

Erdmagnetische Messungen im GFZ-Tiefenobservatorium innerhalb der Stahlverrohrung: Erfahrungen aus dem Meßbetrieb und erste Ergebnisse

U. Barckhausen und E. Steveling, Göttingen

1. Durchführung der Messungen

In der Zeit vom 26.6.96 bis zum 27.8.96 haben an der KTB-Lokation Messungen zur elektromagnetischen Vertikalgradientensondierung und zur Bohrlochmagnetik mit den Bohrlochmagnetometern aus Braunschweig und Göttingen stattgefunden.

Zu Beginn der Meßkampagne wurden auf der Wiese neben dem ehemaligen KTB-Feldlabor zwei Oberflächenmeßstationen aufgebaut: Ein Magson-Fluxgatemagnetometer und ein Induktionsspulenmagnetometer mit einer Tellurikauslage zeichneten jeweils über einen RAP-Datenlogger mit 16 bit Auflösung und einer Taktrate von 1 bzw. 2 Sekunden natürliche zeitliche Variationen des erdmagnetischen und des erdelektrische Feldes im Periodenbereich 10s bis DC an der Erdoberfläche auf. Die Instrumente arbeiteten während der gesamten Dauer der Messungen störungsfrei. Beeinträchtigt wurden die Messungen gelegentlich durch Reisebusse auf dem nahegelegenen Besucherparkplatz, durch Traktoren, die einen Feldweg hinter dem Gelände der Bohrungen befuhren und in der Zeit vom 24.7. bis zum 2.8.96 durch Bauarbeiten mit schweren Baufahrzeugen vor dem ehemaligen KTB-Feldlabor ca. 80 m von den Meßstationen entfernt. Unmittelbar vor Ende der Messungen ließ die OBAG als jetziger Eigentümer des Geländes entgegen einer zu Beginn getroffenen Absprache die Wiese hinter dem Gebäude mähen, wobei die Kabel zwischen den E-Feldsonden und den Datenloggern zerstört wurden.

Mit dem Göttinger Bohrlochmagnetometer (GBM) wurden vom 26.6. bis zum 27.6. Proberegistrierungen in der Vorbohrung (VB) bis zu einer Teufe von etwa 900 m durchgeführt. Vor Beginn der Meßkampagne waren im Labor Registrierversuche vorgenommen worden, bei denen sich der untere Teil des GBM mit dem magnetischen Sensor in einem kurzen Stück Stahlverrohrung befand, das von einer Gasbohrung in Norddeutschland stammt. Bei diesen Registrierungen, die Messungen innerhalb der Stahlverrohrung der KTB-Bohrungen simulieren sollten, stellte sich heraus, daß die Meßkanäle teilweise erheblich übersteuert waren. Verantwortlich dafür war offensichtlich eine starke remanente Magnetisierung des Stahlrohres. Deshalb wurde das GBM anschließend so umgebaut, daß der Kompensationsbereich für die bei der hochauflösenden Variationsregistrierung notwendige Kompensation des Hauptfeldes verdoppelt wurde. Da diese Maßnahme immer noch nicht ausreichte, die Übersteuerungen zu vermeiden, wurde die Empfindlichkeit des Magnetometers durch Austausch der Förster-sondenverstärker noch um den Faktor 2.5 herabgesetzt.

Die VB ist bis zu einer Teufe von 3850 m mit dem ehemaligen Seilkerngestänge verrohrt. Die Gestängeverbinder engen die lichte Weite der Verrohrung auf 110 mm Durchmesser ein. Da der Durchmesser des GBM bereits 86 mm beträgt, war keinerlei Einsatz von Zentrierern zur Führung und Fixierung der Sonde möglich. Die teufenabhängigen Logs zeigen regelmäßige starke Magnetfeldänderungen in Abständen von 9 m, die sehr wahrscheinlich von den Rohrverbindern verursacht werden. Zur Registrierung zeitlicher Variationen wurde die Sonde in etwa 900 m Teufe abgehängt. Trotz einer übertage angebrachten Seilklemme waren während der gesamten anschließenden Registrierzeit von ca. 12 Stunden so starke ständige Rutsch- und

Drehbewegungen der Sonde zu beobachten, daß alle natürlichen Magnetfeldvariationen überdeckt wurden. Damit werden frühere Erfahrungen bestätigt, daß in der Regel Zentrierer oder andere Mechanismen zum Festsetzen der Sonde die Voraussetzung zur Registrierung zeitlicher Variationen in einem Bohrloch sind.

