

Donner F.; Miersch, G.

Magneto-Tellurik-Apparatur der Bergakademie Freiberg

Aufbau der Magnetotellurik-Station

Die Station besteht aus Meßwertaufnehmern für das magnetische und elektrische Feld, einem fünfkanaligen Analogteil zur Aufbereitung der analogen Meßwerte und aus einer A/D-Wandlereinheit zur Digitalisierung der Meßwerte und Speicherung der Daten.

Zur Aufnahme des magnetischen Feldes in drei Komponenten werden Torsionsspannbandmagnetometer, zur Aufnahme des elektrischen Feldes unpolarisierbare Elektroden verwendet.

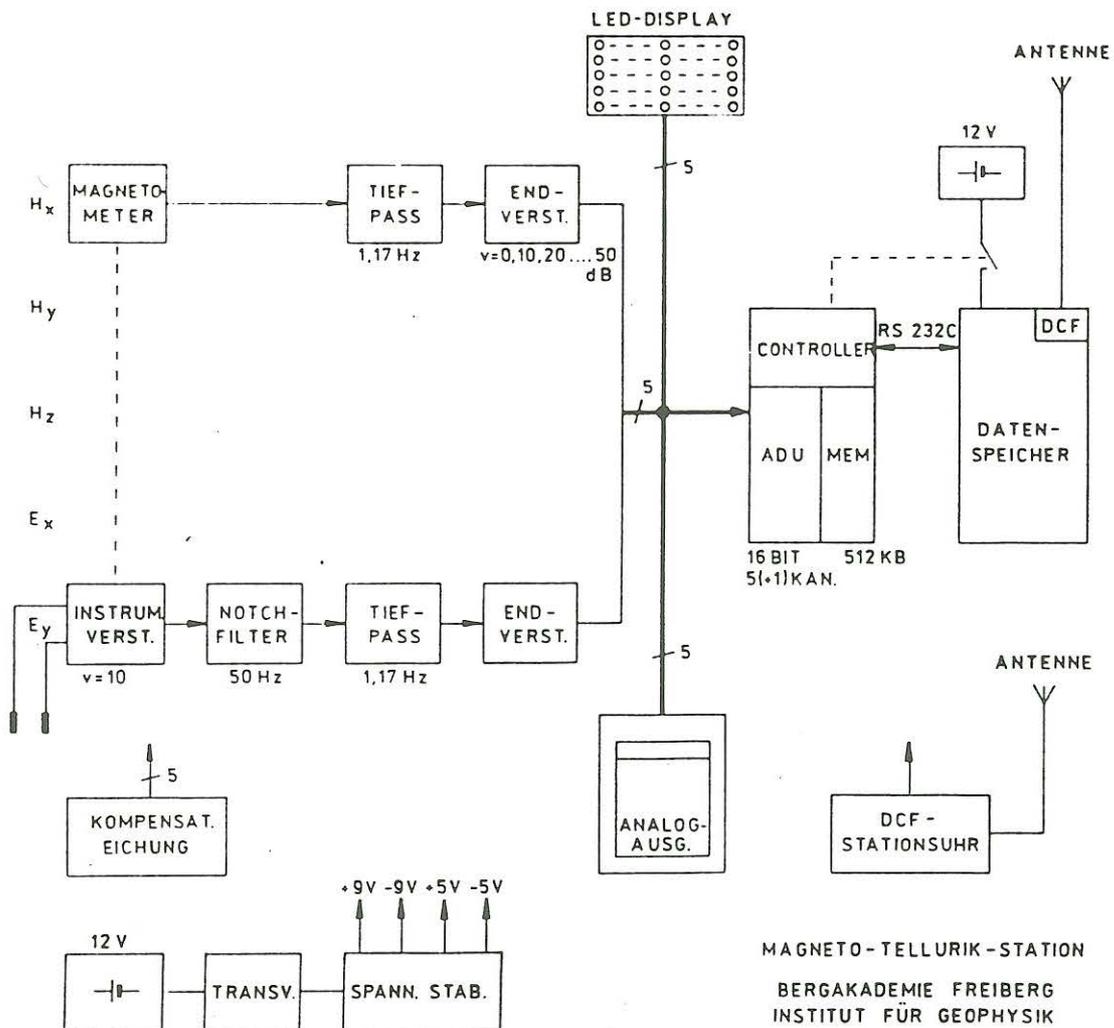


Bild 1: Prinzipschaltbild der fünfkanaligen MT-Station

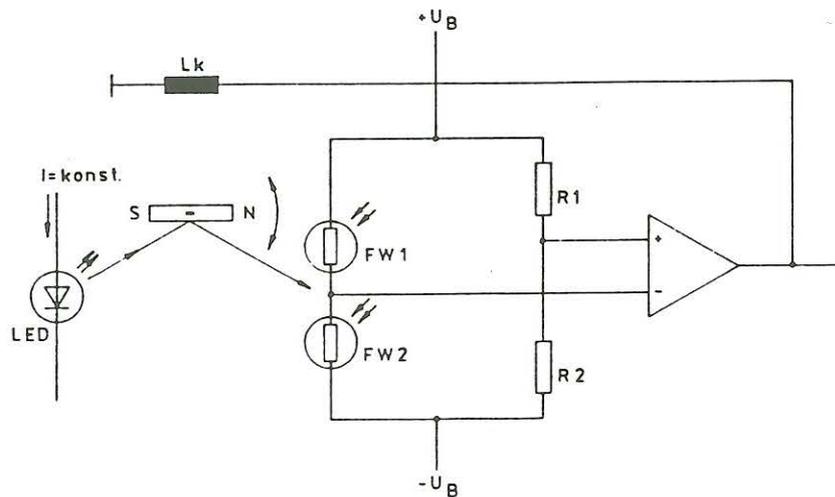
Der Analogteil besteht aus fünf Kanälen für die Registrierung der magnetischen Komponenten H_x , H_y und H_z sowie der elektrischen Komponenten E_x und E_y (Bild 1).

Jeder der fünf Kanäle enthält zur Unterdrückung von großen Gleichanteilen eine kontinuierlich einstellbare Kompensationsspannungsquelle. Die Eichung jedes Kanals ist mit Hilfe einer in Stufen veränderlichen Eicheinrichtung möglich. Die Digitalisierung der fünf analogen Meßwerte wird mit Hilfe eines fünfkana- ligen Analog-Digital-Wandlers durchgeführt.

Die Speicherung der digitalisierten Werte erfolgt durch Übertragung der Daten über eine RS 232 C-Schnittstelle auf den Massenspeicher eines hier angeschlossenen Computers (LAPTOP, NOTEBOOK o.ä.). Zur Bestimmung der absoluten Zeit ist in die MT-Station eine Funkuhr für den Sender DCF 77 eingebaut. Die Kontrolle jedes einzelnen Analogkanals ist über je eine LED-Zeile oder durch Anschluß eines Linienschreibers an die vorhandenen Analogausgänge möglich. Im folgenden werden die Baugruppen der MT-Station im einzelnen beschrieben.

Magnetometerkanal

Zur Aufzeichnung der Variationen des magnetischen Feldes in zwei horizontalen und einer vertikalen Feldkomponente werden weiterentwickelte Torsionsspannbandmagnetometer des Typs TPM-03 des Institutes für Geophysik der Bergakademie Freiberg verwendet. Diese Magnetometer bestehen im wesentlichen aus einem Magnet- spiegel-Spannbandsystem in klassischer Bauform und einem da- zugehörigen optoelektronischen Wandler mit Vorverstärker. Die Arbeitsweise dieses Magnetometertyps läßt sich wie folgt dar- stellen (Bild 2):



