

ERWEITERUNG DES AUS MAGSON-MAGNETOMETER UND RAP-DATENLOGGER BESTEHENDEN MESSSYSTEMS.

E. Steveling

Institut für Geophysik der Universität Göttingen

Die Kombination von MAGSON-Fluxgatemagnetometer und RAP-Datenlogger soll am Institut für Geophysik Göttingen das Standardsystem zur Erfassung langperiodischer erdmagnetischer Variationen im Gelände werden. Dies war der Anlaß, in einem Vorversuch die Leistungsfähigkeit und die Grenzen des Systems zu erkunden.

MAGSON-Magnetometer

Das Magnetometer wird nach dem Namen seines Entwicklers oft auch „Auster-Magnetometer“ genannt. Es ist vom Typ her ein „Fluxgatemagnetometer“ mit triaxialen Ringkernen in einem Sensorkopf. In einer separaten Box sind die Elektronik für die Anregung, die Verstärkung und die Filter untergebracht. Neben den Magnetfeldsensoren gibt es je einen Temperatursensor im Sensorkopf und in der Elektronikbox. Für jede der 3 Magnetfeldkomponenten stehen drei Ausgänge (Version für das GeoForschungsZentrum Potsdam) zur Verfügung:

(1)	Frontplatte	200 nT/V	ungefiltert
(2)	LF (Variationen)	200 nT/V	10s Tiefpaß
(3)	HF (Pulsationen)	10 nT/V	0.1s - 100s Bandpaß

RAP-Datenlogger

Über den RAP-Datenlogger, ein geländetaugliches, netzunabhängiges System zur Registrierung niederfrequenter Signale, ist bereits berichtet worden (STEVILING und LEVEN, 1992; STEVILING, 1994). Seine Eigenschaften können hier daher unter Betonung einiger Neuerungen kurz zusammengefaßt werden.

Aufgezeichnet werden bis zu 8 Kanäle mit Eingangsspannungen von maximal $\pm 5V$ und einer Auflösung von $153\mu V$. Zusätzlich werden Temperatur und Akkuspannung erfaßt. Die möglichen Taktraten sind 1s bis 60s, und jetzt auch 64Hz. Die Daten werden als 16bit-Werte in einem max. 8 Mbyte großen nichtflüchtigen Halbleiterspeicher abgelegt. Mit Ausnahme der 64Hz-Taktrate kann ein Datenspeicherwechsel ohne Datenverlust während der Wechselphase erfolgen.

Bereits während der Aufzeichnung können Sekunden- und Minutenmittelwerte gebildet werden. In der optionalen Einstellung „Sekundenmittelwerte“ werden die angeschlossenen Signale mit 64Hz digitalisiert, zwischengespeichert, über 1s numerisch gemittelt und dann als Sekundenwert abgespeichert. Falls also z.B. die Systemeinstellung 5 Kanäle und 2s Taktrate eingestellt ist, werden genau 5 Kanäle in Abständen von 2s entweder mit ihrem Momentanwert (Standard) oder mit ihrem über 1s Dauer gemittelten Wert (Sekundenmittelwert) registriert.

Dies gilt nicht äquivalent für „Minutenmittelwerte“! Falls diese Option eingestellt ist, werden grundsätzlich die Sekundenwerte aller 8 Kanäle eine Minute lang zwischengespeichert, dann gemittelt und als Mittelwerte abgespeichert. Wenn, wie im obigen Beispiel, 5 Kanäle und 2s Taktrate eingestellt sind, werden im 2s-Abstand die Momentanwerte der 5 Kanäle und zusätzlich jede Minute die Minutenmittelwerte der 8 Kanäle registriert. Diese Option kann in

Verbindung mit dem MAGSON-Magnetometer nützlich sein, indem die 3 HF-Ausgänge des Magnetometers die Kanäle 1-3, die 3 LF-Ausgänge die Kanäle 6-8 und 2 Tellurikverstärker (Filtereinstellung 10s) die Kanäle 4-5 belegen. Damit werden gleichzeitig das HF-Band, z.B. mit einer Taktrate von 2s, und das LF-Band mit einer Taktrate von 60s registriert.

