

Langperiodische MT-Messungen in einem See mit dem Langzeit-Datenlogger Geolore

Steven Golden^{1,2}, Rainer Roßberg¹, Andreas Junge¹

¹Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main

²Ludwig-Maximilians-Universität, München

1 Einleitung

Bei dem Verfahren der Magnetotellurik werden zeitliche Variationen des natürlichen erdmagnetischen und erdelektrischen Feldes an der Erdoberfläche aufgezeichnet, um aus dem Verhältnis zwischen diesen Feldern Rückschlüsse über die elektrische Widerstandsverteilung im Untergrund abzuleiten. Die Messung der elektrischen Feldkomponenten wird auf die Messung von Potentialdifferenzen zwischen im Boden steckenden Elektrodenpaaren zurückgeführt. Um Potentialdriften elektrochemischen Ursprungs an den Elektroden zu minimieren wird dabei auf unpolarisierbare, elektrochemische Elektroden, z.B. Elektroden auf Ag-AgCl-Basis [1] zurückgegriffen. Dennoch führen zeitliche Änderungen der Temperatur oder der elektrochemischen Verhältnisse in der Elektrodenumgebung zu störenden Potentialdriften. Im Extremfall können diese Driften zu einer Übersteuerung des Messgerätes führen, was einem Ausfall der Messung gleichkommt. Schließlich kann das Austrocknen oder Gefrieren des Untergrundes zu einem völligen Verlust der Elektrodenan kopplung führen.

Diese Probleme lassen sich durch Aufstellung der Elektroden in einem besonders stabilen und feuchten Milieu, sowie der Verwendung eines Datenloggers mit möglichst großem Messbereich beheben. Besonders geeignet ist die Aufstellung auf dem Grund eines Sees, wo ganzjährig nahezu konstante Umweltbedingungen und Temperaturen über dem Gefrierpunkt herrschen. In der Vergangenheit wurden durch verschiedene andere Bearbeiter bereits positive Erfahrungen mit dieser Vorgehensweise gemacht (vgl. [4]). Von Nachteil ist nur der hohe Aufwand solcher Messungen, die entweder Kabel zum Ufer oder einen Unterwasser-Datenlogger erfordern.

Im Verlauf der Jahre 2002 bis 2003 wurde an der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main und an der Ludwig-Maximilians-Universität, München der Prototyp eines neuen Datenloggers mit dem Namen Geolore (Geophysical longtime recorder) entwickelt [3],[2]. Dank seines sehr niedrigen Energiebedarfs kann dieser Datenlogger über lange Zeiträume völlig autark Messungen durchführen. Der Einsatz moderner 24 Bit AD-Wandler bietet einen großen Messbereich bei gleichzeitig hoher Messauflösung. Passend zum Datenlogger wurde ein wasserdichtes Gehäuse entwickelt. All diese Eigenschaften machen ihn für den hier vorgeschlagenen Messaufbau ideal geeignet.

Im Sommer 2003 wurden in einem See nahe Frankfurt am Main erste Felderfahrungen im Unterwasser-Einsatz des Datenloggers Geolore gesammelt. Seit dem

hat sich der Datenlogger bei weiteren Messungen, hauptsächlich im Rahmen des CMICMR-Projektes auf Island, gut bewährt. Im folgenden werden der neue Datenlogger und die ersten damit durchgeführten Messungen näher vorgestellt.

2 Der Datenlogger Geolore

Zielsetzung bei der Entwicklung des Datenloggers Geolore war, ein preisgünstiges und flexibel erweiterbares Messgerät zu schaffen, dass sowohl an Land als auch unter Wasser zur Aufzeichnung geophysikalischer Messgrößen über lange Zeiträume eingesetzt werden kann. Dabei stand des weiteren ein minimaler Energiebedarf sowie die Möglichkeit eines völlig wartungsfreien Betriebs im Vordergrund.

Die Erweiterbarkeit wird durch einen modularen Aufbau aus Komponenten mit genau spezifizierten Schnittstellen gewährleistet. Die Signale dieser Komponenten werden über Flachbandkabel über ein Verteilerboard zusammengeführt um die Zahl fehleranfälliger Kabel und Steckverbindungen zu minimieren. In den einzelnen Komponenten werden überwiegend handelsübliche und preiswerte Bauelemente eingesetzt.

