

KfK 2539

Juli 1978

**Maschinelles
Tiefemperatursystem zur
Kühlung eines
Germaniumdetektors in
großen Meerestiefen
(Abschlußbericht)**

F. Brüderle, K. Hain, J. Hübener, F. Schloß
Abteilung Ingenieurtechnik

Kernforschungszentrum Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Abteilung Ingenieurtechnik

KfK 2539

MASCHINELLES TIEFTEMPERATURSYSTEM ZUR KÜHLUNG EINES
GERMANIUMDETEKTORS IN GROßEN MEERESTIEFEN

(ABSCHLUßBERICHT)

F. Brüderle, K. Hain, J. Hübener, F. Schloß

(bearbeitet von F. Brüderle und K. Hain)

Maschinelles Tieftemperatursystem zur Kühlung eines
Germaniumdetektors in großen Meerestiefen

Kurzfassung

In dem vorliegenden Bericht wird die Konzipierung und technische Realisierung eines Tieftemperatursystems hoher Betriebssicherheit zur Langzeit-Kühlung eines Germaniumdetektors in großen Meerestiefen beschrieben. Der Lösungsweg führt über die Auswahl einer bewährten handelsüblichen Kleinkältemaschine nach dem Gifford-Mc Mahon-Prozess, die für die besonderen Anforderungen umgerüstet wird. Die Erprobung für die harten Einsatzbedingungen erfolgt für die kritischen Bauelemente auf dem Rütteltisch und für das gesamte maschinelle Tieftemperatursystem auf einem Schlingerstand, auf dem Belastungen durch Schiff und Hochsee simuliert werden können.

Die ausgeführte Kühleinrichtung hat in einem Hochseetest ihre volle Funktionsfähigkeit nachgewiesen.

Machine-operated Low Temperature System for Cooling a
Germanium Detector at Great Depths of the Sea

Abstract

The report outlines the conceptual design and technical implementation phases of a very reliable low temperature system for long-time cooling of a germanium detector at great depths of the sea. The approach chosen as the solution involves the choice of a proven commercial small-scale refrigeration unit operation by the Gifford-Mc Mahon process, which is modified so as to suit special requirements. Testing for the severe conditions of use is carried out on a jarring table for the critical components and on a rolling test rig for the whole low temperature machine so as to simulate the stresses imposed by ships and high seas.

The cooling system designed in this way has demonstrated its full functioning capability in a test conducted at sea.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Aufgabenstellung	2
3. Auswahl des Kühlprinzips	3
4. Lösung	5
4.1 Refrigeratur mit Kryostat	6
4.2 Kompressoreinheit	13
5. Erprobung auf dem Schlingerstand	17
6. Schlußbetrachtung	21
Literaturverzeichnis	23
Anhang: Verzeichnis der Konstruktionszeichnungen	24

1. Einleitung

In den Jahren 1972 bis 1976 ist im KfK ein marines Explorations-system konzipiert worden, das es ermöglicht, die zur Erschlies-sung großflächiger Manganknollenfelder erforderlichen Daten, wie z.B. die Metallzusammensetzung und der Metallgehalt der Knollen unmittelbar und fortlaufend direkt vom Lagerstellen-niveau aus zu erhalten. [1 / 2]

In dem vorliegenden Abschlußbericht ist die in diesem System ein-gesetzte Tieftemperatureinrichtung beschrieben, die zur Kühlung des Germanium-Detektors der auf der neutroneninduzierten Gamma-messung basierenden Analysenmethode, erforderlich war.

In einer Zwischenstufe dieser Geräteentwicklung wurde eine Schleppsonde gebaut, mit der insbesondere die Funktionstüchtig-keit des In-situ-Analysenverfahrens unter Tiefseebedingungen nachgewiesen werden sollte. In diese Schleppsonde wurde die Kühleinrichtung eingebaut und erprobt.

2. Aufgabenstellung

Zu Beginn der Entwicklungsarbeiten wurden für die Kühleinrichtung des Ge-Detektors vier Grundanforderungen definiert, die unter Beachtung der Einsatzbedingungen bis zu einer Meerestiefe von 6.500 m erfüllt werden mußte:

1. - Abkühlung des gekapselten Ge-Detektors, Masse etwa 60 g, auf eine Arbeitstemperatur im Bereich von 60 bis 90 K mit einer Temperaturkonstanz von $\pm 2^\circ$ in einem Isoliervakuum $\cong 10^{-3}$ mbar.
2. - Ununterbrochene Kühldauer von 1000 Betriebsstunden ohne Wartung bei großer Betriebssicherheit.
3. - Kein Durchschlagen von insbesondere periodischen Erschütterungen auf den Detektor während des Meßvorganges.
4. - Kleine kompakte Bauweise, besonders im Bereich des Detektors.

Die große unterbrechungs- und wartungsfreie Betriebszeit resultiert aus der Überlegung, eine möglichst lange Einsetzzeit der Meßsonde in großer Meerestiefe realisieren zu können, da jeder Bergungsvorgang die Lebensdauer des Schleppkabels verkürzt und zudem die Exploration wirtschaftlich stark belastet.

3. Auswahl des Kühlprinzips

Während der Aufgabenlösung, die notwendigerweise einherging mit der Entwicklung der sonstigen Systeme der Schleppsonde, ergaben sich durch Wechselwirkungen Änderungen der Aufgabenstellung, die zum Teil erhebliche zusätzliche Anforderungen mit sich brachten.

Bei der Auswahl des Kühlprinzips waren folgende Überlegungen ausschlaggebend:

Eine Kühlung durch flüssigen Stickstoff scheidet wegen der Abgasfrage und der Anforderungen aus Punkt 2 und 4 der Aufgabenstellung aus.

Ideal vom Prinzip her und insbesondere wegen Punkt 3 wäre eine Kühlung durch Peltierelemente, doch ist das Erreichen der geforderten Temperatur von 90 K zumal unter Beachtung von Punkt 4 aussichtslos.

Aus der Forderung der großen Betriebssicherheit ergibt sich zwangsweise, daß nur ein bewährtes System einsetzbar ist, das wegen der Anforderungen aus Punkt 4 ein möglichst kleines Bauvolumen haben muß.

Die Auswahl fällt auf Kleinkältemaschinen, von denen zum damaligen Zeitpunkt nur amerikanische Fabrikate auf dem Markt waren, die aus der militärischen Entwicklung (Infrarot-Meßtechnik) stammten und einen entsprechenden Reifezustand erwarten ließen [3].

Zunächst wurden zwei Fabrikate und zwar die Kleinkältemaschinen der Fa. Cryogenic Technology, Inc. (CTI), Modell 70 (Maschine 1), sowie der Fa. Air Products and Chemicals, Inc., Modell CS - 102 (Maschine 2) in die engere Wahl gezogen.

Beide Maschinen arbeiten kryotechnisch nach dem Gifford-Mc Mahon-Prozeß, einem isobaren Gaskälteprozeß mit Verdrängerkolben ohne äußere Arbeitsleistung. Dieser Prozeß erfordert ein

weitgehend ideales Gas, eingesetzt wird Helium, das komprimiert und expandiert wird. Er unterscheidet sich aber dadurch wesentlich von anderen Gaskälteprozessen, daß nicht die gesamte Gasmasse denselben Prozeß durchläuft, sondern die jeweils aufeinander folgenden Gasteilchen etwas verschiedenen Prozessen unterworfen sind [4].

Wesentliche Teile der Maschine sind die Kompressoreinheit und der Entspannungsteil (Refrigerator), an dem die Kälteleistung verfügbar wird.

Diese beiden in die engere Wahl gezogenen Maschinen wurden samt Detektoraufbau und Detektor näher erprobt und die am besten geeignete ausgewählt.

4. Lösung

Die beiden Maschinen hatten die in nachstehender Tabelle 1 zusammengestellten wesentlichen technischen Merkmale:

Tabelle 1

	Maschine 1 (Modell 70)	Maschine 2 (Modell CS 102)
Kälteleistung bei 90 K	11 W	20 W
bei 60 K	8 W	12 W
Kompressor		
Abmessungen	500 x 340 x 310 mm	570 x 435 x 385 mm
Gewicht	32 kg	68 kg
Kühlung	Luftkühlung	Luftkühlung
Schmierung	Ölschmierung	Ölschmierung
Schräglage	max. 15°, während 5 s 20°	max. 20°
Leistungsaufnahme	1 kW bei 110 V 50 Hz	1,7 kW bei 240 V 50 Hz
max. zulässige Temperatur am Kompressorgehäuse	65° C	65° C
Refrigerator		
Abmessungen	230 x 130 x 210	150 x 110 x 350
Gewicht	8 kg	10 kg
Schräglage	beliebig	beliebig
Vorlauftemperatur des Prozeßgases	max. 25° C	max. 25° C

4.1 Refrigerator mit Kryostat

Gemäß dem geplanten Auswahlverfahren wurden für beide Kältemaschinen Kryostate konstruiert und auf die Refrigeratoren aufgesetzt. Um den Einfluß der Erschütterungen durch die Kolbenschläge des Refrigerators auf die Auflösung des Detektors zu ermitteln, wurde eine zweite Kühlmöglichkeit des Detektors durch flüssigen Stickstoff vorgesehen.