Der RAP-Datenlogger enthält für jeden Kanal einen separaten 16 bit Analog/Digital-Wandler (ADC) vom Typ Crystal CS5501. Der ADC arbeitet intern mit einer Überabtastung und filtert dann die Daten mit einem 6-poligen Gauß-Filter von 10,24 Hz Eckfrequenz. Die Werte der komplexen Filterpole sind (CRYSTAL, 1992):

$$\begin{array}{lll} s_1 = -1.4667+1.8199i & s_2 = -1.4667-1.8199i & s_3 = -1.7559+1.0008i \\ s_4 = -1.7559-1.0008i & s_5 = -1.8746+0.3276i & s_6 = -1.8746-0.3276i \end{array}$$

Aus den Filterpolen kann die komplexe Übertragungsfunktion U berechnet werden:

$$U = \prod_{j=1}^6 \frac{s_j}{i \cdot f / 10.24 - s_j} ; i = \sqrt{-1} ; f = \text{Frequenz in Hz}$$

In Abb. 1 sind die aus U berechneten Amplituden und Phasen in Abhängigkeit von der Periode aufgetragen. Man erkennt, daß für Perioden < 1s die Übertragungsfunktion berücksichtigt werden muß, falls die wahren Amplituden und Phasen des digitalisierten Signals von Interesse sind.

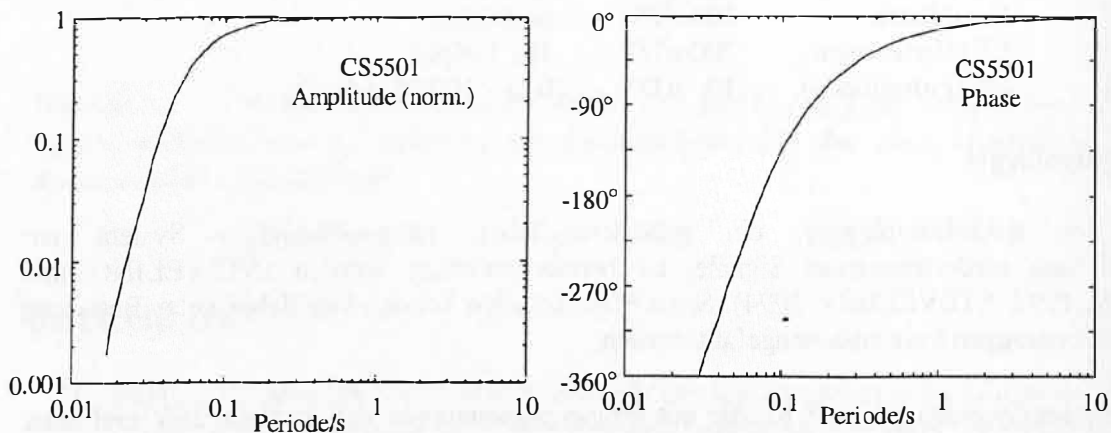


Abb. 1: Übertragungsfunktion des Analog/Digital-Wandlers CS5501 im RAP-Datenlogger. Dargestellt sind die normierte Amplitude und die Phase als Funktion der Periode.

Uhren

Durch Verwendung eines temperaturkontrollierten Quarzes wird für die eingebaute Uhr eine hohe Genauigkeit von $\pm 1\text{ppm}$ im Bereich der üblichen Außentemperaturen erreicht. Zur Zeitsynchronisation der internen Uhr können als externe Referenzen ein DCF-Empfänger (Meinberg PZF535) oder ein GPS-Empfänger (Trimble SVEeSix) angeschlossen werden. Falls die Empfänger über Nacht angeschlossen bleiben, wird eine regelmäßige nächtliche Synchronisation der internen Uhr erreicht.

Tiefpaßfilter und Tellurikverstärker

Tiefpaßfilter und Tellurikverstärker sind separate Einheiten, die zusammen mit dem Datenlogger und dem Datenspeicher in einem 19"-Einschub Platz finden. Filter und Verstärker haben einheitliche 7-polige Bessel-Tiefpaßfilter mit den umschaltbaren Abschneideperioden 10s

und 120s. Der Verstärkungsfaktor des Tiefpaßfilters ist 1, jener des Tellurikverstärkers in 6 Stufen zwischen 50 und 2000 wählbar. Der Tiefpaßfilter kann z.B. als Antialiasfilter zwischen MAGSON-Magnetometer und Datenlogger benutzt werden.

