

K. KNÖDEL, W. LOSECKE, W. MÜLLER, H. RODEMANN

Das neue Magnetotellurik-Meßsystem der BGR

1. Einleitung

Folgende Ziele wurden bei dem Aufbau eines neuen Magnetotellurik-Meßsystems in der BGR verfolgt:

- Schaffung der Möglichkeit zur Messung und Auswertung nach dem "Remote-Reference-Verfahren" (GOUBAU et al., 1978) und (GAMBLE et al., 1979).
- Beschleunigung des Meßverfahrens im Hinblick auf die Anwendung in der Exploration.
- Erweiterung des Frequenz- und damit des Aussagebereiches.

2. Meßanlagen

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde ein verbessertes und wesentlich erweitertes Magnetotellurik-Meßsystem aufgebaut. Dazu sind u.a. folgende Maßnahmen durchgeführt worden:

- a) Verbesserung der Analogelektronik der bei der BGR vorhandenen MT-Meßanlage (nachfolgend als 1. System bezeichnet). Diese Anlage in ihrer ursprünglichen Form wurde von LOSECKE et. al (1978) beschrieben.
- b) Erweiterung der Rechenanlage des 1. Systems.
- c) Beschaffung einer weiteren MT-Meßanlage (nachfolgend 2. System genannt), die unabhängig vom 1. System arbeitet. Hersteller: Firma Metronix in Braunschweig.
- d) Ausrüstung beider Systeme für den sogenannten "Remote-Reference"-Betrieb.

Abb. 1 zeigt die Gesamtkonzeption aus dem 1. Meßsystem mit geänderter Analogelektronik und erweitertem Rechnersystem (oberer Bildteil) sowie dem 2. Meßsystem (unterer Bildteil).

Für die Magnetfeldmessung ist die erste Meßanlage mit einem 3-Komponenten-Förstersonden-System (fluxgate) und mit einem 3-Komponenten-Induktionsspulen-System ausgerüstet. Beide Magnetfeldaufnehmer arbeiten in verschiedenen, sich teilweise überlappenden Frequenzbereichen. Die beiden elektrischen Horizontalfeldkomponenten E_x , E_y werden über Ag-AgCl-Elektroden aufgenommen.

Nach Vorverstärkung durchlaufen die Meßsignale der 5 Kanäle einen der 4 wählbaren Bandfiltersätze sowie einen Nachverstärker. Falls im überlappenden Frequenzbereich beider Magnetfeldsysteme registriert wird, sind es 8 Kanäle.

Im nächsten Schritt werden die Analogsignale über einen Multiplexer und 15 Bit-Wandler in digitale Werte umgesetzt und von einem Hewlett-Packard-Rechner auf Magnetband geschrieben. Parallel dazu zeichnet ein 8-Kanal-Papierschreiber die Analogsignale zur Sichtkontrolle auf. Die Rechenanlagen (Abb. 2) ist wesentlich umfangreicher, als es für die reine Datenaufzeichnung

erforderlich wäre. Der Ausbau wurde vorgenommen, um bereits im Gelände während der Datenregistrierung im Hintergrund (Multi-programming) die zuvor gewonnenen Meßdaten beider Anlagen prozessieren und gegebenenfalls erste Interpretationsberechnungen durchführen zu können. Dies ist eine der Maßnahmen, die der eingangs erwähnten Beschleunigung des Verfahrens dienen soll.

