

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

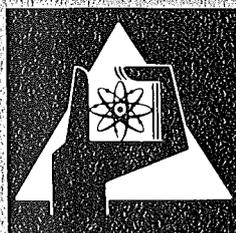
Dezember 1977

KFK 2537

Abteilung Reaktorbetrieb und Technik
Abteilung Datenverarbeitung und Instrumentierung
Institut für Angewandte Kernphysik
Laboratorium für Isotopentechnik

Manganknollen-Analysensystem — MANKA (Abschlußbericht)

K. Borchering, R. Döbele, H. Eberle,
I. Erbacher, J. Hauschild, J. Hübener,
J. Lange, G. Müller, W. Rapp, E. Rathjen,
K.-D. Rusch, A. Schäf, U. Tamm
(bearbeitet von J. Lange und U. Tamm)



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KFK 2537

Abteilung Reaktorbetrieb und Technik

MANGANKNOLLEN-ANALYSENSYSTEM - 'MANKA'

(ABSCHLUSSBERICHT)

K. Borchering*, R. Döbele, H. Eberle**,
I. Erbacher***, J. Hauschild, J. Hübener,
J. Lange, G. Müller, W. Rapp*, E. Rathjen,
K.-D. Rusch*, A. Schäf, U. Tamm

(bearbeitet von J. Lange und U. Tamm)

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

- * Abteilung Datenverarbeitung und Instrumentierung
- ** Institut für Angewandte Kernphysik
- *** Laboratorium für Isotopentechnik

MANGANKNOLLEN-ANALYSENSYSTEM - 'MANKA'

(ABSCHLUSSBERICHT)

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht ist der Schlußbericht über die von 1972 bis 1976 im Kernforschungszentrum Karlsruhe durchgeführten Arbeiten zum Analysensystem - 'MANKA' zur Bestimmung der Metallgehalte von Manganknollen.

Die In-situ-Analysenmethode nach dem Prinzip des (n,γ) -Verfahrens unter Verwendung von ^{252}Cf als Neutronenquelle, die Entwicklung einer Schleppsonde zur Aufnahme der für eine Wassertiefe von 6500 m ausgelegten Komponenten als Zwischenstufe für ein integriertes Manganknollen-Explorationssystem, die Elektronik zur Datenerfassung und Datenaufbereitung, das Datenübertragungssystem zwischen Sonde und Schiff, das Steuerprogramm für die Sondenfunktionen und das Auswerteprogramm zur In-situ-Analyse von Manganknollen werden beschrieben.

Die Land- und Seetests und der von Bord des deutschen Forschungsschiffes "Valdivia" aus durchgeführte Tiefseeversuch südöstlich von Hawaii werden dargestellt.

Die Ergebnisse werden diskutiert und ein Ausblick auf weitere Entwicklungsmöglichkeiten gegeben.

MANGANESE NODULE ANALYSIS SYSTEM - 'MANKA'

(FINAL REPORT)

Abstract

This paper is the final report on the development of the manganese nodule analysis system 'MANKA'. The work was performed at the Nuclear Research Center Karlsruhe from 1972 to 1976 to enable the in-situ-determination of the metal contents of manganese nodules.

A detailed description is given of the neutron capture γ -spectroscopy with a ^{252}Cf -source, the sledlike instrument carrier for the system components, which had to be designed for a water depth of 6500 m, and these components themselves.

On the electronic side these components include modules for data acquisition and conditioning and the transmission of data and control signals by the coaxial towing cable between sled and ship. Along with the hardware, the computer programmes are described which control the instrumentation on the sled and, immediately after gathering the spectroscopic data, compute the metal contents of the nodules.

The sled is an intermediate step on the way to a comprehensive manganese nodule exploration system.

The tests on land and sea, as well as the deep sea test with the German research vessel "Valdivia" southeast of the Hawaiian Islands and their results are discussed.

Finally an outlook is given on possibilities for further development.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINFÜHRUNG	1
1.1	Ziel der Entwicklung	2
1.2	Prinzip der Analysenmethode	2
2.	SCHLEPPSONDE	4
2.1	Schleppgestell	4
2.2	Geräteträger	10
2.2.1	Probenahmesystem	12
2.2.2	Druckbehälter	16
3.	MESSELEKTRONIK	21
3.1	Analysenzweig	21
3.1.1	Germanium-Detektor	23
3.1.2	Vorverstärker	23
3.1.3	Hauptverstärker	25
3.1.4	Analog-Digital-Wandler	27
3.2	Füllstand und Schüttdichte	31
3.3	Neutronenfluß	32
3.4	Analoge Überwachungssensoren	32
3.4.1	Tauchtiefe	32
3.4.2	Temperatur	32
3.4.3	Beschleunigung	33
3.4.4	Neigung	36
3.4.5	Digitalisierung der Analog-Daten	37
3.5	Digitale Überwachungssensoren	38
3.5.1	Bodenkontakt	38
3.5.2	Klappenstellung	38
3.5.3	Nässe	39
3.6	Stromversorgung	39
3.6.1	Stromversorgung Elektronik-Behälter	39
3.6.2	Stromversorgung Elektrik-Behälter	42
3.6.3	Hochspannung Ionengetterpumpe	42
3.6.4	Hochspannung Strahlungsdetektoren	44
3.7	Energieversorgung	45

4.	DATENAUFBEREITUNG UND DATENÜBERTRAGUNG	50
4.1	Wahl der Datenübertragung	50
4.2	Sondenspeicher und Abfrage der Überwachungsdaten	52
4.3	Übertragungsstrecke	55
4.4	Aufbau des Datenübertragungssystems	57
4.5	Telemetrie- /Telecommand-Encoder	59
4.5.1	Funktionsablauf	59
4.5.2	Delayed-Miller-Code	62
4.5.3	Synchronisier-Verfahren	63
4.6	Telemetrie-/Telecommand-Decoder	64
4.6.1	Bit-Synchronizer	65
4.6.2	Rahmen-Synchronizer	66
4.6.3	Code-Wandler	66
4.6.4	Datenausgabe	66
4.7	Datentransfer	67
4.7.1	Datenbilanz	67
4.7.2	Datensicherung	69
4.7.3	Synchronisierung	69
4.8	Übertragungsfrequenzband	69
4.9	Koppelglied	71
4.10	Steuer- und Kontrolleinheit	71
4.10.1	Befehlseingabe und Befehlsecho	72
4.10.2	Digital-Daten und Rückmeldungen	73
4.10.3	Analog-Daten	75
4.10.4	Magnetbandspeicher	76
5.	AUSWERTEPROGRAMM	78
5.1	Programmziel	78
5.2	Programmierung	79
5.2.1	Voraussetzungen	79
5.2.2	Programmablauf	79

6.	RECHNERSYSTEM UND STEUERPROGRAMM	83
6.1	Prozeßrechnersystem	84
6.2	Datenaustausch und Datensicherung	87
6.2.1	Datenverkehr	87
6.2.2	Datensicherung Software-Hardware	89
6.3	Rechnerprogramm zur Steuerung und Kontrolle aller Funktionen der Schleppsonde	92
6.3.1	Rahmenbedingungen	92
6.3.2	Steuerprogramm	94
6.3.2.1	Kommandos	96
6.3.2.2	Stapelfunktionen	99
6.3.2.3	Parameter	109
6.3.2.4	Überwachungsdaten und Fehlerdiagnose	110
7.	MECHANISCHE TESTS	112
7.1	Schwingungsverhalten des Geräteträgers im Schleppgestell	112
7.2	Erste Seeerprobung bei Helgoland	114
7.3	Zweite Seeerprobung vor der westafrikanischen Küste	116
7.4	Handling an Bord des FS "Valdivia"	120
7.5	Komponentenversuche im Drucktank	126
8.	BESCHLEUNIGUNGSTESTS	129
8.1	Kryostat mit Ge-Detektor	129
8.2	Spaltkammern	130
8.3	Schlingerstand	132
9.	KALIBRIERUNG DES ANALYSENSYSTEMS	135
9.1	Eichlösungen	135
9.2	Messung von Neutronenflußprofilen	136
9.3	Messung von (n, γ) -Spektren	140
9.4	Messung von Transmissionsspektren	144
9.5	Berechnung der Eichkonstanten	147

10.	ERPROBUNG DES GESAMTSYSTEMS	152
10.1	Gesamtelektronik-Test	152
10.2	Statische Tests	153
10.2.1	Analysen von Salzwasser und Manganknollen	153
10.2.2	Messungen zur Füllstandsbestimmung	157
10.3	Dynamische Tests	159
11.	PAZIFIK-ERPROBUNG	160
11.1	Foreign Trade Zone-Tests	160
11.2	Installation an Bord und Tests	161
11.3	Flachwasserversuche	163
11.4	Tiefseeversuch	168
11.5	Untersuchungen der Bruchstelle des Koaxialkabels	175
12.	ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN	180
12.1	Einbau in DEEPTOW	180
12.2	Änderung der Komponenten	182
12.3	Möglichkeiten zur Vereinfachung der Metallgehaltsbestimmung von Manganknollen	183
12.4	Erweiterung zum integrierten System	184
	LITERATURVERZEICHNIS	185
	ANHANG: VERZEICHNIS DER KONSTRUKTIONSZEICHNUNGEN 'MANKA 01'	189

1. EINFÜHRUNG

Im Jahre 1972 wurde im Kernforschungszentrum Karlsruhe begonnen, ein Verfahren zur In-situ-Analyse von Manganknollen und eine dafür geeignete Schleppsonde zu entwickeln /1/. Der Anstoß für diese Arbeiten war das Bedürfnis der seit längerem an der marinen Erzprospektion beteiligten Industriefirmen, insbesondere der Erzgesellschaft mbH (Metallgesellschaft AG) und der Preussag AG, ein für die Analyse von Manganknollenproben aus den großflächigen Lagerstätten der Tiefsee geeignetes Instrument in die Hand zu bekommen. Dabei sollten in erster Linie der Gehalt an Nickel und Kupfer, in zweiter Linie auch an Mangan, Eisen und Kobalt ermittelt, eine Probe mindestens alle 30 Minuten bei einer Schleppgeschwindigkeit der Sonde von möglichst größer als 2 kn genommen und alle Meßdaten über das Schleppkabel zum Schiff übertragen und ausgewertet werden. Die Wassertiefe, die Topographie, die Belegungsdichte und die Knollengröße und -form sollten zusätzlich bestimmt und der Schiffsposition zugeordnet werden.

Alle Arbeiten hierzu waren im damaligen Projekt PACT der Gesellschaft für Kernforschung, das sich mit der Anwendung von Actiniden befaßte, zusammengefaßt und wurden nach Auflösung des Projekts im Jahre 1975 als eigenes Vorhaben der Abteilung Reaktorbetrieb und Technik bis zum Tiefseeinsatz zur Jahreswende 1976/77 weitergeführt.

1.1 Ziel der Entwicklung

Das Endziel dieser Arbeiten ist die Entwicklung eines integrierten Manganknollen-Explorationssystems in einem bodenabstandsgesteuerten Schleppkörper, mit dem sich alle abbau-relevanten Daten schnell und kostengünstig beschaffen lassen /2/. Schleppgeschwindigkeiten von ca. 6 kn bei einer Wassertiefe um 6 000 m können dabei technisch realisiert werden.

Um das In-situ-Analysenverfahren unter Tiefseebedingungen testen zu können, wurde als Zwischenstufe eine bodengebundene Schleppsonde - 'MANKA 01' - bei der Gesellschaft für Kernforschung gebaut, da zu diesem Zeitpunkt kein geeigneter Geräte-träger zur Verfügung stand.

1.2 Prinzip der Analysenmethode

Das Prinzip der Analyse beruht auf der thermischen Neutroneneinfang-Gammaspektroskopie. Abb. 1.1 zeigt schematisch die Analysengeometrie. Eine Californium-252-Neutronenquelle ($\Phi_n = 2,3 \cdot 10^9$ n/s) im Zentrum des Analysengefäßes erzeugt durch spontane Spaltung Neutronen mit einer kontinuierlichen Energieverteilung, die bei etwa 1 MeV ein Maximum hat.

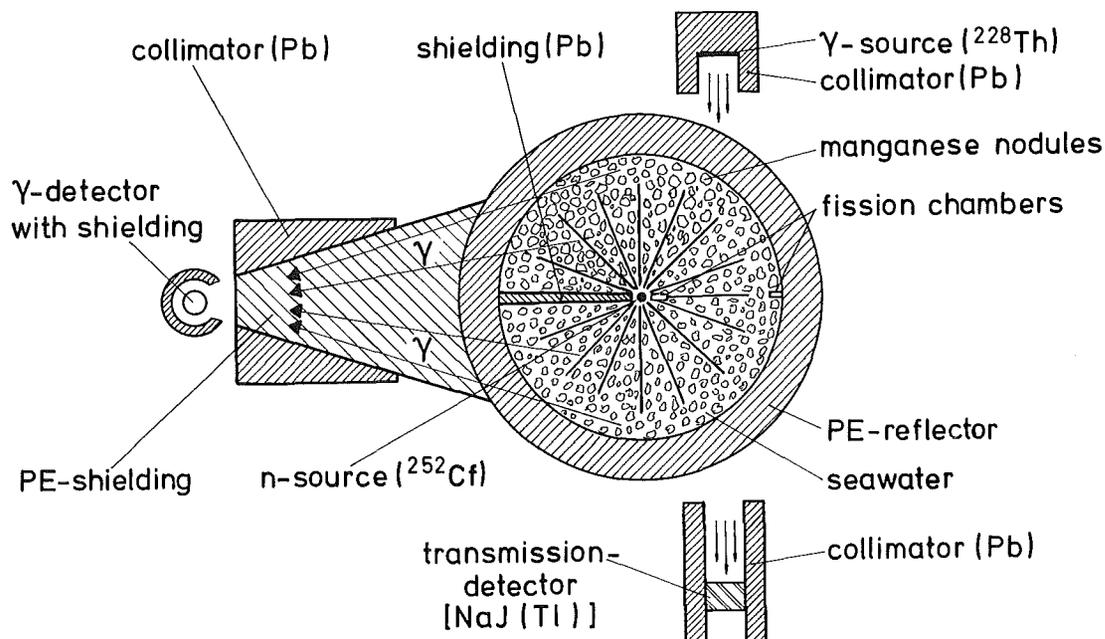


Abb. 1.1: Schema der Analysengeometrie

In der Meßanordnung, bei der die ^{252}Cf -Quelle ganz von Salzwasser und Manganknollen umgeben ist, werden die Neutronen zunächst thermalisiert, d.h. ihre mittlere Energie wird auf 0,025 eV herabgesetzt, und danach von den Manganknollen und dem Salzwasser im Analysengefäß eingefangen. Die aus dem Neutroneneinfang resultierende prompte Gammastrahlung wird mittels eines Germanium-Detektors nachgewiesen. Zur Abschirmung des Detektors gegen die direkte Gammastrahlung der ^{252}Cf -Quelle mit einer Intensität von $1,3 \cdot 10^{10}$ γ/s ist zwischen Quelle und Detektor ein Bleikegel eingebaut. Der Detektor selbst ist mit einer Schicht aus Lithiumkarbonat ($^6\text{Li}_2\text{CO}_3$) gegenüber den Quellneutronen abgeschirmt, um Neutronenschäden weitgehend zu verhindern. Zur Reduzierung der Untergrund-Gammastrahlung, die durch Neutroneneinfangprozesse am Meerwasser induziert wird, ist der Detektor durch eine Bleiabschirmung (Kollimator) geschützt. Das Analysengefäß ist von einem Neutronenreflektor aus Polyäthylen (PE) umgeben.

Bei konstanten Meßbedingungen sind die Intensitäten der element-spezifischen γ -Linien proportional zu ihren Konzentrationen. Durch Schwankungen in der Menge der gesammelten Manganknollen, durch Änderungen ihrer Materialzusammensetzung und ihrer Verteilung im Analysengefäß ergeben sich Änderungen der Meßbedingungen. Diese Einflüsse werden durch eine γ -Transmissionsmessung mit einer 30 mCi Thorium-228-Linienquelle und einem NaJ(Tl)-Detektor, mit der die Schüttdichte der Erzknollen bestimmt wird, und durch eine Messung der Neutronenflußverteilung im Analysengefäß mit zwei Uran-235-Spaltkammern korrigiert. Die Transmissionsmessung dient gleichzeitig zur Füllstandsbestimmung im Analysengefäß /3, 4, 5, 6/.

2. SCHLEPPSONDE

Der Einsatz der Schleppsonde sollte von Bord des deutschen Rohstoffforschungsschiffes "Valdivia" (s. Abb. 2.1) aus erfolgen, so daß die Konstruktion den Gegebenheiten dieses Schiffes angepaßt werden mußte /7/. Da sich die Manganknollenlagerstätten bis zu einer Wassertiefe von ca. 6 000 m erstrecken, wurden alle Komponenten aus Sicherheitsgründen für einen Druck von 650 bar ausgelegt, sofern sie nicht in Druckbehältern gekapselt werden mußten.

2.1 Schleppgestell

Die äußere Form (s. Abb. 2.2 und 2.3) der Sonde hat sich nach der hydrodynamischen Auslegung durch die Fa. Dornier System als Kompromiß zwischen konstruktiven und hydrodynamischen Forderungen ergeben /8, 9/. Im Anhang ist ein Verzeichnis der Konstruktionszeichnungen angefügt.

Das Schleppgestell besteht im wesentlichen aus einem verzinkten Rohrrahmen mit einer in Längsrichtung unterbrochenen Bodenplatte. Die seitliche Verkleidung und die Vorderfront bestehen aus Stahlblech, der obere Teil der Verkleidung und das Leitwerk aus glasfaserverstärktem Kunststoff, wofür Gewichtsgründe und die Schwerpunktslage ausschlaggebend waren.

Die Daten der MANKA sind folgende:

Länge:	4 000 mm
Breite:	2 795 mm
Höhe:	1 500 mm ohne Leitwerk, 2 500 mm mit Leitwerk
Gewicht:	4,5 Mp in Luft, 3,4 Mp in Wasser
Anströmgeschwindigkeit:	0,8 bis 1,8 m/s

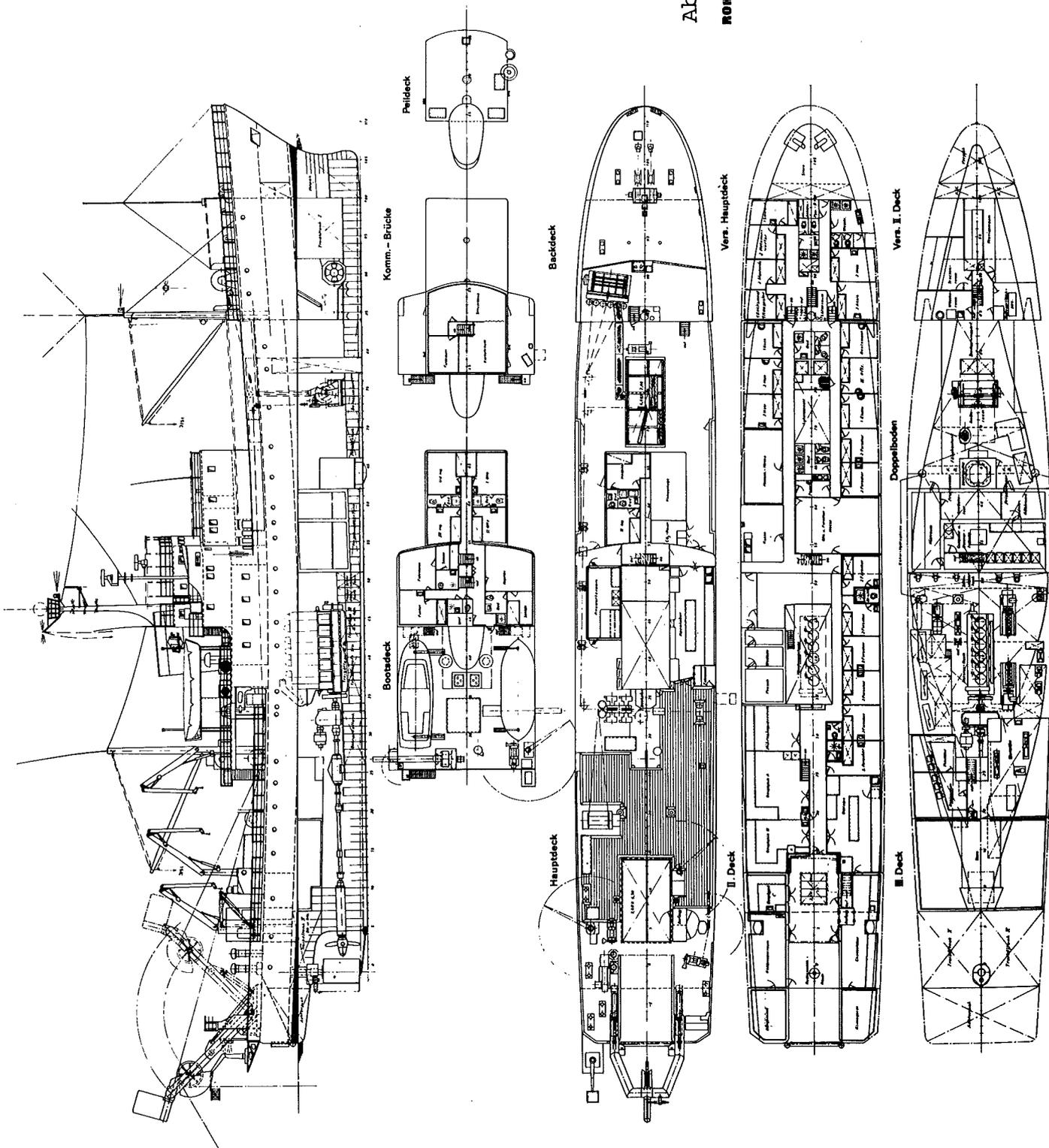


Abb. 2.1

**RONSTOFF-FORSCHUNGSSCHIFF
MS. 'VALDIVIA'**

KLASSE	OL 100 AL
HAUPTMESSUNGSWEISE	73,00 m
LÄNGE ÜBER AUSSER	110,00 m
LÄNGE ZWISCHENLÄNGEN	62,00 m
BREITE AUF SPANTEN	11,00 m
SEITENHÖHE II DECK	5,00 m
TEUFENDECK	2,25 m
GESAMTBREITENDECK	13,00 m
BESCHWINDIGKEIT	13,0 kn

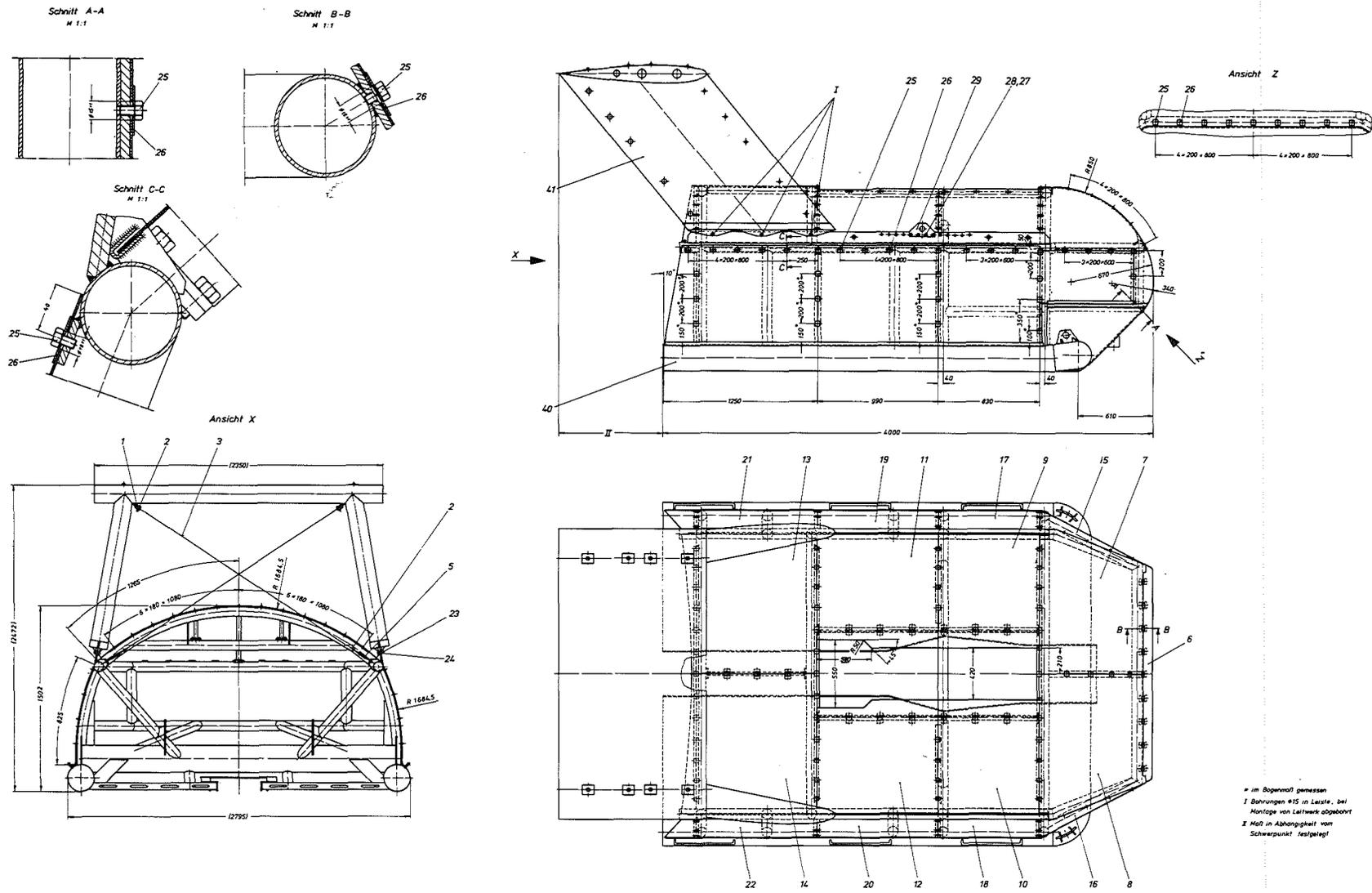


Abb. 2.2 Schleppgestell mit Verkleidung und Leitwerk
(ohne Lochblech am Heck)

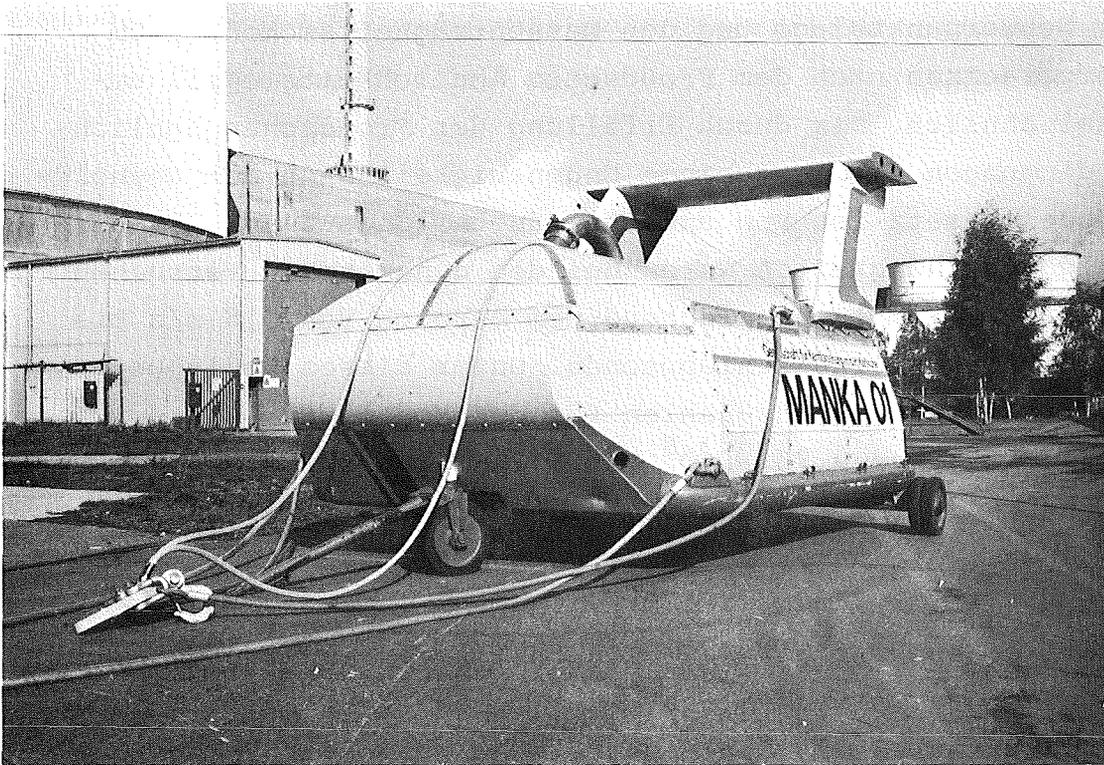


Abb. 2.3 Schleppgestell mit Schlepp- und Handlingshahnpot und den Schläuchen für die Californium-252-Einschleusvorrichtung (zu Transportzwecken auf einem Fahrgestell montiert)

Ausgangspunkt für die hydrodynamische Berechnung war die Forderung, daß beim Hieven und Fieren Lagewinkel von $\pm 10^\circ$ nur kurzzeitig überschritten werden dürfen, da sonst der Heliumkompressor des Kältesystems zur Kühlung des Ge-Detektors zerstört werden kann /10/. Dies hatte zur Folge, daß das vom Kabel auf den Schleppkörper ausgeübte Moment die beim Fieren und Hieven mit unterschiedlichem Vorzeichen behafteten hydrodynamischen Momente überwiegt. Durch Abgleich des Angriffspunktes des Schleppkabels, der Schwerpunktslage, der Rumpfwirksamkeit und der Wirksamkeit des Leitwerks wurde dies erreicht. Die theoretisch ermittelten Werte zeigten dabei eine gute Übereinstimmung mit den an einem Modell experimentell erhaltenen Daten, die durch statische Messungen mit einer 6-Komponenten-Kraft- und Momenten-Meßwaage im Wasserumlaufkanal gewonnen wurden.

Das Modell im Maßstab 1:8 war sowohl in der Geometrie als auch bei der Schwerpunktslage und den Massenträgheitsmomenten um alle Körperachsen nach dem Froudschen Ähnlichkeitsmodell umgerechnet ähnlich. Die durch Erfüllung der Froudschen Ähnlichkeitsbedingungen sich ergebende Ungenauigkeit nach dem Reynoldsschen Modellgesetz ist von untergeordneter Bedeutung. Die Wasserkanalgeschwindigkeiten waren bei den dynamischen Versuchen 0,3 m/s bis 0,65 m/s entsprechend dem Bereich von 0,8 m/s bis 1,8 m/s an der Originalschleppsonde. Unter diesen Bedingungen ergeben sich die Reynolds-Zahlen für das Modell zu $0,13 \cdot 10^6$ bis $0,28 \cdot 10^6$, was $2,75 \cdot 10^6$ bis $6,20 \cdot 10^6$ für die Sonde entspricht. Es wurde ein Lagewinkelbereich von $-4,3^\circ$ bis $+3,0^\circ$ gemessen, was weit unter dem geforderten Bereich lag.

Das Modell selbst war bei den Versuchen so an einem Drahtseil befestigt, daß es sich ähnlich dem Original frei am Seil bewegen konnte. Der Einfluß des Schleppkabels konnte allerdings nicht berücksichtigt werden, da die entstehende Seilkurve, die sich aufgrund des Strömungswiderstandes und des Seil- und Schleppkörpergewichtes einstellt, durch die große Länge (Wassertiefe 6 000 m) nicht simuliert werden konnte.

Der Längsneigungswinkel wurde mittels eines Neigungsmessers ermittelt und von einem Schreiber über der Zeit aufgezeichnet, nachdem jeweils eine bestimmte Anfangsauslenkung (Nickstörung) von Hand aufgebracht worden war.

Die so entstehenden Einschwingkurven zeigen ein stark gedämpftes Verhalten, die Sonde kehrt fast ohne Überschwingen in ihre Ausgangslage zurück.

Das Verhalten bei Seitenstörungen wurde durch eine Hochgeschwindigkeitsfilmkamera (Typ Hycam) mit 50 Bildern/s aufgezeichnet und mit einem speziellen Film-Auswertegerät vermessen. Das seitliche Schwingen ist weniger stark gedämpft und ein mehrmaliges Überschwingen (Pendeln) unvermeidbar.

Abb. 2.4 zeigt das charakteristische Dämpfungsverhalten bei Störungen in Längs- und Querachse.

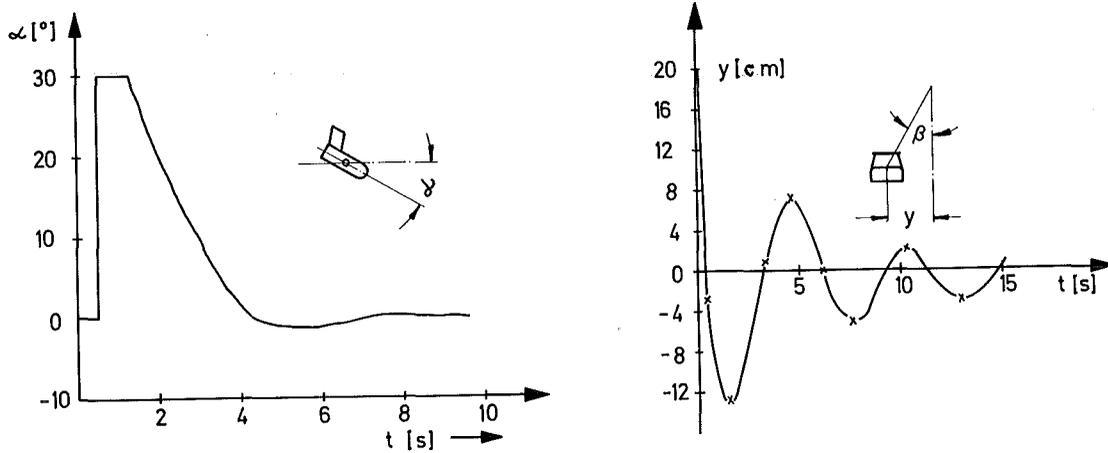


Abb. 2.4 Charakteristisches Dämpfungsverhalten der Schleppsonde bei Störungen in α - und β -Richtung

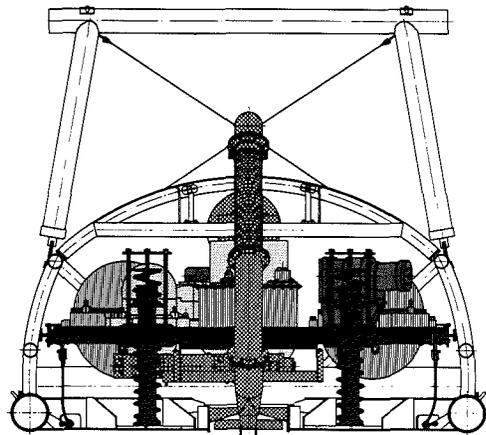
Auch das Verhalten beim Schleppen über Grund wurde in einem Schleppkanal erprobt, wobei durch Einbauten Hindernisse unterschiedlicher Art und Größe simuliert wurden. Abb. 2.5 zeigt das Modell im Wasserkanal. Durch den seitlich vorgezogenen Rohrrahmen und die Form des Vorderteils, das zusätzlich gepanzert ist, ist ein optimaler Schutz der Einbauten gewährleistet. Das Modell zeigte ein sehr gutes Verhalten, so daß auch bei Bodenhindernissen die Gefahr von Beschädigungen gering ist.



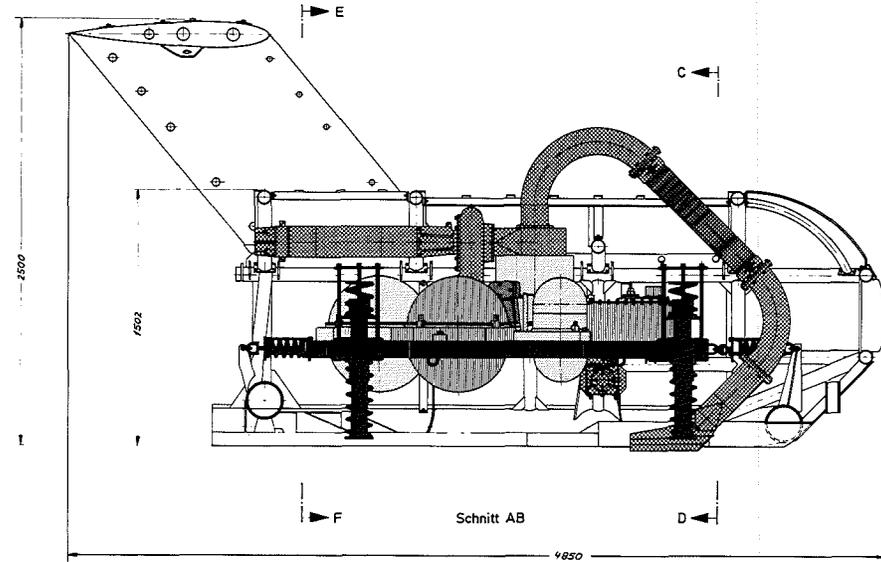
Abb. 2.5 MANKA-Modell im Wasserkanal beim Überwinden von Hindernissen

2.2 Geräteträger

In dem beschriebenen Schleppgestell ist der eigentliche Geräteträger zur Aufnahme der benötigten Komponenten federnd eingehängt. Abb. 2.6 zeigt die Gesamtansicht der Schleppsonde mit Geräteträger.

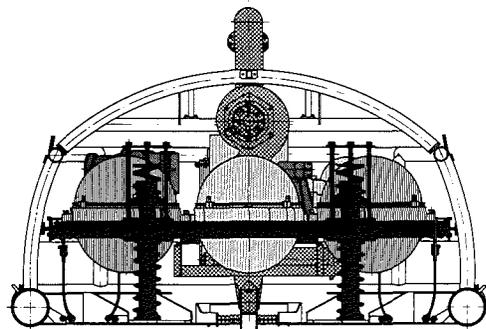


Schnitt CD



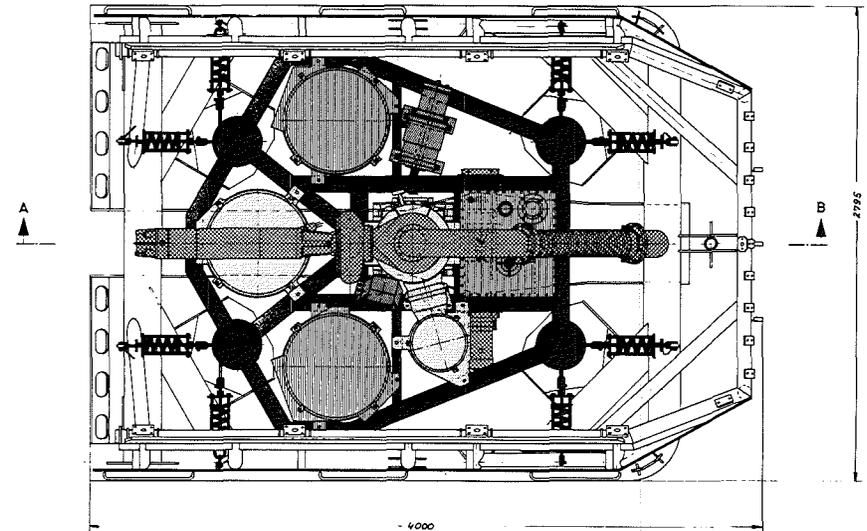
Schnitt AB

-  Knollenförder-(Saug-) System
-  Analyse-System
-  Füllstands- u. Schüttdichte-Meßsystem
-  Elektro- u. Elektronik-Bauteile
-  Gerätetragerrahmen
-  Äußerer Rahmen



Schnitt EF

Alle Schnitte beziehen sich nur auf den Äußerer Rahmen



- 4000

Abb. 2.5 Gesamtansicht der Schleppsonde MANKA 01

2.2.1 Probenahmesystem

Um die teilweise vom Sediment des Tiefseebodens umgebenen Manganknollen ins Analysengefäß zu bringen, wurde als geeignete Lösung ein hydraulisches System nach Abb. 2.7 gewählt.

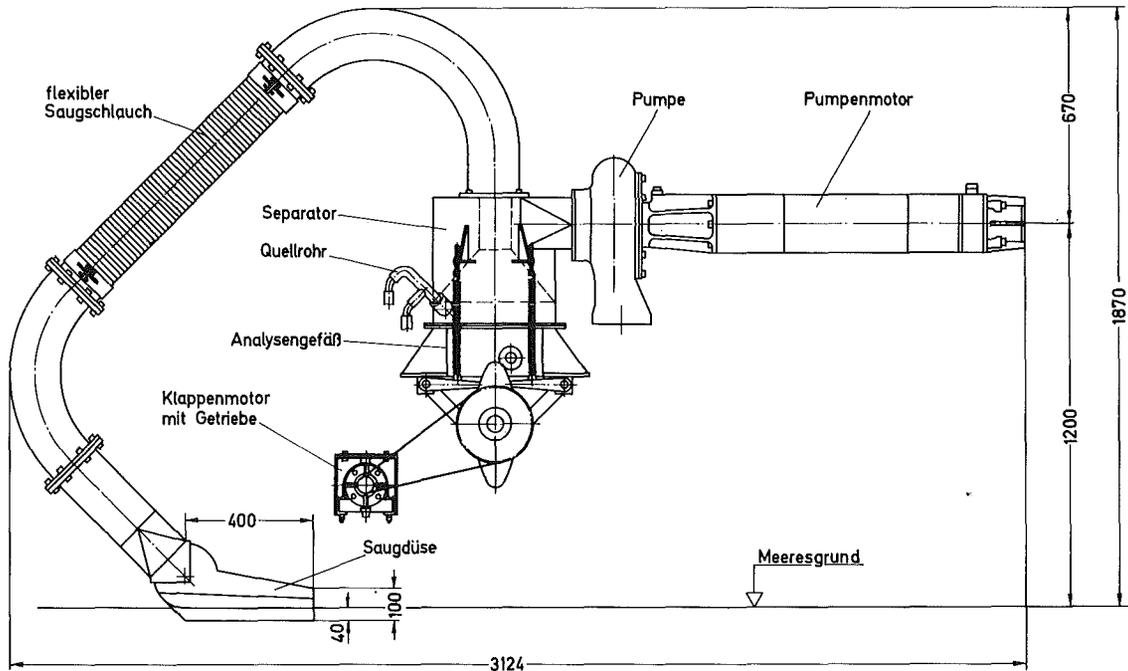


Abb. 2.7 Hydraulischer Förderkreislauf

Von einem Saugkopf, der beweglich in dem Ausschnitt der Bodenplatte angeordnet ist, werden die Manganknollen angehoben und über den flexiblen Saugschlauch, durch den die Relativbewegungen zwischen Geräteträger und Schleppgestell ausgeglichen werden, über einen Filterseparator in das Analysengefäß gefördert.

Die Form des Saugkopfes und des Separators wurde nach umfangreichen Versuchen in einem stationären Versuchsstand, im kleinen Schleppkanal der Hamburgischen Schiffbauversuchsanstalt und im Watt des Jadebusens bei Wilhelmshaven ermittelt /11, 12/. Der Separator ist so gestaltet, daß sich durch Füllung des Analysengefäßes sein Eintrittsquerschnitt verengt, sich dadurch die Strömungsgeschwindigkeit in Rüssel und Saugdüse verringert und keine weiteren Knollen gefördert werden. Damit ist die Gefahr einer Verstopfung des Saugrüssels ausgeschlossen.

Die Düse ist so ausgelegt, daß zunächst die Knollen vom Sediment freigespült und dann erst angesaugt werden, so daß ein hoher Sammelwirkungsgrad erreicht wird und kein Verklumpen des Sediments mit den Knollen stattfinden kann. Es werden nur Knollen bis ca. 60 mm Ø aufgenommen, die Düsenbreite beträgt 100 mm und der Durchmesser des Saugschlauches 150 mm.

Als Ergebnis der Wattversuche wurde bei einer Fördergeschwindigkeit bis 4,2 m/s eine Saugmotorleistung von 5,5 kW, bei 20 % Belegungsdichte und 1,5 m/s Schleppgeschwindigkeit eine Sammelzeit von etwa 10 s ermittelt. Die Trennung von Schlick (Sediment) und Knollen im Separator war so gut, daß ein Verfälschen der Meßergebnisse durch zu große Beimengen von Sediment beim Einsatz ausgeschlossen werden kann.

Als Antrieb für die eingesetzte Einkanalradpumpe wird ein Unterwassermotor der Fa. Pleuger benutzt, der, wie auch alle anderen Komponenten des Probenahmesystems, für eine Wassertiefe von 6 500 m ausgelegt ist. Durch Auffüllen des Gehäuses mit Süßwasser, das über eine Rollmembrane mit dem umgebenden Meerwasser in Verbindung steht, werden der äußere Druck kompensiert, die Lagerstellen geschmiert und die Wicklung gekühlt.

Im Analysengefäß in der Mitte des Geräteträgers, das etwa 30 kg Manganknollen aufnimmt, sind in einem Querrohr die beiden ²³⁵U-Spaltkammern und ein Bleikegel von 17 cm Länge zur Abschirmung der von der ²⁵²Cf-Quelle emittierten γ -Strahlung angeordnet

(s. Abb. 2.8). Die Spannzange zur Aufnahme der pneumatisch in die Sonde eingeschleusten ^{252}Cf -Quelle sitzt im Zentrum und ist so gestaltet, daß eine sehr genaue Lagefixierung auch bei häufigem Ein- und Ausschleusen gewährleistet ist. Das Einschleusen wird in Kap. 7.4 beschrieben.

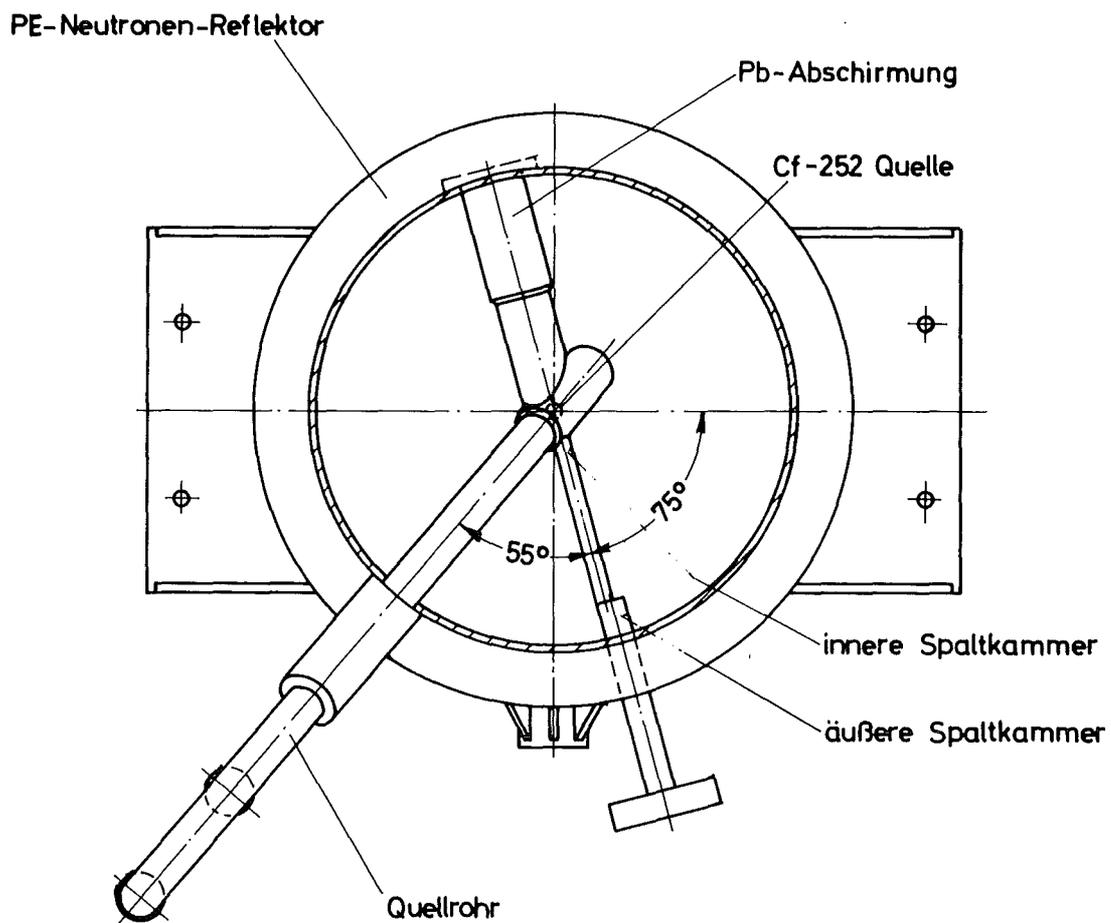


Abb. 2.8 Analysengefäß mit Einbauten

Alle Einbauten und das Analysengefäß selbst sind aus Zircaloy-2 hergestellt, da dieser Werkstoff zum einen neutronenfreundlich ist und zum andern nur einen Anteil von 0,03 - 0,08 Gew.% Nickel enthält. Diese geringen Beimengungen können die Meßwerte der Ni-Konzentration der Manganknollen nicht verfälschen.

Das Gefäß ist zur besseren Neutronenökonomie von einem 50 mm dicken Polyäthylen-Reflektor umgeben. Außen an der Wandung sitzen druckgekapselt der Kryostat mit dem Ge-Detektor, die ^{228}Th -Quelle und der NaJ(Tl)-Detektor.

Die Klappen zum Entleeren des Gefäßes werden über eine Kurvenscheibe gegen eine Federkraft von einem zweiten druckausgeglichenen Unterwassermotor mit 1,1 kW Leistung geöffnet und sind die einzigen im Meerwasser bewegten Teile der Sonde. Aufgrund der hohen Motordrehzahl von 2 900 U/min mußte ein Getriebe mit sehr hoher Untersetzung gefunden und ein spezielles Getriebegehäuse, das vollständig mit Öl gefüllt wird, mit Druckausgleich konstruiert werden.

Durch Verwendung eines Harmonic-Drive-Einbausatzes wird eine Untersetzung von 258:1 bei einem maximalen Abtriebsdrehmoment von 254 Nm erreicht. Über einen nachgeschalteten Kettentrieb kann die gewünschte Drehzahl an der Kurvenscheibe abgenommen werden. Bei Tests ohne Umgebungsdruck und an Luft stellte sich im Dauerbetrieb ein Temperaturgleichgewicht bei etwa 60 °C ein, was unkritisch ist. Bei dem Einsatzfall (Umgebungsmedium Meerwasser von ca. 4 °C und einer Laufzeit von 20 Sekunden) ist die Temperatur mit Sicherheit geringer. Der Wirkungsgrad ist bei völlig gefülltem Gehäuse temperaturabhängiger als bei Normalfüllung und verschlechtert sich bei einer Temperatur von ca. 44 °C um 7,2 % gegenüber Normalfüllung. Die Ergebnisse eines Tests bei 650 bar Umgebungsdruck sind in Kap. 7.5 aufgeführt.

Ein bei geschlossenen Klappen verbleibender Spülschlitz von 3 mm verbessert wesentlich die Reinigung der aufgenommenen Knollen während der Saugphase.

2.2.2 Druckbehälter

Die Meß- und Steuerelektronik, Komponenten des Datenübertragungssystems, der Heliumkompressor, die Strahlungsdetektoren und verschiedene Sensoren sind in Druckbehältern untergebracht, die aus fertigungstechnischen Gründen bereits in einem frühen Entwicklungsstadium konzipiert und in Auftrag gegeben werden mußten. Aus diesem Grunde wurde ein auf der sicheren Seite liegender Platzbedarf von ca. 360 dm^3 abgeschätzt, der, wie es sich später herausstellte, durch Eigenentwicklung und Verwendung neuer Bauelemente zum Teil wesentlich über das benötigte Volumen hinausging.

Den Aufbau der drei Druckbehälter mit Zwischenring von je 110 dm^3 und des Kryostaten-Behälters mit zylindrischem Zwischenstück und Zwischenring von 29 dm^3 Inhalt zeigt Abb. 2.9.



Abb. 2.9 Die vier großen Druckbehälter (beim ersten Helium-Lecktest)

Abb. 2.10 stellt eine Skizze des Kryostaten-Behälters dar, dessen Herstellung am problematischsten war. Von den Zwischenringen werden alle benötigten Verbindungsleitungen und -rohre aufgenommen, so daß die Halbkugelflächen ungestört bleiben. Da bei so großen Durchmessern und 650 bar Umgebungsdruck die Werkstoffwahl für die Fertigung entscheidend ist, wurde die hochfeste Titanlegierung TiAl6V4 ($\sigma_{0,2} = 920 \text{ N/mm}^2$ bei 20°C) gewählt. Die Halbkugeln wurden in zwei bis fünf Arbeitsgängen bei Temperaturen oberhalb 800°C gepreßt, danach einer Rißprüfung mittels Röntgenaufnahmen unterzogen und auf Formfehler vermessen.

Bei der Auslegung wurde ein hoher Sicherheitsfaktor berücksichtigt, da sowohl von der Bearbeitungsseite als auch von den rechnerischen Grundlagen keine eindeutigen Parameter vorhanden waren. Es ergaben sich für die drei großen Behälter (280 mm Radius einer Kugelhälfte) eine Wanddicke von 23 mm an der dünnsten Stelle, was eine Ausgangsrunde von 32 mm Dicke erforderte. Alle Behälter wurden an der Innenseite sandgestrahlt, an der Außenseite und im Flanschbereich spanend überarbeitet. Als Dichtungen wurden Perbunan-O-Ringe mit erhöhter Shore-Härte (88 NBR/156) verwendet. Jede Halbkugel ist mittels Knaggen und Dehn-Stehbolzen mit den Zwischenringen verbunden.

Die Verbindungen zwischen dem Zylinderteil und der Halbkugel bei dem Kryostaten-Druckbehälter wurde durch Elektronenstrahlschweißen hergestellt (Drucktests s. Kap. 7.5).

Die Wärmeabfuhr der elektronischen und elektrischen Bauelemente wird durch die geringe Wärmeleitfähigkeit der Titanlegierung mit $\lambda = 0,017 \text{ cal/cm s }^\circ\text{C}$ bei 20°C erschwert. Es wurden daher Tests mit in einem Druckbehälter installierten Verbrauchern mit einer Leistungsabgabe von 200 bzw. 400 W bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen durchgeführt. Auf Aluminium-Platten, die in die Zwischenringe eingepaßt waren, konnten die Bauelemente mit

beim Warmpressen
erzeugtes Zylinderstück

Elektronenstrahlgeschweißt
geschmiedeter Ring

Knagge

Dehn-Stehbolzen

O-Ring

zur Aufnahme
am Geräteträger

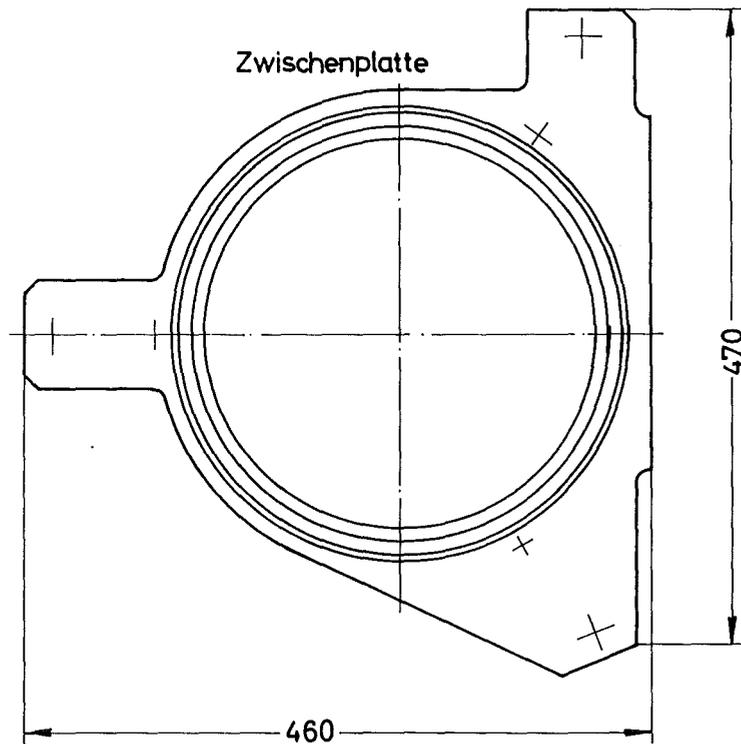
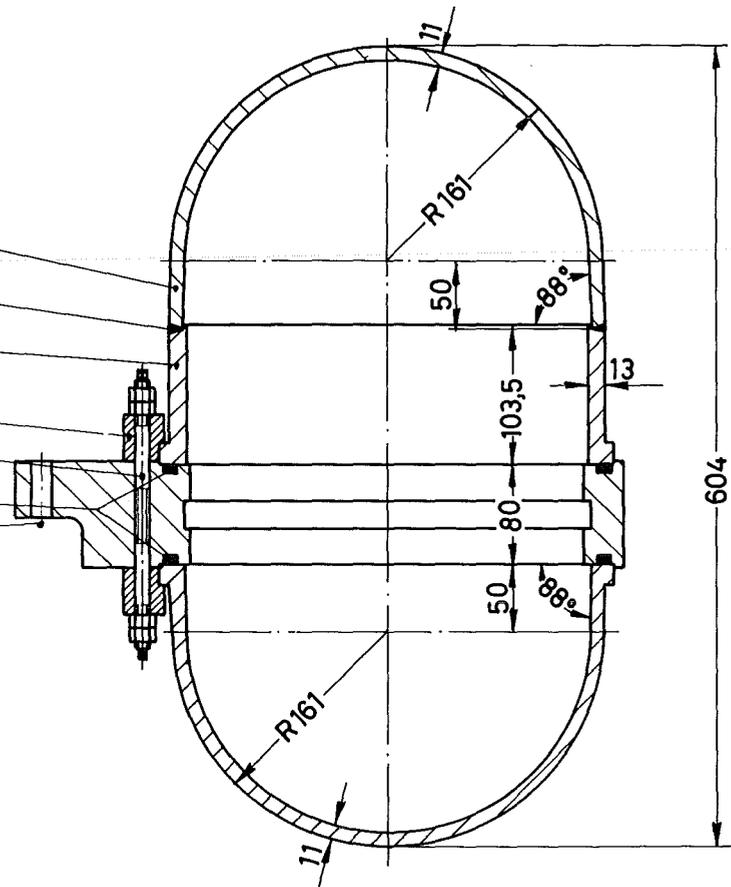


Abb. 2.10

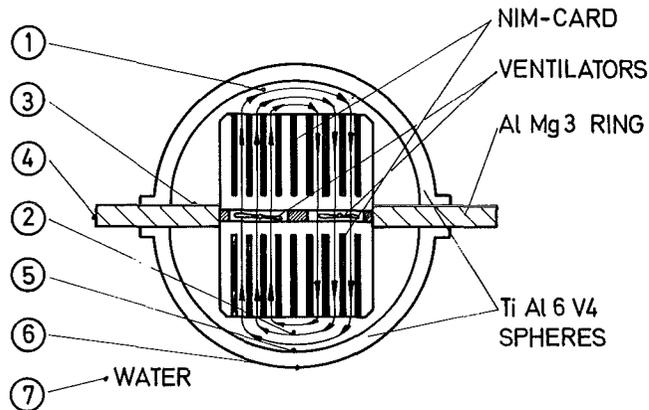
Aufbau des Kryostaten - Druckbehälters

Werkstoff: TiAl6V4

Inhalt: 29 dm^3

der größten Verlustwärme aufgesetzt werden und ihre Wärme direkt durch Wärmeleitung an die vergrößerte Oberfläche abgeben.

Die Abb. 2.11 zeigt den Versuchsaufbau und die wesentlichen Ergebnisse. Bei einer Berieselung von oben, wobei die gesamte Fläche der oberen Kugelhälfte, die obere und die Stirnseite des Zwischenringes mit Wasser bedeckt waren, zeigte sich, daß die Wärme auch bei Verwendung der Titanlegierung so gut abgeführt wird, daß keine Überhitzungsgefahr für die Bauelemente besteht.



THERMO COUPLE \ POWER [W]	IN AIR		BOTTOM SPHERE IN WATER		SMALL HIGHER FLOW OF WATER ON TOP SPHERE	
	200	400	200	400	200	200
1	62,0	79,0	47,0	58,0	42,0	27,5
2	61,0	78,5	46,5	57,0	41,0	28,0
3	52,0	65,0	38,0	44,5	30,5	16,0
4	51,5	64,0	37,5	43,5	30,0	15,5
5	55,0	71,0	28,0	29,0	37,5	20,0
6	51,0	62,5	37,5	26,5	36,5	15,5
7	-	-	19,5	17,0	~15	~15

Abb. 2.11 Temperaturen [°C] an verschiedenen Punkten des Elektronik-Druckbehälters

Der Kompressor mußte innerhalb des Druckbehälters mit Wasser umgeben werden, um die entstehende Wärme abführen zu können /10/.

Der NaJ(Tl)-Detektor ist in einem zylindrischen Druckbehälter von $2,4 \text{ dm}^3$ Inhalt aus Edelstahl (1.4571) mit einer Wandstärke von 28 mm untergebracht, verschiedene Sensoren wie Magnetschalter zur Überwachung der Klappenstellung am Analysengefäß und zur Meldung des Bodenkontaktes befinden sich in kleinen Zylindern des gleichen Werkstoffes und sind über Rohrleitungen mit dem Elektronik-Behälter verbunden. Abb. 2.12 zeigt den Geräteträger bei der Endmontage.

