

KfK 3576  
August 1983

**Konstruktive und  
kryophysikalische Auslegung  
eines 4.2 K-Kryostaten  
und Kühlkreislaufes  
für einen supraleitenden  
500 MHz-Resonator**

**Kryotechnische Erfahrungen bei Vortests  
im Kernforschungszentrum Karlsruhe,  
Institut für Kernphysik II,  
und beim Betrieb am  
PETRA-Speicherring/DESY**

F. Graf  
Institut für Kernphysik

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE  
Institut für Kernphysik

KfK 3576

KONSTRUKTIVE UND KRYOPHYSIKALISCHE AUSLEGUNG  
EINES 4.2 K-KRYOSTATEN UND KÜHLKREISLAUFES  
FÜR EINEN SUPRALEITENDEN 500 MHz-RESONATOR.  
KRYOTECHNISCHE ERFAHRUNGEN BEI VORTESTS  
IM KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE,  
INSTITUT FÜR KERNPHYSIK II,  
UND BEIM BETRIEB AM PETRA-SPEICHERRING / DESY.

Franz Graf

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
ISSN 0303-4003

## Zusammenfassung

Im Jahre 1982 wurde bei DESY in Hamburg ein Experiment durchgeführt, bei dem ein supraleitender Beschleunigungsresonator im  $e^+e^-$ -Speicherring PETRA betrieben wurde. Der vorliegende Bericht beschreibt den Aufbau des dazu entwickelten Kryostaten und seine Zusatzeinrichtungen und gibt eine Zusammenfassung der beim Betrieb gewonnenen Erfahrungen auf kryotechnischem Gebiet.

## Summary

Technical and physical design of a 4.2 K cryostat and its cooling circuit for a superconducting 500 MHz resonator.

Cryogenic experience gained during pretests at the Kernforschungszentrum Karlsruhe, Institut für Kernphysik II, and during the operation in the storage ring PETRA at DESY.

During the year 1982 an experiment was undertaken where a superconducting accelerating cavity was operated in the  $e^+e^-$ -storage ring PETRA at DESY in Hamburg. This report describes the construction of the cryostat used including the necessary auxiliary equipment and gives a summary of the operating experience gained.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. <u>PHYSIKALISCH TECHNISCHE AUFGABENSTELLUNG</u>	1
2. <u>KRYOTECHNISCHE AUFGABENSTELLUNG</u>	1
3. <u>KRYOVERFAHRENSTECHNISCHE AUSFÜHRUNG (KÜHLKREISLAUF)</u>	2
4. <u>KONSTRUKTIVE AUSFÜHRUNGS DES KRYOSTATEN UND DER KÄLTEMITTEL-TRANSFERLEITUNGEN</u> -----	5
4.1       Kryostataufbau, Querschnitt und Außenpartie	
4.2       Einzelpartien des Kryostaten	
4.2.1     Resonator	
4.2.2     Strahlrohre	
4.2.3     Tuner	
4.2.4     Hochfrequenzeinkopplung	
4.2.5     Auskopplungen für höhere Moden	
4.2.6     LHe-Behälter	
4.2.7     LHe-Behälteraufhängung	
4.2.8     Strahlungsschild	
4.2.9     Außenbehälter	
4.2.10    Transporthalterungen	
4.2.11    Aufstell- und Justiereinrichtung	
4.2.12    Fertigungs- und Montagevorrichtungen	
4.3       LHe- und GHe-Transferleitungen	
5. <u>VAKUUMKONZEPT</u>	27
6. <u>KRYOTECHNISCHE EXPERIMENTE IM IK II</u>	29
6.1       Erfahrungen und Hinweise	
6.1.1     Montage	
6.1.2     Lecksuche	
6.1.3     Abkühlen	
6.1.4     4.2 K-Betrieb, Regeln und Messen	
7. <u>EINBAUSITUATION IM PETRA-TUNNEL BEI DESY</u>	37
8. <u>BETRIEBSERFAHRUNGEN BEI DESY</u>	39
9. <u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	40
SCHLUßBEMERKUNG	41
LITERATURANGABEN	42
AUFSTELLUNG DER EXPERIMENTE	43

## 1. Physikalisch-technische Aufgabenstellung

Ziel dieses im Rahmen einer KfK-DESY-CERN-Zusammenarbeit durchgeführten Experimentes war der Nachweis der Vorteile supraleitender Hochfrequenz-Resonatoren beim Betrieb großer Teilchenbeschleunigeranlagen für die Hochenergiephysik.

Dafür waren Kurzzeittests, sowie auch ein auf ca. 4 Monate begrenzter Langzeittest vorgesehen. Geplant war der Einsatz des supraleitenden Resonators im DORIS-Speicherring beim DESY. Infolge terminlicher Verzögerungen mußte dann kurzfristig umdisponiert werden und der Einbau im PETRA-Speicherring erfolgen.

Über Ergebnisse der Messungen am Resonator selbst wurde in /1/ berichtet. Im Folgenden werden der konstruktive und kryoverfahrenstechnische Aufbau des Kühlkreises beschrieben und die während des Experimentierbetriebes gemachten kryotechnischen Erfahrungen zusammengestellt.

## 2. Kryotechnische Aufgabenstellung (aus /3/)

Die die kryotechnische Anlage beeinflussenden Parameter ergaben sich zunächst aus den zum HF- und Strahl-Betrieb des supraleitenden Resonators (Hauptabmessungen: 470 mm Außendurchmesser, 700 mm Länge) notwendigen Zusatzeinrichtungen /1/:

- der auf 3 Temperaturniveaus zu kühlenden, vertikalen, lokal supraleitenden 100 kW HF-Einkopplung,
- den beiden, teilweise mit flüssigem, teilweise mit gasförmigem Helium zu kühlenden horizontalen lokal supraleitenden HF-Auskopplungen (für höhere modes),
- den beiden konstruktiv ebenfalls aufwendigen und über zwei Kühlkammern mit Helium vorzukühlenden konischen, horizontalen Strahlrohren,
- der zur Regelung der Resonatoreigenfrequenz notwendigen Abstimmeinrichtung, welche von einem Schrittmotor (bei Raumtemperatur) angetrieben und bei 4 K mechanisch betätigt eine Deformation der Resonatordeckel auf  $0,2 \mu\text{m}$  pro Seite entsprechend einer Frequenzänderung von  $0,1 \div 0,2 \text{ kHz}$  ermöglicht.

Diese "Resonator-Anbauten" prägten die technische Ausführung und Ausstattung des Kryostaten. Zusätzliche kühltechnische Spezifikationen ergaben sich aus folgenden Forderungen:

- 4 K-Kühlung des Resonators (und dessen Zusatzeinrichtungen) mit hoher Druck- und Temperaturstabilität, insbesondere auch an den kühltechnisch schwierig zugänglichen Partien (HF-Ein-, Auskopplungen).
- "Kontaminationsfreies Kaltfahren" des Resonators, d.h. bevorzugtes Kaltfahren der Strahlrohre ("Schmutzbarriere") zum Schutz der empfindlichen s.l. Resonatoroberflächen.
- Gafahrloser und ökonomischer Kalthaltebetrieb des Resonators bei  $T \leq 100$  K während längerer Unterbrechung der HF-Experimente.

Schließlich wurde die kryotechnische Ausstattung der Anlage bei diesem Anwendungsfalle der Supraleitung noch durch folgende Umstände bzw. Forderungen maßgeblich beeinflusst:

- Kälteversorgung aus LHe-Transportbehältern, da DESY in Anbetracht der relativ kurzen Experimentier-/Demonstrations-Phase die Erstellung eines geschlossenen Refrigerator-Kühlkreislaufes umgehen wollte.
- "Ökonomie" bei der Kälteversorgung, soweit dies ein von Natur unökonomischer offener Tieftemperatur-Kühlkreislauf noch zuläßt. (Die Kälte durch Verdampfung eines Liters LHe wird beim idealen Refrigerator im Vergleich zum idealen offenen Kühlkreis um einen Faktor 4,6 in Praxi aufgrund zusätzlicher Überheerverluste beim offenen Kühlkreis um einen Faktor 5 ÷ 6 besser genutzt).

Eine weitere, auch hier relevante Forderung betraf die Zuverlässigkeit des Systems, da der Kryostat im während des Strahlbetriebes unzugänglichen Tunnel aufgebaut war und ein Eingriff die Unterbrechung des Strahl- und Experimentierbetriebes der gesamten Beschleuniger-Anlage erfordert hätte.

### 3. Kryoverfahrenstechnische Ausführung (Kühlkreislauf; aus /3/ siehe auch /2/) Abb.1

Das für dieses Projekt gewählte kryoverfahrenstechnische Konzept ist aus Abb. 1 ersichtlich: der supraleitende Niob-Resonator wurde im siedenden LHe-Bad oberflächengekühlt. An einigen Stellen der HF-Kopplungen erfolgte die Kühlung bestimmter Niob-Partien über Kühlkanäle durch Nutzung des Thermosiphon-Effektes, bei dem durch natürliche Konvektion Wärme abgeführt wird. Ein Teil des anfallenden Heliumabgases wurde zur örtlichen Kühlung der beiden Strahlrohre und des Kälteschildes benutzt, um den Wärmeeinfall auf das LHe-Bad zu reduzieren. Der zur Kühlung eines Keramikfensters an der HF-Einkopplung notwendige flüssige Stickstoff (an dieser Stelle wurden Kühlleistungen von einigen  $W/cm^2$  benötigt) wurde gleichzeitig in Serie zur Kühlung des Kälteschildes der ca. 10 m langen LHe-Versorgungsleitung benutzt.



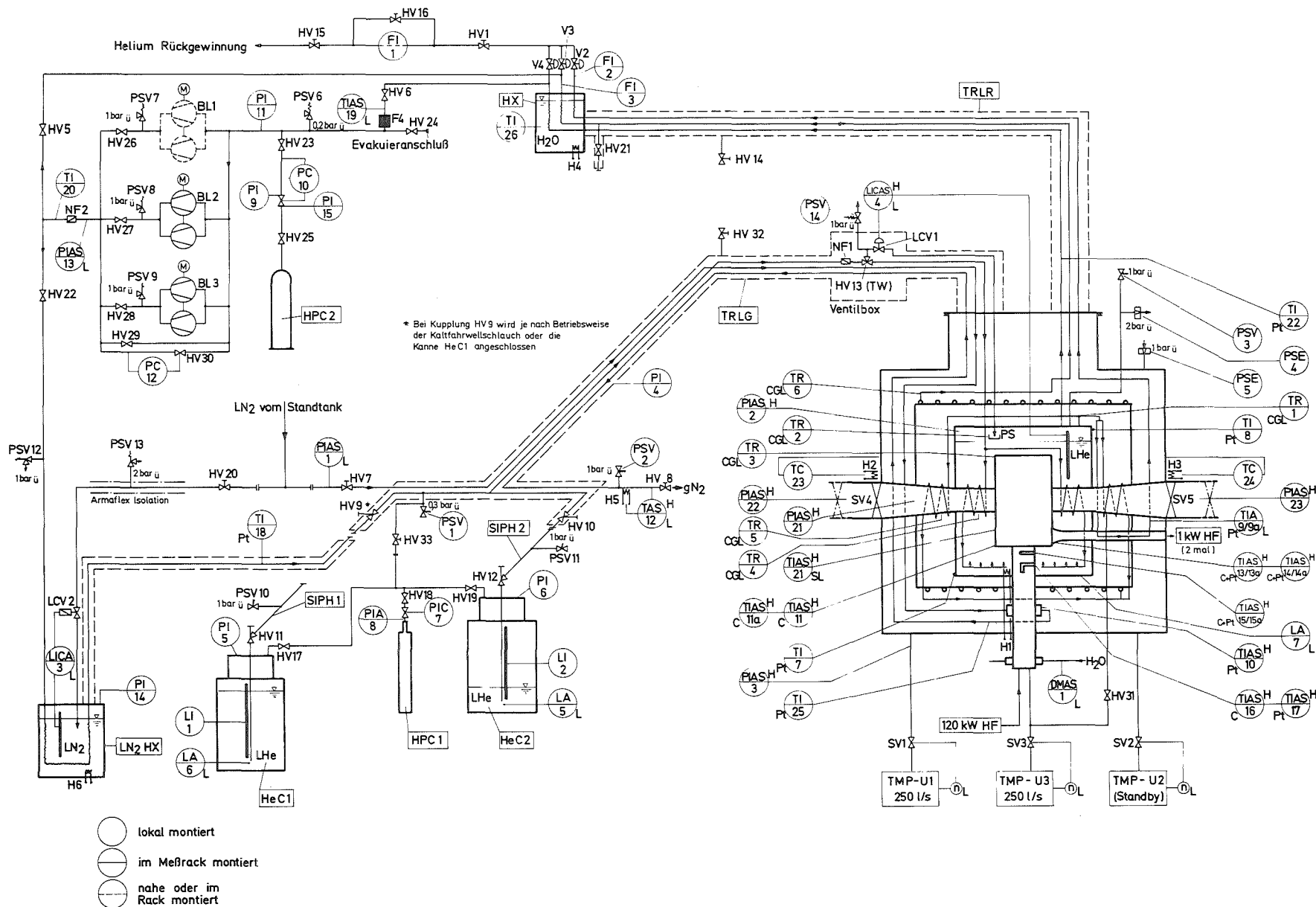
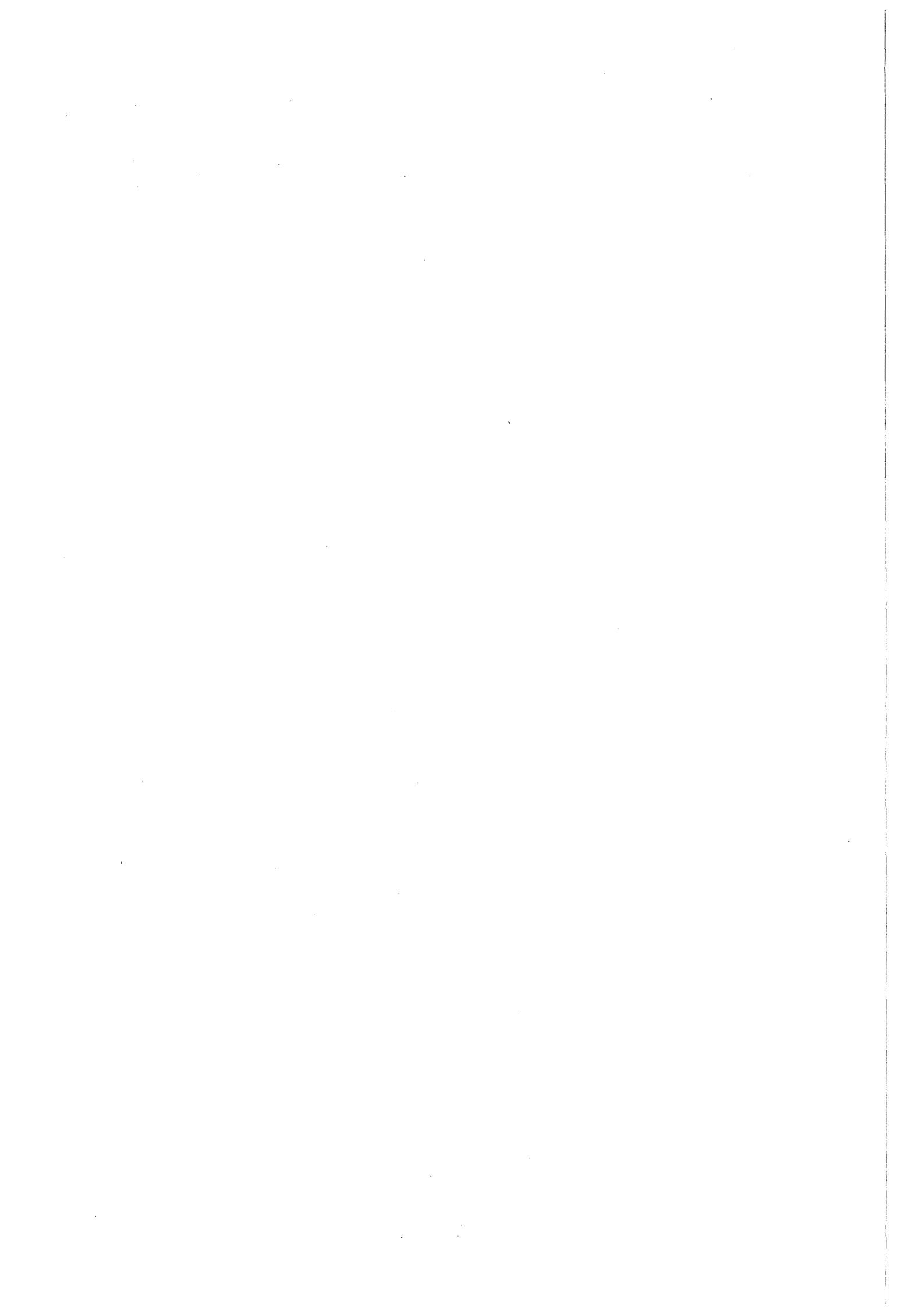


Abb. 1: Kryotechnisches Verfahrensschema zum Betrieb der PETRA-Testkavität



Zum Vorkühlen des Systems (ca. 650 kg Niob, Aluminium und SS) auf 100 K mit gasförmigem Helium wurden zwei parallelgeschaltete Membrankompressoren (BL 2,3) und ein LN<sub>2</sub>-Wärmetauscher (LN<sub>2</sub>HX) verwendet. Die restliche Abkühlung auf 4,3 K Betriebstemperatur erfolgte durch Überhebern von LHe aus den wechselbaren Transportbehältern (HeC1/HeC2). Durch dieses zweistufige Abkühlverfahren konnte der Aufwand an teurem LHe erheblich reduziert werden.