Nachdem die Reparatur der bei Beginn der Messungen defekten Kabelwinde der Hauptbohrung (HB) abgeschlossen war, wurde das GBM am 3.7.96 in die Hauptbohrung eingefahren. Dabei stellte sich heraus, daß unsere unmagnetischen Zentrierer nicht benutzt werden konnten, da die Öffnung des Bohrlochkopfes nur etwa 16 cm beträgt, die Zentrierer jedoch für den Rohrdurchmesser von 34.6 cm in der vorgesehenen Registrierteufe von 3000 m ausgelegt waren. Die Bronzefedern der unmagnetischen Zentrierer waren nicht annähernd flexibel genug, um durch den engen Bohrlochkopf hindurchzupassen. Hilfsweise wurde am oberen Ende der Sonde, also weit entfernt vom magnetischen Sensor, ein GFZ-TO-eigener Stahlzentrierer angebracht. Bei den folgenden Messungen stellte sich heraus, daß diese Maßnahme keineswegs ausreichte, um die Sonde im Bohrloch in der Registrierposition zu fixieren, so daß Rutsch- und Drehbewegungen noch Tage nach dem Absetzen auftraten. Die Sonde wurde bis auf eine Teufe von 2209 m eingefahren und dort eine Dauerregistrierung bis zum 9.7.96 durchgeführt. Da sich inzwischen herausgestellt hatte, daß die magnetischen Eigenfelder der Stahlverrohrung nicht so stark waren, wie nach den Vorversuchen befürchtet worden war, konnte die Sonde nach dem Ausfahren am 9.7.96 wieder auf die volle Empfindlichkeit umgebaut werden.

Am 10.7.96 wurde das GBM erneut in die HB eingefahren bis auf eine Teufe von 3060 m. Die in dieser Teufe herrschende Temperatur von fast 100°C ist die maximale Einsatztemperatur des GBM. Es folgte eine Dauerregistrierung bis zum 23.7.96, bei der das GBM zwar problemlos arbeitete, jedoch offenbar bis zum Schluß nicht völlig zur Ruhe kam und Bewegungen mit einer Periode von ca. 20 Minuten ausführte. Möglicherweise wurden diese Bewegungen durch Konvektionsströmungen der Sodalösung im Bohrloch verursacht. Sondenbewegungen von Millimeterbruchteilen reichen aus, um die Messungen zu stören.

Am 23.7.96 wurde das GBM abermals ausgefahren, um den einen zwischenzeitlich von der Werkstatt des Instituts für Geophysik in Göttingen umgebauten Bronzozentrierer am unteren Ende der Sonde anzubringen. Die starken Bronzearme waren gegen dünne Lagen federnder Bronze ausgetauscht worden. Wegen des hohen Materialpreises konnte jedoch keine Ideallösung verwirklicht werden. Ausgerüstet mit diesem Zentrierer wurde das GBM am 24.7.96 wieder in die HB eingefahren. Es wurde wieder die Teufe von 2209 m gewählt, weil das Magnetometer dort ruhiger gegangen hatte als in 3060 m Teufe. Es folgte eine Dauerregistrierung bis zum 18.8.96.

Wegen knapper Reisemittel war in der Zeit vom 3.8. bis zum 18.8. nicht ständig eine Person zur Betreuung der Messungen vor Ort. Die Zuverlässigkeit des Meßsystems erlaubte es, sich auf Kontrollen und Wartung der Oberflächenstationen (Daten auslesen, Akkus austauschen) im Abstand von 5 bis 6 Tagen zu beschränken. Allerdings sieht es die Betriebsleitung an der KTB-Lokation nicht so gerne, wenn Experimente in den beiden Tiefbohrungen mehrere Tage unbeaufsichtigt bleiben.