Aus den in der Einleitung genannten Gründen ist eine hohe Dynamik der Eingänge bei gleichzeitig hoher Empfindlichkeit erforderlich. Daher kommen 24 Bit AD-Wandler vom Typ LTC2413 oder LTC2415 zum Einsatz. Jeder Kanal verfügt über einen eigenen Wandler. Die Wandlung wird für alle Kanäle synchron über einen Puls von einem präzisen, temperaturkompensierten Zeitgebermodul gestartet. In Zukunft soll das Zeitgebermodul zur weiteren Erhöhung der Präzision um eine Synchronisation per GPS-Empfänger erweitert werden.

Um den Stromverbrauch zu minimieren werden einzelne Komponenten, wann immer möglich, abgeschaltet: Die Daten werden nicht sofort auf einen Massenspeicher geschrieben, sondern zunächst in einem aus stromsparendem SRAM aufgebauten Ringpuffer zwischengespeichert. Dieser Puffer hat eine Größe von 1 MByte, was bei einer typischen Abtastperiode von 1 s für die Aufnahme der Daten eines ganzen Tages ausreicht. Erst wenn der Puffer weitgehend gefüllt ist, wird eine endgültige Abspeicherung der Daten auf einem Massenspeicher initiiert, wofür dieser für kurze Zeit eingeschaltet werden muss. Als Massenspeicher kann wahlweise eine Festplatte oder, wie hier, eine CompactFlash®-Speicherkarte verwendet werden. In beiden Fällen werden die Daten in einer vor der Messung angelegten Datei unter dem FAT-Dateisystem abgespeichert. Dadurch können die Daten nach der Messung besonders leicht per PC vom verwendeten Massenspeicher ausgelesen werden. Zur Stromversorgung werden handelsübliche Alkali-Trockenbatterien vom Typ D („Monozellen“) eingesetzt. Bei einer Abtastperiode von 4 s reichen 8 dieser Batterien für eine Betriebsdauer von bis zu einem Jahr. Eine zusammenfassende Spezifikation des Datenloggers zeigt Tabelle 1.

3 Messungen im Wölfersheimer See

Bereits seit dem Herbst 2002 wurden erste Labor- und Feldtests mit einem Prototypen des Datenloggers Geolore durchgeführt. Zur Erlangung einer ausreichenden Betriebssicherheit für einen ernsthaften Einsatz waren noch weitere Tests und Verbesserungen erforderlich, die bis zum Frühsommer 2003 abgeschlossen wurden. Zeitgleich zur Entwicklung der Elektronik wurde auch ein passendes wasserdichtes Gehäuse für den Ein-

Betriebszeit und Spannungsversorgung	
Betriebszeit	1 Jahr
Spannungsversorgung	8 Monozellen intern, Kapazität: 10Ah (entspricht 1,1mA Jahr), alternativ: 12 V extern, verpolungssicher
Anschlüsse	
Meßeingänge	3 Kanäle (z.B. für 6 E-Feld-Elektroden), 1 Masse-Elektrode
Service	Schnittstelle RS 232
Signalgrößen	
Anzahl der Eingänge	3 Kanäle
Amplitude	Differentiell, -2 V bis +2 V gegen Gehäuse (Masse)
Kanal 1, Kanal 2	Spannung (E-Feldkanäle)
Kanal 3	Spannung (weiterer E-Feldkanal oder Temperatursensor)
Eingangsfiler	4-polig, passiv
Auflösung	24 Bit
Überlastschutz	Transorbiodioden
Abtastrate	1, 2, 4, 5, 10, 15, 30, 60 s
Abtastfehler	30 s/Jahr = 1 ppm
Umgebungsbedingungen	
Temperatur	0 - 40°C
Druck	2 bar (20m Wassertiefe)
Elektronische Komponenten	
Datenpuffer	Ringpuffer, 1 MByte
IDE-Controller	Firmware zum Beschreiben eines Datenträgers vom Typ CompactFlash® oder einer Festplatte
Taktgenerator	1 ppm, temperaturkompensiert
Power	Eingang: 8 V – 15 V
Mechanische Komponenten	
Gehäuse	Höhe: 55 cm, Durchmesser: 26 cm mit Befestigungsbügel und Komponententräger
Gewicht:	12kg (Elektronikträger 3kg)
Sonstiges	
Dateisystem	FAT16