Den Aufbau des Kryostaten 1, einschließlich Refrigerator, Detektoranordnung und paralleler Kühlmöglichkeit durch flüssigen Stickstoff zeigt Abb. 1.

Das erforderliche Isoliervakuum von ca 10^{-3} mbar sollte durch eine am Kühlfinger angebrachte Zeolithfüllung aufrecht erhalten werden. Die Nichtverfügbarkeit der vorgesehenen vollkommen gekapselten Ge-Detektoren zwang zum Einsatz von ungekapselten Germanium-Lithium (Ge/Li)-Detektoren. Dies hatte eine wesentliche Verschärfung der ursprünglich (siehe Kap. 2) definierten Anforderungen zur Folge:

Zu 1. - Statt des vorgesehenen Isoliervakuums von 10^{-3} mbar mußte nunmehr ein Hochvakuum von 10^{-5} mbar aufrechterhalten werden.

Die Anforderungen an die Konstanz der Temperatur wurde von ± 2 K auf $\pm 0,2$ K erhöht.

5. - Eine zwischenzeitige Aufwärmung des einmal abgekühlten Detektors war nicht mehr statthaft.

Die Forderung unter 5. stellte zwar außerordentliche Anforderungen an die Betriebssicherheit, war aber in der Entwicklungszeit nicht aktuell. Die Forderung unter 1. erschien durch Variation der Strukturmasse um den Detektor bzw. durch Gegenheizung beherrschbar.

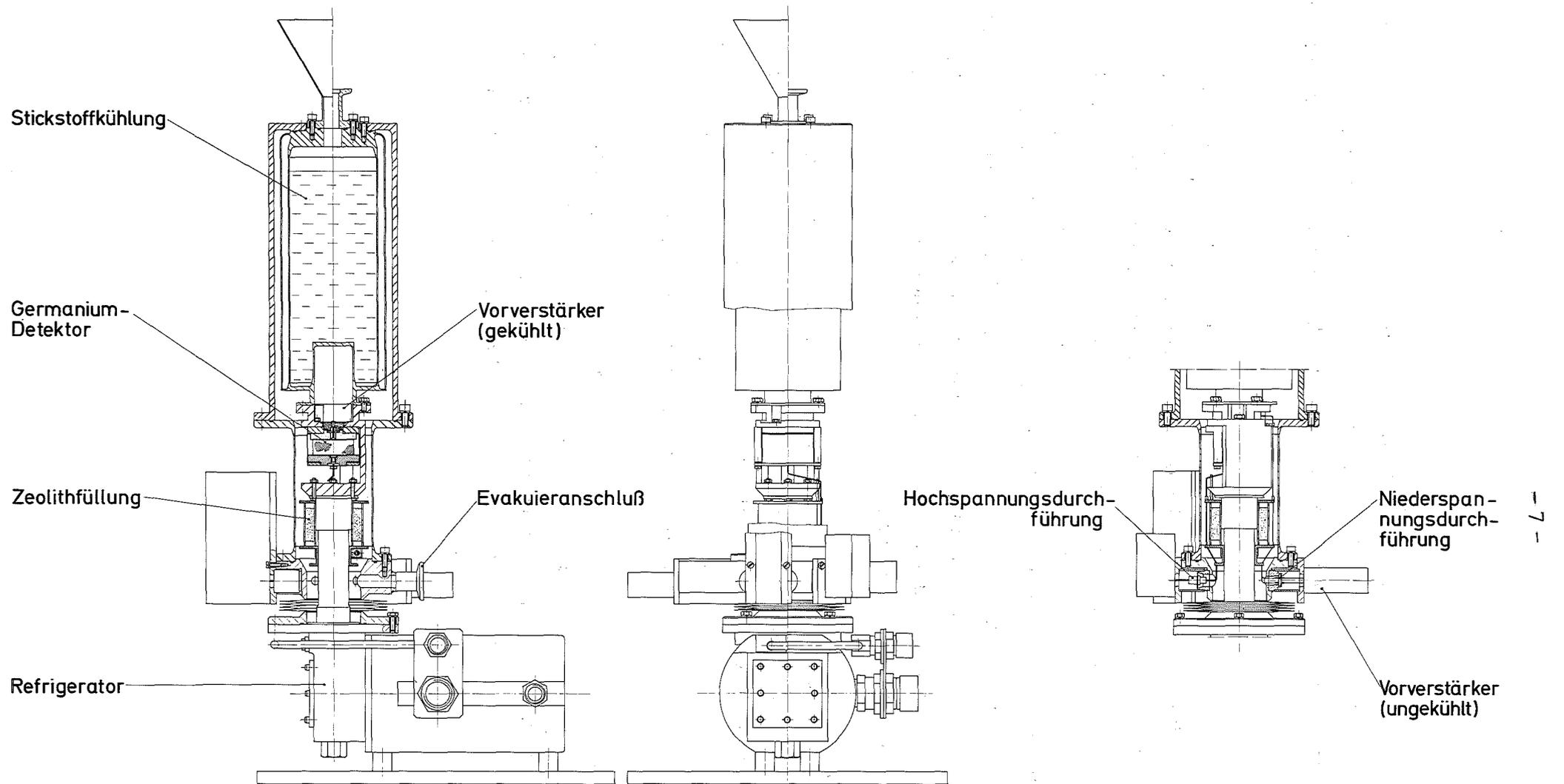


Abb.1 Aufbau des Kryostaten 1

Insbesondere aber die Zusatz-Forderung unter 1. anstelle eines Isoliervakuums von 10^{-3} mbar nunmehr ein Hochvakuum von 10^{-5} mbar dauernd aufrecht zu erhalten, bereitete beträchtliche Schwierigkeiten.

Obwohl bei der Anordnung nach Abbildung 1 durch empfindliche Meßmethoden kein Leck nach innen festzustellen war, brach in warmem Zustand (Zimmertemperatur) ein durch eine externe Vakuumpumpe im Kryostat erzeugtes Vakuum von 10^{-5} mbar nach Abschiebern der Vakuumpumpe innerhalb von einigen Stunden zusammen. Durch konstruktive Verbesserungen, wie z.B. peinliche Vermeidung von Toträumen, die über längere Zeit ausgasen könnten oder Reduzierung großer ununterbrochener thermischer Kontaktflächen, konnte der Zusammenbruch des Vakuums zwar verzögert, aber nicht aufgehalten werden.

Nach einer wenig befriedigenden Zwischenstufe mit extern angeordneten Sorptionspumpen mußte eine permanent arbeitende Ionengetterpumpe in das Refrigeratorsystem integriert werden, eine Lösung, die wegen der nun zusätzlich notwendigen Hochspannungsversorgung weitere Erschwernisse mit sich brachte.

Der Einfluß der Erschütterungen auf die Detektorauflösung, hervorgerufen durch die Bewegungen der Verdrängerkolben, war bei beiden Versuchsmaschinen zwar unterschiedlich groß, zwang aber in jedem Fall zu einer elastischen Aufhängung des Detektors samt seiner Halterung (Abb. 2).