Die 2. Meßanlage (Abb. 3) ist hinsichtlich Analogelektronik und Analog-Digitalwandlung ähnlich wie die 1. Anlage aufgebaut. Sie ist gegenüber dem 1. System für die Messung höherfrequenterer Signale um die Frequenzbänder 0.5 bis 25 Hz und 5 bis 250 Hz erweitert worden. Die Magnetfelder werden mit zwei in unterschiedlichen Frequenzbereichen arbeitenden 3-Komponenten-Induktions-spulen-Systemen aufgenommen. Diese Spulensysteme sind Neuentwicklungen (KARMANN; 1977), die gegenüber den Spulen des ersten Systems (KARMANN, 1975) rauschärmer sind. Die Meßwerte werden über einen PDP-Rechner auf Magnetband aufgezeichnet. Das Aufzeichnungsformat ist identisch mit dem des ersten Systems. Parallel werden auch hier die Analogsignale auf einem Mehrkanalschreiber registriert. Die digitale Bandaufzeichnung kann zum Sichtvergleich nach Beendigung der Messung über den Digital/Analogwandler auf dem Mehrkanalschreiber wiedergegeben werden. Da der Rechner des Systems lediglich zur Steuerung der Meßwert-erfassung dient, konnte er relativ klein gehalten werden. Um die gleichzeitige Erfassung von Meßdaten in beiden Anlagen für den Remote-Reference-Betrieb zu erreichen, wurde eine Zeitschaltung unter Verwendung zweier hochgenauer Quarzuhren von der erwähnten Firma entwickelt. Die Uhren müssen in bestimmten Zeitabständen durch Zusammenschaltung auf gleiche Zeit und Ganggenauigkeit gebracht werden (Synchronisation). Sie steuern über die Rechner der einzelnen Anlagen den Meßvorgang; damit ist ein simultanes Sampling in beiden Anlagen gewährleistet. Im Verlauf von 24 Stunden beträgt die maximale Zeitdrift beider Uhren gegeneinander etwa 400 μ s. Eine simultane Meßwert-erfassung für Remote-Reference-Auswertung ist zur Zeit nur für solche Frequenzbänder möglich, für die beide Meßanlagen ausgerüstet sind, d.h. für den Bereich 5 bis 10^{-4} Hz.

Beide Meßanlagen sind mit einem Testsignalgenerator ausgestattet, der dazu dient, vor jeder Messung definierte Signale an die Eingänge der Meßkanäle zu legen und anhand der Ausgangssignale zu überprüfen, ob die Meßkanäle einwandfrei arbeiten.

Neben den angegebenen Bandfiltern, die mit 4- bis 8-poligen Tiefpässen ausgerüstet sind, verfügen beide Anlagen über Saugfilter für die Frequenz $16 \frac{2}{3}$ Hz und das 2. System über weitere zuschaltbare Saugfilter für die Frequenzen 50, 100, 150, 200, 250 und 300 Hz.

Bei beiden Anlagen wurde die Möglichkeit zur Temperaturmessung in den Magnetfeldmeßsystemen vorgesehen. In jedem Fall wird die Magnetfeldsensortemperatur zu Beginn einer MT-Messung automatisch übernommen und aufgezeichnet. Darüber hinaus kann bei Messungen in den Periodenbereichen mit einem Tiefpaß ≥ 2 s die Temperatur auch als Zeitreihe mitregistriert werden.

Zur Erreichung des derzeitigen Standes hat es umfangreicher und

aufwendiger Funktionstests, insbesondere an der 2. Anlage, bedurft, die mehrfach zu Änderungen von Systemkomponenten in der Aufbauphase geführt haben.

3. Datenstruktur und Meßprogramme

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde auch eine neue Datenstruktur für MT-Messungen erarbeitet und darauf aufbauend Meßprogramme entwickelt, die für das Meßpersonal in der Bedienung für beide Meßanlagen gleich sind und gleichformatierte/gleichstrukturierte Meßdaten-Magnetbänder liefern. Dabei ist die interne Realisierung der Meßprogramme schon deshalb für beide Anlagen verschieden, weil die Steuerrechner, die Peripherie und die Betriebssysteme unterschiedlich sind (Abb. 1).

Es wurde großes Gewicht auf eine zukunftssichere, ausbaufähige und für industrielle Anwendung geeignete Datenstruktur gelegt. Dabei erschien es von entscheidender Bedeutung, daß alle Daten schon zum Zeitpunkt ihrer Entstehung zwangsweise zusammen mit allen den Informationen aufgezeichnet werden, die zu ihrer eindeutigen, verwechslungssicheren Weiterverarbeitung benötigt werden, sofern diese zum Zeitpunkt der Messung bekannt sind.

Da durch eine Weiterentwicklung der Interpretationsverfahren zukünftig mit geänderten Bandinhalten zu rechnen ist, wurde beschlossen, jeden logischen Record auf dem Band mit einer Kennzahl beginnen zu lassen, die Auskunft über den zu erwartenden Inhalt des Records gibt.

Folgende Recordtypen sind bisher definiert:

- 0 = End of information on tape
- 1 = General header
- 2 = Normal (i.e. measurement) header
- 3 = Measurement data
- 4 = Trailer information on measurement

Für die folgende Betrachtung der Bandstrukturierung mit Hilfe obiger Recordtypen sei der Begriff "Messung" wie folgt definiert:

Eine "Messung" sei der gesamte Vorgang der Informationsgewinnung und -aufzeichnung für eine Einstellung der Steuerparameter (z.B. Filterband) und für einmaliges Starten und Stoppen des Meßprogrammes.