Software

Vor einer Weiterverarbeitung werden die registrierten Daten in der Regel in ein Notebook mit einem speziellen PCMCIA-Interface eingelesen. Dazu wird die Datenspeicherbox aus dem Datenlogger-Einschub herausgezogen und mit dem Interface verbunden. Mit Hilfe des Programms RAMTRA werden die im Binärformat aufgezeichneten Daten ausgelesen und als ASCII-Datenfiles auf der Festplatte des Notebooks abgelegt. Mit RAMTRA kann immer nur der vollständige aufgezeichnete Datensatz gelesen werden. Falls nur bestimmte Speicheradressbereiche ausgelesen werden sollen, hilft das Programm RAMHEX, das die Daten im HEX-Format auf die Festplatte schreibt, weiter.

Mit dem Programm ONLINE können für Kontroll- und Demonstrationszwecke die momentan im Datenlogger digitalisierten Daten auf einem PC-Monitor graphisch als Zeitreihen dargestellt werden. Dazu wird eine Verbindung der seriellen Schnittstellen von Datenlogger und PC benötigt. Gleichzeitig werden die übertragenen Daten auf der PC-Festplatte gespeichert.

Zur Ablaufsteuerung und zur Dokumentation benötigt der Datenlogger eine größere Anzahl von Parametern, die in der Regel über die Frontplattentastatur des Loggers eingegeben werden. Der Benutzer hat aber auch die Möglichkeit, den erforderlichen Parametersatz zunächst mit einem Standardeditor auf einem PC zu erstellen und dann mit Hilfe des Programms PARTRA in den Datenlogger zu laden.

Registrierung von Variationen

Bisher liegen überwiegend Erfahrungen mit dem LF-Ausgang des MAGSON-Magnetometers vor. So haben im Periodenbereich 4 Min. bis 1 Tag JUNGE et al. (1994) das MAGSON-Magnetometer des magnetischen Observatoriums im Göttinger Wald (GTTW) mit einem EDA-Fluxgatemagnetometer verglichen und dabei die Überlegenheit des MAGSON-Magnetometers festgestellt. In den hier beschriebenen Tests geht es um den Periodenbereich von etwa 0.1s bis 10000s.

Seit Anfang 1996 ist das MAGSON-Magnetometer des Observatoriums zusätzlich an einen RAP-Datenlogger angeschlossen. Die HF-Ausgänge (Pulsationen) werden nach analoger Filterung mit 10s-Tiefpässen in 2s Abständen abgefragt und aufgezeichnet. Über die LF-Ausgänge werden, wie oben beschrieben, Minutenmittelwerte (Variationen) registriert.

In Abb. 2 werden die so gewonnenen Mittelwerte mit einer EDA-Fluxgatemagnetometer-Aufzeichnung (240s Tiefpaß) verglichen. Man kann erkennen, daß die Mittelwertbildung, die einer numerischen Filterung mit einem Rechteckfenster entspricht, gute Variations-Registrierungen ermöglicht. Offenbar ist das natürliche Anregungsspektrum der Variationen so beschaffen und das Magnetometerrauschen so gering, daß durch die Mittelwertbildung - auch ohne den eigentlich erforderlichen Antialias-tiefpaß von 2s - zuverlässige Minutenwerte registriert werden können.