SPANNBAND-MM-PRINZIP

BERGAKADEMIE FREIBERG
INSTITUT FÜR GEOPHYSIK

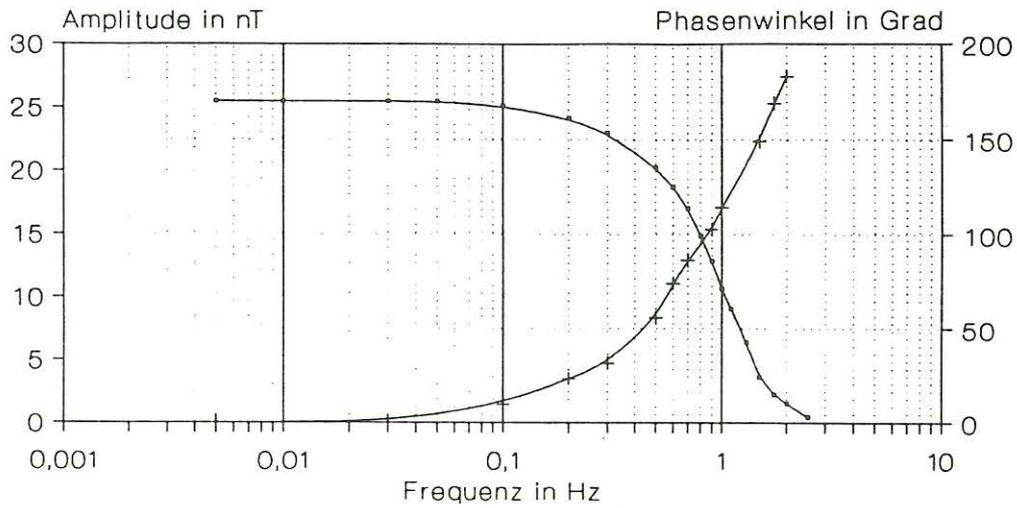
Bild 2: Prinzip des Spannband-Magnometers

Der Magnetspiegel mit einem Scheibendurchmesser von 6 mm und einer Stärke von zweimal 0.3 mm mit dazwischenliegendem Spannband wird aus einer Entfernung von 10 mm durch eine Leuchtdiode mit Streustrahlenblende angestrahlt. Das reflektierte Licht trifft in etwa 10 mm Entfernung auf zwei gegensinnig geschaltete Fotowiderstände, die Teil einer Wheatstoneschen Brückenschaltung sind. Die Variationsbedingten Auslenkungen des Magnetspiegels erzeugen durch Veränderung der Ausleuchtung des Fotowandlers eine Verstimmung der abgeglichenen Brücke. Die durch den Brückenstrom verursachte Spannung wird mittels eines Differenzverstärkers verstärkt und einem Helmholtz-Spulensystem zugeführt. Dieses Spulensystem erzeugt ein der Auslenkung des Magnetspiegels entgegenwirkendes Feld, so daß der Ausschlag kompensiert wird.

Eine weitere Spulenanordnung mit größerer Induktivität dient zur Rückkopplung höherfrequenter Anteile über einen Kondensator zur Erzeugung einer Systemdämpfung der durch Mikroseeismik und andere kurzperiodische Ereignisse angeregten Magnetspiegelschwingungen. Die Kompensation des Totalfeldes der Erde wird durch einen aus dem gleichen Magnetmaterial bestehenden und im Deckel des Gerätes dreh- und verschiebbar angebrachten Zusatzmagneten erreicht. Die geomagnetische Anordnung wurde experimentell so bestimmt, daß terrestrisch unterschiedliche Feldstärken des Totalfeldes ausgeglichen werden können und die Temperaturdrift des Magnetmaterials des Spannbandsystems durch die gegenseitige Wirkung des Ablenkmagneten teilweise kompensiert wird. Die Vertikalausführung der Magnetometer unterscheidet sich vom Horizontaltyp lediglich durch die horizontale Montage des im Gehäuseinneren befindlichen Spulen- und Spannbandsystems sowie die geometrisch andere Anordnung des Ablenkmagneten. Gehäuse und funktionelle Elemente der Magnetometer sind aus Aluminium bzw. magnetfreiem Messing gefertigt und durch Rundringdichtungen wassergeschützt aufgebaut. Stromversorgung und Übertragung der Meßwerte erfolgen über ein 6-adriges Anschlußkabel. Die Eichung der Magnetometer wird mittels einer im Magnetometer angebrachten Eichspule vorgenommen.

Die Elektronik des Magnetometers ist im Magnetometerfuß untergebracht. Sie besteht aus einem driftarmen Instrumentationsverstärker zur Verstärkung der Brückenspannung und einer Elektronik zum "Null-Abgleich".

Die von dem Magnetometer gelieferte elektrische Spannung wird einem Tiefpaß mit einer Grenzfrequenz von 1,17 Hz zugeführt. Zusammen mit dem Frequenzgang des Magnetometers ergibt sich eine nutzbare obere Frequenz von Ca. 0,5 Hz (Bild 3, 4).