Die Abb. 4 zeigt die allgemeine Datenbandstruktur. Ein Magnetband beginnt mit einem Record vom Typ 1 (general header), der Informationen enthält, die für alle folgenden "Messungen" gemeinsam gelten.

Anschließend folgt durch End-of-file (EOF) Bandmarken geblockt eine beliebige Anzahl von "Messungen". Dabei besteht eine "Messung" zur Zeit aus Records vom Typ 2, 3 und 4.

Abgeschlossen wird das Band durch einen Record vom Typ 0 an Stelle einer "Messung" gefolgt von zwei EOF-Marken.

Die Blockung durch EOF-Marken wurde gewählt, weil sie eine schnelle hardwaremäßige Positionierung auf eine gewählte "Messung" erlaubt.

In den Abb. 5 bis 7 ist die Struktur der verschiedenen Record-typen dargestellt.

Da vor Beginn einer Messung eine größere Anzahl von Informationen vom Benutzer zu erfragen ist, mußte ein geeignetes Verfahren gefunden werden, um die Arbeit für den Bedienenden zu reduzieren und so die Fehleranfälligkeit zu vermindern.

Folgende Forderungen wurden aufgestellt:

- Standardwerte für alle Größen, für die dies sinnvollerweise möglich ist
- Plausibilitätsprüfung aller eingegebenen Werte, soweit dies möglich ist
- Interaktives Erfragen korrekter Werte
- Zwangssichtung der fertig zusammengestellten Werte durch den Operateur, verbunden mit anschließender
- Korrekturmöglichkeit einzelner Werte in einem Frage-/Antwortvorgang.

Wie diesen Forderungen in den Meßprogrammen Rechnung getragen wird, ist aus der Auflistung aller Header-Werte (Abb. 6) abzulesen, wozu hier einige Erläuterungen gegeben werden:

- (i) \$\$\$ an Stelle der laufenden Nummer bedeuten, daß der zugehörige Wert nur intern verwendet und nicht auf Band ausgegeben wird.
- (ii) Den Header-Werten sind erklärende Texte und Abkürzungen (ABBR.) zugeordnet, wobei der Zugriff (Eingabe, Korrektur) ausschließlich über diese erfolgt.
- (iii) Jeder Header-Wert besteht aus einer oder mehreren Einheiten eines der Datentypen (CHARACTER, INTEGER, REAL). Zusätzlich wurde zur Darstellung von über den normalen Zahlenbereich hinausgehenden positiven ganzen Zahlen der Typ "16 BIT INT" geschaffen, der sich vom üblichen INTEGER dadurch unterscheidet, daß das oberste Bit nicht als Vorzeichen interpretiert wird.
- (iv) Vorher gesetzte Standardwerte sind mit einem * in der Spalte DEF (default) gekennzeichnet.
- (v) Ein * in der Spalte FIX kennzeichnet Werte, deren Veränderung durch den Benutzer vom Programm unterbunden wird. Ein C (continue) in der gleichen Spalte kennzeichnet die Unveränderlichkeit der Werte in einer Fortsetzungsmessung.
- (vi) Bei Beginn der Messung werden dem Benutzer nur

diejenigen Werte aufgelistet, die in Spalte NDS (no display) keinen Stern haben.

- (vii) Der größte Teil der Werte wird einer von acht vorgesehenen und in Spalte CHK (check) bezifferten Plausibilitätsprüfungen unterzogen, auf deren einzelne Aufzählung hier verzichtet wird.
- (ix) Ein * in Spalte CON kennzeichnet Werte, deren Übereinstimmung für ein gemeinsames Processing erforderlich ist.

Die Zuordnung der Feldkomponenten E_x , E_y , H_x , H_y , H_z , zu denen bei der 1. Anlage im Periodenbereich 20. - 1000. Sekunden noch die Förstersondenkomponenten F_x , F_y , F_z kommen und im Periodenbereich 200. - 10000 Sekunden die Komponenten H_x , H_y , H_z entfallen, zu den Kanälen der Meßanlage wird durch den Parameter CHANDI (Position 21 im Normal Header) gesteuert. Mit CHANDI wird auch gesteuert, ob die Temperatur der Magnetfeldsensoren als Zeitreihe mitregistriert wird oder nicht. In dem Trailer-Record können nach Beendigung der Messung Informationen über besondere Vorkommnisse während der Messung und Hinweise für das Processing aufgeschrieben werden.