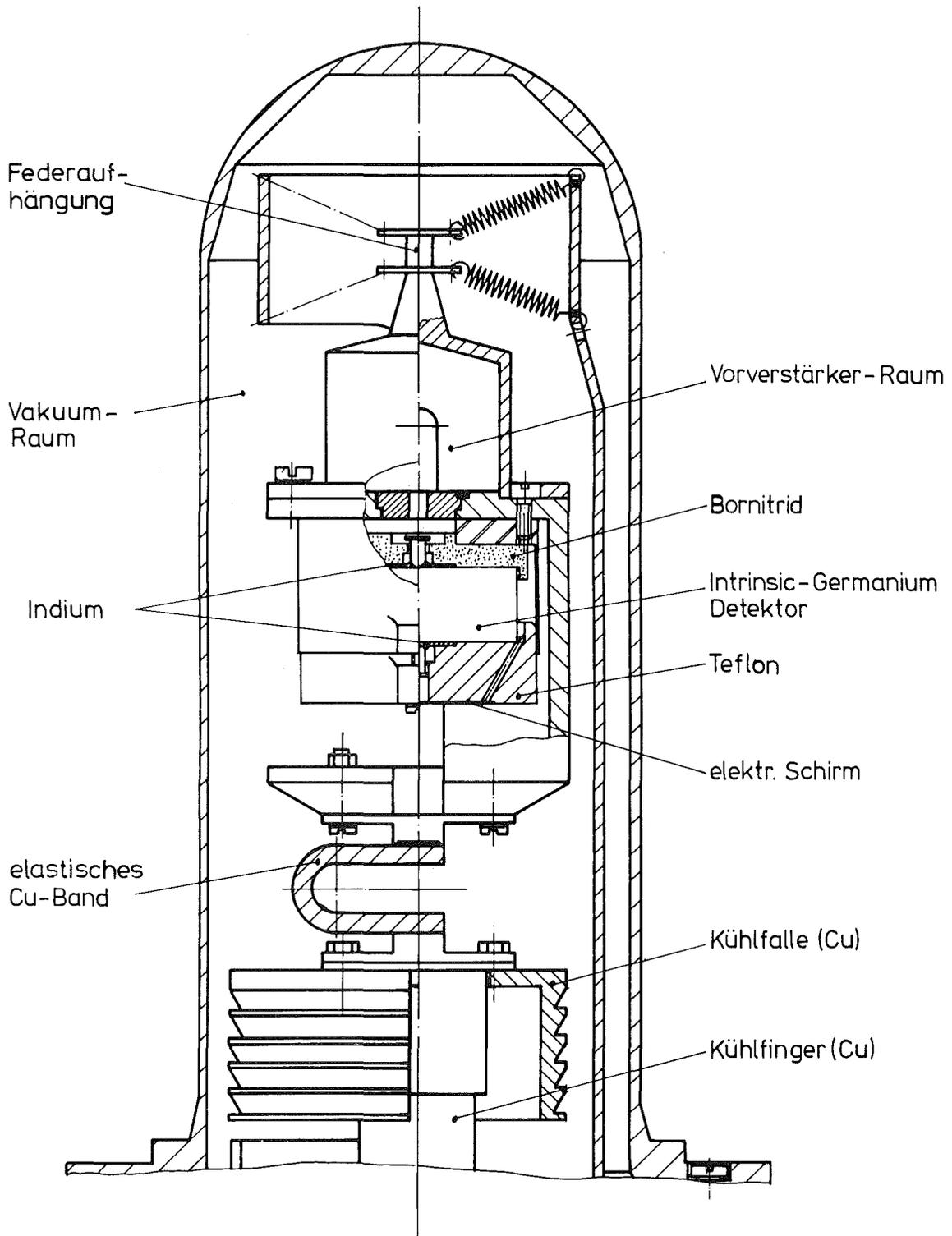


Abb. 2: elastische Aufhängung des Detektors

Wegen der besseren Laufruhe des Refrigerators 1 und des kleineren Bauvolumens, die kleinere Kälteleistung gegenüber der Maschine 2 ist weniger von Bedeutung, wurde zugunsten der Maschine 1 entschieden. (Abb. 3)

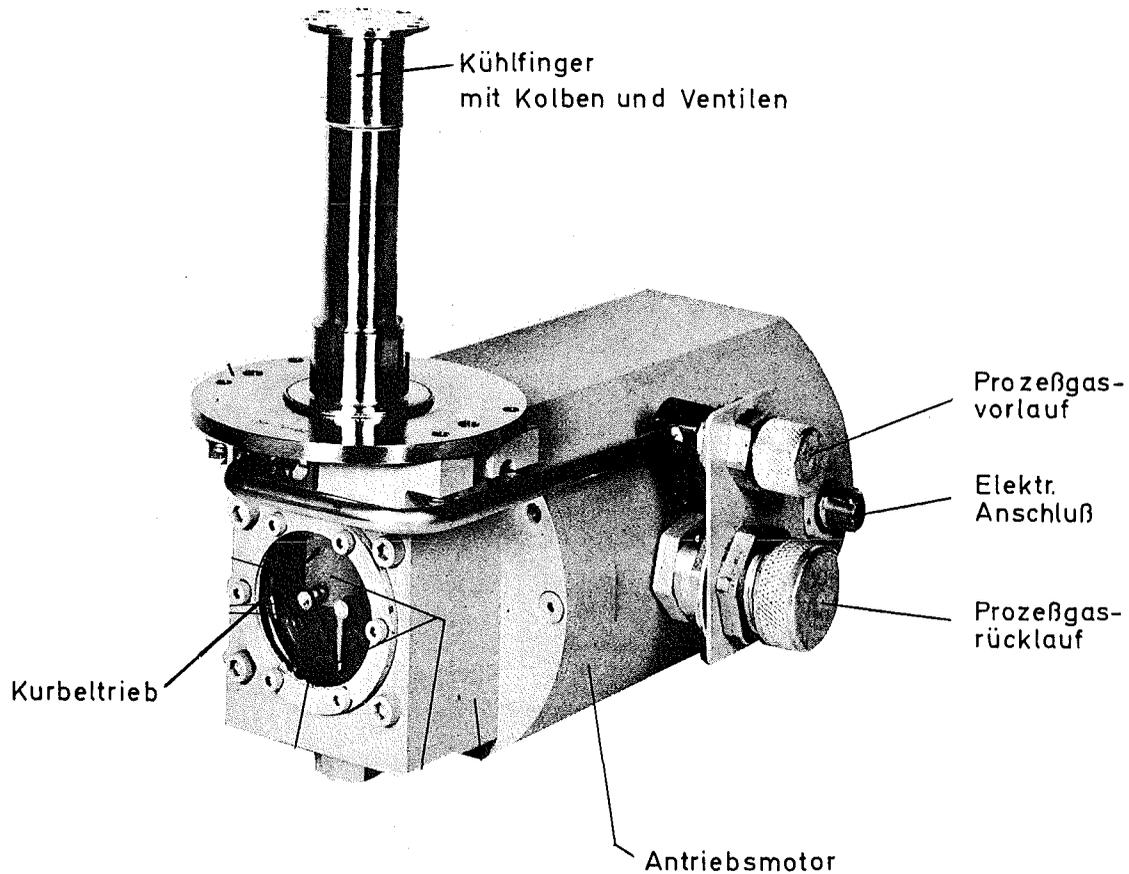


Abb.3 Refrigerator Maschine 1

Die Abkühlkurve des Detektors, die Temperaturmessung erfolgte an der Detektorhalterung, ist aus dem Diagramm 1 zu ersehen. Diagramm 2 zeigt die Kälteleistung am kalten Ende des Refrigerators.