Die stationäre Kälteversorgung war kontinuierlich unter Verwendung des LI-C-Regelkreises (LHe-Standregelung im Kryostaten, Abb. 1) vorgesehen. Die kontinuierliche Kälteversorgung war in diesem speziellen Anwendungsfall als notwendig und einer diskontinuierlichen Kälteversorgung überlegen angesehen worden, da gegenüber den Gesamtverlusten mäßige Transferverluste erwartet wurden, der Resonator immer überflutet LHe-badgekühlt werden sollte und eine außergewöhnlich hohe Druckstabilität im Kryostatbad verlangt worden war. (Spätere Abweichungen von den ursprünglichen Anforderungen und Erwartungen gestatteten vergleichsweise auch die diskontinuierliche LHe-Versorgung). Das Anwärmen der He-Abgasströme wird im Wasserbadanwärmer (HX) vorgenommen. Durch Verwendung der beiden Wärmeaustauscher HX und LN<sub>2</sub>HX und der Membrankompressoren kann das System nach Bedarf dosiert, also ohne unzulässige thermische Spannungen, auf Raumtemperatur angewärmt werden.

#### 4. Konstruktive Ausführung des Kryostaten und der Kältemittel-Transferleitungen

##### 4.1 Kryostataufbau, Querschnitt und Außenpartie; Abb. 2 bis 5

Als Kryostatkonzept wurde ein horizontaler Aufbau gewählt. Die beengten Platzverhältnisse, zwischen zwei Magneten, am Aufstellungsort im Doris-Ringtunnel, beschränkten die Länge des Kryostaten sehr. Darum wurde der Außenbehälter mit flachen Abschlußdeckeln links und rechts versehen. Die Strahlrohre mußten infolge des kurzen Abstandes zwischen Raumtemperatur und 4 K konstruktiv sehr aufwendig ausgebildet werden.

Auf der Oberseite des Kryostaten befindet sich ein großer Dom. Da die Bauhöhe durch den Tunnelkran ebenfalls sehr eingeschränkt war, mußte auch hier einiges an zusätzlichem Aufwand betrieben werden. So mußte die LHe-Zuführungsleitung mit vier zusätzlichen Abwinkelungen versehen werden, um die vorgegebene Maximalhöhe nicht zu überschreiten.

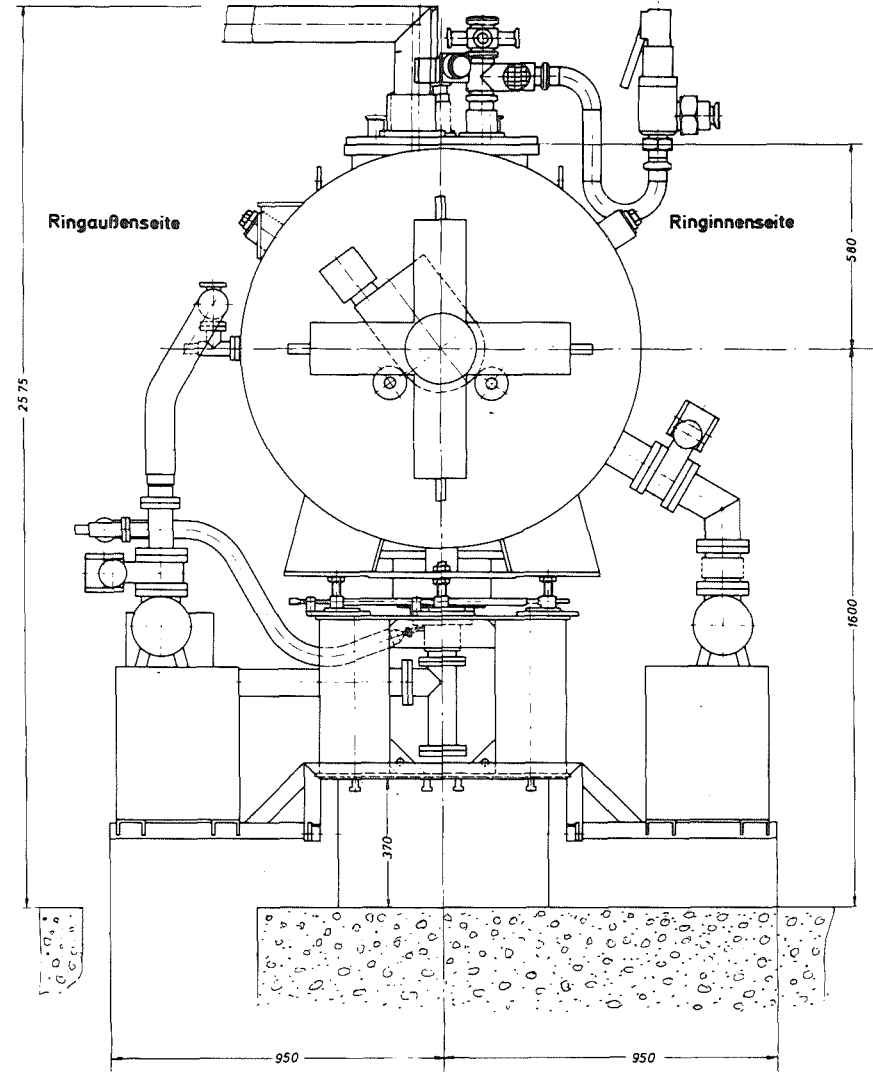
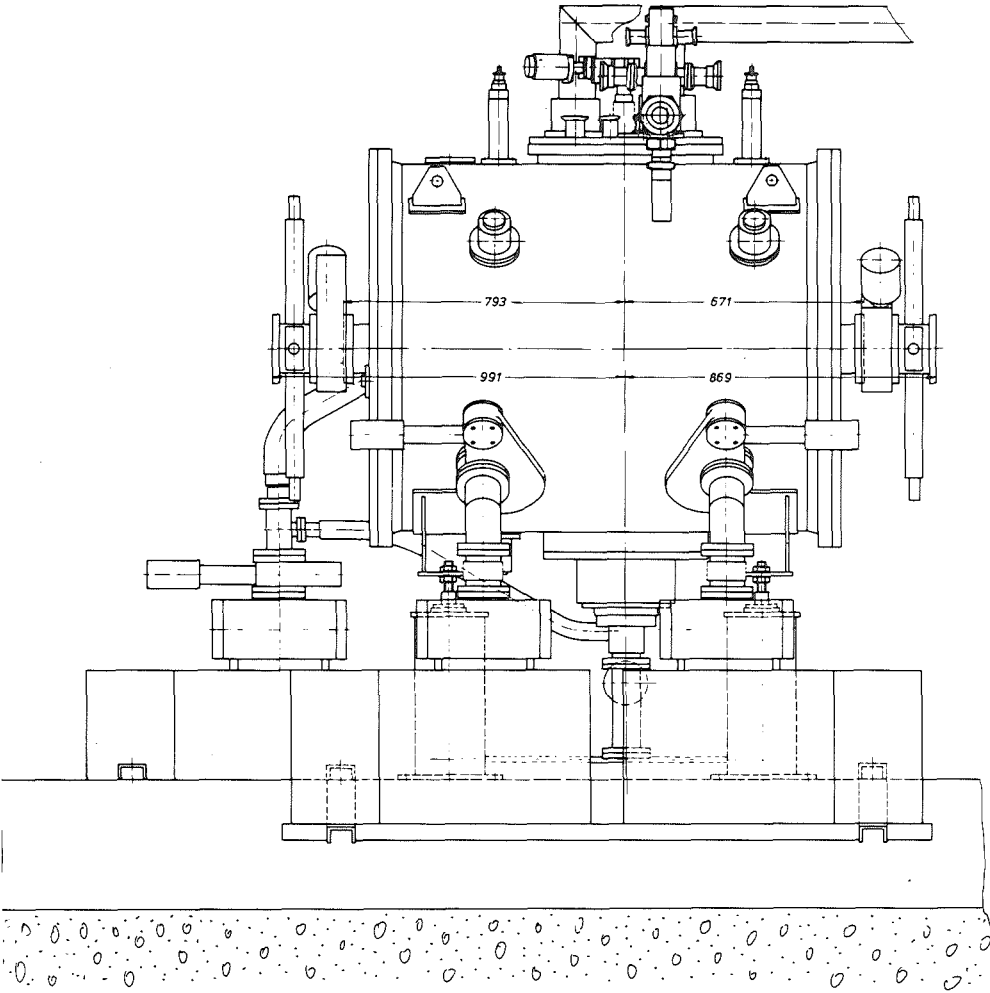
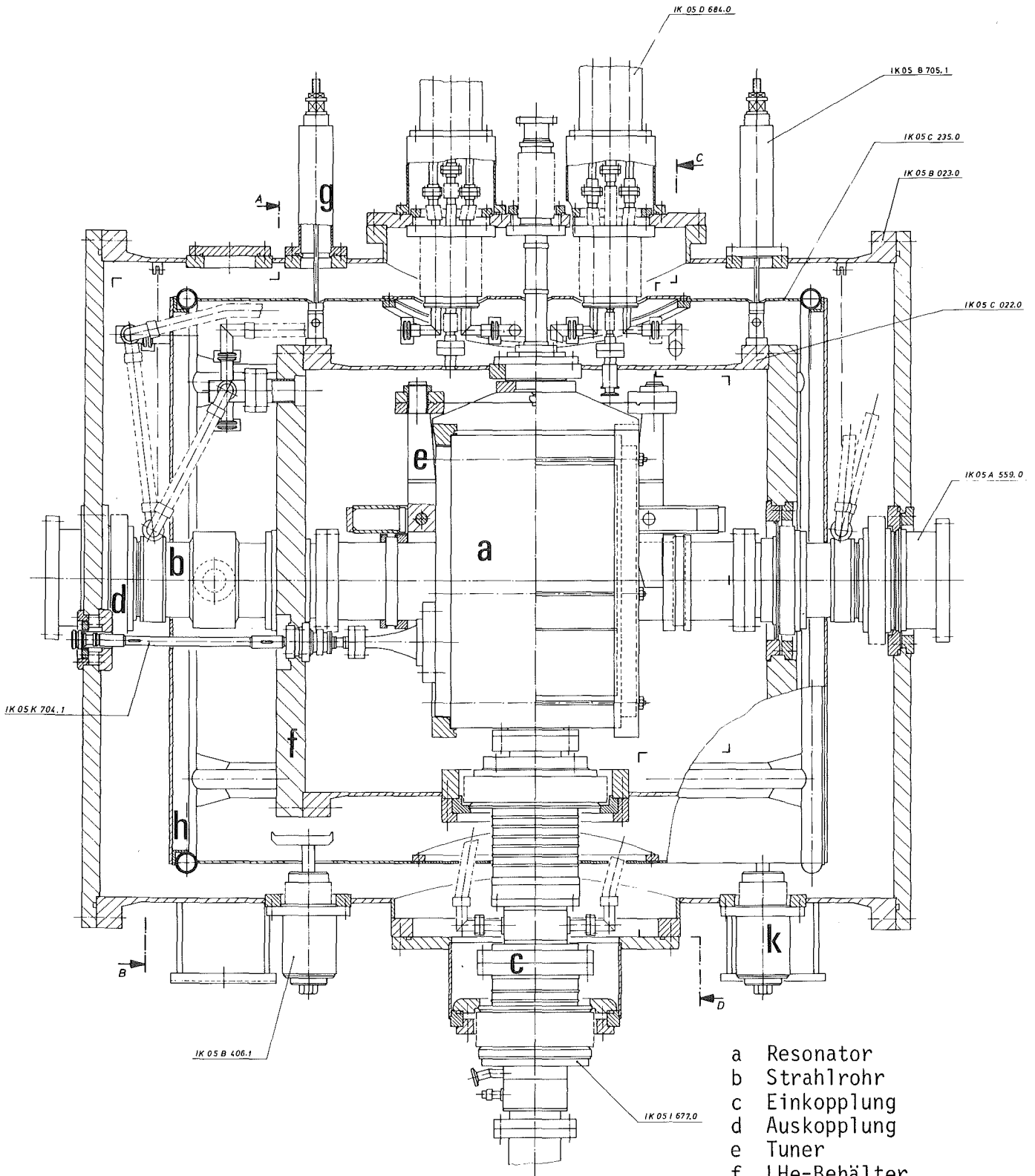


Abb. 2: Kryostat in Draufsicht und Seitenansicht



- a Resonator
- b Strahlrohr
- c Einkopplung
- d Auskopplung
- e Tuner
- f LHe-Behälter
- g LHe-Behälteraufhängung
- h Strahlungsschild
- k Transporthalterung

Abb. 3: Kryostat Längsschnitt

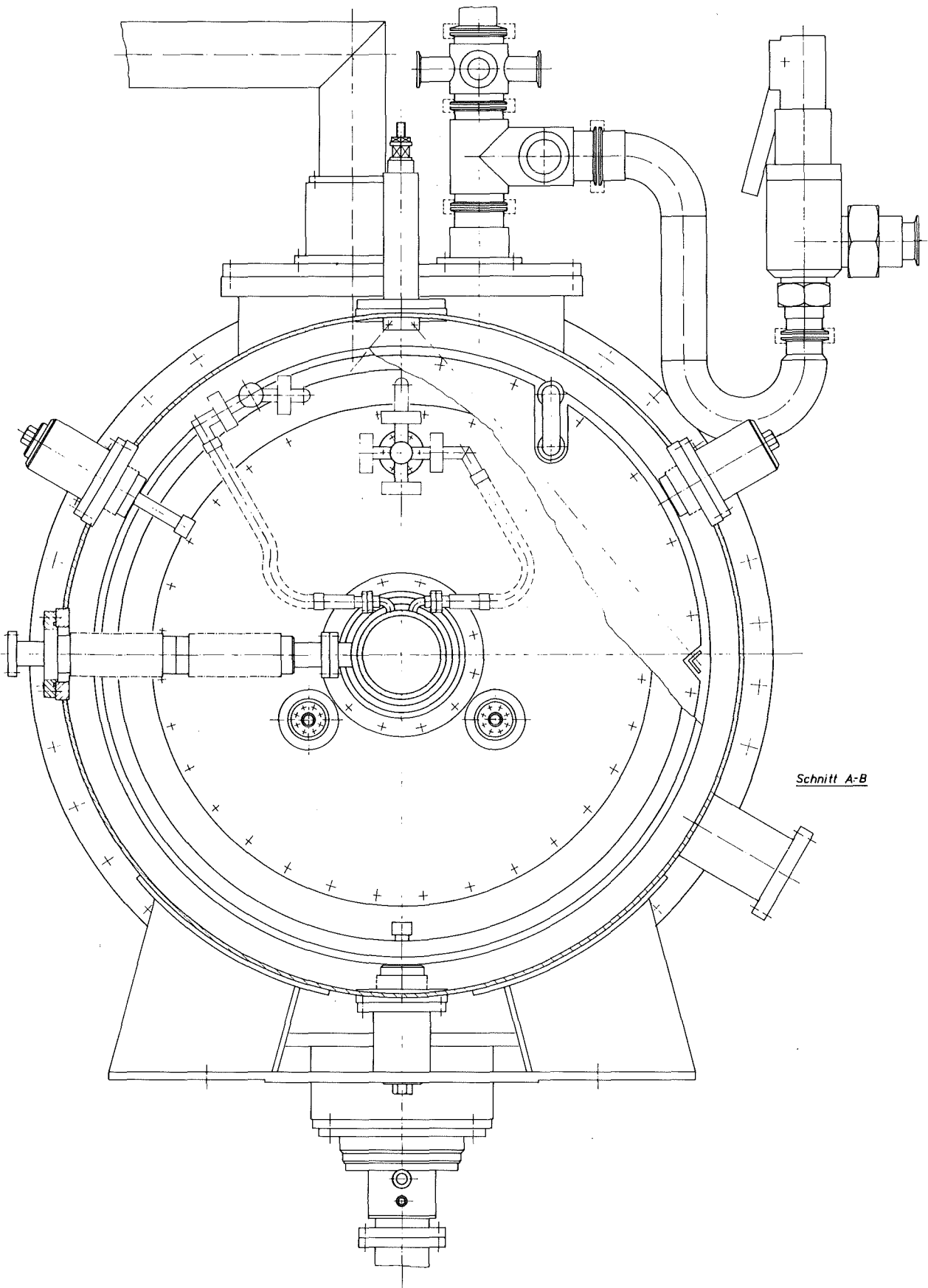
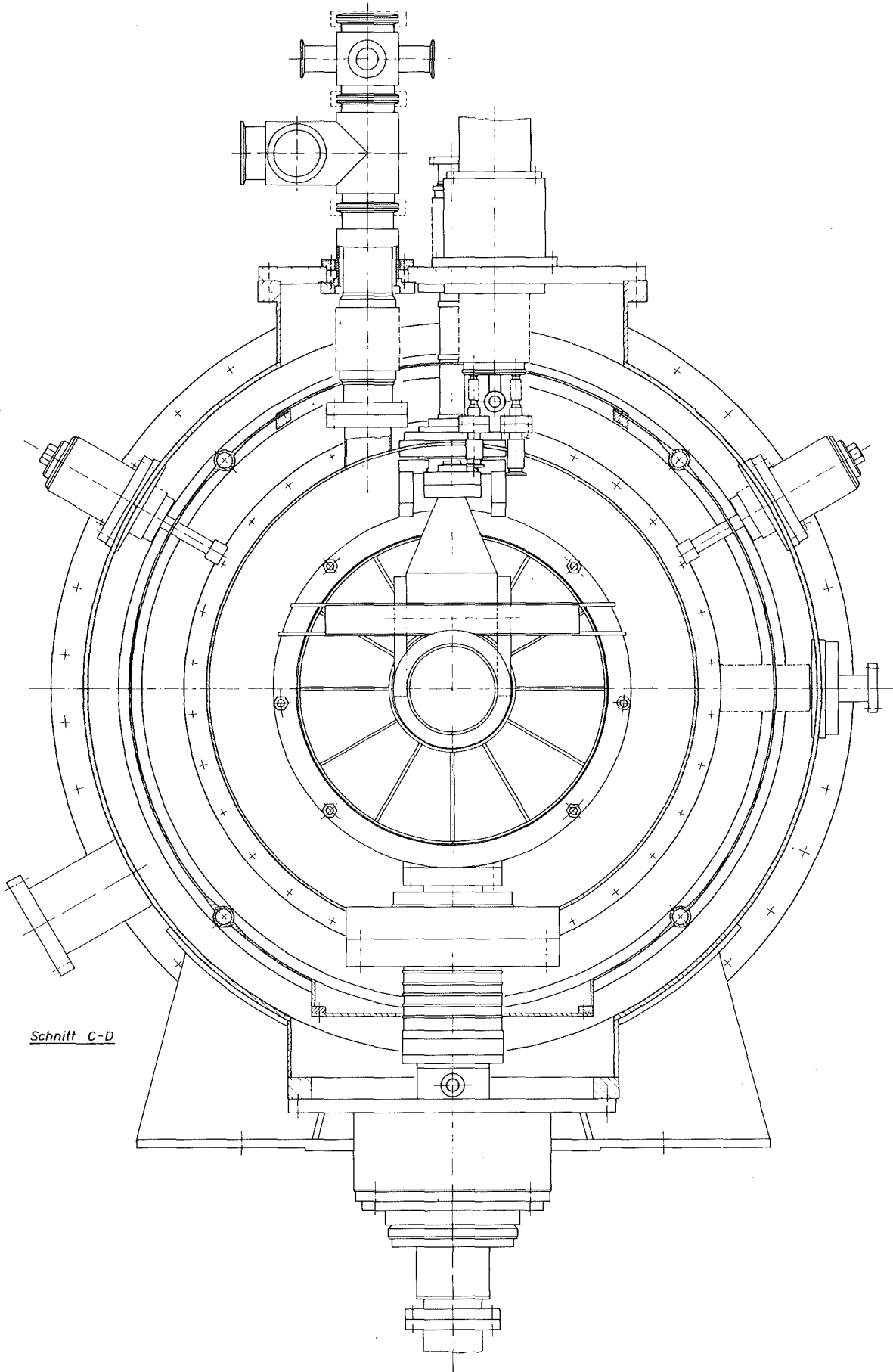