Literatur:

Gamble, T.D., Goubau, W.M. & Clarke, J. (1979): Magnetotellurics with a remote reference. - Geophysics, 44: 53-68, Tulsa, Okla.

Goubau, W.M., Gamble, T.D. & Clarke, J.C. (1978): Magnetotelluric data analysis: removal of bias. - Geophysics, 43: 1157-1166; Tulsa, Okla.

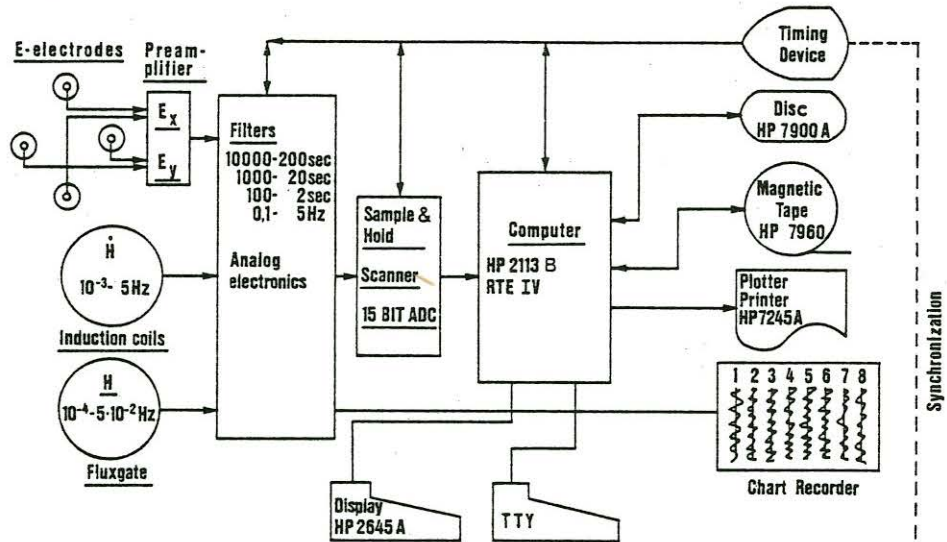
Karmann, R. (1975): Optimierung des Signal/Rausch-Verhältnisses von Induktionsspulenmagnetometern für die Magnetotellurik. - Dissertation TU Braunschweig.

ders. (1977): Search coil magnetometers with optimum signal to noise ratio. - Acta Geodaet., Geophys. et Montanist., 12: 353-357; Budapest.

Losecke, W., Scheelke, I. & Knödel, K. (1978): Magnetotellurische Tiefenerkundung in Norddeutschland. - Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie, 31: 23-28; Hamburg.

Losecke, W., Rodemann, H., Knödel, K. & Müller, W. (1982): Ein Magnetotellurik Meßsystem für Remote-Reference Betrieb und Dataprocessing im Gelände. - Geol. Jb., E 23, 239-249; Hannover.

1. System



2. System

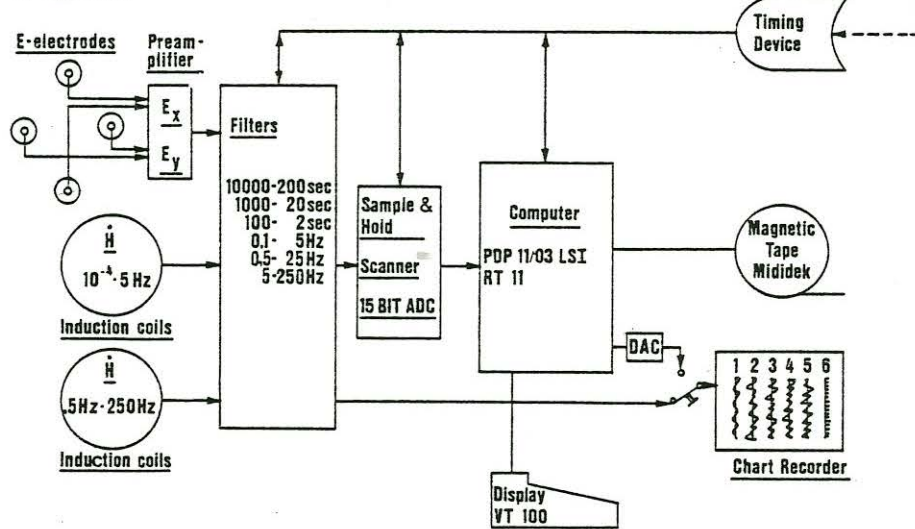


Abb. 1. Blockschaubild der beiden Magnetotellurik-Meßanlagen der BGR. Die Systeme sind ausgerüstet für synchrone Datenerfassung und Dataprocessing im Gelände.