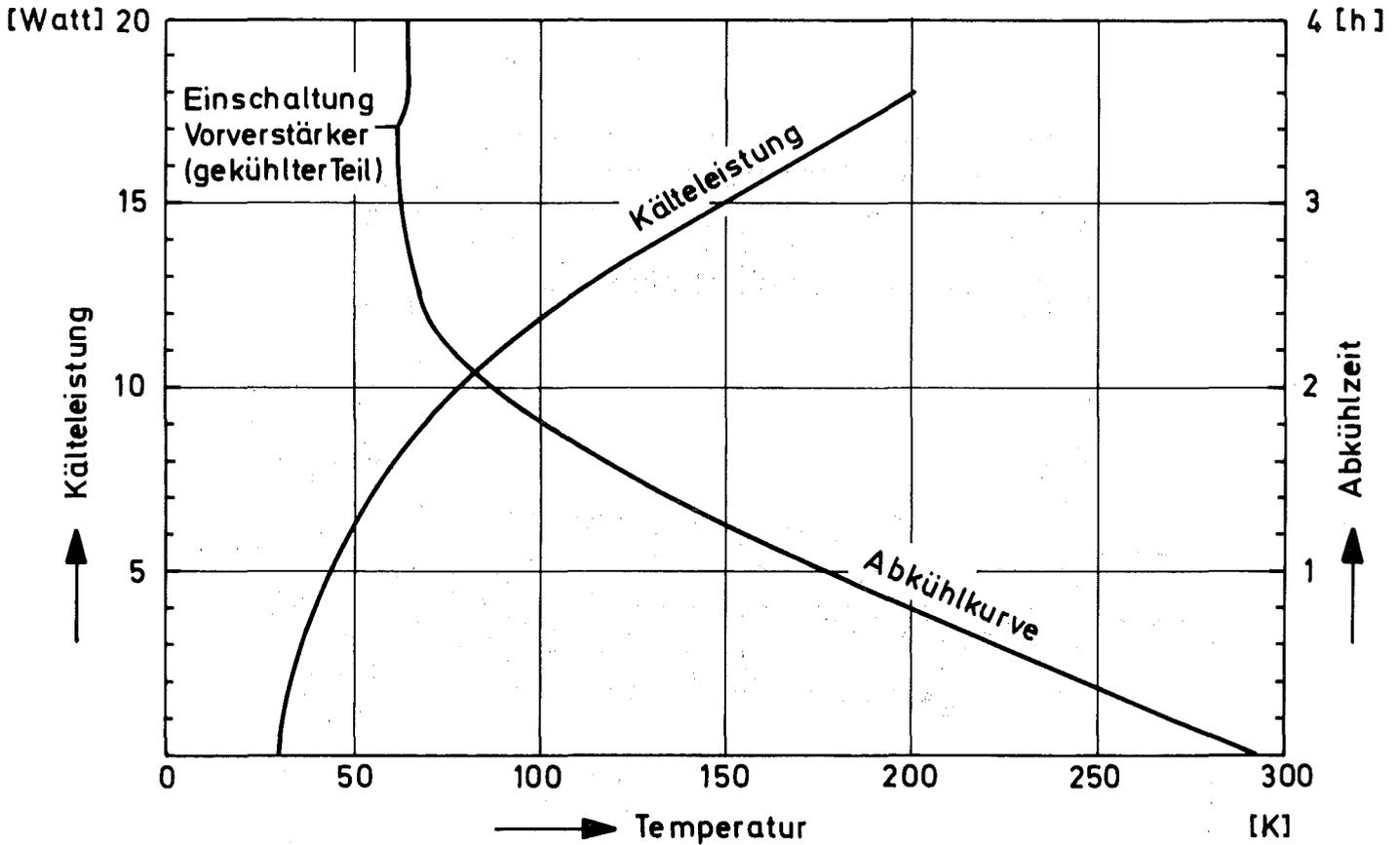


Diagramme 1 und 2

Den Maschinenschwingungen überlagert sind die bei einer Bodenberührung der Schleppsonde auftretenden Stoßbelastungen, die mit 0,8 g bei einer Frequenz von 15 Hz ermittelt wurden.

Kryostat, Refrigerator und Detektor wurden auf einem Rütteltisch in den beiden Hauptbeanspruchungsrichtungen über längere Zeit diesen Belastungen unterzogen, wobei neben der mechanischen Stabilität die Funktionsfähigkeit der Meßanordnung getestet wurde.

Die Endausführung der Kristallhalterung ist in der Abb. 4 dargestellt.

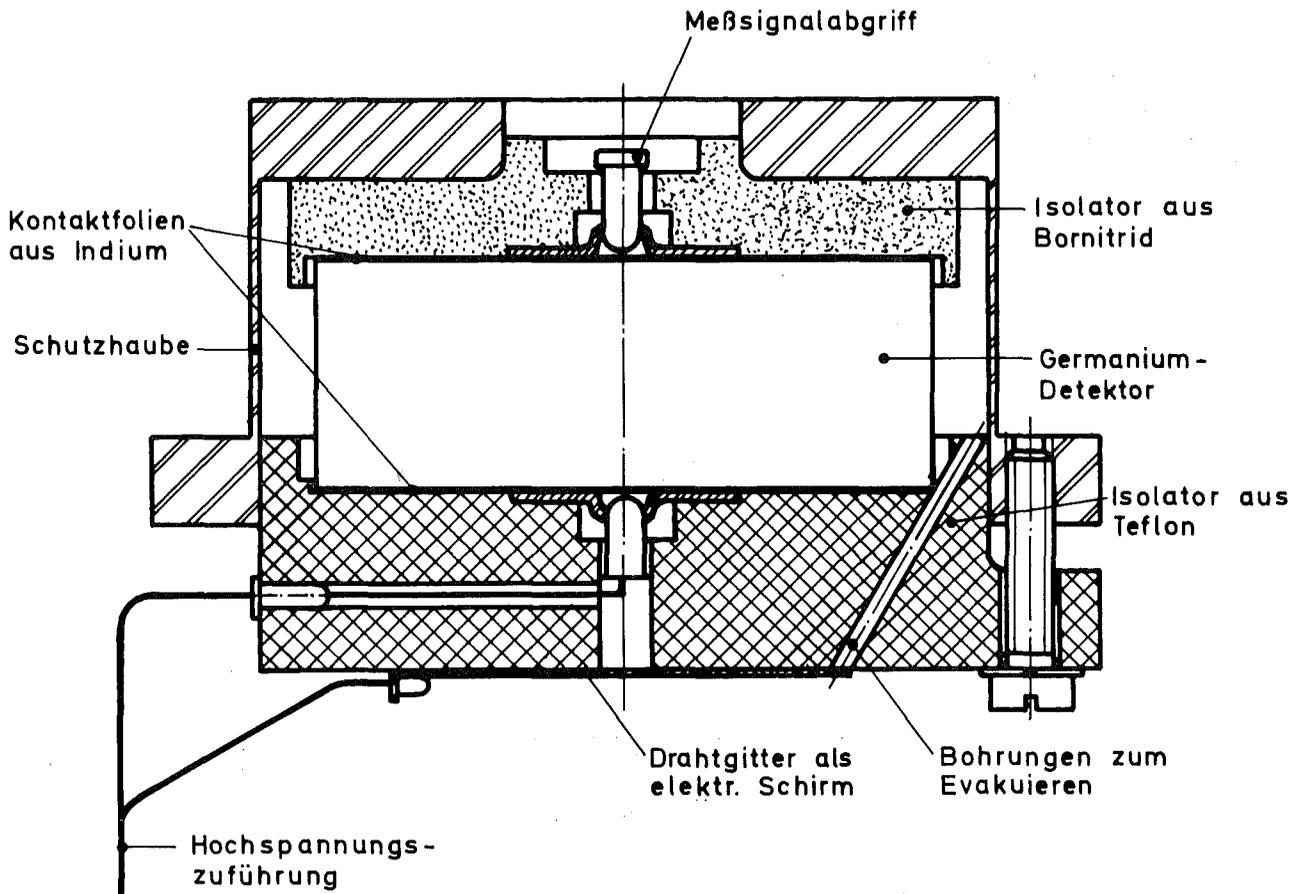


Abb.4 Endausführung Kristallhalterung

Die Oberflächen des Detektorkristalls sind durch eine Schutzhaube aus Al gegen Verschmutzung geschützt. Diese Haube ist mit kleinen Bohrungen versehen, um eine Evakuierung des Zwischenraumes zu ermöglichen. Selbst vor diesen Löchern mußte nun ein positiv geladenes feinmaschiges Drahtgitter angebracht werden, da von der Ionengetterpumpe ausgestoßene negativ geladene Metallionen durch diese kleinen Bohrungen von dem unter positiver Hochspannung stehenden Detektorkristall angesaugt wurden und zu einer allmählichen Oberflächenverschmutzung und damit zu einer Verschlechterung der Detektorauflösung führte, eine Ursache, die erst nach längerer Versuchszeit gefunden und beseitigt werden konnte.

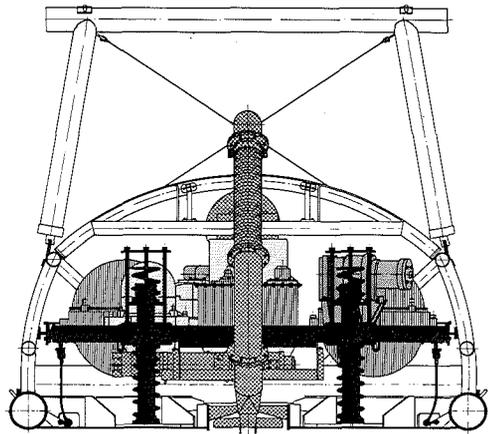
4.2 Kompressoreinheit

Kompressoraggregat und Refrigerator bilden getrennte Einheiten, die lediglich durch zwei flexible Gasleitungen von etwa 3 m Länge verbunden sind. Beide Komponenten waren auch in der Schleppsonde in zwei getrennten Druckkugeln untergebracht (siehe Analysesystem Abb. 5, S. 14).