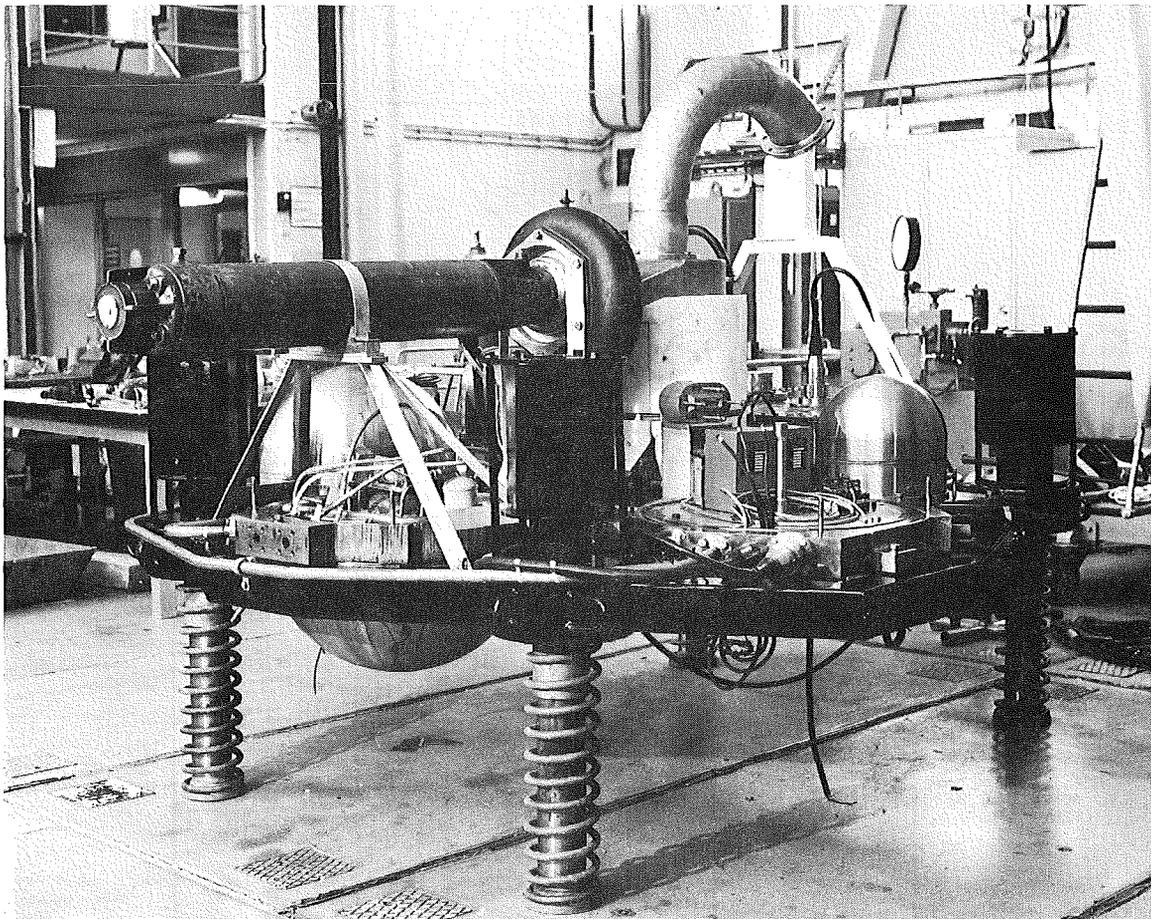


Abb. 2.12 Geräteträger bei der Endmontage

3. MESSELEKTRONIK

Die Schleppsonde ist mit dem Schiff über ein Kabel verbunden, das sowohl die zum Schleppen erforderliche Kraft aufnehmen als auch die für die Antriebe und Elektronikgeräte in der Sonde notwendige Energie von 6 kV/2 A/50 Hz sowie die Meßdaten und die Steuerbefehle übertragen muß. Diese Funktionen müssen von dem auf dem FS "Valdivia" bereits vorhandenen Koaxialkabel mit einem Außendurchmesser von 18,4 mm erfüllt werden. Die Daten und Befehle werden digitalisiert und mit Puls-Code-Modulation (PCM) übertragen.

In der Sonde (s. Abb. 3.1) befinden sich im wesentlichen die für die Analyse notwendigen Meßzweige mit Ge-Detektor, NaJ(Tl)-Kristall und Spaltkammern sowie den nachgeschalteten Verstärkern, eine Reihe von Sensoren zur Überwachung der Sondenfunktion einschließlich der notwendigen Verstärker, die digitale Datenaufbereitung mit Analog-Digital-Wandlern und Zwischenspeichern, das System zur Datenübertragung mit PCM-Sender und -Empfänger und die Erzeugung der notwendigen Versorgungsspannungen aus der vom Schiff übertragenen Spannung von 6 kV.

An Bord befinden sich wieder das System zur Datenübertragung, Zwischenspeicher für die ankommenden Daten, der Rechner mit einem Magnetbandspeicher und zwei Druckern, die Steuer- und Kontrolleinheit mit Magnetbandspeicher, Display und Schreiber sowie die gesamte Energieversorgung für Sonde und Bordinstallation.

3.1 Analysenzweig

Im Analysenzweig (s. Abb. 3.1) wird die für die Bestimmung der gewünschten Metallkonzentrationen wichtigste Information gewonnen, nämlich die Intensität der elementspezifischen γ -Strahlung, die während der Neutronenbestrahlung von den Manganknollen emittiert wird.

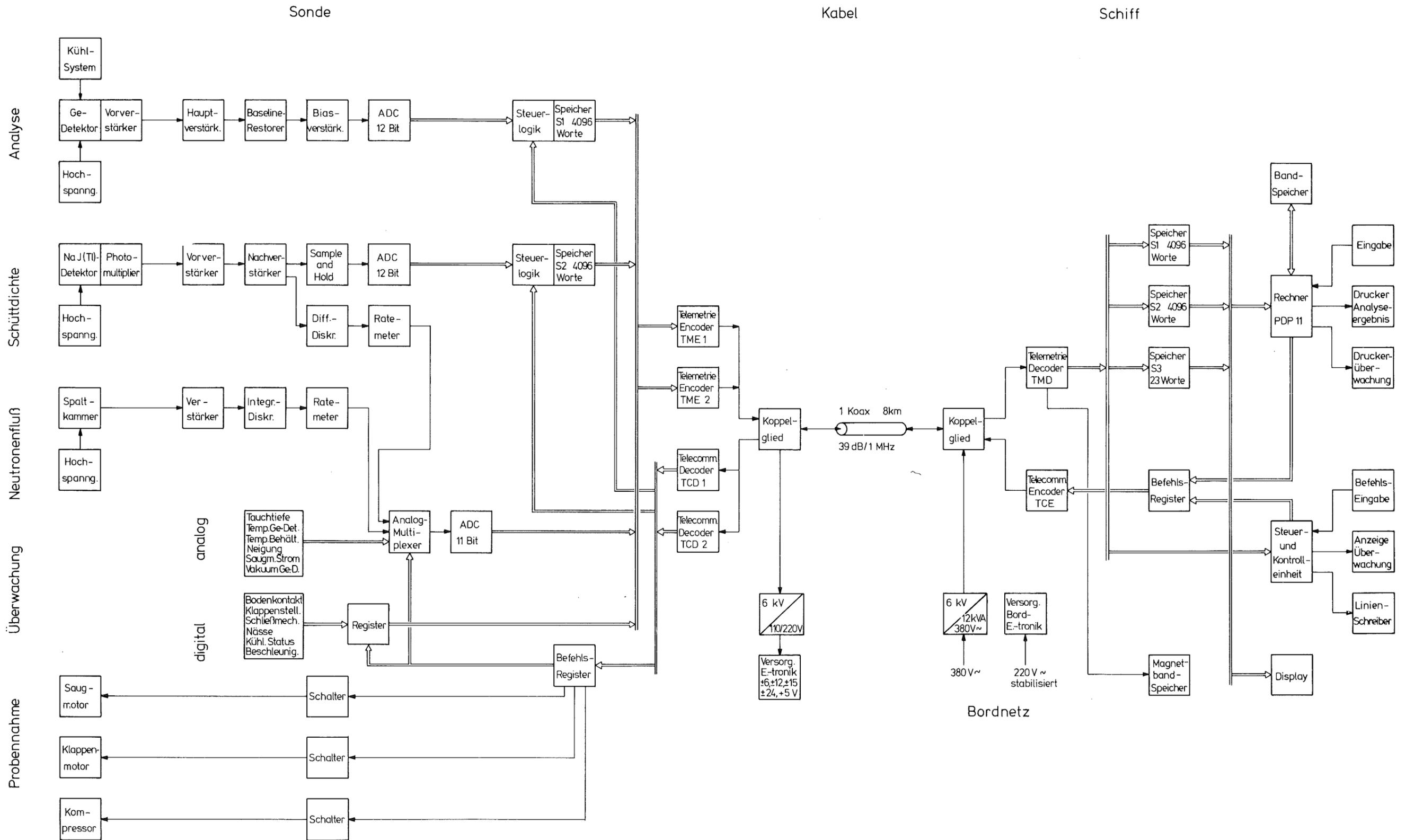


Abb. 3.1 Elektronik-Blockschaltbild

3.1.1 Germanium-Detektor

Die in den Knollen induzierte γ -Strahlung wird mit einem Germanium-Detektor nachgewiesen. Damit nur während der eigentlichen Messung, nicht aber während Transport- und Standzeiten gekühlt werden muß, wurde der Detektor aus Intrinsic-Germanium ($N_A - N_D = 1,5 \times 10^{10}/\text{cm}^3$) hergestellt. Die Kühlung erfolgt mit einer Miniatur-Helium-Kältemaschine, mit der eine Temperatur von etwa 60 K erreicht wird. Ein großes Problem stellte die Halterung des Detektors im Kryostaten dar (s. Abb. 3.2 und 3.3), da bereits bei den geringsten Erschütterungen Mikrofonieeffekte auftreten, die die Energieauflösung des Detektors verschlechtern können. Durch eine speziell konstruierte Aufhängung und durch eine Reihe von Versuchen auf dem Rütteltisch mit anschließender Verbesserung der Aufhängung konnte erreicht werden, daß auch unter Schleppbedingungen am Meeresboden keine Auflösungsver schlechterung auftritt. Der Detektor hat folgende Daten:

Dicke:	14,8 mm
Durchmesser:	40,6 mm
aktives Volumen:	17,0 cm ³
Auflösung bei 1,33 MeV:	2,2 keV
Efficiency:	2,0 %

3.1.2 Vorverstärker

Der Vorverstärker ist ein ladungsempfindlicher Vorverstärker, dessen Eingangsstufe mit einem Feldeffekttransistor zur Verringerung des Rauschens nahe dem Detektor im Kryostaten eingebaut ist und mitgekühlt wird. Der Anstieg des Rauschens bei steigender Eingangskapazität beträgt weniger als 0,018 eV/pF.

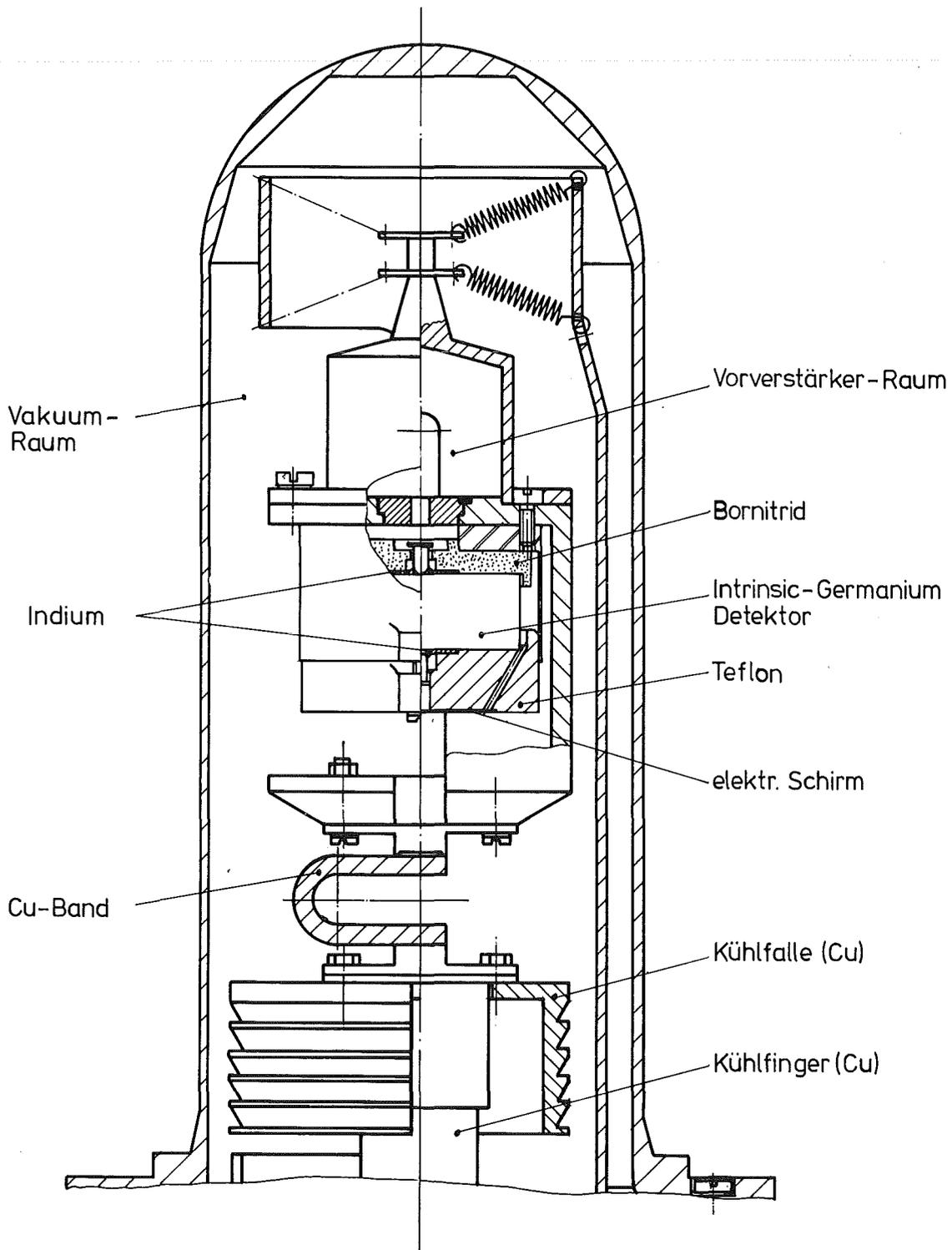


Abb. 3.2 Kryostat mit Detektorhalterung

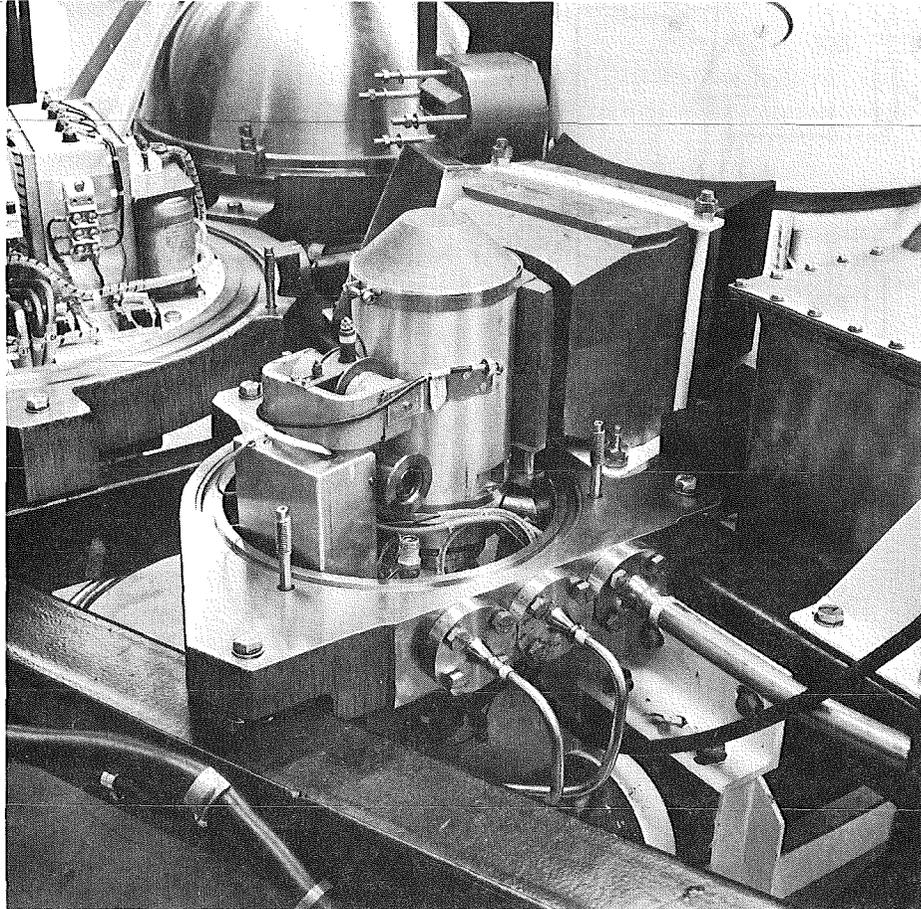


Abb. 3.3 Blick in den Kryostaten-Druckbehälter mit Kryostat, Ionengetterpumpe, Hochspannungsversorgungen und Vorverstärker

3.1.3 Hauptverstärker

Für den Einsatz in der Schleppsonde wurde ein spezieller Verstärker entwickelt, der bei den auftretenden Zählraten von ca. $3 \cdot 10^4$ cps eine optimale Auflösung ermöglicht und sich vor allem durch eine kompakte und nur die notwendigen Funktionen beinhaltende Bauweise auszeichnet /13/. Es ist ein Gauß-Filter-Verstärker (s. Abb. 3.4) mit zweifacher Differentiation und fünffacher Integration bei einer Zeitkonstanten von $2 \mu\text{s}$. Mit dem sich anschließenden Baseline-

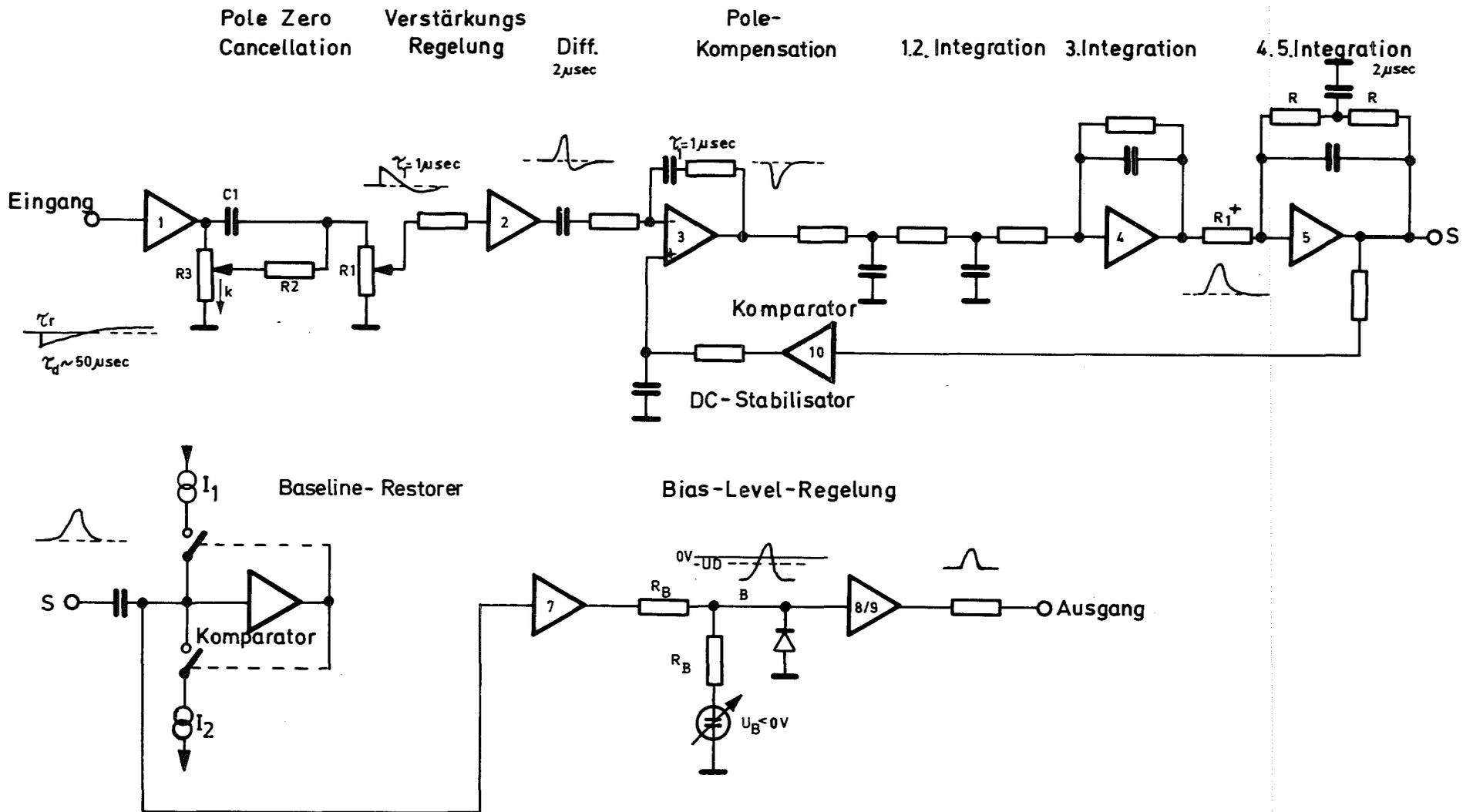


Abb. 3.4 Gauß-Filter-Verstärker mit Baseline-Restorer und Bias-Verstärker

Restorer wird die bei Übersteuerung, Pile-up usw. auftretende negative Verschiebung der Basislinie korrigiert und so eine Verschlechterung der Auflösung vermieden. Da vom gemessenen Gammaskpektrum nur der Energiebereich von ca. 5 bis 10 MeV ausgewertet wird, werden im nachfolgenden Bias-Verstärker die dem Bereich von 0 bis 5 MeV entsprechenden Spannungsimpulse unterdrückt und die dem Bereich von 5 bis 10 MeV entsprechenden Impulse weiter verstärkt.

3.1.4 Analog-Digital-Wandler

Im anschließenden Analog-Digital-Wandler (ADC) werden die analogen Impulse in digitale Informationen umgewandelt. Es wird das Modell 8215 der Fa. Laben verwendet. Dieser ADC arbeitet nach dem Prinzip der sukzessiven Approximation und hat eine Konversionszeit von 4,5 μ s für 13 Bit, so daß die Verarbeitung hoher Zählraten möglich ist. Die differentielle Nichtlinearität beträgt $\leq \pm 0,2$ %. Da für die Meßgenauigkeit nur 12 Bit entsprechend einer Kanalzahl von 4096 benötigt werden, wird die Auflösung unter Beibehaltung des Eingangsspannungsbereiches von 0 bis 8 V über einen Schalter auf 12 Bit reduziert. Die digitalisierten Impulse werden anschließend im Speicher S1 gespeichert (s. Kap. 4.2).

3.2 Füllstand und Schüttdichte

Dieser Meßzweig soll Auskunft darüber geben, ob das Analysengefäß mit Sammelgut gefüllt ist, um dann den Saugmotor abstellen zu können. Darüber hinaus soll dieselbe Messung eine Aussage über die Packungsdichte und damit über die Menge des Sammelgutes ermöglichen, um die Ergebnisse der Analyse darauf beziehen zu können.

Beide Aussagen werden durch die Transmissionsmessung am Analysegefäß gewonnen, die auf zweierlei Arten ausgewertet wird.

Der Füllstand wird dadurch ermittelt, daß die Änderung der Zählrate in einem bestimmten Energiebereich beobachtet wird. Diese Änderung tritt dann auf, wenn sich im Bereich des Transmissionsstrahles anstatt Salzwasser feste Materie befindet. Die Aussage über die Schüttdichte erhält man durch die Auswertung des Impulshöhenspektrums im Bereich von ca. 1,5 bis 3 MeV.

Um diese beiden Aufgaben erfüllen zu können, ist der Meßzweig folgendermaßen aufgebaut (s. Abb. 3.5 und 3.6):

Die γ -Strahlung der ^{228}Th -Quelle durchdringt das Gefäß am oberen Rand und wird von dem NaJ(Tl)-Kristall nachgewiesen, der direkt an den Photomultiplier gekoppelt und in einem Gehäuse aus rostfreiem Stahl untergebracht ist. Diese Einheit weist folgende Daten auf:

Kristall:	3 inch Durchmesser x 3 inch Dicke
Energieauflösung:	< 8 % für ^{137}Cs
Temperaturbereich:	0 bis 70 °C
Temperaturgradient:	20 K/h
Stoßfestigkeit:	30 g
Vibrationen:	0 bis 2 000 Hz bei 8 g

Der Photomultiplier liefert seine Ladungsimpulse an einen ladungsempfindlichen (!) Verstärker mit darauffolgendem Nachverstärker und Baseline-Restorer. Die Gesamtverstärkung ist fest eingestellt. Die Impulshöhe wird über die Hochspannung des Photomultipliers so eingestellt, daß 10 V ca. 3 MeV entsprechen. Die Beschreibung der besonders stabil geregelten Hochspannungsversorgung folgt in Kap. 3.6.4.

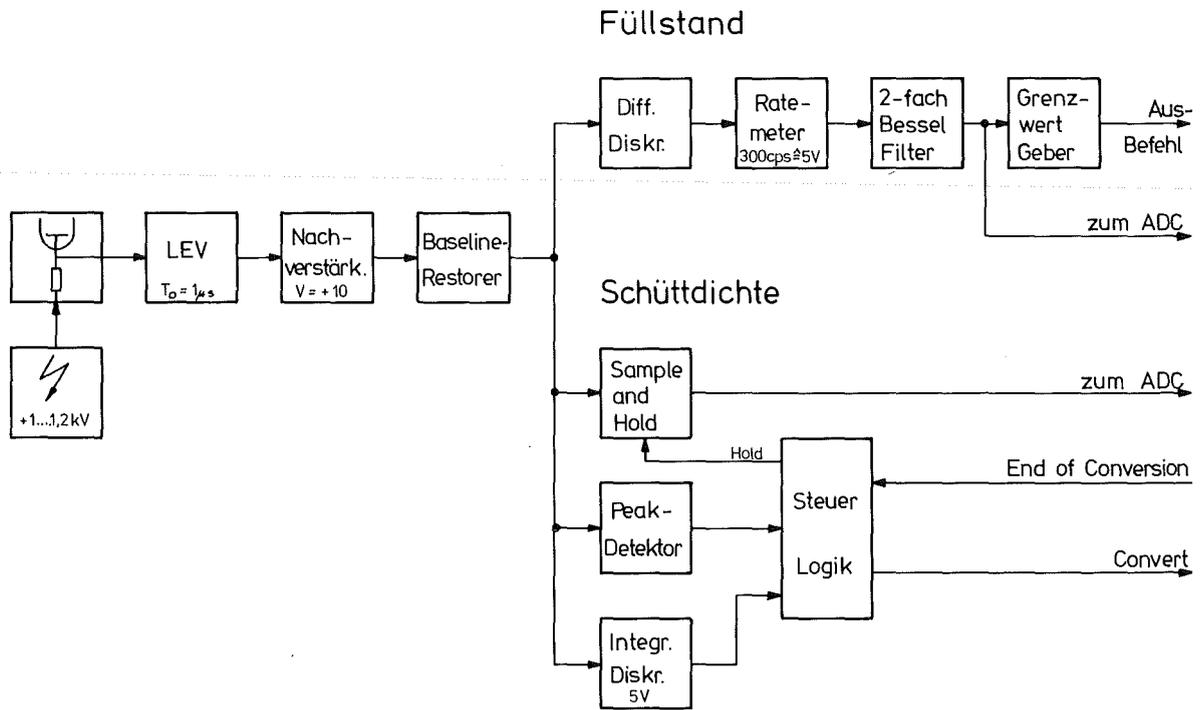


Abb. 3.5 Meßzweig Füllstand - Schüttdichte

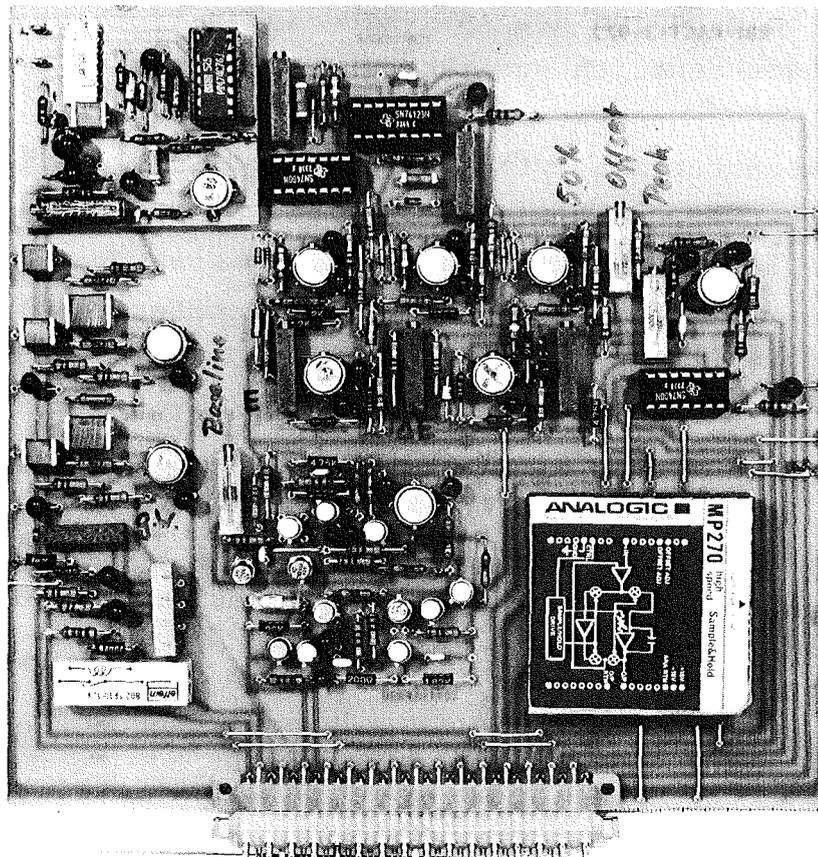


Abb. 3.6 Platine für Meßzweig Füllstand - Schüttdichte

Die Ausgangsimpulse des Verstärkers werden den beiden Meßzweigen "Füllstand" und "Schüttdichte" zugeleitet. Im ersteren gelangen die Impulse in einen Differential-Diskriminator, der es gestattet, einen beliebigen Energiebereich auszuwählen, dessen integrale Impulszahl einem Ratemeter zugeführt wird. Danach folgt ein zweistufiges aktives Filter mit Bessel-Charakteristik für schnelles Einschwingen auf einen neuen Spannungswert bei gleichzeitig starker Dämpfung der Statistik-Welligkeit. Darauf sollte eine Grenzwerteinheit folgen, die über ein Relais den Saugmotor abschaltet.

Bei der praktischen Erprobung stellte sich jedoch heraus, daß bei einer Zählrate von ca. 250 cps und einer Änderung von ca. 20 % aufgrund der statistischen Schwankungen keine eindeutige Trennung der beiden Zählraten möglich ist. Stattdessen wird die Spannung als weiterer Analog-Meßwert digitalisiert, übertragen, bordseitig wieder in eine analoge Spannung umgesetzt und auf einem Schreiber registriert. Damit ist die Zählratenänderung beim Füllen des Analysengefäßes trotz statistischer Schwankungen deutlich zu erkennen.

Dieses Ratemeter ist, wie auch die beiden in den Neutronenflußzweigen (s. Kap. 3.3), nach einem neuen Prinzip aufgebaut, wodurch der Temperaturgang des Konversionsfaktors von ca. $1,3 \cdot 10^{-3}/K$ auf etwa $1 \cdot 10^{-4}/K$ reduziert werden konnte: Es wird die übliche Kondensatorumlade-Methode angewandt, aber die Umladung wird nicht über Dioden, sondern über Halbleiterschalter bewirkt.

Zur Digitalisierung des Impulshöhenspektrums für die Schüttdichtebestimmung wurde ein 512-Kanal-Analysator aufgebaut. Dabei wird ein handelsüblicher Sample and Hold-Baustein und ein ADC-Modul eingesetzt.

Die selbstentwickelte Steuerlogik gibt einen "Hold"-Befehl, sobald ein eintreffender Impuls in einem Integraldiskriminator die 5 V-Schwelle überschreitet ($E > 1,5 \text{ MeV}$) und in einem Peak-Detektor die Impulsspitze erkannt wird (Steigung $\frac{\Delta u}{u} = 0$). Gleichzeitig wird ein Konversions-Befehl an den ADC gegeben. Nach erfolgter Digitalisierung meldet dieser "End of Conversion" zurück, womit der nächste Impuls aufgenommen werden kann.

Der ADC ist das Modul EH12B2 von Datel mit einer Wandlungszeit von 4 μ s für 12 Bit. Da eine Auflösung des Spektrums auf 512 Kanäle ausreichend ist, bleiben die 3 niedrigsten Bits unberücksichtigt. Dadurch wird die Streuung wesentlich reduziert, die durch die differentielle Nichtlinearität von $\pm 0,5$ Bit entsteht. Zur Auswertung wird nur die zweite Hälfte des 3 MeV-Spektrums benutzt und das 12. Bit dazu verwendet, die Speicherung zu verhindern bzw. zu ermöglichen (s. Kap. 4, Abb. 4.4). Das Ergebnis der Wandlung ist eine Binärzahl zwischen 256 und 511. Sie gelangt als Adresse an den zugehörigen Platz im Speicher S2 und erhöht dessen Inhalt um eins.

3.3 Neutronenfluß

Zur Bestimmung der Neutronenflußverteilung im Analysengefäß werden in der Mitte und am Rand die Spaltkammern als Neutronendetektoren eingesetzt.

Zur Verstärkung der Ladungsimpulse von 10^{-12} Coulomb und zur Umformung in Spannungsimpulse werden zwei ladungsempfindliche Verstärker (LEV) verwendet. Sie sind jeweils auf eine Platine der Größe 187 x 190 mit 31 pol. DIN-Stecker aufgebaut.

Die Verstärker enthalten zusätzlich einen einstellbaren Integraldiskriminator. Um eine zählratenabhängige Spannung zu erhalten, werden die Ausgangsimpulse des Diskriminators einer Ratemeterschaltung zugeführt. Die Meßbereiche der beiden Ratemeter sind so eingestellt, daß der Nennwert von 5 V bei der inneren Spaltkammer mit 20 000 cps und bei der äußeren Spaltkammer mit 1 200 cps erreicht wird.

Die Hochspannungsversorgung der Spaltkammern erfolgt aus kleinen Hochspannungsmoduln, die auf derselben Platine untergebracht sind (s. Kap. 3.6.4).

3.4 Analoge Überwachungssensoren

3.4.1 Tauchtiefe

Zur Bestimmung der Tauchtiefe ist in dem Zwischenring des Elektronik-Behälters ein Druckaufnehmer eingeschraubt, der über eine Bohrung vom Außendruck beaufschlagt wird. Der Aufnehmer Typ P3M (Hottinger) arbeitet nach dem DMS-Prinzip und liefert bei 10 V Speisespannung einen Meßwert von 20 mV für 1000 bar (s. Abb. 3.7). Der Meßfehler ist mit ca. $\pm 0,1$ % angegeben. Um die dadurch gegebene Meßgenauigkeit nicht zu verschlechtern, muß also auch die Speisespannung für den Geber besser als 0,1 % genau sein und die Offset-Spannung und Temperaturdrift des nachfolgenden Verstärkers kleiner als 20 μ V bleiben.

Diese Forderungen können erfüllt werden, indem eine Präzisionsspannungsquelle mit einer temperaturkompensierten Referenzdiode aufgebaut und für den Verstärker ein Datenverstärker-Modul Typ AD605 K mit einem Temperaturgang laut Datenblatt von ± 1 μ V/K eingesetzt wird. Bei einer Verstärkung von 333,33 erhält man einen Meßwert von 5 V bei 750 bar entsprechend 7500 m Wassertiefe, der dem ADC (11 Bit) im Überwachungszweig zugeführt wird. Damit erreicht man eine Auflösung von $7500 / 2047 = 3,66$ m.

3.4.2 Temperatur

Um die Auswirkung der elektrischen Verlustleistung der Behältereinbauten kontrollieren zu können, werden die Innentemperaturen der großen Behälter gemessen. Zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Kryostaten wird außerdem die Temperatur am Ge-Detektor erfaßt.

Als Fühler werden Pt-100-Widerstände verwendet (s. Abb. 3.7). Der Einfachheit halber sind alle 4 Widerstände in Serie geschaltet und werden von einer einzigen Konstantstromquelle mit 7,5 mA gespeist. Die Spannungsabfälle der einzelnen Widerstände werden mit integrierten Datenverstärkern AD521 um den Faktor 5 verstärkt. Der dem ADC-Meßbereich von 5 V entsprechende Pt-Widerstand beträgt somit $133,3 \Omega$, was einer Temperatur von $86,5^{\circ}\text{C}$ entspricht. Dieser Meßbereich wird für ausreichend erachtet. An die Genauigkeit werden keine hohen Anforderungen gestellt, da 1 K Temperaturänderung bereits 3 mV Spannungsänderung am Meßwiderstand bringt.

3.4.3 Beschleunigung

Der Ge-Detektor und der ladungsempfindliche Vorverstärker sind empfindlich gegen Erschütterungen. Deswegen wurde der Kryostat im Druckbehälter auf Schwingmetalle gelagert. Um dennoch auftretende Erschütterungen, soweit sie eine bestimmte Intensität überschreiten, registrieren zu können, wurde eine 3-achsige Anordnung von Beschleunigungsaufnehmern angebracht.

Die Aufnehmer sind Miniaturausführungen Typ GYC-250-50 von Kulite und liefern ein Signal von ca. 10 mV/g bei einer Spannung von 10 V. 3 Stück davon sind in Bohrungen in den 3 Hauptachsen eines Metallblockes untergebracht. Die Speisung erfolgt aus derselben Quelle, mit der der Druckaufnehmer versorgt wird.

Da eine laufende Übertragung der 3 Beschleunigungswerte wenig sinnvoll ist und zuviel Übertragungskapazität erfordert, wird eine Spitzenwertspeicherung vorgenommen. Diese funktioniert wie folgt (s. Abb. 3.7): Jedem Beschleunigungsaufnehmer folgt ein Datenverstärker AD 521 mit der Verstärkung 300 und einer unteren Grenzfrequenz von 0,5 Hz. So erhält man für Beschleunigungsänderungen von z.B. $\pm 1 \text{ g}$ Ausgangsspannungen von $\pm 3 \text{ V}$. Diese 3 Ausgangsspannungen werden einmal direkt und einmal invertiert

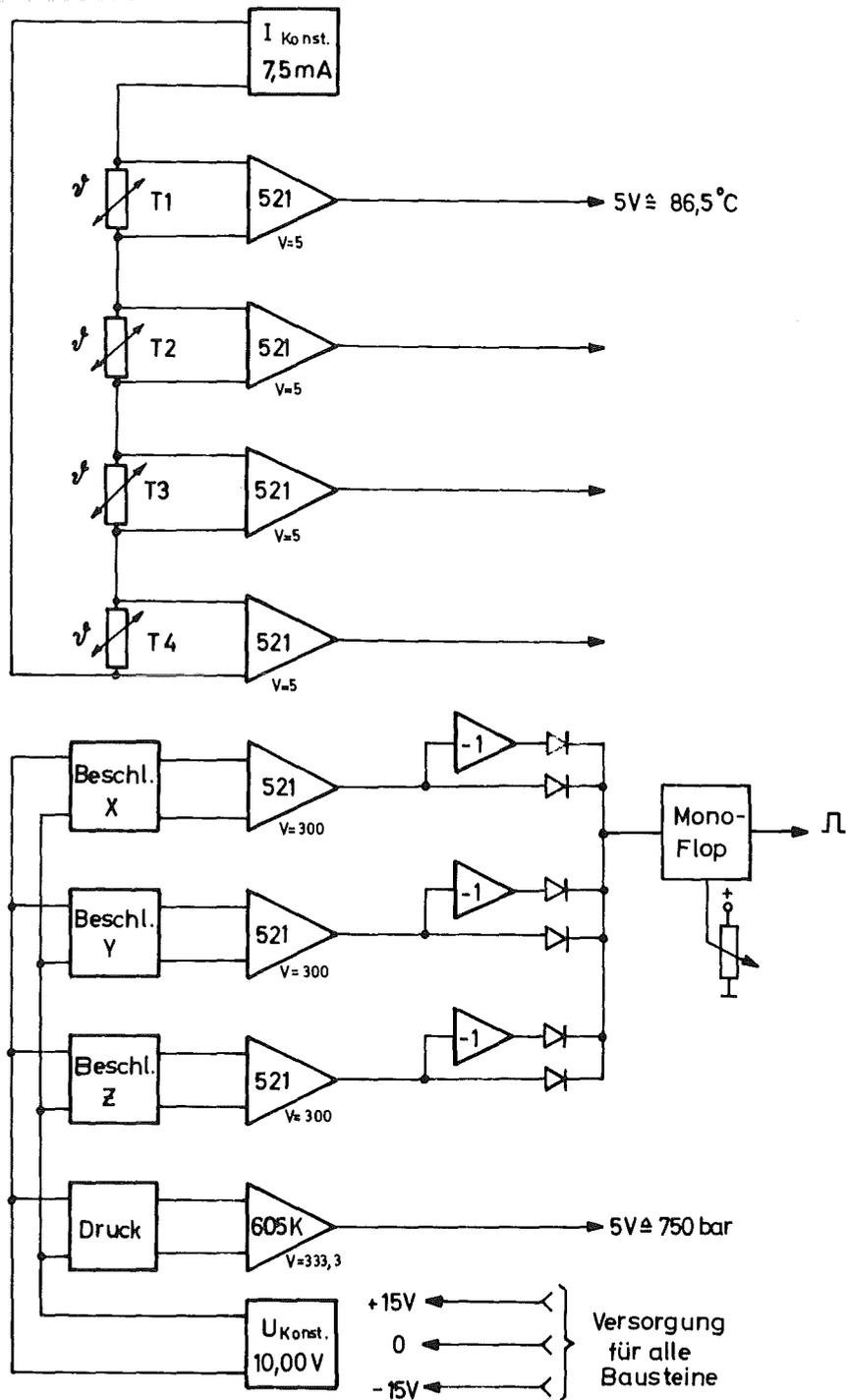


Abb. 3.7 Meßzweig für Temperaturen, Beschleunigungen und Druck

über 6 gleichgepolte Koppel-Dioden auf eine Sammelleitung gegeben. Somit erscheint immer der dem Betrag nach höchste Wert der positiven oder negativen Beschleunigung der drei Aufnehmer als Spitzenwert auf der Sammelleitung.

Ein Monoflop mit einstellbarer Triggerschwelle erzeugt beim Erreichen des vorgewählten Spitzenwertes auf der Sammelleitung einen Impuls von ca. 10 ms Dauer. Dieser Impuls wird im Fehlerregister gespeichert, welches jede Sekunde einmal abgefragt wird. Somit erhält man jede Sekunde einmal die Information, ob während der vergangenen Sekunde eine Beschleunigung von z.B. größer als 1 g vorgelegen hat.

Die anfangs stark störende mechanische Eigenresonanz des Beschleunigungsaufnehmers bei ca. 700 Hz mit 100-facher Resonanzüberhöhung konnte durch Parallelschalten eines Kondensators elektrisch weggedämpft werden. Die obere Grenzfrequenz wurde dadurch auf ca. 15 Hz herabgesetzt.

Die unter 3.4.1 bis 3.4.3 beschriebenen Anlogschaltungen sind auf einer gedruckten Platine von 187 x 190 mm mit 31 pol. DIN-Steckerleiste aufgebaut (s.Abb. 3.8).

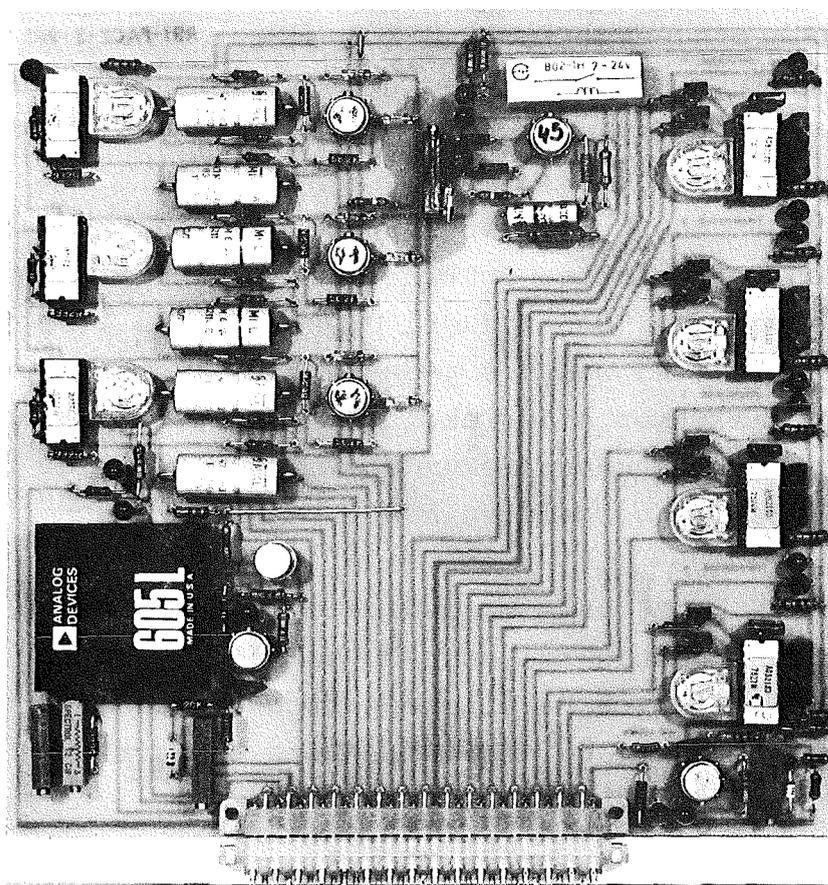


Abb. 3.8 Platine für Temperaturen, Beschleunigungen und Druck

3.4.4 Neigung

Um Auskunft über die Lage der Schleppsonde zu erhalten, sind im Elektronikeinschub zwei Neigungsmesser eingebaut, die die Neigung der Sonde in Fahrtrichtung und seitlich bis $\pm 90^\circ$ messen können. Die Sensoren Typ LSRP (Fa. Schaevitz) sind komplette Baueinheiten. Sie liefern bei einer Speisespannung von ± 15 V eine Ausgangsspannung von ± 5 V für $\pm 90^\circ$ nach der Formel $U_\alpha = 5 \cdot \sin \alpha$ [V].

Die Funktion beruht darauf, daß die Auslenkung eines Pendels durch die Wirkung der Schwerkraft von einem elektromagnetischen Servosystem kompensiert wird.

Die Ausgangsspannung wird über Dämpfungsglieder zur Unterdrückung höherer Frequenzanteile direkt dem ADC im Überwachungszweig zugeführt.

3.4.5 Digitalisierung der Analog-Daten

Insgesamt sind 12 Analog-Daten zu digitalisieren und zu übertragen. Es sind dies

- Füllstand (s. Kap. 3.2)
- 2 x Neutronenfluß (s. Kap. 3.3)
- Tauchtiefe (s. Kap. 3.4.1)
- 4 x Temperatur (s. Kap. 3.4.2)
- 2 x Neigung (s. Kap. 3.4.4)
- Saugmotorstrom (über Stromwandler und Gleichrichter direkt abgeleitet)
- Strom der Ionengetterpumpe (s. Kap. 3.6.3).

Alle Meßwerte sind so aufbereitet, daß sie im Bereich von ± 5 V liegen. Sie werden einem Datenwandlungssystem MP 6912 von Analogic zugeleitet. Dieses Modell beinhaltet einen 16 Kanal-Analogmultiplexer, eine Sample and Hold-Schaltung, einen 12 Bit-ADC und die erforderliche Steuer-Logik. Die maximale Abfragegeschwindigkeit beträgt $10 \mu\text{s}$ je Meßstelle. Von den zur Verfügung stehenden Ausgangscodes wurde das Einer-Komplement gewählt. Dabei stehen nur noch 11 Datenbits zur Verfügung. Das 12. Bit gibt das Vorzeichen an.

Die digitalisierten Werte dieses ADC's werden nicht zwischengespeichert. Da die Adressierung der Eingänge im Abfragezyklus des Datenübertragungssystems erfolgt, können die digitalen Werte direkt übernommen werden.

3.5 Digitale Überwachungssensoren

Neben den analogen Meßwerten gibt es noch einige Zustandsgrößen, die durch eine einfache ja-nein-Aussage überwacht werden können. Dies geschieht durch eine Schalter- oder Relaisbetätigung. Die Digital-Daten, die auf diese Weise übertragen werden, sind:

- Bodenkontakt
- Klappenstellung
- Nässe
- Kühlung-Status. Diese Meldung wird über einen Stromwandler mit nachgeschaltetem Gleichrichter und Relais direkt vom Strom des Kompressors abgeleitet.
- Beschleunigung. Die Werte der in Kap. 3.4.3 beschriebenen Beschleunigungsmessung werden ebenfalls als Digital-Daten übertragen.

3.5.1 Bodenkontakt

Das Aufsetzen der Sonde auf dem Meeresboden wird dadurch festgestellt, daß eine am Sondenboden angebrachte Schleppschwinge nach oben gedrückt wird und dabei über einen Permanentmagneten einen druckfest gekapselten Reedschalter betätigt. Die Stellung dieses Schalters wird bei jedem Zyklus festgestellt und als Meldung "Bodenkontakt" übertragen.

3.5.2 Klappenstellung

In gleicher Weise, nämlich über Permanentmagnete und gekapselte Reedschalter, werden die Stellung der Entleerungsklappen des Analysengefäßes und die Ruhestellung der Kurvenscheibe, die die Klappen betätigt, festgestellt und übertragen.

3.5.3 Nässe

In jedem der drei großen Druckbehälter ist im unteren Teil ein Naßfühler angebracht, der bei Berührung mit Wasser ein Relais erregt und damit die Meldung "Nässe" für den betreffenden Behälter veranlaßt.

3.6 Stromversorgung

3.6.1 Stromversorgung Elektronik-Behälter

Für die Versorgung der verschiedenen elektronischen Komponenten im Elektronik-Behälter sind stabilisierte Spannungen von ± 6 V, ± 12 V, ± 15 V, ± 24 V und speziell für die digitalen Schaltungen $+ 5$ V erforderlich.

Der vorausberechnete Leistungsbedarf bei den Versorgungsspannungen für den Analogteil beträgt ca. 60 W. Einschließlich eines Sicherheitszuschlages von 50% und der Verluste in den Längsreglern ist eine sekundäre Transformatorleistung von 140 Watt bereitzustellen. Als Regler werden Festspannungsregler Typ 42050 bzw. 42051 im TO3-Gehäuse von Mikropac verwendet (s. Abb. 3.9). Sie benötigen keine zusätzlichen Bauelemente. Der Nennwert der Ausgangsspannung ist intern auf $\pm 0,1$ V genau eingestellt.

Da die ± 24 V und die ± 15 V am stärksten belastet sind, werden zur Vermeidung unnötiger Verlustleistungen zwei verschieden hohe Eingangsspannungen von ± 32 V und ± 22 V aus zwei getrennten Sekundärwicklungen gewonnen.

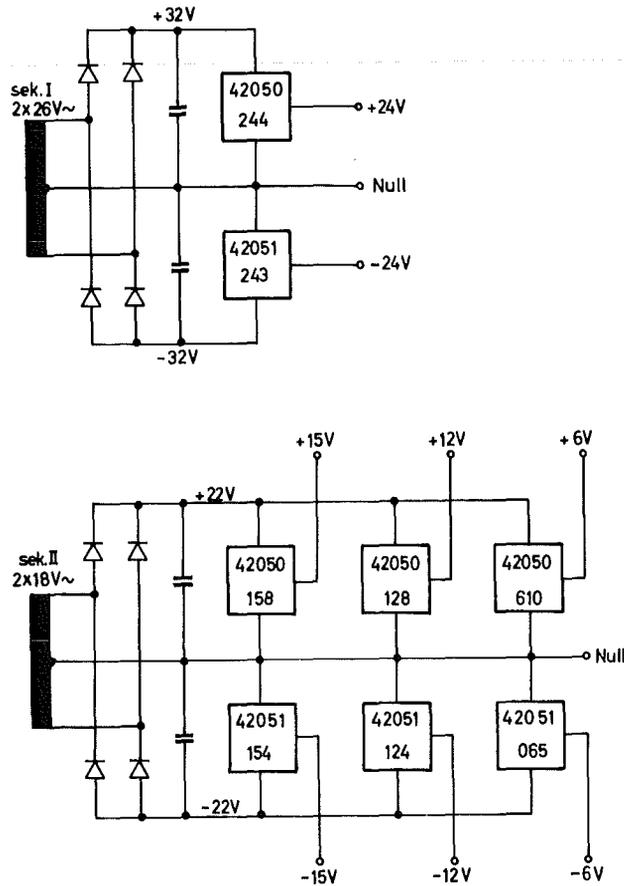


Abb. 3.9 Stromversorgung Elektronik-Behälter

Die 8 Längsregler und 2 Brückengleichrichter bilden auf einem Winkelprofil montiert eine Einheit, die zwecks optimaler Wärmeabfuhr direkt auf die Aluminium-Zwischenplatte aufgeschraubt ist (s. Abb. 3.10 und 3.11).

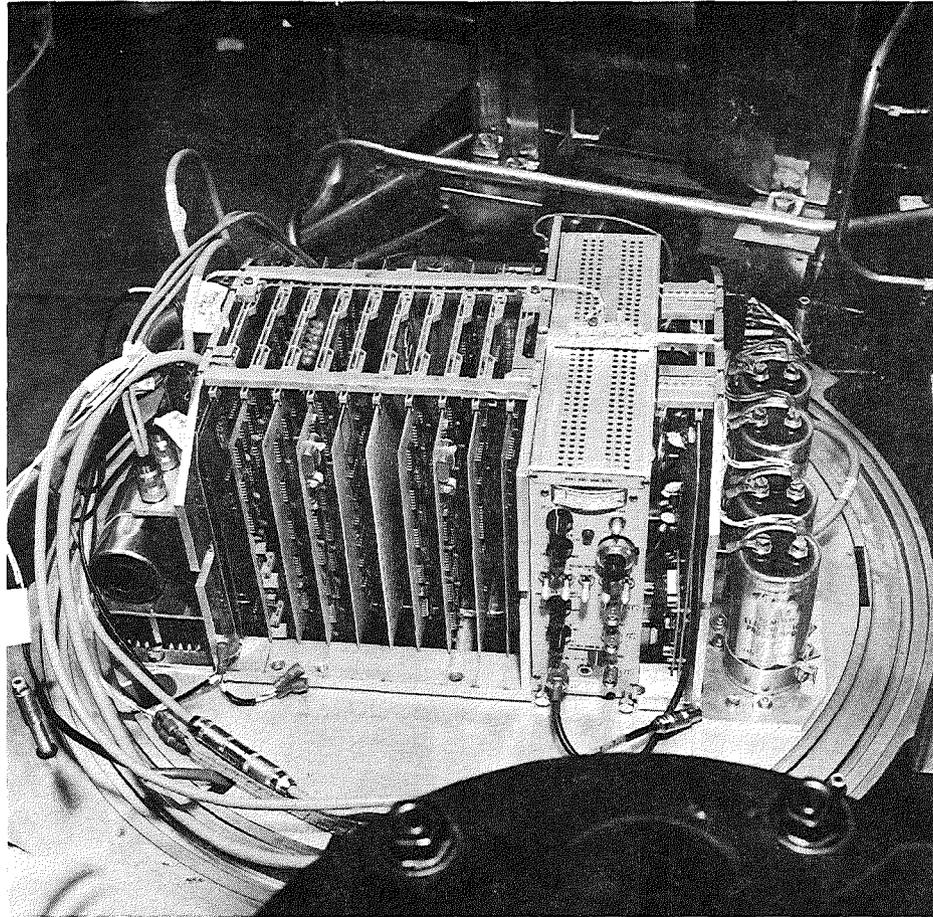


Abb. 3.10 Blick in den Elektronik-Druckbehälter mit Einschub

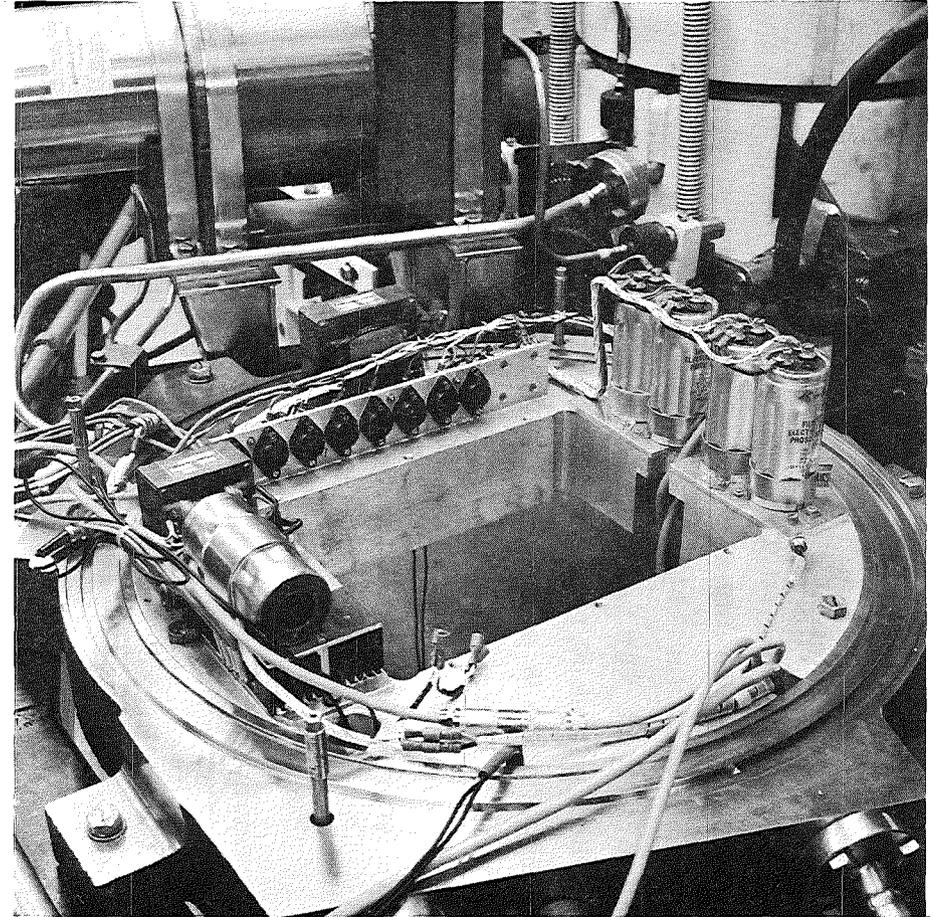


Abb. 3.11 Blick in den Elektronik-Druckbehälter ohne Einschub mit Stromversorgung

Der digitale Schaltungsteil benötigt vorwiegend eine + 5 V Versorgung mit ca. 8 A. Im Interesse eines guten Wirkungsgrades ist hierfür ein Schaltregler eingesetzt, der bei Eingangsspannungen von 11 bis 35 V am Ausgang 5 V, 12 A liefern kann. Damit ist auch hier eine 50%-Leistungsreserve vorhanden. Bei einem Wirkungsgrad des Wandlers von 75% sind dafür am Eingang 80 W erforderlich. Sie werden aus einem eigenen Netztransformator mit Gleichrichter und Ladekondensator gewonnen, damit mit Sicherheit die Schaltimpulse des 5 V-Reglers vom Analogteil ferngehalten werden.

3.6.2 Stromversorgung Elektrik-Behälter

Im Unterteil des Elektrik-Behälters ist der PCM-Sender untergebracht. Er benötigt \pm 15 V und + 5 V mit ca. 27 Watt inclusive 50 % Reserve. Dafür sind wieder ein eigener Netztransformator und die erforderlichen Festspannungsregler wie im Elektronik-Behälter eingesetzt.

3.6.3 Hochspannung Ionengetterpumpe

Zur Aufrechterhaltung des Vakuums im Kryostaten für den Ge-Detektor ist eine Ionengetterpumpe erforderlich. Es muß möglich sein, diese Pumpe bei Bedarf auch während des Transportes aus Akkumulatoren zu betreiben. Aus diesem Grunde konnte das vom Pumpenhersteller mitgelieferte netzbetriebene Speisegerät nicht verwendet werden. Ein weiteres Argument gegen dessen Verwendung war seine hohe Verlustwärme im Anlaufbereich der Pumpe.

Das Speisegerät muß im Leerlauf ca. 4200 V und bei Belastung ca. 3,5 mA liefern können. Im Anlaufbereich ist die Pumpe niederohmig, die Stromaufnahme muß durch Widerstände begrenzt werden. Dabei werden ca. 15 Watt Verlustwärme erzeugt. Außerdem entsteht eine zusätzliche Belastung der stabilisierten Stromversorgung für den Elektronik-Behälter und dort weitere Verlustleistung (ca. 5 W).

Um den Wirkungsgrad entscheidend zu verbessern, unter Beibehaltung der hochohmigen Ausgangscharakteristik der Hochspannungsquelle, wird das Prinzip der Diodenpumpe angewandt.

Ein Sinusoszillator, bestehend aus einem Transistor und einem LC-Schwingkreis (Ferrit-Schalenkern) schwingt im C-Betrieb bei ca. 22 kHz. Dabei erreicht er bei mittlerer Belastung einen Wirkungsgrad von 80%. Die hochtransformierte Spannung gelangt über den Umladekondensator an die Diodenpumpe. Die Leerlaufspannung ergibt sich dabei aus dem Spitze-Spitze-Wert der Sekundärspannung, der Kurzschlußstrom wird durch die Größe des Kondensators festgelegt. Es gibt keine nennenswerten ohmschen Widerstände im Ausgang und damit keine Verlustleistungen.

Die maximale Verlustleistung des Oszillators tritt bei einem Ausgangsstrom von etwa 2,5 mA auf und beträgt 1,7 Watt, was nur 11% des Wertes ist, den die herkömmliche Schaltung hatte.

An einem Widerstand wird eine Spannung abgegriffen, die dem Pumpenstrom proportional ist, und zur Übertragung dem ADC im Überwachungszweig zugeführt wird. Damit wird ein Wert für die Güte des Vakuums erhalten.

3.6.4 Hochspannung Strahlungsdetektoren

Die eingesetzten Strahlungsdetektoren müssen mit Hochspannung versorgt werden:

- Zwei Spaltkammern mit je + 400 V
- Der Ge-Kristall mit + 1500 V
- Der NaJ(Tl)-Kristall mit Photomultiplier mit + 1000 bis 1200 V

Alle Hochspannungsgeneratoren sind nach einem einfachen, zuverlässigen Prinzip aufgebaut, nach dem Generatoren für beliebige Spannungen und Leistungen erstellt werden können: Ein Sinusoszillator, bestehend aus einem Transistor und einem LC-Schwingkreis mit Rückkopplung auf den Emitter, wird an fester Speisepannung betrieben. Die Schwingamplitude wird über den Basisstrom geregelt. Die in einer Sekundärwicklung hochtransformierte Schwingamplitude wird einer mehrstufigen Vervielfacherkaskade zugeleitet, an deren Ende dann die gewünschte Gleichspannung ansteht.

Das zugehörige Regelteil besteht aus einem integrierten Operationsverstärker, der an seinen Eingängen einen aus einer besonders stabilisierten Spannung abgeleiteten Sollwert mit dem über einen Hochohmwiderstand von der Ausgangsspannung rückgeführten Istwert vergleicht. Ein weiterer Kleinleistungstransistor wandelt die verstärkte Soll-Istwert-Differenzspannung in einen eingprägten Strom um, der die Basis des Schwingtransistors ansteuert.

In der so gebildeten Regelschleife beträgt die Schleifenverstärkung ca. 10^6 . Das bewirkt, daß die Stabilität der Ausgangsspannung nur noch von 3 Größen abhängt: Der Stabilität des Sollwertes, der Stabilität des Rückführungswiderstandes und der Stabilität der Eingangsfehlspannung des Operationsverstärkers.

Der Absolutwert oder geringfügige Temperaturabhängigkeiten der Hochspannung sind bei der Neutronenflußmessung und im Analysenzweig nicht kritisch. Beim Meßzweig Füllstand-Schüttdichte jedoch wird über die Hochspannung die Verstärkung des Photomultipliers eingestellt. Beim Nennwert ergibt 1% Änderung der Hochspannung 6,6% Änderung der Impulsamplitude. Daraus errechnet man, daß eine Änderung der Hochspannung von 0,295 % oder 0,32 V bei 1075 V eine Verschiebung des 10 V-Spektrums im 512-Kanal-ADC um einen Kanal bewirkt.