Abb. 4: Kryostat Schnitt A - B



Schnitt C-D

Abb. 5: Kryostat Schnitt C - D

Auch auf der Kryostatunterseite ist ein relativ großer Dom für die 120 kW HF-Einkopplung angeordnet. Innerhalb des Kryostat-Vakuums tanks sind Strahlungsschild und LHe-Behälter untergebracht. Zentrisch im LHe-Behälter ist der Resonator mit Tuner fixiert. Die Aufhängung des LHe-Behälters erfolgt über dünne Zugstangen ( $\varnothing$  6 mm). Für den Transport KfK - DESY waren 6 Transporthalterungen als Druckelemente ausgebildet vorgesehen. Die beiden Auskopplungen sind parallel zur Längsachse horizontal angeordnet. Kryostat und Aufstellpartie, einschließlich Strahlvakuum- und Isolationsvakuumpumpen sind auf einem gemeinsamen Untergestell montiert. So kann beim Versetzen oder Umstellen der gesamte Aufbau transportiert werden und der Kryostat ist anschließend sofort wieder abpumpbereit.

## 4.2 Einzelpartien des Kryostaten

### 4.2.1 Resonator Abb. 6

Der Resonator war aus 4 mm Niob-Blech in Schweißkonstruktion gefertigt. Zur Stabilisierung wurden die vertikalen Stirnwände mit Versteifungsrippen versehen. An den beiden Strahlrohrstummeln wurden Anlenkringe für den Tuner angeordnet.

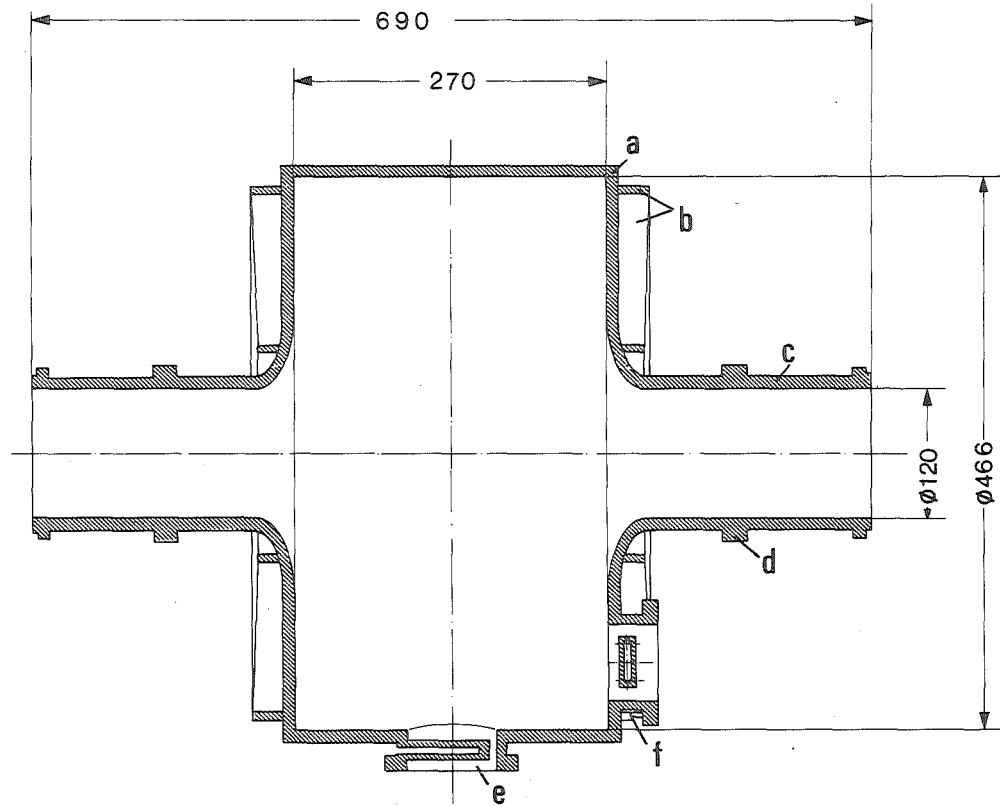
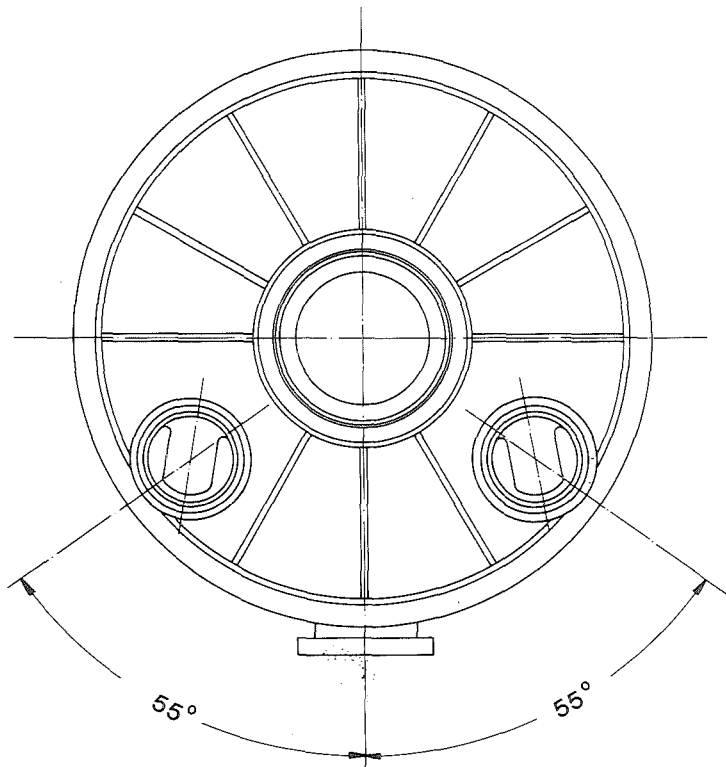
Für die HF-Einkopplung, eine Meßkopplung und für die beiden Obermodeauskopplungen wurden je ein Flansch vorgesehen.

### 4.2.2 Strahlrohre Abb. 7

An diesem typischen Beispiel sollen einmal die physikalischen, vakuum-, kryo- und herstellungstechnischen Anforderungen einer Einzelpartie des Kryostaten näher betrachtet werden.

Die Strahlrohre, die die Verbindung zwischen dem kalten Resonator und den Rt.-Kryostataußenanschlußflanschen herstellen, waren aus HF-technischen Gründen so auszubilden, daß keine abrupten Übergänge, Absätze oder Nuten entstanden; außerdem war die Wärmeleitung in Richtung Resonator zu minimieren. Zum Schutz des Resonators vor Verunreinigungen beim Kaltfahren war eine LHe-durchflossene Kühlfalle (Schmutzbaffle) vorzusehen. Außerdem mußte für den Kontraktionsausgleich gegenüber LHe-Behälter und Außenbehälter gesorgt werden, wobei Federkontakte für den elektrischen Kontakt zwischen den beweglichen Teilen vorzusehen waren. Wegen der unterschiedlichen Temperaturen, sowie der je Seite notwendigen Abdichtungen gegen Atmosphäre, Isoliervakuum, LHe und Strahlvakuum waren vier Flanschnungen vorzusehen. (Jede Flanschnung mit einer anderen spezifischen Dichtungsart; Dichtwerkstoffe: Cu, Viton und Indium).





- a.) Stirnwand
- b.) Versteifungsrippen
- c.) Strahlrohr
- d.) Tuneranlenkring
- e.) HF-Einkoppel-Flansch
- f.) Auskoppel-Flansch

Abb. 6: Resonator

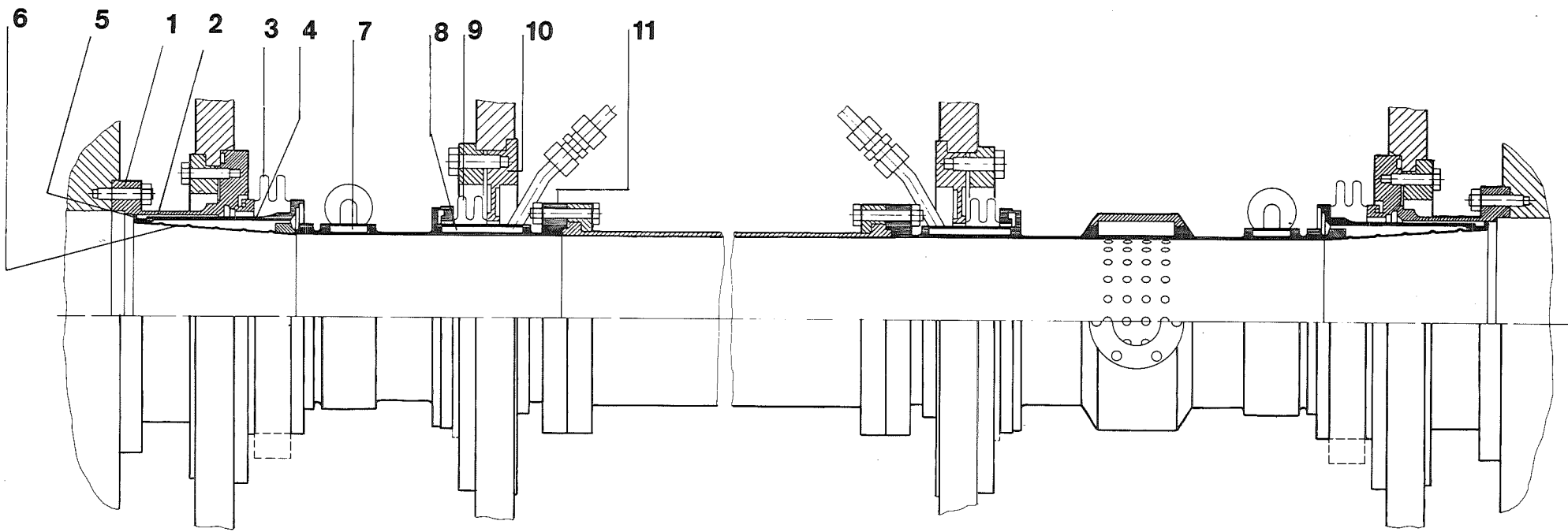


Abb. 7: Strahlrohre

Im Folgenden wird der konstruktive Aufbau der Strahlrohre kurz erläutert:

Äußerer Flansch CF 150 (Abb. 7.1) zum Anschluß an das DESY-Strahlvakuumventil; von diesem eine stabile Rohrverbindung zum Dichtflansch am Kryostatdeckel innen (Abb. 7.2). Danach ein dünnwandiger Metallbalg (Abb. 7.3) als Kontraktionsausgleich gegenüber dem Kryostatbehälter. Von hier führt eine Hülse bis zum Flansch (Abb. 7.4) mit einer zwischengelegten Feder als HF-Kontakt (Abb. 7.5) am Ende. Das nach innen führende konische Rohr (Abb. 7.6) ist wegen möglichst geringer Wärmeleitung nur 0,3 mm dick ausgebildet. Nun folgt die Kühlfalle (Abb. 7.7), mit welcher die vom Vakuum-Behälter hereinströmende Wärme abgeführt wird, und das LHe-Schmutzbaffle (Abb. 7.8), über das durch einen weiten Metallbalg (Abb. 7.9) die Flanschverbindung zum LHe-Behälterdeckel (Abb. 7.10) geführt ist. Als Abschluß innen folgt der indiumgedichtete Resonator-Anschlußflansch (Abb. 7.11).

Fertigungstechnisch schwierige Punkte waren die Verbindung des 0,3 mm dicken konischen Rohres mit dem übrigen Strahlrohr, die Ausführung der LHe-dichten Kühlfällen, sowie die Schweiß- und Leckprüffolge in Einzelschritten der am fertigen Teil nicht mehr zugänglichen und damit nicht mehr prüfbar und nachschweißbaren hochvakuumdichten Schweißnähte.

#### 4.2.3 Tuner Abb. 8

Mit dem Tuner sollte die Resonatorfrequenz im abgekühlten Zustand (bei LHe-Temperatur) durch Verbiegen der Endplatten einjustiert werden.

erf. Längung max	0,2 mm	pro Seite $\cong$ 230 kHz
Längung	0,001 mm	pro Seite $\cong$ 1 kHz
erreichter kleinster Schritt	0,00001 mm	pro Seite $\cong$ 10 Hz

Der Aufbau wurde so vorgenommen, daß der Resonator Abb. 8: 1 zwischen 2 gegenseitig abgestützten Halteringen (Abb. 8: 2) angeordnet war. Über 2 Hebel, Abb. 8:3, die an den Halteringen schwenkbar gelagert waren und über ein horizontal angebrachtes Cu-Band, Abb. 8: 4, als Verbindungsglied zwischen den Hebeln, wurde der Resonator durch Durchbiegen des Cu-Bandes, mittels des vertikal drückenden Stößels, Abb. 8: 5, über die beiden Hebel gelängt.

Der Druckstößel war vom LHe-Behälter durch das Isoliervakuum bis auf den Domdeckel geführt, wo er durch einen Exzenter, der über ein Untersetzungsgetriebe (1:25 000) und einen Schrittmotor angetrieben war, betätigt wurde.