Zum Abschluß der Messungen wurde am 26.8.96 noch ein Magnetiklog mit dem GBM von 3100 m Teufe bis zur Oberfläche gefahren. Dazu war die Empfindlichkeit durch Umbau wieder auf die Hälfte herabgesetzt worden, um auch in Bereichen mit starken magnetischen Störungen Übersteuerungen zu vermeiden. Wir hoffen aus dem Magnetiklog Aussagen über die Magnetisierung der Verrohrung machen zu können.

Das Braunschweiger Bohrlochmagnetometer (BBM) ist zwischen dem 27.6. und dem 14.8.96 in der VB eingesetzt worden. Dazu wurde die Sonde wiederholt bis auf eine Teufe von 3956 m eingefahren, um Zeitreihen im unverrohrten Teil der Bohrung aufnehmen zu können. Zum Einsatz kam überwiegend die mit einem Hitzeschutz ausgerüstete Hochtemperaturversion des BBM, die eine systembedingte Beschränkung aufweist: Der Hitzeschutz verhindert nicht nur das Eindringen hoher Temperaturen von außen nach innen, sondern er behindert auch den Abtransport von elektrischer Verlustwärme von innen nach außen. Das hat zur Folge, daß nach einer gewissen Zeit eine Eigenerwärmung der Elektronik über die Bohrlochtemperatur hinaus auftritt. Dadurch konnten immer nur Zeitreihen mit einer Länge zwischen 20 und 36 Stunden aufgenommen werden, dann mußte die Sonde zum Abkühlen für etwa 24 Stunden ausgefahren werden. Trotzdem sind auf diese Weise gleichzeitige Registrierungen mit beiden Magnetometern zustande gekommen, bei denen das BBM außerhalb der Verrohrung in der VB und das GBM in vergleichbarer Teufe innerhalb der Verrohrung in der HB gemessen hat.

Gleich zu Beginn der Messungen rutschte das BBM über Nacht als Folge einer Havarie an der Kabelwinde bis auf die Endteufe der VB in den Sumpf ab und wurde dabei leicht beschädigt.

Ein Versuch, mit einer nicht temperaturgeschützten Version der Elektronik eine durchgehende Zeitreihe von 14 Tagen aufzunehmen, endete bereits nach einem Tag wegen eines Schadens an der Stromversorgung innerhalb der Sonde.

Bei den zahlreichen Ein- und Ausfahrten der Sonde wurde mehrmals das gesamte Bohrloch geloggt und besonders der unverrohrte Teil zwischen 3850 und 3970 m Teufe wiederholt bei geringer Log-Geschwindigkeit vermessen.

Die häufig notwendigen Umbauten am BBM wurden erschwert durch eine Teerschicht, die die Sonde nach jedem Einsatz dick überzog und aus abgelöstem Konservierungsmittel vom Meßkabel stammte. Dieser abgelöste Teer führte auch immer wieder zu Blockierungen des Teufenzählers an der Kabelwinde und damit zu unsicheren Teufenangaben.

Nach dem Abzug des vom GFZ-TO angemieteten Kranes an der VB am 8.8. mußte das BBM zur Vorbereitung auf die Hochtemperaturmessungen in der HB nach Braunschweig transportiert werden. Am 19.8., 20.8. und 22.8. wurde das BBM dann jeweils in die HB bis zu einer Teufe von 8500 m eingefahren. Größere Teufen waren wegen des Zustandes des Bohrlochs nicht möglich. Von diesen drei Einsätzen war der erste mit einem Log bis 8500 m Teufe und anschließend einer Zeitreihenregistrierung von etwa 100 Minuten Dauer in dieser Teufe erfolgreich. Beim zweiten Einsatz sollte das BBM erst nach Erreichen der vorgesehenen Teufe eingeschaltet werden, um eine Eigenerwärmung während des Einfahrens zu vermeiden und eine längere Standzeit in 8500 m Teufe zu erreichen. Das Einschalten war dann jedoch nicht möglich. Beim dritten Einsatz wurde die Sonde beschädigt, weil Wasser in den Schlumberger-Kabelkopf eingedrungen war.

