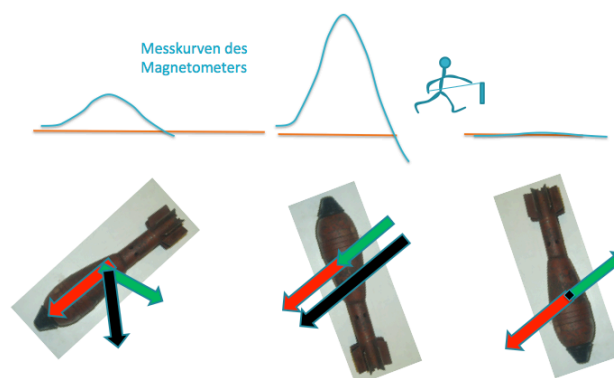


Abb. 5. Je nach Orientierung des Verdachtskörpers misst das Magnetometer gemäß Abb. 4 sehr unterschiedlich starke bis hin zu verschwindende Anomalien. Selbst eine grobe Abschätzung der Größe des Objektes verbietet sich strikt.

Eine weitere Konsequenz vermittelt Abb. 6. In der gezeigten Konstellation hat der Blindgänger dieselbe Position in derselben Tiefe, aber die stark unterschiedliche Stärke und Orientierung des Remanenz-Vektors (grün in Abb. 6) führt in einem Fall zu einer positiven, im anderen Fall zu einer negativen Anomalie. Überspitzt formuliert sollte sich bereits hier der Sondengänger Gedanken machen, ob der negative Ausschlag an seinem Magnetometer nicht auch eine negative Größe des Verdachtobjektes im Untergrund bedeutet. Sinnvollerweise sollte er aber den Schluss ziehen, dass eine dominierend negative magnetische Anomalie in unseren Breiten zwangsläufig eine remanente Magnetisierung bedeutet, die größer als die induzierte ist. Diese Beobachtung existiert auf vielen Räumfeldern und auf den weltweit existierenden Testfeldern für

Kampfmittel-Ortung zusammen mit dem Auftreten dipolartiger Anomalien, die entgegengesetzt dem induzierenden Erdfeld orientiert sind. Das widerlegt eindeutig die vielfach bei den Kampfmittelräumdiensten zu hörende und selbst in einer Fachpublikation zu lesende Behauptung, dass remanente Magnetisierungen bei Kampfmitteln keine Bedeutung haben.

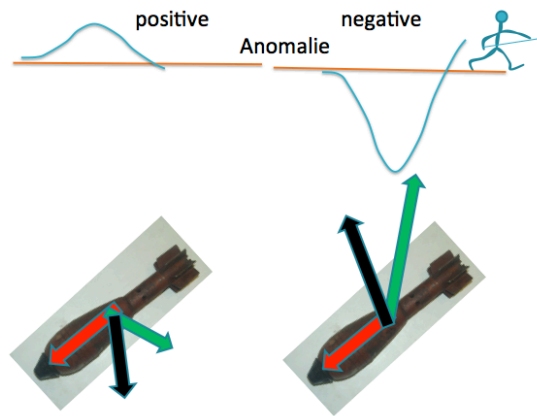


Abb. 6. Ein geeignet orientierter starker Remanenzvektor (grün) kann die induzierte Magnetisierung überkompensieren und zu einer negativen Hauptanomalie über dem Störkörper führen. Die bekannten begleitenden Randanomalien des jeweils anderen Vorzeichens werden hier nicht weiter beachtet.