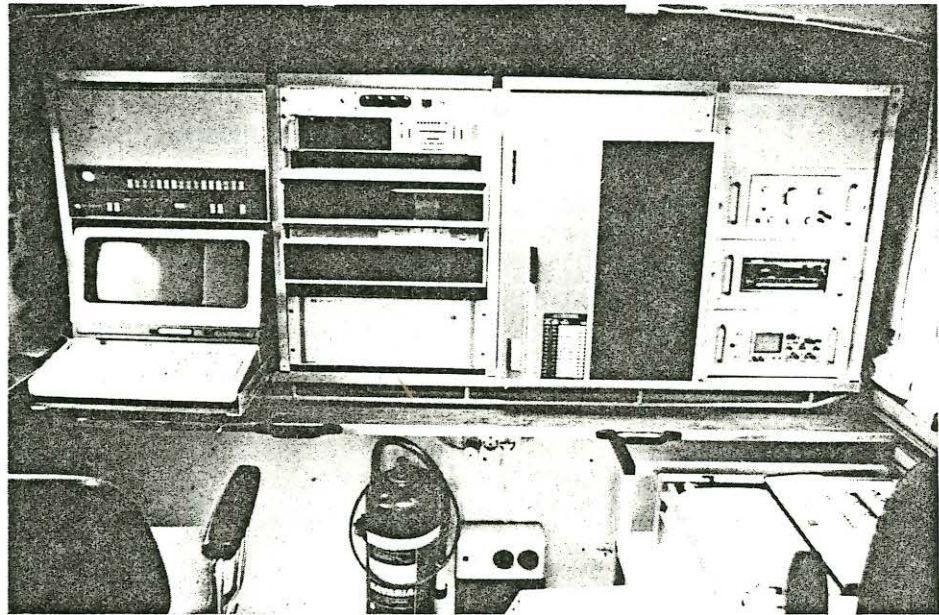


Abb. 2. Frontansicht der im Meßwagen des 1. Meßsystems installierten Rechenanlage mit von links: HP Rechner 21 MX, Bildschirm Terminal, Plattenspeicher, Magnetbandgerät, diverse Meßgeräte und 8-Kanalschreiber.

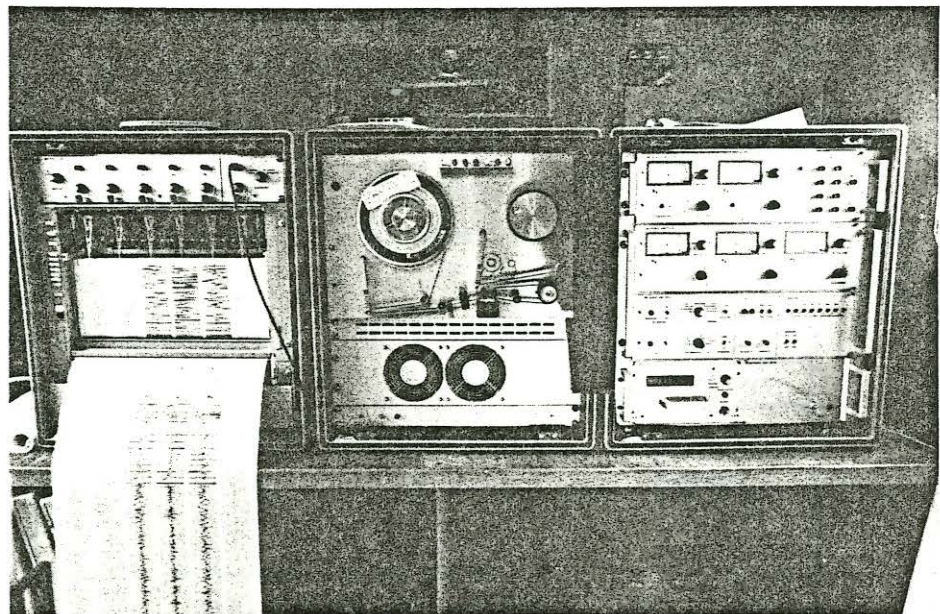


Abb. 3. Blick auf von links: Mehrkanalschreiber, PDP-Rechner und Bandgerät sowie Analogelektronik des 2. Meßsystems.