2. Erste Ergebnisse

Eine wesentliche Aufgabe der Messungen war es, zu klären, ob auch innerhalb der Verrohrung der Bohrungen des GFZ-TO erdmagnetische Variationen mit den vorhandenen Geräten registriert werden können. Erste Auswertungen eines Teiles der mit dem GBM und mit den Oberflächenstationen aufgezeichneten Daten zeigen, daß tatsächlich gut korrelierbare Daten von erdmagnetischen Effekten vorliegen.

Die magnetische Anregung war während der gesamten Meßkampagne eher schwach mit seltenen Höchstwerten von $K_p = 4$, die Werte bewegten sich jedoch auch tagelang zwischen $K_p = 0$ und $K_p = 1$. Trotzdem kam wegen des langen Aufzeichnungszeitraumes genügend Datenmaterial zur Berechnung von Übertragungsfunktionen zusammen.

Abbildung 1 zeigt ein typisches Beispiel für einen Aufzeichnungszeitraum von 15 min mit relativ schwacher Anregung, die aber trotzdem ganz klar korrelierte Pulsationen an der Erdoberfläche (KTB1) und im Bohrloch (KTB0) erkennen lassen.

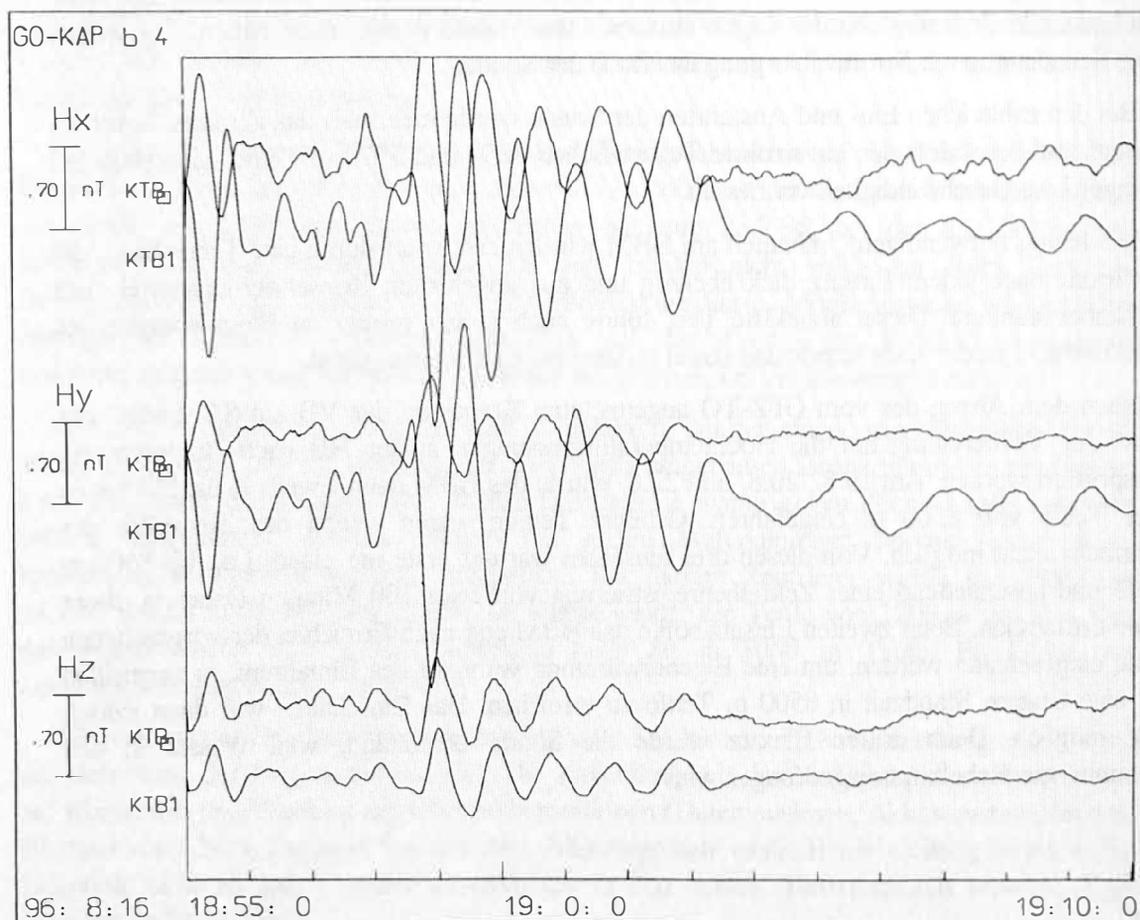


Abb. 1: Magnetische Pulsationen an der Erdoberfläche (KTB1) und im Bohrloch (KTB0) für einen Zeitraum von 15 min am 16.8.1996.