Um diese Spannung besonders stabil zu halten, wurde den 3 o.g. Einflußgrößen besondere Aufmerksamkeit geschenkt: Für den Sollwert wurde eine hochstabile Referenzspannungsquelle aufgebaut, deren Temperaturfehler $< 2 \cdot 10^{-5}/\text{K}$ ist, als hochohmiger Rückführungswiderstand (100 M Ω) wurde eine Ausführung mit einem Temperaturkoeffizienten $\text{TK} < 5 \cdot 10^{-5}/\text{K}$ beschafft, und der Operationsverstärker ist eine besonders driftarme Ausführung mit einem TK der Eingangsfehlspannung von $< 1 \mu\text{V}/\text{K}$. Die Wurzel aus der Quadratsumme dieser Fehler ergibt auf die 1075 V umgerechnet einen Fehler von 0,58 V pro 10 K. Der überwiegende Teil davon, nämlich 0,54 V/10 K, entfällt auf den Rückführungswiderstand.

Nach den vorherigen Ausführungen bedeutet das, daß eine Temperaturänderung von 10 K über die dadurch bewirkte Hochspannungsänderung eine Verschiebung im Spektrum von ca. zwei Kanälen am oberen Ende verursachen kann.

Die Temperaturfehler des NaJ(Tl)-Kristalls und des Photomultipliers sind nicht bekannt, liegen aber vermutlich höher.

3.7 Energieversorgung

Die Sonde wird vom Schiff her aus dem Drehstromnetz (380 V) über eine Schalt- und Überwachungsanlage, einen 6 kV-Transformator und das Koaxialkabel gespeist. Einige Bordgeräte, wie Rechner, Magnetbandspeicher und Display, werden über einen schnellen

Spannungsstabilisator direkt vom stabilisierten Netz (220 V) versorgt. Das Datenübertragungssystem und die Steuer- und Kontrolleinheit werden über einen Akkumulator mit 24 V-Gleichspannung indirekt von diesem Netz versorgt (s. Abb. 3.12).

Der Energiebedarf der Sonde ergibt sich aus den folgenden Verbrauchern: Saugmotor 5,5 kW, Klappenmotor 1,1 kW, Kältemaschine 1,0 kW und Elektronik 0,3 kW. Um diese Leistung mit vertretbaren Verlusten einphasig über das 8 km lange Kabel übertragen zu können, wurde eine Spannung von 6 kV gewählt.

Zur Vermeidung extremer Schiefbelastung im 380 V-Drehstromnetz ist der Bord-Transformator in Scottscher Schaltung ausgeführt. Der Sondentransformator befindet sich in einem druckausgeglichenen Gehäuse mit Ölfüllung. Durch ihn wird die ankommende Spannung von 6 kV auf die erforderlichen Spannungen von 220 V und 110 V herabgesetzt.

Für die Antriebe in der Sonde müssen Einphasen-Kondensatormotoren eingesetzt werden, weil, wie schon erwähnt, nur Einphasen-Wechselstrom zur Sonde übertragen werden kann.

Die gesamte Steuerung der Antriebe ist zusammen mit dem Koppelglied in einem Druckbehälter untergebracht (s. Abb. 3.13). Für die Kältemaschine mit dem Refrigerator, für den Klappenmotor sowie als Ansteuerrelais für das elektromechanische Leistungsschutz des Pumpenmotors werden handelsübliche elektronische Schalter benutzt. Um die Störspannungsspitzen der Verbraucherinduktivitäten zu dämpfen, sind die Schalter mit RC-Gliedern versehen.

In den Schalt- und Überwachungsanlagen werden das 380 V- und das 220 V-Netz und der 6 kV-Transformator überwacht. Bei beiden Netzen wird der obere und untere Grenzwert von Spannung und Frequenz, beim Drehstrom zusätzlich die Symmetrie der Phasen kontrolliert. Im Leitungsweg des 6 kV Transformators befinden sich Überstrom-

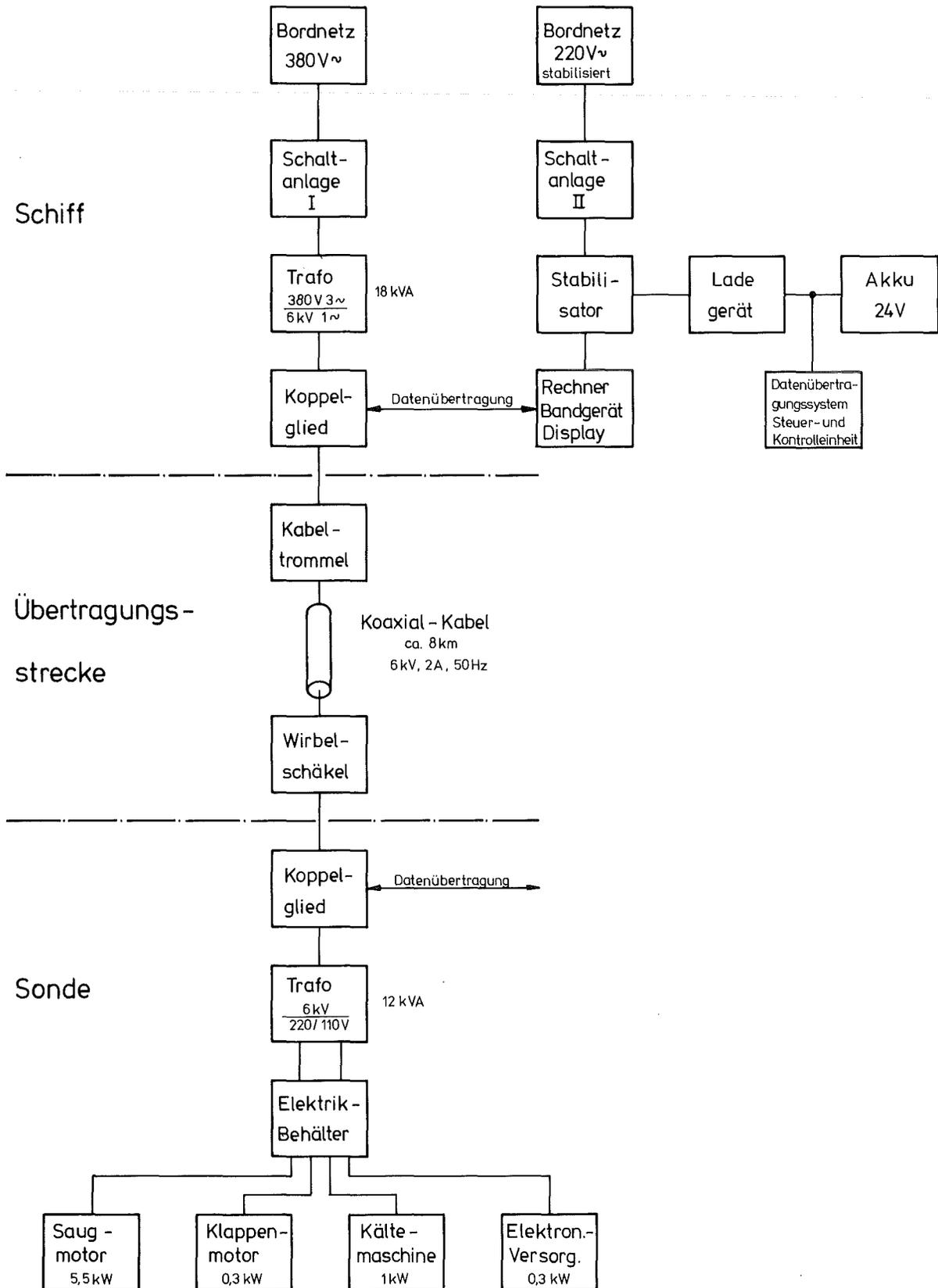


Abb. 3.12 Energieversorgung

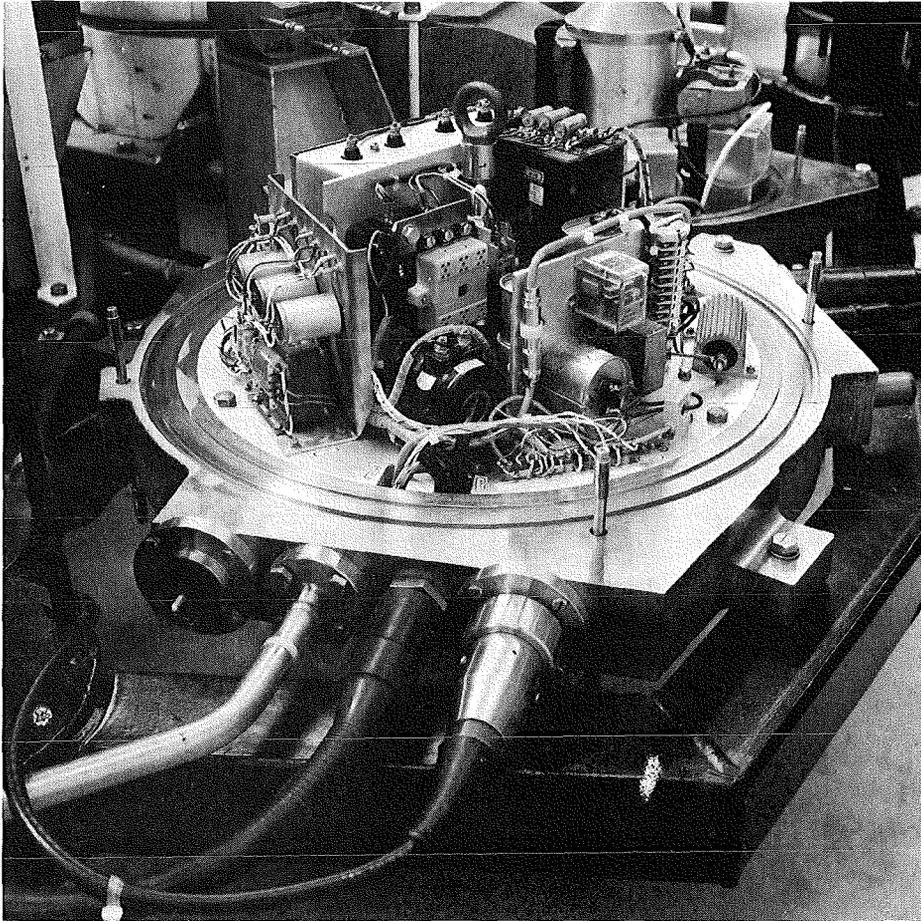


Abb. 3.13 Blick in den Elektrik-Druckbehälter

relais und Amperemeter. Werden die eingestellten Grenzwerte überschritten, leuchten entsprechende Signallampen auf und die gefährdeten Anlagenteile schalten sich ab.

Um bei Ausfall der 220 V-Versorgung die Sondenfunktionen weiterhin steuern und die analogen Meßwerte beobachten zu können, werden das Datenübertragungssystem und die Steuer- und Kontrolleinheit aus dem gepufferten 24 V-Akku mit einer Kapazität von 50 Ah versorgt. Damit ist eine Betriebszeit von ca. 8 h möglich.

Zur Gewinnung der dafür erforderlichen ± 15 V wurde ein 24 V-Gegentakt-Rechteckwandler gebaut, der sekundärseitig nach der Gleichrichtung ca. ± 20 V abgibt. Damit wird ein positiver und ein negativer Festspannungsregler für ± 15 V gespeist. Die 5 V-Versorgung ist dezentralisiert aufgebaut. Um Impulsverkopplungen über gemeinsame 5 V-Leitungen und unnötige Spannungsabfälle zu vermeiden, ist den Einschüben für das Datenübertragungssystem und die Steuer- und Kontrolleinheit je ein 5 V-Schaltregler mit hohem Wirkungsgrad zugeordnet, der jeweils direkt von der 24 V-Batterie gespeist wird.

4. DATENAUFBEREITUNG UND DATENÜBERTRAGUNG

4.1 Wahl der Datenübertragung

Von einer direkten und sofortigen Übertragung aller anfallenden Meß- und Überwachungsdaten in digitaler Form wurde im wesentlichen aus den folgenden beiden Gründen abgesehen:

Zum einen wären in der Sekunde ca. 500 000 Bit zu übertragen gewesen, die sich aus den Daten des Analysezeitweiges (ca. 30 000 cps x 12 Bit = 360 000 Bit) und den Daten des Schüttdichtezeitweiges (ca. 15 000 cps x 8 Bit = 120 000 Bit) zusammensetzen. Die Datenmenge aus der Sondenüberwachung ist demgegenüber vernachlässigbar.

Zum anderen hätte der Rechner, da es sich um statistisch anfallende Daten handelt, während der Meßzeit ständig zur Aufnahme der Daten bereitstehen müssen und nur unter Schwierigkeiten und gewissen Einschränkungen seine Hauptaufgaben wie Auswerten und Steuern ausführen können.

Bei der vorgenommenen Zwischenspeicherung der Daten aus dem Analyse- und Schüttdichtezeitweig in der Sonde (s. Abb. 4.1) ergibt sich eine sekundlich zu übertragende Datenmenge von nur noch ca. 140 000 Bit (s. Kap. 4.7.1). Der Abfragerhythmus von einer Sekunde wurde gewählt, um einerseits rechtzeitig alle Informationen über den Sondenzustand zu bekommen und andererseits sofort auf auftretende Fehler reagieren zu können. Eine weitere Zwischenspeicherung aller übertragenen Daten an Bord bringt den großen Vorteil, daß der Rechner praktisch unabhängig von der Datenübertragung auf die in den Bordspeichern vorhandenen Daten zurückgreifen kann und daß alle Daten, vor allem die Spektren, am Display laufend kontrolliert werden können.

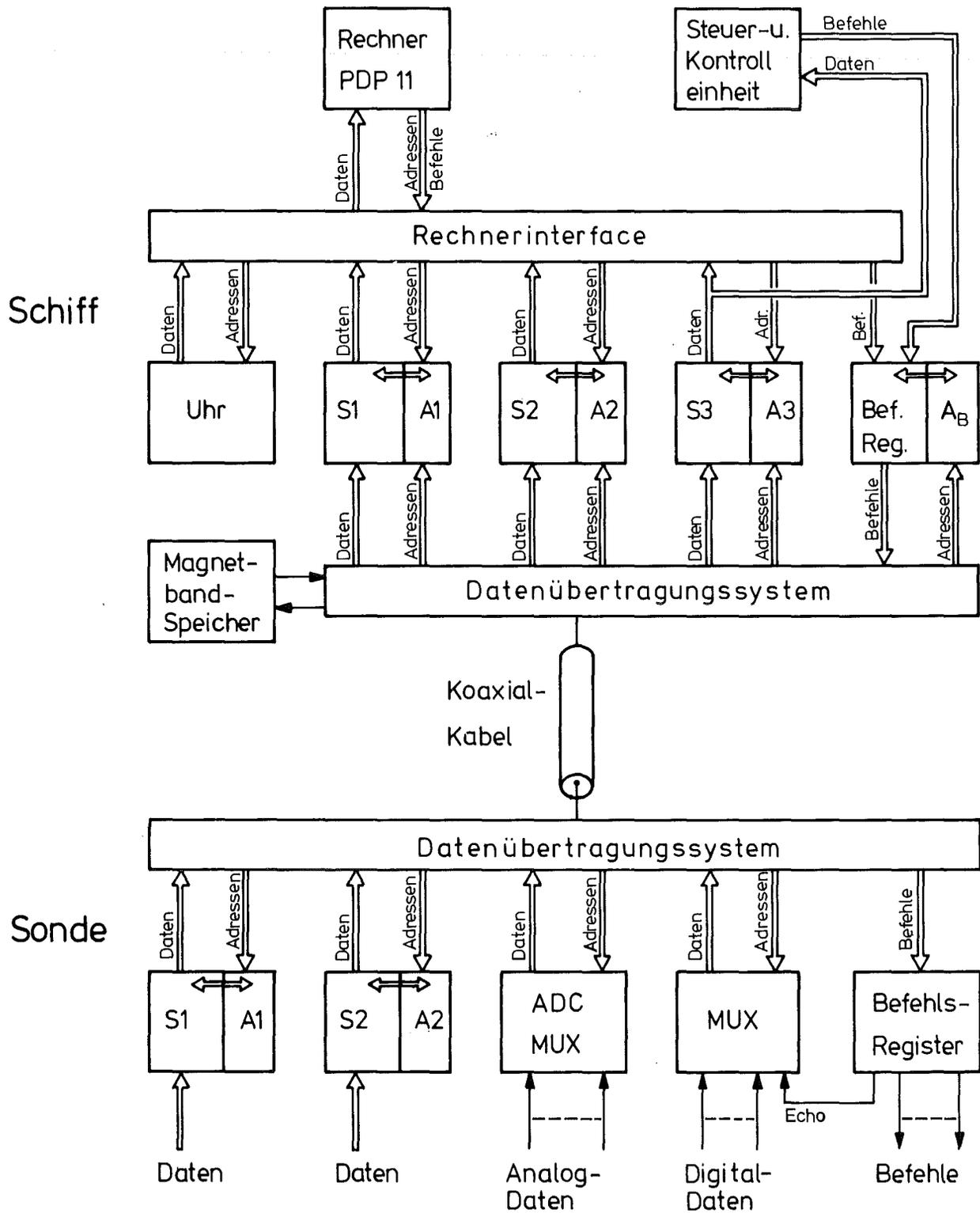


Abb. 4.1 Datenaufbereitung

4.2 Sondenspeicher und Abfrage der Überwachungsdaten

Die analog angelieferte Information (Impulshöhe) wird nach der Digitalisierung in der dem Digitalwert entsprechenden Adresse mit dem Wert 1 in den Speichern S1 oder S2 abgespeichert. Der nächste gleich hohe Impuls erhöht den Inhalt dieser Adresse wiederum um 1 usw. Der Inhalt einer Adresse entspricht somit der Anzahl der Impulse gleicher Höhe, die Adresse selbst entspricht der Impulshöhe.

Die beiden Speicher im Analyse- und Schüttdichtezeitweig sind in 4096 Worten zu 16 Bit organisiert. Ein zusätzlicher Speicher für die Daten aus der Sondenüberwachung (20 Adressen) erübrigt sich, da diese Werte dauernd anstehen und für die Übertragung über einen Multiplexer direkt abgefragt werden (s. Abb. 4.2).

Die Ausgänge der Analog-Digital-Wandler im Analyse- und Schüttdichtezeitweig liegen direkt an den Speicheradressenleitungen (s. Abb. 4.3 und 4.4) und sind über eine Oder-Schaltung mit den Adressenleitungen der Telemetriestrecke des Datenübertragungssystems (s. Kap. 4.5) und dem Rampenzähler verknüpft. Die Steuerlogik sorgt für das Timing, so daß gleichzeitig nur jeweils von einer Seite die Adressen anliegen. Hierbei haben die beiden ADC, um einen Informationsverlust zu vermeiden, Priorität vor den beiden anderen Adressenkanälen.

Nach erfolgter Wandlung eines Impulses wird der Inhalt der zugehörigen Adresse in ein Register mit Zähler ausgelesen, dort um den Wert 1 erhöht und in die gleiche Speicherzelle wieder eingeschrieben. Während der Konversionszeit des ADC, oder wenn gerade keine Impulse angeboten werden, hat der Telemetrieencoder des Datenübertragungssystems Zugriff zu den Speichern.

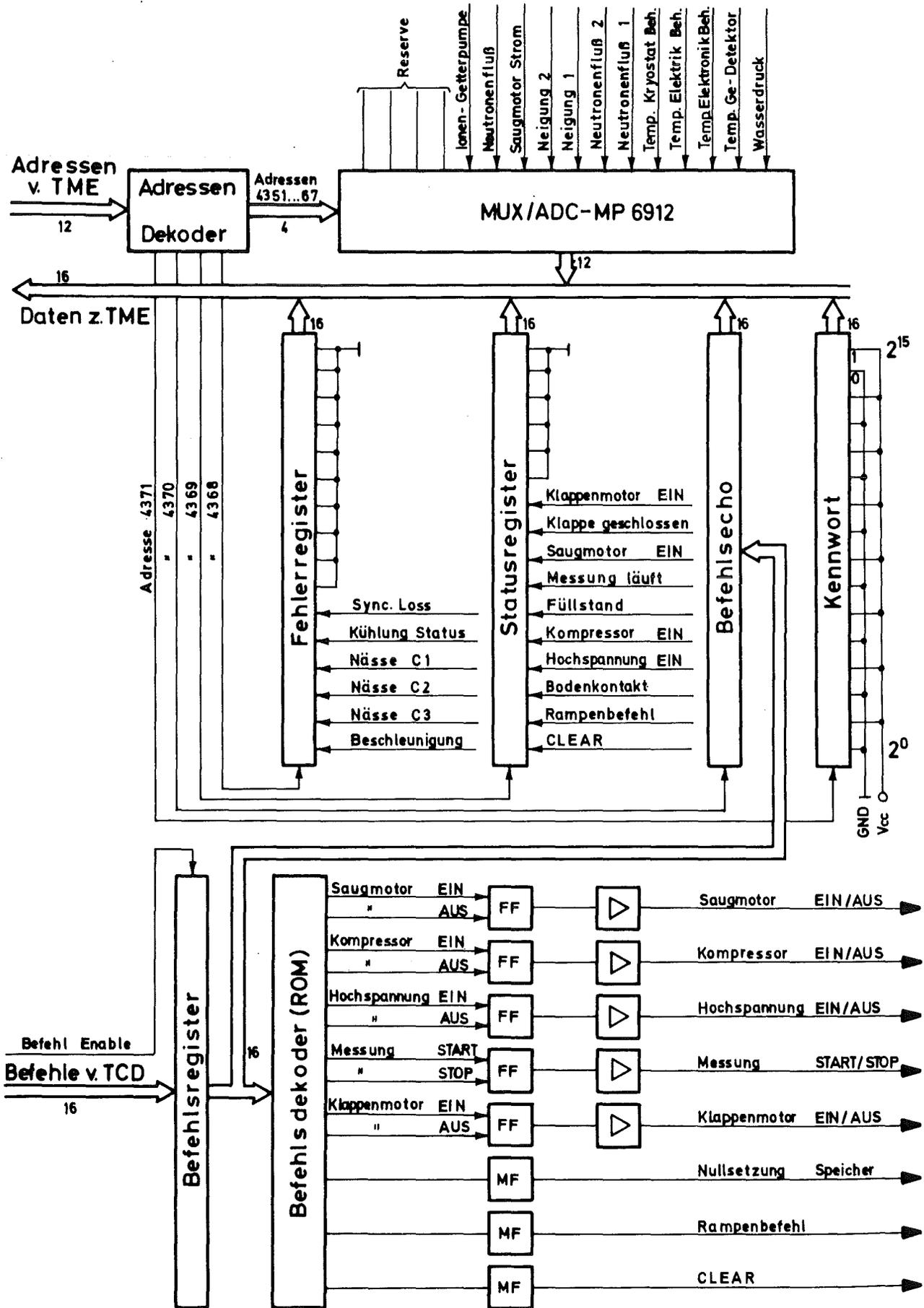


Abb. 4.2 Überwachungsdaten und Befehle

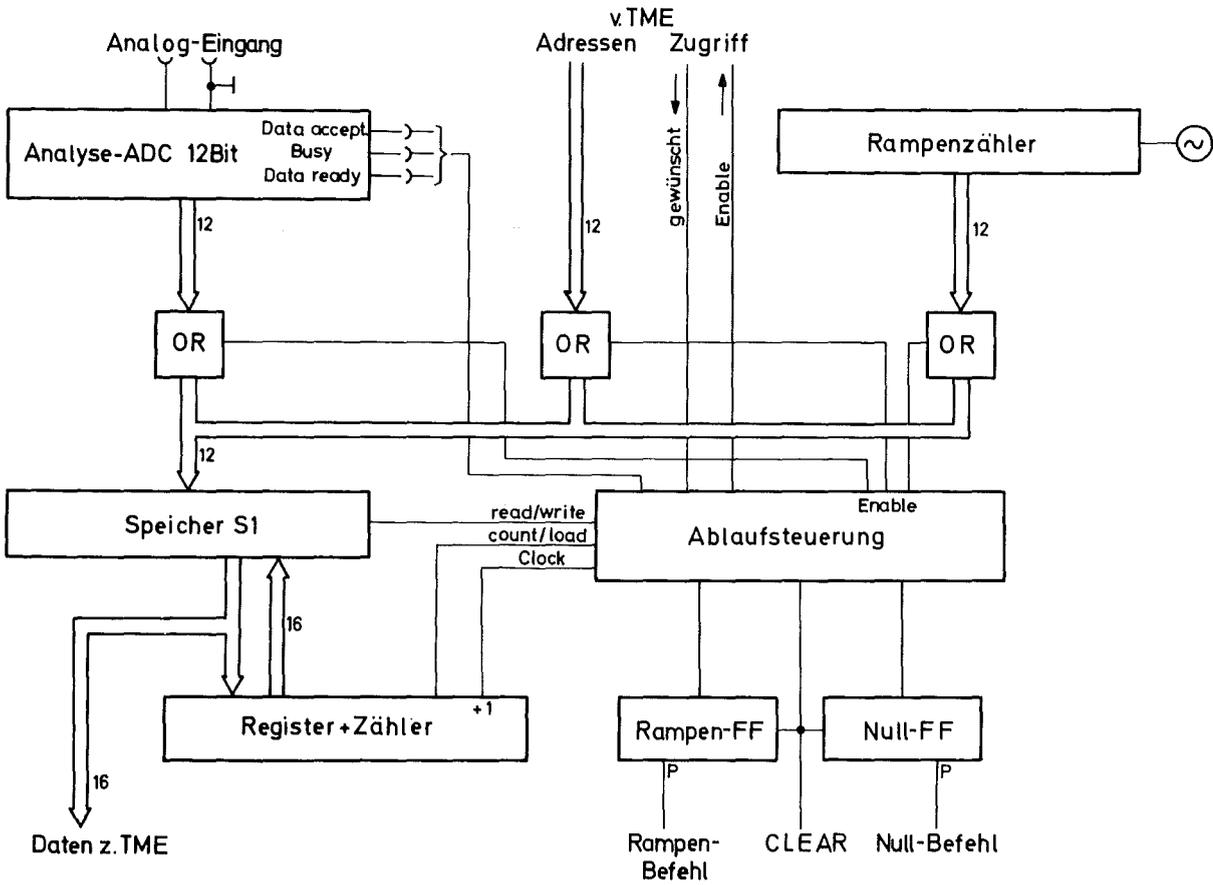


Abb. 4.3 Speicher S1 mit Steuerlogik

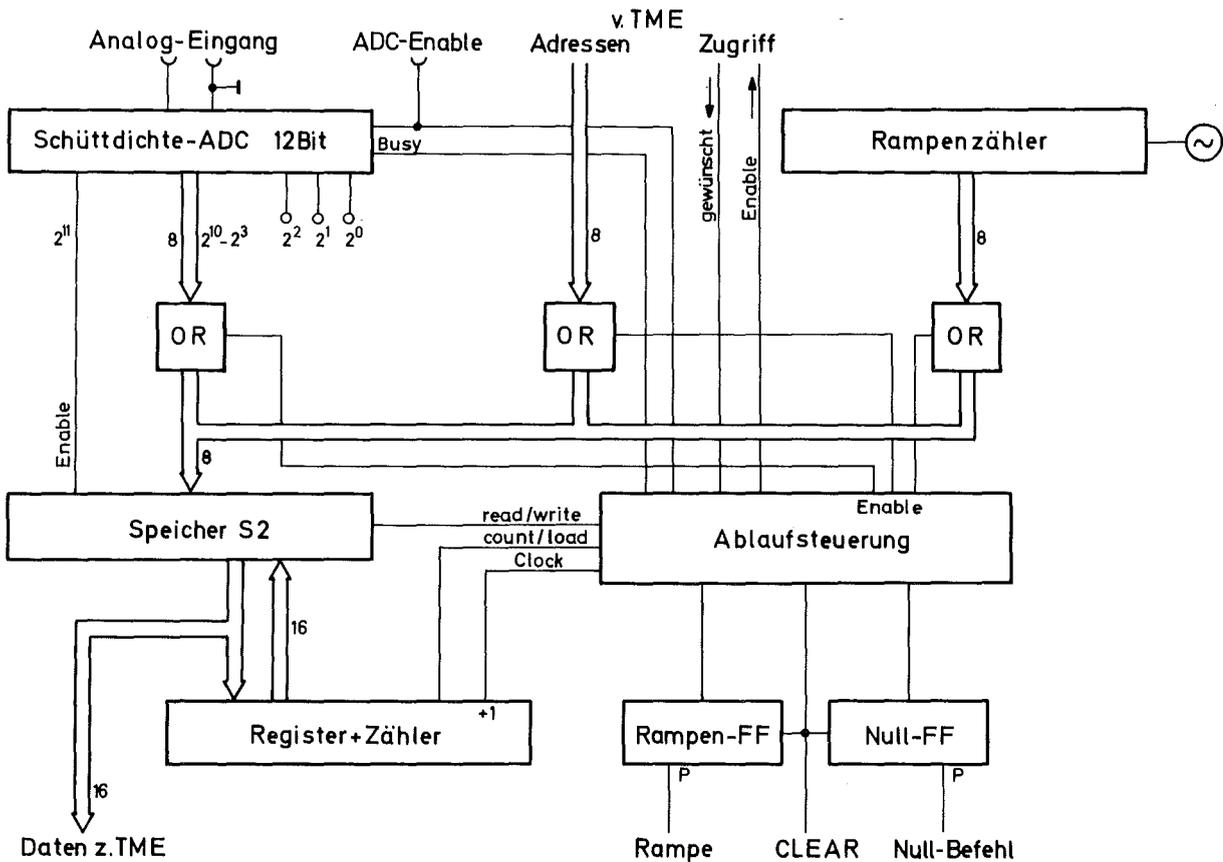


Abb. 4.4 Speicher S2 mit Steuerlogik

Die analogen Daten aus der Sondenüberwachung sowie von Füllstand und Neutronenfluß stehen dauernd an und werden vom Telemetrieencoder bei der entsprechenden Adresse durchgeschaltet, digitalisiert und abgerufen (s. Abb. 4.2). Die digitalen Daten aus der Sondenüberwachung bestehen aus binären Aussagen und werden im Statuswort oder Fehlerwort übertragen. Außerdem wird noch ein Kennwort (eine Folge aus festverdrahteten logischen "0" und "1") und das Befehlsecho übertragen.

Zur Überwachung der Funktionstüchtigkeit der Speicher dient ein Rampengenerator. Dessen Startbefehl wird an Bord von Hand gegeben und bewirkt, daß, angefangen von der Adresse 0, in jede Speicherzelle die eigene Adresse eingeschrieben wird, d.h. in Adresse 1 der Wert 1, in Adresse 2 der Wert 2 usw. Am Bildschirm des Displays ergibt sich nach einer Digital-Analog-Wandlung dieser Werte eine Rampenfunktion mit konstanter Steigung. Durch entsprechende Triggerung und Dehnung am Bildschirm kann man jede einzelne Speicherzelle sichtbar machen und einen eventuellen Fehler feststellen.

4.3 Übertragungsstrecke

Aus den Meßbedingungen ergibt sich die Forderung, je Sekunde von der Sonde zum Schiff 140 kBit Meßdaten und vom Schiff zur Sonde 3 x 16 Bit Steuerbefehle zu übertragen (s. Kap. 4.7.1). Als Übertragungsstrecke muß das auf dem FS "Valdivia" vorhandene, 8 km lange Tiefseekoaxialkabel der Fa. Hydro Products verwendet werden. Das armierte Kabel hat einen Gesamtdurchmesser von 18,4 mm, während der Durchmesser des eigentlichen Koaxialkabels 9,7 mm beträgt.

Das Kabel hat folgende elektrische Daten:

Wellenwiderstand	55 Ω
Gleichstromwiderstand (Seele + Schirm)	$\leq 9,01 \Omega/\text{km}$
Kapazität	ca. 92 pF/m
Dämpfung bei 1 MHz	ca. 4,9 dB/km

Die folgenden mechanischen Daten wurden im Forschungsinstitut für Fördertechnik der Universität Stuttgart an einem Probestück ermittelt:

nomielle Drahtfestigkeit (Einzeldraht)	171,5	kp/mm ²
ermittelte Drahtfestigkeit (Einzeldraht)	187,1	kp/mm ²
rechnerische Bruchkraft	20035	kp
wirkliche Bruchkraft (Zerreißen des Kabels im Ganzen)	19800	kp

Nach dem Datenblatt der Herstellerfirma beträgt:

die Bruchkraft (Breaking Strenght)	17960	kp
das Gewicht an Luft	1185	kp/km
das Gewicht in Wasser	985	kp/km

Um den auch bei Verwendung des mit einer Armierung aus zweilagig vorgeformten Stahldrähten versehenen Koaxialschleppkabels noch vorhandenen Drall auszugleichen, wird beim Einsatz ein elektromechanischer Wirbelschäkel der Fa. IBAK vom Typ EMW1 vor dem Hahnepot der Schleppsonde geschaltet, dessen eingebaute Koaxial-Drehkupplung folgende Daten hat:

Betriebsfrequenz	0 - 10	MHz
Stehwellenverhältnis	1,01	
Betriebsspannung	6	kV ~
Prüfspannung	12	kV =

Abb. 4.5 zeigt diesen Wirbel vor dem Einbringen in einen Drucktank, wo er mit 650 bar Umgebungsdruck getestet wurde.

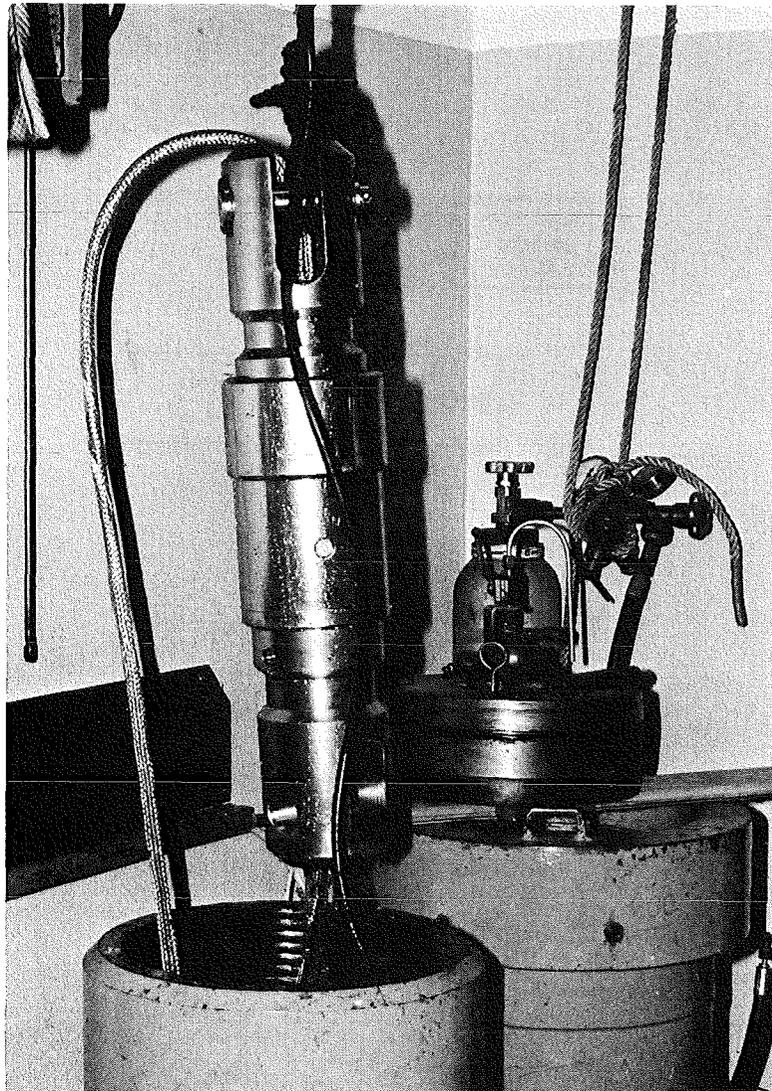


Abb. 4.5 Elektromechanischer Wirbelschäkel
vor dem Einbringen in einen Drucktank

4.4 Aufbau des Datenübertragungssystems

Das System zur Datenübertragung ist von der Fa. Johne + Reilhofer geliefert worden.

Die Endgeräte beider Übertragungsrichtungen Sonde - Schiff und Schiff - Sonde unterscheiden sich nur in der Struktur ihres Datenrahmens; sonst sind sie völlig identisch aufgebaut (s. Abb. 4.6).

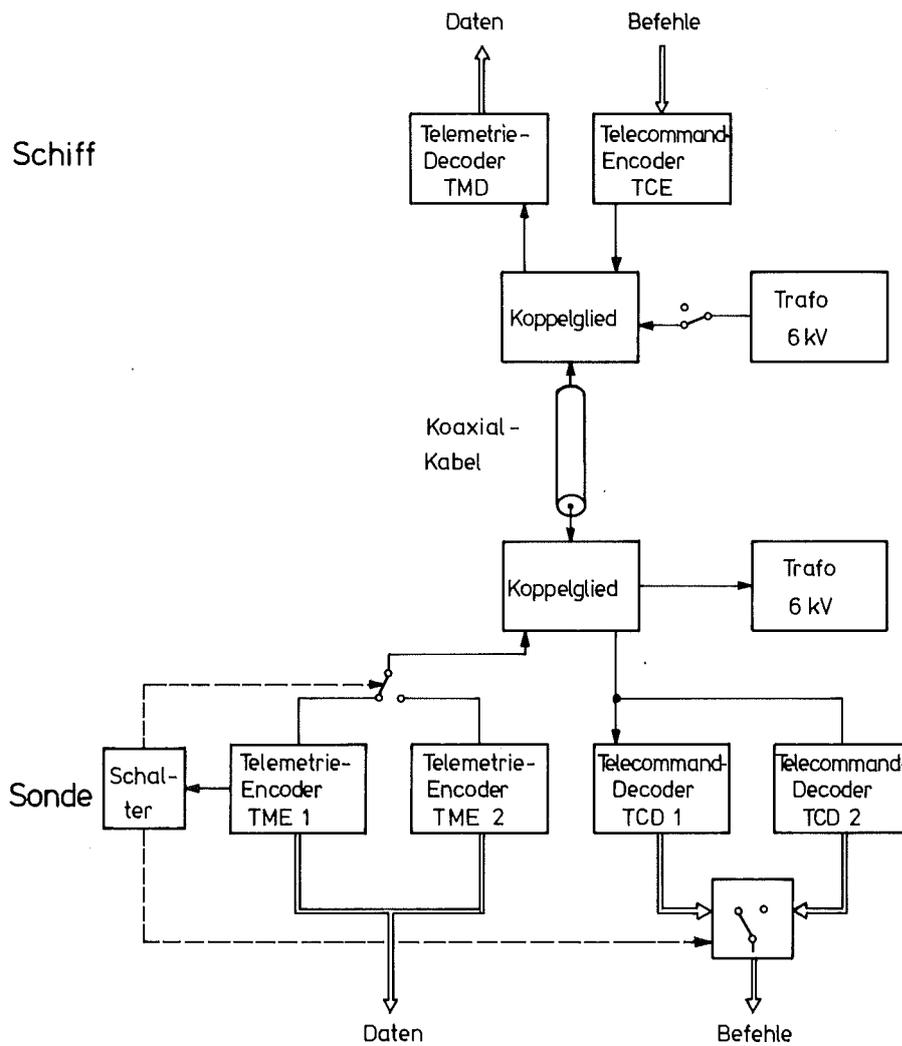


Abb. 4.6 Datenfluß Telemetrie-/Telecommandstrecke

Die Endgeräte der Telemetriestrecke (Sonde - Schiff) sind:

Telemetrie-Encoder	(TME)
Telemetrie-Decoder	(TMD)

Die Endgeräte der Telecommandstrecke (Schiff - Sonde) sind:

Telecommand-Encoder	(TCE)
Telecommand-Decoder	(TCD)

TME und TCD in der Sonde sind zur Erhöhung der Betriebssicherheit redundant ausgeführt, d.h. je zwei gleiche TME und TCD arbeiten voneinander unabhängig und parallel. Der Ausfall eines Teiles oder einer ganzen Einheit beeinträchtigt die Meßdatenübertragung bzw. die Befehlsübertragung nicht. Die Umschaltung von defekter zu funktionierender Einheit erfolgt durch Aus- und Einschalten der 6 kV-Hochspannung und eines Zählers in der Sonde. Nach vier Aus- und Einschaltungen hat der Zähler einen Zyklus beendet. Welche der vier Kombinationen gerade in Betrieb ist, wird der Kontrolleinheit mit zwei Bit im Sync-Wort des Telemetrie-Datenrahmens mitgeteilt.

4.5 Telemetrie-/Telecommand-Encoder

4.5.1 Funktionsablauf -----

Die Datenerfassungselektronik und der Telemetrie-Encoder sind miteinander über folgende Leitungen verbunden (s. Abb. 4.7):

- 16 Bit vom Speicher S1 Analyse
- 16 Bit vom Speicher S2 Schüttdichte
- 16 Bit von Neutronenfluß und Überwachung
- 12 Bit Adresse für Speicher S1
- 8 Bit Adresse für Speicher S2
- 5 Bit Adresse für Neutronenfluß und Überwachung

Der Funktionsablauf geschieht nun folgendermaßen: Die beiden 4 k-Speicher S1 und S2 werden im RAM-Betrieb von den Analyse- und Schüttdichte-ADC's mit Adressen beliefert. Der Inhalt der angesteuerten Speicher-Adresse erhöht sich um eins. Da diese Funktionen asynchron zur Datenübertragung ablaufen, ist es notwendig, in den Signalfluß zwei 16 Bit-Parallel/Seriell-Register je ADC einzufügen. Während das eine P/S-Register die Bits kontinuierlich seriell in den Telemetrie-Encoder absetzt, kann das andere P/S-Register parallel die Daten der nächsten Speicheradresse aufnehmen. Die nächstfolgende Adresse

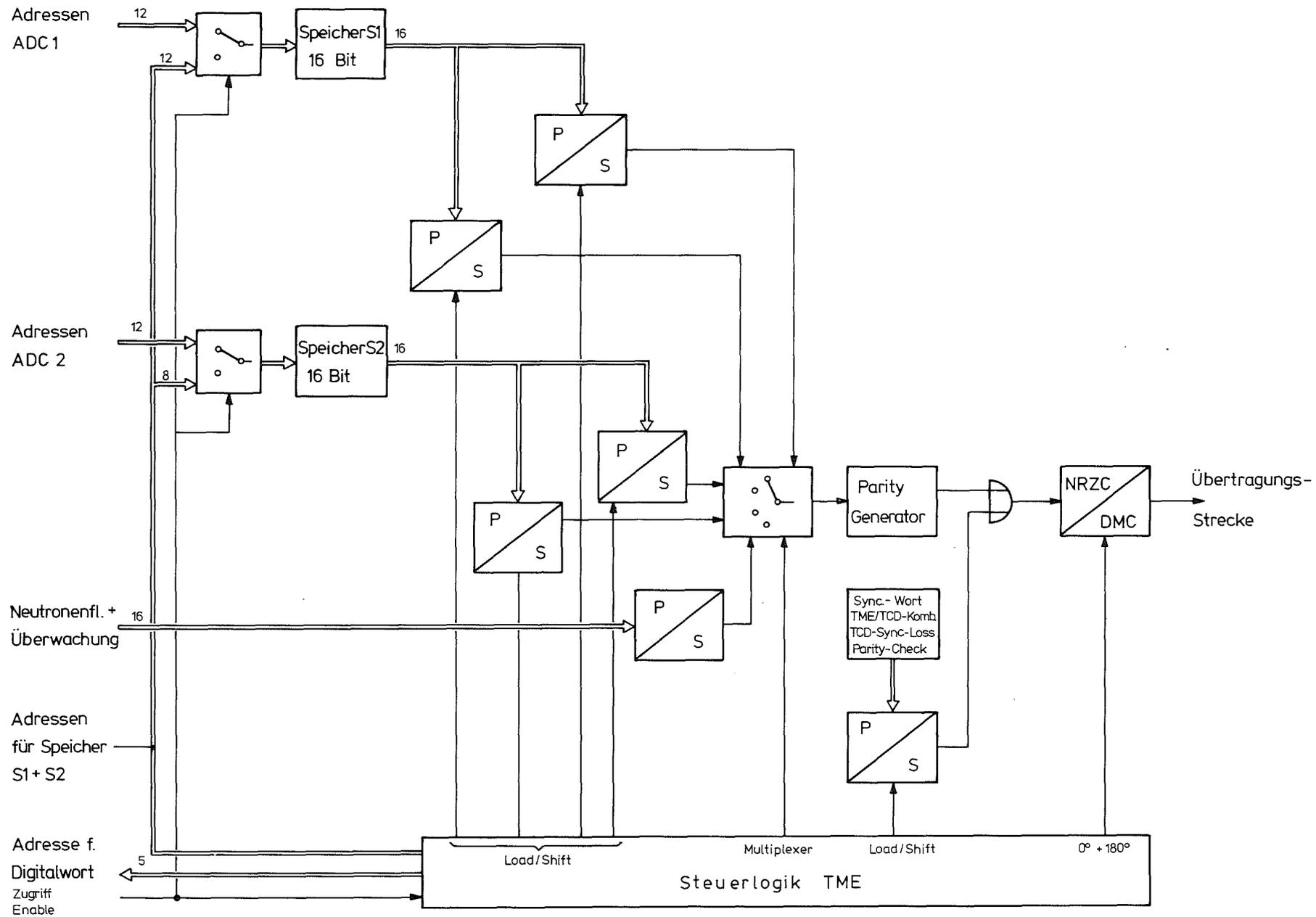


Abb. 4.7 Telemetrie-Encoder

wird der Steuerlogik des Speichers über 12 bzw. 8 Adressenleitungen mitgeteilt. Der Zugriff auf der gewünschten Adresse wird mit der Leitung "Zugriff Enable" freigegeben.

Bei der Abfrage der Daten von Neutronenfluß und Überwachung (16 Bit parallel) wird die gewünschte Adresse in einem 5-Bit-Wort vorgegeben.

Der Telecommand-Encoder (s. Abb. 4.8) besitzt zwei 16-Bit-Eingänge. Durch manuelle Umschaltung kann der TCE 16 Bit-Steuerbefehle entweder vom Rechner oder von der Steuer- und Kontrolleinheit aufnehmen. In beiden Fällen erfolgt die Abfrage der Steuerbefehle einmal pro Sekunde.

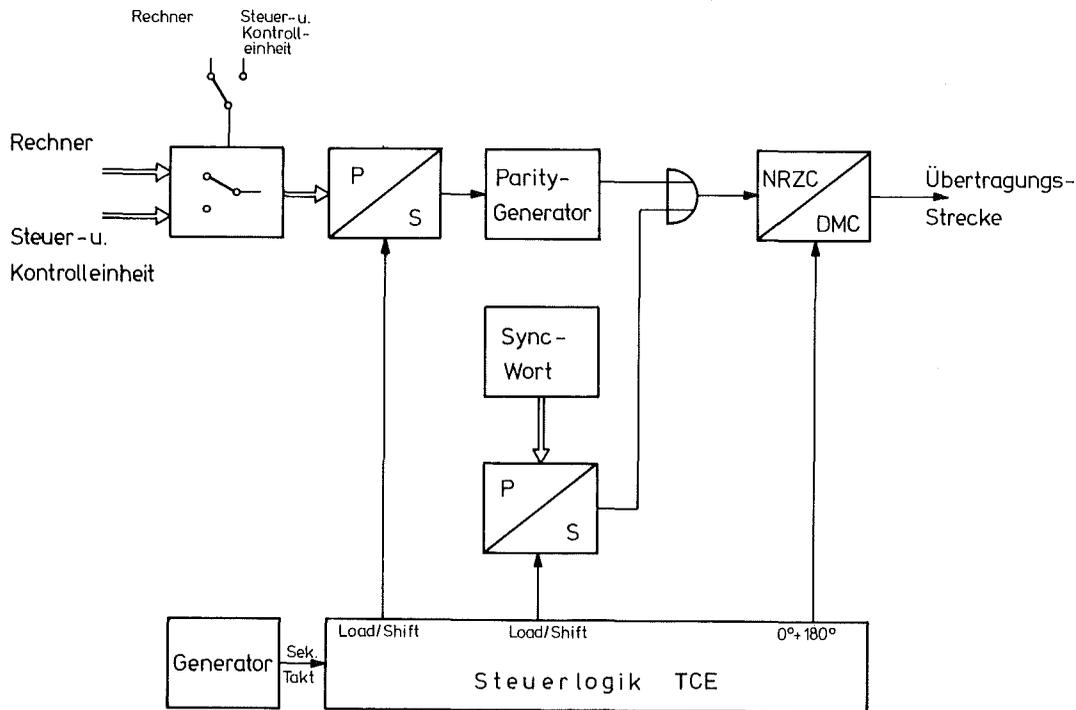


Abb. 4.8 Telecommand-Encoder

4.5.2 Delayed-Miller-Code

Zur Puls-Code-Modulation wird der Delayed-Miller-Code (DM-Code) verwendet. Er vereinigt in sich den Vorteil des NRZ-Codes - die höchste vorkommende Frequenz entspricht der Bitrate - mit dem Vorteil des S Φ M-Codes - es tritt kein Gleichspannungsanteil auf. Ein Vergleich der in Abb. 4.9 dargestellten Kurvenzüge veranschaulicht dieses.

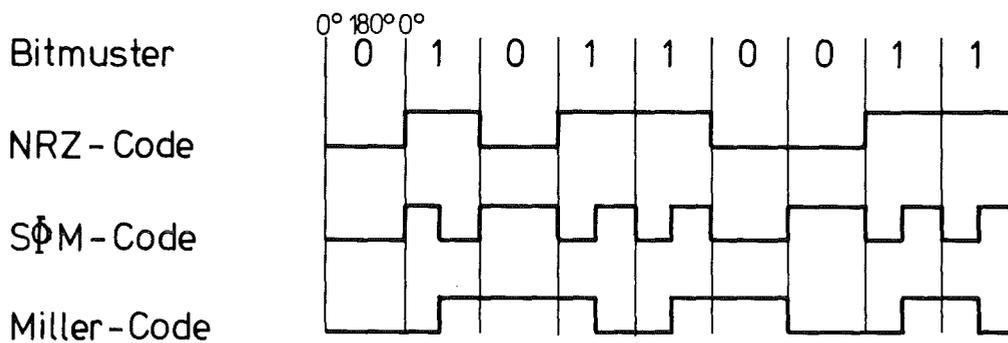


Abb. 4.9 Delayed-Miller-Code

Das Bildungsgesetz für den DM-Code lautet: Eine logische "1" wird dargestellt durch einen Wechsel des logischen Pegels während der 180°-Phase eines Bitintervalls. Folgt eine logische "0" auf eine logische "1", erfolgt kein Wechsel des Pegels. Folgt eine logische "0" auf eine logische "0", so erfolgt ein Wechsel des Pegels während der 0°-Phase zwischen beiden logischen "0".

4.5.3 Synchronisier-Verfahren

Die meisten Synchronisier-Verfahren in der PCM-Technik zeichnen sich dadurch aus, daß sie in den kontinuierlichen Bitfluß ein Synchronisierwort einblenden. Die Anzahl der Bit je Sync-Wort ist in der Regel gleich, oder ein geradzahliges Vielfaches der Anzahl der Bit je Datenwort. Die Bit des Sync-Wortes werden zusammenhängend als Bit-Gruppe oder als Einzelbit "verdünnt" über mehrere Datenworte oder PCM-Rahmen in den Bitfluß eingefügt. Dabei gibt es abhängig von der Sync-Wort-Länge optimale Bit-Folgen.

Um eine Vortäuschung von Sync-Information durch Datenworte weitgehend zu vermeiden, ist - neben der Wahl geeigneter Sync-Worte - auf der Empfangsseite ein Synchronisieraufwand notwendig, dessen Höhe mit dem Grad der gewünschten Nichtvortäuschung steigt. Bei als Einzelbit über mehrere Datenworte oder PCM-Rahmen verteiltem Sync-Wort addiert sich zum Synchronisieraufwand auch noch eine längere Synchronisierzeit.

Alle bekannten Verfahren gehen davon aus, daß das Bildungsgesetz des zu übertragenden PCM-Codes erhalten bleibt.

Das im vorliegenden Fall angewendete Synchronisierverfahren beruht darauf, eine definierte Störung des verwendeten PCM-Codes als Sync-Markierung in den seriellen Bitfluß einzubauen. Dabei werden ein oder mehrere vom Bildungsgesetz geforderte Wechsel des logischen Zustandes von "0" nach "1" oder von "1" nach "0" zum Zeitpunkt der 0°-Phase oder der 180°-Phase eines Bitintervalls unterdrückt. Für diese Markierung benötigt man im günstigsten Fall beim DM-Code vier aufeinanderfolgende Bitintervalle. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt

- in der Nichtvortäuschung der Sync-Information durch Datenbit,
- im günstigsten Verhältnis von Sync-Bit zu Datenbit,
- im geringen Synchronisieraufwand,
- in der kurzen Synchronisierzeit zwischen den Endgeräten der Datenstrecke.

4.6 Telemetrie-/Telecommand-Decoder

Die Aufgabe von TMD und TCD besteht darin, die empfangenen Datenrahmen zu interpretieren (Bitsynchronisation, Rahmensynchronisation, Parityprüfung) und die Daten nach einer fest vorgegebenen Decodier-Strategie an die Speicher weiterzugeben. Hierzu dienen folgende Funktionseinheiten (s. Abb. 4.10 und 4.11):

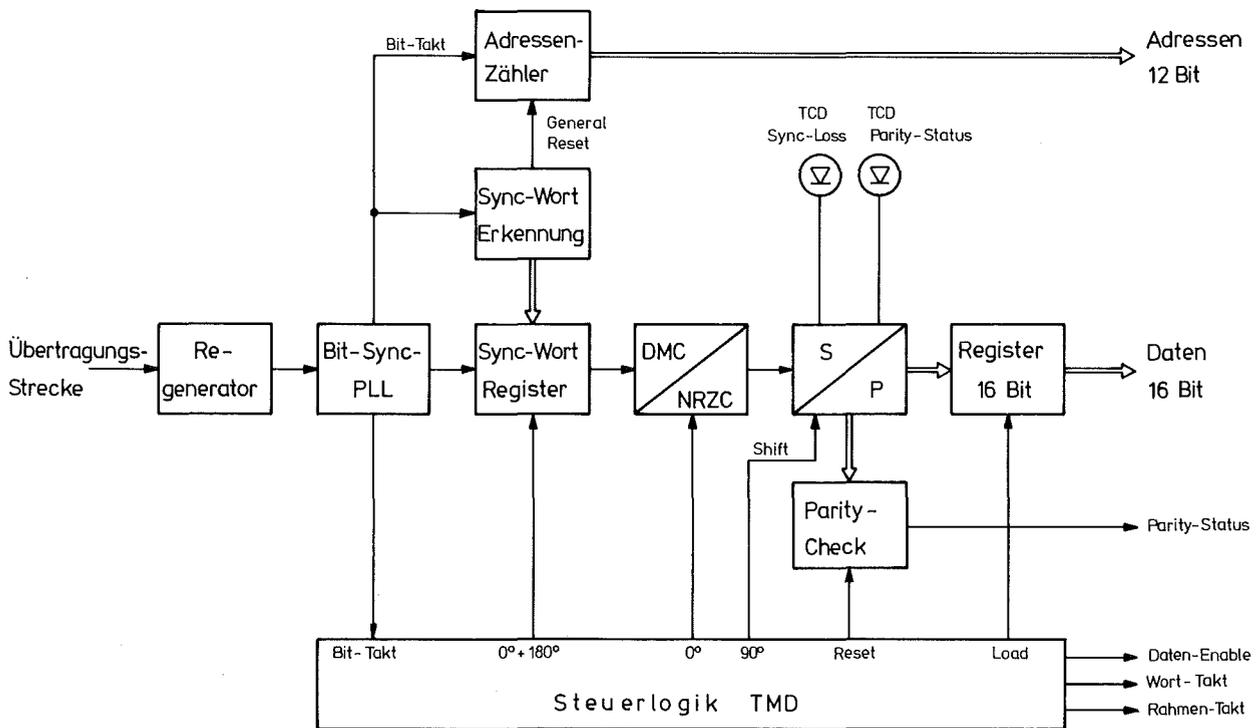


Abb. 4.10 Telemetrie-Decoder

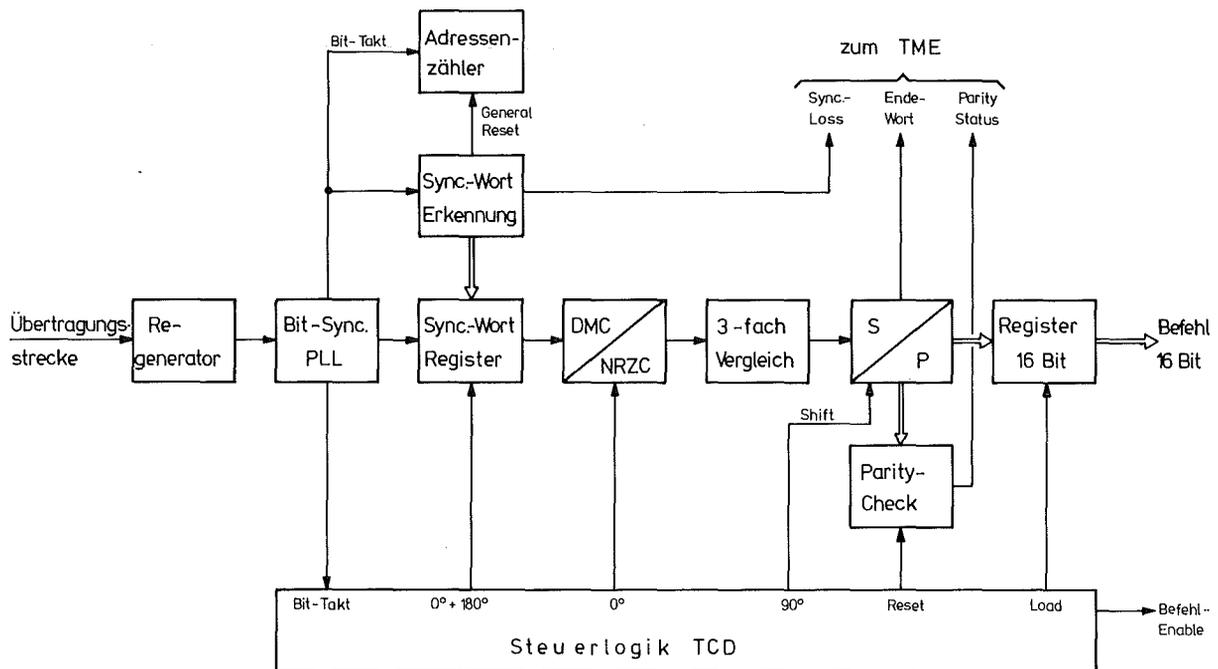


Abb. 4.11 Telecommand-Decoder

4.6.1 Bit-Synchronizer

Das jeweils vom Koppelglied empfangene und in Amplitude und Phase verzerrt angelieferte Signal bekommt im Regenerator seine ursprüngliche Form zurück. Aus dem regenerierten PCM-Signal wird der mittlere Bit-Takt abgeleitet, der über eine integrierende Regelschleife den Bit-Generator des PCM-Decoders auf den Bit-Takt des empfangenen PCM-Signals nachführt. Der Bit-Synchronizer liefert zur weiteren Verarbeitung des PCM-Signals an alle übrigen Funktionseinheiten des PCM-Decoders den Bit-Takt (0° -Phase) und die Untertakte (90° -, 180° -, 270° -Phase).

4.6.2 Rahmen-Synchronizer

Das nach dem Vorspann erste Wort eines Datenrahmens ist für das Synchronisierwort reserviert. Das Sync-Wort ist so gewählt, daß es von den übrigen Wörtern des Datenrahmens nicht vorgetäuscht werden kann. Vor dem Code-Wandler findet in einem Shiftregister die Korrelation der hinterlegten "Sync-Wort-Abmachung" mit dem PCM-Signal statt. Erkennt der Decoder im PCM-Signal ein Sync-Wort, so erfolgt ein General-Reset an den Adressenzähler der Dekodiereinrichtung. Die Phasen- und Rahmensynchronisation ist hergestellt.

4.6.3 Code-Wandler

Die Übertragung der seriellen PCM-Signale erfolgt im DM-Code. Der Code-Wandler invertiert das Bildungsgesetz (s. Kap. 4.5.2) dieses Codes und formt die seriellen Daten wieder in NRZC-Daten um, die anschließend in ein Seriell/Parallel-Register gelangen. Hier erfolgt die Parity-Überwachung der Daten und Befehle, ehe sie in paralleler Form an das Ausgangsregister übergeben werden. Dieses wird erst nach erfolgter Synchronisation für die weitere Übergabe der Daten freigegeben.

4.6.4 Datenausgabe

Der Telemetrie-Decoder (s. Abb. 4.10) liefert neben dem 17 Bit-Datenwort (16 Datenbit + 1 Paritybit) die zugehörige Kanaladresse (12 Bit). Außerdem wird ein Daten-Enable-Signal geliefert. Dieses kennzeichnet ein Zeitintervall, in welchem Daten mit den zugehörigen Adressen anstehen und mit dem Wort-Rate-Takt abgerufen werden können.

Die Überwachungssignale der Telecommandstrecke "Sync-Loss" und "Parity-Status" des sondenseitigen TCD sind auf zwei Signalleitungen gesondert herausgeführt.

Da der Datenrahmen der Telecommand-Strecke aus nur einem dreifach wiederholten Befehlswort besteht, erübrigt sich die Angabe der Kanaladresse. Die sondenseitige Elektronik erhält vom Telecommand-Decoder (s. Abb. 4.11) neben dem 16 Bit-Befehlswort noch das Befehl-Enable-Signal. Die Überwachungssignale "Sync-Loss" und "Parity-Status" werden in das Sync-Wort des Telemetrie-Rahmens eingespeist. Das vom TCD selektierte Ende-Wort startet die Telemetrie-Übertragung.

4.7 Datentransfer

4.7.1 Datenbilanz

Das Koaxialkabel wird für den Datentransfer in beiden Übertragungsrichtungen benutzt. Innerhalb einer Sekunde sind folgende Daten zu übertragen:

Übertragungsrichtung Sonde-Schiff

Analyse:	4096 Worte zu 16 Bit + Paritybit	69632 Bit
Schüttdichte:	4096 Worte zu 16 Bit + Paritybit	69632 Bit
Neutronenfluß und Überwachung:	20 Worte zu 16 Bit + Paritybit	340 Bit
Sync-Wort:	1 Wort zu 17 Bit	17 Bit
		<hr/>
		139621 Bit

Übertragungsrichtung Schiff-Sonde

Steuerbefehl:	3 Worte zu 16 Bit + Paritybit	51 Bit
Ende-Wort:	1 Wort zu 16 Bit + Paritybit	17 Bit
Sync-Wort:	1 Wort zu 17 Bit	17 Bit
		<hr/>
		85 Bit

Außerdem sind folgende Verzögerungszeiten zu beachten:

- 2 x Kabelllaufzeit τ_K von 50 μs
- 1 x Umschaltverzögerung τ_U von Datenübertragung TCD - Ende auf Datenübertragung TME - Anfang von 20 μs
- 2 x Bit-Synchronisierverzögerung, bedingt durch die Einschwingzeiten der Tiefpässe der nachgezogenen Bit-Generatoren der Datenempfänger TCD und TMD. Geht man davon aus, daß der Fangbereich ca. $\pm 10\%$ der Bitfolgefrequenz beträgt und der Tiefpaß nach der fünffachen Zeitkonstanten (τ_T) sicher eingeschwungen ist, so ergibt dies eine Einschwingverzögerung von 312 μs bei einem Synchronisiervorgang.

Um die Einschwingzeit der Tiefpässe zu überbrücken, ist es notwendig, vor dem Einblenden des Sync-Wortes in den Datenrahmen für die Dauer von mindestens 312 μs - aufgerundet 1 ms - einen Vorspann von Nullen oder Einsen zu senden. Dieser Vorspann ist fester Bestandteil des Datenrahmens und wird in Vielfachen von 17-Bit-Worten ausgedrückt.