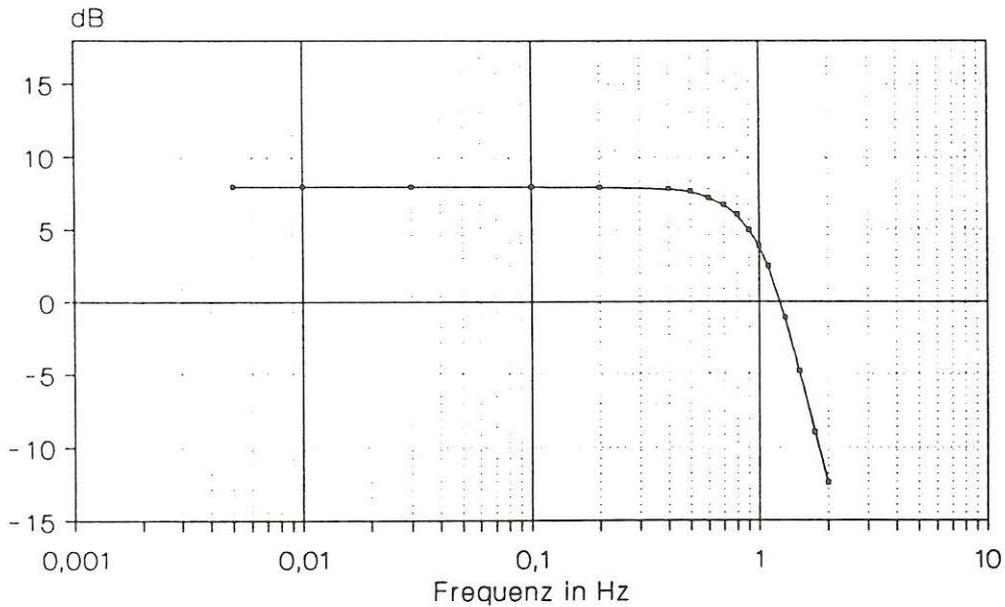


—●— Serie 1 —+— Serie 2

Serie 1: Amplitudenkurve
 Serie 2: Phasenkurve

TPM-03
 Amplituden- und Phasencharakteristik
 (mit Tiefpaßfilterung fG=1,17 Hz)

Bild 3: Amplituden- und Phasencharakteristik des Spannband-
 Magnetometers

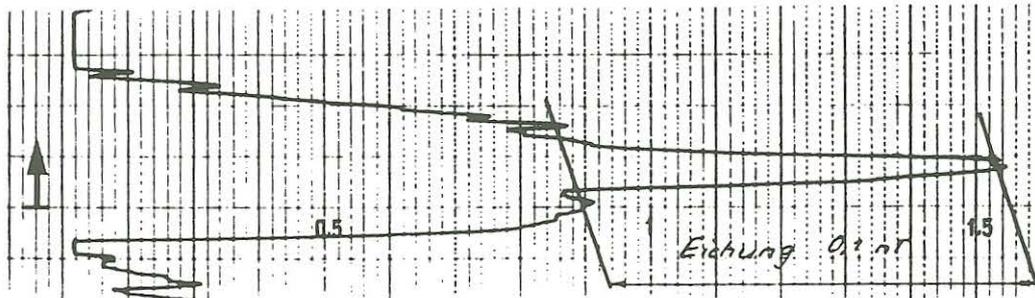


Magnetotellurik
 Charakteristik Tiefpaßfilter
 (Butterworth 4.Ordnung fG=1,17 Hz)

Bild 4: Frequenzgang des Tiefpaßfilters

Die Empfindlichkeit des Spannbandmagnetometers ist kleiner als 0,1 nT (Bild 5).

Bergakademie Freiberg
Institut für Geophysik



y/z - Schreiber
E=10 mV/cm
v=60 mm/min

TPM-03
Eichung mit 0,1 nT
(mit Tiefpaßfilterung fG=1,17 Hz)

Bild 5: Auslenkung des Magnetometers mit einem Impuls von 0,1 nT

Technische Daten des Torsionsspannbandmagnetometers TPM-03

1. Spannbandsystem:

Magnetmaterial: AURODUR J; 2 Scheiben (Durchm. 6 mm * 0,3 mm)