Tabelle 1: Spezifikation des Datenloggers Geolore.

satz des Datenloggers in Seen gebaut. Bei Vorversuche mit einem leeren Gehäuse im Oberen Knappensee bei Hungen konnte dessen langzeitige Dichtigkeit in Wassertiefen bis zu 16 m bestätigt werden. Vor einem geplanten ersten Einsatz des Datenloggers auf Island stand jedoch noch eine „Generalprobe“ aus, bei der mit dem neuen Datenlogger erstmals tellurische Messungen in einem See durchgeführt werden sollten. Dabei kam auch erstmals ein baugleiches zweites Gerät zum Einsatz, das mit Mitteln der Hermann-Willkomm-Stiftung, Frankfurt am Main gebaut worden war.

3.1 Messaufbau und Durchführung

Die Geräte wurden zweimal im Wölfersheimer See versenkt und wieder geborgen. Dazwischen zeichneten sie erfolgreich für jeweils ein bis zwei Wochen Daten des natürlichen elektrischen Feldes am Grund des Sees auf. Zeitgleich wurde als Referenz an Land ein älterer Datenlogger vom Typ RAP betrieben [5],[6], dessen Charakteristika durch mehrjährigen Einsatz am Institut bereits gut bekannt waren. Der RAP-Datenlogger lieferte die für eine magnetotellurische Auswertung notwendigen magnetischen Felder und zeichnete zusätzlich elektrische Felder an Land auf.

Der Wölfersheimer See liegt am gleichnamigen Ort in der Wetterau, nahe Friedberg, ca. 20 km nördlich von Frankfurt am Main. Einst war der See ein Braunkohle-Abbau, später der Kühlteich des ersten Großkraftwerks in Hessen – ein denkbar ungünstiger Ort für die MT. Heute dient der See als Fischteich dem Angelsportverein Wölfersheim e.V., der uns freundlicherweise nicht nur die Erlaubnis zur Durchführung der Messungen erteilte, sondern uns auch ein Boot zur Verfügung stellte. In Anbetracht seiner Nähe zu Frankfurt liegt der See heute in einer elektromagnetisch verhältnismäßig ruhigen Lage.

Zur Durchführung von See-Messungen mit dem Datenlogger Geolore wird dieser in seinem wasserdichten Gehäuse an einem Gewicht auf den Grund des Sees versenkt und zum Wiederfinden und Bergen mit einer Boje versehen (Abbildung 1). Verwendet man für die Elektroden eine „L“-Auslage, so werden wahlweise eine gemeinsame oder zwei getrennte Basiselektroden direkt am Gewicht des Datenloggers befestigt. Die Gegenelektroden werden, in zueinander möglichst orthogonalen Richtungen, in etwa 100 m Abstand an separaten Gewichten versenkt und ebenfalls mit Bojen versehen. Die Verbindungskabel zu den Elektroden liegen dabei lose auf dem Seeboden. Der Vorteil der „L“-Auslage liegt darin, dass insgesamt nur drei Bojen erforderlich sind.

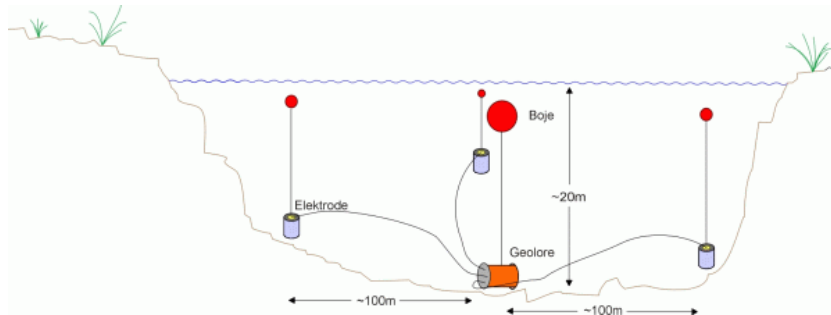


Abbildung 1: Typischer Aufbau für eine See-Messung mit dem Geolore Datenlogger.