Die Gesamtverzögerung beträgt

$$\tau = 2 \tau_K + \tau_U + 2 \tau_T$$

$$\tau = 2 \cdot 50 \mu\text{s} + 20 \mu\text{s} + 2 \cdot 1000 \mu\text{s} = 2120 \mu\text{s}$$

oder, bezogen auf eine Datenrate von 160 kBit/s, 340 Bit. Zusammen mit dem Datentransfer in beiden Richtungen errechnet sich der maximale Datendurchsatz zu $139621 + 85 + 340 = 140046$ Bit. Zur Sicherheit wurde eine Bitrate von 160 kBit/s gewählt.

4.7.2 Datensicherung

Jedem Datenwort der TM-Strecke wird als 17. Bit ein Parity-Bit hinzugefügt. Im TMD erfolgt der Parity-Check. Das Ergebnis steht auf einer Parity-Leitung mit jedem abgegebenen Datenwort zur Verfügung.

Jedem Befehlswort der TC-Strecke wird als 17. Bit ebenfalls ein Parity-Bit hinzugefügt. Über das Ergebnis des Parity-Checks im TCD sowie über den Sync-Zustand des TCD erfolgt mit dem nächsten TM-Rahmen eine Rückmeldung. Hierfür sind im Sync-Wort des TM-Rahmens zwei Bit reserviert.

4.7.3 Synchronisierung

Der TCE und der TME arbeiten im Start/Stop-Betrieb, d.h. nach einem Startsignal arbeiten sie ihren fest vorgegebenen Datenrahmen einmal ab und gehen in Ruhestellung. Ein Sekundentakt startet den TCE. Das Ende-Wort des TC-Datenrahmens startet in der Sonde vom TCD aus den TME. Nach 0,875 s trifft das letzte Wort des Telemetrie-Rahmens im TMD ein. Der nächste Sekundenimpuls startet wieder den TCE usw. Fallen beide TCD in der Sonde aus, so sendet einer der beiden TME, unabhängig vom Start-Impuls, im Abstand von 1,5 sec einen TM-Datenrahmen.

4.8 Übertragungsfrequenzband

Bei der Wahl des Frequenzbandes zur Übertragung der PCM-Signale waren folgende Beschränkungen zu beachten:

- ausreichender Abstand des Übertragungsbandes von der Frequenz der Stromversorgung einschließlich auftretender Oberwellen, um mit vertretbarem Filteraufwand eine Trennung vornehmen zu können,

- die mit der Wurzel aus der Frequenz steigende Kabeldämpfung, die zu einer unerwünscht hohen Sendeleistung in der Sonde führen könnte,
- Rücksichtnahme auf eventuell später hinzukommende Übertragungen (z.B. Fernsehbild). Hier besteht die Forderung von $f_{\max} \leq 500 \text{ kHz}$.

Wie aus Abb. 4.12 zu entnehmen ist, liegt beim Miller-Code der Hauptenergieanteil bei etwa $0,39 \times$ Bitfolgefrequenz (f_B); bei Frequenzen unterhalb $0,1 f_B$ und oberhalb $0,8 f_B$ ist nur wenig Energie vorhanden. Für eine ungestörte Übertragung ist es vollkommen ausreichend, nur diesen Frequenzbereich zu übertragen.

Bei der zu übertragenden Bitrate von 160 kBit/s ist also ein Frequenzband von 16 bis 128 kHz ausreichend.

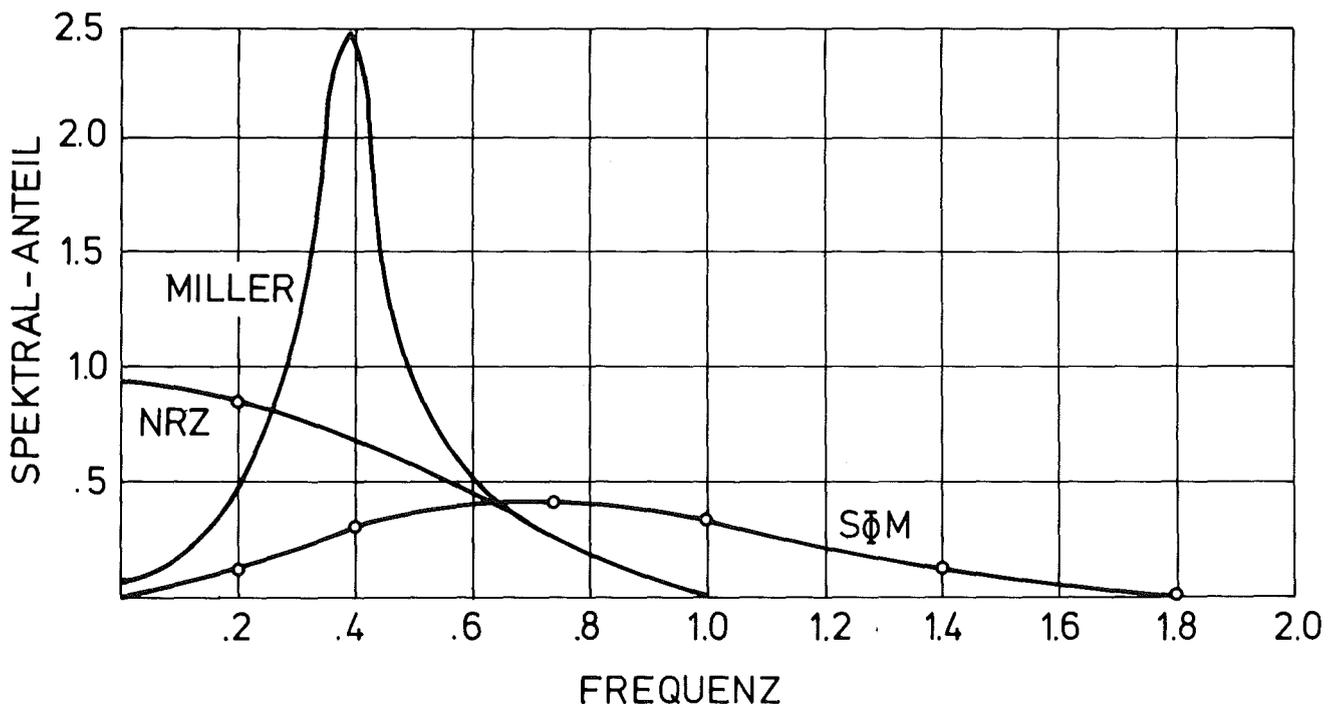


Abb. 4.12 Frequenzgang

4.9 Koppelglied

Die Ankopplung der Sender bzw. Empfänger an das hochspannungsführende Koaxialkabel erfolgt mit Hilfe von Hochspannungskondensatoren mit einer Kapazität von 9 nF und einer Spannungsfestigkeit von 30 kV (s. Abb. 4.13). Auf der Niederspannungsseite der Kondensatoren ist eine Drossel mit 500 μ H gegen Masse gelegt, um Sender bzw. Empfänger vor der noch vom Kondensator durchgelassenen 50 Hz-Restspannung zu schützen. Auftretende Spannungsspitzen werden von einer Diodenschaltung abgeschnitten.

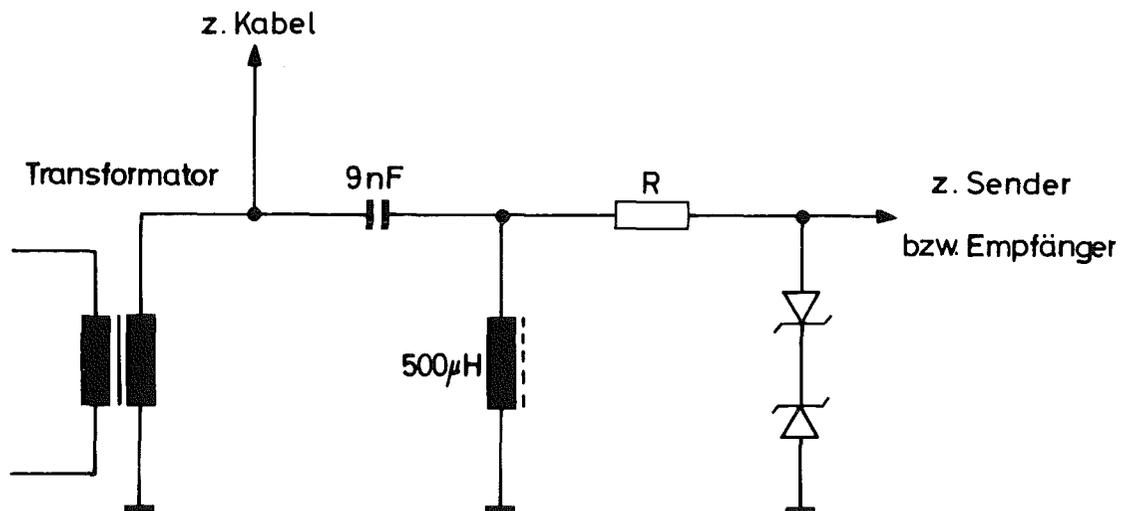


Abb. 4.13 Koppelglied

4.10 Steuer- und Kontrolleinheit

Da der Ausfall eines Rechners nie ausgeschlossen werden kann, zumal im rauen Betrieb an Bord von Schiffen, wurde die Steuer- und Kontrolleinheit mit Display und Magnetbandspeicher als redundantes System entwickelt. Mit dieser Einheit kann bei einem Rechnerausfall der Einsatz der Schleppsonde gesteuert und über-

wacht, die Messungen am Display kontrolliert und alle übertragenen Daten für eine spätere Auswertung gespeichert werden. Darüber hinaus hat sich die Steuer- und Kontrolleinheit als sehr praktisch für Funktionstests und Fehlersuche erwiesen.

Im wesentlichen werden von der Steuer- und Kontrolleinheit folgende Funktionen erfüllt:

- Manuelle Befehlseingabe und visuelle Kontrolle des Befehlsechos,
- Empfang, Decodierung und digitale Anzeige der Digital-Daten und Befehlsrückmeldungen zur Sondenüberwachung,
- Empfang, Decodierung und digitale Anzeige der Analog-Daten zur Sondenüberwachung,
- Aufzeichnung aller Analog-Daten auf einem Linienschreiber,
- Aufzeichnung aller von der Sonde übertragenen Daten auf einem Magnetband,
- Kontrolle der Spektren und Überwachungsdaten auf einem Display.

4.10.1 Befehlseingabe und Befehlsecho

Auf der Frontplatte der Steuer- und Kontrolleinheit (s. Abb. 4.14) sind alle Befehle, die dazugehörige Kodierung und die jedem Bit des Befehlswortes zugeordnete Taste zu sehen. Bei der Befehlseingabe werden die mit einem Punkt in der Befehlstabelle markierten Tasten gleichzeitig mit der Freigabetaste so lange gedrückt (ca. 1 - 2 Sekunden), bis die über den gedrückten Tasten angeordneten Leuchtdioden aufleuchten. Damit ist sichergestellt, daß das Befehlswort vom TCE richtig übernommen, dreifach übertragen, im TCD dekodiert, verglichen und als störungsfrei erkannt, zur Befehlsausführung zur Verfügung gestellt und als Befehlsecho wieder richtig rückübertragen wurde (s. Abb. 4.15).

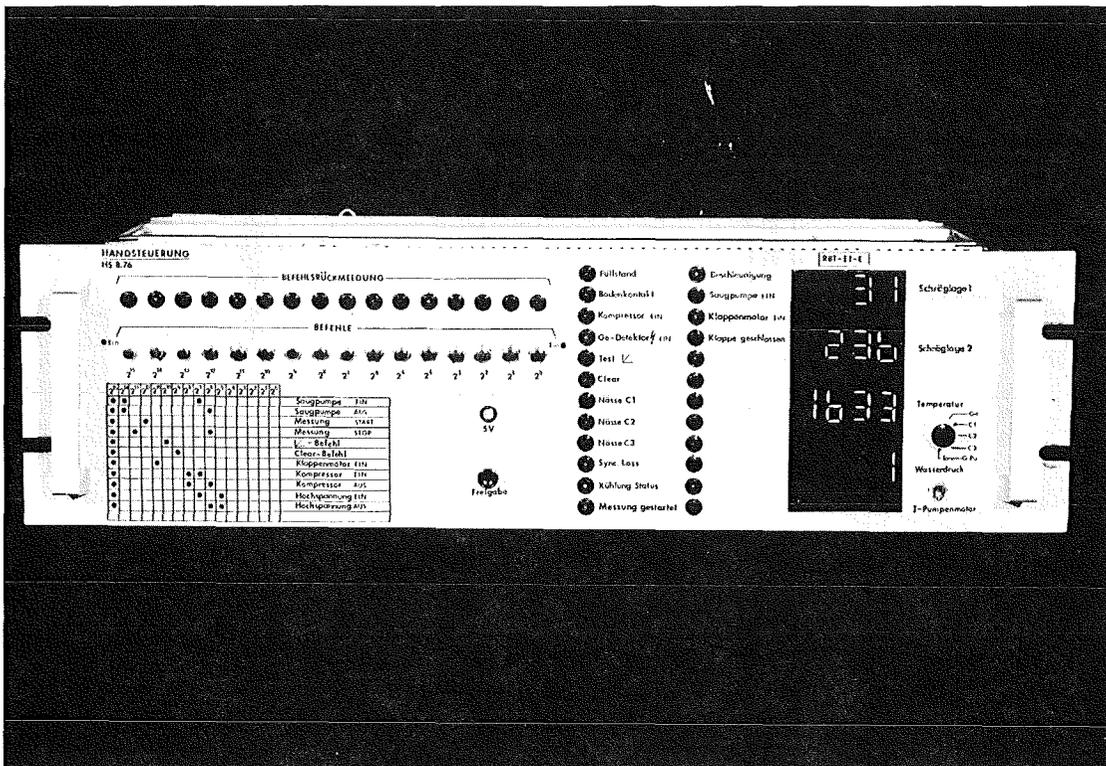


Abb. 4.14 Frontansicht der Steuer- und Kontrolleinheit

4.10.2 Digital-Daten und Rückmeldungen

Das vom TCD angebotene Befehlswort wird in das Befehlsregister übernommen (s. Abb. 4.2) und von hier aus zum einen als Befehls-echo auf die Datenleitung zum TME gegeben und zum anderen im Befehls-Decoder dekodiert und anschließend ausgeführt. Einige Befehle werden bis zu ihrer Löschung gespeichert (z.B. Saugmotor ein/aus), andere als Impulse weitergeleitet (z.B. Nullsetzung Speicher). Die Rückmeldungen über die Ausführung der Befehle sind "echt", d.h. der Lauf eines Motors wird über dessen Stromaufnahme signalisiert usw. Diese Rückmeldungen und die anderen Digital-Daten werden in einem Wort kodiert an Bord übertragen und dort sowohl im Speicher S3 als auch im Statusregister oder Fehlerregister der Steuer- und Kontrolleinheit gespeichert (s. Abb. 4.15). Hier werden die Daten dekodiert und mit Leuchtdioden angezeigt, so daß der Sondenzustand auf einen Blick zu übersehen ist.

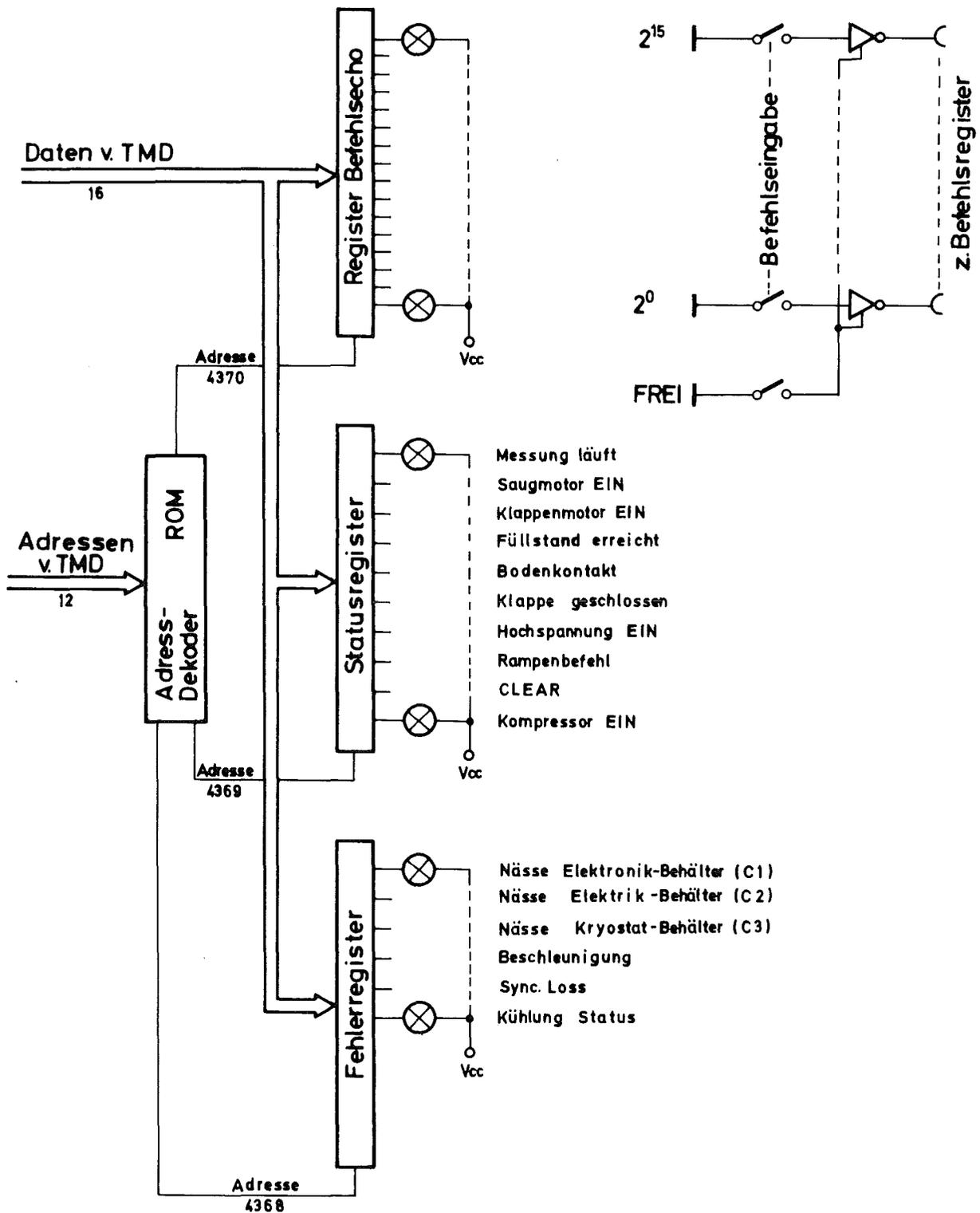


Abb. 4.15 Steuer- und Kontrolleinheit (Befehlseingabe und Überwachung)

4.10.3 Analog-Daten -----

Die digitalisierten Analog-Daten von der Sondenüberwachung werden sowohl in den Speicher S3 als auch in die Steuer- und Kontrolleinheit übertragen. Nach Ableitung eines Strobesignals werden diese Daten durch Dekodierung der Adressen (s. Abb. 4.16) über einen Dual-BCD-Wandler jeweils in ein Register eingeschrieben und dezimal mit einem Display auf der Frontplatte der Steuer- und Kontrolleinheit angezeigt. Für einige Daten besteht aus Platzmangel eine gemeinsame Anzeige mit Umschaltmöglichkeit.

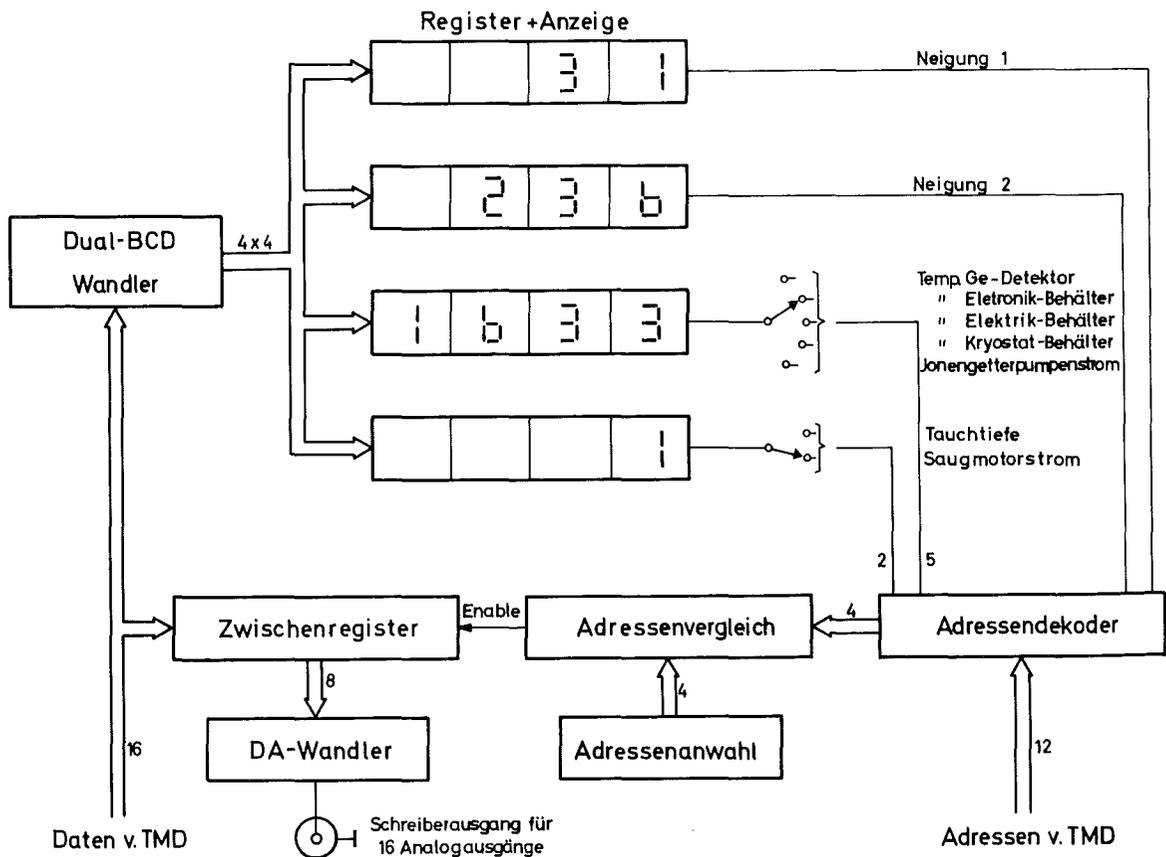


Abb. 4.16 Steuer- und Kontrolleinheit
(Anzeige und Schreiberanalogausgang)

Zusätzlich können alle Analog-Daten und die Neutronenfluß- und Füllstandsdaten nacheinander auf einem Linienschreiber aufgezeichnet werden. Hierfür können die Daten durch Anwahl der entsprechenden Adresse in ein Zwischenregister gespeichert und über einen Digital-Analog-Wandler direkt auf den Eingang des Linienschreibers gegeben werden.

4.10.4 Magnetbandspeicher

Mit dem Magnetbandspeicher können alle von der Sonde übertragenen Meß- und Überwachungsdaten aufgezeichnet werden. Bei dem Gerät handelt es sich um den Typ Sabre III Modell 3414 von der Firma Sangamo. Auf das 1/2 inch-Band mit 7 Spuren kann in einem Geschwindigkeitsbereich von $1 \frac{7}{8}$ bis 120 inch/s aufgezeichnet werden. Gewählt wurde eine Geschwindigkeit von 30 ips, wobei mit einer speziell entwickelten Aufnahmeelektronik 160 Bit Daten in der Sekunde geschrieben werden können.

Gespeichert werden vier Datenrahmen am Ende jeder Messung. Der Startbefehl kommt entweder vom Rechner oder bei dessen Ausfall von der Steuer- und Kontrolleinheit. Die Aufzeichnung erfolgt nach der Regeneration der PCM-Signale im Delayed-Miller-Code (s. Abb. 4.17).

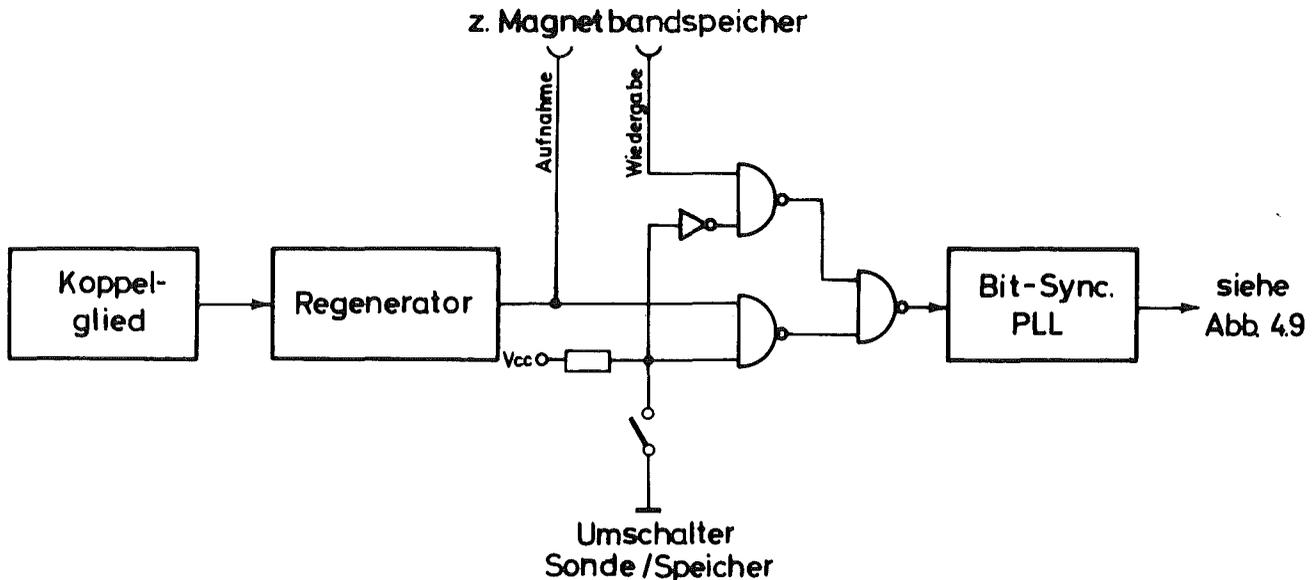


Abb. 4.17 Ankopplung des Magnetbandspeichers an den TME

Zur Wiedergabe der Daten für eine Auswertung im Rechner wird ein Kippschalter aus der Stellung "Sonde" in die Stellung "Speicher" umgelegt und das Bandgerät von Hand gestartet. Für die nachfolgende Bit-Sync-Stufe im Telemetrie-Decoder gibt es keinen Unterschied, ob die Daten direkt von der Sonde oder vom Magnetband kommen. Sie werden anschließend in den Speichern S1 bis S3 abgelegt und vom Rechner abgerufen.

5. AUSWERTEPROGRAMM

Zur Bestimmung der gewünschten Metallkonzentrationen wurde ein dem Manganknollen-Analysensystem angepaßtes Auswerteprogramm entwickelt. Das Programm besteht aus Analyse der Spektren, Interpretation der errechneten Daten mit den Metallgehalten als Ergebnis und verschachtelt dazu Kontrollen des Analysen- und Übertragungssystems. Die Struktur des Auswerteprogramms und seine Einfügung in das Steuerprogramm ermöglichen ein interaktives Operieren.

5.1 Programmziel

Für das Auswerteprogramm werden Spektren von dem Ge-Detektor und dem NaJ(Tl)-Detektor angeliefert. Das Programmziel beinhaltet die im folgenden aufgeführten Teilziele:

- Analyse von Gamma- und Transmissionsspektren zur Bestimmung von Nettopeakinhalten:

In vorgegebenen Energiebereichen sind die genauen Peaklagen, Nettopeakinhalte und deren relativen Fehler zu errechnen. Die folgenden Einzel- bzw. Doppelpeaks sind zu analysieren:

Mangan	7058" keV	}	(n, γ)-Spektrum
Nickel	8999" keV		
Kupfer	7915" keV		
Chlor	7414" keV		
²²⁸ Thorium	7414' keV	}	Transmissions-Spektrum
	2614 keV		

- Interpretation der aus der Spektrumsanalyse gewonnenen Daten:

Aus Neutronenfluß, Schüttdichte, einer im Labor ermittelten metall- und apparatespezifischen Eichkonstanten und den errechneten Nettopeakinhalten sind die Metallgehalten zu bestimmen.

- Beitrag zur Kontrolle auf fehlerfreien Funktionsablauf des Analysesystems:

Kontrolliert werden müssen der Gesamtverstärkungsfaktor, der Nullpunkt und die Ansprechwahrscheinlichkeit der Ge- und NaJ(Tl)-Meßzweige. Außerdem können Störungen im Datenübertragungssystem, die Spektrumsverfälschungen bewirken, erkannt werden.

5.2 Programmierung

5.2.1 Voraussetzungen

Das Auswerteprogramm wurde auf einem PDP-11/E 10 Rechner der Firma Digital Equipment (DEC) erstellt. Dieser Rechner ist mit einem 16 K Kernspeicher und einem Plattensystem ausgestattet.

Das Auswerteprogramm ist in BASIC geschrieben und kann mit Hilfe des Betriebssystems RT 11 von dem in ASSEMBLER geschriebenen Steuerprogramm als Subroutine aufgerufen werden. Für den Einsatz ist das Programm einem PDP-11/40 Rechner mit Magnet-Bandgerät angepaßt.

Das Auswerteprogramm setzt sich aus zwei Phasen, der sog. Meerwasser- und der Knollenphase, zusammen. Das Steuerprogramm kann diese Phasen einzeln ansteuern und automatisch zyklisch ablaufen lassen.

5.2.2 Programmablauf

Ein automatischer Ablauf eines Zyklus sieht folgendermaßen aus (s. Abb. 5.1):

Das Steuerprogramm stellt zuerst ein Meerwasserspektrum im zentralen Kernspeicher zur Auswertung bereit. Die Daten aus dem Spektrum müssen jeweils vor ihrer Weiterverarbeitung in BASIC-verwendbare Daten konvertiert werden. Das geschieht durch

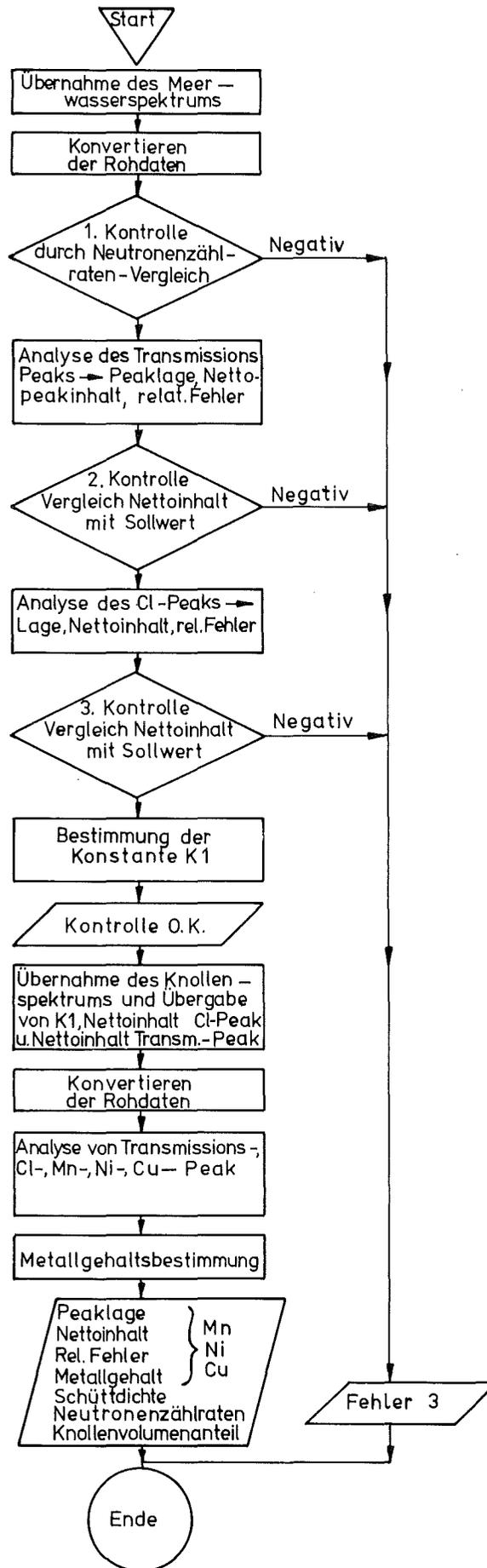


Abb. 5.1 Flußdiagramm des Auswerteprogramms

Aufruf der Subroutine "KONV". Nach dem Vergleich der Neutronenzählrate der inneren Spaltkammer mit dem entsprechenden Sollwert (1. Kontrolle) wird der Transmissionspeak analysiert. Dazu wird das Spektrum im vorgegebenen Energiebereich zuerst geglättet. Zur Bestimmung der Peaklage wird iterativ der Schwerpunkt des Peaks errechnet. Ausgehend von dieser Peaklage werden die Fußpunkte des Peaks gesetzt und durch Aufsummieren der Kanalinhalt des Peaks dessen Bruttoinhalt bestimmt. Zur Errechnung des Untergrundes wird durch die Fußpunkte eine Gerade gelegt. Die Differenz aus der Bruttozählrate und der Summe der Kanalinhalt unter der Geraden ergibt den Nettopeakinhalt. Die Kanalinhalt der Fußpunkte sind Mittelwerte aus ihrer Umgebung. Der relative Fehler des Nettopeakinhalts wird über mittlere quadratische Abweichungen bestimmt. Der Vergleich des Nettopeakinhalts des Transmissionspeaks mit einem Sollwert ist die 2. Kontrolle. Die anschließende Analyse des Cl 7414"keV-Peaks erfolgt ohne Glättung nach dem gleichen Verfahren. Der Vergleich des Cl-Nettopeakinhalts mit einem Sollwert ist die 3. Kontrolle. Diese drei Kontrollen geben Aufschluß darüber, ob alle Detektor-Systeme einwandfrei arbeiten.

Fallen diese Kontrollen negativ aus, erscheint die Nachricht "FEHLER 3". Der Operateur muß nach Überprüfung der Anlage die Meerwasserphase erneut starten. Während der Peakanalyse werden jedesmal die errechneten Peaklagen mit den vorgegebenen Werten verglichen. Wird eine Abweichung festgestellt, die größer ist als eine zulässige Schranke, wird "FEHLER 2" ausgedruckt. Mit Hilfe des Displays wird der Operateur aufgrund dieser Information überprüfen, ob eine Nullpunktsdrift oder Verstärkungsänderung vorliegt. Er hat dann die Möglichkeit, in das System einzugreifen und z.B. neue Sollwerte vorzugeben oder Reparaturen zu veranlassen. Erscheint die Nachricht "FEHLER 1", bedeutet das, daß aufgrund einer ungünstigen Zählstatistik der Peak nicht vom Untergrund unterschieden werden kann (das heißt z.B.: Keine Peaklage gefunden oder Nettopeakinhalt negativ oder Null). Auch aufgrund dieser Fehlermeldung kann eine Überprüfung der Anlage notwendig sein, da es unsicher ist, ob überhaupt Manganknollen im Analysengefäß vorhanden sind, oder ob

Übertragungsfehler vorliegen. Der Operateur wird auch hier die Überprüfung mit Hilfe des Displays vornehmen und daraus resultierende Maßnahmen ergreifen. Jeder Störfall, der zur Ausgabe einer Fehlernachricht führt, unterbricht den Programmablauf. Es muß ein neuer Zyklus gestartet werden.

Das Verhältnis DS der Doppel- zu Einfachentkommlinie der Cl 7414 keV Energie ergibt die Konstante K 1, die später zur Analyse des Cu-Cl-Doppelpeaks gebraucht wird (s. Kap. 10, Abb. 1Q2). Nach Ablauf dieser Phase wird das Meerwasserspektrum durch ein Knollenspektrum im zentralen Speicher ersetzt. Die Auswertung dieses Spektrums erfolgt in der gleichen Art wie in der ersten Phase. Es entfallen jedoch die 3 Kontrollen. Analysiert werden die Peaks von Mn, Ni, Cu-Cl, Cl und der Transmissionspeak (s. Kap. 5.1). Bei der Bestimmung des Cu 7915" keV Nettopeakinhalts wird der Cl 7414' keV-Anteil im Linienduplett Cu 7915" keV / Cl 7414' keV aus dem Verhältnis DS (Konstante K 1) und der Intensität der Cl 7414" keV-Energie ermittelt und von der Gesamtintensität des Dupletts subtrahiert.

Aufgrund dieser speziellen Berechnung tritt hier keine Störung durch zulässige Schwankungen des Nullpunktes und der Verstärkung auf.

Die Metallgehalte sind Produkte aus den Faktoren Nettopeakinhalte der einzelnen Metall-Peaks und metallspezifische Laborwerte (auf Mn bezogen) und einem Quotienten. Dieser Quotient setzt sich zusammen aus der Schüttdichte, die im Programm iterativ bestimmt wird, einem Wert, in den die Neutronenflußzählrate und Laborwerte eingehen, sowie weiteren Laborwerten [6].

Mit der Metallgehaltsbestimmung ist ein Zyklus beendet. Im nächsten Zyklus werden die Sollwerte für die Kontrollen und die vorgegebenen Peaklagen jeweils durch die im vorangegangenen Zyklus errechneten Werte ersetzt. Diese Maßnahme schließt Fehler aufgrund kleiner Nullpunktsdriften und Verstärkungsänderungen aus.

6. RECHNERSYSTEM UND STEUERPROGRAMM

Zur Verarbeitung des Auswerte- und des Steuerprogramms wurde ein Prozessrechner der Fa. DEC, eine PDP-11/40, beschafft. Dadurch konnte das Auswerteprogramm direkt übernommen und die für einen solchen Rechner vorhandene Programmiererfahrung voll ausgenutzt werden. Außerdem hatte sich eine PDP 8 mit DECTape-Magnetbandgerät bereits auf Forschungsschiffen bewährt. Die notwendige Raumklimatisierung ist in den Labors des FS "Valdivia" vorhanden.

Die Entwicklung des Steuerprogramms wurde in drei Stufen durchgeführt. In der ersten Stufe konzentrierte sich die Arbeit darauf, die Daten im vorgegebenen Zeittakt in den Rechner zu übernehmen und in die für das Auswerteprogramm erforderliche Form umzuwandeln. In der zweiten Stufe wurde das Rahmenprogramm geschaffen, das gestattet, einzelne Betriebsphasen oder auch zum Zyklus zusammengeschlossene Phasen automatisch ablaufen zu lassen. In der dritten Stufe wurde das Programm derart erweitert, daß es allen erdenklichen Betriebsbedingungen des Sondeneinsatzes angepaßt werden kann. Dazu gehört, daß verschiedene Parameter schnell und einfach modifiziert werden können mit dem Ziel, den Ablauf einzelner Phasen wie auch des Meßzyklus im Sinne einer ausreichend genauen Analyse zu optimieren.

Die einzelnen Programmteile konnten vorab an einem Transfer-Simulator getestet werden. Dieser bietet jedoch anstelle der 4383 Speicheradressen der Übergabespeicher nur 16 per Handeingabe zu ladende Speicherplätze an. Dadurch wird bei der Anwahl von mehr als 16 aufeinanderfolgende Speicheradressen der Inhalt der vorhandenen 16 Speicherplätze zyklisch wiederholt übernommen.

Deshalb konnte erst bei den Versuchen nach Integration aller Systeme in der Sonde das Gesamtprogramm dynamisch getestet werden, wobei sich alle testbaren Phasen und Zustandsprüfungen als voll funktionstüchtig erwiesen.

6.1 Prozessrechnersystem

In Abb. 6.1 ist die Konfiguration des Rechnersystems mit der PDP-11/40 als Zentraleinheit dargestellt.

Die vom RT11-Betriebssystem unterstützte Speicherkapazität von nur 32 K Worten für System, Programm und Datenzwischen-speicherung ist selbst bei der anfallenden Zahl von ca. 4 K Meßdaten ausreichend, da für die Analysen-Auswertung nur die Werte des jeweils interessierenden Teilbereichs des Gesamt-spektrums umgewandelt werden.

Zwei Drucker werden eingesetzt, damit die Analysenergebnisse getrennt vom Protokoll der Ablaufsteuerung aufgezeichnet werden können. Über Zeitangaben, auf beiden Geräten ausgedruckt, werden die Ausgaben miteinander sowie mit dem Protokoll der Navigationsanlage in Bezug gebracht.

Als Systemträger und Datenspeicher zur Datensicherung dient das DECTape-Magnetbandgerät mit seinen zwei Laufwerken. Jede Spule hat ausreichende Kapazität zur Aufnahme aller Meßdaten und Auswertungsergebnisse von mehr als 30 Analysen. Die Daten werden unter dem Zeitwert und einer laufenden Nummer abgelegt.

Zur Ein- und Ausgabe der Daten dient die Interface-Karte DR11-C.

Zwischen dem Prozeßrechner und der Übertragungsstrecke liegen Speicher, die in konstantem Takt jeweils einen vollständigen Satz aller Daten (Analysendaten, Statusinformationen) übernehmen. Der Rechner kann im gleichen Takt, aber zeitlich versetzt, zu diesen Speichern zugreifen oder jeweils einen Steuerbefehl in ein Befehlsregister absetzen.

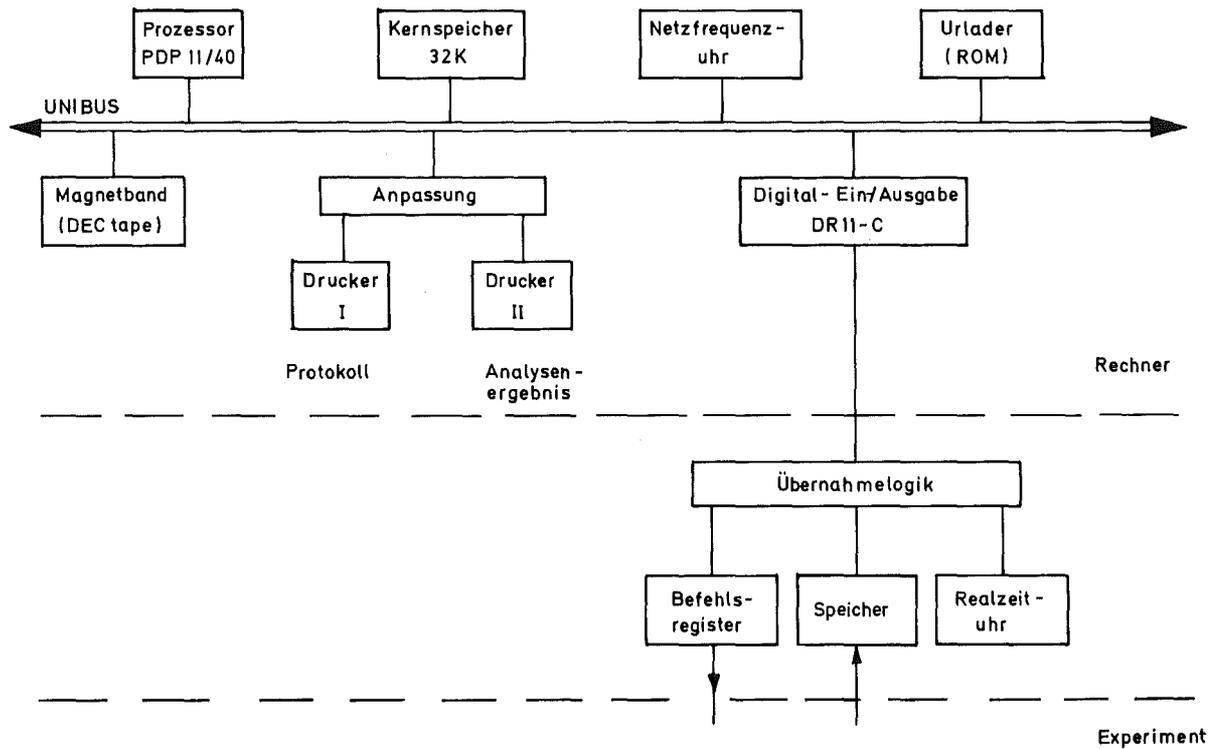


Abb. 6.1 Prozeßrechner-System für MANKA

Der Netzfrequenz-gesteuerte Taktgeber im Rechner läßt bei den auf dem FS "Valdivia" möglichen Netzfrequenz-Schwankungen um 4% eine ausreichend genaue Ortsbestimmung der Knollenfunde über Zeitvergleich mit der Navigationsanlage nicht zu. Deshalb wurde zusätzlich eine quarzgesteuerte Realzeituhr (s. Abb. 6.2) installiert, die bei Netzausfall über eine Batterie gespeist wird. Ihre Zeitdaten werden wie die übrigen Meßdaten über die Ein-/Ausgabe-Karte DR11-C in den Rechner geholt [14].

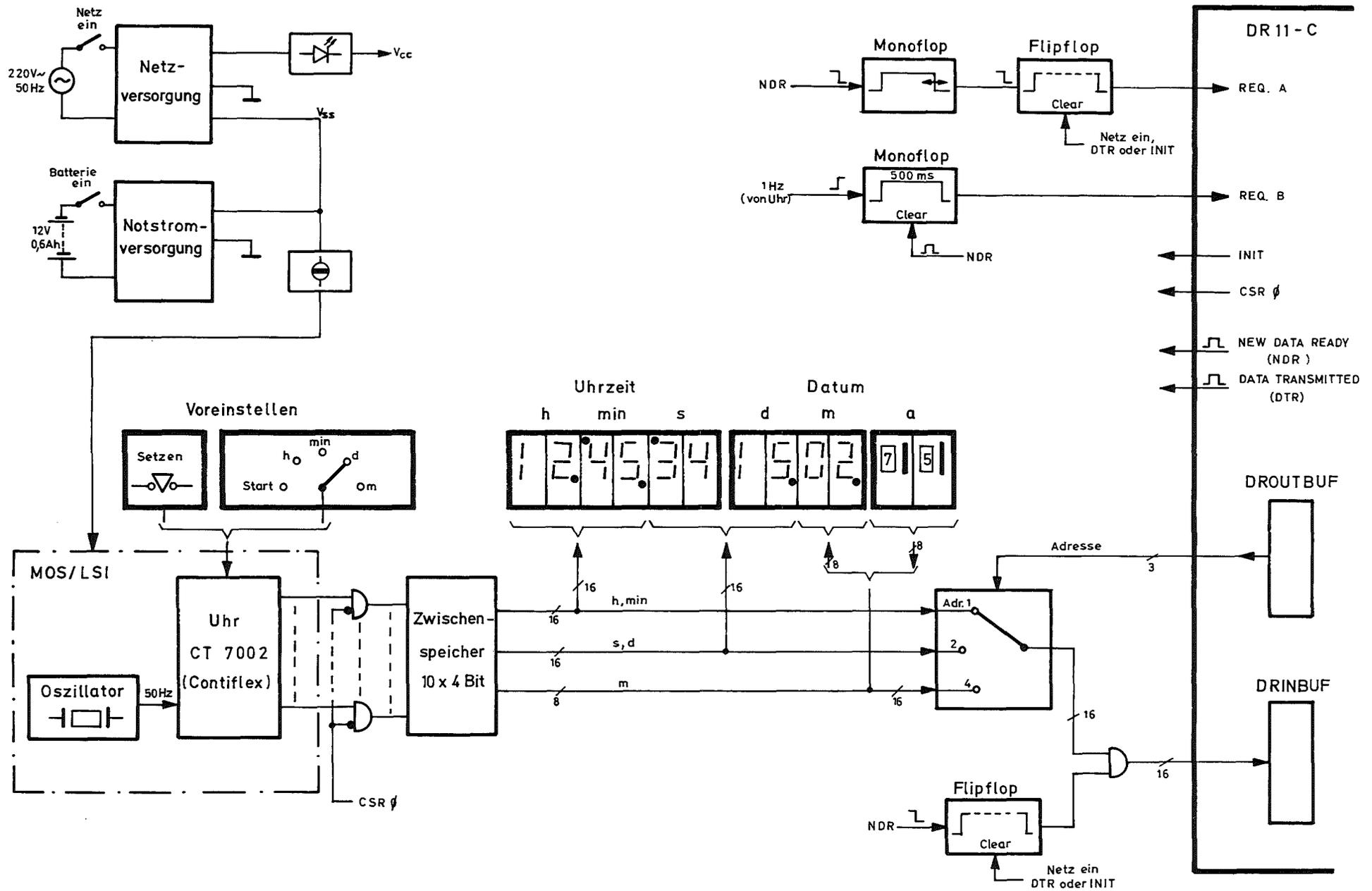


Abb. 6.2 Realzeituhr ADI-18/3

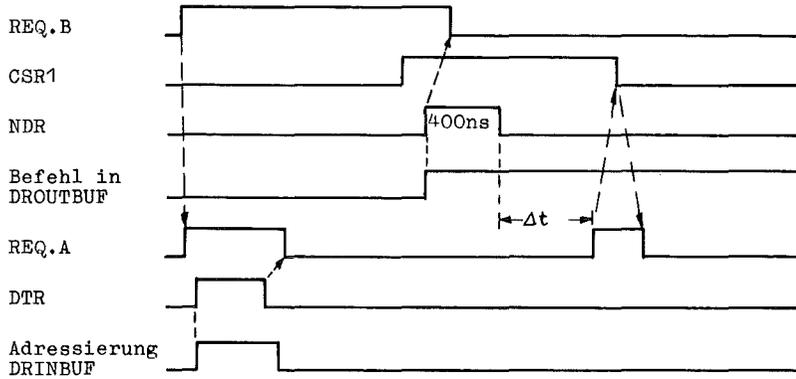
6.2 Datenaustausch und Datensicherung

6.2.1 Datenverkehr

Der gesamte bidirektionale Datenverkehr zwischen dem Rechner und dem Rechner-Interface, den Speichern und dem Befehlsregister wird über die Interface-Karte DR11-C abgewickelt. Die Befehlsübergabe und Datenübernahme ist in Zeitdiagrammen in Abb. 6.3 wiedergegeben.

Der Zugriff zu den Speichern und dem Befehlsregister wird dem Rechner vom Datenübertragungssystem freigegeben. Über das Signal REQUEST B erfährt der Rechner, daß er für eine vorgegebene Zeitspanne an der Reihe ist. Speicheradressen wie Befehlswoorte sendet er über das DROUTBUF-Register der Interface-Karte (s. Abb. 6.4). Zur eindeutigen Kennzeichnung muß eine Adresse von dem Signal CSRO und ein Befehlswort vom Signal CSR1 begleitet werden. Mit dem Strobe-Signal NEW DATA READY (NDR) kann eine solche Rechnerinformation übernommen werden. Als Quittung der erfolgten Übernahme erwartet der Rechner anschließend das Signal REQUEST A. Ist dieses Signal Antwort auf eine Adresse, dann darf der Rechner nun den Inhalt der angewählten Speicherzelle lesen. REQ.A darf nur während der Zeitspanne des Rechnerzugriffs erzeugt werden. Reicht diese Zeit aus irgendwelchen Gründen zur Übernahme z.B. eines längeren Datenblocks nicht aus, so wird dem Rechner zu Beginn der nächstfolgenden ihm zustehenden Zugriffszeit das Signal REQ.A sofort wieder angeboten. Auf diese Weise wird erreicht, daß bei einer Signalstörung allenfalls eine Verzögerung in der Datenübernahme, jedoch keine Programmunterbrechung eintreten kann. Der Rechner quittiert jede Datenübernahme über das DRINBUF-Register der Interface-Karte mit dem Strobe-Signal DATA TRANSMITTED (DTR).

Befehlsübergabe an externe Hardware:



Datenübernahme in Rechner:

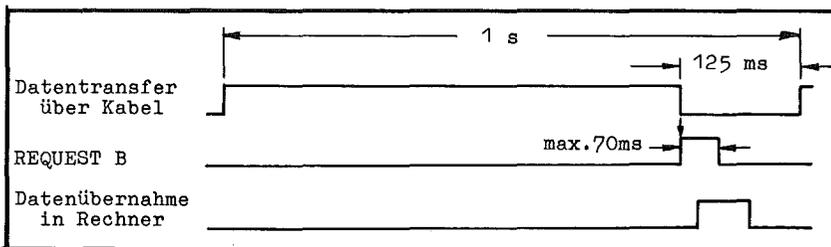
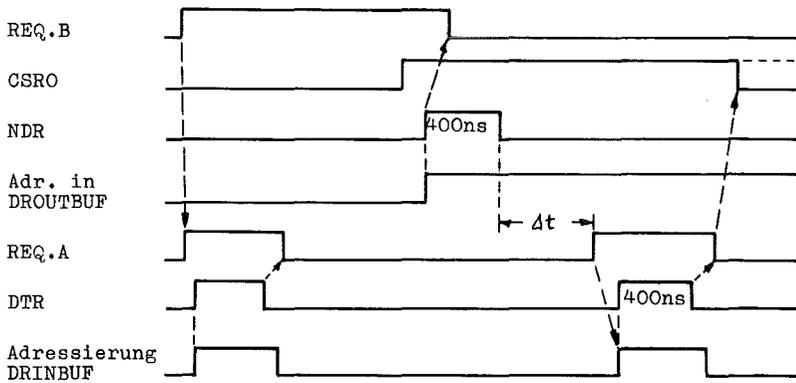


Abb. 6.3 Zeitplan für Datenübertragung

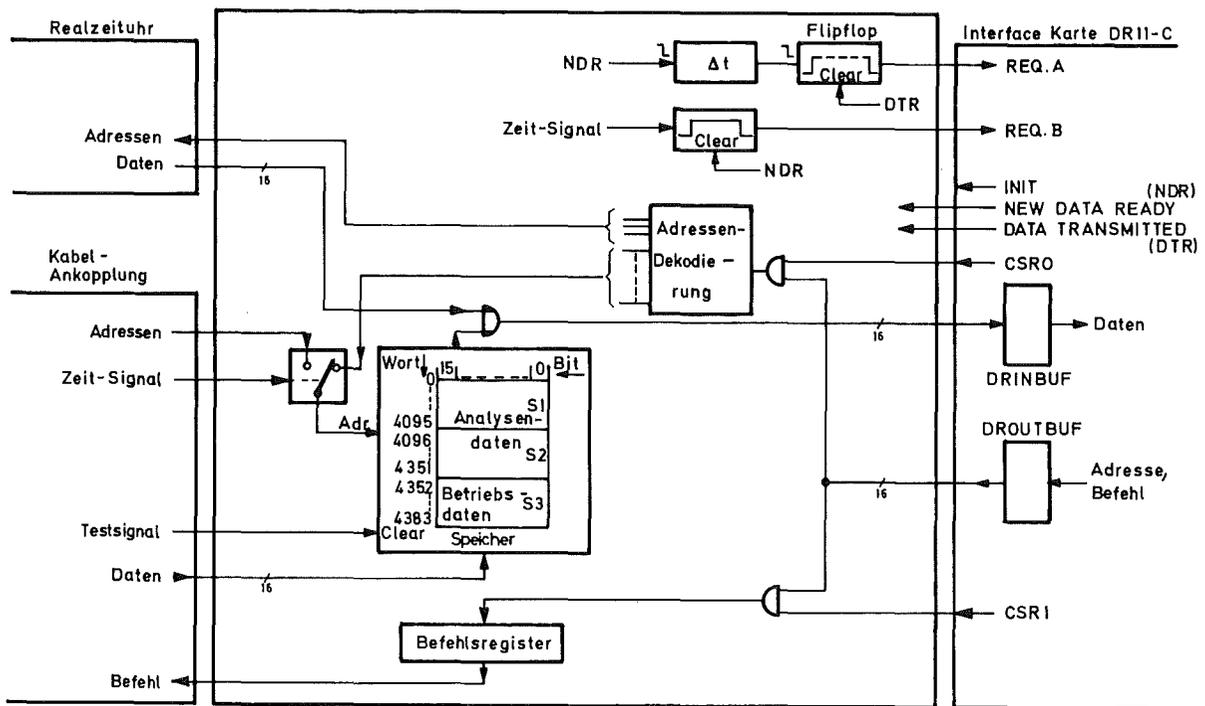


Abb. 6.4 Datenverkehr über Schnittstelle

6.2.2 Datensicherung Software-Hardware

Fehlerhafte Veränderungen der Meß- und Überwachungsdaten und der Befehle sind nicht zuletzt über Störungen auf der Übertragungsstrecke zu erwarten. Da eine direkte Korrektur fehlerhafter Datenworte nicht vorgesehen ist, geht es darum, die Fehler zu erkennen, gefährliche Auswirkungen zu verhindern und durch Wiederholung der Datenübergabe oder -übernahme unter Hin-nahme einer Zeitverzögerung im Programmablauf den Fehler wieder auszugleichen.

Die Übertragungsstrecke wird von der Hardware auf Paritätsfehler und Synchronisationsausfälle hin überwacht. Wird dadurch ein Datenwort als "fehlerhaft übertragen" erkannt, erscheint an seiner Stelle in den Speichern der Wert Null (Speicherinhalt gelöscht). Um bei Worten, die der Betriebsüberwachung dienen (Überwachungsdaten, Fehler, Status, Befehlsecho), echte Null-werte von den Fehler-Nullwerten unterscheiden zu können, bleibt

im ungestörten Fall ihr höchstwertiges Bit (Bit 15) stets gesetzt. Der Rechner erkennt einen der genannten Übertragungsfehler dann daran, daß das Bit 15 gelöscht erscheint. Der Rechner kann die Abfrage wiederholen oder einen Fehlertext ausdrucken. Bei den Analysendaten wurde auf eine derartige Möglichkeit zur Fehlererkennung und -korrektur verzichtet, um eine dann mehrfach notwendige Wiederholung der Datenübernahme zu vermeiden. Der Verlust einzelner (gestörter) Werte kann durch Interpolation ausgeglichen werden.

Die Überwachung der Steuerbefehle ist aufwendiger (s. Abb. 6.5). Nachdem ein Befehl vom Rechner über das DROUTBUF-Register der DR11-C-Karte in das Befehlsregister gelangt ist, wird er dort so lange gehalten (und mit jedem neuen Übertragungszyklus in die Sonde transportiert), bis sein korrektes Echo in den Speicher S3 zurückgelangt ist. Der Rechner darf allerdings nicht zwischenzeitlich einen neuen Befehl absetzen; auch er muß das Befehlsecho überprüfen und kann eventuell den alten Befehl wiederholt senden, vor allem dann, wenn er die erwartete Befehlswirkung aus zugeordneten Statuswerten nicht erkennen kann (z.B. Schalterstellung bei Schaltbefehlen). Eine eindeutige Befehlsdekodierung soll zusätzlich dafür sorgen, daß gestörte Befehle keine unbeabsichtigten Funktionen auslösen können.

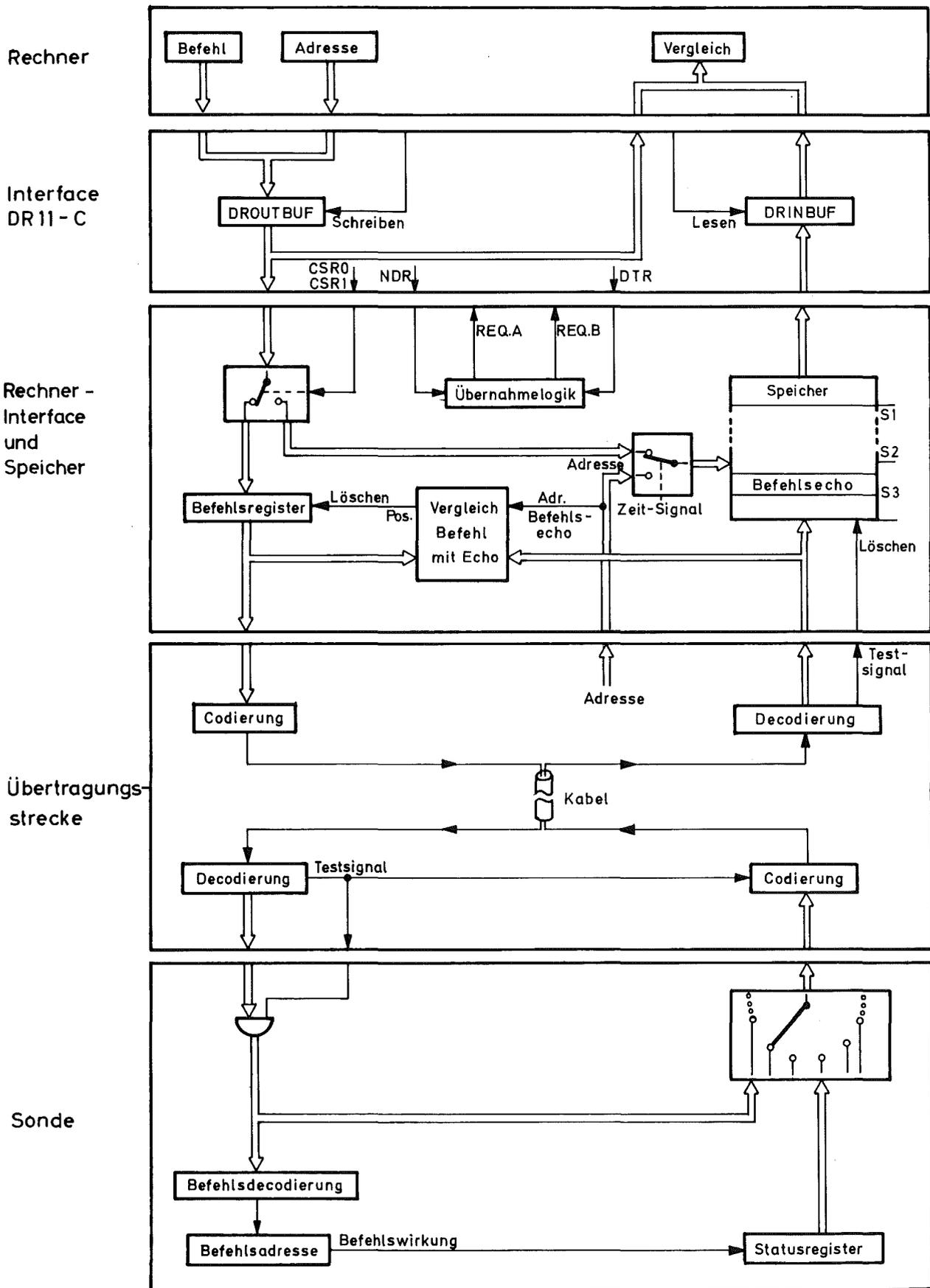


Abb. 6.5 Befehlsübergabe und -kontrolle

6.3 Rechnerprogramm zur Steuerung und Kontrolle aller Funktionen der Schleppsonde

6.3.1 Rahmenbedingungen -----

Das Analysensystem MANKA ist so konzipiert worden, daß in einem stetig sich wiederholenden Analysenprozeß mit den Hauptphasen

- Pumpen
- Messen
- Auswerten
- Leeren

das am Meeresboden lagernde Knollenmaterial quasikontinuierlich untersucht werden kann.

Das bedeutet, daß die auf den Meeresboden abgelassene Sonde unter günstigen Arbeitsbedingungen (ausreichende Knollenbelegung auf einem von Hindernissen möglichst freien Untergrund) eine vorgegebene Folge ihrer Betriebsphasen zyklisch wiederholt durchzuführen hat.