Magnetmasse: 0,136 g

Entmagnetisierungsfaktor: 0,059

Magnetische Flußdichte: 0,68 VSM-2

Spannbandmaterial: PtNi 0,166 * 0,0082 mm

Spannbandlänge: 65 mm

Systemkörper: AIMg3

Systemmasse: 14 g

Dämpfung: Wirbelstromdämpfung durch Ag-Scheibe

Eigenperiode: 1,5 Hz

2. Magnetometer:

Empfindlichkeit: $< 0,1 \text{ nT}$

Frequenzbereich: DC bis $0,5 \text{ Hz}$

Einsatztemperaturbereich: Ca. $- 0,5 \text{ C} \dots + 40 \text{ C}$

Dynamikbereich: $> 60 \text{ dB}$

Arbeitsweise: Rückgekoppeltes optoelektronisches System

Rückkopplung: Kompensation der Variationen durch HELMHOLTZ-Spulenordnung

Eichung: Über HELMHOLTZ-Spulen

Erdfeldkompensation: Permanentmagnet aus AURODUR J, der in der Spannbandachse drehbar angeordnet ist

Betriebsspannung: $+ 9 \text{ V}, - 9 \text{ V}$

Stromaufnahme: ca. 25 mA

Abmessungen: Fußplattendurchmesser: 180 mm

Gehäusedurchmesser: 97 mm

Höhe: 130 mm

Masse: $1,95 \text{ kg}$

Elektrometerkanal

Zur Aufnahme des elektrischen Feldes werden Cu-CuSO₄-Elektroden verwendet (Bild 6).

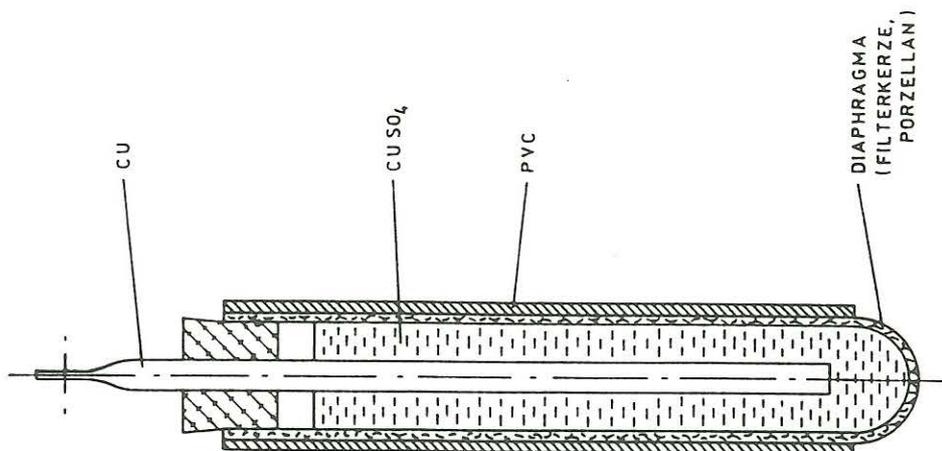


Bild 6: Elektrodenaufbau

Die von diesen Elektroden gelieferte Spannung wird einem hochohmigen Instrumentationsverstärker zugeführt ($R_E = 1 \text{ MOhm}$), der mit driftarmen Bauelementen aufgebaut wurde. Zur Unterdrückung von 50 Hz-Störungen folgt diesem Verstärker ein Nullfilter. Anschließend durchlaufen die Signale ein Tiefpaßfilter ($f_g = 1,17 \text{ Hz}$) und einen stufenweise einstellbaren Verstärker, die beide den gleichen Aufbau haben wie die im Magnetometerkanal verwendeten.

Kompensation, Eichung

Für jeden Kanal ist eine Kompensationsspannungsquelle vorhanden, deren Spannung von einem Referenzelement hoher Stabilität zur Verfügung gestellt wird. Die Kompensationsspannung ist kontinuierlich einstellbar.

Die Empfindlichkeit der Spannbandmagnetometer ist sowohl von deren Aufstellung in bezug zum Erdmagnetfeld als auch von dessen jeweiliger Kompensation durch die eingebaute Einrichtung abhängig. Es ist deshalb nach jeder mechanischen Veränderung der Magnetometer eine Eichung erforderlich. Diese geschieht durch Eichspannungsquellen in fest vorgegebenen Stufen mit positiver und / oder negativer Polarität. Grundlage hierfür sind ebenfalls temperatur- und spannungsunabhängige Referenzelemente.