General Data Tape Format:

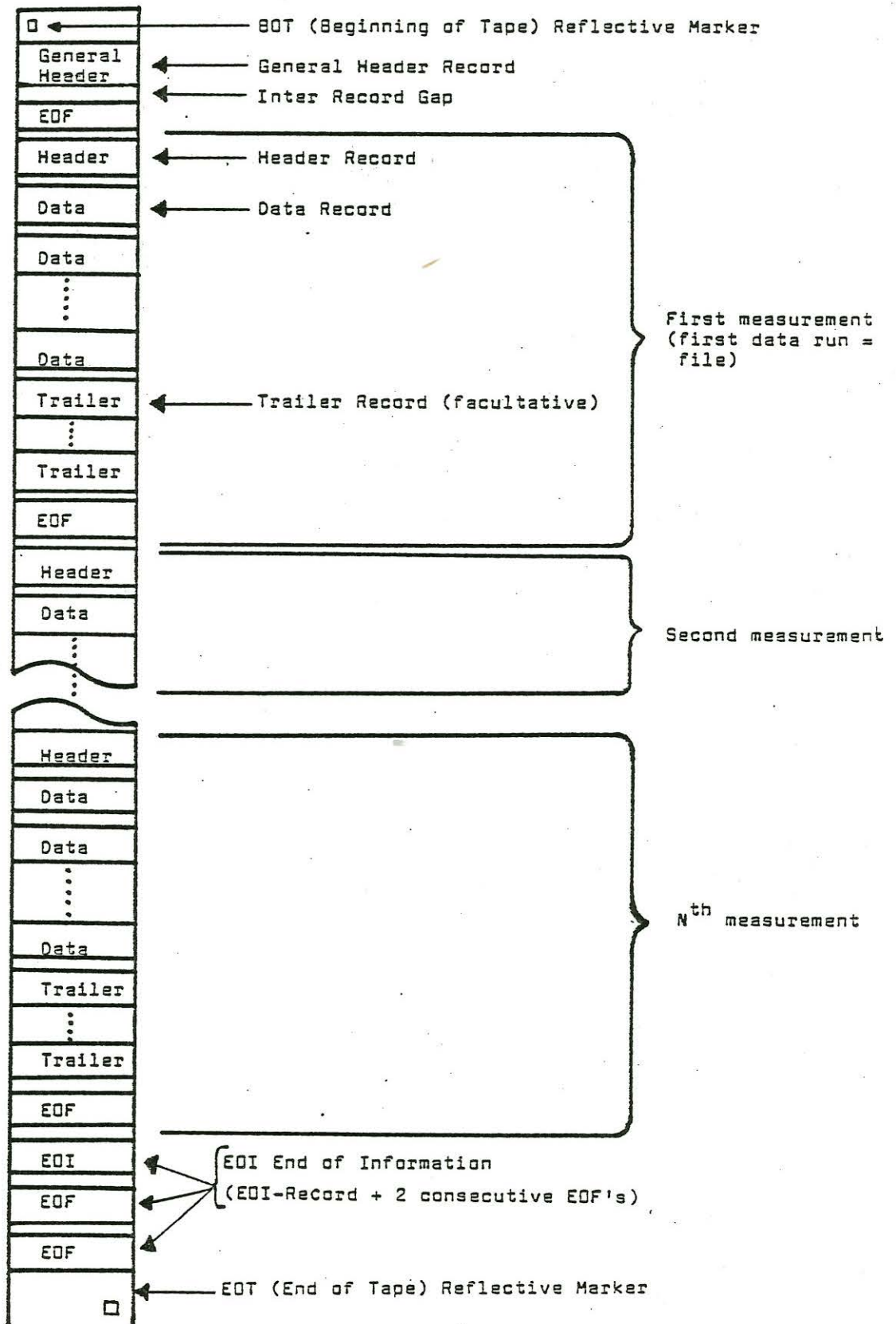


Abb. 4. Datenstruktur I.


```

ABBR.      TYPE  DEF  FIX  NDS  CHK  CON  G E N E R A L  H E A D E R  9:17:29  FRI., 30. APR., 1982
$$$ GHV    14 CHARACTERS * * *          HOVA DATE AND VERSION = 26/04/82 (22A)
1 GRECTY   1 INTEGER(S) * * *          RECORD TYPE = 1
2 GRECL    1 INTEGER(S) * * *          RECORD LENGTH = 11
3 VSN      6 CHARACTERS * * *          TAPE NUMBER_
4 ISS      1 INTEGER(S) * * *          IDENTIFICATION SOFTWARE SYSTEM = 2
5 IDS      1 INTEGER(S) * * *          IDENTIFICATION DIGITAL SYSTEM = 1
6 IEQ      1 INTEGER(S) * * *          IDENTIFICATION EQUIPMENT = 1
7 IBITD    1 INTEGER(S) * * *          NUMBER OF BITS PER DATA WORD = 16
8 LDAT     1 INTEGER(S) * * *          NUMBER OF WORDS PER COMPONENT IN EACH DATA RECORD = 128
9 LDH      1 INTEGER(S) * * *          LENGTH OF DATA HEADER = 8
    
```

LEGEND

\$\$\$ = NOT ON TAPE
 DEF = DEFAULTED:
 FIX = NOT MODIFIABLE: * = AT ALL
 C = AT CONTINUATION RUN
 NDS = NO DISPLAY
 CHK = CHECK TYPE
 CON = SAME VALUE AS IN PREVIOUS HEADER REQUIRED FOR PROCESSING

Trailer Record:

Word No.	Type	Name	Explanation
1	Integer	RECTY	Record type (= 4)
2	Integer	RECL	Record length
3	Character	TXT(1)	First two trailer text characters
4	Character	TXT(2)	3 rd and 4 th trailer text characters
...	Character	TXT(...)	...
...	Character	TXT(...)	...
...	Character	TXT(...)	...
RECL	Character	TXT(RECL-2)	Last two trailer text characters

Abb. 5. Datenstruktur II.