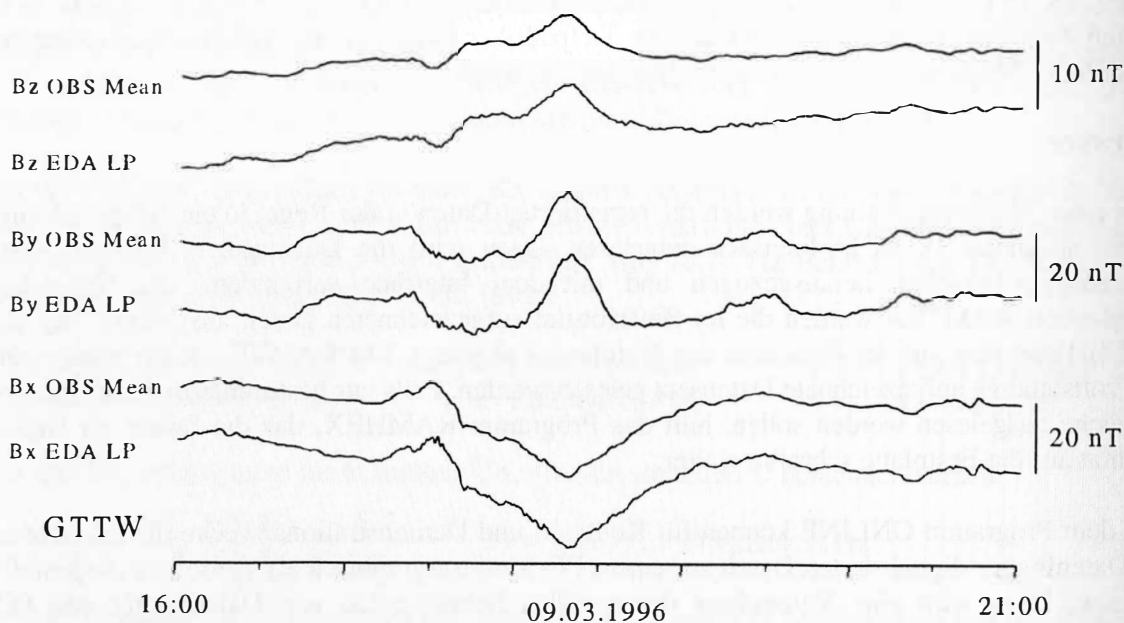


Abb. 2: Mit einem MAGSON-Fluxgatemagnetometers (OBS) und einem EDA-Fluxgatemagnetometer am Göttinger Observatorium GTTW registrierte Variationen. Die EDA-Daten wurden vor der Digitalisierung analog mit 240s tiefpaßgefiltert (LP), die OBS-Daten sind nach der Digitalisierung über 60 Sekunden numerisch gemittelte Minutenwerte (Mean).

Registrierung von Pulsationen

Über die Eignung des MAGSON-Magnetometers zur Messung von Variationen höherer Frequenz (Pulsationen) gibt es bisher keine umfangreichen Erfahrungen. Im Periodenbereich 10s bis 1000s bieten sich als Vergleichsinstrumente die Watermann-Induktionsspulenmagnetometer an. In Abb. 3 werden 2 dieser Instrumente mit 3 MAGSON-Magnetometern (HF-Ausgänge) verglichen. Die Aufzeichnungsrate betrug 2s. Um Unterschiede deutlicher sichtbar zu machen, wurde bewußt ein kleiner Effekt (Doppelamplitude etwa 0.2 nT) ausgewählt. Die Amplitudenabweichungen in den Aufzeichnungen der beiden Magnetometertypen sind wegen der sehr unterschiedlichen Frequenzcharakteristiken nur scheinbar, denn die Pulsationsperiode beträgt etwa 80s, während die Skalen am rechten Bildrand für die Periode 20s gelten.

Ein Vergleich der beiden oberen Spuren bestätigt einmal wieder, daß Registrierungen auf dem Göttinger Institutsgelände (GTT) stärker künstlich gestört sind als jene am neuen Göttinger Observatorium im Göttinger Wald (GTTW). Dann ist zu erkennen, daß der langperiodische Anteil von etwa 80s in allen Spuren mehr oder weniger deutlich enthalten ist. Offenbar ist es nicht empfehlenswert, den HF-Ausgang des MAGSON-Magnetometers direkt, ohne zwischengeschaltetes Analogfilter, mit einem RAP-Datenlogger zu verbinden und außerdem auf eine numerische Filterung zu verzichten (Spur „GTTW M01 Direct“).

Deutliche Verbesserungen erreicht man, wenn zwar der Datenlogger wiederum an den HF-Ausgang angeschlossen wird, dann aber eine Überabtastung mit 64Hz Takt erfolgt, und danach die Werte vor der eigentlichen Aufzeichnung während 1s numerisch gemittelt werden. Die beiden so gewonnenen Spuren „Mean“ sind aber durchaus nicht identisch, was sowohl auf Magnetometer-Rauschen als auch auf nicht exakt gleichzeitiges Digitalisieren der beteiligten Datenlogger beruhen könnte. Die optisch glatteste Spur wird mit einem zusätzlichen

zwischen geschalteten analogen 10s Tiefpaß erzielt (GTTW M01 LP). Den gleichen externen Tiefpaß hat das Observatoriums-Magnetometer (GTTW OBS LP). Die im Vergleich zu M01 rauhere Spur kann durch den abweichenden internen Magnetometer-Tiefpaß (25Hz statt 10Hz) verursacht werden.