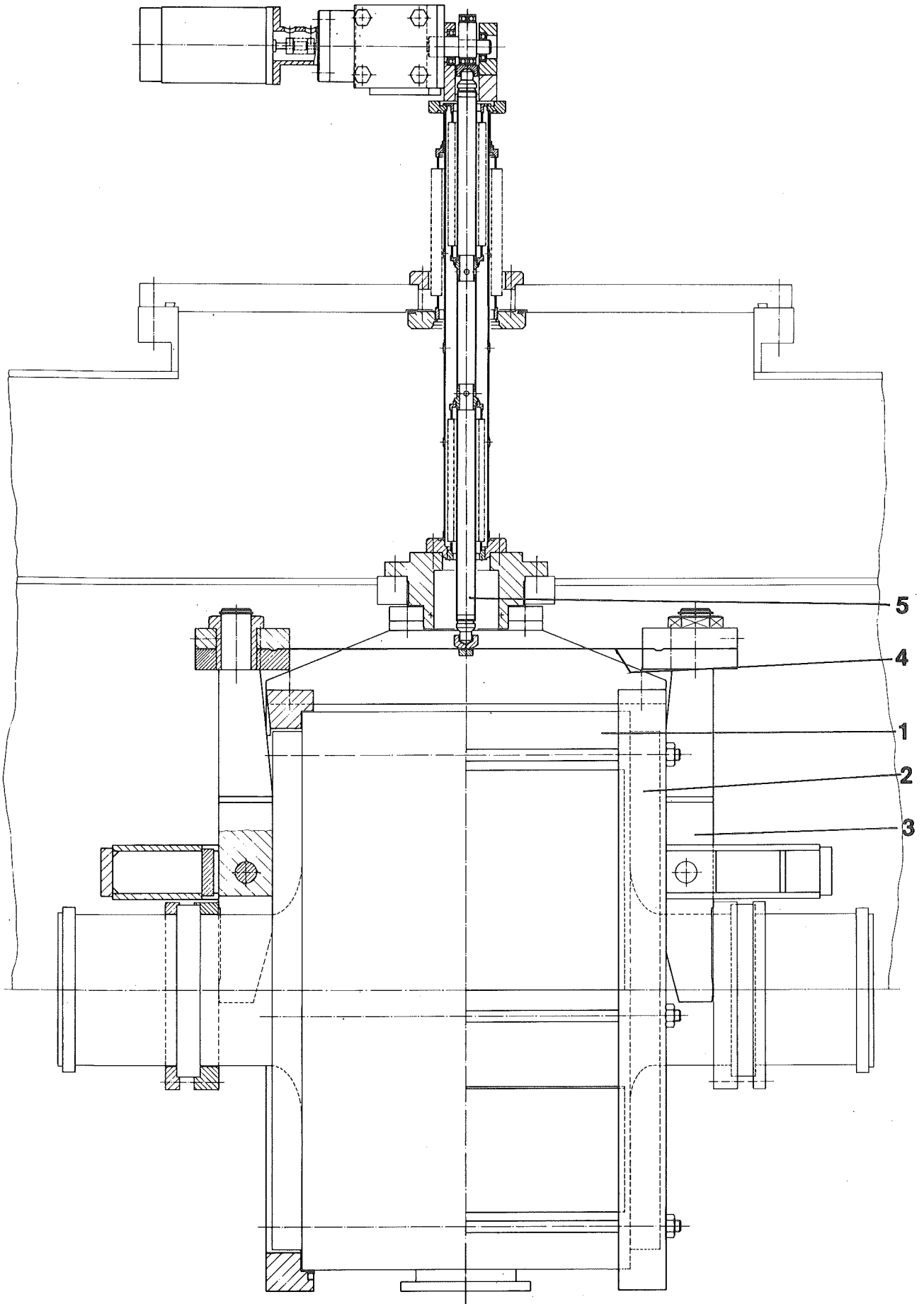


Abb. 8: Tuner

#### 4.2.4 Hochfrequenzeinkopplung Abb. 9

Die Einkopplung stellt eine sehr komplexe Baugruppe mit sehr hohen Anforderungen an Fertigung und Montage dar. So waren zur Fertigung 4 unterschiedliche Werkstoffe mit den erforderlichen Verbindungen unterschiedlicher Metalle, einschließlich Keramik, notwendig. Zum Kontraktionsausgleich waren je ein Metallbalg zur LHe-Flanschseite hin, sowie ein Metallbalg zur "warmen" Kryostatdeckelflanschung hin, anzuordnen.

Es waren 10 reine Kopplungsflanschnngen (ohne Schlauchanschlußflansche), davon 4 bei LHe und eine bei  $\text{LN}_2$ -Temperatur vorzusehen. Ferner erforderten die 4 verschiedenen Kühlzonen mit 3 verschiedenen Kühlmedien (LHe,  $\text{LN}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) 3 Vakuum-, 4 Wasser- und 2  $\text{LN}_2$ -Schlauchanschlüsse.

Die Anordnung der Kühlzonen war durch HF-Gesichtspunkte und räumliche Bedingungen vorgegeben; Kühlung der oberen Partie mit LHe, Kühlzone "obere Keramik" mit  $\text{LN}_2$  (wegen optimaler Wärmeleitfähigkeit der Keramik bei 80 K), Kühlzone "untere Keramik" und Hohlleiteranschlußpartie mit Kühlmedium Wasser.

Die Schweiß-, Löt-, Bearbeitungs- und Lecksuchfolge war auch hier sehr komplex, sie wurde durch Erstellen eines Netzplanes gelöst.

#### 4.2.5 Auskopplungen für höhere Moden Abb. 10

An der einen Resonator-Stirnseite waren zwei Auskopplungen angeordnet.

Besonders kritische Partien waren dabei die Hochfrequenzkontakt- und Dichtstellen mit Flanschung am Resonator, sowie die Verbindungen Keramik-Koaxleiter. Auf die anfänglich vorgesehene GHe-Kühlung des Koaxleiters, mit horizontaler Gasführung konnte bei den späteren Versuchen verzichtet werden.

#### 4.2.6 LHe-Behälter Abb. 3.f

Der Innentank des Kryostaten ist als horizontal angeordneter zylindrischer Behälter ausgebildet. Für die beiden Deckeldichtungen wurde Kaptonfolie 0,125 mm dick verwendet. Da dieser relativ dünne Dichtungswerkstoff nur geringe Verformungen der Flansche zuläßt, mußten Flansch und Deckel relativ stark ausgebildet werden. Zur besseren thermischen Abschirmung wurde der Behälter mit 10 Lagen Superisolation versehen.

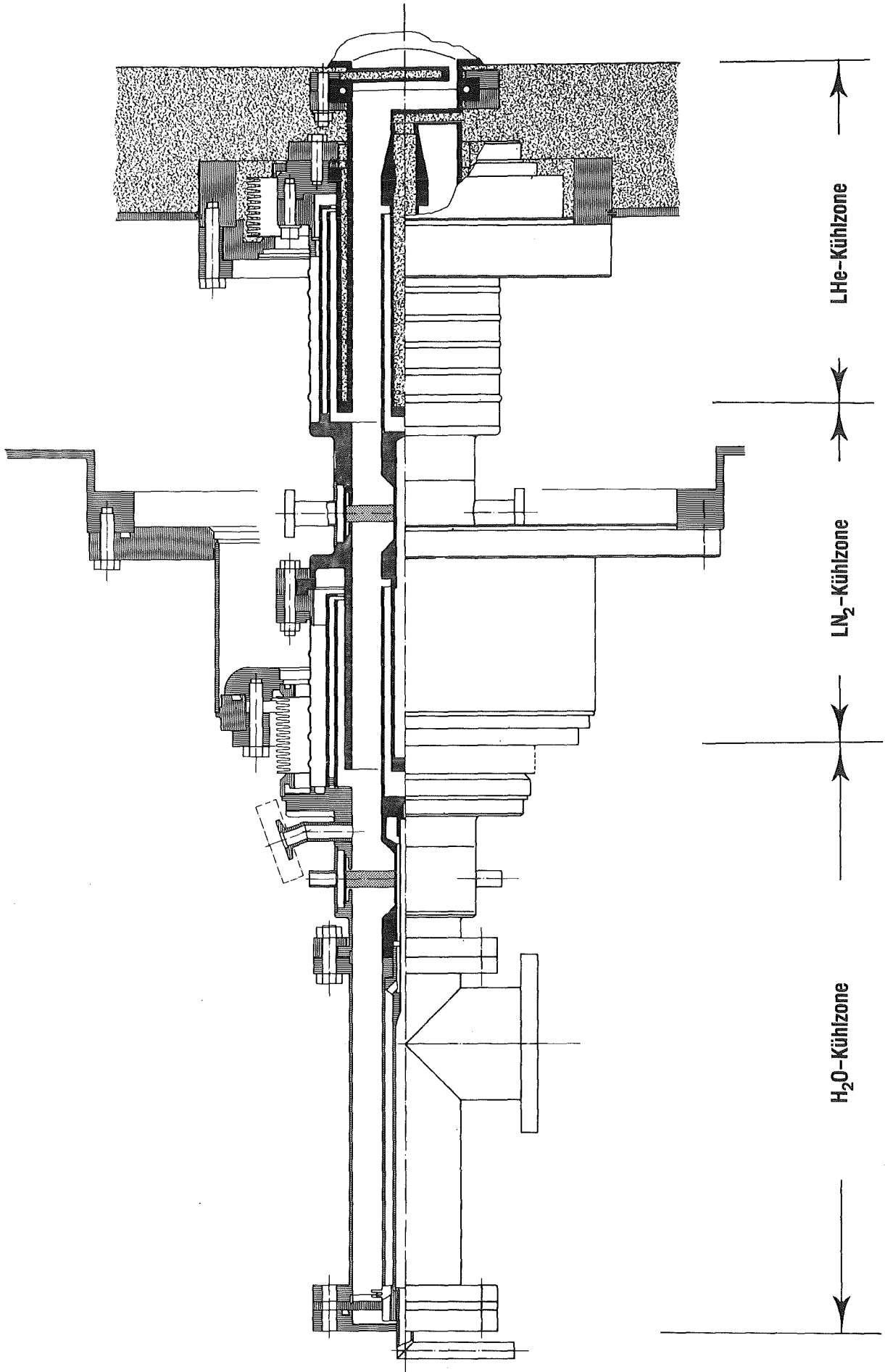


Abb. 9: Hochfrequenz-Einkopplung

90° versetzt gez.

0 100 mm

Abb. 10: Auskopplung für höhere Moden

#### 4.2.7 LHe-Behälteraufhängung Abb. 11

Diese Partie war so auszuführen, daß im kaltgefahrenen Zustand von außen die LHe-Behälterhöhe und damit die Strahlrohr- bzw. Cavitymittenhöhe innerhalb des Außenbehälters verstellt werden konnte. Die Aufhängung wurde bewußt sehr einfach für Aufbau und Fertigung ausgelegt. Als Abdichtung zum Isoliervakuum wurde ein O-Ring, zur Verstellung eine Mutter mit Kontermutter, als Verdrehsicherung ein geführter Paßstift vorgesehen.

#### 4.2.8 Strahlungsschild Abb. 3: h

Das Strahlungsschild wurde in Al-Schweißkonstruktion unter Verwendung von Flossenrohren gefertigt. Die Kühlgasführung erfolgte mäanderförmig, zur gleichmäßigen Durchströmung des ganzen Schildes. Dabei wurden die Stirndeckel nur über Klemmkontakt gekühlt. Zusätzlich wurde das Schild mit 30 Lagen Superisolation versehen.

#### 4.2.9 Außenbehälter Abb. 3

Der Außenbehälter ist als horizontaler Kryostatbehälter mit ebenen Abschlußdeckeln, einem großen oberen Dom und einem relativ großen unteren Behälterausgang in Edelstahl ausgebildet. Außerdem waren 6 Durchgänge für die LHe-Behälter-Transporthalterung und je zwei Durchgänge für

Strahlrohre,  
Auskopplungen,  
LHe-Behälteraufhängung,  
Strahlvakuumdurchgänge,  
Isoliervakuumpumpenanschlüsse sowie  
Aufstellfüße

vorzusehen.

#### 4.2.10 Transporthalterungen Abb. 12

Da der Kryostat nach dem letzten Kalttest in Karlsruhe nicht mehr demontiert und der Resonator nicht mehr belüftet werden sollte, mußten die nach kryotechnischen Gesichtspunkten ausgelegte und daher sehr dünn ausgeführte LHe-Behälteraufhängung durch 6 Transporthalterungen während der Fahrt nach Hamburg entlastet und fixiert werden. Während der Experimente waren die Halterungen soweit zurückgeschraubt, daß keine Wärme auf den LHe-Behälter übertragen wurde. Um vakuummäßig kein Risiko einzugehen, wurden für die Haltestangenhubabdichtungen keine beweglichen Dichtungen sondern Metallbälge zum Abdichten und Hubausgleich angewendet.