Signalkontrolle

Die Kontrolle der fünf analogen Signale ist über je eine Lumineszenzdiode-Zeile (LED-Zeile) möglich. Die LED-Zeilen bestehen aus je 12 Leuchtdioden, die eine grobe Orientierung über die jeweilige Feldstärke ermöglichen. Die LED-Zeilen überstreichen den gesamten Bereich, der von + 5 V über 0 V bis zu - 5 V reicht. Mit Hilfe dieser Anzeige ist sowohl die Nullpunkteinstellung jedes Kanals (Kompensation) als auch die Kontrolle der Eichung möglich. Eine Registrierung der analogen Signale kann durch Anschluß von mehrkanaligen Linienschreibern an die analogen Ausgänge erfolgen.

Uhrzeit

Die absolute Zeit wird beim Start jeder Registrierung dem Timer des als Datensammler verwendeten Computers (LAPTOP) entnommen und in der Startdatei aufgezeichnet. Um zu genauen Zeiten zu kommen, ist der Computer-Timer vor Registrierbeginn auf die exakte Absolutzeit zu setzen. Dies geschieht entweder durch Vergleich mit der in die MT-Station eingebauten Funkuhr, die die Zeitsignale des Senders DCF 77 (Mainflingen) empfängt oder durch Einbau eines Funkuhr-Moduls in den LAPTOP.

Stromversorgung

Die MT-Station benötigt zum Betrieb der Elektronik stabilisierte Betriebsspannungen unterschiedlicher Größe und Polarität. Von besonderer Bedeutung ist die Potentialtrennung und Entkopplung der Instrumentationsverstärker in den Elektrik-Kanälen. Aus diesen Gründen wird ein DC/DC-Wandler verwendet, der die 12 V-Spannung eines Autoakkus in die benötigten Gleichspannungen wandelt. Um die Potentialtrennung zwischen den einzelnen Kanälen zu gewährleisten, enthält der Wandler einen Übertrager, der die Betriebsspannungen für die Elektronik sowie die Spannungen für Kompensation und Eichung über getrennte Wicklungen zur Verfügung stellt. Die Spannungen werden einzeln stabilisiert. Die Stromaufnahme des Transverters liegt bei ca. 650 mA.

Analog-Digital-Wandler-Einheit (Bild 7)

Der Analog-Digital-Wandler besteht aus sechs einzelnen Wandler-schaltkreisen, wovon fünf für die Meßkanäle bestimmt sind. Der sechste Kanal wird zur Registrierung der Umgebungstemperatur verwendet.

Die A/D-Wandler werden von einem CMOS-Controller gesteuert, der außerdem die Datenablage in einem Zwischenspeicher und den Datentransfer zum Massenspeicher (LAPTOP) steuert.