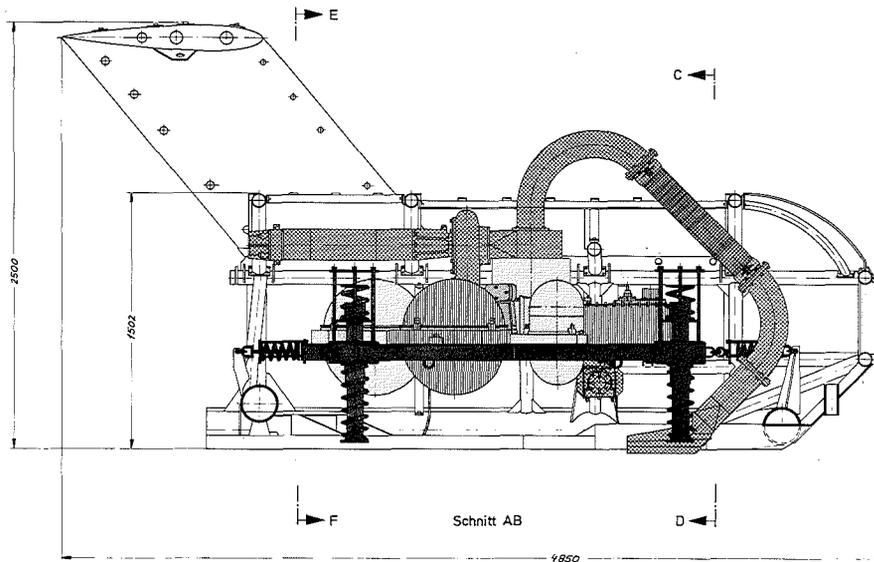
Ein Umbau der handelsüblichen Ausführung der Kompressoreinheit, in der Abb. 6 sind die Einzelkomponenten zu erkennen, wurde zur Anpassung an die Einsatzbedingungen notwendig:

- Abgabe der Kompressions- und Verlustwärme an das die Druckkugel umgebende Meerwasser.
- Vergrößerung des Dauer-Schräglagenbereiches auf 45° mit kurzzeitigem Vollüberschlag.
- Anordnung der Einzelkomponenten in Kugelform mit 560 mm Durchmesser.

Aus Gründen der Wärmeübertragung war es notwendig, vom gasförmigen auf ein flüssiges Transportmedium auf der Übertragungsstrecke Kompressorkapsel bzw. Rückkühler zur Innenwand der Druckkugel umzustellen. Konzipiert wurde eine Verdampfungskühlung mit dem Kältemittel R 111, durch Langzeitversuche in einer großen Wasserwanne als Meerwassersimulation konnte jedoch nachgewiesen werden, daß auch bei Verwendung von Wasser, also ohne Verdampfungs-Kondensationseffekt und stehendem Medium sowohl innerhalb als auch außerhalb der Druckkugel die maximal zulässige Kompressortemperatur von 65° C am Kompressorkopf nicht überschritten wurde, obwohl wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit der aus einer Titanlegierung gefertigten Druckkugel ein Temperaturgefälle von ca 6° über die Wandung erforderlich war, um die Verlustleistung von ca 1 kW an das Meer-

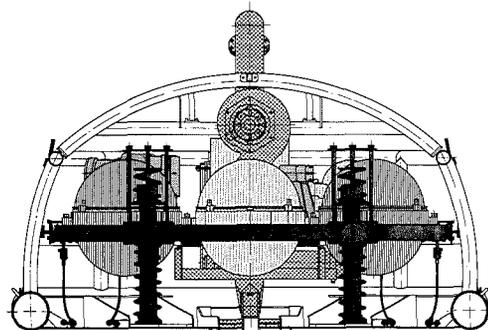


Schnitt CD

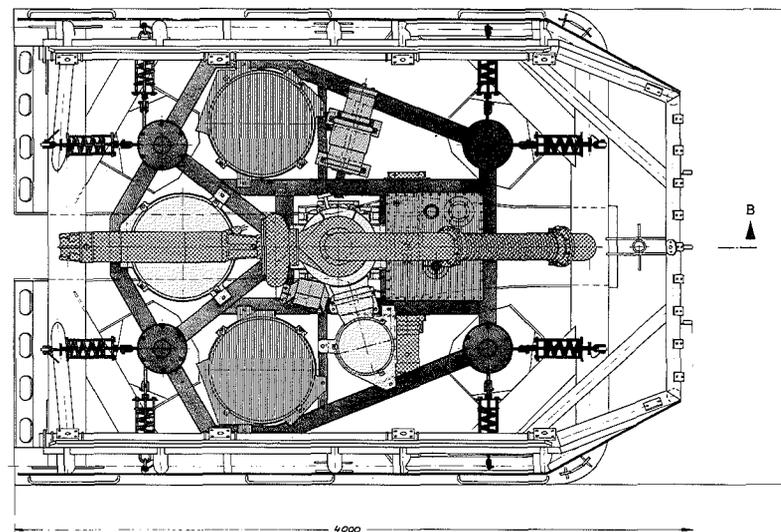


Schnitt AB

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



Schnitt EF



Alle Schnitte beziehen sich nur auf den Äußeren Rahmen

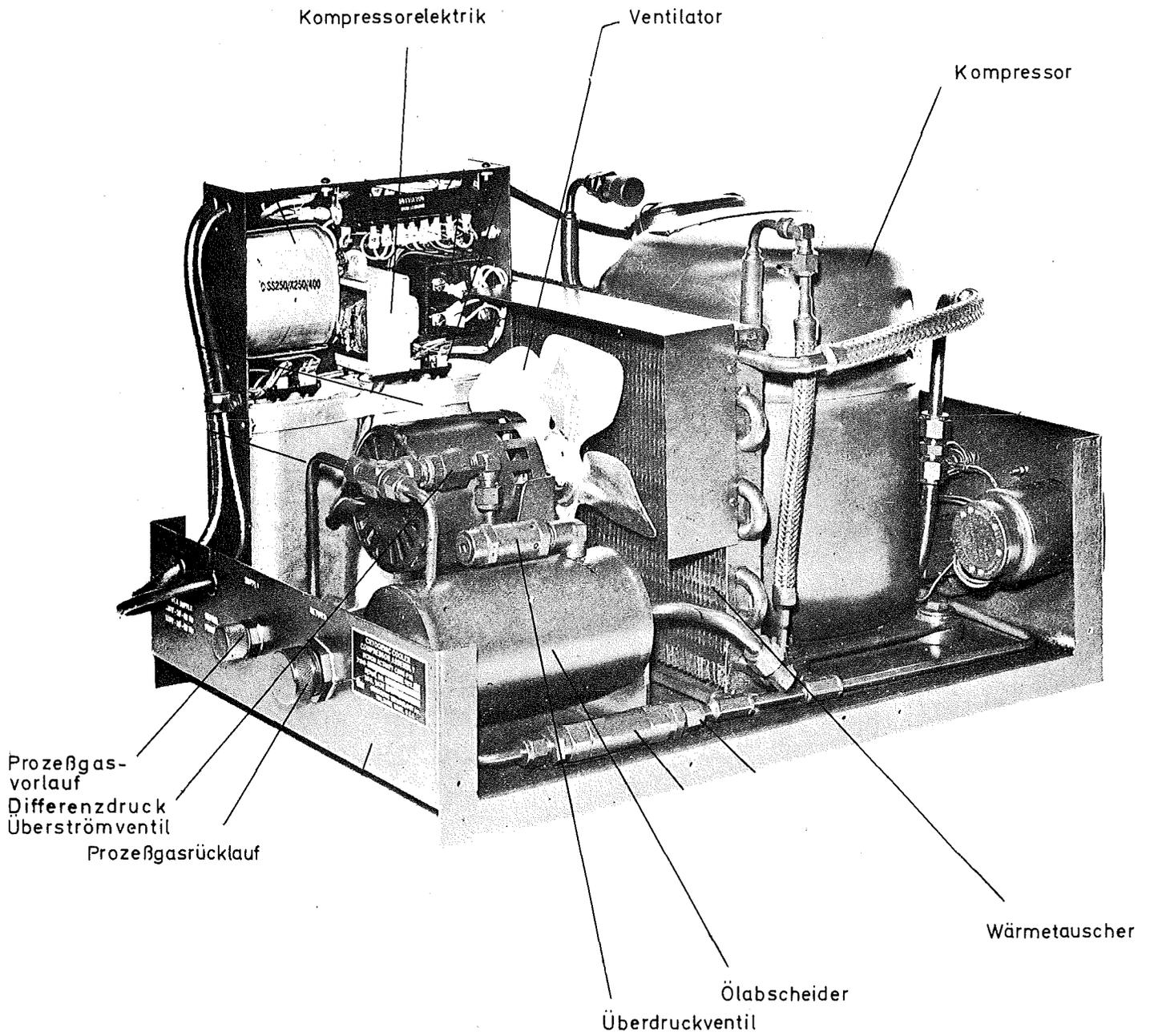


Abb.6 handelsübliche Ausführung der Kompressoreinheit

wasser abzuführen. Lediglich an Bord des Schiffes musste bei Betrieb der Kältemaschine eine ständige äußere Wasserberieselung der Druckkapsel sichergestellt sein. Durch die Wasserkühlung wurde es auch erforderlich, die gesamte Kompressor-elektrik auf eine wasserdichte, korrosionsfeste und kühlfähige Konzeption umzurüsten.