Zeitlich aufgegliedert enthält ein solcher Arbeitszyklus nacheinander die Teilphasen

- Leeren des Meßbehälters
- Messen, γ -Spektrum Meerwasser
- Auswerten des Meerwasser-Spektrums
- Pumpen, Meßbehälter mit Knollen füllen
- Messen, γ -Spektrum Knollen-Meerwasser
- Auswerten des Knollenspektrums,

die im Detail später noch näher erläutert werden.

Ein Pilot-Unternehmen dieser Art, bei dem es unter anderem darum geht, Erfahrungen aus dem Testeinsatz zu gewinnen, setzt voraus, daß ein Teil der Parameter vom Operateur modifiziert werden können, zum einen, um unvorhersehbaren Ereignissen flexibel begegnen zu können, zum anderen, um eine Optimierung des Zyklusablaufs erzielen zu können.

Neben dem Rechner ist zwar eine komplette Steuer- und Kontrolleinheit für manuellen Betrieb vorhanden, doch muß auch das Rechnerprogramm eine ad-hoc-Optimierung und Anpassung an neue Erfahrungswerte gestatten.

Zusätzlich zu den Phasen des Analysenzyklus kann der Rechner mit den Programmphasen "Senken" und "Heben" das Absenken der Sonde bis zum Bodenkontakt und das Anheben jeweils mit periodisch wiederholter Ausgabe der augenblicklichen Wassertiefe überwachen.

Als Informationsquellen über die Betriebsbedingungen außerhalb und innerhalb der Schleppsonde stehen dem Steuerprogramm folgende Daten zur Auswertung zur Verfügung:

- Analogwerte in digitalisierter Form:

Füllstand

Neutronenfluß

Tauchtiefe (Wasserdruck)

Temperaturen

- des Ge-Detektors

- in den Druck-Behältern

Neigung (2 Achsen)

Strom des Pumpenmotors

- Informationen in binärer Form :

Bodenkontakt der Sonde

Stellung der Auswurfklappe

Stellung des Schließmechanismus der Auswurfklappe

Nässe in den Druckbehältern

Status des Kühlsystems

Beschleunigung (Grenzwertüberschreitung)

Messung gestartet

Der Kontrolle der Datenübertragung dienen

- Befehlsecho
- Testwort
- Sync Loss
- Übertragungsfehler (Bit 15 bei den Überwachungsdaten)

Über drei weitere Adressen werden Uhrzeit und Datum aus der Realzeituhr übernommen.

Die zur Auswertung des Analysenspektrums erforderlichen Daten

- 4096 Worte Analysenspektrum, darin 2 Worte Neutronenfluß
- 256 Worte Schüttdichtespektrum

übernimmt das Steuerprogramm lediglich, stellt sie dem Auswerteprogramm im zentralen Speicher zur Verfügung und speichert sie auf Wunsch zusammen mit dem Analysenergebnis auf dem Magnetband (DECTape) ab.

Die Programmteile, die sich der Ein- und Ausgabekanäle der DR11-C Interface-Karte bedienen, konnten bereits vor und während der Realisierung der anzuschließenden Speicher- und Übertragungselektronik über einen Transfer-Simulator /15/ getestet werden, der die Dialogfunktionen der Schnittstelle nach dem vorgegebenen Datenaustauschkonzept beherrscht. Sein manuell ladbarer Datenspeicher ist zwar auf 16 Adressen reduziert, gestattet damit aber die Nachbildung aller Betriebsdaten, und über zusätzliche Bedienungsschalter lassen sich die wichtigsten Fehlerquellen und Störungssignale simulieren. Der Simulator trug damit zudem während der Hardware-Software-Anpassungsphase zur Verkürzung der Gesamttestzeit bei, indem er eine beschleunigte Fehlerlokalisierung ermöglichte.

6.3.2 Steuerprogramm

Die Arbeitsweise des Steuerprogramms /16/ wird durch zwei grundsätzliche Aufgaben bestimmt:

- Befehlseingabe über die Tastatur eines Druckers
- Befehlsinterpretation und Ausführung

Befehlseingabe und Ausführung können zeitlich unmittelbar zusammenhängen, aber auch voneinander zeitlich getrennt ablaufen. Der ablaufsteuernde Dialog kann somit in zwei Funktionsarten getrennt werden: die Kommandos und die Stapelfunktionen.

- Kommandos sind Programmhilfen zur direkten Überwachung und Modifikation des Versuchsablaufs.
- Stapelfunktionen bewirken die Ausführung eines zuvor extern definierten Programmablaufes, einer Phase.

In Abb. 6.6 sind die Kommandos und Stapelfunktionen zusammengefaßt.

Funktionsaufruf	Typ	Wirkung
LISTS3	K	Speicher listen
SLIST	K	Spapel listen
ADRU	K	Alarmüberwachung ein
NADRU	K	Alarmüberwachung aus
KILL	K	Stapel löschen
HALT	K	Stapelverarbeitung unterbrechen
CONT	K	Stapelverarbeitung fortsetzen
STOP	K	Abbruch
PMOD name wert	K	Parametermodifikation
PLIST name	K	Parameter auflisten
SENKEN	S	Sonde absenken
HEBEN	S	Sonde anheben
MESSEN	S	Knollen vermessen
LEEREN	S	Knollenbehälterleeren
PUMPEN	S	Knollenbehälterfüllen
ANALYS	S	Auswerten Knollenspektrum
CLIST	S	Auswerten Meerwasserspektrum
ZYK1	S	Analysezyklus vollständig

Abb. 6.6 Stapelfuntionen und Kommandos

Die Fehlermeldungen des Steuerprogramms sind selbsterklärend. Alarmmeldungen werden auf der Interruptebene erkannt und quasiparallel zum laufenden Prozeß behandelt und dem Benutzer mitgeteilt. Alle Meldungen werden auf dem Drucker der Rechenanlage protokolliert.

Typische Versuchsparameter können jederzeit per Dialog verändert werden. Alle Parameter sind vorab durch Anfangswerte definiert. Durch Kommandoeingabe können die Anfangswerte gemeinsam mit den jeweils aktuellen Parameterwerten ausgedruckt werden.

Der Eingabedialog wird stets auf Syntax und Plausibilität überprüft, im Fehlerfall werden entsprechende Meldungen ausgedruckt. Zur Synchronisation des steuernden Dialogs mit der laufenden Messung wird das Dialogprotokoll jeweils durch Tagesdatum und Uhrzeit gekennzeichnet.

6.3.2.1 Kommandos

Kommandos steuern den Versuchsablauf und leiten überwachende Funktionen ein.

- Auflisten des S3-Speichers

Aufruf: *LIST S3 §

Wirkung: Der S3-Speicher enthält Informationen über den jeweiligen Sondenzustand. Diese Informationen sind für den Operateur zur Interpretation möglicher Fehlerzustände von Bedeutung. Der Inhalt dieses Speichers wird auf dem Terminal ausgedruckt. Die Ausgabe numerischer Daten erfolgt bei analogen Werten dezimal, bei Status- und Fehlerinformationen als Bitmuster.

- Auflisten des Auftragsstapels

Aufruf : *SLIST §

Wirkung: Stapelfunktionen werden in einem Auftragsstapel abgelegt. Die Abarbeitung des Stapels erfolgt sequentiell; der Operateur kann durch die SLIST-Funktion den Umfang des bestehenden Auftragsstapels auflisten. Enthält der Auftragsstapel keine Einträge, so wird "Stapel leer" gemeldet.

- Alarmüberwachung einschalten
Aufruf : *ADRU §
Wirkung: Die Alarmüberwachung des Versuchsablaufes kann wahlweise ein- oder ausgeschaltet werden.
Nach dem Starten des Steuerprogramms ist die Alarmüberwachung nicht aktiv; der Operateur kann durch den ADRU-Aufruf diese aktivieren. Anstehende Alarmer werden auf dem Drucker protokolliert.

- Alarmüberwachung ausschalten
Aufruf : *NADRU §
Wirkung: Wurde vom Operateur ein Alarm erkannt, so kann die Ausgabe der folgenden Alarmmeldungen unterdrückt werden. Der Aufruf dieser Funktion ist sinnvoll, um eine Vermischung des Ausgabeprotokolls mit Alarmmeldungen zu vermeiden.

- Löschen des Auftragsstapels
Aufruf : *KILL §
Wirkung: Alle Stapelfunktionen im Auftragsstapel werden gelöscht. Nach Abschluß der laufenden Phase geht das Steuerprogramm in Warteposition und erwartet die Eingabe neuer Stapelfunktionen.

- Unterbrechen der Stapelarbeit
Aufruf : *HALT §
Wirkung: Nach Abschluß der laufenden Stapelfunktionen wird die weitere Stapelarbeit unterbrochen; der bestehende Auftragsstapel bleibt erhalten. Die HALT-Funktion ermöglicht dem Operateur den Versuchsablauf definiert zu unterbrechen und durch geeignete Kommandos den weiteren Ablauf zu beeinflussen.

- Fortsetzen der Stapelverarbeitung
Aufruf : *CONT §
Wirkung: Die Abarbeitung des Auftragsstapels wird fortgesetzt. Die Anwendung des Kommandos CONT ist sinnvoll in Verbindung mit dem HALT-Kommando.

- Abbruch des Versuchsablaufes

Aufruf : *STOP §

Wirkung: Alle zur Zeit des Aufrufes anstehenden Aktivitäten werden abgebrochen und das Steuerprogramm kehrt in den Monitor des Betriebssystems zurück.

- Modifikation von Parametern

Aufruf : *PMOD name = wert §

Wirkung: Die Ausführung von Stapelfunktionen kann durch die Definition von Parameterwerten beeinflusst werden. Die für eine Stapelfunktion möglichen Parameter sind dem Operator ihrem Namen nach bekannt. Durch Angabe des Parameternamens und dessen neuen Wertes wird der Ablauf im Dialogverkehr beeinflusst. Die neue Wertvorgabe erfolgt ganzzahlig und dezimal.

- Parameter auf Anfangswerte zurücksetzen

Aufruf : *PARANF §

Wirkung: Alle durch PMOD veränderten Parameter werden auf ihre ursprünglichen Werte zurückgesetzt.

- Auflisten der Parameternamen und Werte

Aufruf : *PLIST § oder

*PLIST name §

Wirkung: Der im Aufruf angegebene Parametername wird mit seinem aktuellen und seinem Anfangswert ausgedruckt. Ist das Feld "name" im Aufruf leer, so werden alle Parameter berücksichtigt und tabellarisch ausgegeben. Der Ausdruck des aktuellen Wertes wird unterdrückt, falls er identisch mit seinem Anfangswert ist.

Format des Ausdrucks: 1. Spalte: Parametername
2. Spalte: Anfangswert
3. Spalte: aktueller Wert

6.3.2.2 Stapelfunktionen

Die folgenden Phasen und ihre gegenseitige Verknüpfung werden unter dem Begriff Stapelfunktionen zusammengefaßt. Die verwendeten Struktursymbole sind in Abb. 6.7 dargestellt.

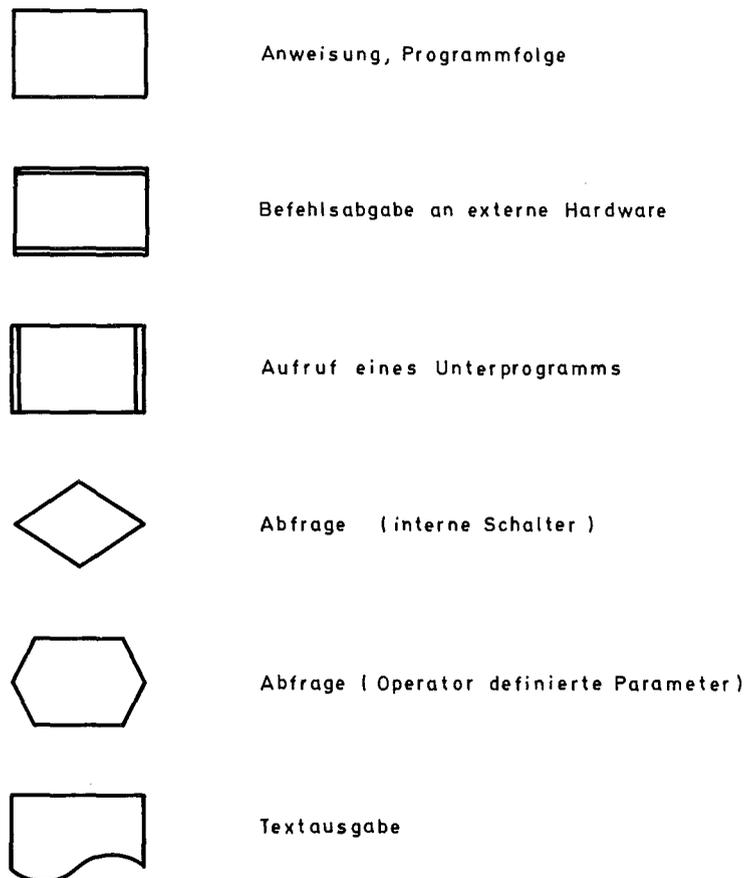


Abb. 6.7 Struktursymbole

- Absenken der Sonde (s. Abb. 6.8)

Aufruf : *SENKEN §

Parameter: SHALT; TSENK

Wirkung: Die Senkphase überwacht den Absenkvorgang der Sonde. Der Beginn des manuellen Senkvorganges sowie das Stoppen wird nicht wie bei allen anderen Stapelfunktionen durch diese Phase initiiert. SENKEN interpretiert die ge-

wonnenen Meßdaten und protokolliert sie auf dem Terminal.
Nach Ablauf des Zeitintervalls TSENK (sec) wird die jeweilige Tauchtiefe ausgedruckt. Bei erkanntem Bodenkontakt wird dies fortlaufend gemeldet. Die Senkphase wird durch Setzen des Parameters SHALT auf den Wert 1 abgebrochen.
Anfangswerte: SHALT = 0
TSENK = 60 s

- Anheben der Sonde (s.Abb. 6.8)
Aufruf: *HEBEN \$
Parameter, Funktion und Abbruch dieser Phase wie bei SENKEN.

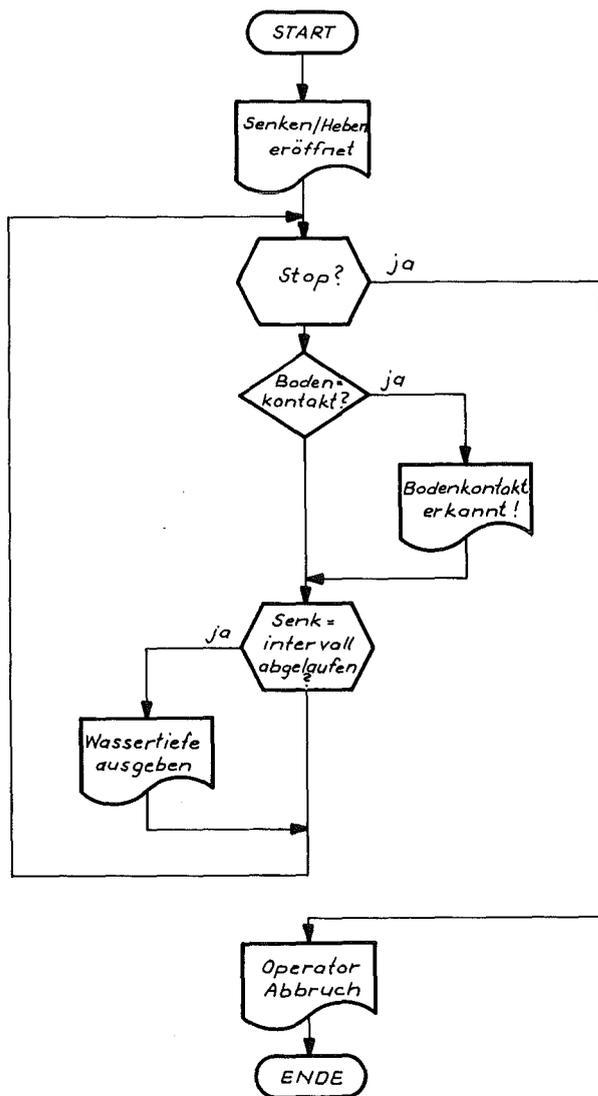


Abb. 6.8 Senken / Heben

- Meßphase (s. Abb. 6.9)

Aufruf : *MESSEN §

Parameter: TMESS, DIFFGE, VORAB

Wirkung: Nach Ablauf der frei wählbaren Meßzeit TMESS (s) werden die in den Bordspeichern vorhandenen Daten in den Kernspeicher übertragen. Die Meßphase protokolliert und vergleicht die Detektortemperatur vor und nach der Messung auf Grenzwertüberschreitung. Dieser Grenzwert ist als Parameter DIFFGE modifizierbar. Wird der vorzeitige Abbruch der Meßphase gewünscht, so ist der Parameter VORAB auf 1 zu setzen. (Vorabanalyse negativ)

Anfangswerte: TMESS = 900 s

VORAB = 0

DIFFGE = 10

- Leerphase (s. Abb. 6.10)

Aufruf : *LEEREN §

Parameter: TLEER, LVER

Wirkung: Das Ausleeren der zuvor gesammelten Knollen aus dem Analysengefäß wird durch die Leerphase gesteuert. Die Zustände von Klappenmotor und Schließmechanismus der Klappen werden auf Plausibilität überprüft. Die maximale Leerzeit wird durch den Parameter TLEER bestimmt. Wird der Leervorgang nicht erfolgreich abgeschlossen, so werden neue Leerversuche eingeleitet. Die Anzahl der erlaubten Leerversuche wird durch den Parameter LVER beschränkt.

Anfangswerte: TLEER = 15 s

LVER = 2

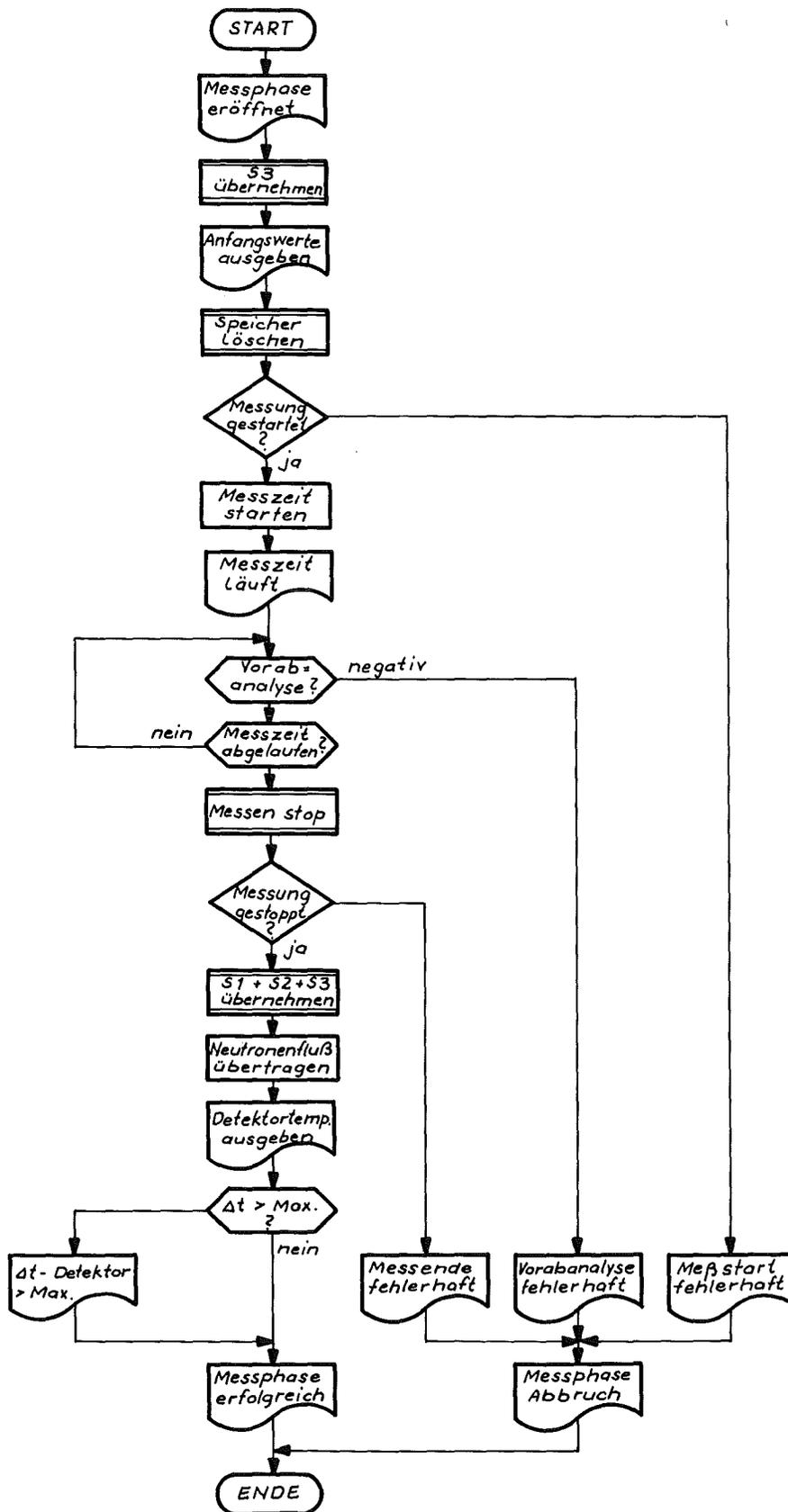


Abb. 6.9 Messen

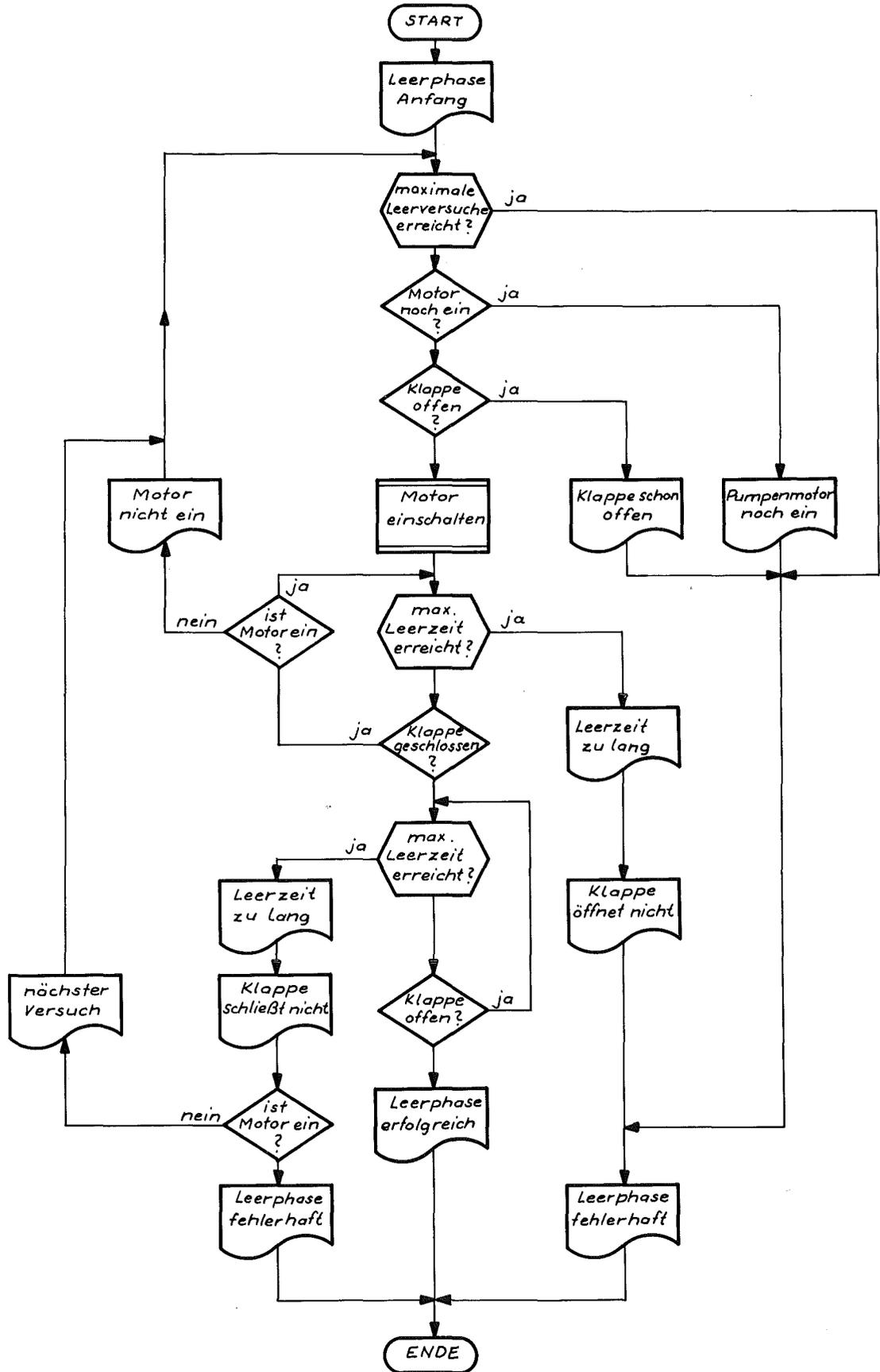


Abb. 6.10 Leeren

- Pumpphase (s. Abb. 6.11)

Aufruf: *PUMPEN §

Parameter: TPUMP, TREST, PVER, SNFL

Wirkung: Die Pumpphase steuert und überwacht das Füllen des Analysengefäßes. Kriterium für den Erfolg der Pumpphase ist der Neutronenflußwert. Die Neutronenflußschranke SNFL ist als Parameter frei wählbar. Die Phase gilt als erfolgreich, wenn diese Schranke unterschritten wird. In diesem Fall wird die Pumpzeit TPUMP (s) um die Restpumpzeit TREST (s) verlängert. Wird die Neutronenflußschranke nicht innerhalb des Zeitintervalls TPUMP unterschritten, so gilt dieser Pumpversuch als erfolglos. In diesem Fall wird die Bodenkontakttrate ausgedruckt, eine Leerphase automatisch zwischengeschaltet und ein neuer Pumpversuch begonnen. Die Anzahl der Pumpversuche wird durch den Parameter PVER beschränkt.

Anfangswerte: TPUMP = 30 s
TREST = 10 s
PVER = 2
SNFL = 1000

- Spektrenanalyse (s. Abb. 6.12)

Aufruf : *ANALYS §

Parameter: DTAPE

Wirkung: Alle Softwareschalter werden derart gesetzt, daß in der sich automatisch anschließenden Spektrenauswertung die BASIC-Verarbeitung "Knollenspektrum" ausgeführt wird. Der Parameter DTAPE beeinflußt die Datensicherung auf DEctape; soll das Knollenspektrum auf Magnetband gesichert werden, so ist der Parameter auf 1 zu setzen.

Anfangswerte: DTAPE = 0

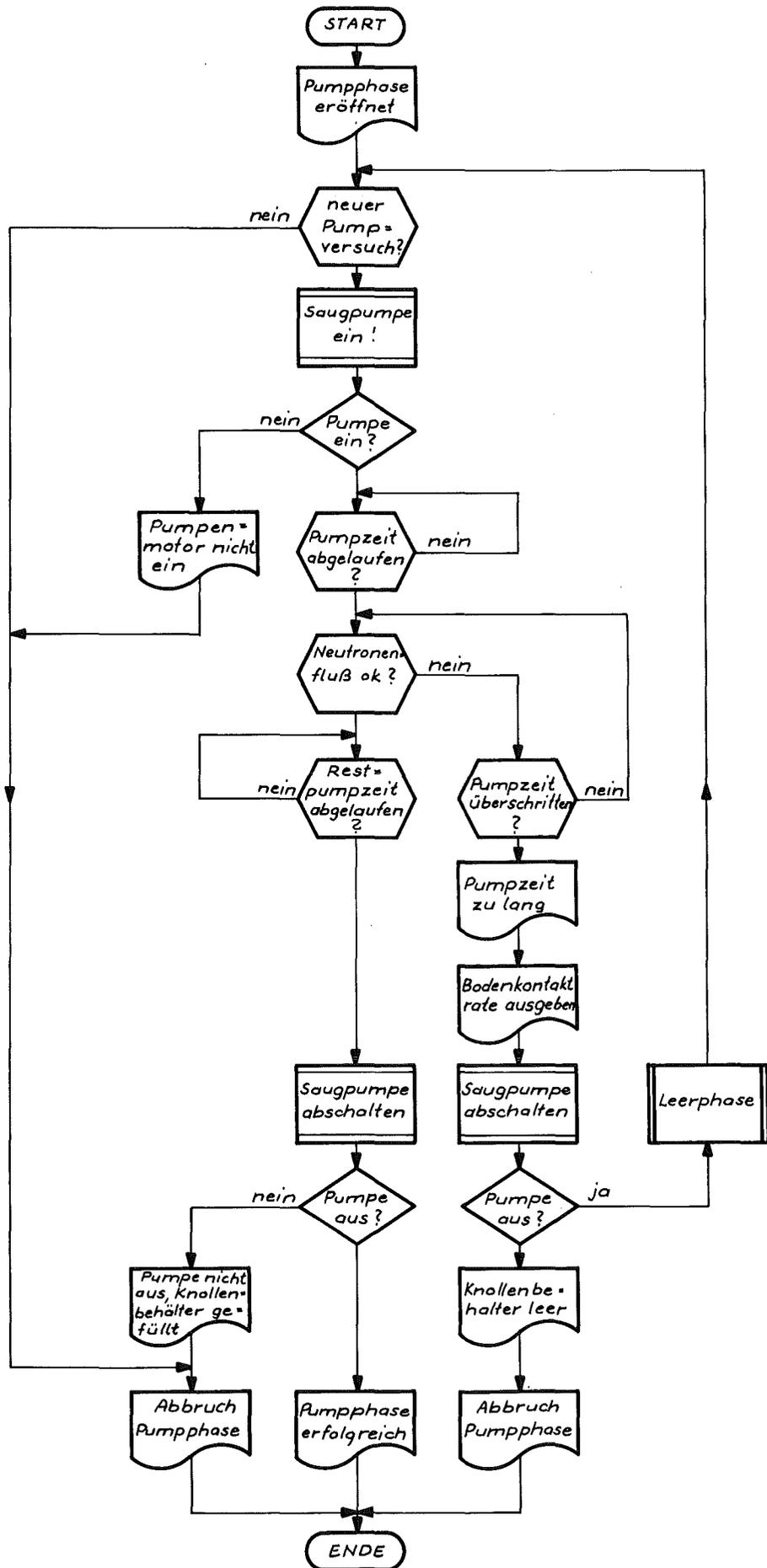


Abb. 6.11 Pumpen

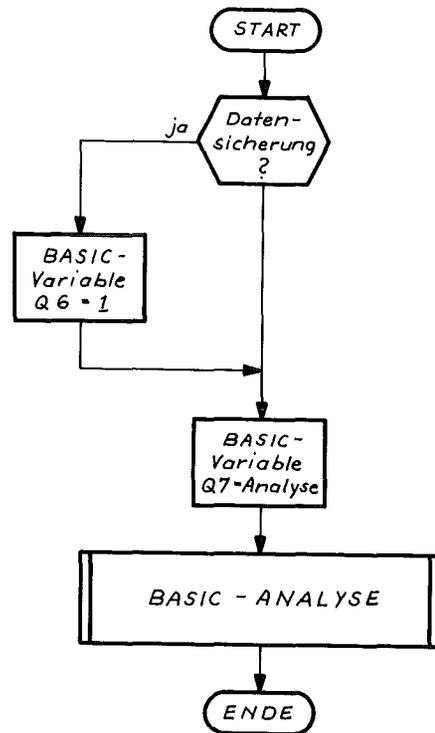


Abb.6.12 Spektrenauswertung - ANALYS

- Meerwasserphase (s. Abb. 6.13)
Aufruf: *CLTST §
Parameter: DTAPE
Wirkung: Wie bei ANALYS, jedoch werden alle Software-
schalter auf "Meerwasserspektrum" gesetzt. Die Datensicherung
wird über DTAPE ein/ausgeschaltet.

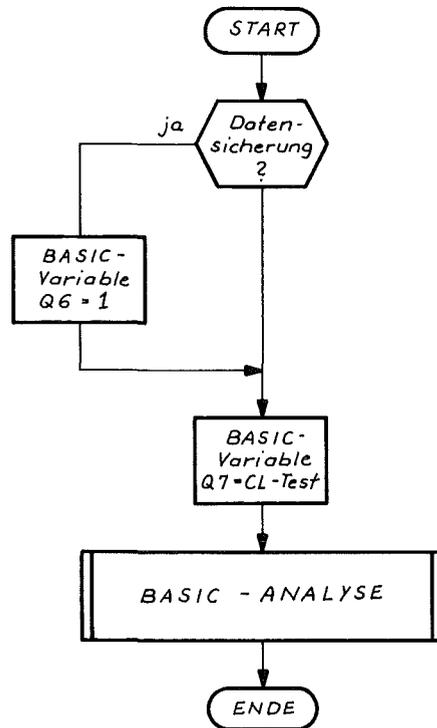


Abb. 6.13 Meerwassertest - CLTST

- Analysen Zyklus (s. Abb. 6.14)

Aufruf: *ZYK1 §

Parameter: DTAPE, TYK

Wirkung: Die Stapelfunktion ZYK1 verknüpft die einzelnen Phasen Spektrenanalyse, Meerwasserphase, Leeren, Messen und Pumpen zu einer neuen Einheit. Diese Funktion hat zyklische Eigenschaft, d.h. nach erfolgreichem Abschluß von ZYK1 wird die Funktion ohne Eingriff des Operateurs durch das Steuerprogramm neu aufgerufen. Wird ein Zyklus nicht erfolgreich durchlaufen, so erscheint die Fehlermeldung der fehlerhaften Teilfunktion und der Zyklus wird beendet. Die Reihenfolge der Phasenverknüpfung ist:

- LEEREN
- MESSEN
- CLTST
- PUMPEN
- MESSEN
- ANALYS

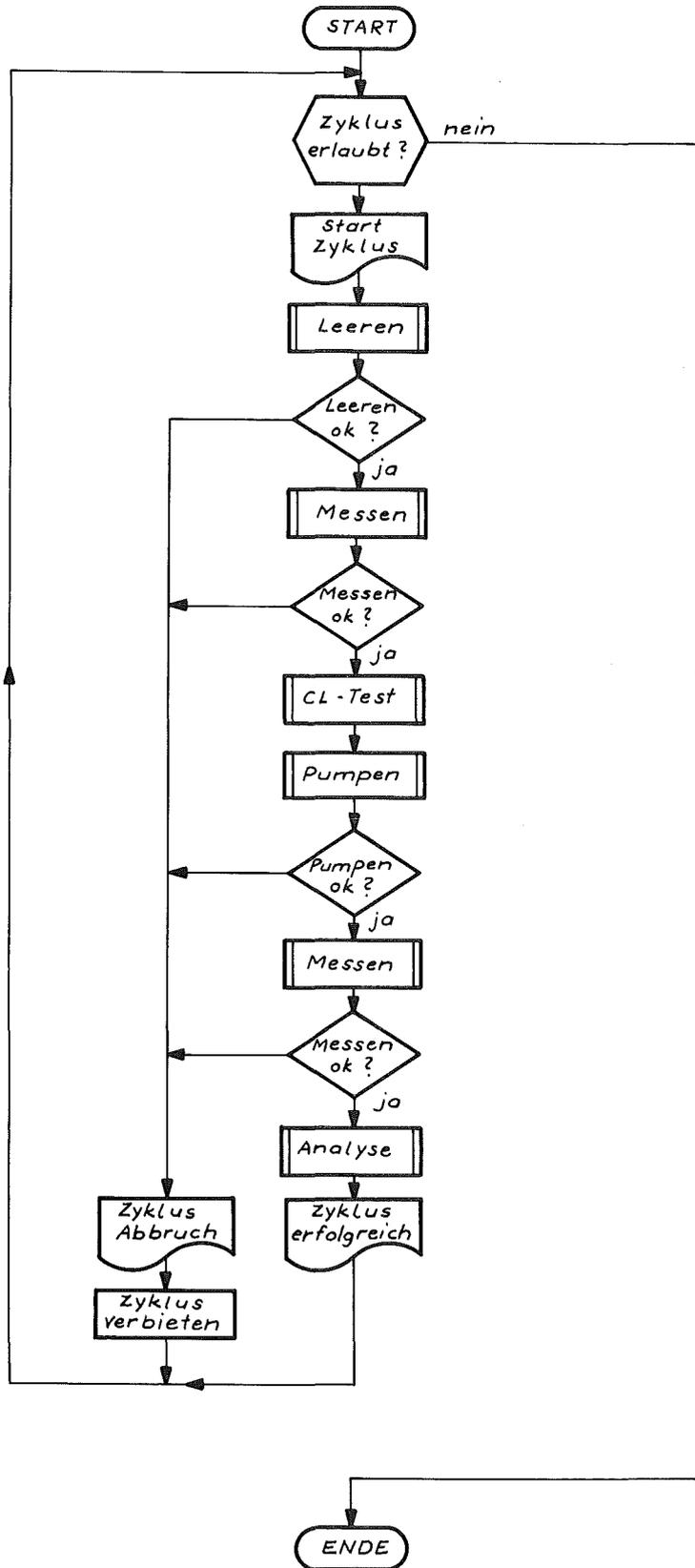


Abb. 6.14 Analysenzyklus - ZYK1

Wünscht der Operateur den Abschluß des Analysenzyklus, so wird der Zyklusparameter ZYK auf Null gesetzt. Der noch laufende Analysenzyklus wird ordnungsgemäß mit der letzten Teilfunktion vor dem Wiederaufruf abgebrochen.

Anfangswerte: ZYK = 1
DTAPE = 0

6.3.2.3 Parameter

Der Ablauf des Versuchs wird durch die Vergabe von Parameterwerten beeinflusst. Parameter können Schalterfunktionen festlegen (z.B. Datensicherung ein/aus) und numerische Daten definieren (z.B. Meßzeit). Dem Operateur sind die Parameter namentlich bekannt; im Dialog können diese Größen jederzeit verändert werden.

- TAPE Datensicherung
- ZYK Zyklusmerker
- VORAB Vorabanalyse
- SHALT Senken/Heben Operateur halt
- TLEER Leerzeit
- TMESS Meßzeit
- TPUMP Pumpzeit
- TREST Restpumpzeit
- TSENK Intervall Senken/Heben
- DIFFGE Ge-Detektortemperaturdifferenz
- PVER Pumpversuche
- LVER Leerversuche
- SNFL Neutronenflußschranke

6.3.2.4 Überwachungsdaten und Fehlerdiagnose

Über den Drucker werden dem Benutzer Alarmzustände, Fehlermeldungen und typische Daten mitgeteilt. Im Alarm- und Fehlerfall hat der Benutzer geeignete Maßnahmen zur Behebung der Störungsursache einzuleiten bzw. gewonnene Meßdaten unter Berücksichtigung des Störungsfalles zu interpretieren. Das überwachende Programm erkennt die folgenden Zustände:

- Alarmmeldungen

Alarm	Fehler Übertragungsstrecke	
Alarm	Kühlung	
Alarm	Nässe	
Alarm	Beschleunigung	
Alarm	Sync-Loss	
Alarm	Temperatur Ge-Detektor	= wert
Alarm	Temperatur Druckbehälter	= wert
Alarm	Neigung	= wert

- Operateur Dialog

Syntaxfehler
Auftragsstapel belegt
Warteposition
Funktion nicht im Auftragsstapel
Auftragsstapel leer

- Leerphase

Leerphase eröffnet
Leerzeit zu lang
Klappe schon offen
nächster Versuch Leeren
Leerphase erfolgreich
Leerphase fehlerhaft abgebrochen
Klappenmotor nicht ein
Klappe öffnet nicht
Klappe schließt nicht
Motor nicht ein! Befehlswirkung?
Motor ein! Leerzeit zu kurz

- Pumpphase
 - Pumpphase eröffnet
 - Pumpzeit zu lang
 - Bodenkontaktrate = wert
 - Pumpenmotor nicht ein
 - Pumpenmotor nicht aus
 - nächster Pumpversuch
 - Pumpphase fehlerhaft abgebrochen
 - Pumpphase erfolgreich
 - Knolle klemmt?

- Meßphase
 - Meßphase eröffnet
 - Meßzeit läuft
 - Tauchtiefe = wert
 - Anfangstemperatur Detektor = wert
 - Druckbehältertemperaturen = wert
 - Vorabanalyse negativ
 - Endtemperatur Detektor = wert
 - Detektortemperaturdifferenz größer Maximum
 - Meßphase erfolgreich
 - Meßphase fehlerhaft abgebrochen

- Analysenzyklus
 - Start Zyklus
 - Zyklus erfolgreich
 - Zyklus fehlerhaft abgebrochen

- Senken/Heben
 - Start Senken/Heben
 - Bodenkontakt erreicht
 - Tauchtiefe = wert
 - Operator Abbruch Senken/Heben

- Statusinformation
 - Fehlerregister = wert
 - Befehlsecho = wert
 - Kennwort = wert
 - Statusregister = wert

7. MECHANISCHE TESTS

Alle benutzten Komponenten sollten soweit wie möglich Beanspruchungs- und Funktionstests unterzogen werden, wobei die späteren Betriebsbedingungen möglichst genau simuliert werden sollten.

7.1 Schwingungsverhalten des Geräteträgers im Schleppgestell

Um von außen kommende Stöße beim Handling oder Schleppen am Grund auf den inneren Geräteträger abzdämpfen, stützt sich dieser mit 4 Federbeinen auf der Bodenplatte des Schleppgestells ab und ist mit 8 Rückholfedern seitlich verspannt. Abb. 7.1 zeigt den Aufbau eines solchen Federbeines. Nach oben wird der Federweg durch 4 Stahlseile begrenzt.

Diese Aufhängung ist so ausgelegt, daß stoßartige Belastungen von außen Beschleunigungen bis maximal 1,5 g an dem Geräteträger ergeben. Beim Schleppen auf dem Meeresboden sind Werte über 0,5 g nicht zu erwarten.

Alle Komponenten wurden durch Dummy-Gewichte entsprechend der Endausführung simuliert, wobei sowohl das Gewicht in Luft als auch in Wasser wahlweise hergestellt werden konnte (s. Abb. 7.2).

Folgende Einzelversuche sollten Aufschluß über die Wirksamkeit der Federung geben:

- Fallversuche aus 25 cm Höhe auf eine Betonstraße,
- seitliches Aufprallen gegen eine Betonwand aus 1 m Abstand im aufgehängten Zustand,
- Schleppen über eine mit Hindernissen belegte Kiesstrecke.

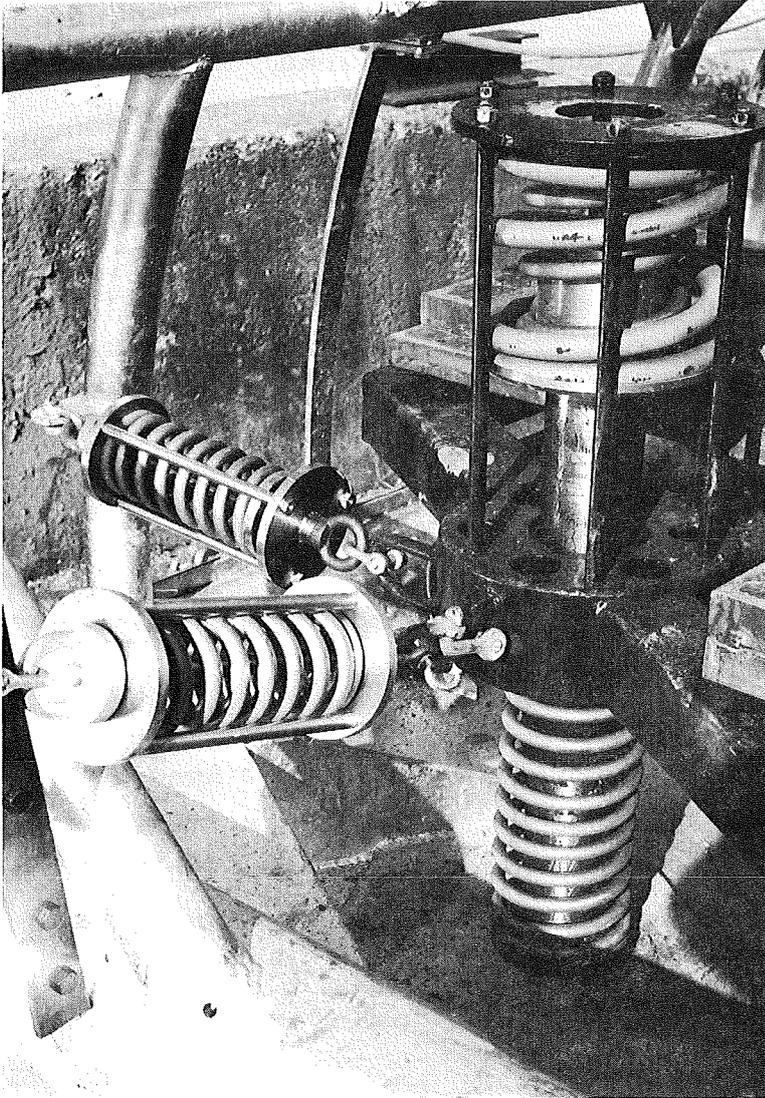
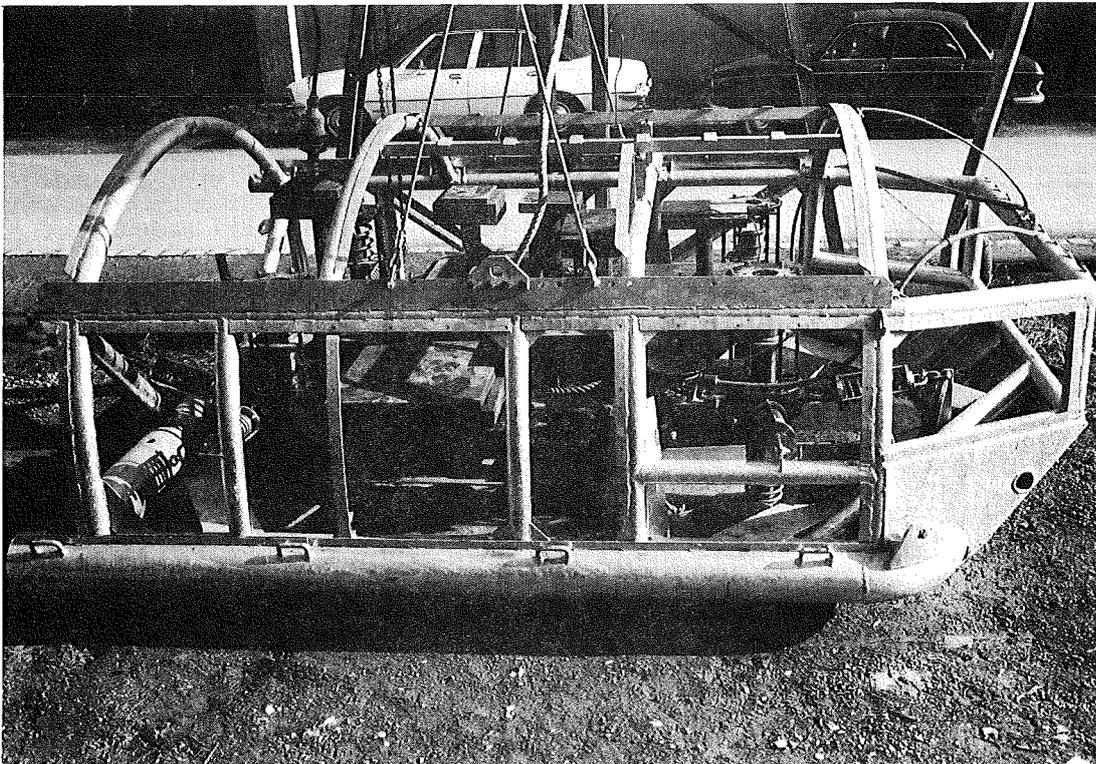


Abb. 7.1

Aufbau eines Federbeines zur Abdämpfung des Geräteträgers gegenüber dem Schleppgestell

Abb. 7.2

Schleppgestell mit Geräteträger, auf dem alle Komponenten durch Dummy-Gewichte simuliert sind



Die Beschleunigungen in 3 Achsen und die Lagewinkel in 2 Achsen wurden mittels eines Lichtstrahloszillographen aufgezeichnet, wobei als Verbindungsleitung ein 150 m langes, stahlarmiertes und geschirmtes Kabel benutzt wurde. Die Bewegung des Feder-systems wurde mit einer High-Speed-Kamera aufgenommen. Die Meßaufnehmer am Geräteträger waren in einem Druckbehälter gekapselt, so daß sie auch bei den ersten Seeversuchen benutzt werden konnten.

Bei der Auswertung zeigte es sich, daß die Beschleunigungsaufnehmer im Resonanzbereich gearbeitet hatten, so daß die Meßergebnisse nur bedingt auswertbar waren. Für die weiteren Versuche wurde daher der Druckbehälter auf Schwingmetalle gelagert, so daß ähnliche Dämpfungseigenschaften für die Aufnehmer vorhanden waren wie bei dem in der Schleppsonde eingesetzten Kryostaten und die Resonanzfrequenz nicht angeregt wurde. Da zu hohe Beschleunigungen vor allem die Auflösung des Detektors im Kryostaten verschlechtern, entsprach dieser Weg den Forderungen. Die angewandte Federkonstruktion erwies sich als geeignet, was auch die nachfolgenden Versuche an Bord des FS "Valdivia" zeigten.

7.2 Erste Seerprobung bei Helgoland

Da das FS "Valdivia" Ende des Jahres 1974 für Umbauarbeiten nach Deutschland kam, war vorgesehen, die Werftprobefahrt von Bremerhaven aus im April 1975 für eine Funktions- und Handlingserprobung der Schleppsonde zu nutzen. Insbesondere die Verwendung des neuen hydraulisch schwenkbaren Heckgalgens beim Handling, die Verwendbarkeit der Bordkräne beim Umstellen an Deck, die Funktion des Seiltagebuches und das Verhalten der Sonde beim Ablassen in der Heckaufschleppe und im Wasser sollten erprobt werden. Der Platz zum Aufstellen des Containers mit den radioaktiven Quellen und die Möglichkeiten zum Verlegen der Schlauchleitungen zum Einbringen der Cf-Quelle in die Sonde und des Meßkabels sollten ausgewählt werden.

Zunächst wurden im Hafen zum Training der Mannschaft und zum Überprüfen der Sondenaufhängung und des Einschleusvorgangs für die ^{252}Cf -Quelle einige Handlingsversuche durchgeführt. Es ergaben sich keinerlei größere Schwierigkeiten. Die einzelnen Schritte waren in einer vorläufigen Handlungsanweisung festgelegt worden, die in Zusammenarbeit mit der GKSS, der Reederei und den Schiffsführern erarbeitet worden war.

Durch Einstellungsungenauigkeiten an der umgebauten Windenanlage und Unkenntnis des Bewegungsverhaltens des neuen Heckgalgens verlor die Sonde in der Heckaufschleppe gelegentlich den Bodenkontakt, so daß einige vermeidbare harte Stöße auf den Geräteträger übertragen wurden.

Bei diesen Versuchen wurde der Wirbelschäkel nur als mechanisches Bindeglied zwischen Hahnepotaufhängung der Sonde und Schleppseil benutzt, wobei der innere Steckerteil als Dummy ausgeführt war.

Der erste Einsatz auf See wurde auf einer Position von $54^{\circ}12'30''\text{N}$ und $7^{\circ}57'28''\text{O}$ vor Helgoland vorgenommen. Bei Windstärke 6 und Seegang 3 bis 4 wurde die Sonde einer harten Belastungsprobe unterzogen. Es zeigte sich, daß einige Änderungen beim Handlungsablauf und bei den Hilfseinrichtungen notwendig waren, um einen zeitlich schnellen Ablauf des Ein- und Ausbringens der Sonde zu ermöglichen. Da das Schiff eine zu geringe Fahrt machte, hatte die Sonde im Wasser eine zu geringe Anströmung, so daß ihr Verhalten unkontrolliert war. Bei einer Wassertiefe von 20 m und bei 10 m ausgesteckter Seillänge wurden Nickbewegungen von $\pm 25^{\circ}$ gemessen, was auf die zu geringe Geschwindigkeit und die starken Heckbewegungen bei der herrschenden rauhen See zurückzuführen war. Außerdem wurde beim Einholen festgestellt, daß sich die vordere Verkleidung gelöst hatte, wodurch die Stabilität nicht mehr gewährleistet war. Das hydrodynamische Verhalten konnte daher nur kurzzeitig überprüft werden. Auch das Seiltagebuch der Windenanlage zeigte erhebliche Mängel. Das Ein- und Ausschleusen der Neutronenquelle erwies sich als gangbar. Änderungen an der Verkleidung und am Handlungsablauf wurden im Anschluß ausgeführt.

7.3 Zweite Seerprobung vor der westafrikanischen Küste

Um die Meßergebnisse zu ergänzen, Seiltagebuchmessungen zu gewinnen und einen ersten Tiefwasserversuch auszuführen, wurde ein zweiter Seerversuch im Anschluß an die Westafrika-Expedition, woran das FS "Valdivia" im Rahmen des Deep Sea Drilling Project (DSDP) teilnahm, vom 15. - 21.8.1975 vorgenommen.

Die vordere Verkleidung war mit Stahlblech verstärkt worden. Das offene Heck des Schleppgestells war mit einem Lochblech versehen worden, um die Energie der eindringenden Wassermassen zu verringern (s. Abb. 7.3).

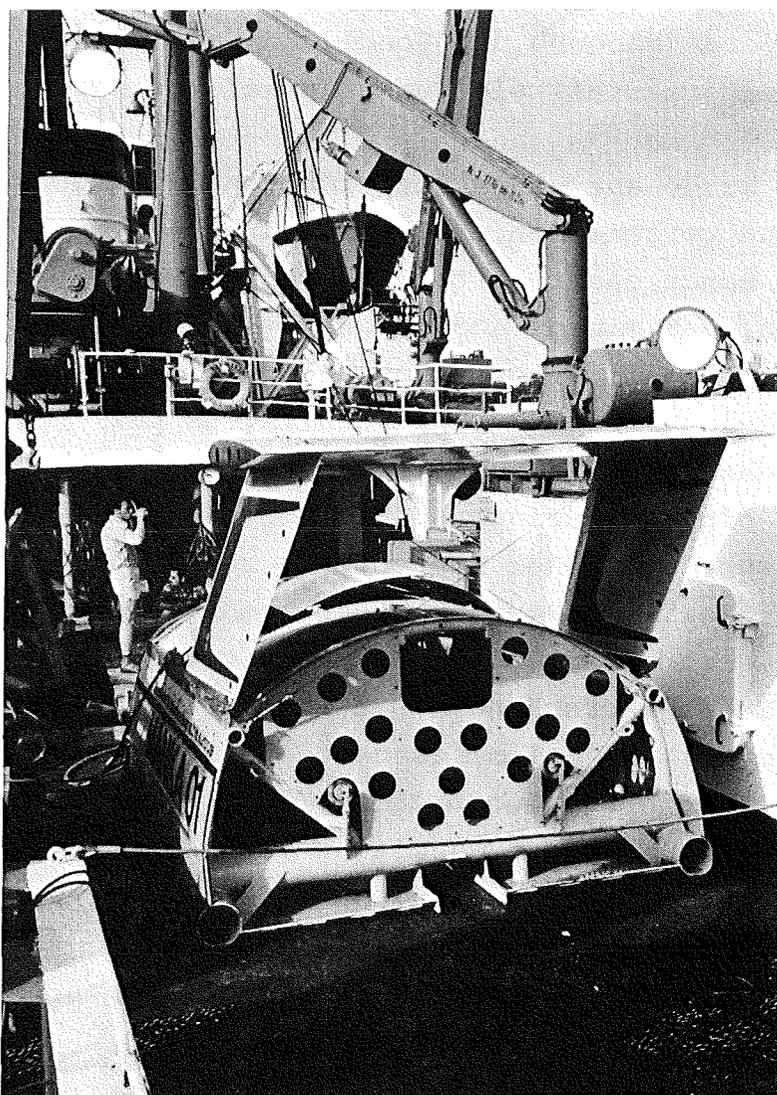


Abb. 7.3
Lochblech am Heck
der MANKA.
(An Bord des
FS 'Valdivia')

Zusätzlich zu den bereits bei Helgoland benutzten Meßgeräten wurden von der Fa. Dornier System Beschleunigungsaufnehmer am Heck des Schiffes montiert. Das Meßkabel zur Sonde lief seitlich über eine Rolle am Heckgalgen und hatte am Ende eine Sollbruchstelle in Form einer Steckverbindung.

Der Hahnpot der Sonde war über einen handelsüblichen Wirbelschäkel an einer Kausch befestigt, an der das Tiefseeseil mit sechs Seilklemmen befestigt war. Zur Sicherheit wurde ein 80 m langes, 16 mm dickes Stahlseil am Hahnpot mit Seilklemmen angeschlagen und am oberen Ende mit Auftriebskörpern versehen. Dieses Seil wurde auf dem Arbeitsdeck ausgelegt, um bei einem eventuellen Bruch des Tiefseeseils von Deck gezogen zu werden, den Standort der Sonde zu kennzeichnen und als Bergungsseil benutzt zu werden.

Die Flachwasserversuche sollten in einem bathymetrisch vermessenen Gebiet mit Tiefen bis maximal 50 m erfolgen, wobei das Verhalten der Sonde bei verschiedenen Geschwindigkeiten mit und ohne Bodenkontakt beobachtet werden sollte. Nach Aufbringen von Störwinkeln sollte das Einschwingverhalten mit Hilfe der Neigungsmesser aufgezeichnet werden.

Nach einem Handling ohne Probleme bei 3 kn Fahrt zeigte sich die Sonde hydrodynamisch stabil, sobald das Leitwerk im Wasser war. Bei ca. 7 m ausgesteckter Seillänge und einer Lastanzeige am Seiltagebuch von nur 3 Mp rutschte das Tiefseeseil aus den von der Besatzung angelegten Seilklemmen. Sowohl das Sicherungsseil als auch das Meßkabel wurden von Deck gezogen, wobei diese Phase einschließlich des Aufsetzvorganges auf dem Meeresboden in ca. 42 m Wassertiefe meßtechnisch erfaßt werden konnte, bevor das Meßkabel an der Steckverbindung gelöst werden mußte. Die höchste gemessene Beschleunigung betrug hierbei 1,4 g (s. Tabelle 7.I).

Zeit	Seiltagebuchwerte			Meßwerte am Geräteträger			Schiffsgeschwindigkeit [kn]	Bemerkungen
	Seillänge [m]	Last [Mp]	Seilgeschw. [m/min]	Beschleunigung [g]	Lagewinkel [°]			
					längs	quer		
7.08 bis 7.13	-	-	-	-	-	-	2,7	Schleppgestell in der Aufschleppe
7.13 bis 7.18	0	3,3	0	0,5	+ 11 - 5	± 6	2,7 bis 3,0	Schleppgestell im Wasser. Abgleich der Seillänge auf 0
7.18 bis 7.19	0 bis 7	4,5	0 bis 14	0,6	+ 10 - 3	± 8	3,0	Absenken des Schleppgestells
7.19	7	3,0	14	0,5	+ 6	- 6	3,0	Schleppgestell aus der Seilbefestigung gerutscht
7.19 bis 7.20	7 bis 16	-	13	0,5	+ 10 - 20	± 9	3,0	Schleppgestell sinkt frei zum Meeresboden
7.20	16	-	-	1,4	0	0	3,0	Aufsetzen des Schleppgestells auf dem Meeresboden

Tab. 7.I Verhalten des Schleppgestells beim Flachwasserversuch. Die angegebenen Werte für Last, Beschleunigung und Lagewinkel sind jeweils Maximalwerte im betreffenden Zeitraum (+ $\hat{=}$ Neigung der Front nach oben).

Auch bei dem sofort eingeleiteten Bergungsversuch mit Hilfe des Sicherungsseils rutschte dieses aus den Seilklemmen, so daß sich die Sonde nunmehr ohne Markierung auf dem Meeresgrund befand. Nachdem am vermeintlichen Verlustort eine Boje gesetzt worden war, wurden mit dem 12 kHz- und dem 18 kHz-Echolot Suchfahrten unternommen. Zusätzlich wurde mit dem Arbeitsboot und dem Schlauchboot des FS "Valdivia", ausgerüstet mit einem Schleppnetz, der Verlustort abgesucht.

Mit Hilfe einer Tauchergruppe aus Dakar konnte nach zweitägiger Suche die Sonde in der Nähe der Positionsboje gefunden werden.

Durch einen nicht gekappten Schleppanker des Taucherbootes wurde bei der Bergung, die keinerlei Schwierigkeiten machte, das Leitwerk beschädigt, so daß dies gegen ein Reserveleitwerk ausgetauscht werden mußte. Abb. 7.4 zeigt die Sonde in der Heckaufschleppe nach der Bergung.

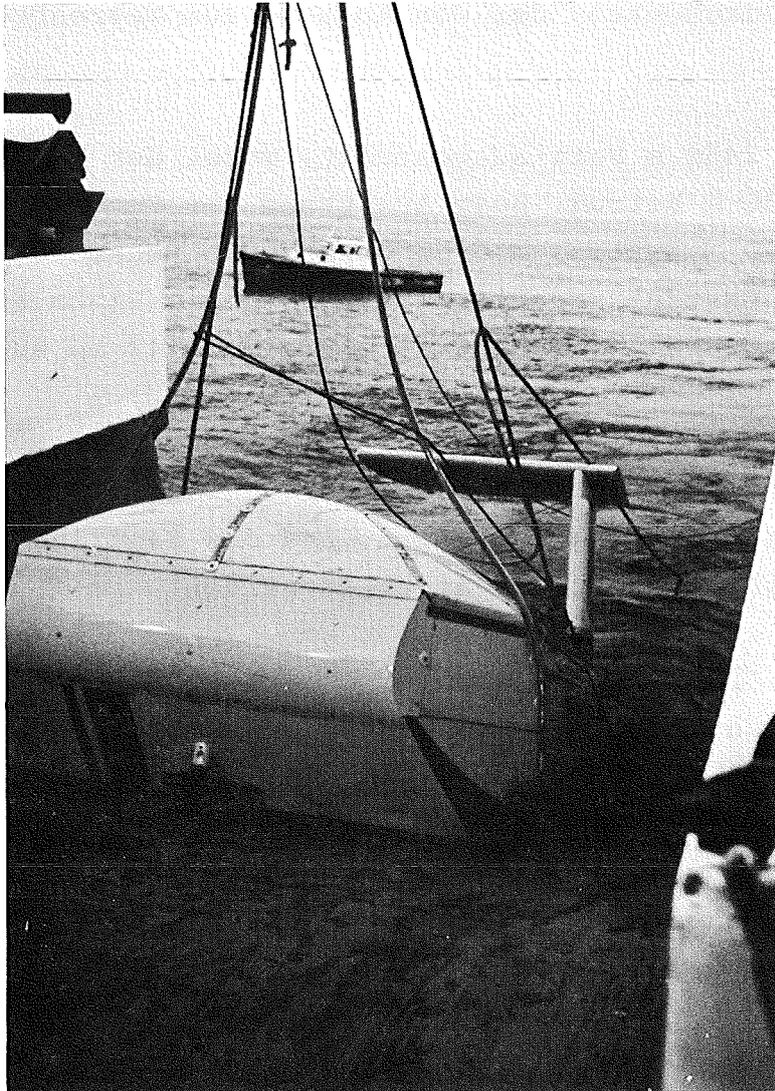


Abb. 7.4 MANKA nach der Bergung in der Heckaufschleppe mit beschädigtem Leitwerk.