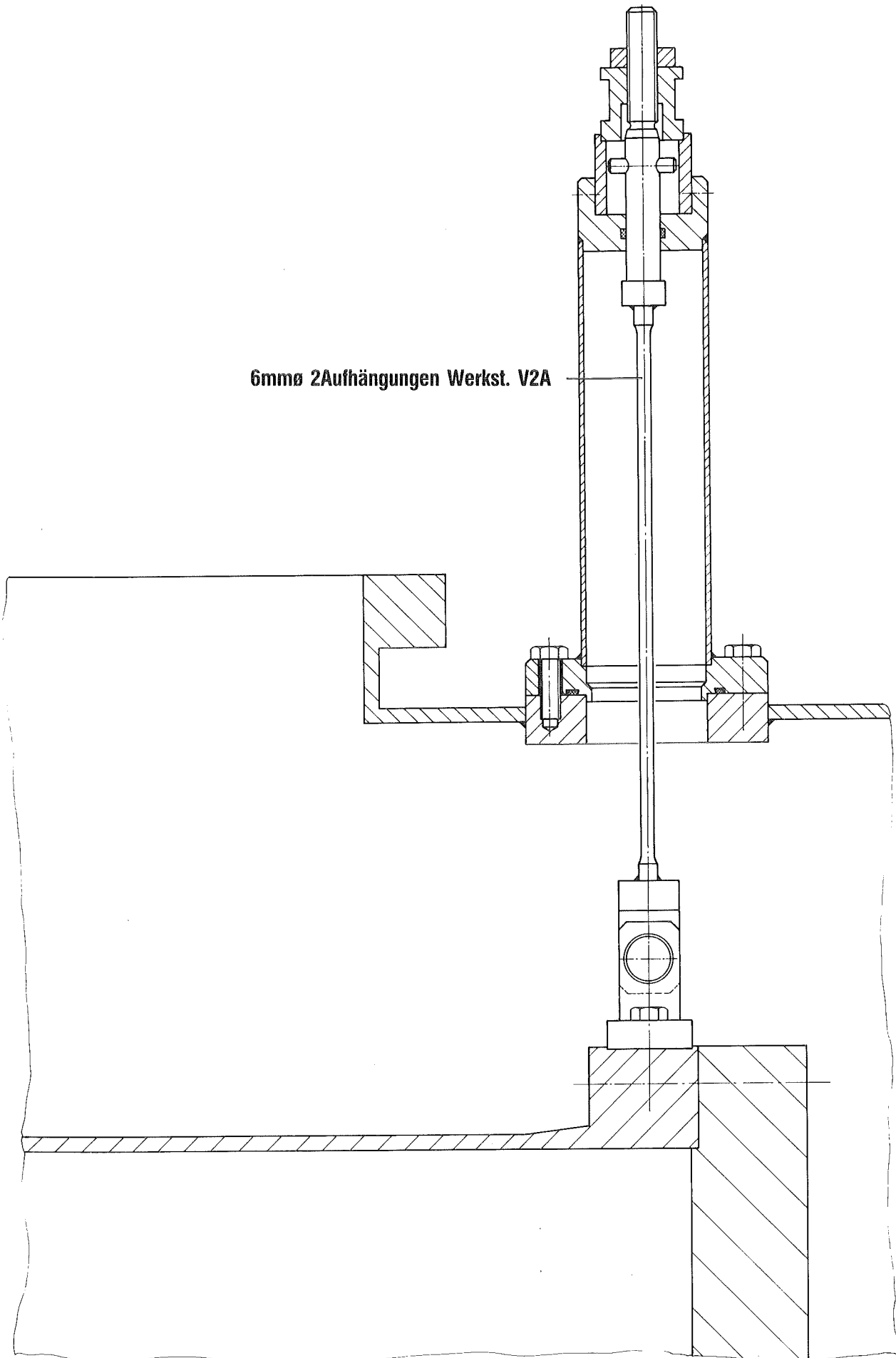


Abb. 11: LHe-Behälteraufhängung

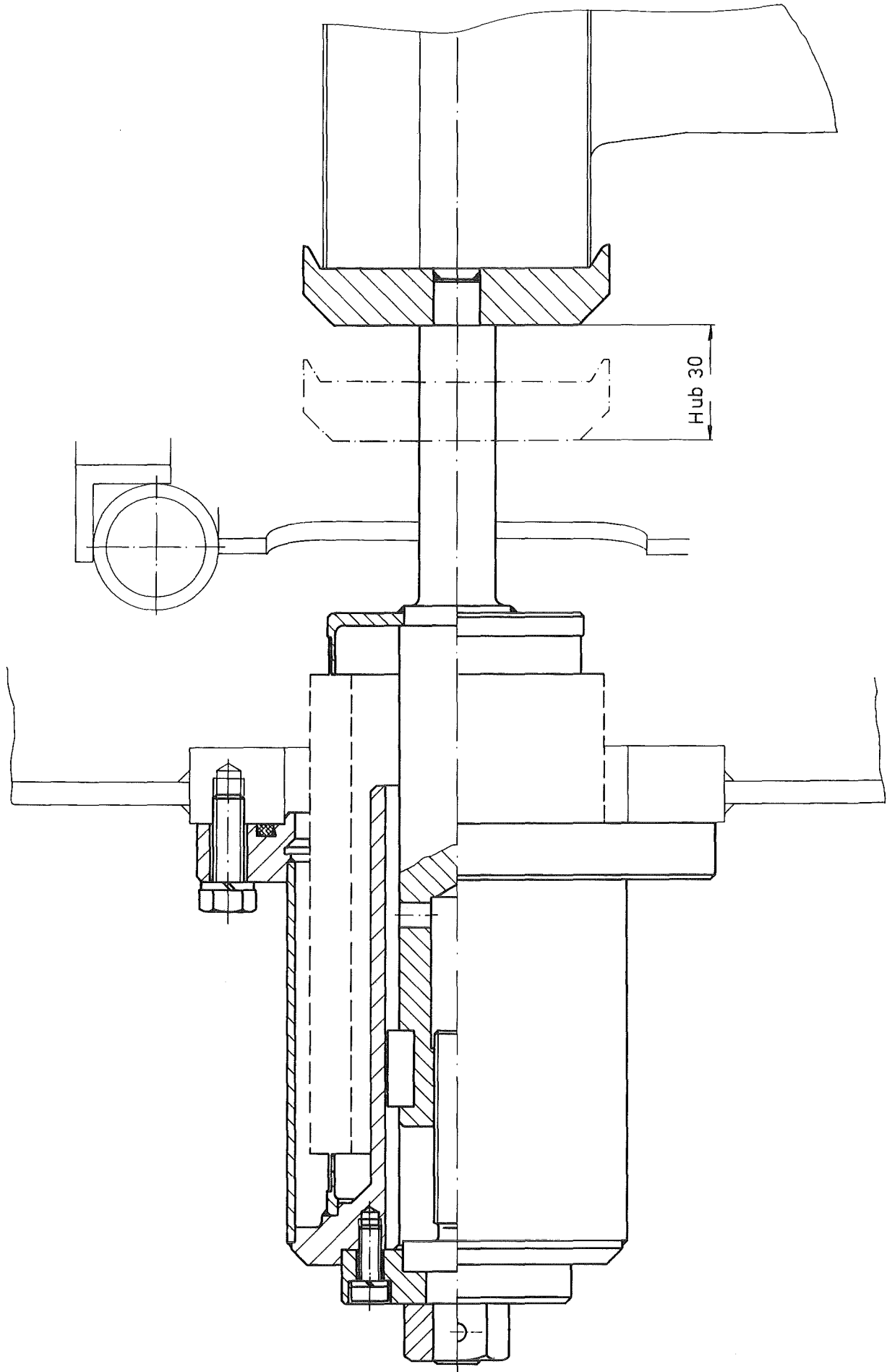


Abb. 12: Transporthalterung

#### 4.2.11 Aufstell- und Justiereinrichtung Abb. 2

Das Kryostatuntergestell mußte ermöglichen, sowohl die entsprechende Höhe als auch die Quereinstellung der Strahlrohrmitte zu justieren. Dies geschah über eine 3-Punktauflage und Spindelverstellungen.

#### 4.2.12 Fertigungs- und Montagevorrichtungen:

Für die mechanische Fertigung verschiedener Teile, wie auch für das Haltern beim Schweißen waren zahlreiche kleinere und auch umfangreichere Hilfsvorrichtungen erforderlich.

Ebenso waren für die chemische und elektrolytische Behandlung des Resonators eine aufwendige Apparatur mit elektrischer Steuer- und Stromversorgungseinrichtung zu erstellen. Für die Ein- und Auskopplungen waren für mehrere Teile, Vorrichtungen für das Verkupfern oder Versilbern erforderlich.

Für Kryostate ab einer bestimmten Größe, besonders bei horizontaler Bauweise, benötigt man für die zügige und probelemlose Montage Hilfs- und Montagevorrichtungen. Bei diesem Kryostat mußten:

- eine Vorrichtung zum Einfahren des LHe-Behälters (Abb. 13),
- eine Vorrichtung zum Einfahren des Resonators mit Tuner (Abb. 14),
- eine Vorrichtung zum Einbringen der LHe-Behälterdeckel (Abb. 15),
- eine Vorrichtung zum Haltern des LHe-Behälters beim Anziehen der Deckelschrauben (Abb. 15),
- sowie mehrere Vorrichtungen zum Abstützen von Metallbälgen während der Montagephase, oder beim evakuieren für die Lecksuche

entworfen und gefertigt werden.

### 4.3 LHe- und GHe-Transferleitungen

Die LHe-Zuführungsleitung (Abb. 16) führt von der LHe-Anschlußbox zur Ventilbox; dann über das 3-Wegeventil HV13 (Abb. 1) durch 2 verschiedene Leitungen zum Kryostaten (siehe Abb. 1). Eine Leitung ist für das Kaltfahren und Auffüllen des LHe-Behälters, die zweite Leitung für den stationären Betrieb vorgesehen. Innerhalb desselben Außenmantels ist außerdem die LN<sub>2</sub>-Zu- und Rückführleitung untergebracht.