Zur Lösung des Schräglagenproblems wurde eine kardanische Aufhängung der kompletten Kompressoreinheit in der Druckkapsel konzipiert, die so konstruiert war, daß bei einer Schräglage von 45° der Kompressor noch waagrecht stand. Damit war eine maximale Schräglage der Sonde von 55° möglich. Einige Schwierigkeiten bereitete die durch die kardanische Aufhängung erforderlich gewordene elastische Verlegung sowohl der Druckgasleitungen als auch der elektrischen Versorgungsleitungen.

Es mußte für alle möglichen Schrägstellungen sichergestellt sein, daß die elastischen Leitungen die Ausgleichsbewegungen nicht behinderten. Die für die Druckgasleitungen verwendeten Metallwellschläuche sowie die Kabel der elektrischen Versorgungsleitungen wurden deshalb in räumlich gekrümmten Schleifen verlegt.

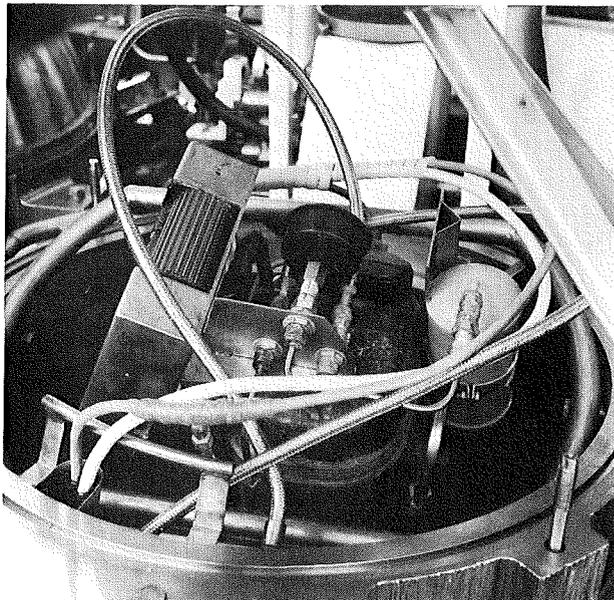


Abb. 7

Ein Blick in den Kompressordruckbehälter mit kardanisch aufgehängtem Kompressor

5. Erprobung auf dem Schlingerstand

Nach den erfolgreich verlaufenen Versuchen mit Refrigerator, Kryostat und Detektor auf dem Rütteltisch wurde das gesamte Tieftemperatursystem auch mit umgebautem Kompressor auf dem Schlingerstand der Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH in Geesthacht einem Funktionsdauertest unterworfen [5]. Zweck des Tests war der Nachweis der Funktionstüchtigkeit unter angenäherten Hochseebedingungen.

Hierzu wurden sowohl Kompressor, als auch Kryostat in der endgültigen Form in ihre Druckbehälter eingebaut und mit Hilfe einer Traverse am Schlingerstand befestigt (siehe Abb. 8, 9 u. 10).

Das ganze System wurde dann Pendelbewegungen, Hubbewegungen sowie einer Kombination beider Bewegungsarten (Schlingerbewegungen) unterworfen, wobei jeweils verschiedene Beschleunigungswerte gefahren wurden.

Während der Versuche war es erforderlich, den Kompressor-Druckbehälter zur Ableitung der Verlustwärme durch Wasserbesprühung ständig zu kühlen. Das dazu erforderliche Kühlwasser wurde dem schlingernden System durch flexible Schläuche zu- und abgeführt, wozu das über einen Sprühling versprühte Wasser in einer das Unterteil des Kompressordruckbehälters umgebenden Wanne wieder aufgefangen wurde.

Die Meßdaten der Thermoelemente, Beschleunigungsaufnehmer und Neigungsmesser wurden ebenfalls über flexible Kabel übertragen und mit Mehrfachschreibern und Lichtstrahloszillograph aufgezeichnet.

Zum Nachweis der Funktionstüchtigkeit wurden mehrere Versuchsreihen gefahren.

Schiffsbewegungen und ihre Simulation auf dem Schlingerstand

Ein Schiff mit seinen eingebauten Anlagen wird durch den Seegang besonderen mechanischen Belastungen unterworfen. Die wichtigsten Schiffsbewegungen, wie Tauchen, Stampfen und Schlingern, werden auf dem Schlingerstand nachgebildet.

Auf Meßfahrten wurde nachgewiesen, daß diese 3 Bewegungen annähernd sinusförmig verlaufen und sich geometrisch addieren. Diese Erkenntnisse führten dazu, daß ein Schlingerstand erstellt wurde, der eine Hub- und eine Pendelbewegung für den Prüfkörper gestattet. Beide Bewegungen können einzeln und auch überlagert gefahren werden (Abb. 8).

Das maximale Prüfkörpergewicht beträgt bei ± 1 g Zusatzbeschleunigung für die Hubbewegung 4,5 t, bei $+3g/-2g$ Zusatzbeschleunigung 2,2 t.

Der maximale Hubweg beträgt 3 m und ist auf 2 m und 1 m reduzierbar.

Die Pendelbewegung kann eingerichtet werden auf $\pm 45^\circ$, $\pm 30^\circ$ u. $\pm 15^\circ$, letzteres mit einer Winkelbeschleunigung von 2 rad/s^2 . Die Prüfkörper können bis zu 8 m Durchmesser und 2 m Breite im Schlingerstand montiert werden.

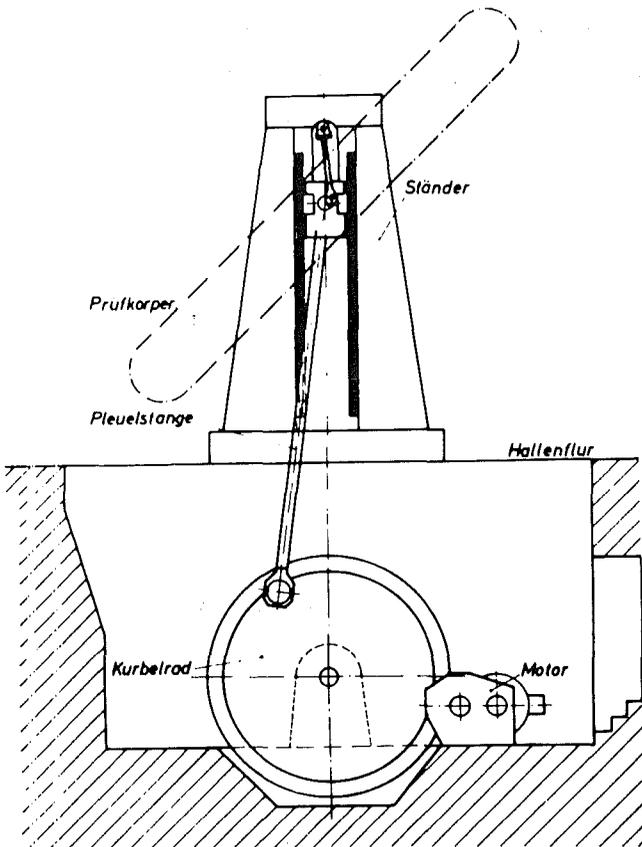


Abb. 8: Schlingerstand - Schematische Darstellung

Konstruktion des Schlingerstandes

Hub- und Pendelbewegungen des Schlingerstandes werden als Kurbeltrieb elektromechanisch erzeugt.

Der Kurbeltrieb für die Hubbewegung ist in einer Grube montiert. Er treibt über 2 Pleuelstangen die in den Ständern geführten Schlitten, welche mit Anschlußflanschen für die Prüfkörperaufnahme versehen sind. Die Flansche sind mit in den Schlitten integrierten Kurbeltrieben verbunden, die die rotatorische Bewegung des Prüfkörpers bewirken.

Für eine sinusförmige Hubbewegung war es erforderlich, eine Drehzahlprogrammsteuerung vorzusehen. Diese fotoelektrische Steuerung hat den Vorzug, daß beliebige Hubbeschleunigungen programmiert werden können.