Da über das nicht längswasserdichte Meßkabel der Druckbehälter der Meßeinrichtung voll Wasser gelaufen war, mußten die Flachwasserversuche abgebrochen werden. Aus Zeitgründen war es nicht möglich, eine Reparatur auszuführen, da unbedingt noch ein Tiefseeversuch unternommen werden sollte. Dabei wurde lediglich ein ca. 20 m über der Sonde am Tiefseeseil befestigter Benthos-Pinger 10/24 eingesetzt, der den Abstand zum Meeresboden anzeigte.

Es wurden ca. 2450 m Seil ausgesteckt, wobei der geringste Bodenabstand 30 m betrug. Beim Aussetzen der Sonde und im Bereich bis 500 m traten, bedingt durch die Heckbewegungen des Schiffes, Lastspitzen bis zu 6,5 Mp, beim Einholen im Bereich der letzten 700 m Lastspitzen bis zu 12 Mp auf.

Aufgrund dieser Versuche wurden die Ergebnisse der hydrodynamischen Modellversuche und die Berechnungen hinsichtlich der Beschleunigungswerte bestätigt, und das Handling an Bord konnte in endgültiger Form festgelegt werden.

7.4 Handling an Bord des FS "Valdivia"

Das Handling setzt sich aus dem mechanischen und dem nuklearen Teil zusammen. Zum besseren Verständnis ist zunächst der Aufbau der beiden radioaktiven Quellen und ihrer Abschirmbehälter beschrieben.

Die Aktivität der ^{252}Cf -Quelle beträgt 0,5 Ci. Bei der Herstellung wird das Californium in Form von Cf_2O_3 an ein Absorbermaterial gebunden, in einen Platinzylinder (4,5 mm Länge, 4,5 mm Durchmesser) gepreßt und in einen Zirkaloy-2-Zylinder verschweißt (s. Abb. 7.5). Dieser wird wiederum in eine Kugelkapsel eingeschweißt, die als Druckbehälter für 650 bar Außendruck ausgelegt ist. Diese Kapsel wurde von der

Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) in Berlin einer "special form of radioactive material"-Prüfung unterzogen und genehmigt. Die Kapsel wird in einem nach den IAE0-Bestimmungen als Typ A-Behälter (s. Abb. 7.6) ausgelegten Transportbehälter so fixiert, daß sie durch Aufbringen eines Überdruckes von 6 bar pneumatisch in den Quellenhalter der Sonde gefördert werden kann. Eine Beförderungsgenehmigung und Voranmeldung für einen Transport der ^{252}Cf -Quelle im In- und Ausland durch eine Behörde ist daher nicht notwendig.

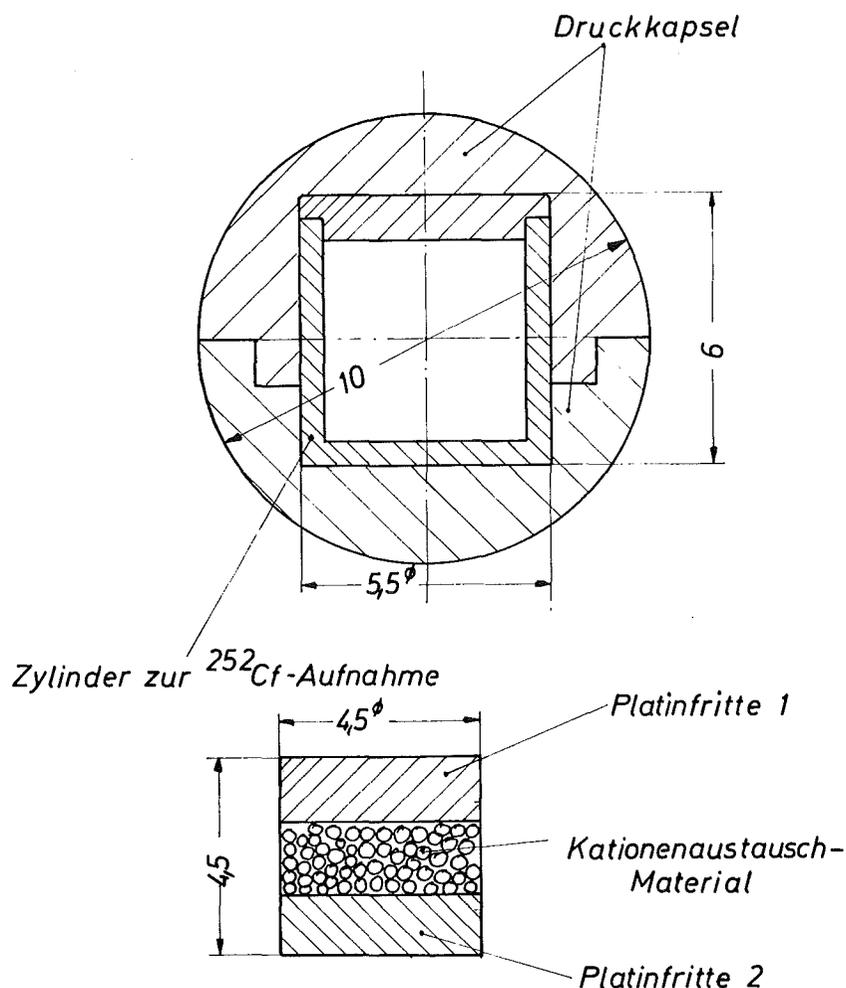


Abb. 7.5 Kapsel für die 1 mg ^{252}Cf -Quelle

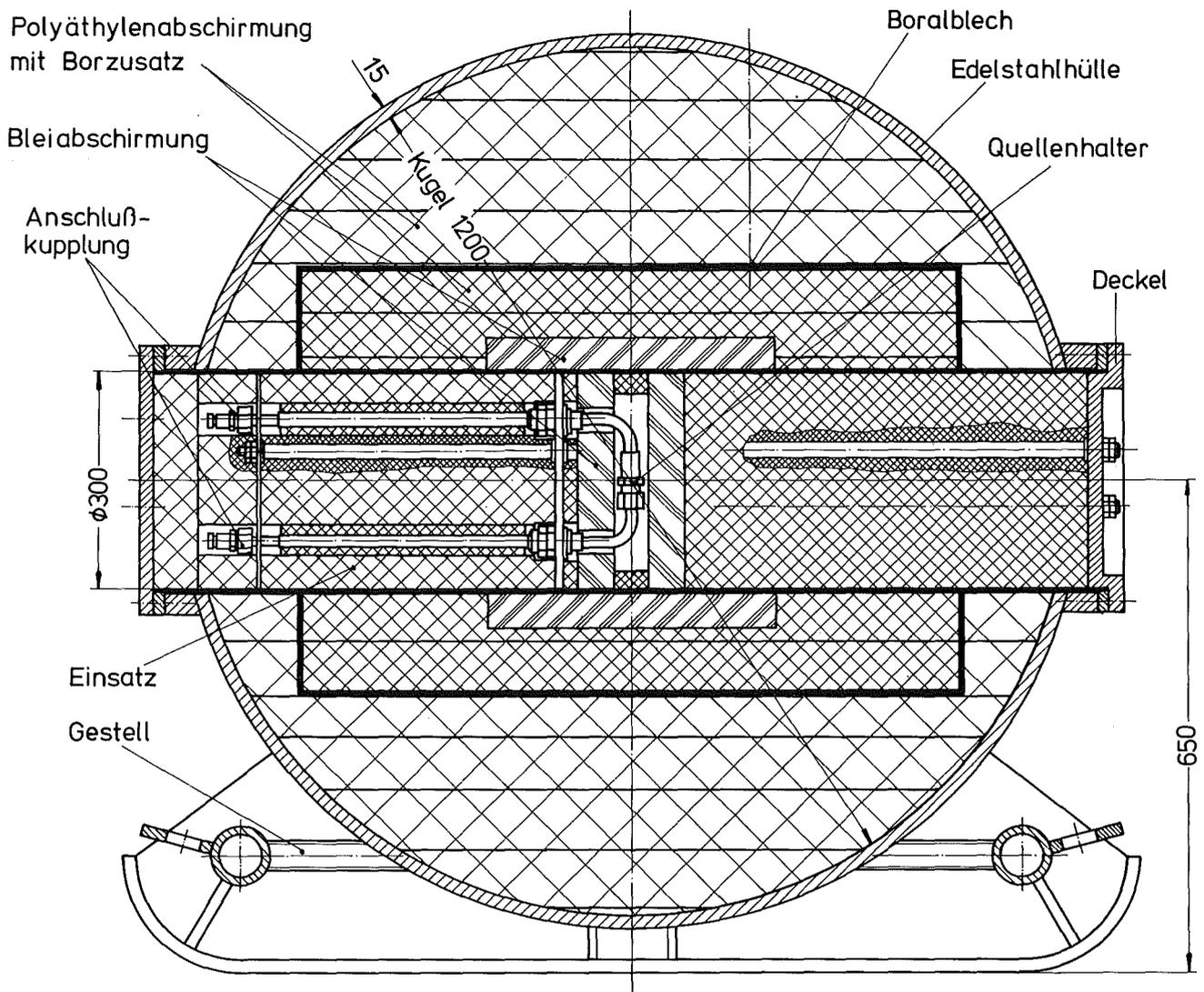


Abb. 7.6 Transportbehälter für die ^{252}Cf -Quelle

Die 30 mCi ^{228}Th -Linienquelle (s. Abb. 7.7) ist ebenfalls druckgekapselt und in einem Typ A-Behälter nach Abb. 7.8 untergebracht. Es gelten die gleichen Bestimmungen wie bei der ^{252}Cf -Quelle. Diese Quelle wird zusammen mit dem Quellenhalter vor einem Versuch von Hand in die Sonde eingebracht.

Abb. 7.7 Kapsel für die ^{228}Th -Linienquelle

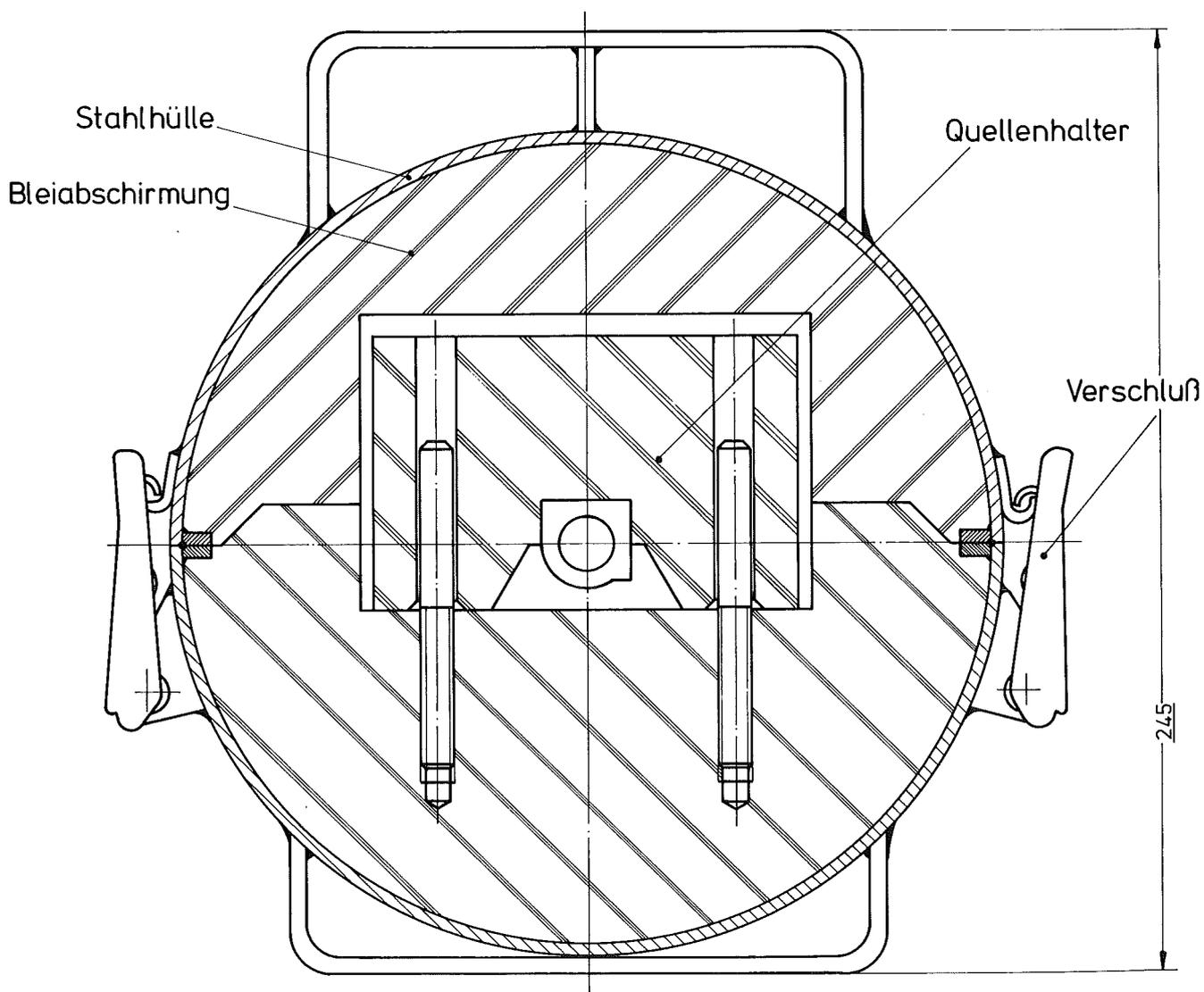
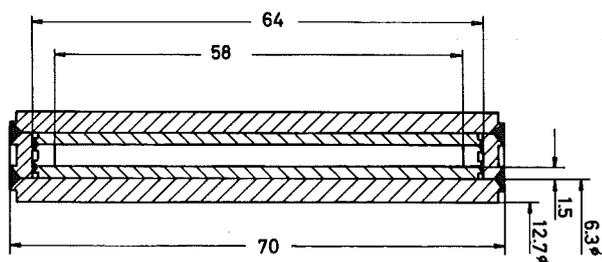


Abb. 7.8 Transportbehälter Th-Quelle
Zylinder ϕ 210; 286 lang

Beide Quellen wurden in einem ISO-Container, der die Kategorie III-gelb und die Transportkennzahl 1 hat, verschickt und auch in diesem Container an Bord aufbewahrt. Die gemessene Dosisleistung an der Außenwand betrug für γ -Strahlung 1 mr/h, für schnelle Neutronen $< 0,5$ mr/h und für thermische Neutronen ebenfalls $< 0,5$ mr/h.

Die Abb. 7.9 zeigt das Schema des Transportvorganges und die Verhältnisse an Bord der "Valdivia". Die Schleppsonde befindet sich bereits unter der Wasseroberfläche und die Transportschläuche werden vom Fahrkorb aus mit Hilfe von Schnellkupplungen unterhalb des Wirbelschäkels mit den entlang des Schlepphahnepots fest verlegten sondenseitigen Schläuchen verbunden. Durch Druckaufgabe aus einer Druckluftflasche wird die ^{252}Cf -Kapsel aus ihrer Halterung gedrückt und in die Sonde befördert. Über ein Druckmanometer und anhand des Neutronenflusses kann die Endlage der Kapsel kontrolliert werden. Während des Einschleusens (ca. 15 s Dauer) wird das Achterdeck geräumt, so daß eine Strahlenbelastung für die Besatzung ausgeschlossen ist.

Nach dem Einschleusen werden die Kupplungsstellen mit einem engmaschigen Sieb versehen, damit keine Verunreinigungen während des Einsetzens in die Schläuche gelangen können, die das Ausschleusen verhindern. Sicherheitsbetrachtungen und Störfalluntersuchungen wurden im Sicherheitsbericht durchgeführt /17/.

Vor dem Einsatz wird das Seil der Netzwinde an dem Handlingshahnepot, das Koaxialschleppkabel an dem Schlepphahnepot, der etwa im Schwerpunkt der Sonde befestigt ist, angeschlagen (s. Abb. 7.9). Die Kabelbefestigung wird danach an Bord mit ca. 12 Mp geprüft und die Seilklemmen unter Last mit einem Drehmomentschlüssel nachgezogen.

Mit Hilfe von Sprechfunk und Handzeichen ist die Kommunikation zwischen Arbeitsdeck, Brücke, Friktions- und Netzwinde herzustellen.

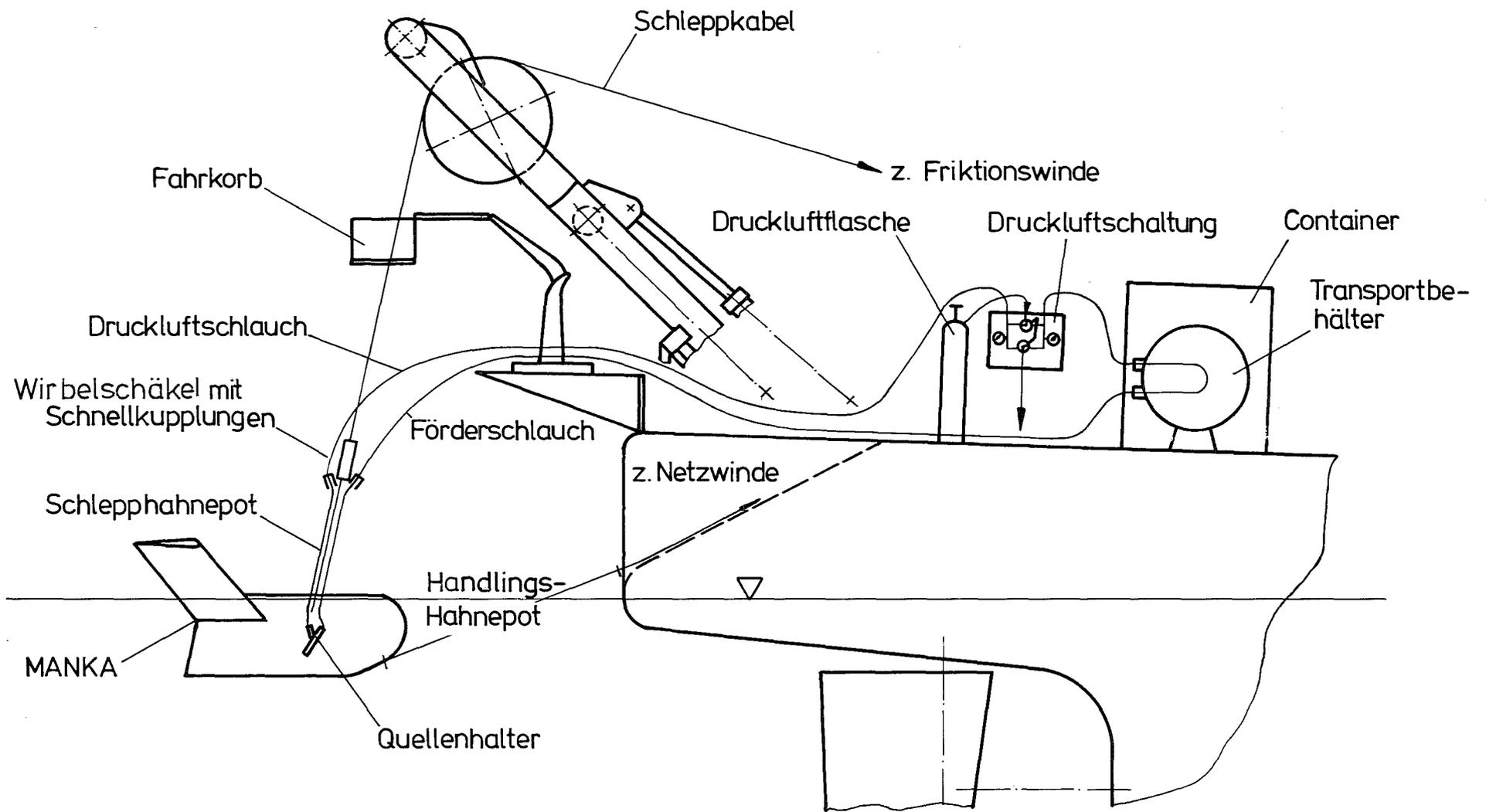


Abb. 7.9 Schema des Transportvorganges und die Verhältnisse an Bord des FS "Valdivia"

Mit dem Schleppkabel oder der steuerbordseitigen Hilfswinde (Seilführung über Hilfsblock) wird die Sonde in die Heckaufschleppe gezogen, wobei der Heckgalgen bis in seine Endstellung nachgeführt wird. Das Seil der Netzwinde wird ebenfalls nachgeführt und die Sonde dadurch in der Aufschleppe gehalten, ein Abheben vom Boden ist unbedingt zu vermeiden. Danach rutscht die Sonde durch Fieren mit der Netzwinde ins Wasser, wobei das Schleppkabel straff mitgefiert wird. Nachdem die Sonde soweit abgetaucht ist, daß das Leitwerk unter Wasser ist, wird das nukleare Handling ausgeführt und danach der Handlingshahnpot ebenfalls vom Fahrkorb aus unterhalb des Wirbelschäkels in einen SIKKA-Haken eingeklinkt. Beim Einholen geschieht dieser Vorgang in umgekehrter Reihenfolge. Das Aussetzen und Einholen der Sonde und der Transportvorgang sind in einer detaillierten Handlungsanweisung beschrieben.

7.5 Komponentenversuche im Drucktank

Zum Abschluß der mechanischen Tests wurden alle kritischen Komponenten unter 600 bar Umgebungsdruck einer Funktionsprüfung unterzogen.

Die Versuche fanden im Februar 1976 im großen Drucktank (1800 l Fassungsvermögen) der Norddeutschen Seekabelwerke statt, bei dem ein Maximaldruck von 600 bar zugelassen ist.

Es wurden getestet:

1. Druckbehälter für:
 - Kompressor
 - Elektrik
 - Elektronik
 - Kryostat
 - NaJ(Tl)-Detektor

2. Elektrische Maschinen: Klappenmotor mit Getriebe
 - 2 Stück Saugmotoren mit Pumpen
 - Sondentransformator

Die Druckbehälter mußten aus Sicherheitsgründen bis auf ein Restluftvolumen von 3 l mit Wasser gefüllt werden und wurden dann einzeln im Drucktank geprüft. Eine Leckage oder ein Bruch der Kugeln wäre am Manometer des Drucktanks zu ersehen gewesen. (Druckabfall von ca. 30 bis 35 kp/cm^2). Um ohne größeren Meßaufwand eine genauere Aussage zu bekommen, wurde in einzelnen Druckbehältern ein gläserner luftgefüllter Meßzylinder mit Kolben eingebracht, der es ermöglicht, nach Öffnen der Druckbehälter festzustellen, um wieviel sich das Innenvolumen der Kugel änderte oder ob eine Leckage vorhanden war.

Um Richtwerte zu ermitteln, wurde der Druckbehälter mit den meisten Durchbrüchen am Zwischenring (Elektrik-Behälter) einem Kurzzeit- und einem Langzeittest unterzogen. Abb. 7.10 zeigt das Einbringen dieses Druckbehälters in den Drucktank.

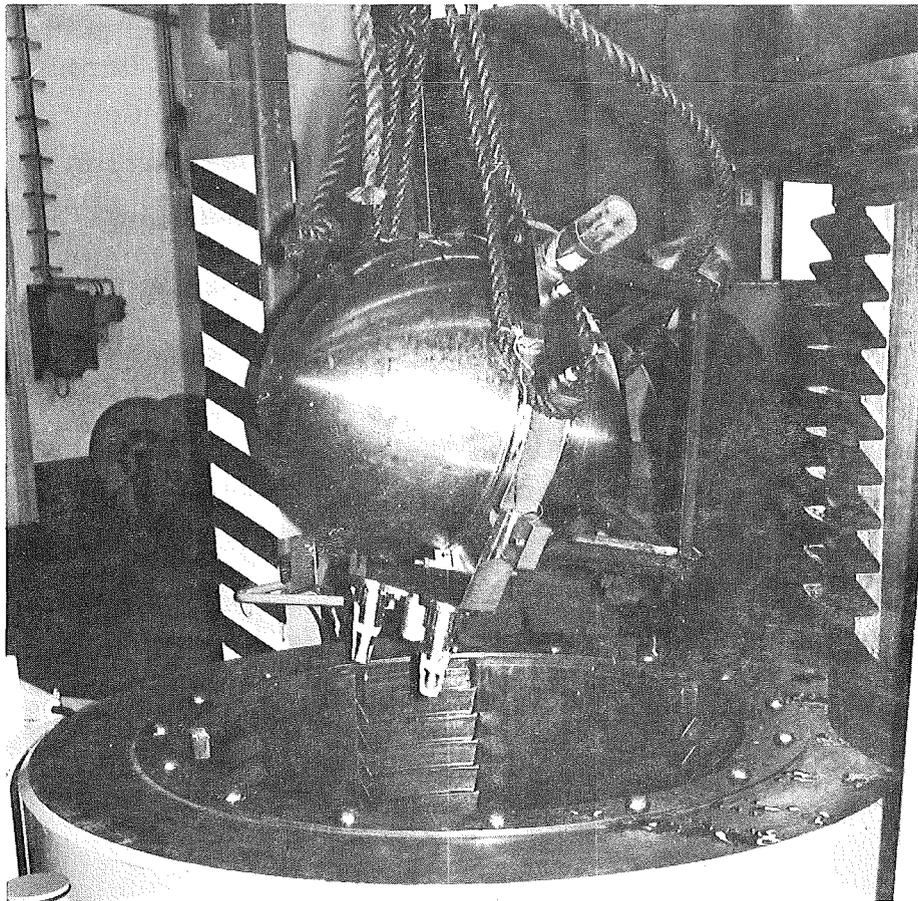


Abb. 7.10 Einbringen des Elektrik-Druckbehälters in einen Drucktank

Es ergaben sich bei den drei großen Druckbehältern Volumenänderungen von 0,11 - 0,13 % unter Außendruck, bedingt durch Dehnung des Materials und Temperatureffekte, so daß ihre Dichtigkeit als gesichert angesehen werden konnte.

Der Sondentransformator wurde in den Drucktank eingesetzt und vom Bordtransformator über die Kabeldurchführungen im Drucktank mit ca. 6 kV gespeist. Die Sekundärspannung von 220 V wurde wiederum über die Kabeldurchführungen gemessen. Er war 19 Stunden im Tank eingesetzt und arbeitete einwandfrei.

Der Klappenmotor mit Getriebe war ca. 65 Stunden mit 600 bar beaufschlagt. Hierbei wurden Spannung, Strom und Leistung gemessen. Es ergab sich eine druckbedingte Leistungserhöhung von 200 Watt.

Motor und Getriebe liefen einwandfrei. Nach Öffnen des Tankdeckels waren Ölflecken auf dem Wasser zu sehen. Daraufhin wurde das Getriebeöl untersucht, wobei Wasser im Getriebe festgestellt wurde. Nach Überprüfung der Konstruktion wurde ein Fehler am Druckausgleich ermittelt, der durch geringfügige Änderung beseitigt werden konnte.

Die Saugmotoren wurden komplett montiert mit den Pumpen eingesetzt und ca. 2 Stunden unter Druck laufen gelassen. Es wurden ebenfalls Spannung, Strom und Leistung gemessen. Es ergab sich eine druckbedingte Leistungserhöhung von 150 W.

Der Wirbelschäkel (s. Kap. 4.3) war bereits von der Herstellerfirma unter Druck getestet worden.

8. BESCHLEUNIGUNGSTESTS

Alle zum Einbau in die Sonde vorgesehenen Bauteile und Detektoren müssen bei Beschleunigungen bis 0,5 g, die beim Schleppen der Sonde auf dem Meeresboden auftreten können, einwandfrei funktionieren und darüber hinaus auftretende Stoßbeschleunigungen bis zu 1,5 g ohne Schaden aushalten können. Bei den meisten Bauelementen ist dies eine unkritische Forderung, da sie für weit höhere Werte ausgelegt sind. Getestet wurden alle Einheiten, bei denen nicht bereits vom Hersteller die Einhaltung dieser Daten garantiert wurde, vor allem der Kryostat mit dem Ge-Detektor, die ^{235}U -Spaltkammern, das vollständige Detektor-Kältesystem und die selbstentwickelten Elektronikplatinen.

8.1 Kryostat mit Ge-Detektor

Der Kryostat mit eingebautem Test-Detektor und Vorverstärker wurde auf einem Rütteltisch des KfK aufgebaut und die Energieauflösung des Detektors mit Hilfe eines ^{60}Co -Präparates bestimmt. Da allgemein bekannt ist, daß das Detektorsystem bereits gegenüber kleinsten Erschütterungen, die sich als Mikrophonieeffekte auswirken, sehr empfindlich ist und sich dabei eine Verschlechterung der Auflösung ergibt, wurde auf die Konstruktion der Halterung des Detektors im Kryostaten besondere Sorgfalt verwendet. Alle auftretenden Stöße und Erschütterungen waren vom Detektor fernzuhalten bzw. in niederfrequente Schwingungen umzuwandeln, die weniger störend sind.

Die Versuche auf dem Rütteltisch erstreckten sich über einen längeren Zeitraum, da die Halterung aufgrund der Versuchsergebnisse mehrmals geändert werden mußte, bis man für den angestrebten Einsatzzweck optimale Werte erreicht hatte.

Die Beschleunigungswerte waren auf dem Rütteltisch nicht direkt einzustellen, sondern nur über eine Kombination von Rüttelfrequenz und Schwingamplitude zu erreichen. In den Versuchsreihen wurde die Amplitude von 1 mm bis auf 4 mm erhöht und die Frequenz jeweils in Schritten von 1 Hz von 0 auf 15 Hz gesteigert. Ein Versuch dauerte jeweils 15 Minuten. Das Ergebnis der Meßreihe mit der endgültigen Detektorhalterung ist in Abb. 8.1 dargestellt. Die Kurven geben jeweils die Bereichsgrenzen an, unterhalb derer die Auflösung bestimmte Werte nicht überschreitet. Bei der unteren Kurve wurde die im Ruhezustand erzielbare Auflösung von 2,3 keV ($\hat{=}$ 100 %) nicht überschritten. Die beiden nächsten Kurven begrenzen die Bereiche, in denen die Auflösung auf 120 % ($\hat{=}$ 2,8 keV) bzw. 200 % (4,6 keV) anstieg.

Aus diesen Messungen ergibt sich, daß bei Frequenzen unterhalb 8 Hz Beschleunigungen bis zu 1,0 g und bei Frequenzen von 8 Hz bis 14 Hz Beschleunigungen bis zu 0,5 g praktisch keine Verschlechterung der Auflösung mit sich bringen. Eine möglicherweise auftretende Verschlechterung der Auflösung von 20 % bei einer Energie von 1,33 MeV (^{60}Co) kann akzeptiert werden, da sich der Meßbereich für die Manganknollen von 5 bis 10 MeV erstreckt. Außerdem liegen die erwarteten Frequenzen niedriger, da die Eigenfrequenz des Geräteträgers nur bei 4 Hz liegt.

8.2 Spaltkammern

Um Funktionsfähigkeit und Ansprechwahrscheinlichkeit der ^{235}U -Spaltkammern bei Einwirkung von Beschleunigungen zu prüfen, wurde zunächst eine Spaltkammer auf dem Rütteltisch Beschleunigungen bis zu 3,0 g ausgesetzt.

In einer ersten Versuchsreihe wurden die Beschleunigungswerte von 0,5 auf 3,0 g in Schritten von 0,5 g gesteigert. Ein Versuch dauerte jeweils 30 Minuten. Anschließend wurde die Spalt-

kammer nochmals über einen Zeitraum von 4 Stunden einer Beschleunigung von 3,0 g bei einer Frequenz von 20 Hz und einer Schwingamplitude von 2 mm ausgesetzt.

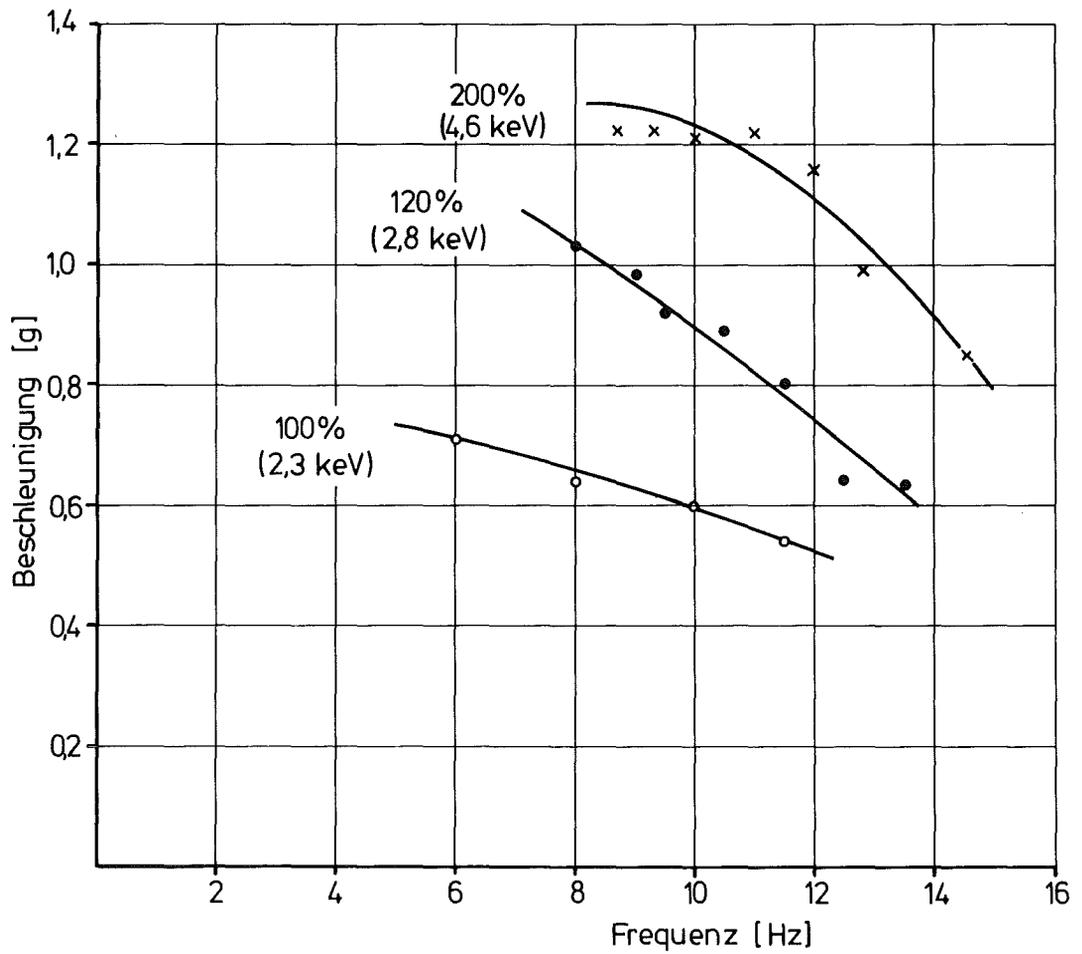


Abb. 8.1 Energieauflösung von ^{60}Co (1,33 MeV) für den Ge-Detektor

Bei der zweiten Versuchsreihe wurde an die Spaltkammer eine Spannung von +400 V angelegt, um zu prüfen, ob während des Rüttelns ein Kurzschluß an der Spannungsdurchführung (Metall-Keramik-Verbindung) auftreten kann. Die Beschleunigungswerte betragen 1,0 g, 2,0 g und 3,0 g jeweils für die Dauer von 30 Minuten. Anschließend wurde ein Test von 4 Stunden bei 3,0 g durchgeführt.

Da für den Standort des Rütteltisches keine Umgangsgenehmigung für radioaktive Stoffe oberhalb der Freigrenze bestand, konnten während der Rüttelversuche keine durch Neutronen erzeugten Spaltkammerimpulse gemessen werden. Aus diesem Grunde wurde erst nach jedem Versuch durch Messung eines bekannten Neutronenflusses im Labor die Funktionsfähigkeit und die Ansprechwahrscheinlichkeit der Spaltkammer überprüft. Ein Defekt war nicht feststellbar. Die Ansprechwahrscheinlichkeit blieb während der Versuchsdurchführung konstant.

Dieses Ergebnis kann auch auf die drei anderen Spaltkammern übertragen werden, da sie von gleicher Bauart sind. Um jedoch eventuell vorhandene Herstellungs- oder Materialfehler zu erkennen, sind auch diese Spaltkammern für die Dauer von 30 Minuten Beschleunigungen von 3,0 g bei angelegter Spannung ausgesetzt worden. Hierbei war ebenfalls keine Änderung der Ansprechwahrscheinlichkeit gegenüber den vorher gemessenen Werten festzustellen.

8.3 Schlingerstand

Auf dem Schlingerstand der Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt wurden mit dem vollständigen Kältesystem einschließlich Kryostat und Ge-Detektor Versuche durchgeführt mit dem Ziel, den Nachweis der Funktionstüchtigkeit des Systems unter angenäherten Hochseebedingungen zu er-

bringen und den Einfluß der Beschleunigungswerte, wie sie beim Schleppen der Sonde auf dem Meeresboden auftreten können, auf Kompressor, Kryostat und Ge-Detektor zu bestimmen /18/.

Hierzu wurden Kompressor und Kryostat in der endgültigen Form in die Druckbehälter eingebaut und mit Hilfe einer Traverse am Schlingerstand befestigt (s. Abb. 8.2). Das ganze System wurde dann Pendelbewegungen, Hubbewegungen sowie einer Kombination beider Bewegungsarten unterworfen, wobei jeweils verschiedene Beschleunigungswerte gefahren wurden.

Während der Versuche wurde der Kompressor-Druckbehälter zur Ableitung der Verlustwärme mit Wassersprühung ständig gekühlt. Die Meßdaten der Thermoelemente, Beschleunigungsaufnehmer und Neigungsmesser wurden über flexible Kabel übertragen und mit Mehrfachschreibern und Lichtstrahloszillograph aufgezeichnet.

In mehreren Versuchsreihen wurde das System Pendelbewegungen bis zu $\pm 45^\circ$ mit einer Winkelbeschleunigung von $0,8 \text{ rad/s}^2$ ausgesetzt. Der kardanisch aufgehängte Kompressor pendelte hierbei bis zu $\pm 9^\circ$ aus der Waagrechten. Die Temperaturen des Kompressorkopfes, der sich über dem zur Wärmeübertragung benutzten Wasser befand, stieg bis auf 45°C an. Zulässig ist laut Herstellerangabe eine Maximaltemperatur von 65°C .

Anschließend wurden Hubbewegungen gefahren mit einem Hub von $\pm 3 \text{ m}$, wobei die Beschleunigung schrittweise bis auf $0,5 \text{ g}$ gesteigert wurde. Die Temperatur am Kompressorkopf stieg nicht über 52°C an.

Bei einem darauffolgenden Dauerversuch wurde eine kombinierte Bewegung eingestellt mit einer Hubbewegung von $\pm 3 \text{ m}$ und $0,5 \text{ g}$ und einer Pendelbewegung von $\pm 30^\circ$ und $\pm 1,3 \text{ rad/s}^2$. Die Ver-

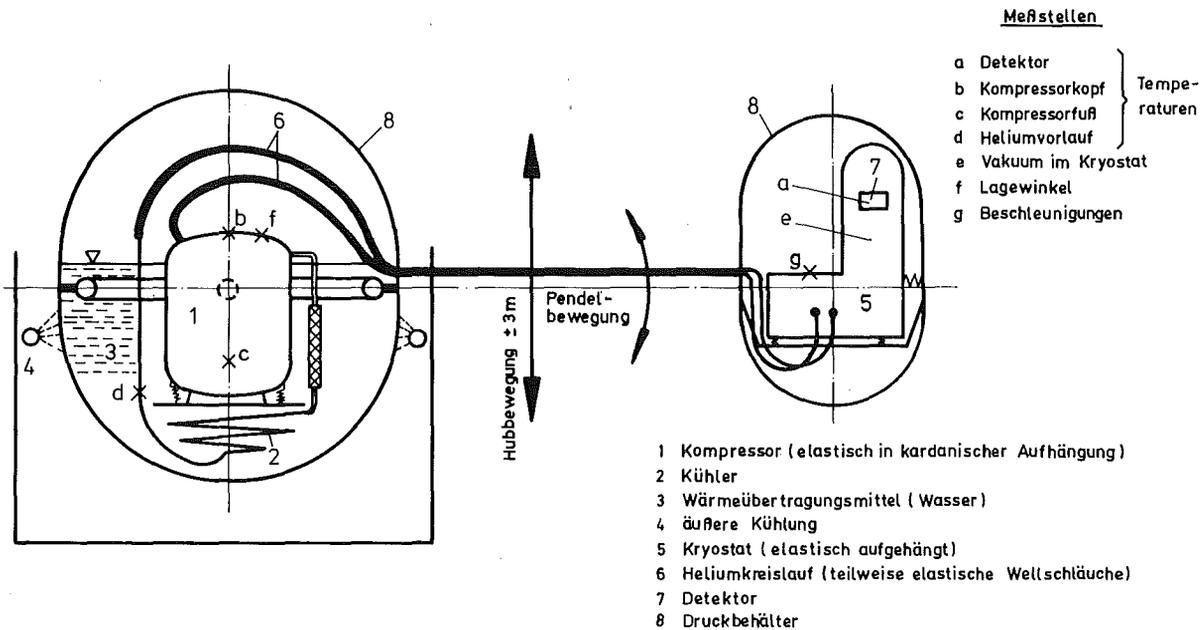


Abb. 8.2 Versuchsaufbau am Schlingerstand

suchsdauer betrug 34 Stunden. Auch hierbei traten keinerlei Unregelmäßigkeiten auf. Der Kompressor pendelte bis zu $\pm 9^\circ$ aus der Waagrechten, die Temperatur am Kompressor stieg nicht über 35°C .

Die Wirkung der Schwingmetalle, mit denen der Kryostat im Druckbehälter elastisch aufgehängt worden war, wurde in einer weiteren Testreihe überprüft, bei der Hubbeschleunigungen von 0,5 bis 0,8 g bei Hubfrequenzen von 0,28 bis 0,36 Hz gefahren wurden. Es zeigte sich, daß die am Kryostaten gemessenen Beschleunigungswerte jeweils um 0,2 g niedriger lagen als die am Gesamtsystem gemessenen Werte. Eine Verschlechterung der Energieauflösung des Ge-Detektors konnte hierbei nicht festgestellt werden.

Die Versuche ergaben, daß die Konstruktion des Kältesystems bei voller Funktionstüchtigkeit den Beanspruchungen genügt, die beim Schiffstransport sowie beim Schleppen auf dem Meeresboden zu erwarten sind.

9. KALIBRIERUNG DES ANALYSENSYSTEMS

9.1 Eichlösungen

Mit Metallsalzlösungen bekannter chemischer Zusammensetzung wurden mit dem Analysengefäß (n,γ)-Spektren, Transmissionspektren und Neutronenflußverteilungen im Labor gemessen. Aus den Ergebnissen dieser Messungen wurden die für Manganknollenanalysen notwendigen Daten gewonnen. Um bei den Metallsalzlösungen die Unsicherheit in den Konzentrationswerten möglichst gering zu halten, wurde jede Lösung von drei Laboratorien analysiert. Die Tab. 9.I zeigt die Ergebnisse. Bei den Metallen war der Lösungspartner Nitrat, und bei Chlor war der Lösungspartner Natrium /19,20,21/.

	g(Element)/100 ml			
	Labor 1	Labor 2	Labor 3	Mittelwert (Standardabweichung)
Mn-Lsg. 1	22.03 (0.6 ‰)	23.08 (0.7 ‰)	22.70	22.60 (0.5 ‰)
Mn-Lsg. 2	21.88 (0.7 ‰)	22.87	21.68	22.14 (0.6 ‰)
Fe-Lsg. 1	10.11 (<1.0 ‰)	10.98 (0.7 ‰)	9.87	10.32 (0.6 ‰)
Fe-Lsg. 2	14.79 (0.7 ‰)	14.57	-	14.68 (0.2 ‰)
Ni-Lsg. 1	9.73 (<1.0 ‰)	10.53 (0.9 ‰)	10.10	10.12 (0.4 ‰)
Ni-Lsg. 2	22.67 (0.5 ‰)	22.80	-	22.74 (0.1 ‰)
Co-Lsg. 1	10.39 (<1.0 ‰)	9.59 (1.6 ‰)	10.10	10.03 (0.4 ‰)
Co-Lsg. 2	22.62 (0.3 ‰)	18.75	-	20.69 (2.7 ‰)
Cu-Lsg. 1	11.66 (<1.0 ‰)	10.25 (1.4 ‰)	10.20	10.70 (0.8 ‰)
Cu-Lsg. 2	25.78 (0.3 ‰)	23.78	-	24.78 (1.4 ‰)
Cl-Lsg. 1	1.89 (0.4 ‰)	1.93 (1.0 ‰)	1.93	1.92 (<0.1 ‰)
Cl-Lsg. 2	15.38 (0.5 ‰)	15.36 (0.8 ‰)	15.37	15.37 (<0.1 ‰)

Tab. 9.I Chemische Analysen von Metallsalzlösungen, durchgeführt von 3 Laboratorien

Für die Kalibriermessungen wurden die einzelnen Lösungen so gemischt, daß sie in ihrer Zusammensetzung möglichst typischen Manganknollen-Meerwasser-Gemischen entsprachen. In Tab. 9.II sind die aus den Metallsalzlösungen hergestellten Konzentrationen C der Eichlösungen aufgeführt. Die Grammangaben beziehen sich immer auf 100 ml.

	C (g Element/100 ml)					
	Mn	Fe	Ni	Co	Cu	Cl
Eichlösung 1	8.0	0.8	0.5	0.6	0.6	1.23
Eichlösung 2	12.0	1.5	0.6	0.6	0.6	1.21
Eichlösung 3	13.0	2.0	1.0	1.0	1.1	1.16
Salzwasserlösung	-	-	-	-	-	1.93

Tab. 9.II Chemische Zusammensetzung der Eichlösungen

9.2 Messung von Neutronenflußprofilen

Die in Kap. 1.2 beschriebene Thermalisierung der Neutronen ist deshalb von Bedeutung, da bei kleinen Neutronenenergien der für die Analytik wesentliche Einfangprozeß am effektivsten wird. Die beiden zum Nachweis der Neutronen verwendeten ^{235}U -Spaltkammern haben eine empfindliche Länge von 9,4 mm. Ihre Lage im Analysengefäß wurde möglichst nahe der Neutronenquelle bzw. nahe dem Analysengefäßrand gewählt, um das Neutronenflußprofil an zwei Extrempunkten erfassen zu können. Bedingt durch den mechanischen Aufbau betragen die Abstände zwischen der ^{252}Cf -Quelle und der Mitte der empfindlichen Zone der Spaltkammern 3.6 cm (ZR^{max}) bzw. 17.1 cm (ZR^{Rand}).

Mit den in Tab. 9.II aufgeführten Eichlösungen, einer der Spaltkammern und der in Kap. 3.3 beschriebenen Elektronik wurden Neutronenzählraten in einer Entfernung von 3.6 cm bis 20.6 cm von der ^{252}Cf -Quelle in Intervallen von 0.5 cm bis 1.0 cm gemessen. Die Abb. 9.1 zeigt die gemessenen Gesamtzählraten $ZR_{\text{th+epi}}$ für die Summe von thermischen und epithermischen Neutronen als Funktion des Abstandes R zur ^{252}Cf -Quelle.

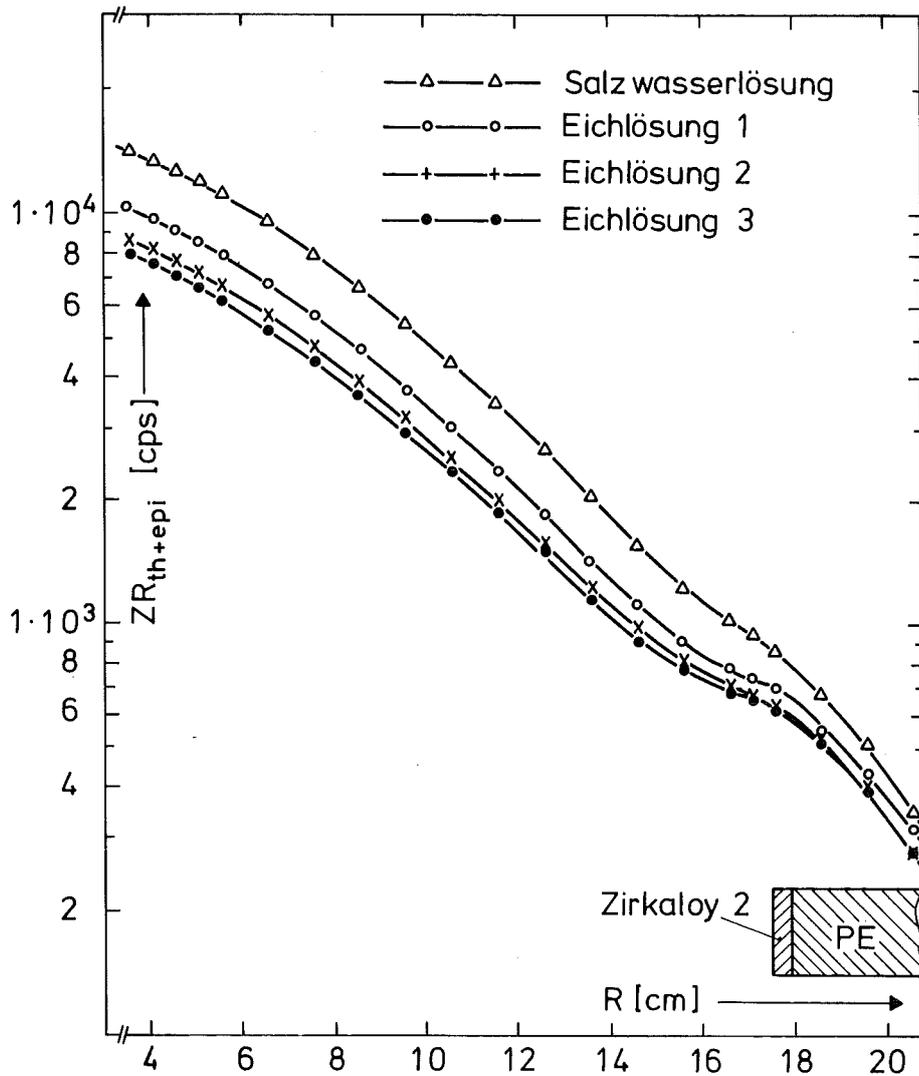


Abb. 9.1 Summe der thermischen und epithermischen Neutronenzählraten verschiedener Eichlösungen im Analysengefäß, gemessen mit einer ^{235}U -Miniaturspaltkammer

Die Reproduzierbarkeit der Meßwerte von ZR^{th+epi} war besser als ihre statistische Unsicherheit. Der epithermische Neutronenanteil der Gesamtzählrate konnte an diesem Versuchsaufbau aus Geometrie Gründen nicht bestimmt werden. In vorangegangenen Laborexperimenten wurde jedoch nachgewiesen, daß der Beitrag an epithermischen Neutronen zum Neutronenflußprofil eines Manganknollen-Salzwasser-Gemisches je nach Ent-

fernung zur ^{252}Cf -Quelle ca. 0.5 - 2 % des Gesamtneutronenflusses beträgt. Überträgt man dieses Ergebnis auf die vorliegende Analysegeometrie und berücksichtigt dabei die unterschiedliche Ansprechwahrscheinlichkeit der Spaltkammer für thermische bzw. epithermische Neutronen, so liegt die gemessene Neutronenzählrate je nach Entfernung zur ^{252}Cf -Quelle ca. 2 - 7 % über der tatsächlich vorliegenden thermischen Neutronenzählrate. Auf eine Korrektur der gemessenen Zählrate wurde verzichtet, da dieser systematische Fehler bei jeder Messung auftritt und die Metallkonzentrationsberechnung nur geringfügig beeinflusst.

Aus den in Abb. 9.1 dargestellten Neutronenflußprofilen wurden die für die Analyse notwendigen Normierungsfaktoren K für die Gammaenergie 7244 keV des Elements Mangan bei verschiedenen Schüttdichtewerten ρ_s errechnet. K ist definiert /6/:

$$K(\rho_s, E_\gamma, \text{Material}) = \frac{1}{\epsilon} \int_{\text{Analysenvolumen}} Z_{R_{th}}(R) T(R, R_D) dR \quad (1)$$

mit $Z_{R_{th}}(R)$ ortsabhängige Zählrate des Neutronendetektors im Analysevolumen
 $T(R, R_D)$ Transportkern; er gibt die Wahrscheinlichkeit an, daß ein am Ort R erzeugtes Gammaquant am Detektorort R_D erscheint
 ϵ Proportionalitätskonstante zwischen gemessener Zählrate und thermischem Neutronenfluß.

In Abb. 9.2 ist die Abhängigkeit der K/ZR^{\max} -Werte vom Verhältnis zweier, in bestimmter Position gemessener Zählraten $ZR^{\max}/ZR^{\text{Rand}}$, mit der Schüttdichte ρ_s als Parameter für die MANKA-Analysegeometrie dargestellt (die im Labor gemessenen Zählraten sind mittels der Halbwertszeit auf das Datum des Tiefsee-Einsatzes normiert). Der dargestellte Wertebereich für $ZR^{\max}/ZR^{\text{Rand}}$

von 8 bis 20 ist typisch für Manganknollen-Salzwasser-Gemische. In diesem Bereich ergibt sich eine lineare Abhängigkeit der Kurven vom Verhältnis $ZR^{\max}/ZR^{\text{Rand}}$ und von der Schüttdichte ρ_s /6/. Durch Interpolation kann somit bei bekanntem $ZR^{\max}/ZR^{\text{Rand}}$ und bekanntem ρ_s der K/ZR^{\max} - bzw. K-Wert bestimmt werden. Zur Vereinfachung wurden die errechneten Kurven durch die empirische Gleichung

$$K/ZR^{\max} = \exp(-1.5198 \cdot ZR^{\max}/ZR^{\text{Rand}}) - 0.7627 \cdot 10^{-6} \cdot ZR^{\max}/ZR^{\text{Rand}} + 5.4188 \cdot 10^{-5} - 1.2264 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_s \quad (2)$$

ersetzt, deren Ergebnisse ebenfalls in Abb. 9.2 für zwei Schüttdichtewerte gestrichelt dargestellt sind. Diese Vereinfachung wurde wegen des begrenzten Kernspeicherplatzes vorgenommen. Der Nachteil dabei ist, daß durch die Anpassung der Kurven an diese Gleichung im Extremfall bis zu 3 % Fehler in den K/ZR^{\max} -Werten auftreten. Eine genaue Fehlerbetrachtung wird in Kap. 9.5 durchgeführt.

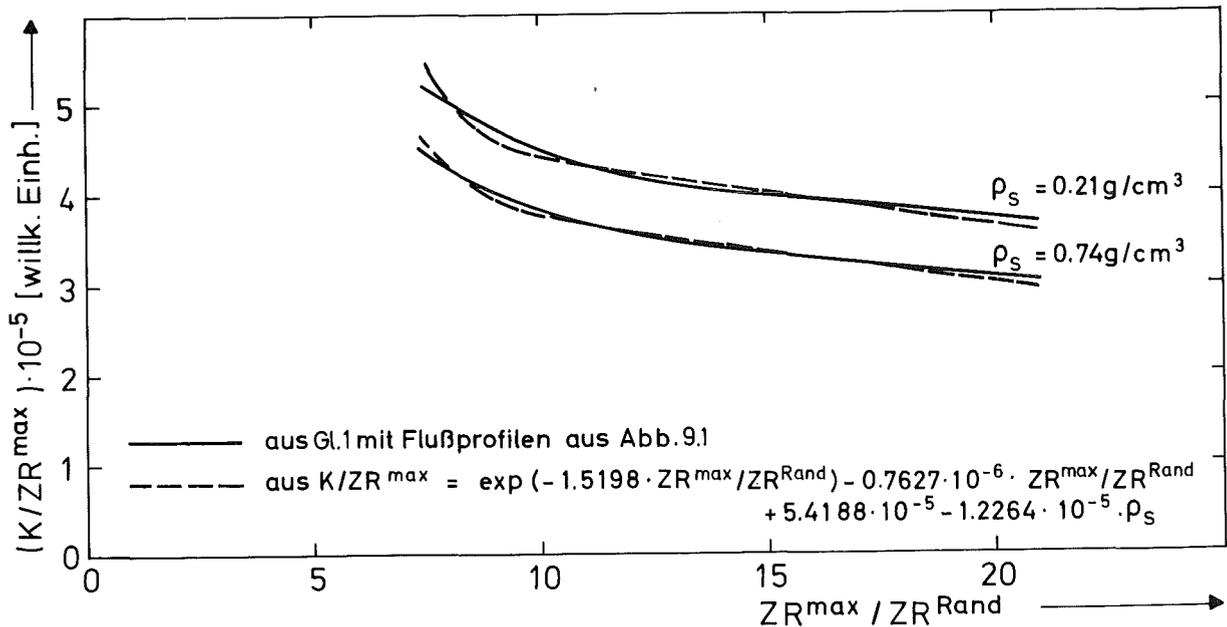


Abb. 9.2 Abhängigkeit der K/ZR^{\max} -Werte vom Verhältnis der gemessenen Zählraten $ZR^{\max}/ZR^{\text{Rand}}$ für zwei verschiedene Schüttdichtewerte ρ_s

9.3 Messung von (n, γ)-Spektren

Mit der in Kap. 1, Abb. 1.1 schematisch dargestellten Analysengeometrie und den in Tab. 9.II aufgeführten Eichlösungen wurden prompte Neutroneneinfang-Gammaspektren gemessen. Die von den thermischen Neutronen in den Eichlösungen induzierte prompte Gammastrahlung wird dabei mit dem Ge-Detektor nachgewiesen. Der vor dem Detektor angebrachte Bleikollimator soll dabei das Analysevolumen ausblenden und die im Kollimator befindliche Polyäthylen-Abschirmung die einfallenden Neutronen absorbieren, um den Detektor vor Neutronenschäden zu schützen. Der Bleikegel im Analysengefäß blendet die direkte Gammastrahlung der ^{252}Cf -Quelle aus, damit sie nicht zum Nachweis in den Ge-Detektor gelangt. Bei den Messungen wurden jeweils 38 l einer Eichlösung verwendet. Damit war sichergestellt, daß das vom Kollimator ausgeblendete Analysevolumen vollständig ausgefüllt war.

Die Abbildungen 9.3 und 9.4 zeigen Ausschnitte aus Einfang-Gammaspektren der Eichlösung 2 mit 12.0 g Mn/100 ml und der Salzwasserlösung mit 1.93 g Cl/100 ml (s. Tab. 9.II). Die monoenergetische Gammastrahlung im interessierenden Bereich (ca. 5 MeV bis 10 MeV) gibt ihre Energie im Detektor im wesentlichen über den Paarbildungseffekt und die Comptonstreuung ab, und man erhält aufgrund des Paarbildungseffekts ein Triplet von Peaks. In welchem dieser drei Peaks, die einen Abstand von jeweils 511 keV haben, ein Ereignis eingereicht wird, hängt davon ab, ob ein, zwei oder kein 511 keV-Quant der Vernichtungsstrahlung den Detektor verläßt. Die Doppelentkommlinie, deren Energie um 1022 keV geringer ist als die einfallende Energie, ist bei dem gegebenen Detektorvolumen von 17,0 cm³ am intensivsten und wird deshalb zur Auswertung herangezogen. Die Doppelentkommlinien sind mit einem hochgestellten Doppelstrich versehen und die Einfachentkommlinien mit einem hochgestellten Strich.

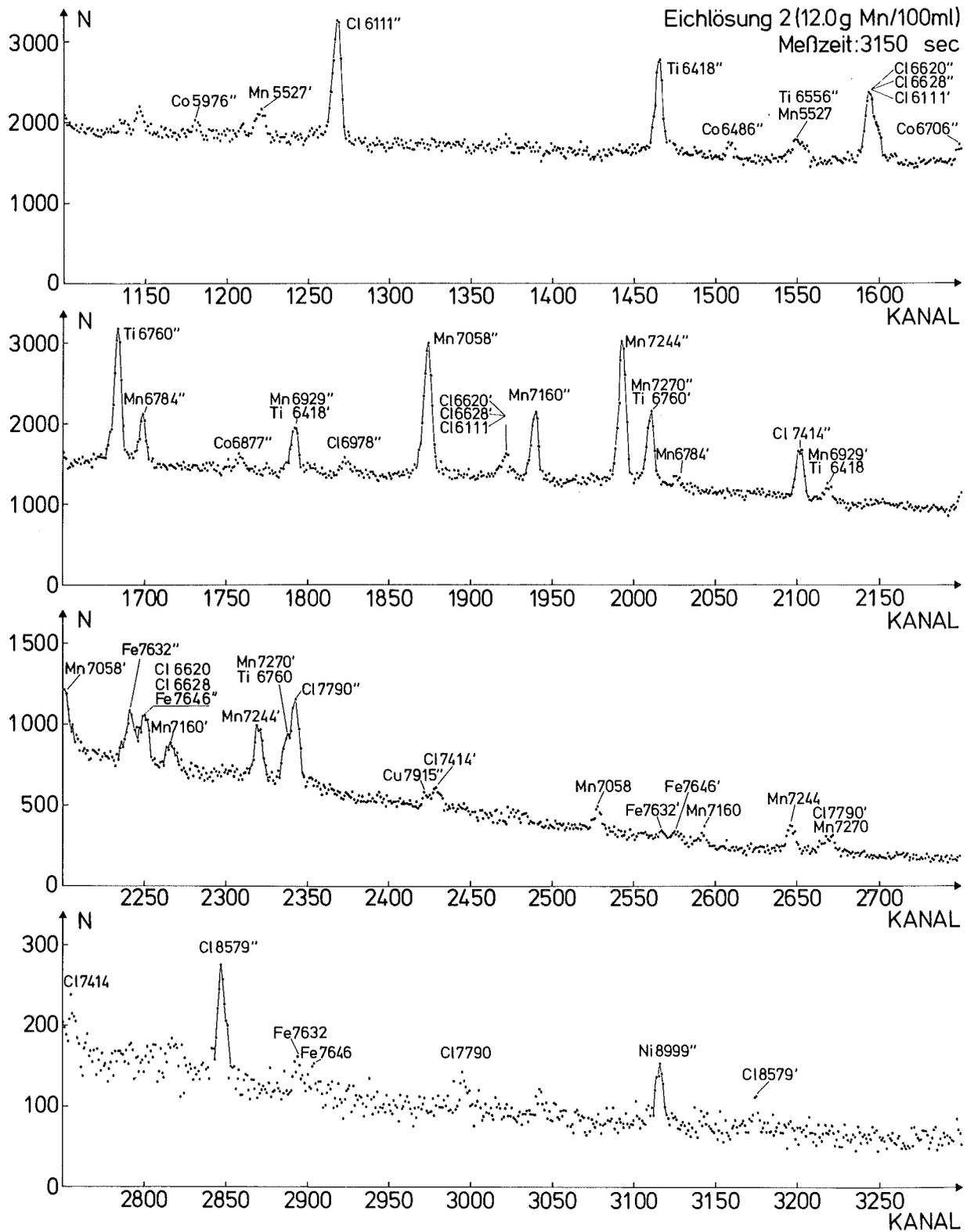


Abb. 9.3 Ausschnitt eines Einfang-Gamma-Spektrums einer Eichlösung

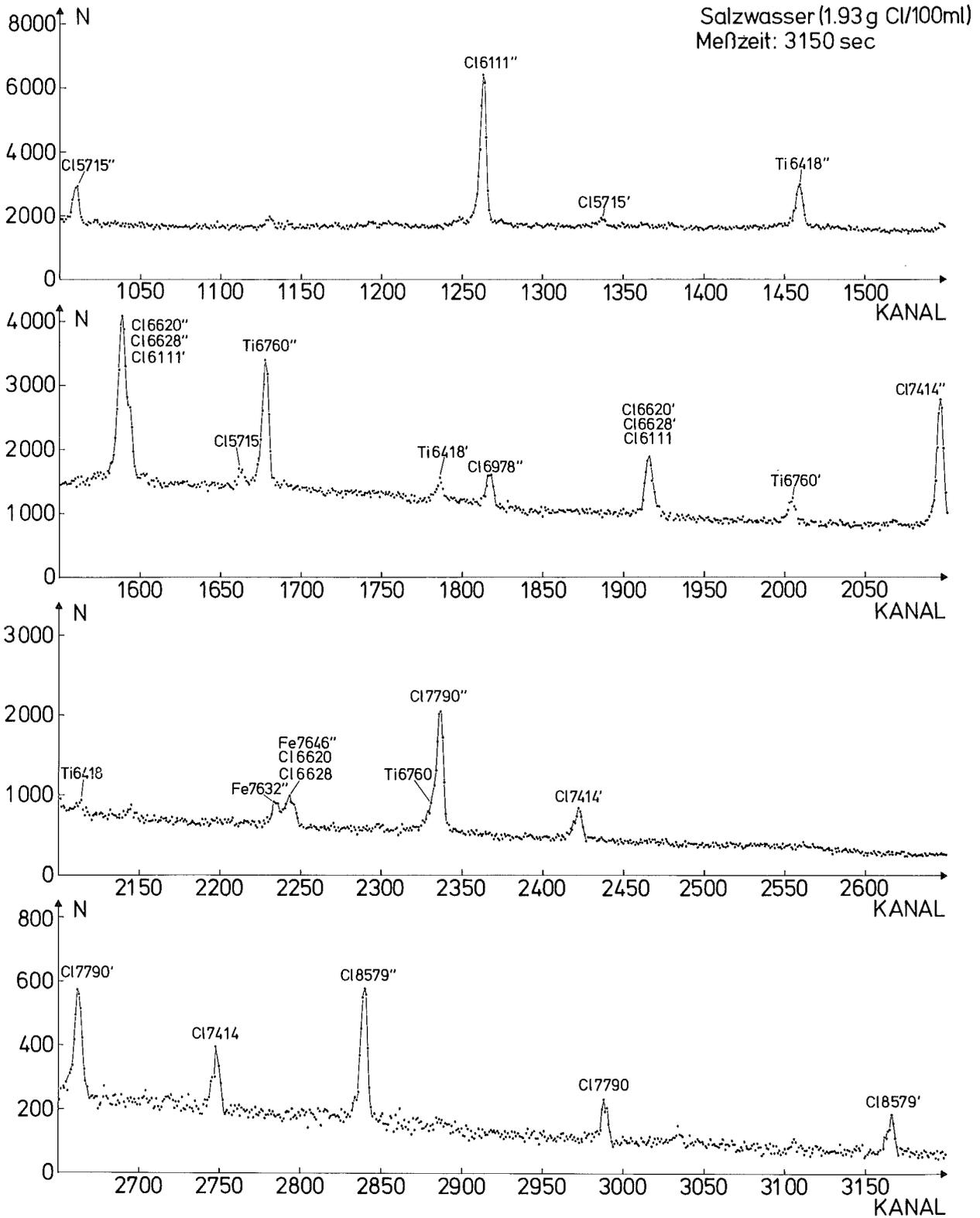


Abb. 9.4 Ausschnitt eines Einfang-Gamma-Spektrums der Salzwasserlösung

Die Gammaenergien der Elemente Mn, Ni, Cu und Cl, die zur Auswertung verwendet werden, sind in Tab. 9.III zusammengefaßt. Die Linien der Gammaenergie von Cl 8579 keV werden nur bei Meerwasserspektren ausgewertet und dienen zur Bestimmung des Verhältnisses von Doppelentkommelinie zu Einfachentkommelinie. Im unteren Teil von Tab. 9.III sind noch die auswertbaren Gamma-
linien der Elemente Co und Fe dargestellt, die ebenfalls in den Eichlösungen vorhanden waren. Auf deren Auswertung sollte beim ersten Tiefsee-Einsatz wegen der begrenzten Kernspeicherkapazität verzichtet werden.