Dargestellt sind die für den Periodenbereich zwischen 11.5 und 115 Sekunden Bandpaß-gel filterten Daten. In der Z-Komponente ist der Verlauf beider Aufzeichnungen parallel, in der X- und Y-Komponente nahezu entgegengesetzt. Dieses läßt darauf schließen, daß das Bohrlochmagnetometer um etwa 90° gegen die magnetische Nordrichtung verdreht war. Deutlich zu erkennen ist auch, daß das GBM ein etwas geringeres, aber dennoch ausreichendes Auflösungsvermögen gegenüber dem Magson Fluxgatemagnetometer an der Erdoberfläche besitzt.

Abbildung 2 zeigt dasselbe Zeitintervall noch einmal, allerdings nun ausschließlich die Daten des GBM. Jeweils die unteren der beiden Kurven für jede Komponente sind wieder die Bandpaß-gel filterten Werte (Pulsationskanäle), darüber sind die mit 40 mal geringerer Empfindlichkeit registrierten Tiefpaß-gel filterten Werte (Variationskanäle) dargestellt. Obwohl bereits einzelne Bitsprünge sichtbar werden, sind auch hier die Pulsationen noch erkennbar, dazu kommen längerperiodische Anteile, in diesem Beispiel erkennbar in der X- und der Z-Komponente zwischen 19:03 und 19:10 Uhr.