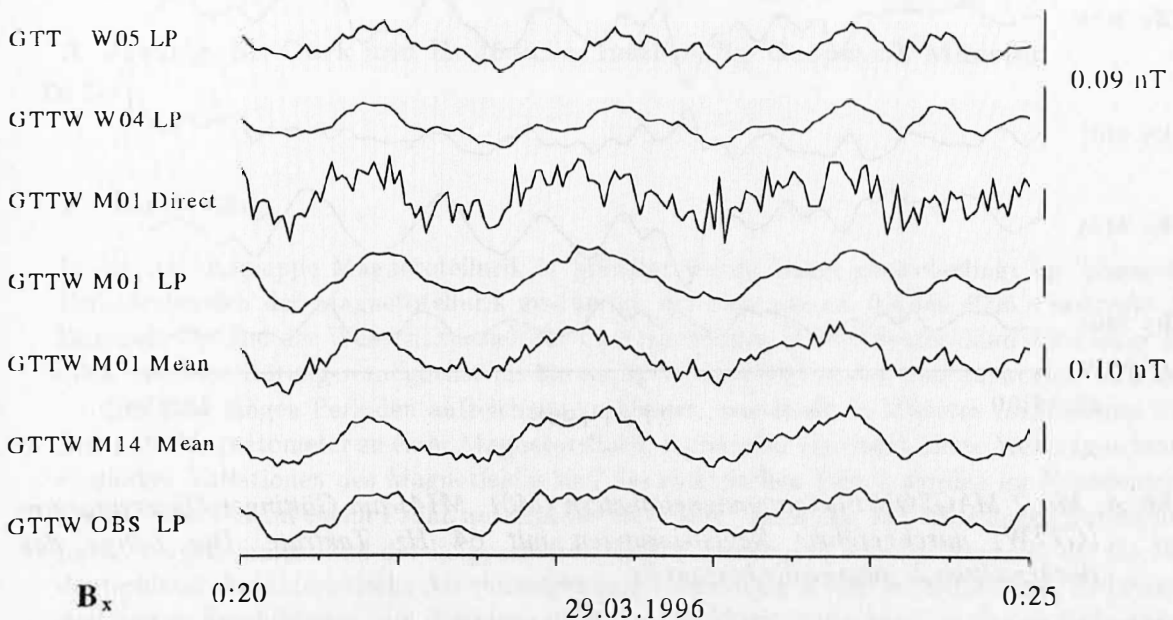


Abb. 3: Mit 2 Watermann-Induktionsspulenmagnetometern (W04, W05) und 3 MAGSON-Fluxgatemagnetometern (M01, M14, OBS) auf dem Göttinger Institutsgelände (GTT) und am Göttinger Observatorium (GTTW) registrierte Pulsationen in der B_x -Komponente. LP bedeutet, daß die Daten vor der Digitalisierung analog mit 8s bzw. 10s tiefpaßgefiltert wurden. Mit „Mean“ markierte Zeitreihen sind über 64 Werte gemittelte Sekundenwerte ohne vorausgegangene Tiefpaßfilterung. Bei „Direct“ wurde der HF-Ausgang des Magnetometers direkt mit dem Datenlogger verbunden, es wurde weder tiefpaß- noch numerisch gefiltert.

Registrierungen im Hz-Bereich

Mit einer weiteren Meßserie wurde untersucht, ob die MAGSON-Magnetometer auch noch für Perioden $< 1s$ an den HF-Ausgängen als erdmagnetische Pulsationen identifizierbare Signale liefern. Dazu wurden die beiden Magnetometer M01 und M14 dicht nebeneinander am Göttinger Observatorium GTTW aufgebaut und die Ausgangssignale ohne Verwendung von Filtern mit 2 RAP-Datenloggern mit 64 Hz Taktrate aufgezeichnet.

Ein typisches Registrierbeispiel ist in Abb. 4 wiedergegeben. Gleiche Komponenten der beiden Magnetometer sind paarweise zusammengestellt. Als enttäuschendes Ergebnis kann nur festgestellt werden, daß in keiner der 3 Komponenten B_x , B_y , B_z Ähnlichkeiten zwischen den gleichzeitigen Aufzeichnungen beider Magnetometer erkennbar sind.

Auch ein weiterer Versuch, beide Magnetometer an nur einen gemeinsamen Datenlogger anzuschließen, um zeitliche Synchronisationsfehler als mögliche Ursache der fehlenden Korrelation zu vermeiden, führte zu keinem besseren Ergebnis.