Element	γ -Energie (keV)	Intensität I_{γ} (Photonen/100 Neutronen)	Sensitivity S $S = \frac{I_{\gamma} \cdot \sigma_a}{A} \cdot 22$
Mn	7058	11.35	2.75
Cu	7915	28.40	1.72
Ni	8999	41.65	3.26
Cl	7414	8.52	7.99
	8579	2.30	2.16
Co	5560	6.21	4.00
	5976	6.49	4.18
	6486	6.29	4.06
	6706	7.22	4.65
	6877	7.77	5.01
Fe	7632	27.19	1.27
	7646	22.14	1.04

* σ_a = mikroskopischer Neutronenabsorptionsquerschnitt
A = Atomgewicht

Tab. 9.III Elementspezifische Gammaenergien mit Daten für die Spektrumsanalyse

Bei einer späteren Auswertung kann auf diese Energien zurückgegriffen werden.

Die Analyse der (n, γ) -Spektren geschah mit einem Teil des in Kap. 5 beschriebenen Auswerteprogramms an der PDP 11/40. Sie beschränkte sich auf die Bestimmung von Peaklagen, Nettopeakzählraten PK und deren statistische Fehler. In Tab. 9.IV sind die Ergebnisse dargestellt. Es fehlen die Werte der Eichlösung 3 (13.0 g Mn/100 ml), da wegen Verschmutzung der Detektoroberfläche und aus Zeitmangel keine (n, γ) -Spektren mehr aufgenommen werden konnten. Von drei Eichlösungen konnten jedoch jeweils zwei (n, γ) -Spektren gemessen werden, und die Ergebnisse zeigen, daß die Unterschiede in den Peakzählraten kleiner sind als die statistischen Fehler. Die Energieauflösung des Detektors für die Doppelentkommelinie von Cl 7414 keV betrug bei diesen Versuchen im Mittel 7.9 keV.

	PK (c/3150 sec)						
	Mn 7058"keV	Cl 7414"keV	Cl 7414' keV	Cl 8579"keV	Cl 8579' keV	Ni 8999"keV	Cl7414'+Cu7915" keV
Salzwasserlösung (1.93 Cl/100 ml)	-	10450±2.3 %	2334±6.0 %	2417±4.3 %	560±10.3 %	-	-
	-	10150±2.7 %	2356±6.0 %	2378±4.4 %	514±10.2 %	-	-
Eichlösung 1 (8.0 g Mn/100 ml)	8243±3.1 %	4360±5.7 %	-	-	-	474±10.6 %	1164±14.1%
	8006±3.7 %	4210±4.9 %	-	-	-	446±12.6 %	1169±13.5%
Eichlösung 2 (12.0 g Mn/100 ml)	9888±2.6 %	3125±8.1 %	-	-	-	486±12.6 %	1000±17.7%
	9898±2.9 %	3467±6.7 %	-	-	-	541±11.2 %	1137±15.1%

Tab. 9.IV Nettopeakzählraten und statistische Fehler der ausgewerteten Gammalinien dreier Eichlösungen

9.4 Messung von Transmissionsspektren

Die Transmissionmessungen dienen zur Bestimmung der Probenmenge bzw. der Schüttdichte im Analysengefäß. Dazu sind am oberen Rand des Analysengefäßes diametral eine ^{228}Th -Gammaquelle und ein NaJ(Tl)-Detektor (3 inch x 3 inch) angebracht. Um den Detektor

gegen zu hohe Untergrundstrahlung aus dem Analysengefäß abzuschirmen, ist er mit einem Schlitzkollimator aus Blei umgeben. Der Schlitzkollimator der ^{228}Th -Quelle dient zur Verminderung der Strahlenbelastung beim Arbeiten am Geräteträger. Das Th-Präparat ist eine Mischung aus ^{228}Th -Oxid und metallischem Nickel, mit einer aktiven Länge von 58 mm, in Tablettenform gepreßt und druckgekapselt (s. Kap. 7.4, Abb. 7.7). Eine Linienquelle hat den Vorteil, daß bei einer willkürlichen Verteilung der Manganknollen im Analysengefäß die unterschiedlichen Transmissionsstrecken herausgemittelt werden.

Mit dieser Anordnung und der in Kap. 3.2 beschriebenen Elektronik wurden mit und ohne Eichlösungen und mit und ohne ^{252}Cf -Quelle im Analysengefäß Transmissionsmessungen durchgeführt. Gemessen wurde im Energiebereich von ca. 1,5 MeV bis 3 MeV. Ausgewertet wird der Photopeak der ^{228}Th -Gammalinie bei 2614 keV.

Eine hohe Gammaenergie hat den Vorteil eines relativ hohen Peak-Untergrund-Verhältnisses. Tab. 9.V zeigt die Ergebnisse.

	PK(c/787.5 sec)		t		T	
	mit ^{252}Cf	ohne ^{252}Cf	mit ^{252}Cf	ohne ^{252}Cf	gerechnet	gemessen
Luft	-	182376 \pm 0.7 %	-	-	-	-
Salzwasser (1.93 g Cl/100 ml)	41615 \pm 1.2 %	55662 \pm 0.2 %	-	-	0.306	0.305
Eichlösung 1 (8.0 g Mn/100 ml)	32700 \pm 3.9 %	42697 \pm 0.5 %	0.786	0.767	0.234	0.234
Eichlösung 2 (12.0 g Mn/100 ml)	29707 \pm 2.2 %	36557 \pm 1.4 %	0.714	0.657	0.202	0.200
Eichlösung 3 (13.0 g Mn/100 ml)	26412 \pm 0.2 %	34183 \pm 0.6 %	0.635	0.614	0.191	0.187

Tab. 9.V Nettopeakzählraten PK der ^{228}Th -Transmissionspeaks, relative Transmission t der Eichlösungen zu Salzwasser und Transmission T der Lösungen bezogen auf Luft.

Die dargestellten Nettopeakzählraten PK sind Mittelwerte mehrerer Einzelmessungen mit Standardabweichung. Die statistischen Fehler der Einzelmessungen ohne die ^{252}Cf -Quelle waren bis auf die Salzwassermessungen kleiner als die Standardabweichung. Zur Berechnung der Eichkonstanten wurden die Ergebnisse der Versuche ohne ^{252}Cf -Quelle im Analysengefäß verwendet, da gerechnete und gemessene Transmissionswerte T gut übereinstimmten. Aus den Transmissionsdaten von Luft und Salzwasser wurde gleichzeitig noch die Transmissionsstrecke im Analysengefäß zu 27.8 cm bestimmt.

Ergänzend wurden Messungen mit der Neutronenquelle durchgeführt. In Abb. 9.5 sind Ausschnitte zweier Transmissionspektren sowohl für Salzwasser als auch für eine Eichlösung dargestellt.

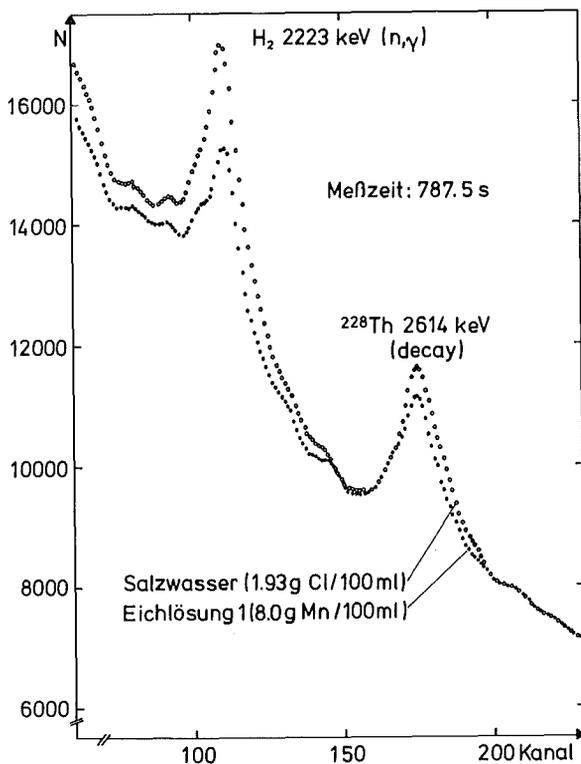


Abb. 9.5 Ausschnitt aus Transmissionspektren von Salzwasser und Eichlösung 1

Dabei handelt es sich um geglättete Kurven, um möglicherweise auftretende Fehler aus der differentiellen Nichtlinearität ($\pm 1/2$ Bit) des verwendeten ADC's (12 Bit) zu verringern. Die gemessenen Nettopeakzählraten sind im Mittel um 23 % kleiner als die Zählraten ohne ^{252}Cf -Quelle im Analysengefäß. Die Gründe dafür sind die erhöhte Gesamtzählrate und ein dadurch höherer Untergrund, der andere Peakgrenzen erforderte. Aus dem gleichen Grund differierte auch die relative Transmission der drei Eichlösungen zu Salzwasser zwischen 2 und 9 %.

Kalibrierdaten, die im automatischen Auswerteprogramm benötigt werden, konnten bei den Messungen mit ^{252}Cf nicht ermittelt werden, da im Tiefsee-Einsatz die gesamte Transmissionsstrecke mit Meerwasser ausgefüllt ist. Diese Daten wurden beim statischen Test, bei dem der Geräteträger vollständig im Salzwasser war, und beim Flachwassertest im Pazifik bestimmt.

9.5 Berechnung der Eichkonstanten

Aus den zuvor beschriebenen Messungen wurden die Daten errechnet, die zu einer automatischen Spektrumsanalyse von Manganknollen und Salzwasser benötigt werden. Alle Daten sind auf das Datum des statischen Tests normiert, bei dem sie bestätigt werden sollten.

Neben der in Kap. 9.2 aufgestellten Gleichung 2 von K/ZR^{max} = $f(ZR^{\text{max}}/ZR^{\text{Rand}})$ werden zur Auswertung noch die Normierungsfaktoren K^- für Salzwasser und K für die Bezugslösung benötigt /6/. Sie wurden aus den in Abb. 9.1 dargestellten Neutronenflußprofilen von Salzwasser und von Eichlösung 2 (12.0 g Mn/100 ml) errechnet. Die Werte von K^- und K sind in Tab. 9.VI zusammen mit der Spaltkammerzählrate ZR^{max} aufgeführt, die zur Überprüfung der richtigen Neutronenquellenpositionierung herangezogen wird. Die Reproduzierbarkeit dieser Meßwerte war besser als 1 % und auftretende Abweichungen lagen innerhalb der statistischen Unsicherheit.

K^- (willk. Einheit)	0.5341
K (willk. Einheit)	0.2941
ZR^{max} (cps)	$12908 \pm 1 \%$
C_{Mn} (g/cm ³)	$0.12 \pm 3 \%$
PK_{Mn7058} (σ/15 min)	$2699 \pm 2.9 \%$
DS	$4.51 \pm 4.9 \%$
$\epsilon_{\text{Mn}}^*/\epsilon_{\text{Ni}}^*$	$1.04 \pm 7.9 \%$
$\epsilon_{\text{Mn}}^*/\epsilon_{\text{Cu}}^*$	$2.16 \pm 28 \%$
μ_{w} (cm ² /g)	0.419
μ_{K} (cm ² /g)	0.379
ρ_{w} (g/cm ³)	1.02
L (cm)	$27.8 \pm 0.8 \%$

Tab. 9.VI Konstanten für das Auswerteprogramm, ermittelt aus den Kalibriermessungen (Bezugsdatum: statischer Test)

In Kap. 9.2 wurde bereits erwähnt, daß bei der vorliegenden Analysengeometrie die gemessene Neutronenzählrate um den Anteil der epithermischen Zählrate je nach Entfernung zur Neutronenquelle um 2 bis 7 % zu hoch liegt. Daraus resultiert ein systematischer Fehler von ca. + 5 % für den Normierungsfaktor K. Da es sich um Vergleichsmessungen handelt, wirkt sich dieser systematische Fehler auf die Konzentrationsberechnung kaum aus. Durch die Anpassung der errechneten Kurven $K/ZR^{\max} = f(ZR^{\max}/ZR^{\text{Rand}})$ mit ρ_s als Parameter an Gl. 2 treten Abweichungen bis zu 3 % auf.

Für die (n,γ) -Messungen wurde Eichlösung 2 (12.0 g Mn/100 ml) als Manganbezugslösung verwendet. Aufgrund der chemischen Analysen (s. Tab. 9.I) ist die Manganknollenkonzentration $C_{\text{Mn}} = 12.0$ g Mn/100 ml mit einem Fehler von 3 % behaftet. Die zu C_{Mn} gehörige Peakintensität PK der Mn 7058" keV-Gammalinie beträgt 2699 c/15 min ± 2.9 %. Die Differenzen der gemessenen Zählraten PK der Energie Mn 7058" keV zu den nach der Gleichung

$$PK_x = \frac{C_x}{C} \cdot \frac{K_x}{K} \cdot PK \quad (3)$$

errechneten Werten /6/ liegen dabei innerhalb der statistischen Fehlergrenzen. Der Index x steht dabei für die "unbekannte" Lösung.

Die gemessenen Zählraten der Cl 7414" keV-Gammalinie stimmten ebenfalls mit den nach Gl. 3 errechneten Werten innerhalb der statistischen Unsicherheit überein. Eine Ausnahme bildete eine (n,γ) -Messung von Eichlösung 2, wo die Abweichung vom errechneten Wert größer als der statistische Fehler war.

Die Nettopeakzählrate der Cl 7414" keV-Linie wird im Auswerteprogramm zweimal benötigt /6/:

- im Kontrollzyklus zur Überprüfung der Detektorfunktion,
- zur Bestimmung des Verhältnisses Knollen-zu-Gesamtvolumen mittels des Chlorlinienverfahrens.

Um exakte Intensitätswerte der Cl 7414" keV-Linie von Meerwasser zu erhalten, wurden beim Flachwasserversuch Meerwasserspektren gemessen und die daraus ermittelten Werte in das Auswerteprogramm eingegeben.

Im nächsten Schritt wurde das Intensitätsverhältnis DS der Doppel-zu-Einfachentkommlinie bestimmt, das für die einfache Ermittlung der Intensität der Cu 7915" keV-Linie, die mit der Einfachentkommlinie der Energie Cl 7414 keV ein Duplett bildet, benötigt wird. Dazu wurden bei den Salzwasserspektren die entsprechenden Linien der Übergänge Cl 7414 keV und Cl 8579 keV und bei den Spektren der Eichlösungen die entsprechenden Linien von Mn 7058 keV und Mn 7244 keV ausgewertet. Das Intensitätsverhältnis DS ist durch die Detektorgröße vorgegeben und von der Gammaenergie unabhängig /23/. Der Betrag von DS ist ein Mittelwert einer Vielzahl von Einzelergebnissen. Er beträgt $4.51 \pm 4.9 \%$.

Die Konzentrationen von Ni und Cu werden bei diesem Verfahren aus Linienintensitätsverhältnissen errechnet /6/. Bei bekannter Schüttdichte erhält man für das Verhältnis von zwei Gammaenergien E_1 und E_2 unter Verwendung der Abkürzung

$$\epsilon_i^* = \epsilon(E_i) S_i K(E_i)$$

mit $\epsilon(E_i)$ Detektor-Efficiency

S_i analytical sensitivity /22/

$K(E_i)$ Normierungsfaktor

die Gleichung

$$\frac{PK_1}{PK_2} = \frac{\epsilon_1^* C_1}{\epsilon_2^* C_2} \quad (4)$$

Als Bezugsenergie E_1 diente die Mangan-Gammaenergie 7058 keV. Da bei den Eichlösungen die Konzentrationen von Mangan C_1 und Nickel bzw. Kupfer C_2 bekannt waren, wurden durch Messungen der Peakintensitäten der Doppelentkommunlinien von Mn 7058 keV PK_1 und Ni 8999 keV bzw. Cu 7915 keV PK_2 das Verhältnis $\epsilon_{Mn}^*/\epsilon_{Ni}^*$ bzw. $\epsilon_{Mn}^*/\epsilon_{Cu}^*$ bestimmt. Die in Tab. 9.VI dargestellten Werte sind Mittelwerte aus Einzelmessungen mit ihrer Standardabweichung. Die relativ hohe Ungenauigkeit resultiert aus den gemessenen niedrigen Zählraten. Dabei ist bei dem Verhältnis $\epsilon_{Mn}^*/\epsilon_{Cu}^*$ noch zu berücksichtigen, daß die Intensität der Cu 7915 keV-Linie aus einem Linienduplett bestimmt wird (s. Abb. 9.3).

Bei diesen Versuchen wurden auch die Energiebereiche der auszuwertenden Gammalinien im Spektrum und die Peak- und Untergrundgrenzen festgelegt.

Für die Transmissionsmessungen wurden zuerst die Massenabsorptionskoeffizienten μ_w für Salzwasser und μ_K für Manganknollen einer mittleren chemischen Zusammensetzung (24 % Mn, 14 % Fe, 10 % Si, 40 % O, 12 % Rest) für die ^{228}Th -Gammaenergie 2614 keV errechnet. Auch bei extrem unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung der Erzknollen sind die Abweichungen von der angenommenen mittleren chemischen Zusammensetzung nur in der Größenordnung von 1 %. Die Massenabsorptionskoeffizienten sind in Tab. 9.VI dargestellt und gehen als Konstante, ebenso wie die Salzwasserdichte ρ_w , in das Auswerteprogramm ein. Auch der aus den Transmissionsdaten der Messungen an Luft und Salzwasser ermittelte mittlere Transmissionsweg L ist in der Tab. 9.VI aufgeführt.

Wie schon erwähnt, konnte der beim Tiefseeversuch benötigte Transmissionsvergleichswert und die zugehörige maximale Abweichung für Salzwasser mit der ^{252}Cf -Quelle nicht ermittelt werden, da das Gesamtsystem bei den Labormessungen nicht von Salzwasser umgeben war. Aus diesen Messungen konnten jedoch Peaklage, Peakfenster (31 Kanäle) und Untergrundfenster (je 15 Kanäle) festgelegt werden.

Eine Zusammenfassung dieser Ergebnisse zeigte, daß beim Tiefseeversuch eine Konzentration von 20 % Mn, 1 % Ni und 1 % Cu in den Erzknollen mit einer Genauigkeit von ca. 23 %, 35 % und 75 % in gleicher Reihenfolge bei 15 min Meßzeit bestimmt werden kann.

10. ERPROBUNG DES GESAMTSYSTEMS

10.1 Gesamtelektronik-Test

In einem ersten Schritt wurden die Meßdaten aus dem Analysenzweig und von den Spaltkammern direkt in die Bordspeicher gegeben und aus diesen zur Auswertung vom Rechner abgerufen.

Im nächsten Schritt wurde dann das Datenübertragungssystem zugeschaltet, bei dem zunächst die beiden bord- und sondenseitigen Endgeräte mit einem ca. 10 m langen Koaxialkabel ohne Koppelglieder und Schleppkabel direkt verbunden waren. Mit dieser Anordnung wurde die zuvor beschriebene Kalibrierung des Analysensystems durchgeführt. Durch Auswertung der (n, γ) -Spektren, der Transmissionsspektren und der Spaltkammermeßwerte im Rechner wurde die Funktionsfähigkeit aller Meßzweige, der Telemetrie- und Telecommandstrecke und der Datenübernahme in den Rechner überprüft. Auch die Abfrage der analogen und digitalen Daten zur Überwachung der Sonde wurde getestet. Bei der Übertragung der Daten traten keine nennenswerten Probleme auf. Anfängliche Schwierigkeiten bei der Übernahme der Daten in den Rechner wurden behoben. Mit den hier gewonnenen Erkenntnissen wurden einige bis dahin noch in einer ersten Version vorliegende Schaltungen in endgültiger Form hergestellt.

In der abschließenden Testphase wurde das vollständige Datenübertragungssystem mit Koppelglied und einem ca. 9 km langen Koaxialkabel, das aus vier nichtarmierte Kabelstücken von je 1 km Länge und einem ausgemusterten Koaxialschleppkabel des FS "Valdivia" von ca. 5 km Länge zusammengesetzt war, benutzt. Gleichzeitig wurde die Sonde erstmals über die Transformatoren mit der Hochspannung von 6 kV versorgt. In dieser Form wurde eine Überprüfung des Gesamtsystems durchgeführt, wobei besonderer Wert auf die Tests von Telemetrie- und Telecommandstrecke, das Zusammenspiel von Bordspeichern und

Rechner und auf die Funktionsfähigkeit der Steuer- und Kontrolleinheit gelegt wurde. Schwierigkeiten mit der Kabelanpassung an die Übertragungselektronik, den Koppelkondensatoren und der Befehlsübertragung zur Sonde wurden behoben und Verbesserungen an der Hard- und Software nach dem neuesten Kenntnisstand vorgenommen.

10.2 Statische Tests

Nachdem das Gesamtsystem einschließlich Datenübertragungsstrecke zufriedenstellend arbeitete, wurde die gesamte Ausrüstung für statische und dynamische Tests vorbereitet.

10.2.1 Analysen von Salzwasser und Manganknollen

Für erste Experimente unter realistischen Bedingungen wurde der Geräteträger in gleicher Weise wie im Schleppgestell in ein Wasserbecken von ca. 14 m³ Inhalt montiert (s. Abb. 10.1).

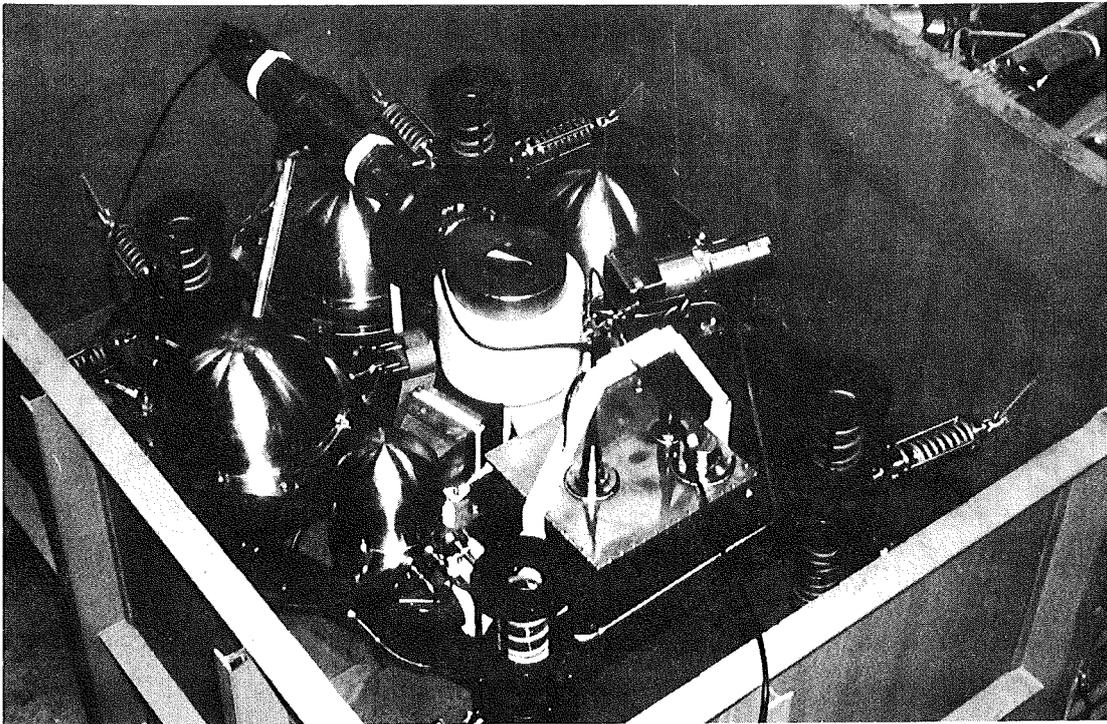


Abb. 10.1 Geräteträger montiert im Wasserbecken

Dabei sollten alle für eine Analyse notwendigen Daten gleichzeitig ermittelt und im Auswerteprogramm mit Hilfe der zuvor bestimmten Eichkonstanten verarbeitet werden. Durch Lösen von ca. 450 kg NaCl wurde annähernd die Cl-Konzentration von Meerwasser hergestellt.

Da zur Berechnung der Metallkonzentrationen in den Erzknollen nur das Verhältnis der Intensität der Cl 7414"-Gammalinien mit bzw. ohne Manganknollen im Analysengefäß eingeht, ebenso wie das Verhältnis der ^{228}Th Gamma-Transmissionswerte, wurde auf eine korrekte Einhaltung der Cl-Konzentration verzichtet. Zudem waren zur Bestimmung der korrekten Bezugsdaten die Meerwassermessungen während des Flachwassertests vorgesehen. In Tab. 10.I sind die Ergebnisse der Salzwassermessungen zusammengefaßt. Alle Angaben sind auf ein gleiches Datum dieser Testserie normiert. Vergleicht man diese Werte mit denen der Salzwassereichlösung, so weisen sowohl die ZR^{max} -Werte als auch die Intensitäten der Cl 7414 Gammalinien darauf hin, daß die Cl-Konzentration im Salzwasser des Beckens höher war als die in der Salzwassereichlösung. Weiterhin ist aus Tab. 10.I ersichtlich, daß die Reproduzierbarkeit der Meßwerte gut war. Die Unterschiede in den gemessenen Zählraten waren innerhalb der statistischen Unsicherheit. Die relativ großen Abweichungen des Intensitätsverhältnisses DS von Cl 7414"/Cl 7414' resultieren dabei aus der geringen statistischen Genauigkeit der gemessenen Intensitäten. Bei den Transmissionswerten I_w traten sehr große Unterschiede auf. Dabei konnten bei Messung 1 bis 3 die Transmissionspektren wegen gefallener Kanäle nicht ausgewertet werden.

Messung	ZR^{max} (cps)	ZR^{Rand} (cps)	PK _{Cl 7414"} (c/900 sec)	PK _{Cl 7414'} (c/900 sec)	$\frac{1}{DS}$	I_w (c/900 sec)
1*	12634	858	3582±1.7 %	761± 5.5 %	0.212	-
2*	12555	856	3590±1.7 %	723± 5.9 %	0.201	-
3	12710	878	3433±3.5 %	753±10.7 %	0.219	-
4	12807	882	3534±3.4 %	723±11.4 %	0.205	8600±3.7 %
5	12758	883	3682±3.3 %	829± 9.8 %	0.225	8458±3.8 %
6	12658	869	3511±3.4 %	799±10.3 %	0.228	8460±3.8 %
7	12619	865	3648±3.3 %	698±11.9 %	0.191	8456±3.8 %
8	12787	883	3577±3.4 %	616±13.2 %	0.172	7018±4.5 %
9	12777	899	3678±3.3 %	768±10.6 %	0.209	7490±4.3 %

* Meßdauer 3600 sec

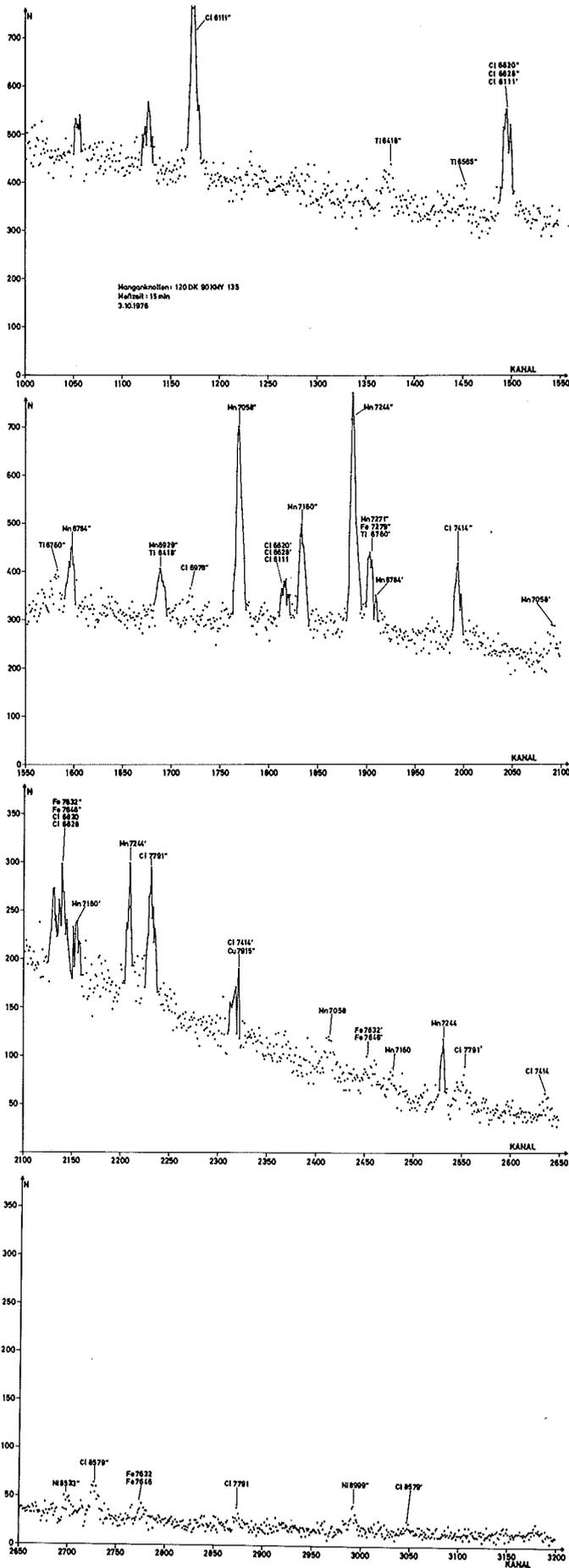
Tab. 10.I Ergebnisse von 9 Salzwassermessungen

Die restlichen Transmissionsergebnisse gliedern sich in zwei Gruppen auf, die an verschiedenen Tagen gemessen wurden. Für ihren Unterschied konnte keine Erklärung gefunden werden.

Ein mit dem Geräteträger im Wasserbecken gemessenes Manganknollenspektrum ist in Abb. 10.2 dargestellt. Wie man in Tab. 10.II (alle Daten sind auf ein Datum dieser Testserie normiert) erkennen kann, war es bei diesen Messungen nicht möglich, alle für die automatische Auswertung notwendigen Linienintensitäten zu ermitteln. Bei den Messungen mit der Knollenprobe 1 waren die Transmissionsmessungen wegen gefallener Kanäle wieder nicht auswertbar. Die Cu-Linienintensitätsbestimmung war wegen der schlechten Statistik (Meßzeit 15 min), eines relativ geringen Peak-Untergrund-Verhältnisses (s. Abb. 10.2) sowie der Tatsache, daß die Cu-Linie mit einer Cl-Linie ein Duplett bildet, nicht immer möglich. Die Ergebnisse, bei denen der relative Fehler der Cu 7915" keV Linienintensität größer als 100 % war, werden ebenfalls nicht in Tab. 10.II aufgeführt. Die Linienintensitäten aller 7 Messungen waren bis auf zwei Ausnahmen innerhalb der statistischen Unsicherheit. Die ZR^{\max} -Werte dagegen sind weiter gestreut, als es die Statistik zuläßt, was jedoch auf die unterschiedlichen Erzknollenschüttungen im Analysengefäß zurückzuführen ist. Bei den ZR^{Rand} -Werten macht sich der Unterschied in den Schüttungen wegen des großen Abstandes zur ^{252}Cf -Quelle nicht mehr bemerkbar.

	Linienintensitäten PK (c/15 min)					ZR^{\max} (cps)	ZR^{Rand} (cps)
	Mn 7058"keV	Ni 8999"keV	Cu 7915"keV	Cl 7414"keV	^{228}Th 2614keV		
Knollenprobe 1							
1	2658±5.6 %	97±35 %	149±68 %	1145±11.4 %	-	8275	766
2	2791±5.3 %	93±38 %	137±75 %	1385± 9.3 %	-	8305	727
3	2864±5.1 %	195±17 %	-	1147±11.4 %	-	8325	746
4	2600±5.7 %	147±21 %	-	1077±12.1 %	-	8511	759
5	2782±5.3 %	139±24 %	215±47 %	1185±11.0 %	-	8472	759
6	2702±5.5 %	118±29 %	-	1085±11.9 %	-	8542	762
7	2650±5.6 %	111±30 %	-	1267±10.2 %	-	8482	759
Knollenprobe 2							
1	2719±5.5 %	147±24 %	-	942±13.9 %	3955±8.5 %	6902	757
2	2886±5.2 %	149±23 %	-	1107±11.9 %	3993±11.9 %	6892	775

Tab. 10.II Ergebnisse von 9 Manganknollenmessungen



Tab. 10.2 Im Wasserbecken gemessenes (n,γ)-Spektrum von Manganknollen

Das Ergebnis einer Rechnerauswertung von Knollenprobe 2 ist in Abb. 10.3 dargestellt, wobei die gemessenen Zählraten nicht auf das Bezugsdatum von Tab.II normiert sind. Neben den Peaklagen PL, den Nettozählraten NZ mit den statistischen Fehlern der elementspezifischen Gammalinien und den Metallgehalten MG werden das Knollenvolumenverhältnis V_K/V , die Schüttdichte ρ_s , die Neutronenzählraten ZR^{max} und ZR^{Rand} und der Korrekturfaktor K zur Überprüfung der Auswertung ausgedruckt. In dem abgebildeten Ausdruck ist der Metallgehalt von Cu wegen des großen Fehlers nicht verwendbar. Eine chemische Analyse dieser Knollenprobe ergab einen Metallgehalt von 21.1 % Mn und 0.90 % Ni und damit eine zufriedenstellende Übereinstimmung /24/.

```
TRANSMISSION M K: PL= 4267.17  NZ= 3993.18 C/15MIN +- .0841316
CL1+ 7414''': PL= 1993.88      NZ= 1091 C/15MIN  +- .118949
MN 7058''':  PL= 1769.86      NZ= 2843 C/15MIN  +- .0516509
                MG= 18.5868 %
NI 8999''':  PL= 2994         NZ= 147 C/15MIN   +- .225723
                MG= .968851 %
CU 7915''':  PL= 2309.77      NZ= 4.19768 C/15MIN +- 24.0017
                MG= .0553259 %
VK/V= .311123
RHO S= .897715 G/CCM
K/ZRMAX= 3.53100E-05 CM
ZRMAX= 6790.15          ZRRAND= 764.352          [CPS]
```

Abb. 10.3 Rechnerprotokoll einer Manganknollenanalyse

10.2.2 Messungen zur Füllstandsbestimmung

Die Aussage, ob das Analysengefäß vollständig gefüllt ist, erhält man aus der Transmissionsmessung. Über ein bestimmtes Zeitintervall wird in einem festgelegten Energiebereich die integrale Zählrate bestimmt. Aus der Zählratendifferenz von Salzwasser und einem Salzwasser-Knollen-Gemisch kann somit

auch bei kurzen Meßzeiten entschieden werden, ob der Sollfüllstand erreicht ist. Bei den Experimenten im Salzwasserbecken war der Energiebereich der neutroneninduzierten 2223 keV-Wasserstofflinie zur Füllstandsbestimmung vorgesehen /25/. Die erhaltenen Differenzen waren jedoch nicht signifikant genug, um zwischen Salzwasser und einem Salzwasser-Knollen-Gemisch zu unterscheiden, da unter diesen realistischen Bedingungen sich auch in der Transmissionsebene außerhalb des Analysengefäßes Wasser befand. Der Anteil des durchstrahlten Knollenvolumens, bezogen auf die gesamte Transmissionsstrecke, verringert sich dadurch wesentlich. Deshalb wurde der 3 MeV-Untergrundbereich zur Füllstandsmessung gewählt. Dieser setzt sich im wesentlichen aus den Compton-gestreuten Gammaquanten höherenergetischer Linien zusammen. Daraus resultiert für ein Salzwasser-Knollen-Gemisch wegen der größeren Anzahl der induzierten Gammaquanten ein höherer Untergrund in diesem Energiebereich als bei reinem Salzwasser.

Die integralen Zählraten werden an einem Schreiber beobachtet, damit bei Erreichen des Sollfüllstandes der Saugmotor zum Sammeln der Knollen manuell abgeschaltet werden kann. Abb. 10.4 zeigt einen Ausschnitt aus einem Schreiberdiagramm. Der Unterschied in den gemessenen Zählraten ist deutlich zu erkennen. Die lange Füllzeit resultiert aus dem manuellen Einfüllen der Knollen.

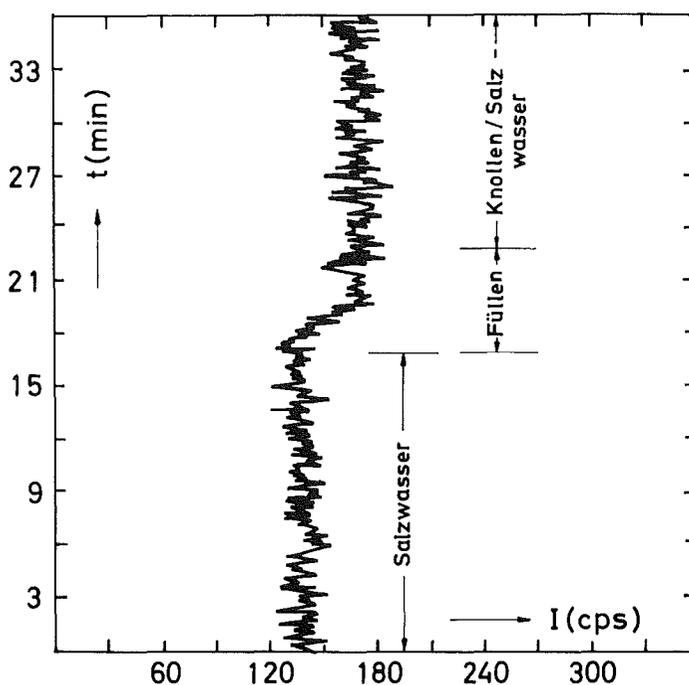


Abb. 10.4

Ausschnitt aus einem Schreiberdiagramm zum Erkennen des Sollfüllstandes im Analysengefäß. (Integrale Zählrate im 3 MeV-Untergrundbereich des Transmissionspektrums)

10.3 Dynamische Tests

Bei diesen Experimenten sollte die Energieauflösung des Ge-Detektors und das Verhalten anderer Meßkomponenten im dynamischen Zustand überprüft werden. Für diesen Zweck wurde das Wasserbecken mit dem Geräteträger auf einem Tieflader über eine Holperstrecke gezogen, um Erschütterungen, wie sie während des Einsatzes zu erwarten sind, zu simulieren. Höherfrequente Schwingungen wurden durch Dauerbetrieb des Saugmotors (Leerlauf) erzeugt und harte Stöße durch ständiges, ruckartiges Heben und Senken des Geräteträgers mit einem Kran. Zur Bestimmung der Energieauflösung wurde bei Mangan- knollenspektren die Doppelentkommlinie der Mn 7058 keV-Energie und bei Salzwasserspektren die Doppelentkommlinie der Cl 7414 keV-Energie herangezogen. In Tab. 10.III sind die Ergebnisse zusammengefaßt. Obwohl Energieauflösungsunterschiede bei den einzelnen Tests festzustellen waren (gleiche Energieauflösungen wurden am gleichen Tag gemessen und Änderungen waren von Tag zu Tag festzustellen), kann von einer Verschlechterung im dynamischen Zustand nicht gesprochen werden. Die bei diesen Tests erreichten Schräglagen des Geräteträgers betragen maximal $5,5^\circ$ längs und $3,5^\circ$ quer zur Fahrtrichtung. Auch die anderen Meßkomponenten arbeiteten unter diesen Bedingungen einwandfrei, so daß für den Einsatz die gleiche Analysengenauigkeit wie bei diesen Tests erwartet werden konnte.

Versuchs- nummer	Energieauflösung (keV)		Test- bedingungen	max. Schräglagen des Geräteträgers	
	Mn 7058"keV	Cl 7414"keV		seitl./in Fahrtr.	
1	10.0	-	1	-	-
2	11.0	-	1	-	-
3	11.0	-	1	-	-
4	9.5	-	2	3.0°	-
5	13.4	-	2	3.5°	-
6	7.8	-	2	2.5°	3.5°
7	7.8	-	3	-	-
8	7.9	-	3	-	-
9	-	9.5	1	-	-
10	-	8.2	1	-	-
11	-	9.5	4	0.5°	5.5°
12	-	9.7	1	-	-

Tab. 10.III
Energieauflösung
des Ge-Detektors
während der
statischen und
dynamischen Tests

- 1) normaler Betrieb (Vergleichswerte)
- 2) Schleppen über Holperstrecke
- 3) Saugmotor in Betrieb
- 4) harte Stöße durch ruckartiges Heben und Senken mit einem Kran.

11. PAZIFIK-ERPROBUNG

Nach Abschluß der Testserien an Land wurde im Oktober 1976 die gesamte Ausrüstung nach Honolulu, Hawaii, verschickt, von wo aus die Pazifik-Erprobung mit dem FS "Valdivia" stattfinden sollte /26, 27/.

Außer MANKA wurden im Rahmen der Testfahrt VA 15 (13. Dezember 1976 bis 7. Januar 1977) im vorgesehenen Zielgebiet südöstlich von Hawaii ein Verankerungssystem für die Navigationsboje "NAREF" und ein tiefgeschlepptes Side Scan Sonar eingesetzt.

11.1 Foreign Trade Zone-Tests

Die Arbeiten in einer Lagerhalle der Foreign-Trade-Zone dienten der Überprüfung aller Komponenten und der Beseitigung eventuell aufgetretener Transportschäden. Nach dem Anschluß der Spannungsversorgung für die Sondenelektronik, den Rechner und die Steuer- und Kontrolleinheit ohne Zwischenschalten des Koaxialschleppkabels und der Transformatoren wurde die Funktionsfähigkeit der auf Magnetband gespeicherten Steuer- und Auswerteprogramme und der SONDENSYSTEME, soweit es ohne Umgebungswasser möglich war, getestet. Da der Umgang mit radioaktiven Stoffen im Foreign-Trade-Bereich allgemein nicht erlaubt war, konnten keine weiteren Messungen vorgenommen werden. Beim Kühlen des Ge-Detektors wurde festgestellt, daß das umgebende Vakuum sich durch die lange Transportzeit verschlechtert hatte. Es wurde daher mit Hilfe des mitgeführten Turbomolekularpumpstandes mit dem Abpumpen des Kryostaten begonnen. Nennenswerte Fehler traten keine auf, alle übrigen Systeme arbeiteten einwandfrei.

11.2 Installation an Bord und Tests

Nach dem Transport (7.12.76) der gesamten Ausrüstung an Bord des FS "Valdivia" wurde sofort mit der Installation begonnen und der Pumpstand erneut in Betrieb genommen, um das Vakuum weiter zu verbessern. Durch den DEC-Service von Honolulu wurde der PDP-Rechner eingehend überprüft, was bereits von Deutschland aus abgesprochen worden war.

Nach Montage der Koaxialdrehdurchführung (Fa. Dr. Spinner) an der Speichertrommel für das Schleppkabel und Anlegen der 6 kV Hochspannung gab es in den Übergangssteckern sowohl zur Kabelseite als auch zur Bordseite Spannungsüberschläge, da vom Hersteller offensichtlich zu geringe Abstände zwischen Innen- und Außenleiter vorgesehen waren. Durch Änderung der Anordnung wurden diese Schwierigkeiten schnell ausgeräumt.

Nach einer ersten Anpassung der Sender und Empfänger des Datenübertragungssystems an das Kabel funktionierte die Übertragung zwar, wurde aber häufig gestört. Da die interne Rechneruhr während der Zeit der Übertragungsstörungen blockiert war, erhöhte sich die vorprogrammierte Meßzeit und es traten zeitliche Verzögerungen beim Befehlsdialog zwischen Sonde und Rechner bzw. Steuer- und Kontrolleinheit auf.

Dennoch wurde mit den Tests des Transmissionszweigs des Analysensystems begonnen. Nach Korrektur der Peakintensitäten wegen der unterschiedlichen Meßzeiten waren die Ergebnisse dieser Versuche ohne Wasser und Knollen in der Transmissions-ebene innerhalb der statistischen Unsicherheit die gleichen wie bei den statischen Tests. Bei allen Versuchen wurden die drei großen Druckbehälter durch eine vorhandene Berieselungsanlage mit Meerwasser gekühlt.

Durch Optimieren der Anpassung von Sender und Empfänger an die Übertragungsstrecke wurden die Störungen in der Datenübertragung wesentlich herabgesetzt, so daß die Anzahl der Fehlübertragungen unter der Rate mit dem Testkabel bei den Versuchen im Kernforschungszentrum lag. Dieses ausgezeichnete Ergebnis ist darauf zurückzuführen, daß das Einsatzkabel neu war, weniger Verbindungsstellen und somit weniger Reflexionen hatte und der Einstellbereich für Sender und Empfänger für verschiedene Kabellängen und -dämpfungen ausgelegt war.

Für verschiedene Manipulationen an den in den Druckbehältern eingebauten Komponenten müssen die Halbkugeln abgenommen werden. Um sicherzustellen, daß nach dem Verschließen die Behälter einwandfrei dicht sind, wird jeweils ein Helium-Lecktest durchgeführt. Zu diesem Zweck kann über eine verschließbare Bohrung in dem Zwischenring des Elektrik-Druckbehälters das gesamte druckfeste Behälter- und Rohrleitungssystem mit einem He-Überdruck von 0,5 bar beaufschlagt werden. Mit Hilfe eines mitgeführten, tragbaren Wärmeleitfähigkeit-Lecksuchgerätes hätte auch unter rauen Bordbedingungen eine einzelne Undichtheit von mindestens 1×10^{-3} bar cm^3/s sicher erkannt werden können.

Diese Methode ist ein im Reaktorbau seit langem bewährtes Verfahren und wurde auch nach der Endmontage und bei den Versuchen im Wasserbecken nach jedem Schließen eines Behälters aus Sicherheitsgründen vorgenommen. Verbindungen, die nicht mehr gelöst werden mußten, waren zusätzlich mit einem Massenspektrometer-Lecksuchgerät geprüft worden, so daß hierbei auch eine einzelne Undichtheit von mindestens 1×10^{-5} bar cm^3/s sicher erkannt worden wäre.

Nachdem durch das Pumpen auch das notwendige Vakuum im Kryostaten hergestellt war, konnte im nächsten Schritt die Energieauflösung des Ge-Detektors für ^{60}Co überprüft werden. Eine

Verschlechterung von ca. 20 % war gegenüber den bei den statischen Tests gemessenen Werten festzustellen, die jedoch tolerierbar war. Aufgrund dieser Ergebnisse bestanden gute Aussichten auf einen erfolgreichen ersten Einsatz.

11.3 Flachwasserversuche

Nach dem Auslaufen des Schiffes am 13.12.76 begannen die Flachwasserversuche bei $21,5^{\circ}\text{N}$ und $157,5^{\circ}\text{W}$ außerhalb der 12 Meilenzone. Abb. 11.1 zeigt MANKA 01 vor Beginn dieser Tests. Es wurden (n,γ) -, Transmissions- und Neutronenmessungen durchgeführt, um die für eine automatische Manganknollenanalyse notwendigen Vergleichs- und Bezugswerte zu gewinnen (s. Kap. 9.4 und 10.2.1).

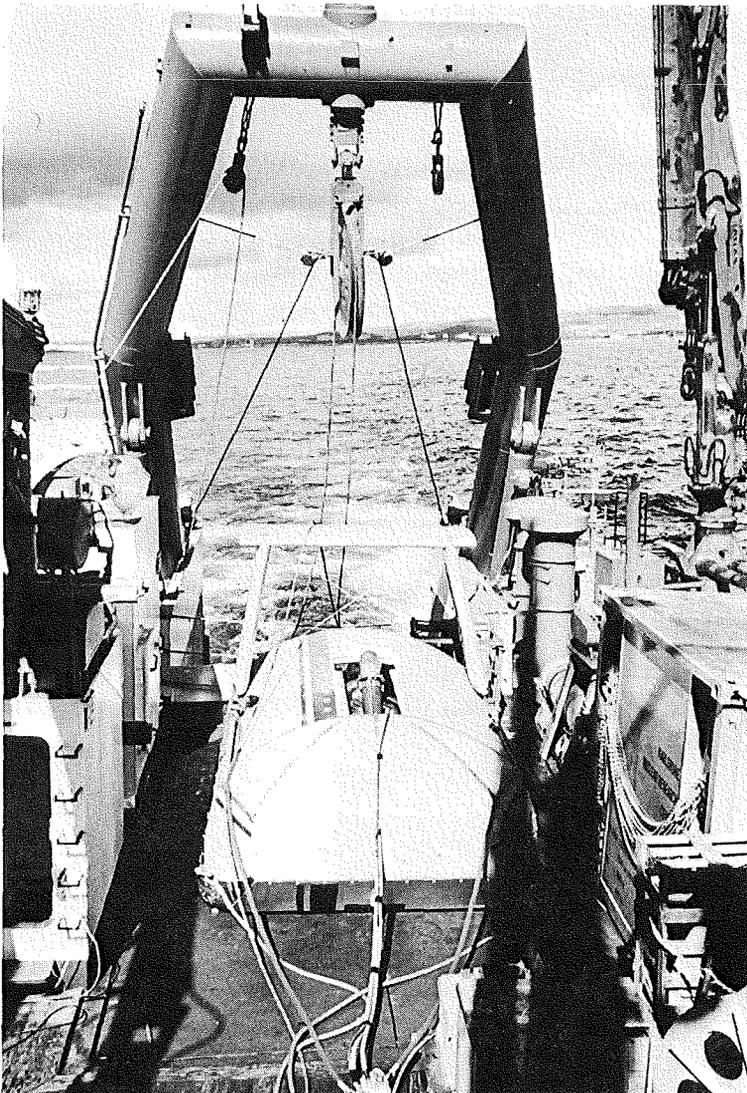


Abb. 11.1

MANKA 01 an Bord
des FS "Valdivia"
vor Beginn der
Flachwasserversuche

Bei einer Wassertiefe von ca. 435 m wurden durch zwei Messungen bei 25 m bzw. 30 m tief abgesenkter MANKA diese Daten ermittelt. Die Datenübertragung war einwandfrei, so daß die Messungen sofort ausgewertet werden konnten. In Abb. 11.2 ist ein Ausschnitt eines gemessenen (n, γ) -Spektrums und in Abb. 11.3 ein Ausschnitt eines geglätteten Transmissionsspektrums dargestellt. Abb. 11.4 zeigt ein Rechnerprotokoll bei diesen Messungen. Die Ergebnisse beider Messungen sind in Tab. 11.I zusammengefaßt und auf das Datum des späteren Tiefseeversuchs normiert.

Gleichzeitig konnte ein Handlingstraining mit der Decksmannschaft vorgenommen werden, das problemlos verlief.

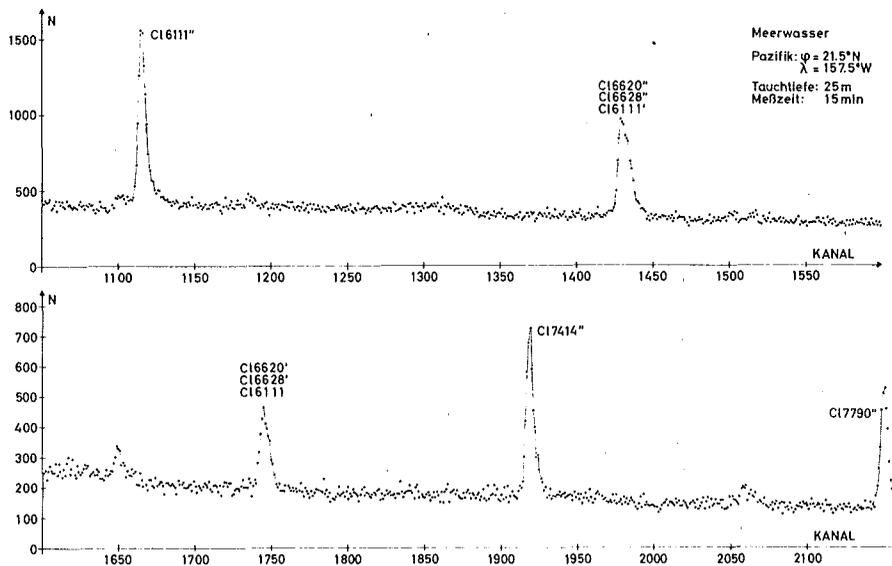


Abb. 11.2 Ausschnitt eines (n, γ) -Spektrums von Meerwasser

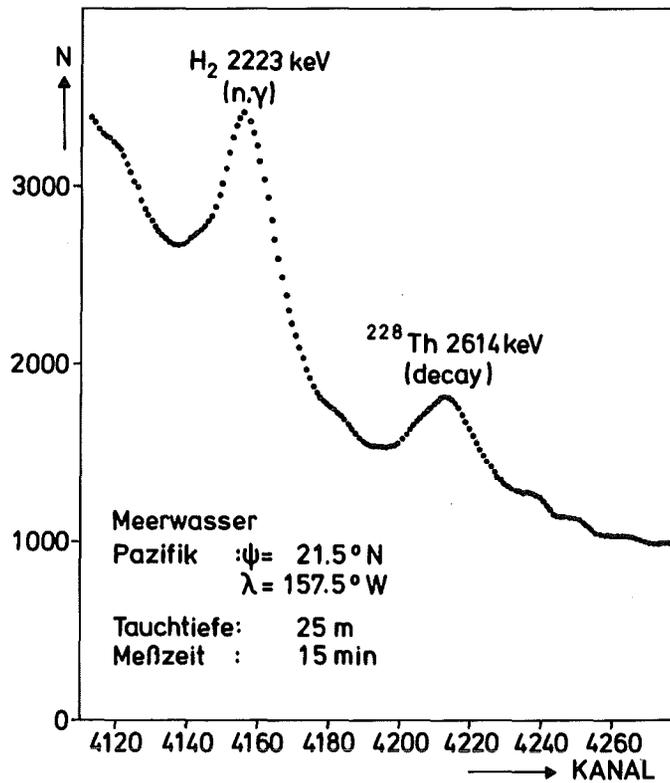


Abb. 11.3 Ausschnitt eines geglätteten Transmissionsspektrums

Aus diesen Spektren wurden die Peaklagen für die Gammalinien von Mangan, Kupfer und Nickel errechnet und zusammen mit den Mittelwerten der gemessenen Zählraten PK und ZR aus Tab. 11.I in das Auswerteprogramm als Vergleichs- und Bezugswerte aufgenommen. Dabei wurde auf den Wert von DS verzichtet, da er eine nur vom Detektor abhängige Größe ist, die im Labor bereits genauer ermittelt worden war. Die Reproduzierbarkeit der Werte lag innerhalb der statistischen Genauigkeit. Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen der statischen und dynamischen Tests, so ergibt sich sowohl aus den gemessenen Peakintensitäten PK der Cl 7414" keV-Linien als auch aus den Neutronenmeßwerten ZR^{\max} eine um ca. 16 % geringere Chlorkonzentration als im Salzwasser während der statischen und dynamischen Tests. Die Intensitäten der Cl 7414' keV-Linien und der Wert von ZR^{Rand} können

DRUCKER : ÜBERWACHUNG

DRUCKER : ANALYSE

14:53:54 13.12.76

WARTEPOSITION
*PMOD DTAPE=1\$
*PMOD TSENK=10\$
*PMOD FVER=1\$
*PMOD DIFFGE=20\$
*PLIST\$

ZYK = 1
TMESS = 900
DIFFGE = 20 10
VORAB = 0
PVER = 1 2
TPUMP = 30
LVER = 2
TLEER = 15
ADRUH = 0
SHALT = 0
TSENK = 10 60
S3DRU = 0
TREST = 10
SNFL = 1000
DTAPE = 1 0

*ZYK1\$

14:54:08 13.12.76

START ZYKLUS

14:54:10 13.12.76

LEERPHASE EROEFFNET
LEERPHASE ERFOLGREICH ABGESCHLOSSEN

14:54:58 13.12.76

MESSPHASE EROEFFNET
TAUCHTIEFE = 10 A 36,64 m
ANF.-TEMP,GE = 70 A 44,5 K
TEMP,CASE 1 = 1742 A 34,7 °C
TEMP,CASE 2 = 1716 A 30,2 °C
TEMP,CASE 3 = 1749 A 35,9 °C
MESSZEIT LAEUFT
ENDTEMP,GE = 71 A 44,7 K

15:10:02 13.12.76

MESSPHASE ERFOLGREICH

DT1:131510.C01

MEERWASSERPHASE

ZRMAX: 13453,3 CPS ZRRAND: 772,416 CPS

TRANSMISSION 0 K: PL= 4212,96 NZ= 5844,38 C/15MIN +- .0503193

KONTROLLE 0.K.
CL1- 7414' : PL= 1917,75 NZ= 2919 C/15MIN +- .0381483

FUER DIE KNOLLENPHASE ERFORDERLICHE WERTE AUS DER
MEERWASSERPHASE:
KONSTANTE K1= .218369
TRANSMISSION T3= 5844,38
CHLOR E(2)= 2919

15:10:02 13.12.76

PUMPHASE EROEFFNET
PUMPFZEIT ZU LANG
BODENKONTAKTRATE = 0
KNOLLENBEHAELTER LEER

15:10:37 13.12.76

PUMPHASE ABRUCH

15:10:37 13.12.76

ZYKLUS ABRUCH

15:10:39 13.12.76

WARTEPOSITION
*LISTS\$
TEMPERATUR GE-DETEKTOR = 71 A 44,7 K
TEMPERATUR CASE 1 = 1817 A 47,3 °C
TEMPERATUR CASE 2 = 1717 A 30,3 °C
TEMPERATUR CASE 3 = 1716 A 30,2 °C
NEUTRONENFLUSS1 =1377
NEUTRONENFLUSS2 =1354
SCHRAEGLAGE 1 = 34 A 0,95 °
SCHRAEGLAGE 2 = 16 A 0,45 °
STROM PUMPENMOTOR = 1 Saugmotor aus
TAUCHTIEFE = 7 A 25,65 m
FEHLERREGISTER = 1 000 000 000 000 000
STATUSREGISTER = 1 011 001 100 000 000
BEFEHLSCODE = 1 100 000 010 000 000
KENNWORT = 1 010 101 010 101 010

Abb. 11.4 Rechnerprotokoll einer Messung
beim Flachwasserversuch

wegen der großen statistischen Ungenauigkeit nicht für einen Vergleich herangezogen werden. Der gemessene geringere Meerwassertransmissionswert widerspricht jedoch der genannten Tatsache und muß auf eine Dejustierung der Transmissionsstrecke zurückgeführt werden. Eine Überprüfung der Justierung der Transmissionsstrecke, an Hand gemessener Intensitäten bei Luft im Transmissionsweg, war nicht mehr möglich.

	1. Messung (25 m Tauchtiefe)	2. Messung (30 m Tauchtiefe)
ZR ^{max} (cps)	13318	13193
ZR ^{Rand} (cps)	764	791
PK _{C1 7414"} (c/15 min)	2890 ± 3.8 %	2828 ± 4.0 %
Peaklage C1 7414"	Kanal 1918	Kanal 1919
1/DS	0.218	0.254
PK _{228 Th} (c/15 min)	5763 ± 5.0 %	5950 ± 4.9 %
Peaklage ²²⁸ Th	Kanal 4213	Kanal 4214

Tab. 11.I Mit dem Auswerteprogramm erhaltene Daten für eine on-line-Manganknollenanalyse (s. Abb. 11.4)

Die Daten sind auf das Datum des Tiefseever Versuches normiert.