Zur praktischen Durchführung des Aufbaus hat es sich bewährt, fast alle Komponenten schon am Ufer miteinander fest zu verbinden und dann nur noch nacheinander an den vorgesehenen Orten aus dem Boot abzulassen (Abbildung 2). Als Gewichte haben sich mit Beton gefüllte Eimer bewährt. Sie sind günstig und einfach, bei größeren Messkampagnen auch erst am Zielort, herzustellen. Als Bojen genügen einfache Netzschwimmer. Für die Seile wird scheuerfestes, UV-beständiges und nicht schwimmfähiges Polyester empfohlen. Alternativ zu Bojen an der Wasseroberfläche können bei klarem Wasser und nicht zu starken Schwankungen des Wasserspiegels auch Schwimmer unter Wasser eingesetzt werden: Bei einem Aufbau in Island (siehe

unten) wurden schwimmende Kunststoffringe so an den Bojenseilen befestigt, dass sie in ca. 1 m Wassertiefe schweben. Diese Technik soll im Winter einer Verschleppung der Komponenten durch driftende Eisschollen entgegenwirken.



Abbildung 2: Vorbereitung einer Geolore-Seemessung am Ufer: Elektroden und Datenlogger werden an Gewichten (mit Beton gefüllte Eimer) befestigt. Von den Gewichten führen Seile zu den Bojen (Netzschwimmer). Eine der Elektroden wird gerade an einem Gewicht angebracht.

Als eines der gravierendsten technischen Probleme bei der Durchführung von Seemessungen hatte sich die genaue Positionierung der Elektroden herausgestellt. Bedingt durch die, auch bei leichtestem Wind herrschende, Abdrift des Bootes ist eine genaue vorbestimmte Positionierung fast unmöglich. Statt dessen bleibt zu versuchen, die drei Bojen irgendwie in einem möglichst rechtwinkligen Dreieck zu platzieren, um die genauen Koordinaten nachträglich auszumessen und damit später die gemessenen Felder entsprechend zu rotieren. Doch auch das nachträgliche Ausmessen stellt sich auf dem Wasser als kompliziert dar. Zunächst nur als „Notlösung“ wurde für die Bestimmung der Elektrodenauslagen auf eine Positionsbestimmung der Elektroden per GPS zurückgegriffen: Es zeigte sich dabei, dass bei guten Empfangsbedingungen in der Regel bereits 4 Wiederholungsmessungen (jede gemittelt über ca. 1 Minute) genügen, um nach der Mittelwertbildung die Position auf etwa 1 m genau zu bestimmen. Lange Elektrodenauslagen sorgen dafür, dass die relativen Fehler bei Auslagenlänge und -orientierung gering bleiben (1–2% bzw. 1–2° bei 100 m Auslage). Dieses Verfahren hatte sich derart gut bewährt, dass es inzwischen mit Erfolg auch bei Landmessungen eingesetzt wurde. Voraussetzung dabei ist jedoch offenes Gelände zwecks guter Empfangsbedingungen.

3.2 Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt eine komplette Rohdatenzeitreihe. Gut zu erkennen sind die Auf- und Abbauphasen, in denen die Elektroden nicht angeschlossen oder in der Luft waren, der Datenlogger aber schon bzw. noch aufzeichnete. Trotz der offenen Eingänge kommt es dank des großen Messbereichs des Geolore-Datenloggers (-2 bis +2 V) selbst hierbei nur selten zu Übersteuerungen. Sobald die Elektroden im Wasser sind, verhalten sich die Spannungen sehr stabil.

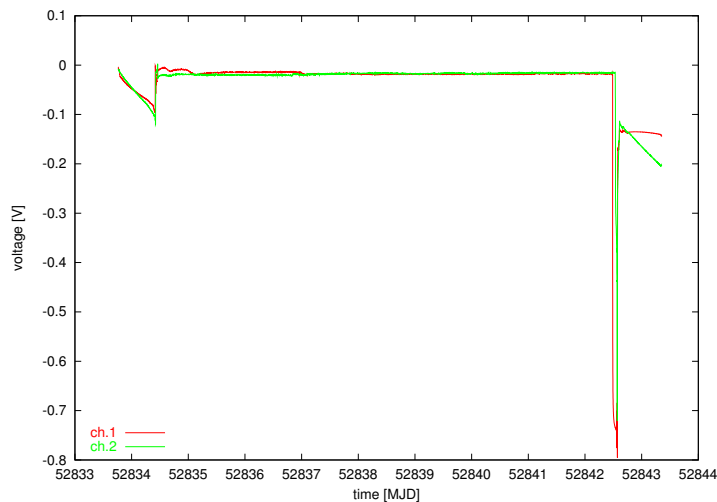


Abbildung 3: Rohdaten-Zeitreihen (Eingangsspannungen) von einer Messung im Wölfersheimer See.