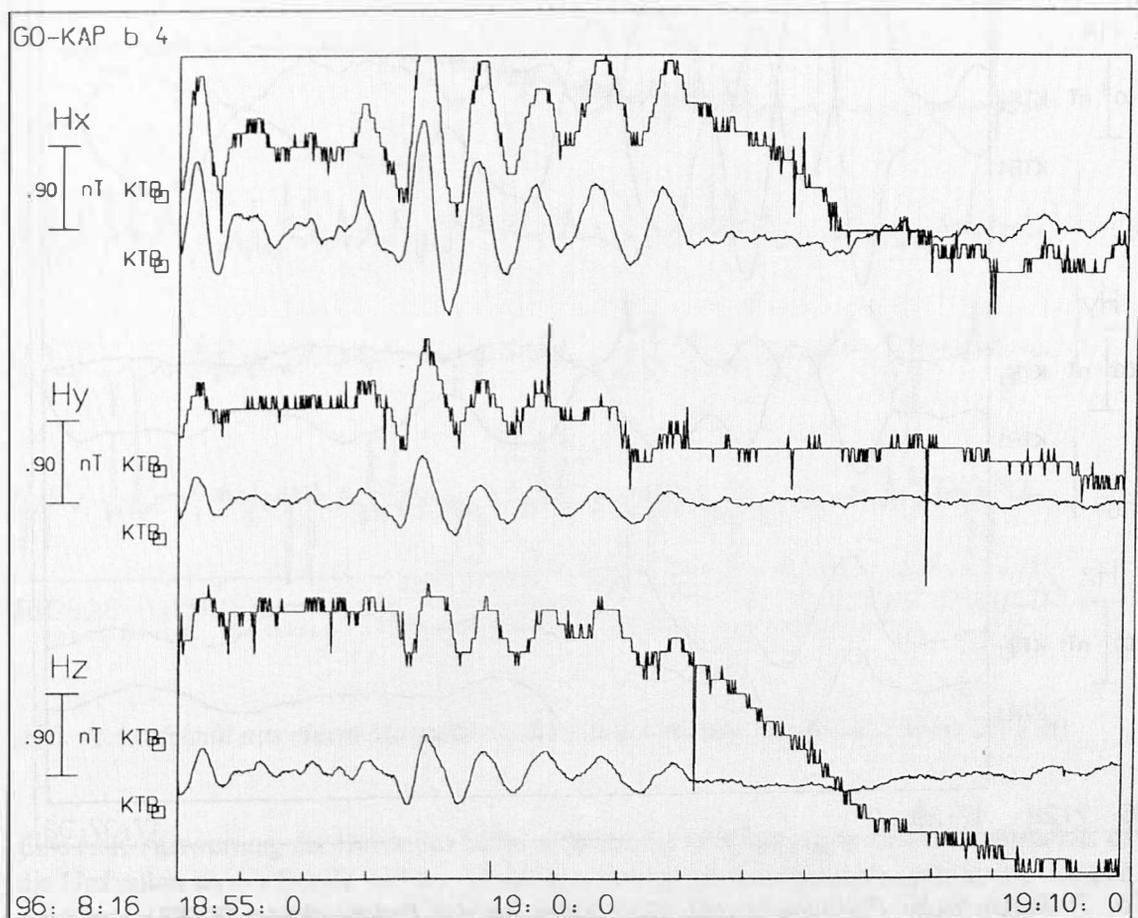


Abb. 2: Bandpaß- und Tiefpaß-gel filterte Daten aus dem Bohrloch in 2209 m Tiefe. Die Bandpaß-gel filterten Daten werden 40-fach verstärkt aufgezeichnet.

Ein weiteres Beispiel in Abb. 3 für einen anderen Tag des Meßzeitraumes zeigt bei besonders hoher zeitlicher Auflösung die Korrelation zwischen Oberflächendaten (KTB1) und Bohrlochdaten (KTB0) bei parallelem Verlauf in der Z-Komponente und entgegengesetztem Verlauf in der X- und der Y-Komponente. In diesem Beispiel ist in allen drei Komponenten des Bohrlochmagnetometers gegen 17:32:20 Uhr ein kleiner Peak erkennbar, der höchstwahrscheinlich durch eine winzige ruckartige Bewegung des Magnetometers verursacht worden ist. Immerhin war das Absetzen der Sonde auf einem Kabelklemmer am Bohlochkopf zu diesem Zeitpunkt am 28.7. schon mehr als vier Tage her. Das zeigt deutlich die Problematik des Fixierens des Magnetometers im Bohrloch. Die kurzzeitigen Störungen der Messungen durch die ruckartigen Bewegungen der Sonde sind nicht nur wegen der Peaks in den Zeitreihen problematisch, sondern auch weil sich mit jeder dieser Bewegungen der Winkel der Sensoren zur magnetischen Nordrichtung ändert, ein Winkel, der bei der Bearbeitung der Daten korrigiert werden muß.