ABBR.	TYPE	DEF	FIX	NDS	CHK	CON	N O R M A L H E A D E R	9:17:29 FRI., 30. APR., 1982
\$\$\$ NHV	14	CHARACTERS	*	*	*		HDVA DATE AND VERSION = 26/04/82 (22A)	
1 RECTY	1	INTEGER(S)	*	*	*		RECORD TYPE = 2	
2 RECL	1	INTEGER(S)	*	*	*		RECORD LENGTH = 122	
3 NHD	1	INTEGER(S)	*	*	*		NO. OF HEADER = 0	
4 SITE	20	CHARACTERS			C		SITE -	
5 REGION	20	CHARACTERS			C		REGION -	
6 NPRO	1	INTEGER(S)			C	2	PROFIL NUMBER -	
7 NSITE	1	INTEGER(S)			C	2	SITE NUMBER -	
8 MAPNAM	20	CHARACTERS			C		MAP NAME -	
9 MAPNO	1	INTEGER(S)			C	2	MAP NO. -	
10 COSY	2	CHARACTERS	*		C		COORDINATE SYSTEM = UT	
11 LON	10	CHARACTERS			C		MERIDIAN DISTANCE (LONGITUDE) -	
12 LAT	10	CHARACTERS			C		LATITUDE -	
13 CONTR	20	CHARACTERS			C		CONTRACTOR -	
14 NRR	1	INTEGER(S)					NUMBER OF REFERENCE STATIONS -	
15 RRVSN	30	CHARACTERS					USN'S OF REFERENCE STATIONS -	
16 VORA	1	REAL(S)	*	*	*		VOLTAGE RANGE OF DIGITAL VOLTMETER = 6.25000E-04	
17 SNOTCH	1	INTEGER(S)	*	*	*		SENSOR NOTCHES (0 = 16 2/3 & 50 FOR COILS, NONE FOR FLUXGATE) =	
\$\$\$ NOTCHS	1	INTEGER(S)	*	*	*		SENSOR NOTCHES (0 = 16 2/3 & 50 FOR COILS, NONE FOR FLUXGATE) =	
18 ANOTCH	1	INTEGER(S)	*	*	*		BOX A NOTCH (0 = NOT EXISTING) = 0	
\$\$\$ NOTCH	1	INTEGER(S)	*	*	*		BOX A NOTCH (0 = NOT EXISTING) = 0	
19 LP	1	REAL(S)				6	LOW PASS FILTER [SEC] -	
20 HP	1	REAL(S)	*			7	HIGH PASS FILTER [SEC] = 0.0000	
21 CHANDI	20	CHARACTERS	*			4	CHANNEL DISTRIBUTION ("ALL"?) = EXEY	
\$\$\$ NCHAN	1	INTEGER(S)	*				8.15-4=CH.OCC., 8.3-0=NO.OF CHANNELS -	
22 IAS	1	INTEGER(S)	*	*	*		IDENTIFICATION ANALOG SYSTEM = 1	
23 DTM	1	16 BIT INT	*			8	DIGITIZING TIME INTERVAL [MSEC] = 0	
24 DTN	1	INTEGER(S)	*			2	DIGITIZING TIME DIVISOR = 50	
25 DTK	1	INTEGER(S)	*			2	DIGITIZING TIME MULTIPLICATOR = 0	
\$\$\$ DTSEC	1	REAL(S)	*				DIGITIZING TIME [MSEC] = DTK*DTM/DTN -	
26 REX	1	REAL(S)				2	RESISTANCE [OHM] OF ELECTRODE LINE EX -	
27 REY	1	REAL(S)				2	RESISTANCE [OHM] OF ELECTRODE LINE EY -	