Abbildung 4 zeigt den durch Rotation und Umskalierung aus den in Abbildung 3 gezeigten Rohdaten gewonnene Nord-Süd-Komponente des elektrischen Feldes am Geolore-Datenlogger. Dem gegenübergestellt wurde die entsprechende Zeitreihe aus der zeitgleichen Aufzeichnung durch den RAP-Datenlogger. Alle Daten wurden einheitlich auf Minutenmittelwerte tiefpass gefiltert. Es wurde kein Hochpass-Filter verwendet.

Für den soeben diskutierten etwa 3-tägigen Zeitausschnitt wurden auf zwei Wegen MT-Übertragungsfunktionen berechnet: Einmal wurden nur E- und B-Felder des RAP-Datenloggers, das andere Mal E-Felder des Geolore-Datenloggers mit den B-Feldern des RAP-Datenloggers verwendet (Abbildung 5). Man erkennt eine prinzipiell gute Übereinstimmung der scheinbaren Widerstände und Phasenkurven. Bemerkenswert ist insbesondere, dass kein „Static Shift“ zwischen den beiden scheinbaren Widerstandskurven auftritt. Die elektrischen Felder im See stimmen also auch betragsmäßig mit denen an Land überein. Möglicherweise lässt sich diese Beobachtung dadurch erklären, dass die durch den See hervorgerufene oberflächennahe Leitfähigkeitsanomalie in ihrer vertikalen Ausdehnung (ca. 15–20 m) klein gegenüber der Elektrodenauslage (ca. 100 m) ist.

Trotz der prinzipiell guten Übereinstimmung der Kurven von Geolore und RAP sind die Kurven der Geolore leider mit deutlich größeren Fehlerbalken behaftet. Da diese Fehler in den beiden baugleichen Kanälen der Geolore deutlich differieren, wird vermutet, dass die Rauschquelle ausserhalb der Elektronik des Datenloggers liegt: Ge-

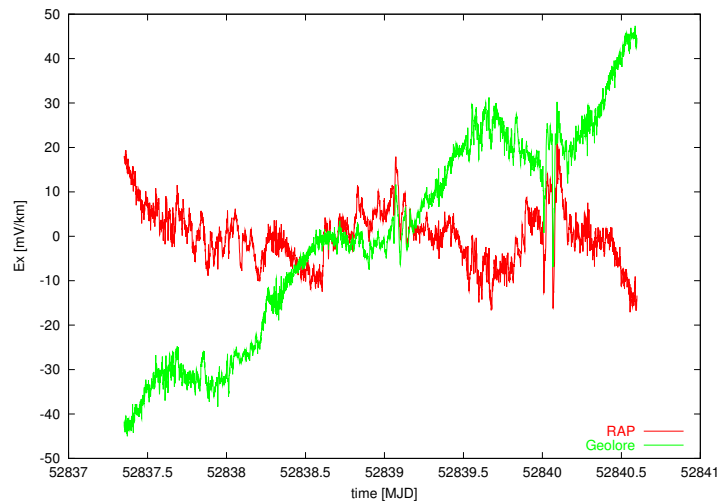


Abbildung 4: Aus den in Abbildung 3 gezeigten Rohdaten gewonnene Nord-Süd-Komponente des elektrischen Feldes am Geolore-Datenlogger. Zum Vergleich die gleiche Feldkomponente am RAP-Datenlogger.

genwärtig wird eine mangelnde Isolierung der Elektrodenkabel als wahrscheinlichste Ursache angesehen.