5 Experimente zur remanenten Magnetisierung

Den markanten Effekt der remanenten Magnetisierung und die Unsinnigkeit, aus der gemessenen Nanotesla-Amplitude auf die Größe der Verdachtsobjekte zu schließen, kann jeder Sondengänger mit seinem Magnetometer selbst nachvollziehen, wenn er einige ganz einfache Experimente mit normalen Gegenständen des täglichen Lebens, aber auch mit geborgenen entschärften Kampfmitteln oder anderen Erdfunden durchführt. Einige in Abb. 7 gezeigte Beispiele mit Gewichtsangaben und Ausschlägen am Magnetometer für Messungen in jeweils demselben Abstand vom unteren Sensor können als Anregung dienen. Dabei stechen nicht nur der Kontrast zwischen den 5000 g der Kanonenkugel mit 85 nT/m Ausschlag und der 27 g kleinen Blechdose mit ähnlichen 68 nT/m Ausschlag ins Auge, sondern auch die starke Abhängigkeit von der Orientierung der kleinen Granate mit elffach unterschiedlichem Ausschlag macht den Einfluss der Remanenz deutlich.



Abb. 7. Experimente zur remanenten Magnetisierung verschiedener Probenkörper mit Angaben zum jeweiligen Gewicht und zu den mit dem Magnetometer ermittelten Messwerten für einen in allen Fällen gleichen Abstand.

6 Nutz- und Störsignal: Das Signal-Rausch-Verhältnis und die "unmagnetische Bombe"

Die vorherigen Ausführungen haben gezeigt, dass die remanente Magnetisierung von Kampfmitteln eine nicht wegzudiskutierende Tatsache ist, die einen großen Einfluss haben kann und nicht ignoriert werden darf. Ob ein Blindgänger eine starke oder eine sehr schwache Anomalie für das Messgerät anzeigt, hängt von dieser Größe ab, die im Prinzip allen ferri- und ferromagnetischen Materialien eigen ist. Aber: Eine unmagnetische Bombe gibt es nicht, auch wenn der extrem unwahrscheinliche Fall gegeben sein sollte, dass die Stärke der beiden genau entgegengesetzt orientierten Magnetisierungsvektoren identisch ist. Es ist deshalb festzuhalten: Eine Bombe ist, wie alle anderen Objekte auch, grundsätzlich magnetisch. Der alles entscheidende Punkt ist mit der Frage verknüpft: Ist die Bombe **messbar** magnetisch? Das hängt ab vom sogenannten Signal/Rausch-Verhältnis – ein wichtiges Prinzip bei physikalischen Messungen, das Abb. 8 erläutert.

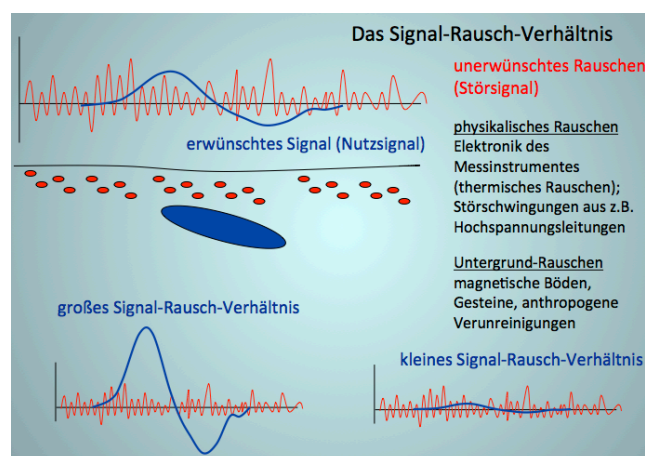


Abb. 8. Das Prinzip vom Signal-Rausch-Verhältnis und seine Bedeutung für eine mögliche komplette Maskierung von Blindgängern bei einer remanenten Magnetisierung.

Sie macht klar, dass es die unmagnetische Bombe zwar nicht gibt, aber dass eine Bombe für den Sondengänger und sein Magnetometer "unsichtbar" dann bleibt, wenn das Bombensignal (das erwünschte Nutzsignal) im Rauschen des Störsignals untergeht. Ein solches Rauschen existiert IMMER, mal stärker, mal schwächer, und es ist nur eine Frage, wie stark das Nutzsignal bei einer vergebenen Instrumentenempfindlichkeit das Störsignal "übertönt". So muss die remanente Magnetisierung gar nicht unbedingt die induzierte Magnetisierung kompensieren; auch bei einem merklich wirksamen Magnetisierungsvektor kann das Nutzsignal bei stärkerem Rauschen darin untergehen, und die Bombe bleibt mit alleinigen magnetischen Messungen unentdeckt. Feste Regeln für ein Ja oder Nein gibt es einleuchtender Weise nicht.