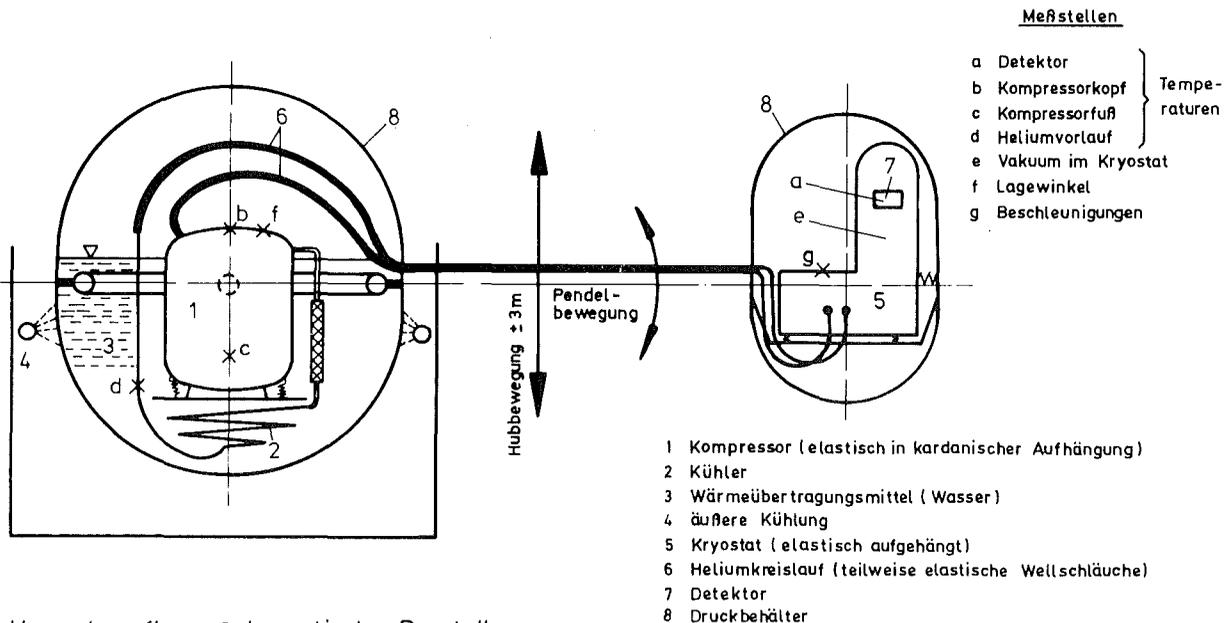


Abb. 9: Versuchsaufbau - Schematische Darstellung

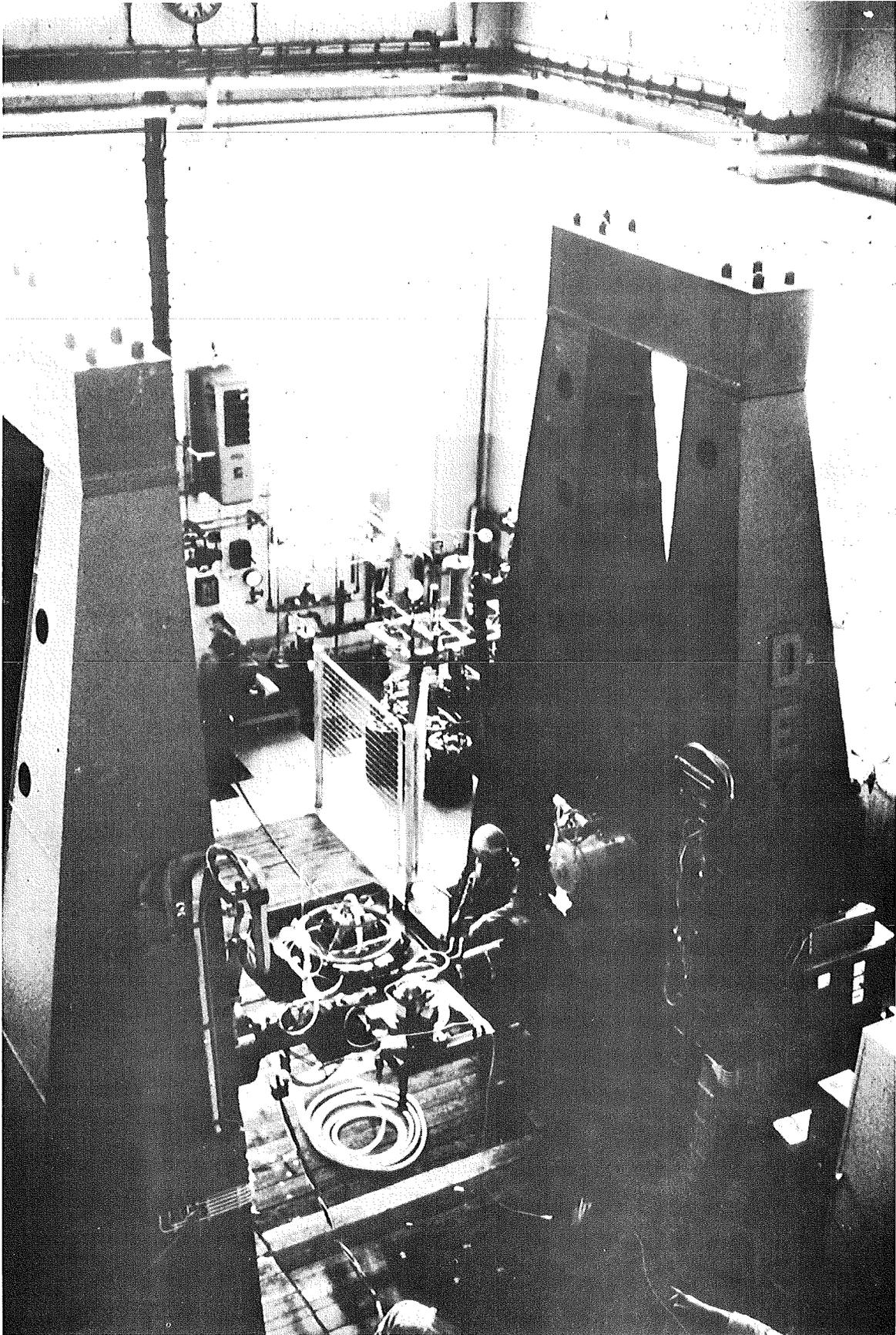


Abb. 10: Versuchsaufbau auf dem Schlingerstand

Zunächst wurde das Verhalten des kardanischn aufgehängten Kompressors bei $\pm 45^\circ$ Pendelbewegungen und Winkelbeschleunigungen von $0,8 \text{ rad/s}^2$ getestet. Zur Beobachtung wurde die obere Halbkugel des Kompressordruckbehälters abgenommen und durch Plexiglas ersetzt.

Der Kompressor pendelte $+ 12^\circ$ bzw. $- 10^\circ$ aus der Waagrechten und war damit immer unter der zulässigen Schräglage von $\pm 15^\circ$.

In weiteren Versuchen mit Pendelbewegungen von $\pm 30^\circ$ bei Winkelbeschleunigungen bis zu $1,5 \text{ rad/s}^2$ und Hubbewegungen von $\pm 3 \text{ m}$ mit Beschleunigungen bis zu $0,5 \text{ g}$ wurde das Dauerverhalten des Kompressors getestet. Dabei wurde die Kompressorkugel auch zeitweise 90° um ihre senkrechte Achse gedreht, um auch die Wirkung der Pendelbewegungen in senkrecht versetzter Richtung zu erproben. Die Temperatur an der kritischsten Stelle, dem aus der Kühlflüssigkeit herausragenden Kompressorkopf, stieg dabei auf maximal 52° C und war damit 13° C unter dem zulässigen Wert von 65° C . Die Pendelausschläge erreichten maximal 15° . Die Kälteleistung der Maschine wurde durch die Bewegungen während der 34 Stunden Versuchsdauer in keiner Weise beeinträchtigt.

Wie in Abb. 9 ersichtlich, ist der Refrigerator mit Kryostat im Druckbehälter elastisch aufgehängt. Die Wirkung der 6 Schwingmetalle wurde bei den Versuchen ebenfalls ermittelt. Dazu waren Beschleunigungsaufnehmer in drei Achsen am Kryostat angebracht, so daß ein Vergleich der vom Schlingerstand erzeugten Beschleunigungswerte gegenüber den über die Schwingmetalle übertragenen Beschleunigungswerte möglich war. Es zeigte sich, daß die Beschleunigungen am Kryostat jeweils um $0,2 \text{ g}$ kleiner waren, als die vom Schlingerstand erzeugten Beschleunigungen von maximal $0,8 \text{ g}$ bei Hubfrequenzen von ca. $0,3 \text{ Hz}$. Die durch Stöße in den Lagern des Schlingerstandes angeregte Eigenfrequenz des Kryostaten wurde durch Änderung der Anzahl und Härte der Schwingmetalle unter 15 Hz gebracht, so daß ein Einfluß auf die Detektorauflösung ausgeschlossen werden kann.