Auf der Seite des Datenloggers waren die Kabelanschlüsse vergossen, nicht jedoch an der Schnittstelle zu den Elektroden. Dort kam bei diesem Versuch als Isolierung nur selbstamalgamierendes Klebeband zum Einsatz. Mit diesem wurden in der Vergangenheit bei Land-Messungen (auch in sehr feuchter Umgebung) gute Erfahrungen gemacht. Unter Wasser reicht diese Isolierung jedoch nicht aus: Wie sich bei einer Untersuchung der betreffenden Verbindungsstellen nach der Bergung der Datenlogger deutlich zeigte, war Feuchtigkeit eingedrungen. Ob dies tatsächlich die Ursache für das hohe Rauschen war, wird sich spätestens nach einer Wiederholung vergleichbarer Versuche mit einer verbesserten Isolierung zeigen. Bei Landmessungen auf Island kam ein derart hoher Rauschpegel nicht zustande (Abbildung 6).

Bei neueren, aktuellen See-Messungen wurde eine verbesserte Kabelisolierung eingesetzt: Die verlötete Verbindungsstelle wird zunächst von einem Schrumpfschlauch umgeben. Dieser ist mit einer aufgestrichenen Schicht Zwei-Komponenten-Kleber (UHU-Plus) überzogen. Zum Zwecke des mechanischen Schutzes ist das ganze noch mit selbstamalgamierenden Klebeband umwickelt, das wiederum mit einer zweiten Lage Kleber überzogen ist. Diese sehr aufwändige Isolation sollte höchsten Dichtigkeitsansprüchen genügen. Nachteil ist allerdings eine mehrstündige Verarbeitungszeit, die eine Vorkonfektionierung aller Kabelverbindungen am Vortag der Messung erforderlich macht. Abhilfe könnte hier der Einsatz wasserdichter Steckverbindungen schaffen, die allerdings sehr teuer sind.

4 Neuere Messungen

Im folgenden wird kurz auf einige neuere Messungen mit dem Datenlogger Geolore eingegangen, die zum Zeitpunkt des Kolloquiums „Elektromagnetische Tiefenfor-

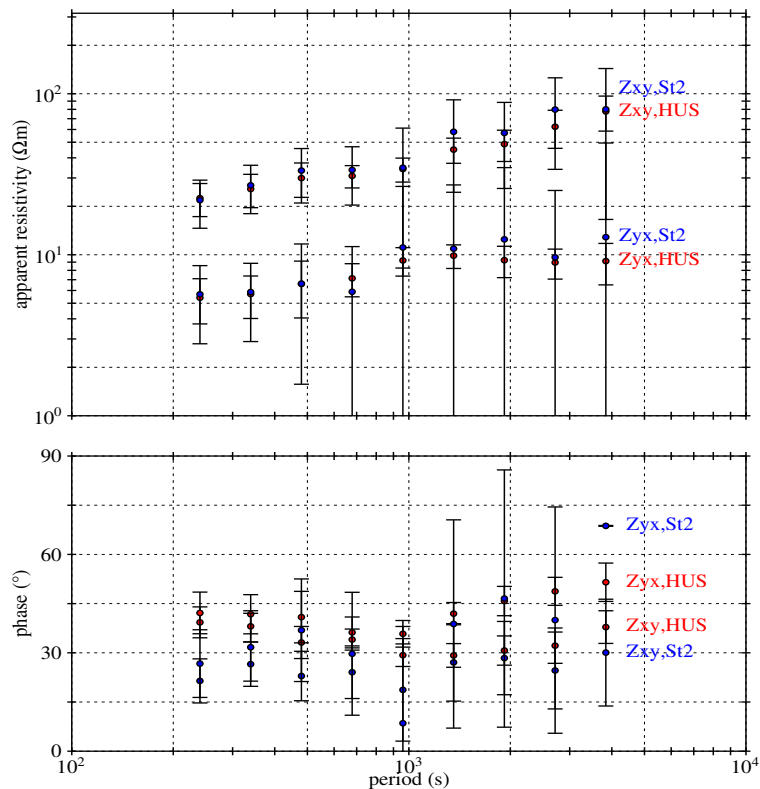


Abbildung 5: MT-Übertragungsfunktionen, berechnet mit elektrischen Feldern vom Geolore-Datenlogger oder vom RAP-Datenlogger.

schung“ 2003 für eine Vorstellung, sofern überhaupt schon realisiert, noch „zu frisch“ waren: Zum einen handelt es sich um Landmessungen auf Island, bei denen sich der Datenlogger hervorragend bewährt hat. Zum anderen um zwei noch nicht abgeschlossene Seemessungen – eine davon auf Island und die andere wieder im Wölfersheimer See.