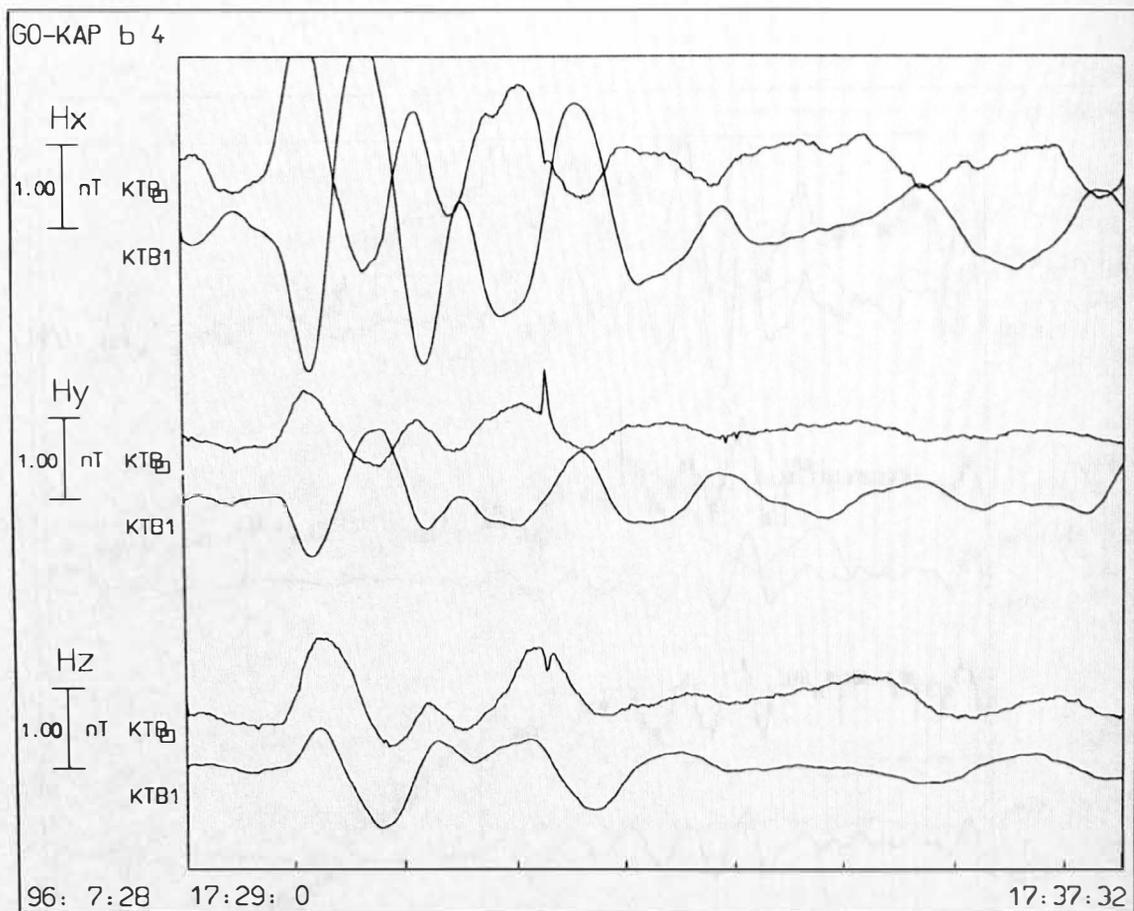


Abb. 3: Magnetische Pulsationen und Variationen an der Erdoberfläche (KTB1) und im Bohrloch (KTBO, Tiefe 2209 m) für einen Zeitraum von 8 min am 28.7.1996

Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt aus einem während einer Sondenfahrt von unten nach oben mit dem GBM aufgenommenen Magnetiklogs in der HB. Der über dem Zeitintervall von 10 Minuten Länge dargestellte Abschnitt entspricht dem Teufenbereich zwischen 2227 m und 2067 m. Oben sind die beiden Neigungskomponenten NX und NY [°] dargestellt, darunter die Feldwerte in den magnetischen Komponenten Z, Y und X. Auffällig sind regelmäßig auftretende Doppelpeaks vor allem in X und Y, die wahrscheinlich den Enden einzelner Verrohrungsstücke entsprechen. Mehr wird sich darüber nach einer genauen Teufenzuordnung der Daten und einem Vergleich mit einem detaillierten Verrohrungsplan der Bohrung sagen lassen.