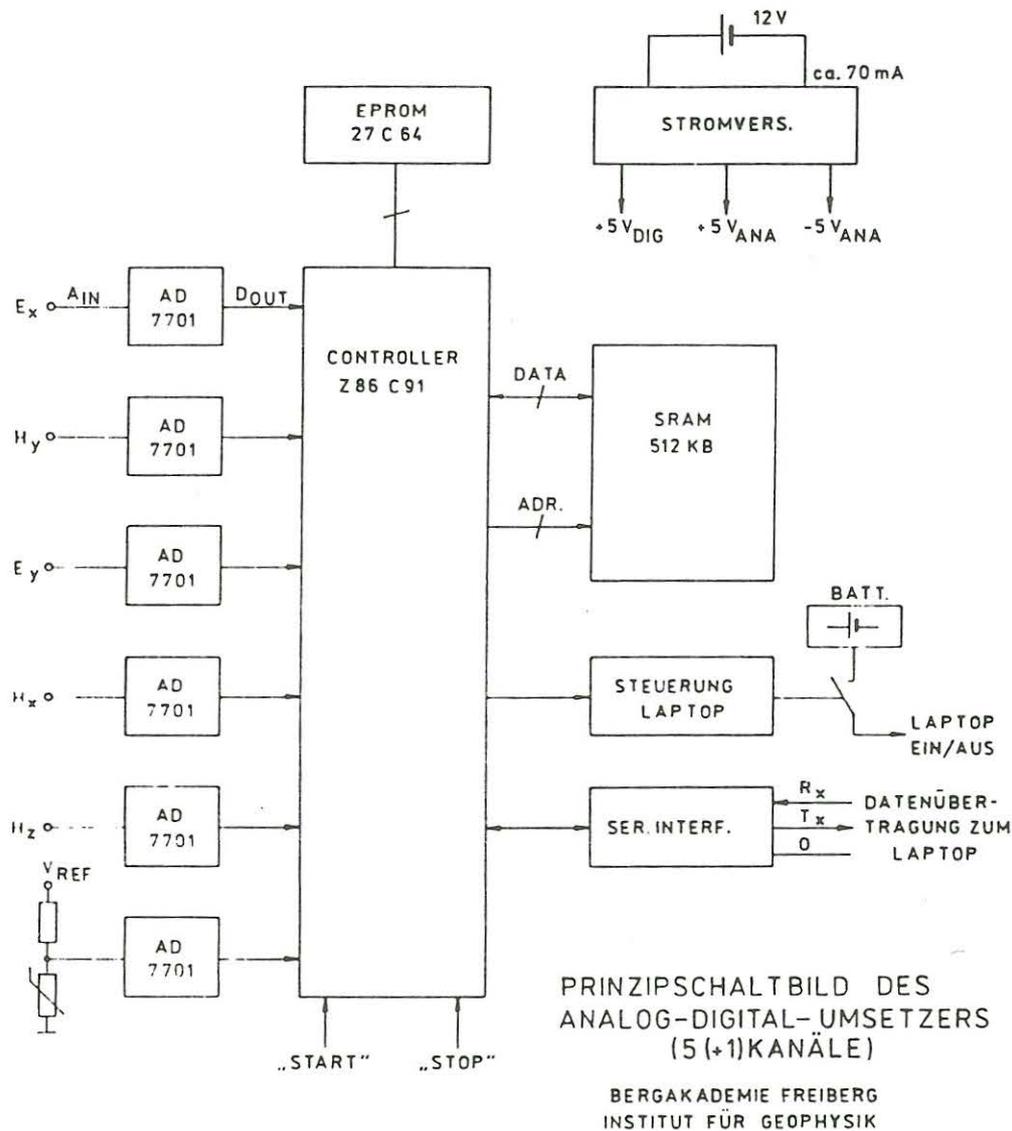


Bild 7: Prinzipschaltbild des Analog-Digital-Umsetzers

Daten der verwendeten ADU:

Datenbreite: 16 bit
 Genauigkeit: ca. 14 bit ($< 6,3 \cdot 10^{-3}\%$)
 Frequenzgrenze: 10 Hz
 Abtastrate: einstellbar von 0,16 bis 40 Hz
 Eingangsspannung: $-2,5 \text{ V} \dots 0 \text{ V} \dots +2,5 \text{ V}$
 Temperaturbereich: $-40 \dots +85 \text{ C}$

Betriebsdaten der A/D-Wandlereinheit:

Betriebsspannung: 12 V
Stromaufnahme: 75 mA

Arbeitsweise der A/D-Wandlereinheit:

Die CPU der Wandlereinheit startet zeitgleich die Analog/Digital-Umsetzung der 6 ADU's. Ist die Umsetzung beendet, werden die Daten in einem CMOS-RAM abgelegt, der maximal 512 KByte Daten speichern kann. Die A/D-Umsetzungen werden mit der einstellbaren Abtastrate wiederholt, bis der Zwischenspeicher (CMOS-RAM) gefüllt ist. Jetzt veranlaßt die CPU das Einschalten des über die RS 232 C-Schnittstelle angeschlossenen Massenspeichers (LAPTOP) und sendet, wenn dieser seine Empfangsbereitschaft gemeldet hat, die Daten. Die laufende Messung wird dabei nicht unterbrochen, so daß die Messungen fortlaufend über lange Zeit durchgeführt werden können.

Einstellbare Parameter der Wandlereinheit sind:

- * Abtastfrequenz (max. 40 Hz)
- * RAM-Füllung bis zum Einschalten des Massenspeichers
- * Kanalanzahl,
- * Datumübertragungsgeschwindigkeit.

Die Einstellung dieser Parameter geschieht softwaremäßig am LAPTOP und wird durch Kommunikation über die RS 232 C-Schnittstelle bewerkstelligt.