Vom 28.8. bis zum 11.9.2003 wurde mit den beiden neuen Geolore-Datenloggern eine Messfahrt nach Island unternommen. Diese gliederte sich in zwei Abschnitte: Zunächst kamen beide Datenlogger für 9 Tage als konventionelle Landgeräte zum Einsatz. Dabei konnten Kurzzeit-Messungen an 5 Standorten in der Nähe der CMICMR-Station Húsafell (West-Island) durchgeführt werden, die einer detaillierten Untersuchung des erdelektrischen Feldes im Umfeld dieser Langzeitstation dienen.

Im zweiten Abschnitt der Messfahrt wurde abschließend einer der beiden Datenlogger in dem See Stíflisdalsvatn auf Island versenkt, wo er bis zum kommenden Frühsummer verbleiben soll. Letztere Aktion wurde logistisch nur durch die freundliche Unterstützung von Dr. Knutur Árnason, Orkustofnun und Dr. Hjalmar Eysteinnsson, ÍSOR ermöglicht.

Der zweite Datenlogger wurde wieder nach Frankfurt zurückgebracht, um dort für lokale geophysikalische Untersuchungen sowie für die Erprobung von neuen Verbesserungen am Gerät zur Verfügung zu stehen. Momentan (Dezember 2003 bis vor-

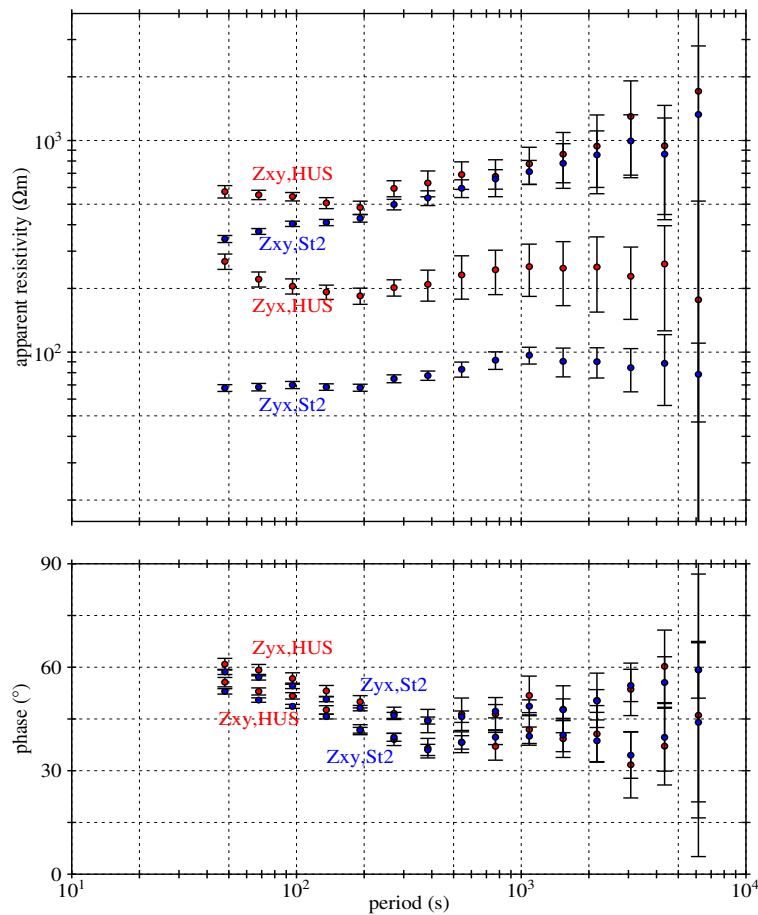


Abbildung 6: MT-Übertragungsfunktionen von einer Geolore-betriebenen Station in der Nähe von Húsafell, Island. Gegenübergestellt sind Ergebnisse von der ca. 2 km entfernten Basisstation Húsafell.

aussichtlich Februar 2004) befindet er sich wieder auf „Tauchstation“ im Wölfersheimer See. Ziel dieses Einsatzes ist neben der Gewinnung einer langen geoelektrischen Zeitreihe ein Vergleich mit magnetotellurischen Messungen im Spessart. Wir sind auf die Ergebnisse der beiden aktuellen See-Messungen sehr gespannt.