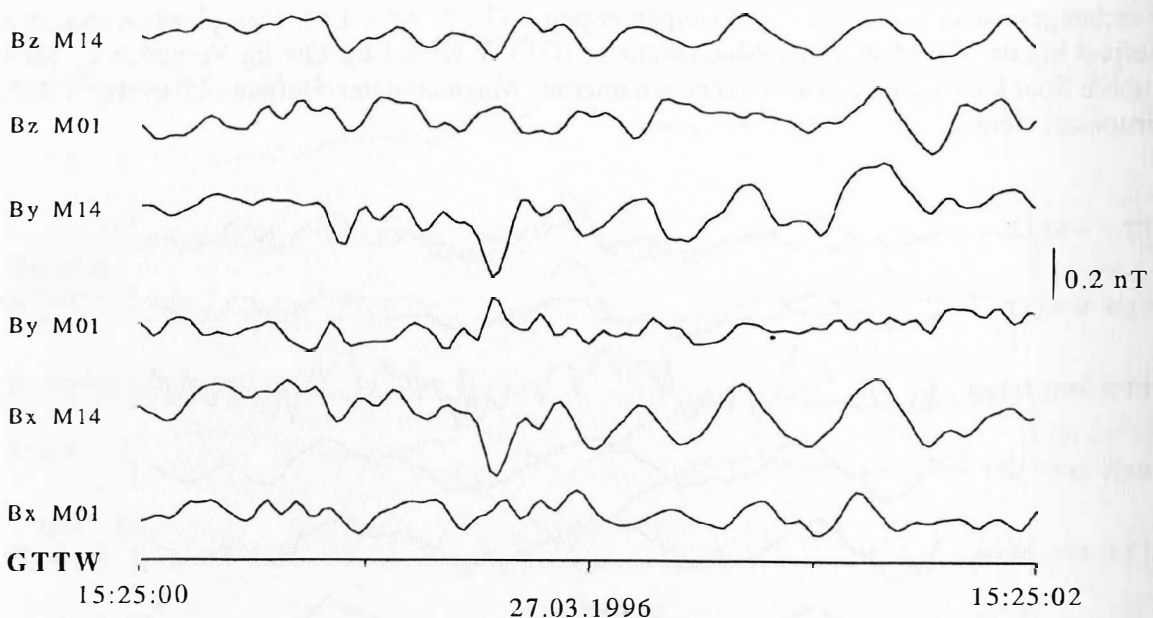


Abb. 4: Mit 2 MAGSON-Fluxgatemagnetometern (M01, M14) am Göttinger Observatorium (GTTW) durchgeführte Registrierungen mit 64 Hz Taktrate. Die Länge des dargestellten Zeitintervalls beträgt 2s.

Ausblick

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Nach den bisherigen Erfahrungen ist das MAGSON-Fluxgatemagnetometer für den Periodenbereich 10s bis DC ein sehr gutes Instrument, das die beiden bisher für diesen Bereich benutzten Watermann-Induktionsspulenmagnetometer und EDA-Fluxgatemagnetometer gleichzeitig ersetzen kann!

Durch den Einbau des Sensorkopfes in ein vergrabbares Gehäuse wird das Magnetometer gegenwärtig in Göttingen noch feldtauglicher gemacht. Die geplanten Vergleichsanalysen von weiteren Testmessungen müssen dann zeigen, ob die hier lediglich anhand von Registrierbeispielen abgeleiteten Ergebnisse numerisch erhärtet werden können.

Herrn Dr. M. Eisel vom GeoForschungsZentrum Potsdam danke ich dafür, daß er die beiden MAGSON-Magnetometer für die Tests zur Verfügung gestellt hat!

Literatur

- CRYSTAL Semiconductor Corporation, 1992: Analog/Digital Conversion IC's, Vol. 1 Data Book, 16-Bit Measurement A/D Converter CS5501, pp 3-239 to 3-279.
- JUNGE, A., P. SPITTA und C. PETER, 1994. Vergleich von Auster-Magnetometer und EDA-Fluxgate. In: Bahr, K. und Junge, A. (Hrsgb.), Prot. 15. Koll. „Elektromagnetische Tiefenforschung“, Höchst, S. 428-430.
- STEVING, E. und M. LEVEN, 1992. Ein Datenlogger für niederfrequente geophysikalische Messungen. In: Haak, V. und Rodemann, H. (Hrsgb.), Prot. 14. Koll. „Elektromagnetische Tiefenforschung“, Borkheide, S. 417-422.
- STEVING, E., 1994. Stand der RAP-Geräteentwicklung. In: Bahr, K. und Junge, A. (Hrsgb.), Prot. 15. Koll. „Elektromagnetische Tiefenforschung“, Höchst, S. 431-438.