Ein Rechnerdefekt, wenige Stunden nachdem die Sonde wieder an Bord war, der mit bordeigenen Mitteln und auch nach telefonischer Rücksprache mit dem DEC-Service nicht behoben werden konnte, verhinderte eine sofortige Auswertung anfallender Meßdaten. Nachdem der Rechner nicht repariert werden konnte, übernahm die Steuer- und Kontrolleinheit alle Rechnerfunktionen mit Ausnahme der Meßdatenauswertung.

Unter Voraussetzung, daß keine weitere Dejustierung der Transmissionsstrecke auftrat, konnte jedoch wegen der Relativmessungen von Manganknollen zu Meerwasser diese Dejustierung in Kauf genommen werden. Zudem war für den Tiefsee-Einsatz nach jeder Manganknollenanalyse die Aufnahme von Meerwasser-(n,γ)- und Transmissionspektren zur Überprüfung der Systeme (Änderung der Nachweisempfindlichkeit der Detektoren und der Energieauflösung usw.) vorgesehen, damit auch solche Effekte während einer Meßkampagne erkannt werden können. Der Nachteil der Dejustierung war eine Verringerung der Zählrate und daraus wiederum resultierte ein größerer Fehler des Transmissionswertes.

Die während des Flachwassereinsatzes durchgeführten Funktionstests des Saugmotors und des Klappenmotors sowie das Ein- und Ausschleusen der ^{252}Cf -Quelle verliefen problemlos. Auch die Auflösung des Ge-Detektors bei diesen beiden Messungen (7.8 bzw. 9.1 keV für die Cl 7414" keV-Linie) entsprach den Werten bei den statischen und dynamischen Versuchen (s. Kap. 10, Tab. 10.III).

Die aufgetretenen Schräglagen der Sonde im Wasser betragen längs und quer zur Fahrtrichtung maximal 6° . Diese Werte sind jedoch durch die Nähe zum Schiff (Schraubenstrahl) beeinflusst und nicht typisch für den Schleppfall im tiefen Wasser, was sich insbesondere an der Neigung quer zur Fahrtrichtung zeigt (s. Kap. 11.4). An der digitalen Anzeige des Seiltagebuches wurden Lastspitzen bis 14 Mp trotz ruhiger See angezeigt, was einer Last von 12,5 Mp nach der vor Beginn der Fahrt VA 14 im Oktober 1976 aufgestellten Eichkurve (s. Abb. 11.5) entspricht.

11.4 Tiefseeversuch

Nach Beendigung dieser Versuche mußte die elektrische Verbindung zur Schleppsonde getrennt werden, da das Koaxialkabel für die Erprobung des Side Scan Sonars benutzt wurde.

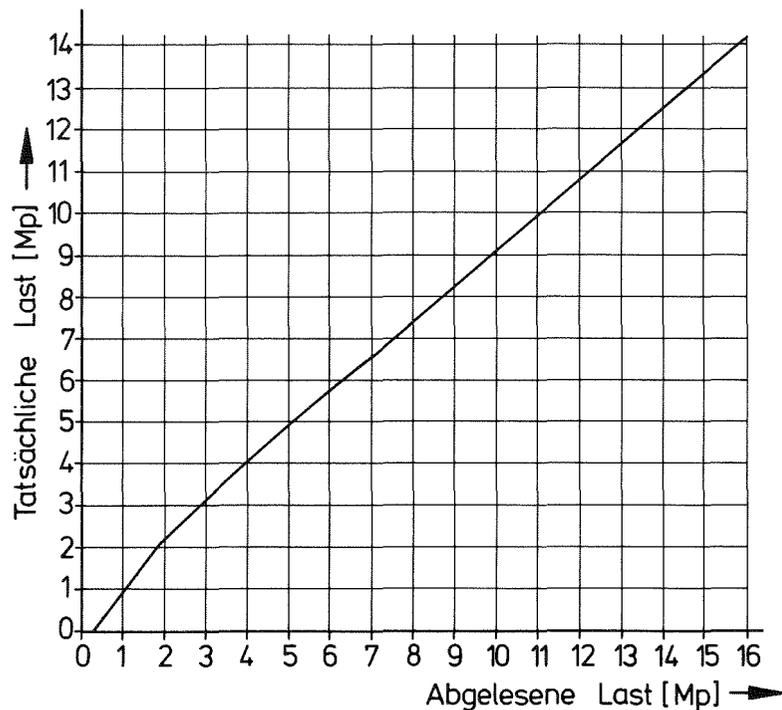


Abb.11.5 Eichkurve für die Lastanzeige des Seiltagebuches auf FS "Valdivia" (Genauigkeit $\pm 0,5\%$, Ablesefehler $\pm 0,1$ Mp)

Nach Erreichen des Versuchsgebietes konnte daher erst am vorgesehenen Einsatztag (25.12.76) die Kabelverbindung wieder hergestellt werden. Nach Zuschalten der Hochspannung wurde festgestellt, daß das Vakuum im Kryostaten sich wieder verschlechtert hatte, so daß ein erneutes Abpumpen notwendig war. Außerdem gab es Störungen bei der Datenübertragung, die zunächst nicht erklärt werden konnten.

Nachdem am nächsten Morgen ein Kurzschluß durch Luftfeuchtigkeit im Stecker der Drehdurchführung an der Kabeltrommel auftrat, wurde der Versuch auf den 27. Dezember verschoben. Diese Luftfeuchtigkeit war auch die Ursache der vorausgegangenen Störungen in der Datenübertragung. Außerdem waren dadurch Bauelemente des Senders der PCM-Bordeinheit zerstört worden.

Nach Reparatur des Steckers der Drehdurchführung, Austausch der beschädigten Elektronikarten, Neueinstellung der PCM-Sender und -Empfänger und Beendigung des Abpumpens arbeiteten ab Mittag wieder alle Systeme einschließlich des Ge-Detektors ohne Störungen.

Um mit möglichst geringem Risiko optimale Ergebnisse in der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit zu erhalten, war geplant, in verschiedenen Wassertiefen an Bord eingefüllte Manganknollen zu analysieren. Hiermit sollte nachgewiesen werden, daß das Analysensystem und die Datenübertragung bei Schleppfahrten in großen Tiefen geeignet ist und problemlos funktioniert.

Da während der gesamten Ausfahrt grobe See und starker Wind (Dünungswellen häufig 3 bis 5 m hoch, Periode ca. 8 s; zusätzliche Windsee 4 bis 5) herrschte, wurde ein gegenüber dem in Kap. 7.4 beschriebenen geänderter Handlungsablauf ausgeführt. Das Einschleusen der ^{252}Cf -Quelle wurde zu einem Zeitpunkt vorgenommen, in dem die Sonde noch in der Heckaufschleppe stand. Innerhalb kürzester Zeit konnte danach die Sonde ins Wasser gebracht und die kritische Phase am kurzen Seil überwunden werden (Zeit vom Ende des Einschleusens bis zum Erreichen von 100 m Kabellänge 9 min). Dabei wurden die eingefüllten Knollen aus nicht bekanntem Grund ausgestoßen. Da aber das Ein- und Ausbringen der Sonde das größte Verlustrisiko darstellte, wurden anstelle von Manganknollenspektren Meerwasserspektren gemessen und übertragen. Man erhält damit die gleiche Aussage über die Funktionsfähigkeit des Analysensystems und die Genauigkeit der Metallkonzentrationsbestimmung.

Bis ca. 350 m Kabellänge traten Lastspitzen bis 15,4 Mp (d.h. 13,6 Mp nach der Eichkurve in Abb. 11.5) auf. Danach stabilisierten sich diese Werte auf Anzeigen um 7 Mp. Bei 4000 m ausgesteckter Seillänge gab es Lastschwankungen (korrigiert)

von 6,0 bis 6,8 Mp, bei 5000 m von 6,2 bis 7,0 Mp, jeweils beobachtet über 1 Minute. Alle 1000 m, beginnend bei 2000 m ausgesteckter Kabellänge und auch während des Fierens wurden über die Steuer- und Kontrolleinheit Meerwasserspektren aufgenommen und die Daten auf Magnetband gespeichert. Abb. 11.6 zeigt die Absinkkurve der Schleppsonde in Abhängigkeit der Wassertiefe und der Schiffsgeschwindigkeit, wobei die im voraus berechneten Seilkurven nicht mit den Tauchtiefenmeßwerten der Sonde übereinstimmten. Bei der gegen 15 h erreichten Kabellänge von 5034 m ergab sich eine Tauchtiefe von 3693 m, aus der Seilkurvenberechnung jedoch eine Tiefe von 4850 bei der gefahrenen Schiffsgeschwindigkeit von 1,2 kn. Der Abgangswinkel des Schleppkabels an der Heckrolle betrug 40° bis 45° , was die Werte der Tauchtiefenanzeige in der Sonde bestätigte. Nachdem auch die Motoren mehrmals getestet worden waren, war das zuverlässige Arbeiten aller SONDENSYSTEME bewiesen.

Die Schräglagen der Sonde in verschiedenen Tauchtiefen sind in Tab. 11.II aufgeführt, wobei jeweils die Abweichungen von der Normallage der Sonde im Wasser angegeben sind. Anhand der Mittelwerte ist klar erkennbar, daß mit wachsender Tauchtiefe die Stabilität der Sonde zunimmt.

Tauchtiefe [m]	Schräglage zur Fahrtrichtung [°]			Schiffsgeschwindigkeit [kn]
	längs		quer	
	Maximalwert	Mittelwert	Mittelwert	
1400 - 1850	+ 16,1 - 11,9	+ 4,7 - 5,7	± 1,0	2,0
2350 - 2900	+ 15,5 - 11,3	+ 3,0 - 3,6	± 0,8	2,0
3200 - 3400	+ 5,4 - 5,0	+ 2,4 - 1,0	± 0,6	2,5

Tab. 11.II Schräglagen der Schleppsonde beim Tiefseetest
(+ $\hat{=}$ Neigung der Front nach oben)

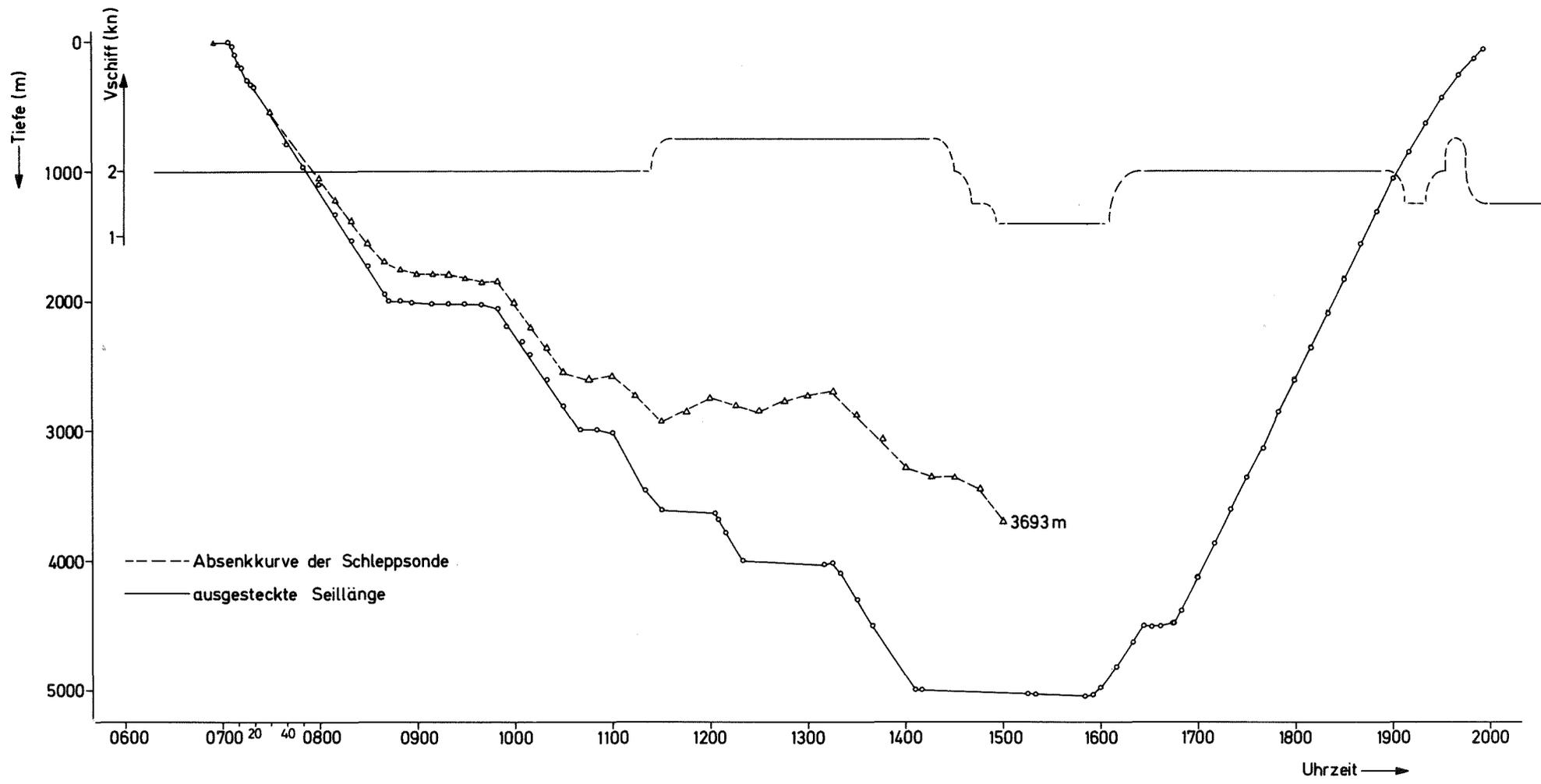


Abb. 11.6 Absenkkurve der Schleppsonde beim Tiefseetest

Um 15.11 h gab es einen Kurzschluß in der Spannungsversorgung der Sonde. Messungen bis zur Drehdurchführung ergaben keinen Fehler, Messungen in das Kabel hinein zeigten, daß der Kurzschluß in Sondennähe entweder im Koaxialkabel oder der Sonde selbst aufgetreten sein mußte. Die genaue Lage und Ursache war nicht feststellbar. Aus diesem Grund wurde beschlossen, die Sonde an Bord zu hieven.

Bei Erreichen der letzten 700 m Seillänge traten wieder höhere Lastschwankungen auf und später Spitzen um 13,5 Mp (korrigiert). Bei 54 m Seillänge - kurz vor dem Anbordnehmen - riß das Koaxialkabel oberhalb der Seilbefestigung, was zum Verlust der Sonde und damit zum Abbruch der Versuche führte.

Die Meßdaten, die bis zu diesem Zeitpunkt ermittelt wurden, konnten wegen des Rechnerdefekts erst nach dem Eintreffen der Ausrüstung in Karlsruhe ausgewertet werden. Da jedoch nur Meerwasserspektren aufgenommen wurden, beschränkte man sich bei der Auswertung auf die Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Meßsysteme und auf den Vergleich mit zuvor gewonnenen Ergebnissen. In Tab. 11.III sind die Ergebnisse der Messungen in verschiedenen Wassertiefen und auch während des Fierens aufgeführt, und Abb. 11.7 zeigt ein in ca. 3350 m Tiefe aufgenommenes Meerwasserspektrum.

Wassertiefe +)	Fiergeschw.	ZR ^{max}	ZR ^{Rand}	PK _{Cl} 7414"keV	1/DS	ε _{CL} 7414"keV	PK ₂₂₈ _{Th}
(m)	(m/min)	(cps)	(cps)	(c/15 min)		(keV)	(c/15 min)
1132	~ 20	13785	772	2595 ± 4.4 %	0.193	8.3	-
1704	~ 10	13698	750	2685 ± 4.3 %	0.210	9.1	-
2759	~ 20	13864	762	2731 ± 4.1 %	0.231	8.9	8557 ± 3.9 %
2832	0	13883	761	2725 ± 4.2 %	0.223	9.3	8001 ± 4.1 %
2759	0	13844	749	2729 ± 4.2 %	0.201	7.8	7595 ± 4.3 %
2704	~ 20	13864	744	2761 ± 4.1 %	0.191	9.0	7626 ± 4.3 %
2887	~ 20	13952	771	2808 ± 4.0 %	0.193	8.1	7444 ± 4.4 %
3111	~ 20	13873	754	2933 ± 3.8 %	0.210	8.5	8168 ± 4.0 %
3352	0	13912	755	2851 ± 4.0 %	0.201	8.6	6780 ± 4.8 %

+) errechnete Wassertiefe nach Ende der Meßzeit

Tab. 11.III Meßwerte der Detektoren während des Fierens und beim Schleppen in verschiedenen Wassertiefen

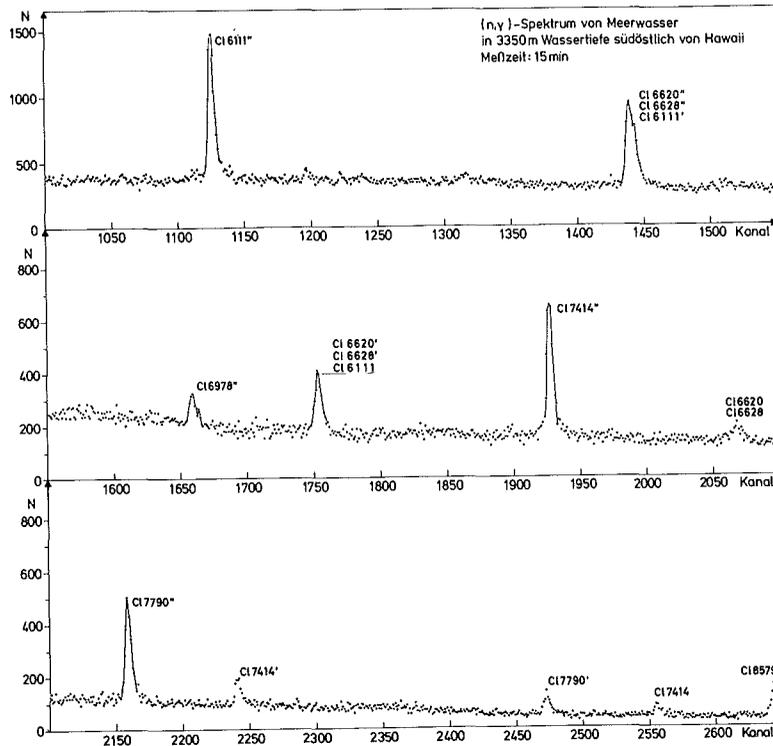


Abb. 11.7 (n,γ)-Spektrum von Meerwasser

Die gemessenen Neutronenzählraten ZR^{\max} und ZR^{Rand} waren dabei bis auf eine Ausnahme alle innerhalb der statistischen Unsicherheit. Dasselbe gilt auch mit zwei Ausnahmen für die Intensität PK der Cl 7414" keV-Gammalinie. Im Mittel ist jedoch die Intensität der Cl-Linie um ca. 4 % niedriger als während des Flachwassertests in Landnähe, woraus man auf eine geringere Cl-Konzentration schließen könnte. Dies würde auch die Zunahme des ZR^{\max} -Wertes gegenüber dem Flachwassertest erklären. Die Transmissionsmessungen in 1132 m und 1704 m Wassertiefe waren nicht auswertbar.

Die in Tab. 11.III aufgeführten Zählraten PK der ^{228}Th -Linie liegen bis auf zwei Ausnahmen innerhalb der statistischen Fehlergrenzen. Vergleicht man den Mittelwert dieser Zählraten mit dem des Flachwassertests, so ergibt sich eine um 32 % höhere Transmission. Ob diese große Differenz wiederum auf eine Dejustierung der Transmissionsanordnung zurückzuführen ist, kann

wegen des Verlustes der Schleppsonde nicht nachgeprüft werden. Die Energieauflösung ϵ der ^{137}Cs 662 keV-Gammalinie entsprach ebenfalls den Werten bei den statischen und dynamischen Versuchen.

Die Messungen bis zu einer Wassertiefe von ca. 3500 m haben ergeben, daß alle Komponenten einschließlich der drei Detektorsysteme einwandfrei arbeiteten. Wenn auch die Meßdaten von Meerwasser in weitem Bereich streuten, kann man mit den während eines ersten Tiefsee-Einsatzes erzielten Ergebnissen zufrieden sein. Die Voraussetzungen, um nach dem Aufsammeln von Manganknollen gleichwertige Ergebnisse zu erzielen, waren gegeben.

11.5 Untersuchungen der Bruchstelle des Koaxialkabels

Nach Beendigung der Versuchsfahrt VA15 wurden in Karlsruhe die Bruchstellen der Einzeldrähte aus der inneren (1,5 mm \emptyset) und der äußeren Drahtlage (2,0 mm \emptyset) der Armierung des Schleppkabels mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops untersucht /28/.

Die Bruchstellen zeigen teils gut ausgebildete Tassenbrüche (s. Abb. 11.8 und 11.13), teils Scherbrüche unter 45° (s. Abb. 11.10), ferner Mischformen dieser beiden Brucharten (s. Abb. 11.12). Die Ursache für das Auftreten der verschiedenen Bruchformen ist in der komplexen Spannungsverteilung innerhalb des Kabelquerschnittes zu suchen, die in den einzelnen Drähten zu Abweichungen von der rein axialen Zugspannung führten.

Die Bruchflächen sind durch Korrosionsprodukte aufgrund der langen Transportzeit, vermischt mit Meerwasserrückständen, vollständig überdeckt. Diese haben teils flächig krustiges (s. Abb. 11.11), teils plättchenförmig kristallines Aussehen (s. Abb. 11.14). An verschiedenen Proben sind Tröpfchen ober-

flächlich verkrustet und haben bei weiterem Verdunsten des Tröpfcheninhalts auf der Innenseite einen kristallinen Belag zurückgelassen (Mikro-Drusen s. Abb. 11.9).

Eine Bruchfläche im nicht korrodierten Zustand, die durch Biegen im Labor hergestellt wurde, zeigt Abb. 11.15. Der hochfeste Werkstoff (nominelle Drahtfestigkeit $171,5 \text{ kp/mm}^2$) bricht mit extrem feiner Wabenstruktur (s. Abb. 11.16).

Die Schleppkabelbruchstellen weisen keine Anzeichen für einen Dauerbruch auf, so daß angenommen werden kann, daß bedingt durch die schlechten Wetterverhältnisse die ruckartige Last auf das Schleppkabel kurzzeitig den zulässigen Maximalwert überschritt und die Einzeldrähte abrissen, obwohl nach den Seiltagebuchanzeigen die wirkliche Bruchkraft (s. Kap. 4.3) erst zu ca. 70 % erreicht wurde.

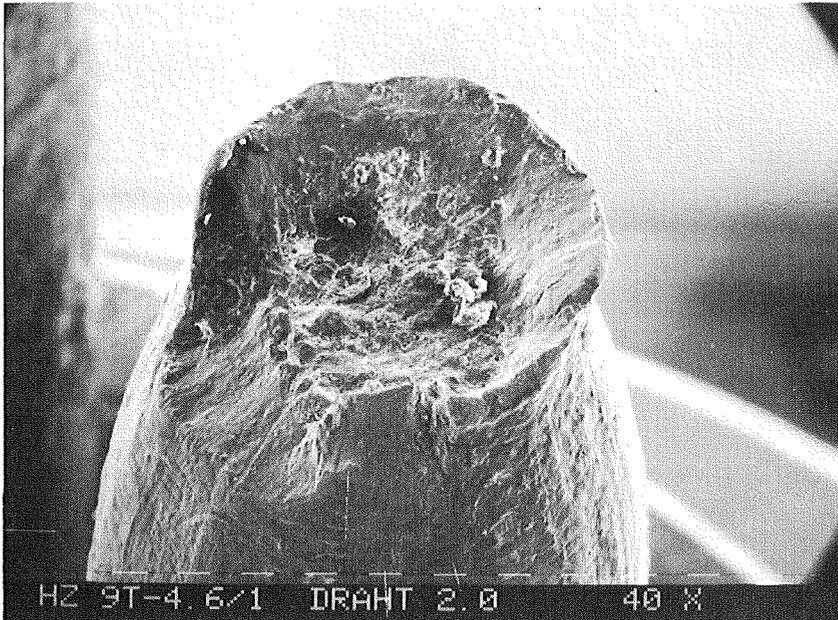


Abb. 11.8
Tassenbruch
eines Drahtes
der inneren
Lage

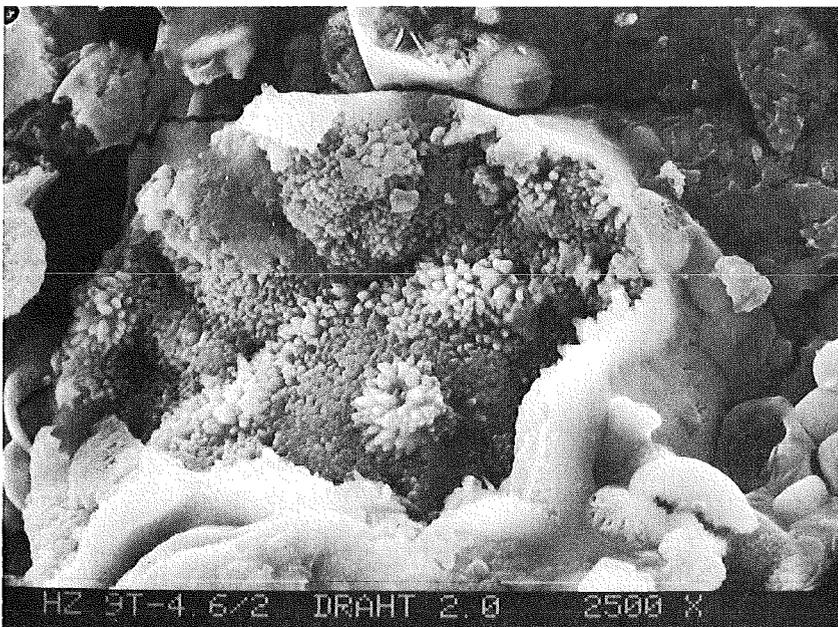


Abb. 11.9
Mikro-Druse



Abb. 11.10:
Scherbruch
unter 45°
eines Drahtes
der äußeren
Lage

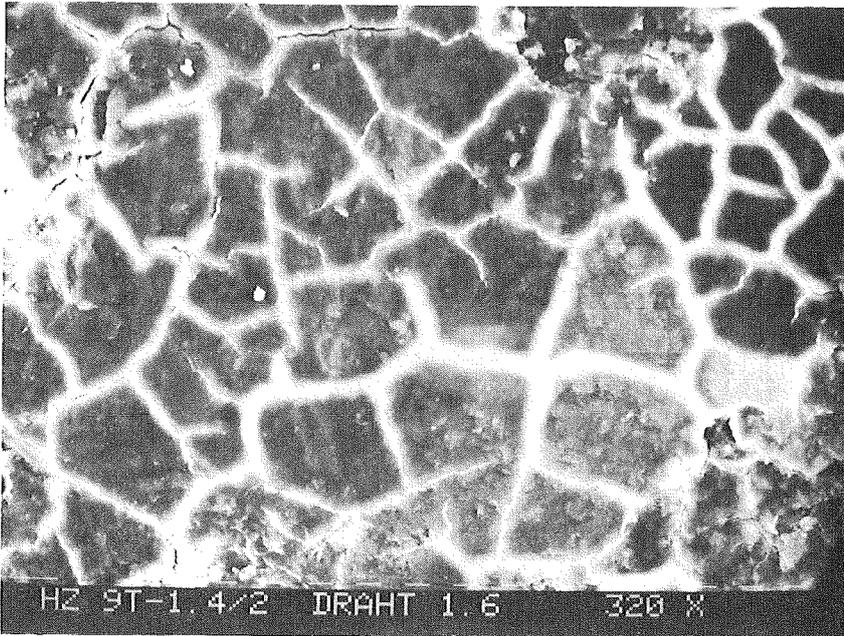


Abb. 11.11
Korrosions-
produkte

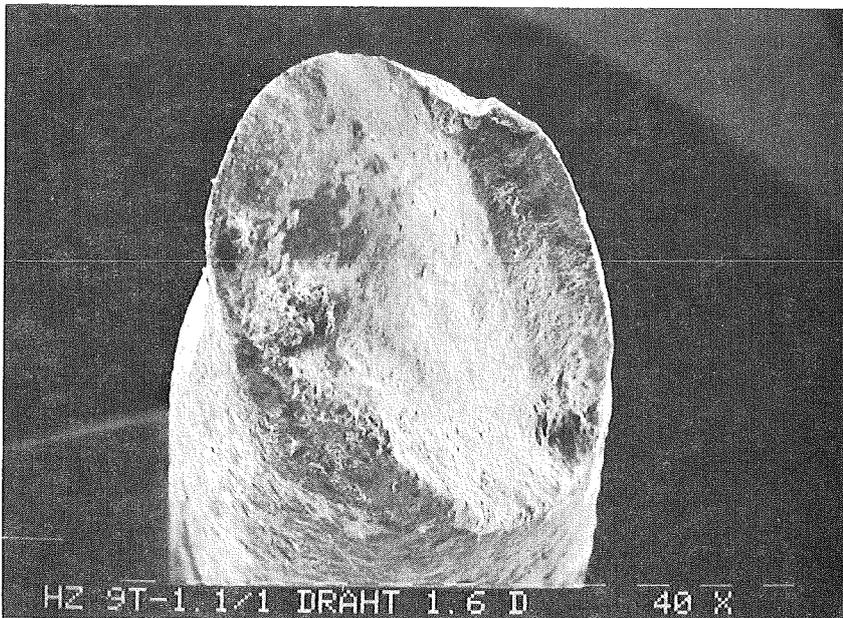


Abb. 11.12
Mischform
beider Bruch-
arten eines
Drahtes der
äußeren Lage

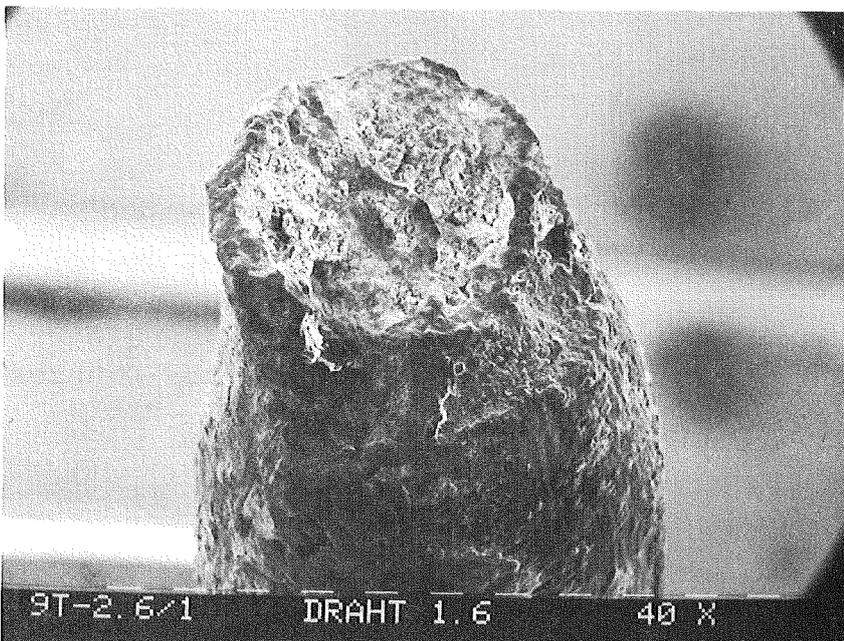


Abb. 11.13
Tassenbruch
eines Drahtes
der äußeren
Lage

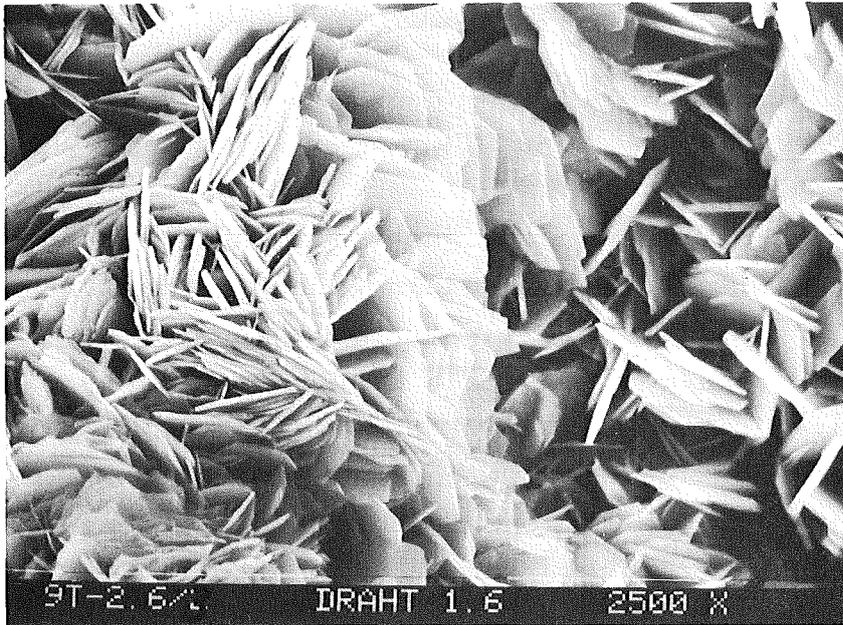


Abb. 11.14
Korrosions-
produkte

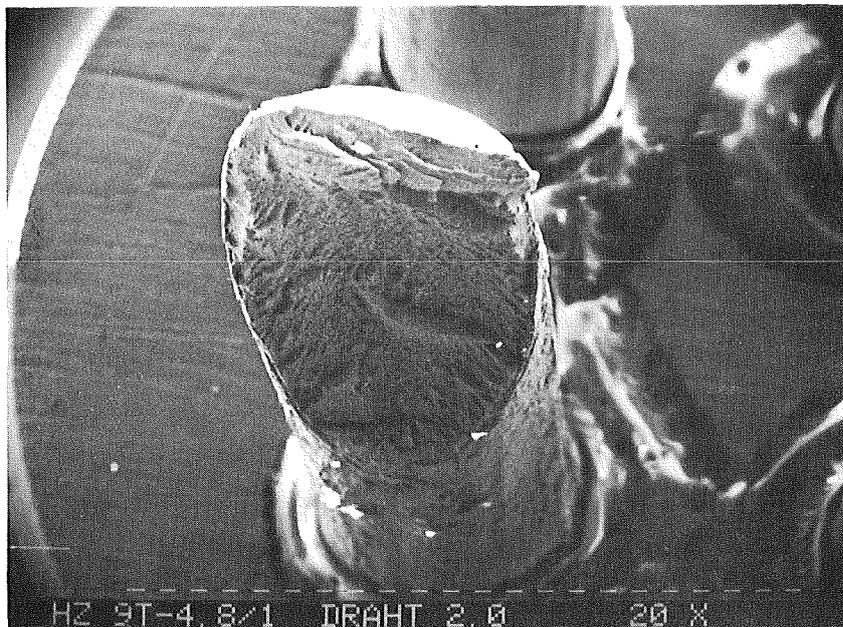


Abb. 11.15
Bruchfläche einer
im Labor herge-
stellten Biege-
probe eines Drahtes
der inneren Lage

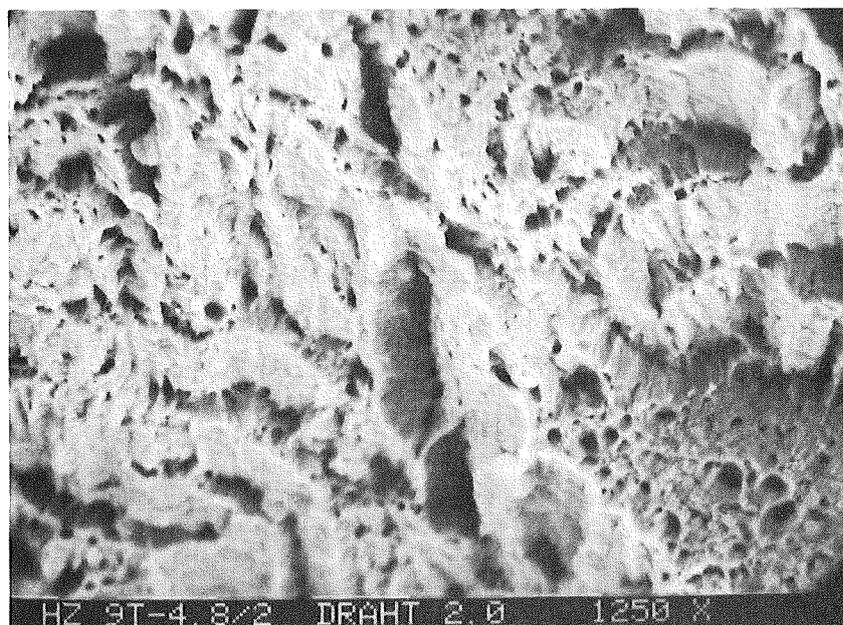


Abb. 11.16
Wabenstruktur
des hochfesten
Werkstoffes

12. ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN

Nach dem Abschluß des ersten Tiefseeversuchs mit MANKA werden die Arbeiten an einem integrierten Manganknollen-Explorationssystem im Kernforschungszentrum nicht weitergeführt, solange ein interessierter Industriepartner nicht bekannt ist.

Im Folgenden soll jedoch aufgezeigt werden, mit welchen Änderungen und Ergänzungen die Komponenten des Explorationssystems in dem bodenabstandsgesteuerten Schleppkörper GUSTAV, der ein Bestandteil des z.Z. in der Entwicklung befindlichen DEEPTOW-Systems ist, eingebaut werden können.

12.1 Einbau in DEEPTOW

Zur Knollenprobennahme muß das Analysengefäß mit dem hydraulischen Förderkreislauf in den Schwebekörper GUSTAV eingebaut werden. Bei einem Bodenabstand von etwa 3 m und einer Schleppgeschwindigkeit bis 3,5 kn ist das bei MANKA benutzte Saugsystem bei Änderung der Saugschlauchlänge und der Saugkopfhalterung direkt übertragbar. Die Höhe des Analysengefäßes kann durch Wegfall des Transmissionszweiges (s. Kap. 12.3) so weit verringert werden, daß keine Einbauschwierigkeiten auftreten.

Bei Erhöhung der Schleppgeschwindigkeit auf den Auslegungswert von 6 kn bei DEEPTOW ist sowohl der Saugschlauch als auch der Aufnahmekopf neu auszulegen, wobei jedoch keine technische Grenze gegeben ist.

Von den geometrischen Verhältnissen her sind weitere Änderungen nicht notwendig. Betrachtet man die Gewichtsverhältnisse, ist es sinnvoll, den benötigten Hochspannungstransformator im SEP unterzubringen, was keinerlei Schwierigkeiten macht.

12.2 Änderung der Komponenten

Zur Erreichung eines möglichst günstigen Auftriebes ist es notwendig, alle Einbauten gewichtssparend auszulegen. Auf den Transmissionszweig bei der Metallgehaltsbestimmung kann sogar verzichtet werden, wenn eines der beiden in Kap. 12.3 aufgeführten Verfahren verwendet wird.

Durch den Wegfall der ^{228}Th -Quelle, des NaJ(Tl)-Detektors mit Druckbehälter und deren Kollimatoren erreicht man eine Gewichtsverringerung von ca. 200 kg. Dadurch kann der zylindrische Teil des Analysengefäßes verkürzt werden, ohne die Nutzzählrate im Ge-Detektor aus dem vom Kollimator ausgeblendeten Analysenvolumen wesentlich zu verringern. Auch der Aufwand für die Datenerfassung und -auswertung wird vermindert. Dadurch, durch Änderung der Kartenanordnung in dem Elektronik-Druckbehälter, Verwendung höher integrierter Bauelemente und Erhöhung der Packungsdichte kann die gesamte benötigte Elektronik und Elektrik in einem einzigen kugelförmigen Druckbehälter untergebracht werden.

Aus Platzgründen kann auch auf Zylinderform übergegangen werden, wobei eine noch bessere Raumausnutzung erzielt werden kann. Ein zylinderförmiger Behälter hat allerdings eine Verringerung des Auftriebes zur Folge.

Der Kompressor im Kältesystem zur Detektorkühlung war eine für diesen Zweck überdimensionierte, handelsübliche Ausführung. Durch Neuentwicklung des Kompressors kann man zu einer kompakteren Bauform und damit zu einem kleineren Druckbehälter gelangen.

Durch Verwendung eines verkleinerten Expansionsteiles, das in der Zwischenzeit in der Industrie entwickelt wurde, kann der Kryostaten-Druckbehälter verändert und als Zylinder ausgeführt werden. Durch Wegfall des Zwischenringes ergibt sich dann eine deutliche Gewichtsreduzierung.

Eine Nachrechnung der eingesetzten Druckbehälter mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente hat ergeben, daß bei optimaler Werkstoffausnutzung die Wandstärken aller Druckbehälter verringert werden können, was bei gleichem Volumen zu besseren Auftriebswerten führt.

Es ergibt sich überschlägig ein Gesamtgewicht des Analysensystems von 750 kp in Luft und 400 kp im Wasser. Bei entsprechender Auslegung der Druckbehälter und Einsatz von syntaktischem Auftriebsmaterial ist man in der Lage, auch bei dem zur Verfügung stehenden Volumen ein Schwebезustand des GUSTAVs zu erreichen.

12.3 Möglichkeiten zur Vereinfachung der Metallgehaltsbestimmung von Manganknollen

Legt man den Manganknollen eine konstante Substanzdichte von $3,0 \text{ g/cm}^3 \pm 2 \%$ zugrunde, wie sie in Ref. /29/ experimentell an gefrieretrockneten Proben bestimmt wurde, kann der Kollenvolumenanteil im Analysengefäß und damit die Probenmenge direkt über das Chlorlinienverfahren gewonnen werden. Hierbei wird die Intensität der $\text{Cl } 7414'' \text{ keV}$ -Linie einmal mit und einmal ohne Knollen im Analysengefäß bestimmt (s. Kap. 8.5). Die Ermittlung der Knollenmasse mittels einer Transmissionsmessung wird damit überflüssig. Eine Verbesserung der Genauigkeit der Manganknollenanalyse wird wegen der relativ geringen Zählrate der $\text{Cl } 7414'' \text{ keV}$ -Linie nicht erreicht.

Eine andere Möglichkeit, auf die Transmissionsmessung zu verzichten besteht darin, die absoluten Nickel- und Kupferkonzentrationen in den Manganknollen aus bekannten geochemischen Korrelationen zu bestimmen /30, 31, 32/. Auf die Knollenmassenbestimmung kann dabei ebenfalls verzichtet werden, da die Nickel- und Kupfergehalte in direkter Beziehung zum Mangan/Eisen-Verhältnis stehen. Gemäß Gl. (4) in Kap. 9.5 kann das Mn/Fe-Verhältnis aus den Gammalinien $\text{Mn } 7058'' \text{ keV}$ und dem Eisenduplett bei $7632''$ und $7646'' \text{ keV}$ unter Berücksichtigung des bei der

Kalibrierung bestimmten Efficiency-Verhältnisses $\epsilon_{\text{Mn}}^*/\epsilon_{\text{Fe}}^*$ errechnet werden. Der Beitrag der Cl 6620/6628 keV-Linien im Eisenduplett muß dabei jedoch mittels einer separaten Cl-Linie ermittelt werden. Dieser Beitrag und die induzierte Untergrundstrahlung von Eisen können aus den Messungen von Meerwasser-Kontrollspektren gewonnen werden. Nimmt man für die Korrelationen eine vertretbare Unsicherheit von 10 % an, so ergeben sich Fehler von ca. 30 % für die Nickel- und Kupfergehalte bei ca. 20 % Mn- und ca. 10 % Fe-Gehalt /33/.

Die Fehler bei der Nickel- und Kupferkonzentrationsbestimmung von Erzknollen können bei der MANKA-Meßanordnung bei gleicher Meßzeit (15 min) noch verringert werden, wenn man eine um den Faktor 2 höhere Neutronenquellstärke verwendet. Dies ist ohne Änderungen der Meßelektronik und der Analysegeometrie möglich. Auch haben die Versuche gezeigt, daß Transport und Handling einer stärkeren Neutronenquelle durchführbar sind. Strahlenschäden im Ge-Detektor durch schnelle Neutronen müssen dabei durch Änderung der Detektorenabschirmung auf ein erträgliches Maß reduziert werden. Konzentrationen von 20 % Mn, 1 % Ni und 1 % Kupfer lassen sich dann mit einer Genauigkeit von 19 %, 26 % und 56 % anstelle von 23 %, 35 % und 75 % in gleicher Reihenfolge bestimmen. Das Signal/Untergrundverhältnis im Transmissionspeak muß dabei gleichwertig dem ohne doppelte Neutronenquellstärke sein. Bei Anwendung der geochemischen Korrelationen verringert sich bei doppelter Neutronenquellstärke im zuvor angeführten Beispiel der Fehler für die Ni- und Kupfergehalte auf ca. 25 %.

Die Möglichkeit, weitere Verbesserungen der Meßgenauigkeit zu erzielen, ist durch weitere, zeitintensive Eichmessungen und Optimierung der Datenverarbeitung gegeben.

12.4 Erweiterung zum integrierten System

Bei der Exploration einer möglichen Manganknollenlagerstätte muß eine Anzahl für den Abbau wichtiger Informationen beschafft werden. Außer den Metallgehalten und der Wassertiefe, die bereits mit der MANKA gewonnen werden, sind dies im wesentlichen Belegungsdichte, Bodenbeschaffenheit und Topographie. Die Belegungsdichte wird mit Hilfe des Side-Scan-Sonars auf Geländestreifen von über 100 m Breite ermittelt. Mit einem ergänzenden Fernsehbild, das nur einen Geländestreifen von ca. 1 m Breite erfaßt, kann das weniger eindeutige Sonarbild besser interpretiert werden. Zur Bestimmung der Bodenbeschaffenheit wird ein Echolot eingesetzt. Bei Verwendung von zwei Frequenzen lassen sich auch genauere Aussagen über die Bodenfestigkeit erhalten. Topographische Messungen werden vom Schiff aus mit einem Schelffrandlot durchgeführt. Ergänzt werden können diese Messungen mit den Daten vom Side-Scan-Sonargerät.

Das Frequenzband für die mit Pulse-Code-Modulation übertragenen Daten der MANKA (16 bis 128 kHz) wurde so gewählt, daß jederzeit weitere Systeme wie Side-Scan-Sonar, Fernsehen, Echolot usw. hinzugefügt werden können. Es erlaubt die Übertragung einer Datenmenge von 160 kBit pro Sekunde. Bei Wegfall des Transmissionszweiges werden hiervor nur ca. 70 kBit für die Übertragung der Daten aus dem Analysenzweig zur Bestimmung der Metallgehalte und der Daten von den Sensoren zur Sondenüberwachung benötigt. Gegebenenfalls kann die Bitrate auf 500 kBit/s erhöht werden, so daß Kapazität zur Übertragung der Daten von Side-Scan-Sonar, Echolot oder weiterer Steuerbefehle zur Verfügung steht. Das Frequenzband oberhalb 500 kHz ist vorgesehen zur Übertragung der amplitudenmodulierten Fernsehsignale.

LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Boehme, G., Fanger, U., Glaser, B., Hain, K.,
Stegmaier, W., Prech, V., Apenberg, W., Hübener, J.,
Vagner, J.: Verfahren zur In-situ-Analyse von marinen
Erz-Konkretionen. Patent DTOS 2 309 974, Deutsches
Patentamt München, 5.9.1974
- /2/ Stegmaier, W., Borcharding, K., Bösch, L., Fanger, U.,
Lange, J., Pepelnik, R., Suppan, A., Tamm, U.:
Ein integriertes Manganknollen-Explorationssystem.
KFK 1957, (April 1974) Kernforschungszentrum Karlsruhe
- /3/ Würz, H., Fanger, U., Pepelnik, R.: Neutroneninduzierte
Gammaskopie, eine In-situ-Methode bei der marinen
Erzexploration. In: Prof.Dr.-Ing. C.Kruppa: Interoccean
1973, Düsseldorf, 13.-18. November 1973, S. 316 - 330
- /4/ Lange, J., Tamm, U., Würz, H.: Entwicklung einer Schlepp-
sonde zur "In-situ"-Analyse von Manganknollen-Lager-
stätten. 'mt' Bd.6 (1975) Nr. 2, S.50 - 55
- /5/ Würz, H., Buth, L.: Theoretische und experimentelle
Untersuchungen zur Lagerstättenprospektion mit Hilfe
von neutroneninduzierter Gammastrahlung. KFK 1771,
(1973) Kernforschungszentrum Karlsruhe
- /6/ Würz, H., Eberle, H.: Multielementanalyse von Erzknollen
mittels Neutroneneinfang-Gammaskopie, KFK 2160,
(Juni 1975) Kernforschungszentrum Karlsruhe
- /7/ Lange, J., Biemann, W.G.: Development of Components for
an In-situ-Analysis System for the Exploration of
Manganese Nodules. Seventh annual Offshore Technology
Conference, Houston, 5.-8. Mai 1975

- /8/ Endbericht der Firma Dornier System: Hydrodynamische Auslegung für den Erzanalyse-Schleppschlitten (1974), unveröffentlicht
- /9/ Endbericht der Fa. Dornier System: Konstruktive Auslegung für den Erzanalyse-Schleppschlitten (1975), unveröffentlicht
- /10/ Brüderle, F., Hain, K.: Maschinelles Tieftemperatursystem zur Kühlung eines Germanium-Detektors in großen Meerestiefen. KFK 2539 (1978), Kernforschungszentrum Karlsruhe, in Vorbereitung
- /11/ Johannsen, B., Richter, U., Prech, V.: Experimentelle Untersuchungen zur Manganknollen-Probenahme (1974), unveröffentlicht
- /12/ Johannsen, B., Krüger, H.J., Richter, U., Rathjen, A.E.: Experimentelle Untersuchung zur Manganknollen-Probenahme-Wattversuch II (1976), unveröffentlicht
- /13/ Rapp, W.: Impulsformende Filter für die Gamma-Spektrometrie. Herbsttagung der Studiengruppe für Nukleare Elektronik, Frankfurt, 3. - 5. Oktober 1977
- /14/ Borchherding, K., Gruber, P., Tentunian, V.: Realzeituhr ADI-18/3 für das Manganknollen-Analysensystem MANKA I, Gerätebeschreibung (Nov. 1975), unveröffentlicht
- /15/ Borchherding, K., Gruber, P., Tentunian, V.: Transfer Simulator ADI-18/2 für das Manganknollen-Analysensystem MANKA I, Gerätebeschreibung (Okt. 1975), unveröffentlicht
- /16/ Rusch, K.-D., Rietschel, K.: Prozeßmonitor - ein Softwarepaket zur Steuerung und Überwachung von Prozeßabläufen, angewandt auf MANKA. KFK-Bericht (1978), Kernforschungszentrum Karlsruhe, in Vorbereitung

- /17/ Pfeifer, W., Lange, J., Würz, H.: Sicherheitsbericht für den Einsatz kerntechnischer Analysenmethoden zur Exploration von Manganknollen in der Tiefsee (1975), unveröffentlicht
- /18/ Brüderle, F., Tamm, U.: Schlingerstandtest des gesamten Kühlsystems mit Kryostat und Detektor (1976), unveröffentlicht
- /19/ Ruf, H.: IRCH, persönliche Mitteilung
- /20/ Staatl. Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt, Augustenberg, Karlsruhe, persönliche Mitteilung
- /21/ Schneider, H.: IMF, persönliche Mitteilung
- /22/ Duffey, D. et al : Analytical sensitivities and energies of thermal-neutron-capture gamma-rays. Nucl.Instr. and Meth., 80 (1970), S. 149 - 171
- /23/ Seyfarth, H. et al : Efficiency determination for some standard type Ge(Li)-detectors for gamma-rays in the energy range from 0,04 to 11 MeV. Nucl.Instr.Meth., 105 (1972), S. 301 - 320
- /24/ Vogg, H.: LIT, persönliche Mitteilung
- /25/ Eberle, H.: Investigation of Bulk Density Determination Filling Level Indication in the MANKA Manganese Nodule Analysis System. KFK 2379 (1976), Kernforschungszentrum Karlsruhe, S.80 - 83
- /26/ Lange, J., Tamm, U.: Ein In-situ-Analysensystem zur Exploration von Manganknollen, KFK 2224 (1977), Kernforschungszentrum Karlsruhe
- /27/ Lange, J.: Versuchs-Vorbereitung und Tiefsee-Erprobung der Schleppsonde 'MANKA 01'. 'mt' Bd.8 (1977) Nr.4, S. 131 - 136

- /28/ Romer, O., Zerull, R.: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Kabel-Draht-Bruchstellen von MANKA (1977), unveröffentlicht
- /29/ Halbach, P.: Einfluß der Metallgehalte auf physikalische und mineralogische Eigenschaften pelagischer Manganknollen. Arbeitssitzung der Manganknollen-Forschungsgruppen, Aachen, (August 1975), unveröffentlicht
- /30/ Eberle, H.: Aktivierungsanalyse von Manganknollen mit 14 MeV-Neutronen. KFK 2291, (1976) Kernforschungszentrum Karlsruhe
- /31/ Lüscho, H.-M., Kraft, G.: Nichtdispersive Röntgenspektrometrie an Manganknollen aus dem Pazifischen Ozean. 'mt' Bd.4 (1973) Nr.6, S. 200 - 204
- /32/ Friedrich, G.H.W., Kunzendorf, H., Plüger, W.L.: Ship-borne geochemical investigation of deep-sea manganese-nodule deposits in the Pacific using a radio-isotope energy-dispersive x-ray system. Journal of Geochemical Exploration 3 (1974), p. 303 - 317
- /33/ Michaelis, W., Fanger, U., Müller, A., Pepelnik, R.: Wertmetallanalyse von Manganknollen mit schnellen Neutronen. In: Prof.Dr.Ing. C.Kruppa: Interocean 1976, Düsseldorf, 15. - 19. Juni 1976, S. 68 - 77

A N H A N G

VERZEICHNIS DER KONSTRUKTIONSZEICHNUNGEN 'MANKA 01'

1. Zusammenstellung

RBI-PACT-O-963 MANKA-Gesamtsystem

2. Geräteträger und Aufhängung

RBI-PACT-1-791 Geräteträger
RBI-PACT-2-788 Federbein (Zusammenstellung)
RBI-PACT-2-789 Federbein (Einzelteile)
RBI-PACT-2-790 Federbein (Einzelteile)
RBI-PACT-1-1001 Federgehäuse

3. Druckbehälter, Zwischenplatten und Flansche für Rohrleitungen

RBI-PACT-1-633 Druckkugelhälfte
RBI-PACT-4-947 Unterteil Kryostat-Gehäuse
RBI-PACT-2-941 Oberteil Kryostat-Gehäuse
RBI-PACT-1-650 Kühlplatte für Elektrik-Kugel
RBI-PACT-1-651 Kühlplatte für Elektronik-Kugel
RBI-PACT-1-652 Kühlplatte für Kompressor-Kugel
RBI-PACT-2-658 Zwischenplatte für Kryostat-Kugel
RBI-PACT-2-938 Deckel für Elektrik-Kühlplatte
RBI-PACT-2-939 Deckel für Elektronik-Kühlplatte
RBI-PACT-4-661 Dehn-Stehbolzen
RBI-PACT-4-662 Knaggen für Zwischenplatte Kryostat
RBI-PACT-4-652 Knaggen für Zwischenplatte
RBI-PACT-1-641 Halterung für Druckkugel
RBI-PACT-1-920 Halterung für Druckkugel
RBI-PACT-3-655 Flansche für Zwischenplatten
RBI-PACT-4-600 Flansch für Heliumleitung
RBI-PACT-4-659 Gegenflansch für Rohrverbindung

4. Druckbehälter mit Halterung für NAJ-Detektor

RBI-PACT-2-929	Druckbehälter für NA-J-Detektor
RBI-PACT-3-966	Flansche für Druckbehälter
RBI-PACT-1-930	Kollimator-Gußteil
RBI-PACT-2-931	Kollimator-Bearbeitungszeichnung
RBI-PACT-1-932	Halterung
RBI-PACT-1-933	Lagerung Kollimator-Druckbehälter

5. ^{228}Th -Quelle

Skizze	Halter ^{228}Th -Quelle
Skizze	Kollimator für ^{228}Th -Quelle
RBI-PACT-2-959	Halterung für ^{228}Th -Quelle
RBI-PACT-1-998	Transportbehälter ^{228}Th -Quelle

6. Druckbehältereinbauten Kryostat

RBI-PACT-O-836	Einzelteile des Kryostaten
RBI-PACT-O-837	Einzelteile des Kryostaten
RBI-PACT-1-838	Einzelteile des Kryostaten
RBI-PACT-2-839	Einzelteile des Kryostaten
RBI-PACT-O-840	Einzelteile des Kryostaten
RBI-PACT-O-842	Kryostat Cryodyne I
RBI-PACT-1-844	Detektor-Steckeinheit
RBI-PACT-1-1000	Flansch
RBI-PACT-1-954	Äußerer Kollimator (Zusammenbau)
RBI-PACT-3-955	Äußerer Kollimator (Befestigung am Rahmen)
RBI-PACT-O-956	Äußerer Kollimator (Einzelteile)
RBI-PACT-2-957	Äußerer Kollimator (Abschirmeinsatz)
RBI-PACT-2-958	Äußerer Kollimator (Transportvorrichtung)
RBI-PACT-1-960	Einzelteile Kryostat (innerer Kollimator)

7. Druckbehältereinbauten Kompressor

RBI-PACT-1-663	Kompressor-Anordnung (vereinfacht)
RBI-PACT-2-1004	Kardanische Aufhängung für Kompressor
RBI-PACT-3-1005	Anschlagstift für Kompressorkugel
RBI-PACT-4-1006	Gelenkbolzen

RBI-PACT-4-1007	Gelenkbolzen
RBI-PACT-4-1008	Winkel
RBI-PACT-3-1009	Halterung
RBI-PACT-4-1010	Buchse
RBI-PACT-4-1011	Lager
RBI-PACT-4-1012	Seitenblech
RBI-PACT-4-1013	Blech
RBI-PACT-4-1014	Grundplatte
RBI-PACT-4-1015	Kryostat-Schlauchanschlüsse
RBI-PACT-4-1016	Kryostat-Schlauchanschlüsse
RBI-PACT-4-1017	Anschlußstück
RBI-PACT-4-1018	Anschlußstück
RBI-PACT-4-1019	Überwurfmutter
RBI-PACT-4-1020	Überwurfmutter
RBI-PACT-4-1021	Schelle
RBI-PACT-4-1022	Winkel

8. Druckbehältereinbauten Elektronik

RBI-PACT-O-988	Elektronikeinschub (Ansicht)
RBI-PACT-2-989	Elektronikeinschub (Draufsicht)
RBI-PACT-O-990	Elektronikeinschub (Einzelteile)
RBI-PACT-O-991	Elektronikeinschub (Einzelteile)
RBI-PACT-2-992	Elektronikeinschub (Einzelteile)
RBI-PACT-3-993	Elektronikeinschub (Einzelteile)

9. Quellrohr, Einschleusvorrichtung, ²⁵²Cf-Abschirmbehälter

RBI-PACT-O-912	Trägerrohr für ²⁵² Cf-Quelle
RBI-PACT-2-913	Trägerrohr für ²⁵² Cf-Quelle (Einzelteile)
RBI-PACT-2-914	Trägerrohr für ²⁵² Cf-Quelle (Einzelteile)
RBI-PACT-2-915	Stützen
Skizze	Schema Einschleusvorrichtung
RBI-PACT-1-962	Druckluftschaltung
RBI-PACT-1-1023	Handlingsblech
RBI-PACT-2-1024	Handlingsblech
RBT/PB-P-O-9695	Arbeits- und Abschirmbehälter für ²⁵² Cf-Quelle
RBT/PB-P-O-9696	Arbeits- und Abschirmbehälter für ²⁵² Cf-Quelle

RBI-PACT-1-891	Stopfen für MANKA-Versuche
RBI-PACT-4-917	Einsatz für Waltherkupplung B4-MW12
RBI-PACT-4-961	Schlauchtüllen für NW 13

10. Bodenkontakt, Endschalter

RBI-PACT-1-943	Bodenkontaktanzeige
RBI-PACT-1-944	Bodenkontaktanzeige Einzelteile
RBI-PACT-1-945	Bodenkontaktanzeige Einzelteile
RBI-PACT-2-940	Halterung für Endschalter
RBI-PACT-4-951	Steckeranschluß

11. Hydraulik

11.1 Pumpe und Pumpenmotorhalterung

RBI-PACT-1-639	Zwischenflansch für Pumpengehäuse
RBI-PACT-3-786	Änderung am Pumpengehäuse
RBI-PACT-0-1003	Pumpenmotor-Abstützung

11.2 Analysengefäß

RBI-PACT-1-869	Gehäuse zum Analysengefäß
RBI-PACT-1-870	Separator
RBI-PACT-1-871	Filter zum Separator
RBI-PACT-1-872	Klappe rechts
RBI-PACT-1-873	Klappe links
RBI-PACT-1-874	Kurvenscheibe
RBI-PACT-3-875	Hebel
RBI-PACT-4-876	Welle Antriebsseite
RBI-PACT-4-877	Welle Gegenseite
RBI-PACT-4-878	Ablaufscheibe
RBI-PACT-4-879	Federstellschraube
RBI-PACT-4-880	Kurvenrolle
RBI-PACT-4-881	Bundbolzen
RBI-PACT-1-882	Analysengefäß mit Separator
RBI-PACT-3-676	Platte
RBI-PACT-4-685	Buchse
RBI-PACT-4-686	Buchse

RBI-PACT-4-687	Anlaufscheibe
RBI-PACT-4-688	Bolzen
RBI-PACT-2-689	Kettenscheibenrad
RBI-PACT-2-948	Hüllrohr für Bleikegel
RBI-PACT-4-949	Einstellblende für Bleikegel
RBI-PACT-1-950	Halterung für Quellrohr, Spaltkammern und Bleiabschirmung
RBI-PACT-1-862	Durchbrüche am Analysengefäß für Spaltkammernhalterung und Quellrohr
RBI-PACT-1-916	Ummantelung für Analysengefäß

11.3 Unterwassergetriebe und Halterung

RBI-PACT-1-816	Gehäuse und Lagerung für Harmonic-Drive-Einbausatz HDUC 40-A
RBI-PACT-0-817	Einzelteile für H.D.-Einbausatz
RBI-PACT-3-815	Kupplung
RBI-PACT-1-787	Motor und Getriebekonsole

11.4 Saugschlauch und Saugkopf

RBI-PACT-1-851	Saugkopf mit Aufhängung
RBI-PACT-1-852	Düsenanschluß
RBI-PACT-0-921	Saugleitung
RBI-PACT-2-922	Rohrbogen 135°
RBI-PACT-3-923	Saugleitung-Schlauchflansch
RBI-PACT-3-924	Rohrbogen 90°
RBI-PACT-3-925	Rohrstück mit Flansch
RBI-PACT-4-926	Klemmstück
RBI-PACT-4-927	Dichtung
RBI-PACT-4-928	Dichtung
RBI-PACT-1-967	Abstützung zum Sauggrüssel

12. Stromversorgung

RBI-PACT-2-994	MANKA-Sondenantriebe Stromlaufplan
RBI-PACT-1-995	MANKA-Bordschaltanlage für 6 KV-Sondenversorgung
RBI-PACT-1-996	MANKA-Bordschaltanlage für stabilisierte Energie
RBI-PACT-4-997	MANKA-Energieanlage Bord

13. Meßelektronik

RBI-PACT-3-968	Ratemeter mit Mos-Schalter und 4-fach Untersetzer
RBI-PACT-3-969	Hochspannungswandler und Regler
RBI-PACT-3-970	Grundplatine Spaltkammerzweig
RBI-PACT-3-971	Platine-Betriebsmeßwerte
RBI-PACT-3-972	Schüttdichte und Füllstandplatine