5 Zusammenfassung

Der Datenlogger Geolore hat inzwischen die Feldtauglichkeit erlangt und ist im Sommer und Herbst 2003 bei mehreren Messungen erfolgreich zum Einsatz gekommen: Insbesondere wurde bei mehreren Messungen im Wölfersheimer See nördlich von Friedberg der Einsatz unter Wasser intensiv erprobt. Danach dienten zwei Datenlogger bei einer Messfahrt nach Island als tellurische Landstationen. Schließlich wurde ein Datenlogger in einem See auf Island, ein andere erneut im Wölfersheimer See, versenkt, um Aufzeichnungen des erdelektrischen Feldes bis zum Frühjahr bzw. Sommer 2004 durchzuführen.

Bei den Messungen im Wölfersheimer See wurde zeitgleich zum Vergleich ein RAP-Datenlogger am Ufer betrieben. Die Ergebnisse beider Messungen stimmen gut überein. Ein höheres Rauschen des Geolore-Datenloggers ist vermutlich auf eine mangelhafte Kabelisolierung zurückzuführen. Bei den Landmessungen auf Island lag das Rauschen der Geolore-Datenlogger deutlich niedriger. Bei den neueren Seemessungen wurde eine verbesserte Kabelisolierung eingesetzt.

Abschließend kann gesagt werden, dass sich der Datenlogger Geolore im ersten praktischen Einsatz gut bewährt hat. Mit den in Tabelle 1 aufgeführten Spezifikationen wird der Datenlogger auch an Dritte abgegeben. Für den Einsatz in Observatorien ist in näherer Zukunft geplant, das Gerät um zwei Funktionen zu erweitern: Zum einem um eine Synchronisation des Zeitgebers mittels GPS-Empfänger, zum anderen um die Möglichkeit einer Fernabfrage über eine Netzwerkanbindung.

6 Dank

An der Entwicklung des Datenlogger Geolore waren neben den Autoren noch Dr. Martin Beblo und Vera Fischer maßgeblich beteiligt. Der Aufbau des zweiten Datenloggers wurde dank einer Förderung durch die Hermann-Willkomm-Stiftung, Frankfurt am Main ermöglicht. Herzlicher Dank für die erteilten Genehmigungen und logistischen Unterstützungen bei den Feldarbeiten gilt dem Ordnungsamt der Stadt Hungen, dem Angelsportverein Wölfersheim e.V., Dr. Axel Björnsson, Universität Akureyri, Dr. Knutur Árnasson, Orkustofnun und Dr. Hjalmar Eysteinnsson, ÍSOR.

Weitere Informationen unter: <http://www.geophysik.uni-frankfurt.de/em/geolore/>

Literatur

- [1] Junge, A., 1990. A New Telluric KCl Probe Using Filloux's AgAgCl Electrode. *PAGEOPH*, 134/4, 589–598.
- [2] Roßberg, R., Beblo, M., Fischer, V., Golden, S., Junge, A., 2003 (eingereicht). Datensammeln fast ohne Energie: Geolore – ein batteriegestützter Datenlogger für die wissenschaftliche Messwerterfassung. *Elektronik*.
- [3] Roßberg, R., Golden, S., Beblo, M., Fischer, V., Junge, A., 2003. Geolore – Ein neuer Langzeitdatenlogger. Abstract in: Tagungsband der 63. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft. Jena 2003.
- [4] Schultz, A., Booker, J., Larsen, J., 1987. Lake Bottom Magnetotellurics. *J. Geophys. Res.*, 92, B10, 10,639-10,649.
- [5] Steveling, E., Leven, M., 1992. Ein Datenlogger für niederfrequente geophysikalische Messungen. In: Haak, V., Rodemann, H. (Hrsgb.), Protokoll über das 14. Kolloquium „Elektromagnetische Tiefenforschung“ in Borkheide.
- [6] Steveling, E., 1994. Stand der RAP-Geräteentwicklung. In: Haak, V., Rodemann, H. (Hrsgb.), Protokoll über das 15. Kolloquium „Elektromagnetische Tiefenforschung“ in Höchst.