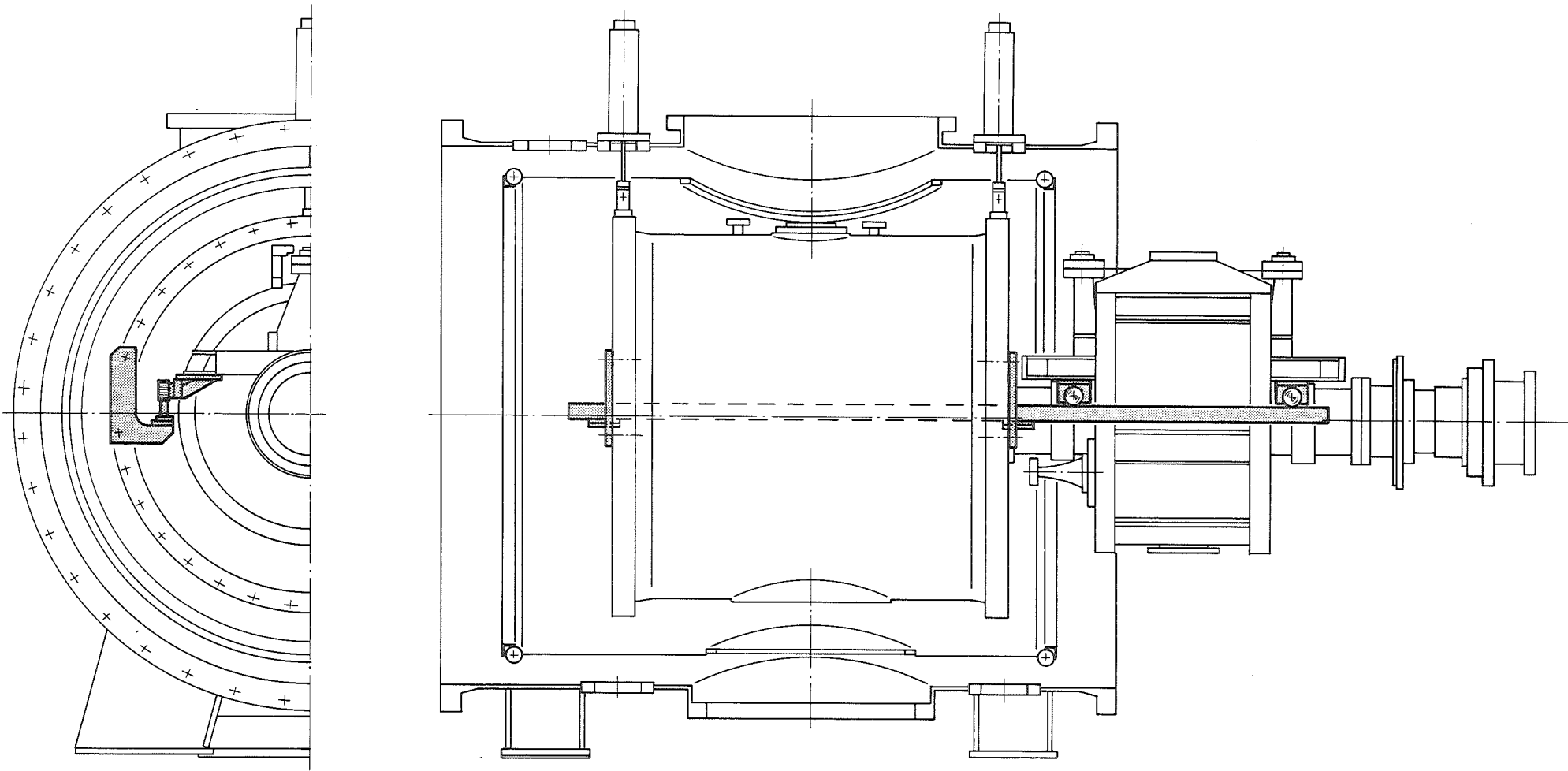


Abb. 13: Einfahrvorrichtung des Resonators

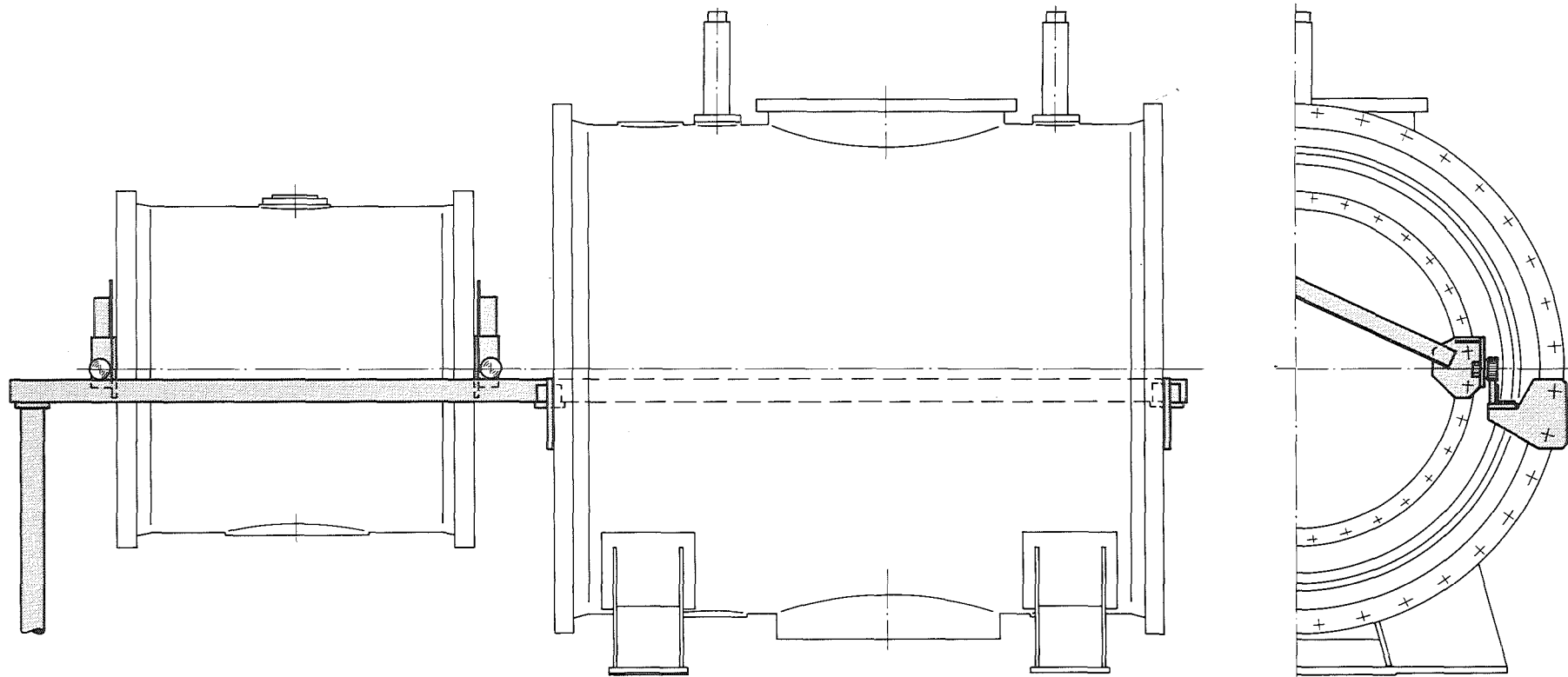


Abb. 14: Einfahrvorrichtung des LHe-Behälters

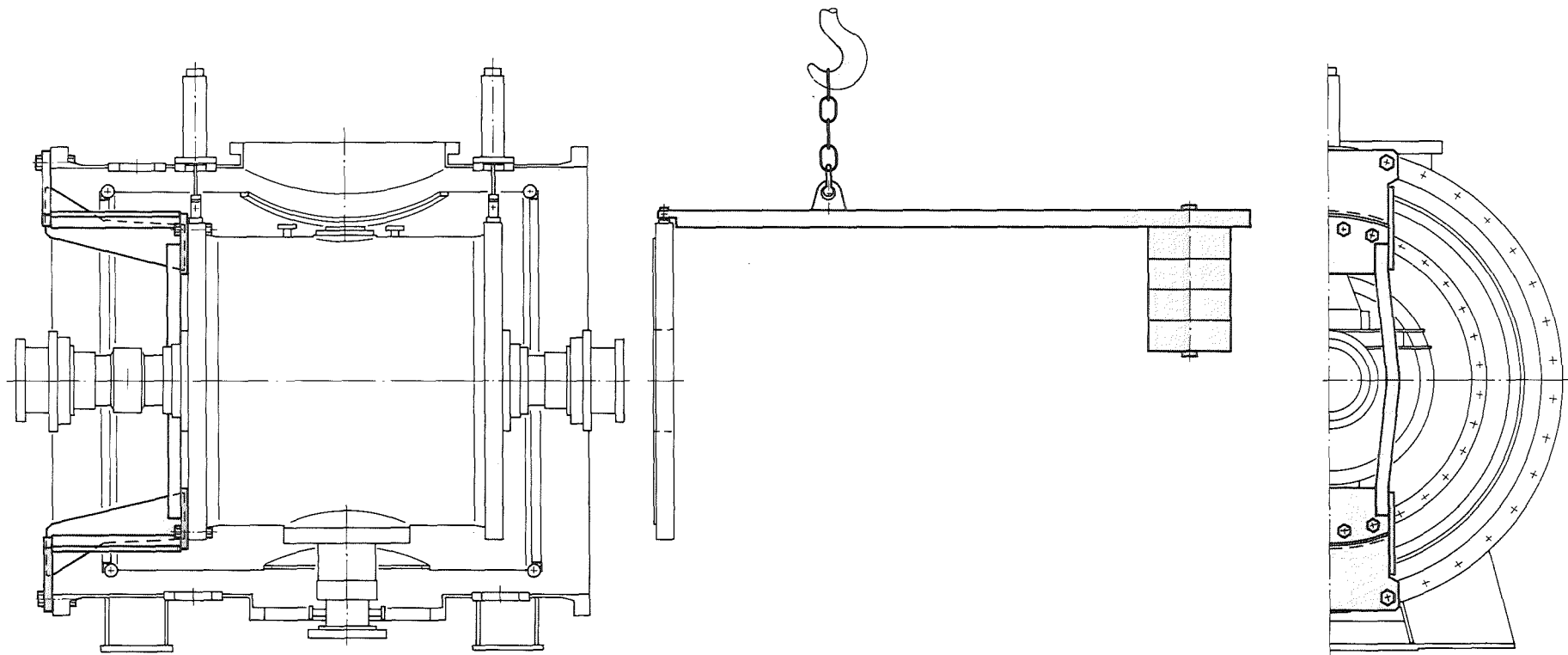


Abb. 15: Montagevorrichtung für LHe-Behälterdeckel

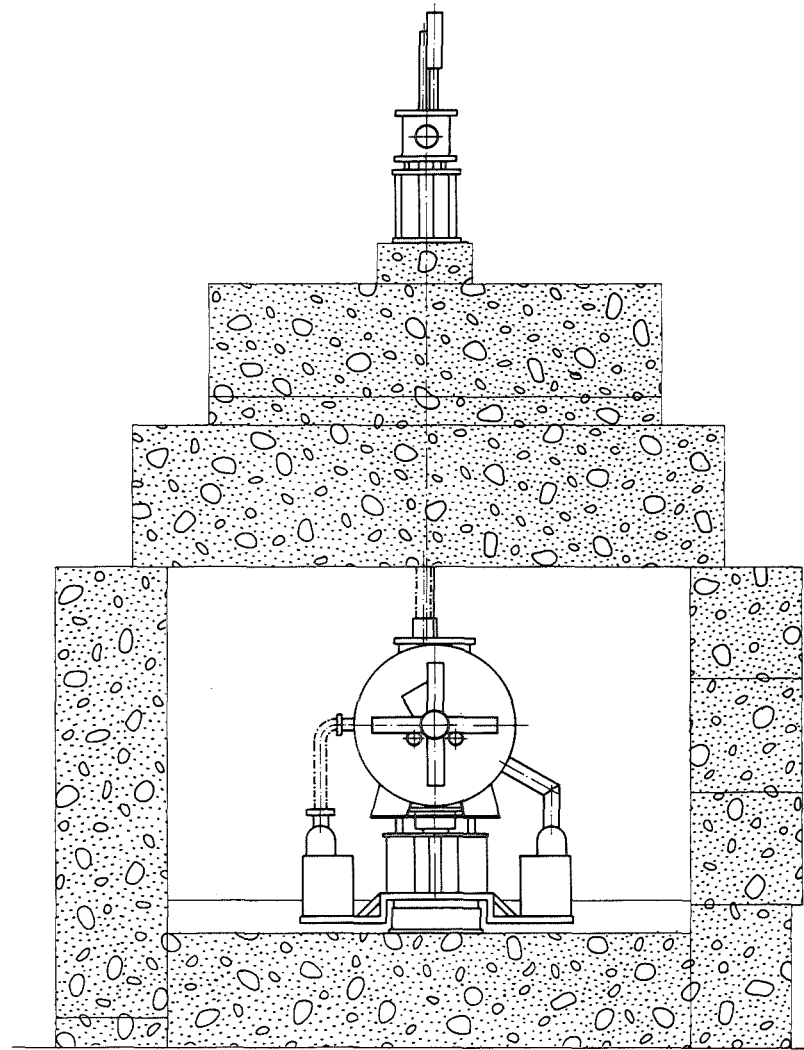
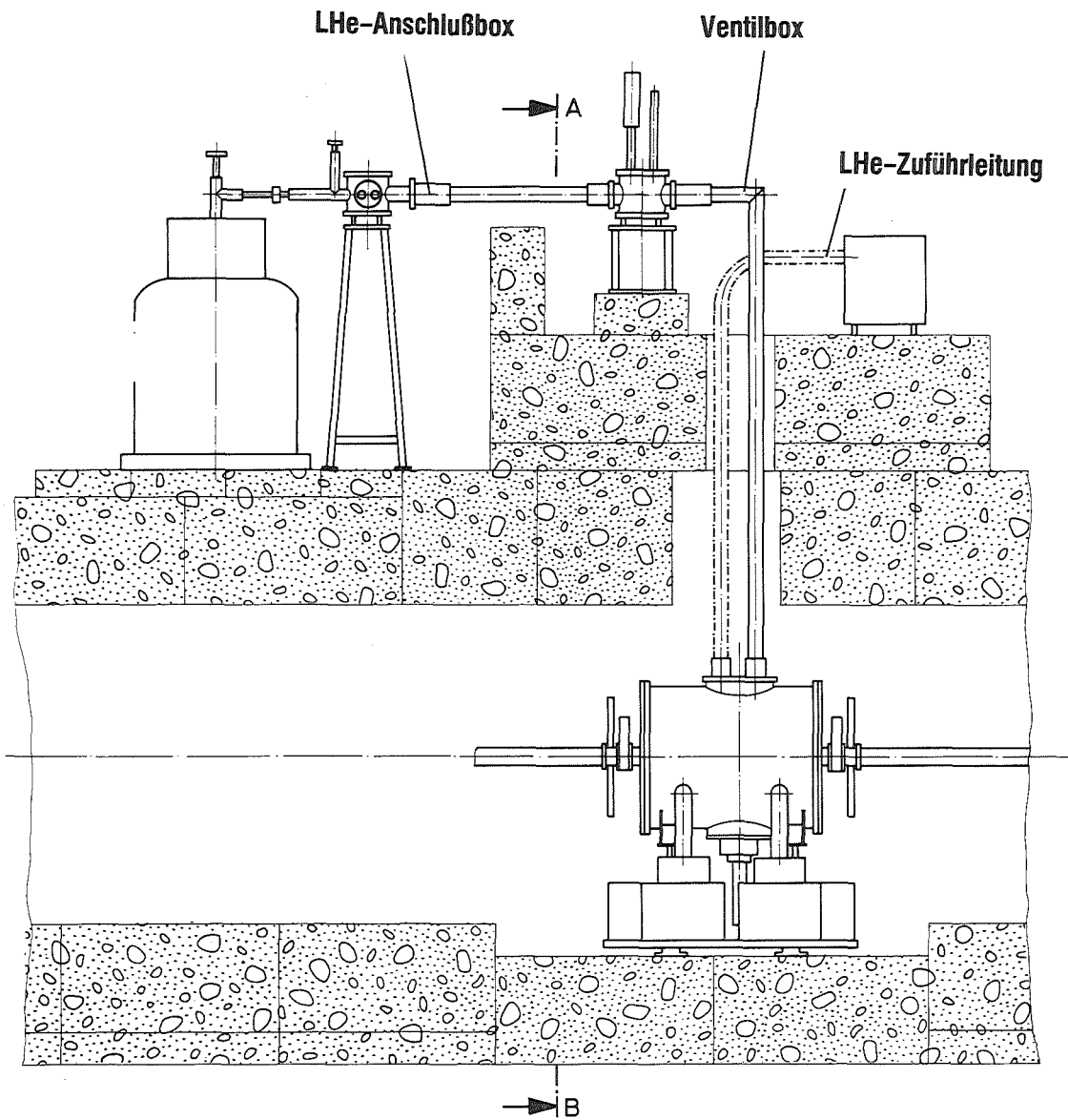


Abb. 16: Kryostataufbau im PETRA-Speicherring

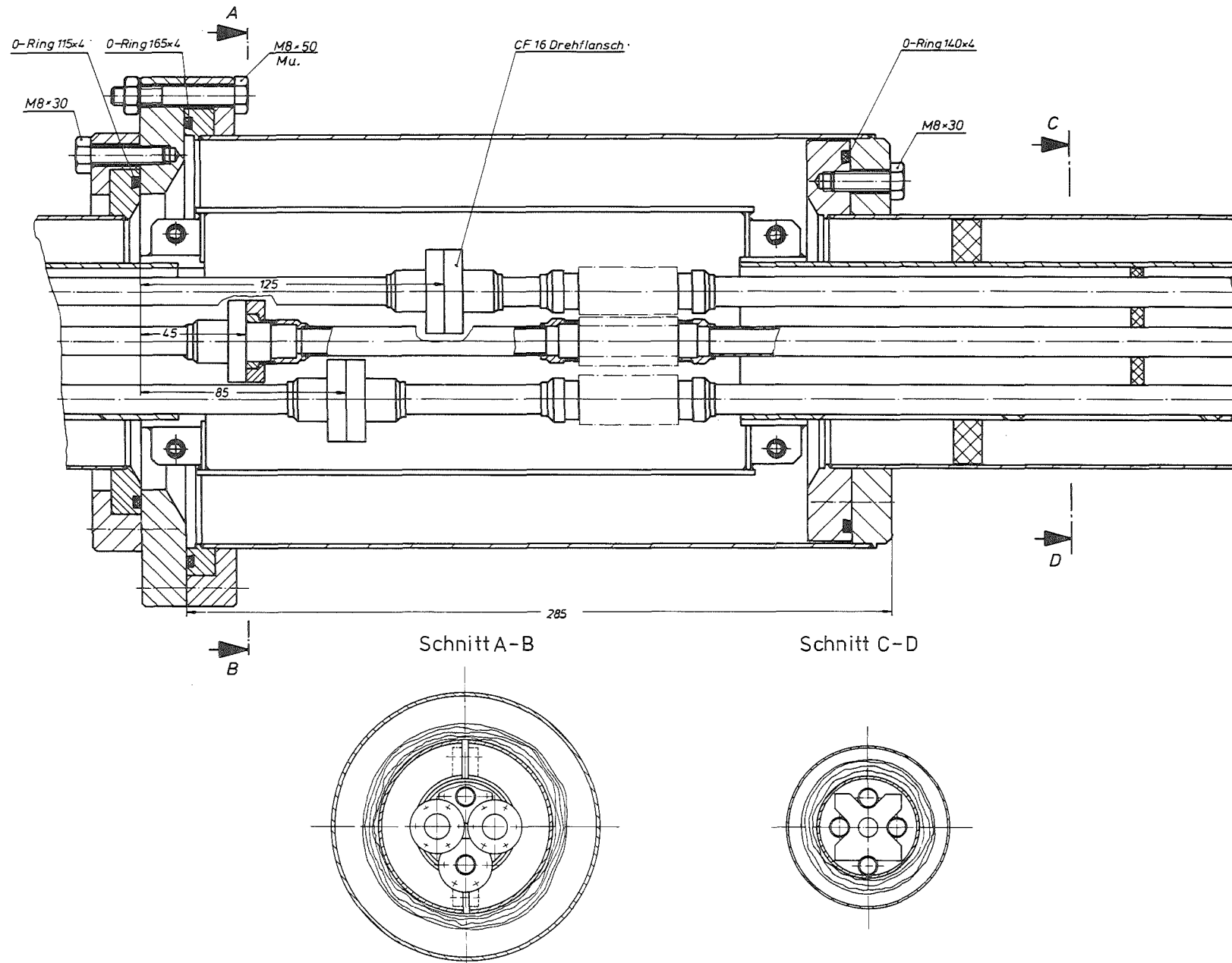


Abb. 17: Längs- und Querschnitt der Hutflanschpartie der LHe-Zuführleitung



Konstruktiv wurde die Leitung so aufgebaut, Abb. 17, daß innerhalb eines vakuumisolierten Außenmantels ein Cu-Strahlungsschild vorgesehen wurde, an das die LN<sub>2</sub>-Rückleitung angelötet war. LN<sub>2</sub>- und LHe-Zuleitungen befinden sich innerhalb des Cu-Strahlungsschildrohres.

Die für den "DORIS-Ring" vorgesehene Leitungsversion war auf eine Länge von 8 m mit 5 Umlenkungen sowie mit 5 Flanschnungen auszuführen. Dies war fertigungstechnisch sehr aufwendig und schwierig und kryotechnisch mit zusätzlichen Verlusten verbunden. Die danach für den PETRA-Ring erforderliche LHe-Zuführleitung benötigte dann nur noch einen Winkel und vier Flanschnungen. Ebenfalls mit vier Leitungen innerhalb eines evakuierten Außenrohres war die GHe-Rückführleitung ausgeführt, jedoch ohne Strahlungsschild, was die Fertigung wesentlich einfacher gestaltete.

#### 5. Vakuumkonzept Abb. 18

Verfahrens- und aufbaumäßig ergaben sich folgende Vakuumräume:

##### 5.1 Strahlvakuumraum

Resonatorstrahlrohre und Einkoppelloberpartie umfassend.

erf. Vakuum:  $10^{-7}$  mbar

gewählte Pumpe: Turbomolekularpumpe, S = 200 l/s

##### 5.2 Isoliervakuumraum

Kryostataußenbehälter, Dom oben und Dom unten umfassend.

erf. Vakuum:  $10^{-5}$  mbar

gewählte Pumpen: 2 Turbomolekularpumpen, S = 2 x 200 l/s.

##### 5.3 Einkopplungsvakuumraum

Mittlere Einkoppelpartie umfassend.

erf. Vakuum:  $10^{-6}$  mbar

eingesetzte Pumpe: Turbomolekularpumpe, S = 200 l/s.

##### 5.4 He- Zu- und Rückführleitungsraum

LHe-Zuführleitung mit He-Anschlußbox und Ventilbox, GHe-Rückführleitung umfassend.

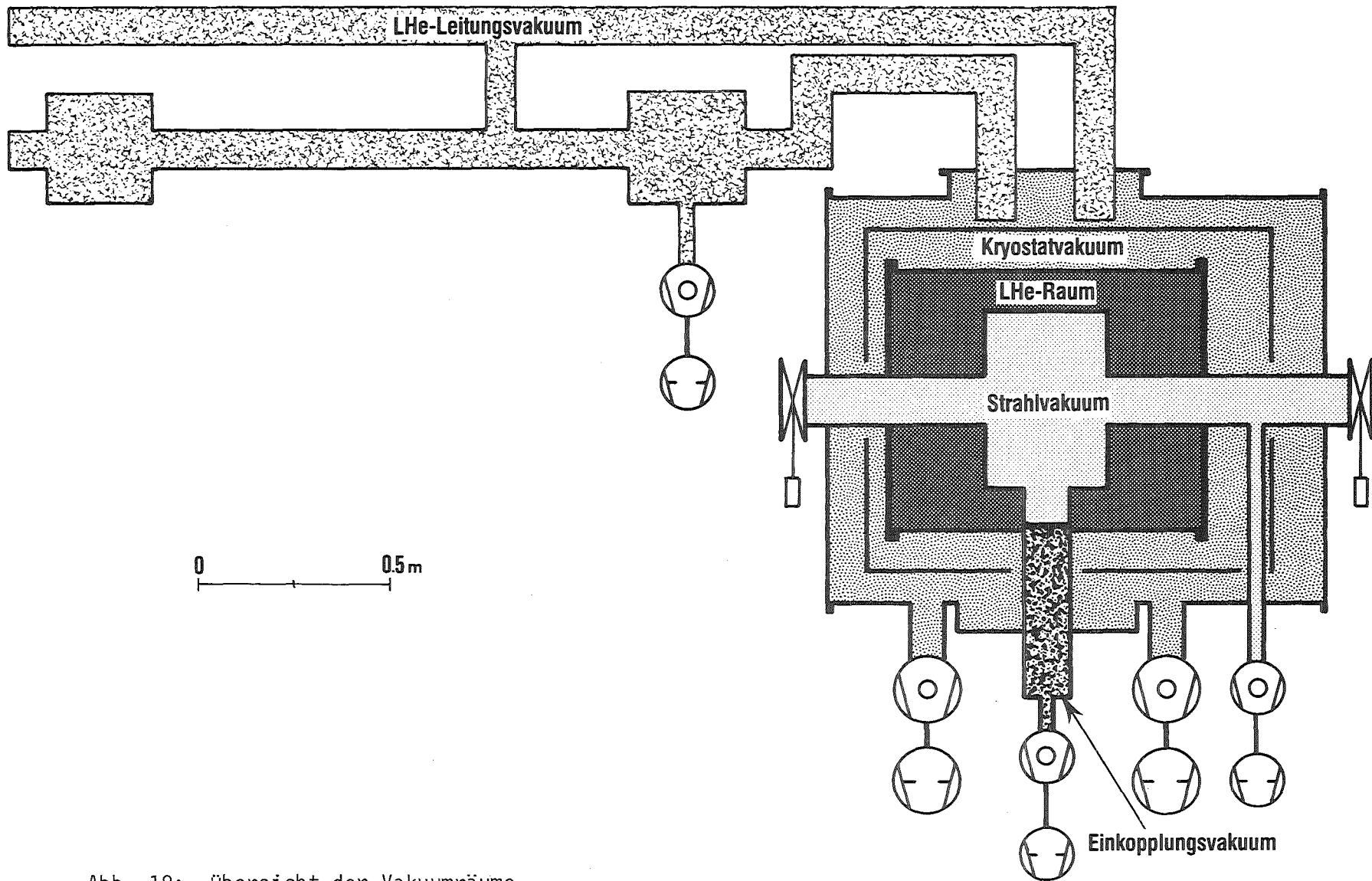


Abb. 18: Übersicht der Vakuumräume

erf. Vakuum:  $10^{-5}$  mbar

gewählte Pumpe: Turbomolekularpumpe,  $S = 100$  l/s.

Die beiden Strahlrohrventile außerhalb des Kryostaten wurden von DESY bereitgestellt.

## 6. Kryotechnische Experimente im IK II

Das erste Kryoexperiment sollte Aufschluß geben über das Abkühlverfahren, sowie das Abkühlverhalten des Kryostaten, zunächst mit einer Resonator- und einer Einkoppelattrappe. Verfahren und Abkühlvorgang funktionierten dabei ohne Schwierigkeiten. Die wesentlichsten Kaltfahrdaten sind in Tabelle I festgehalten.

Im folgenden Experiment waren sämtliche originalen Einbauteile, einschließlich eines Kryopermschildes, zur Abschirmung des Erdmagnetfeldes, montiert.

Nach dem Kaltfahren bildete sich an den äußeren Auskopplungsflanschen Eis. Dies deutete auf Konvektion in der horizontal angeordneten GHe-Kühlzone der Auskoppelkoaxleiter hin, zudem waren die Koaxleiter nicht spezifikationsgerecht versilbert worden (zu große Schichtdicke).

Zwischen LHe-Raum und Isoliervakuum wurde außerdem noch ein Kaltleck festgestellt.

Um kurzfristig weitere Untersuchungen vor allem mit dem Resonator durchführen zu können, wurden beim nächsten Experiment die Koaxialverbindungen der Auskopplungen zum Kryostataußendeckel nicht eingebaut. Bei diesem Experiment zeigten sich beim Betrieb des Resonators Multipactingschwellen und anhaltende thermische Zusammenbrüche. Auch das Kaltleck trat, trotz Nachziehens der Schrauben sämtlicher zugänglicher LHe-Flansche, wieder auf.

Nach Beendigung des Experimentes wurde zuerst die Kryopermabschirmung entfernt, um eine möglichst wirksame Badkühlung des Resonators zu gewährleisten. Ferner wurden Tuner und Auskopplung neu justiert und zur Lokalisierung der thermischen Zusammenbrüche 34 Temperaturfühler am Resonator angebracht. Trotz intensiven Lecksuchens konnte bei Raumtemperatur kein Hinweis auf das Kaltleck gefunden werden.