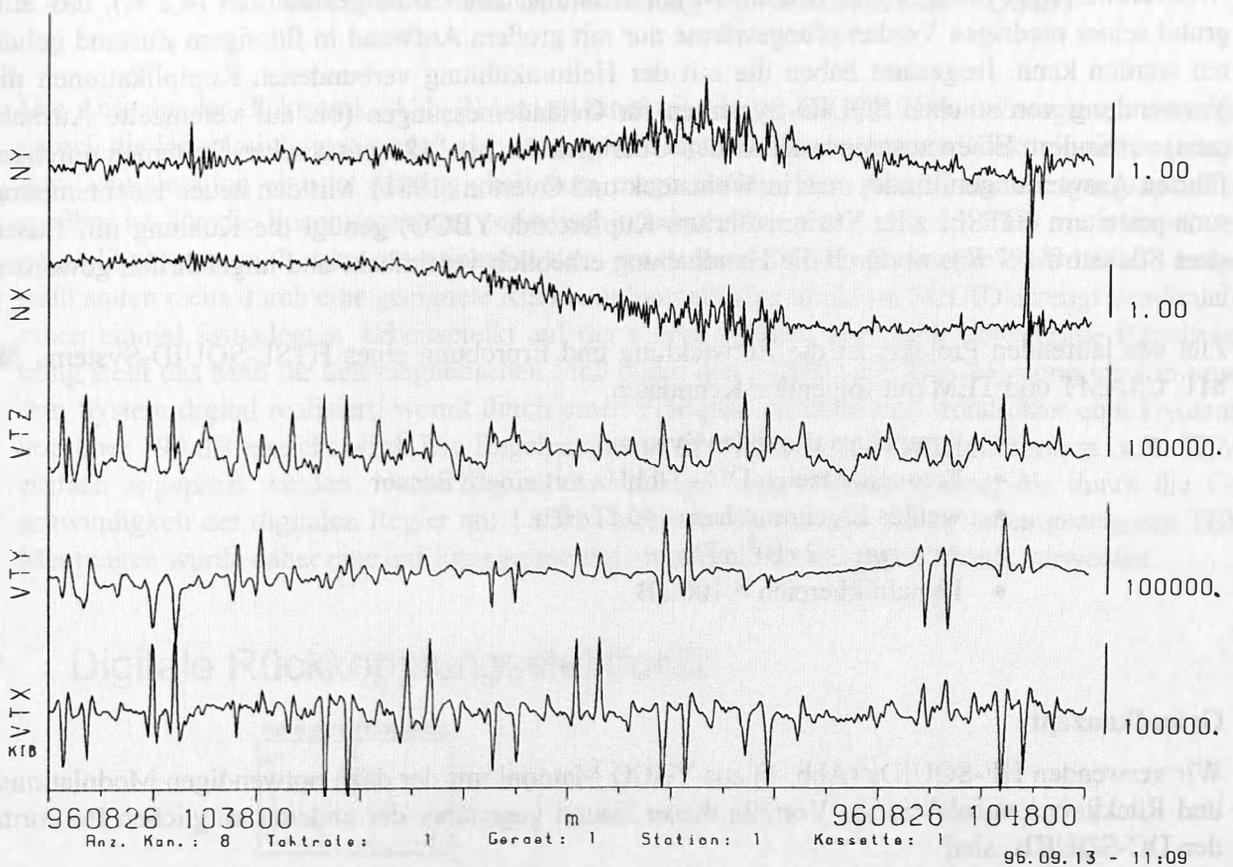


Abb. 4: Ausschnitt aus einem Magnetiklog der Hauptbohrung (Teufe 2227 m bis 2067 m)

Eine erste Auswertung der Daten des BBM während der Meßkampagne kam nicht zustande, da die Umbauten an der Sonde und an den beiden verwendeten Aufzeichnungsrechnern viel Zeit erforderten. Der Datenvergleich soll später nachgeholt werden.