7 Schlussfolgerungen

Wie die vorherigen Ausführungen gezeigt haben, kann das magnetische Verhalten von Kampfmitteln sehr komplex sein, und die Annäherung mit dem Dipolmoment und einer analog wirkenden homogen magnetisierten Kugel kann nur in einer Hinsicht einigermaßen funktionieren, und das ist die Ermittlung von Ort und Tiefenlage des Dipols. Das gibt umso bessere Resultate, je größer der Abstand zwischen Blindgänger und Magnetometer ist. Im Nahfeld macht sich immer stärker die Abweichung des realen Bombenkörpers von einem magnetischen Dipol bemerkbar, und starke Inhomogenitäten können sogar zu Multipolen mit entsprechend komplexen Magnetfeldern führen.

Auch das immer wieder praktizierte Vorgehen, einen Kampfmittel-Verdachtskörper und seine räumliche Orientierung mit einem magnetischen Dipol zu modellieren, kann rasch zum Scheitern verurteilt sein, wenn eine stärkere Remanenz dazu führt, dass der resultierende, nach außen wirksame Magnetisierungsvektor nicht mit der Achse der Bombe oder Granate zusammenfällt sondern einen großen Winkel mit ihr bildet, wofür es immer wieder Beispiele gibt. Da modelliert der Computer zwar diesen Vektor, aber die Bombe liegt dann doch beliebig anders orientiert. Gerade diese Konstellation stellt auch den vielfach gepriesenen Vorteil von Dreiachsmagnetometern, mit der Erfassung der Einzelkomponenten detailliert den Verdachtskörper in seiner Untergrundorientierung beschreiben zu können, in Frage.

Überhaupt nicht zulässig ist die nach wie vor in weiten Teilen der Kampfmittelräumung praktizierte Methode, aus der gemessenen Amplitude einer Magnetfeldanomalie auf die Größe eines Objektes zu schließen. Eine mögliche remanente Magnetisierung, die mit der Messung selbst nicht zu quantifizieren ist, verbietet das strikt.

Im Rahmen des Signal-Rauschverhältnisses ist die "unmagnetische Bombe" auch kein Märchen, wobei besser von einer **magnetisch nicht messbaren Bombe** zu sprechen ist. Ohne Zweifel ist deshalb davon auszugehen, dass im Bereich von sondierten Flächen, auf denen allein mit dem Magnetometer gemessen wurde und die dann freigegeben wurden, unentdeckte Blindgänger existieren. Bei den Kampfmittelräumdiensten sollte das Thema, das seit mindestens 20 Jahren in seiner Tragweite existiert, nicht unter den Tisch gekehrt werden.

Eine weitere Konsequenz ist, dass durch den Einsatz der modernen Digital-Messtechnik und ein leistungsfähiges Daten-Processing das Signal-Rausch-Verhältnis signifikant zu verbessern ist (z.B. durch digitale Filter), was neben vielen anderen einschneidenden

Vorteilen auch den Vorteil hat, das Problem der "unmagnetischen Bombe" zu reduzieren.

Aber auch die Digitaltechnik kommt an ihre Grenzen. Es gibt das belegte Beispiel, dass eine auf einem Testfeld vergrabene 250 kg-Bombe in 3 m Tiefe selbst mit dem besten Magnetik-Digitalsystem und der ausgeklügeltsten Datenverarbeitung nicht zu sehen ist.

Damit sind die prinzipiellen Nachteile des passiven Magnetik-Ortungsverfahrens aufgezeigt. Man muss sich damit nicht abfinden. Eine zeitgemäße Kampfmittelortung nutzt deshalb vorteilhaft zusätzlich oder alternativ die aktiven Induktionsverfahren der Frequenz- und Impulselektromagnetik.