Bei weiteren Experimenten zeigte sich, daß im Bereich der Hochfrequenzkontakte an den Auskopplungen für höhere Moden Wärmepulse auftraten. Dies konnte durch geänderte Ausbildung der Kontaktringe verbessert werden. Außerdem wurden bei den letzten Experimenten festgestellt, daß auf die GHe-Kühlung der Auskoppel-Koaxialleitungen verzichtet werden kann.

Damit waren jedoch noch nicht alle Schwierigkeiten, die nach Art und Anzahl nicht ohne weiteres erklärbar sind, ausgeräumt.

So traten noch Lecks am inneren Keramikfenster der Auskopplungen, am Balg und an der Koppelschleife der linken Auskopplung auf. Außerdem führte ein Leck im Wasserbadanwärmer zu einem Wassereinbruch in den LHe-Raum. Nach aufwendigem Spülen und Trocknen aller betroffenen Räume, wurden aus Termingründen nicht sämtliche Indiumdichtungen erneuert. Darauf traten beim nächsten Experiment Kaltlecks sowohl vom LHe-Raum zum Isoliervakuum-, wie auch vom LHe-Raum zum Strahlvakuumraum auf.

Zur Lokalisierung der Kaltlecks wurden die einzelnen Flansche partiell mit  $LN_2$  abgekühlt. Mit dieser Methode konnten die Kaltlecks ermittelt und behoben werden.

Bei einem abschließenden Experiment im KfK, vom 13. bis 17. 10. 1981 wurden gute Ergebnisse, sowohl für die Beschleunigungsfeldstärke (2 MV/m), als auch für die Güte ( $> 10^9$ ) und die Vakua erreicht.

Die wesentlichen bei KfK gemessenen kryotechnischen Daten waren folgende:  
(Siehe auch /4/)

Isolationsverluste:

Kryostat mit Einkopplung, Auskopplung	5 W
Strahlrohren und Tuner	
LHe-Zuführleitung (Leitungskonzept für Aufstellung im PETRA-Ring)	13 W

Druckstabilität bei kontinuierlichem 4.2 K-Betrieb

Druckschwankungen im LHe-Bad	1-3 mbar
bei Nenn-Niveau = 610 mm LHe-Standhöhe, entsprechend 190 l LHe-Füllvolumen	

### Vakua

Isolationsvakuum:	$1 \times 10^{-7}$ mbar
Strahlvakuum:	$5 \times 10^{-8}$ mbar

### Leckraten

LHe-Raum - Isolationsvakuumraum	$1 \times 10^{-8} \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}}$
LHe-Raum - Strahlvakuumraum	$8 \times 10^{-10} \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}}$

Weitere Daten bezüglich Kältemittelverbrauch sowie Kalt- und Warmfahr-Charakteristiken, siehe Abb. 19, 20, 21, 22. Damit stand der Kryostat bereit zum Transport nach DESY in Hamburg und Einbau in den PETRA-Speicherring.

## 6.1 Erfahrungen und Hinweise

### 6.1.1 Montage

Bei der Erprobung im IK wurde festgestellt, daß das montagebedingte etwa 8 bis 12malige Belüften bei Zimmertemperatur mit gefiltertem  $\text{GN}_2$  der supraleitenden Oberfläche des Niobresonators nicht schadet.

Die Flansche für Kaptondichtungen (Temperatur 4 K) müssen, der hohen Anpreßkräfte und der geringen Dichtungsdicke wegen, sehr stabil und mit besten Form- und Oberflächengüten gefertigt sein. Dann kann problemlos über mehrere Kaltfahrzyklen Dichtheit, auch bei großen Durchmessern (hier 750 mm), erreicht werden. Indium-Dichtungen sollten zukünftig möglichst "gekammert" in den Dichtflanschen angeordnet werden. Vorteil: kein Fließen des Indiums. Nachteil: ungünstige Entfernung von Dichtungsrückständen bei Demontage. Die konstruktiv, fertigungs- und montagegerechteste Kammerung sollte Gegenstand einer näheren experimentellen Untersuchung sein.

Die bei der Einkopplung und den Auskopplungen gewählte Kombination Hochfrequenz-Kontakt und Dichtfunktion vereint in einem Kontakt-Dichtringelement ist sehr problematisch. Zudem muß bei diesen Anflansungen an den Resonator auch auf die erforderliche Winkeleinstellung sowie die sehr exakte Abstandseinhaltung zwischen den Feldtransformatoren am Resonator und den Koppelschleifen geachtet werden. Die Einhaltung all dieser Forderungen erbrachte eine relativ aufwendige und schwierige Konstruktion, und im Gefolge herstellungsmäßige und montagegemäße Probleme. Durch die erforderlichen hohen Anpreßkräfte der Indium-Dichtflächen ergaben sich, wie

Tabelle I: AUFSTELLUNG DER ABKÜHLZEITEN UND DES KÜHLMITTELVERBRAUCHES

Experiment	Abkühlen		Abkühlzeiten einschließl. Auf- füllen des LHe- Behälters	Kühlmittelverbrauch (Abkühl. + LHe Be- hälter auffüllen)		Spez. Kühlmittelverbrauch LHe		Bemerkungen
	mit LN <sub>2</sub> Wärme- tauscher	ohne LN <sub>2</sub> Wärme- tauscher		LN <sub>2</sub> [l]	LHe [l]	g/s	L/h	
I Attrappentest Zuführung (LHe kontinuierl.)	x		(30)	-	580	1,27	36,6	
IV Experiment Zuführung (LHe kontinuierl.)		x	40	650	1500	1,64	47,2	
IX Experiment Zuführung (LHe kontinuierl.)	x		44 h	1700	510	1,4	40,3	kontinuierliche LHe-Versorgung. Cavity immer ganz im LHe ein- getaucht
X Experiment Zuführung (LHe diskontinuierl.)	x		42 h	1900	550	-	~ 27	Diskontinuierl. LHe-Versorgung. Cavity zeitwei- se mit 1/4 Höhe aus dem LHe-Bad herausragend.

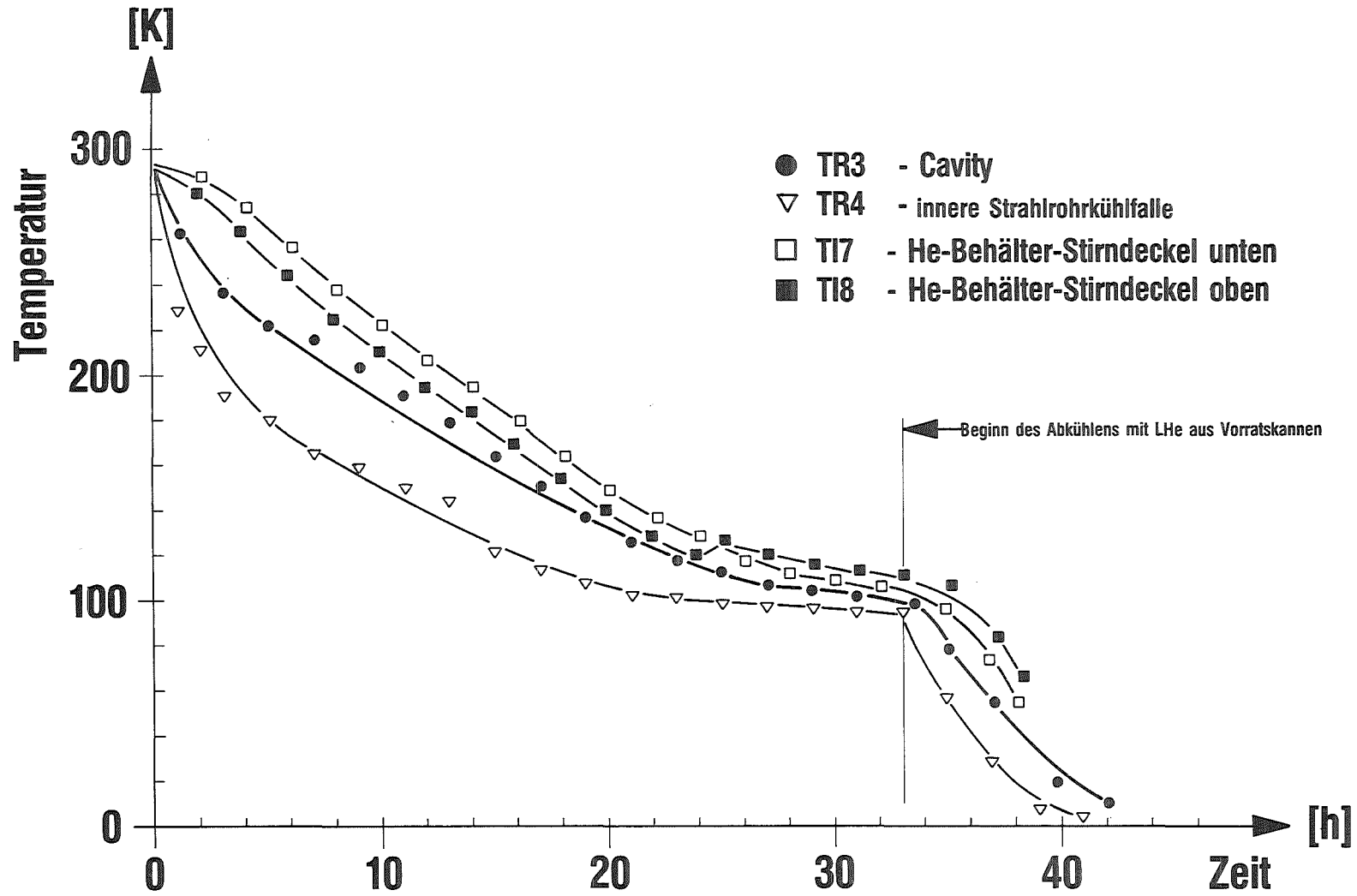


Abb. 20: Abkühlkurve der Kryostateinbauten

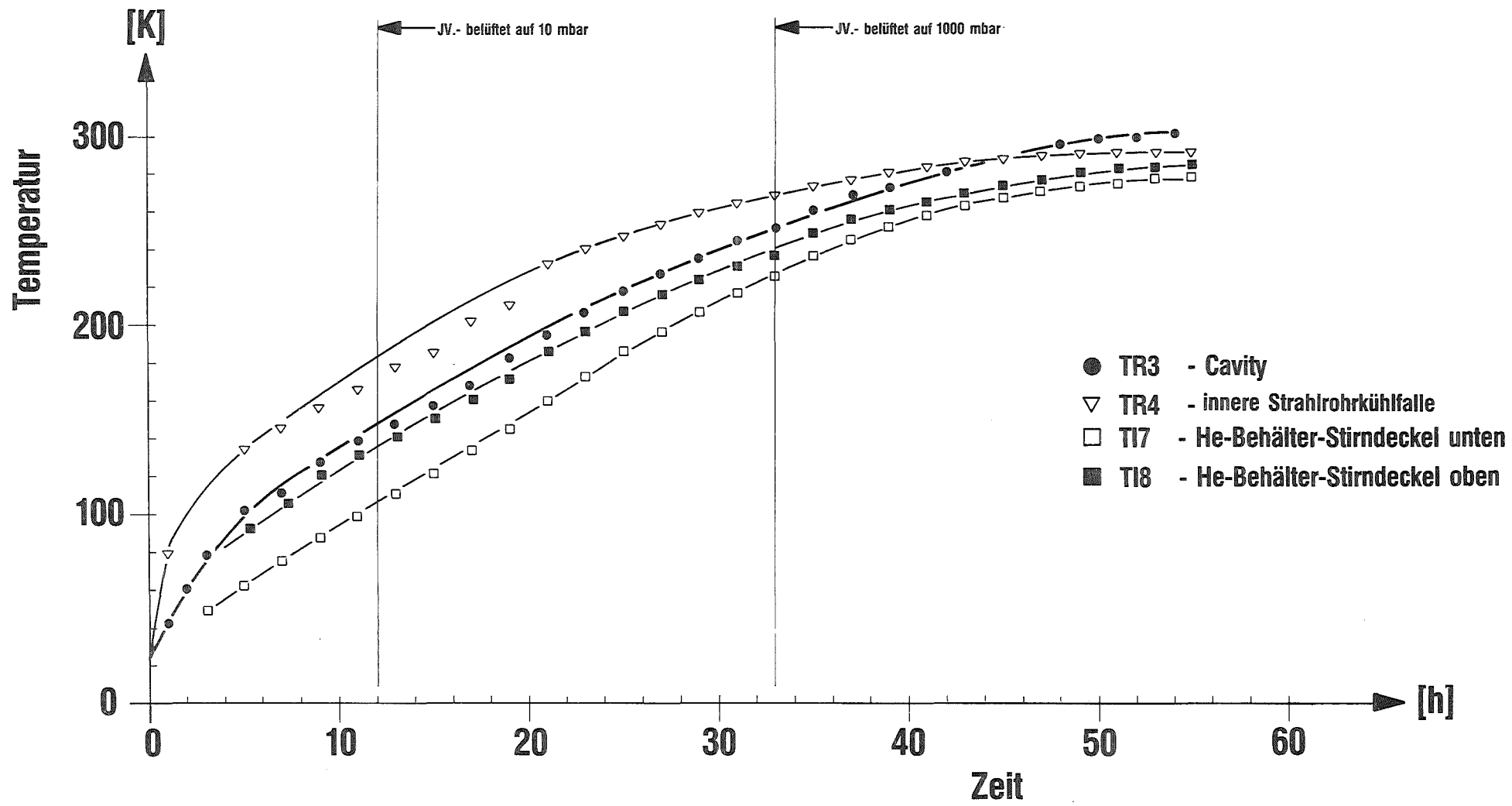


Abb. 21: Anwärmkurve der Kryostateinbauten



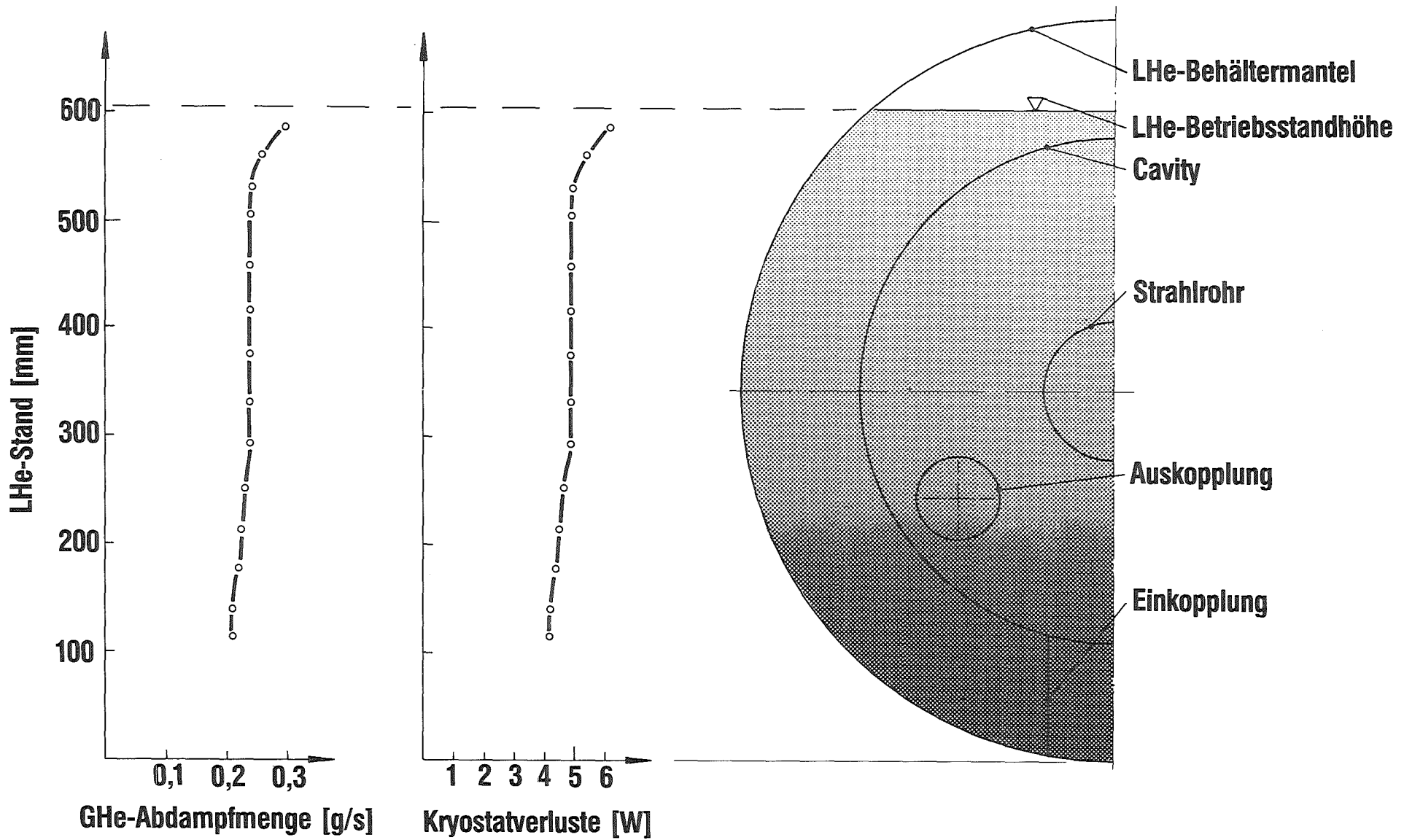


Abb. 22: GHe-Abdampfmenge und Abdampferluste des Kryostaten in Abhängigkeit vom LHe-Stand

auch schon bei anderen Ausführungen beobachtet, geringe Verformungen bei den Niob-Flanschen und den geteilten VA-Flanschringen. Dies wirkte sich hier nachteilig auf die empfindlichen Kontaktlippen und deren Einkerbungen in die Auflageflächen aus. Zu all diesen Einwirkungen kam dann noch die Beeinflussung der Koppelschleifenabstände (notwendige Abstandsgenauigkeit  $\leq 0,1$  mm) durch Kontraktion beim Abkühlen.