Temperaturkanal:

Die Registrierung der Umgebungstemperatur in einem Kanal bietet die nachträgliche Korrektur des Temperaturganges der ADU's und damit die Erhöhung der Genauigkeit. Die Korrektur erfolgt durch Berechnung eines Faktors, mit dem die Meßwerte der Kanäle 1 bis 5 jeweils zu multiplizieren sind.

Datenaufzeichnung und Datenkontrolle

Die Aufzeichnung der Daten erfolgt im Integer-Format (16 bit Breite). Bei jedem Einschalten des Laptop wird eine Datei aufgezeichnet, in der alle Daten aus dem CMOS-RAM der A/D-Wandlereinheit abgelegt werden. Die Dateien wurden fortlaufend nummeriert. Zu jeder Datendatei wird eine Parameterdatei angelegt, die die folgenden Angaben enthält:

- + Datum (Jahr, Monat, Tag, Wochentag)
- + Absolute Zeit des Dateianfangs (Stunde, Minute, Sekunde)
- + Eichgrößen (Hx, Hy, Hz in nT; Ex, Ey in mV)
- + Verstärkereinstellungen (Hx, Hy, Hz, Ex, Ey)
- + Abtastrate des ADC
- + Byteanzahl der Datendatei
- + Meßort
- + Bediener
- + Gewählte Kanalzahl
- + Gewählte RAM-Grenze
- + Feldkomponente am Dateianfang

Für die Datenkontrolle im Feld stehen zwei Programme zur Verfügung:

1. Programm zur Bildschirmdarstellung
2. Programm zum Ausdruck der Meßkurven

Bild 8 zeigt als Beispiel eine Hardcopy des Bildschirms.

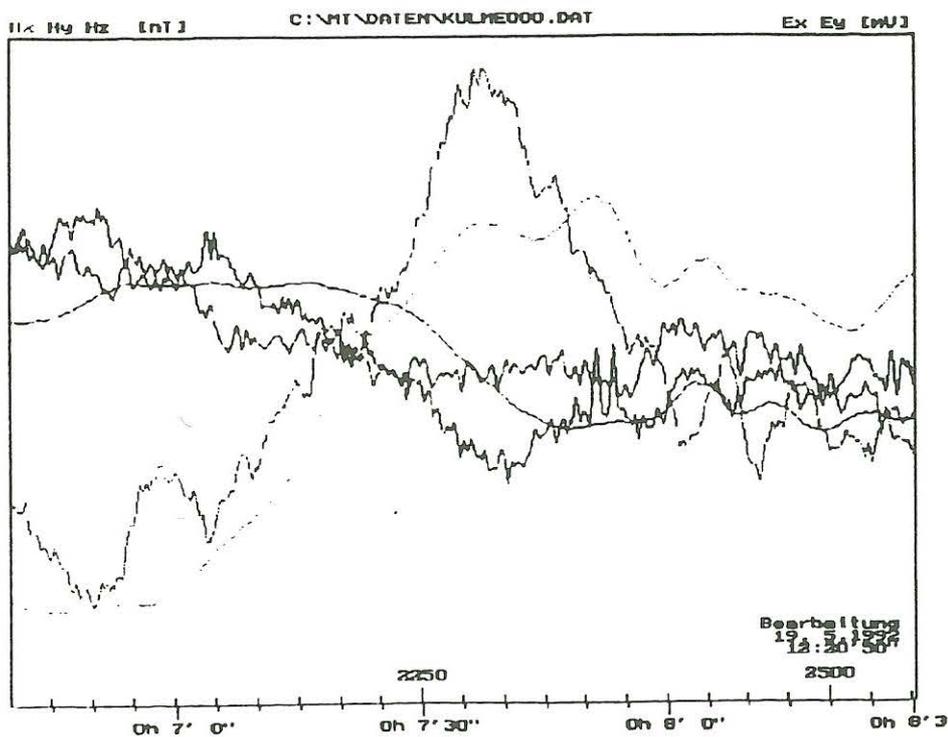


Bild 8: Beispiel zum Bildschirmprogramm

Das Programm ermöglicht sowohl die Änderung der Amplituden jedes Kanals als auch ein Strecken bzw. Stauchen der Zeitachse.