Zusammenfassend kann zu den Versuchsergebnissen festgestellt werden, daß die gewählte Konzeption und Konstruktion des Tieftemperatursystems für die Detektorkühlung bei voller Funktionsfähigkeit den Beanspruchungen genügt, die bei See- bzw. Schiffsbewegungen oder Bewegungen, die beim Schleppen der Sonde hinter dem Schiff auftreten.

6. Schlußbetrachtung

Nach all den durchgeführten Ertüchtigungsmaßnahmen hatte die Kühleinrichtung den Entwicklungsstand erreicht, um unter den vorliegenden extremen Betriebsbedingungen die Funktionsfähigkeit des gammaspektroskopischen Analysensystems über eine längere Betriebszeit wartungsfrei zu gewährleisten.

Der Einsatz bewährter Grundkonstruktionen und deren Anpassung an die vorliegenden Betriebsbedingungen hat sich, wie die im Hochseetest [1] nachgewiesene Betriebssicherheit zeigt, als richtig herausgestellt. Gleichwohl könnten Systemverbesserungen im Kompressorbereich in Richtung eines lageunabhängigen, gekapselten Trockenlaufkompressors erhebliche Vereinfachungen bringen.

Der mittlerweile erzielte Fortschritt bei der Detektorherstellung, die Reinst-Germaniumkristalle benötigen nur noch eine Kühlung während des Meßvorganges und nicht mehr über die gesamte zusammenhängende Verwendungszeit, stufen die Anforderungen an die Lebensdauer der mechanisch bewegten Teile auf ein Normalmaß zurück, sodaß die Entwicklung eines speziellen Trockenlaufkompressors machbar erscheint.

Ausblickend ist in der Abb. 5 die Anordnung der Kryostat- und der Kompressorkugel in der Schleppsonde und aus dem Foto Abb. 11 die Kryostatausführung dargestellt.

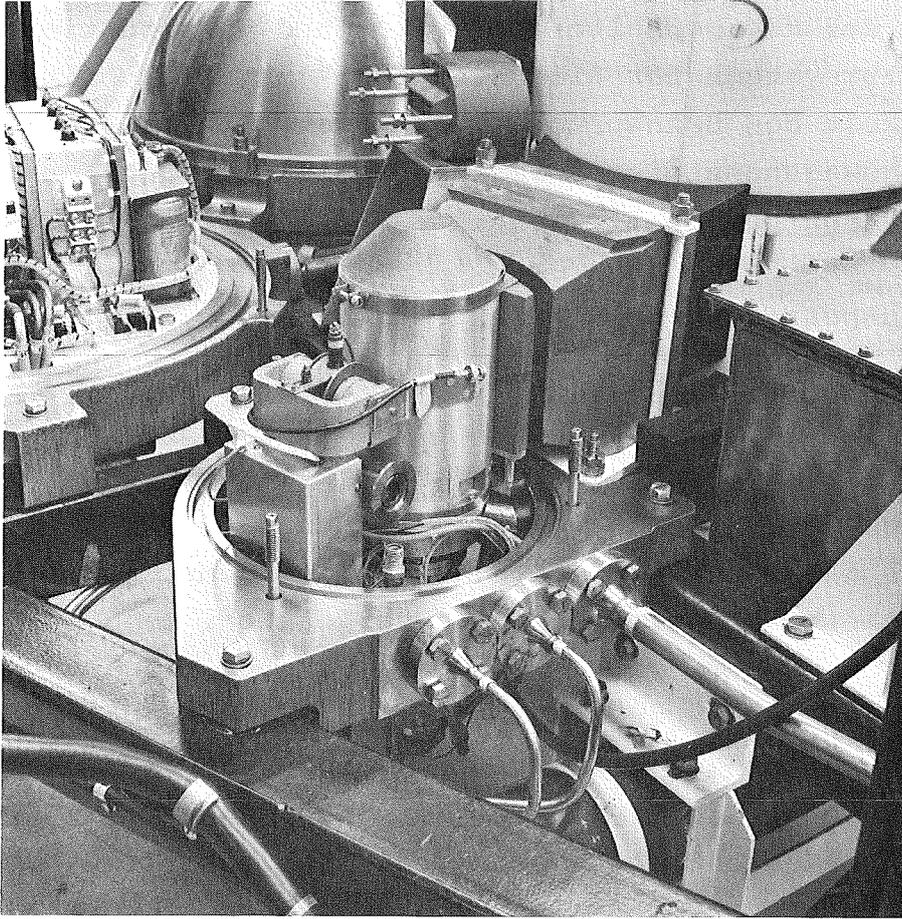


Abb. 11 Blick in den Kryostaten-Druckbehälter mit Kryostat, Ionengetterpumpe, Hochspannungsversorgungen und Vorverstärker

Literaturverzeichnis

- [1] J. Lange, U. Tamm: Manganknollen-Analysensystem "MANKA"
Abschlußbericht KFK 2537 (1977) Kernforschungszentrum
Karlsruhe

- [2] J. Lange, U. Tamm: Ein In-situ-Analysensystem zur Ex-
ploration von Manganknollen KFK 2224 (1977)
Kernforschungszentrum Karlsruhe

- [3] K. Hain: Miniaturkältemaschinen zur Meßsystemkühlung
nuklearer, mariner Aktivierungsanalysen-Einrichtungen
(1972) unveröffentlicht

- [4] P. Grassmann: Ungewöhnliche Kälteprozesse im Bereich
sehr tiefer Temperaturen, Kältetechnik-Klimatisierung
19. Jhrg. (1967), S. 158 - 162

- [5] F. Brüderle, U. Tamm: Schlingerstandtest des gesamten
Kühlsystems mit Kryostat und Detektor (1976), unver-
öffentlicht

Anhang: Verzeichnis der Konstruktionsunterlagen, Projektunterlagen, Versuchsunterlagen, Aufbewahrungsort.

1. Kryostat

RBI-PACT-O-293	Kryostat Cryodyne I	Entwurf 1. Variante
RBI-PACT-O-342	Kryostat Cryodyne I	Entwurf 2. Variante
RBI-PACT-O-344	Kryostat Cryodyne I	Entwurf 3. Variante
RBI-PACT-O-369	Kryostat CS 102 starre Ausführung	
RBI-PACT-1-370	Kryostat CS 102 elastische Ausführung	
RBI-PACT-O-842	Kryostat Cryodyne I	Zusammenstellung Endausführung
RBI-PACT-O-836	Einzelteile zum Kryostat	
RBI-PACT-O-837	Einzelteile z. Kryostat	
RBI-PACT-1-838	Einzelteile z. Kryostat	
RBI-PACT-2-839	Einzelteile z. Kryostat	
RBI-PACT-O-840	Einzelteile z. Kryostat	
RBI-PACT-1-844	Einzelteile z. Kryostat	
RBI-PACT-1-960	Einzelteile z. Kryostat	
RBI-PACT-4-1015 bis -1020	Einzelteile z. Kryostat	
RBI-PACT-4-1037 bis -1049	Einzelteile z. Kryostat	

2. Kompressor

RBI-PACT-0-1025	Kompressoranordnung mit kardanischer Aufhängung im Druckbehälter in 6 Ansichten
RBI-PACT-0-1026	Schlingerstandaufnahme Kompressor- und Kryostatkugel
RBI-PACT-1-1027	Schlingerstandaufnahme Kompressor-u. Kryostat- kugel
RBI-PACT-2-1004	Kompressoraufhängung, Einzelteile
RBI-PACT-3-1005	Kompressoraufhängung, Einzelteile
RBI-PACT-4-1006	Kompressoraufhängung, Einzelteile
RBI-PACT-4-1007	Kompressoraufhängung, Einzelteile
RBI-PACT-4-1008	Kompressoraufhängung, Einzelteile
RBI-PACT-3-1009	Kompressoraufhängung, Einzelteile
RBI-PACT-4-1010	Kompressoraufhängung, Einzelteile
bis -1022	Kompressoraufhängung, Einzelteile
RBI-PACT-4-1028	Kompressoraufhängung, Einzelteile
bis -1036	Kompressoraufhängung, Einzelteile

sowie alle anderen im RBI-Zeichnungsbuch Nr. 14 unter PACT aufgeführten Zeichnungen von untergeordneter Bedeutung.

Alle sonstigen Projekt- und Versuchsunterlagen werden unter "Manka" im RB-Archiv abgelegt.