Einfachere Konzepte der Einkopplungen und Strahlrohre könnten für die Zukunft wesentliche Erleichterungen für Konstruktion, Fertigung und Montage bringen.

### 6.1.2 Lecksuche

Als erfolgreich haben sich die sogenannten "Integral-Lecktests" erwiesen. Dabei wurden mit dem kompletten Kryostat Lecktests unter denselben Druck- bzw. Vakuumbedingungen wie sie beim späteren Experiment auftraten, durchgeführt.

Um eine möglichst sichere Aussage über die lokale Dichtigkeit bei LHe-Temperatur zu erreichen, wurden kritische Partien, die im Experiment LHe-Temperatur erreichten, mit  $\text{LN}_2$  auf ca. 100 K abgekühlt und leckgetestet. Teile und Partien, die dabei dicht blieben, waren beim Experiment auch bei LHe-Temperatur durchweg dicht. Durch diesen etwas größeren Aufwand beim Lecksuchen erspart man sich viel Mühe, Zeit und LHe-Kosten, da man potentielle Kaltlecks beim vorhergehenden Lecksuchen schon entdecken kann.

### 6.1.3 Abkühlen

Die He-Gasverteilung über ein verzweigtes Rohrrechen-System im LHe-Behälter zum gleichmäßigen und intensiven Abkühlen der Teile mit sehr unterschiedlichen Massenkonzentrationen hat sich als sehr wirksam erwiesen. Das gezielte Vorkühlen der Strahlrohrpartie zum Schutz der supraleitenden Oberflächen des Resonators vor Kontamination hat sich ebenfalls bewährt (siehe Abb. 7). Die LHe-Einspeisung über das Abkühlrechen-System (GHe-Weg) während des Füllens ergab einen ca. 20% höheren Verbrauch gegenüber der Einspeisung direkt in Höhe des LHe-Badspiegels (LHe-Weg). Die Abgaskühlung der beiden horizontalen HF Auskopplungen erwies sich als schwierig. Auf kurzer Strecke war der zwischen Innen- und Außenleiter zu führende Gasstrom von ca. 5 K auf Raumtemperatur anzuwärmen. Die geringe Wärmeentwicklung in den Auskopplungen führte zur Einstellung sehr kleiner Massenströme mit der Konsequenz einer "schleichenden Gasströmung". So konnten sich freie Konvektionsströmungen zwischen den Koaxleitern mit entsprechenden Zusatzkälteverlusten und Vereisungen am Kryostataußendeckel aufbauen und überlagern. Durch Einbau von Konvektionsbremsen mit dem Zweck kleinerer Gasströmungsquerschnitte und entsprechend höheren Geschwindigkeiten der Zwangsströmung konnten das Kaltwerden des Kryostatdeckels vermieden und die Kältever-

luste reduziert werden. Aufgrund der geringen Verluste in den Koaxleitern konnte schließlich auf die Abgaskühlung verzichtet und die Wärme durch reine Festkörperwärmeleitung problemlos abgeführt werden.

#### 6.1.4 4.2 K-Betrieb; Regeln und Messen

Die Einstellung des LHe-Vorlaufregelventiles zur Niveaustabilisierung war relativ träge, so daß Standabweichungen von bis zu 20 mm auftraten. Die Regelcharakteristik war abhängig vom Kannenvordruck. Höherer Kannenvordruck ergab kürzere Regelzeiten und geringer Standabweichungen, jedoch etwas höheren Durchsatz und damit höheren LHe-Verbrauch. Das dauernde Mitschreiben von LHe-Durchsatz, LHe-Stand, Leckrate des Strahlvakuum und des Isoliervakuums beim Kaltfahren hat sich als sehr aufschlußreich erwiesen, da Veränderungen oder Tendenzen am Kühlkreislauf sehr schnell und sicher erkennbar waren. Die Kohle-Glas-Temperaturfühler mit dem Meßbereich von 4 bis 300 K haben sich bezüglich Handhabung und Zuverlässigkeit gut bewährt.

Der Kontaktkleber, Varnisch (Kryophysik), mit dem eine Anzahl Temperaturfühler im Tieftemperaturbereich kontaktiert waren, ist ungeeignet. Die Klebungen lösten sich nach 3 bis 5 Kaltfahrzyklen.

Das Mitschreiben des Temperaturverlaufes der wesentlichen Temperaturfühler erlaubte Tendenzen gut zu erkennen und schnell und gezielt, vor allem während des Kalt- und Warmfahrens zur Verminderung kritischer Spannungen und evtl. Kontaminationsgefahr der supraleitenden Resonatoroberfläche einzugreifen.

### 7. Einbausituation im PETRA-Tunnel bei DESY

Gegenüber dem ursprünglich vorgesehenen Einbauort im "DORIS" Speicherring, Abb. 23, brachte die neue Einbaustelle im "PETRA" Speichertunnel, in Halle West, eine einfachere Einbausituation. Es mußte allerdings eine neue LHe-Zuführleitung gefertigt werden, Abb. 16.

Ein Vorexperiment außerhalb des Tunnels sollte zunächst die Unversehrtheit und Funktion aller Bauteile nach dem Transport unter Beweis stellen. Nachdem dies auf Anhieb gelungen war, wurde die erforderliche Tunnelverbreiterung im Strahlbereich durch die DESY-Baugruppe durchgeführt und der Kryostat im Tunnel eingebaut.

Sämtliche Zusatzgruppen, wie Membrankompressor, Wasserbadanwärmer, Ventilboxen und Ventilgestell, einschließlich LHe und LN<sub>2</sub>-Transportbehälter, wurden auf dem Tunneldach angeordnet.

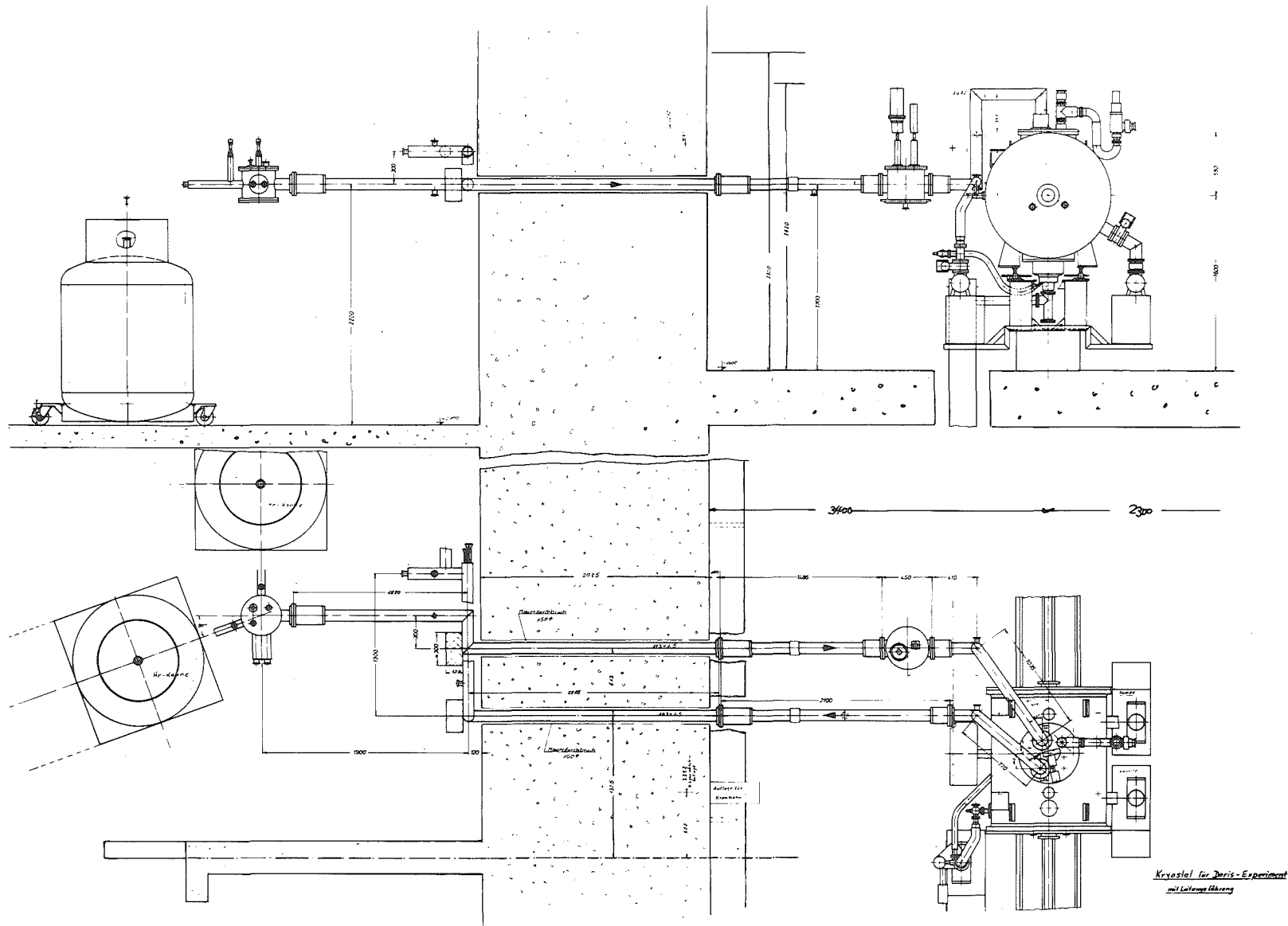


Abb. 23: Geplanter Kryostateinbau im DORIS-Speicherring

Die Meß- und Steuerracks waren ebenerdig aufgestellt, so daß bei Montage-Betrieb für genügend körperliche Betätigung Sorge getragen war, zumal sich der Tunneleingang auf der den Racks gegenüberliegenden Seite des Tunnels befand.

## 8. Betriebserfahrungen bei DESY

Die umfangreichen Vorbereitungen zum Transport und Aufbau der Kryostatanlage im DESY haben sich gelohnt. Aufbau und Experimente konnten ohne Probleme oder Zeitverzug durchgeführt werden. Es zeigte sich, daß nach Beseitigung der Schwachstellen, selbst der Transport mit Möbelwagen über größere Strecken, sowie ein mehrmaliges Auf- und Abbauen keinen Einfluß mehr auf die Funktionssicherheit hatten.

So konnte das Vorexperiment außerhalb des PETRA-Tunnels sehr zügig durchgeführt und abgeschlossen werden. Auch das folgende Hauptexperiment im Tunnel verlief zunächst programmgemäß, bis zum Bruch eines Keramikfensters der Einkopplung. Durch Fluten der Einkoppelvakuumpartie mit  $\text{GN}_2$  konnte das Experiment trotzdem erfolgreich beendet werden. Die Kryo-Langzeittests unter Strahlbeeinflussung (6 Wochen bei LHe und 10 Wochen bei  $\text{LN}_2$  Temperatur) zeigten keine Veränderung der Beschleunigungsfeldstärke als auch der Güte des Resonators. Einen Überblick über sämtliche Experimente und deren wesentlichste Daten zeigt Tabelle 1. Es läßt sich daraus in etwa ein Bild machen über den Arbeitsumfang, der mit diesem Experiment verbunden war.

Im folgenden sei noch auf einige Einzelerfahrungen hingewiesen, die während der Experimentierzeit im PETRA-Ring gemacht wurden.

Nach dem ersten Abkühlen bei DESY zeigte sich beim Durchheizen der Multipacingschwellen der Einkopplungs-Nb-Teile, daß der starke Gasanfall an dieser Stelle, bei Kopplung des Strahlvakuums und Einkoppelvakuums evtl. zu einer Verunreinigung der Resonatoroberfläche führen kann. Die Einkopplung wurde daraufhin durch eine eigene Pumpe evakuiert.

Über die Kontamination der kalten Resonatoroberfläche wurde folgendes festgestellt:

Beim Belüften des PETRA-Strahlrohres mit gefiltertem  $\text{GN}_2$  wurde der  $\text{LN}_2$ -kalte Resonator mitbelüftet und verunreinigt. Die Ursache dafür lag bei den Viton-Dichtungen der DESY-Strahlrohrventile. Infolge hoher Temperaturen durch Anregung höherer modes waren die Dichtungen angeschmort und undicht geworden. Nachdem das Strahlrohrvakuum im Kryostatbereich abgeschottet und gepumpt worden war, konnten beim nächsten Experiment nur geringe Beschleunigungsfeldstärken gemessen werden. Nach Aufwärmen und intensivem Abpumpen des Strahlvakuums, also dem Reinigen der Resonatoroberflächen, konnten beim folgenden Kryoexperiment wieder sehr gute Meßergebnisse und zwar eine Beschleunigungsfeldstärke von 3,15 MV/m und eine Güte von  $10^9$  gemessen werden.

Beim Experimentieren wurde festgestellt, daß der Resonator, auch wenn er nur zu 75% in LHe eintaucht, noch supraleitend bleibt. Diese Feststellung erlaubte dann die sparsamere diskontinuierliche LHe-Versorgung, da hierbei die relat. hohen Transferverluste nur noch während der kurzen LHe-Füllzeiten auftraten.

Die vorausgegangenen Experimente im KfK hatten genügend Erfahrung und Sicherheit im Betreiben der Anlage gebracht, so daß Zeitangaben sowie der Kältemittelbedarf exakt vorgeplant und eingehalten werden konnten.

## 9. Zusammenfassung

Es wurde, ausgehend von der Aufgabenstellung, der konstruktive Aufbau des Kryostaten einschließlich der zugehörigen Fertigungs- und Montagehilfseinrichtungen, sowie der Kryoverfahrensaufbau vorgestellt. Nach mehreren Experimenten und Beseitigung kryotechnischer und HF-technischer Schwierigkeiten wurde eine Beschleunigungsfeldstärke von 2 MV/m erreicht. Damit war der Weg zu DESY und der Einbau des Kryostaten in den PETRA-Speicherring offen.

Bei den folgenden Experimenten im Strahl konnten abschließend sogar bis zu 50% höhere Beschleunigungsfeldstärken erreicht werden. Damit wurde bewiesen, daß ein supraleitender Resonator in einem Speicherring alleine oder auch gemeinsam mit normalleitenden Resonatoren mit Erfolg und Vorteil gegenüber normalleitenden Resonatoren betrieben werden kann.

Eine negative Beeinflussung der supraleitenden Oberfläche durch den Strahl konnte nach Ende der Experimentierzeit (4 Monate) nicht festgestellt werden.

Die Kryoversorgung funktionierte einwandfrei (Daten siehe Seite 43 und Tabelle I), sie würde sich selbstverständlich mit Versorgung über einen LHe-Refri- gerator anstelle der LHe-Transportkannen wesentlich einfacher und rentabler gestalten.

#### Schlußbemerkung

Die Ausarbeitung des kühltechnischen Verfahrenskonzeptes verdanken wir W. Lehmann.

Zu Beginn lag der Aufbau der Anlage in den Händen von W. Herz. Die zahlrei- chen Montagen mit Lecksuchen sowie der Kältebetrieb in Karlsruhe und Ham- burg sind in unermüdlichem persönlichem Einsatz durch unsere Techniker H. Baumgärtner, P. Breitfeld, P. Grundel, W. Heckfuß, F. Kröner, R. Lehm, H. Lotz, G. Redemann, H.P. Schittenhelm, F. Schürerer, E. Specht, R. Vincon, G. Westenfelder und H. Zimmermann bis zum erfolgreichen Ende durchgeführt und durchgestanden worden.

Für die fruchtbare Zusammenarbeit bei DESY danken wir Frau Grabe, sowie den Herren Horlitz, Keßler, Kouptsidis, Mußfeldt, Proch, Scholz und Schwickert.

Literaturangaben

- /1/ W. Bauer, A. Brandelik, A. Citron, F. Graf, L. Szecsi, D. Proch.  
"A Superconducting Accelerating Cavity in PETRA"  
eingereicht bei Nucl. Instr. Meth.
- /2/ W. Herz, unveröffentlichter Bericht, 1979.
- /3/ W. Lehmann  
Kryotechnik für die angewandte Supraleitungstechnologie.  
Beispiele aus 10 Jahren Projektarbeit in der Tieftemperaturtechnik.  
KfK-Nachrichten 14, 1 (Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1982),  
Seite 19-33
- /4/ W. Herz, unveröffentlichter Bericht, 1980.