28 AEX	1	INTEGER(S)				3	AMPLIFICATION BUTTON EX -	
29 AEY	1	INTEGER(S)				3	AMPLIFICATION BUTTON EY -	
30 AHX	1	INTEGER(S)				3	AMPLIFICATION BUTTON HX -	
31 AHY	1	INTEGER(S)				3	AMPLIFICATION BUTTON HY -	
32 AHZ	1	INTEGER(S)				3	AMPLIFICATION BUTTON HZ -	
33 AFX	1	INTEGER(S)				3	AMPLIFICATION BUTTON FX -	
34 AFY	1	INTEGER(S)				3	AMPLIFICATION BUTTON FY -	
35 AFZ	1	INTEGER(S)				3	AMPLIFICATION BUTTON FZ -	
36 PFX	1	INTEGER(S)				3	PREAMPLIFICATION SWITCH FX -	
37 PFY	1	INTEGER(S)				3	PREAMPLIFICATION SWITCH FY -	
38 PFZ	1	INTEGER(S)				3	PREAMPLIFICATION SWITCH FZ -	
39 EDX	1	INTEGER(S)	*			2	ELECTRODE DISTANCE EX [METERS] = 100	
40 EDY	1	INTEGER(S)	*			2	ELECTRODE DISTANCE EY [METERS] = 100	
41 ORIX	1	INTEGER(S)	*			2	ORIENTATION OF X (DEGREES < 0 < GRADES) = 0	
42 ORIY	1	INTEGER(S)	*			2	ORIENTATION OF Y (DEGREES < 0 < GRADES) = 0	
43 TH	1	INTEGER(S)	*	*			COIL TEMPERATURE (10*VORA*DEGREE) -	
44 TF	1	INTEGER(S)	*	*			FLUXGATE TEMPERATURE (10*VORA*DEGREE) -	
\$\$\$ NDREC	1	INTEGER(S)	*			2	NUMBER OF DATA RECORDS = 2	
\$\$\$ MST	6	INTEGER(S)	*			5	MEASUREMENT STARTING TIME (Y,M,D,H,M,S OR "STANDARD" FOR IMM. START)	
45 IMST	6	INTEGER(S)	*				MEASUREMENT STARTING TIME (Y,M,D,H,M,S OR "STANDARD" FOR IMM. START)	

Abb. 6. Datenstruktur III.

Data Record:

RECTY	Record Type	} LDH
NDA	No. of Data Record	
TIME(1)	Day of Year	
TIME(2)	Hours	
TIME(3)	Minutes	
TIME(4)	Seconds	
TIME(5)	1/100 of Seconds	
CHECKS	Checksum of Record	
EX(1)	} First scan of this data record	
EY(1)		
HX(1)		
HY(1)		
HZ(1)		
FX(1)		
FY(1)		
FZ(1)		
TH(1)		
TF(1)		
.		
.		
.		
EX(LDAT)	} Scan No. LDAT of this data record	
EY(LDAT)		
HX(LDAT)		
HY(LDAT)		
HZ(LDAT)		
FX(LDAT)		
FY(LDAT)		
FZ(LDAT)		
TH(LDAT)		
TF(LDAT)		

LDH = 8 is default.

LDAT = 128 is default.

TIME = Time immediately before the first scan of this data record (5 Integers).

Abb. 7. Datenstruktur IV.