

Interner Bericht
DESY PET-77/08
August 1977

Das PETRA-Cavity

Von

H. Gerke, H. P. Scholz, M. Sommerfeld, A. Zolfaghari

Inhaltsverzeichnis	Seite
Entwurfskriterien	1
Herstellung und Technologie	2
Abstimmstempel	4
HF-Einkopplungen und Signalmeßschleifen	5
Elektrische Daten	6
Regelung der Strukturen	7
Reinigung der Cavities	8

Einleitung

Für den PETRA- Speicherring ¹⁾ wird eine große Anzahl von Beschleunigungsresonatoren benötigt, die bei 500 MHz betrieben werden sollen, der gleichen Frequenz, die auch in DESY und DORIS benutzt wird. In der ersten Ausbaustufe für eine Endenergie von 17,5 GeV werden 32, in der zweiten Ausbaustufe für 19 GeV 64 dieser Resonatoren installiert. Es soll hier über die Gesichtspunkte bei der Auslegung und Dimensionierung der Resonatoren sowie über die Fertigungstechnologie berichtet werden. Es werden die Abstimmstempel zur Frequenzkorrektur der Resonatoren und die Hochfrequenzeinkopplungen beschrieben sowie die Ergebnisse der Hochfrequenzmessungen diskutiert. Außerdem wird über das Verfahren zur Reinigung der Innenflächen der Resonatoren und über die Anordnung zur Frequenzregelung berichtet.

Entwurfskriterien

Da in PETRA bei begrenzter Einbaulänge mit einer nicht zu hohen Hochfrequenzleistung eine möglichst hohe Beschleunigungsspannung erreicht werden soll, mußte ein großer Resonanzwiderstand der Beschleunigungsstrukturen angestrebt werden. Erste Rechnungen zeigten, daß mit einer ideal geformten $\lambda/2$ -langen Driftstreckenzelle aus Kupfer unter Berücksichtigung des Laufzeitfaktors für relativistische Teilchen ein Resonanzwiderstand $R_p F^2 = U_c^2 F^2 / 2P_{HF}$ von 14 .. 14,5 M Ω/m erreichbar ist. Eine ideal geformte Zelle ist jedoch in der Herstellung sehr kompliziert und teuer, so daß aus Kostengründen eine Form gewählt werden mußte, die der optimalen nur angenähert ist und zu einer Verringerung der maximal erreichbaren Impedanz führt.

Mit einer Beschleunigungsstruktur aus einer großen Anzahl von individuell gespeisten Einzelzellen ist zwar ein hoher Resonanzwiderstand erreichbar, jedoch wird eine derartige Anordnung durch die Vielzahl der benötigten Einkopplungen, Abstimmstempel, Hohlleiter-Komponenten und Frequenzregelgeräte unverhältnismäßig aufwendig und teuer. Es wurden daher verschiedene Strukturen aus gekoppelten Zellen untersucht. Soll ein hoher Resonanzwiderstand erreicht werden, so sind induktiv gekoppelte Driftstreckenzellen den irisgekoppelten unbelasteten Zellen vorzuziehen. Um die Anzahl der Einspeisestellen zu minimalisieren, sollte die Anzahl der gekoppelten Zellen möglichst groß sein. Andererseits muß zur Gewährleistung der erforderlichen Strukturfüllzeit mit zunehmender Zellenzahl die Kopplung zwischen den Zellen vergrößert werden, wodurch die Koppelverluste steigen und der Resonanzwiderstand sinkt.

Als Kompromiß wurde eine induktiv gekoppelte, fünfzellige Driftstreckenstruktur mit Zentraleinspeisung gewählt (Abb. 1), die im π -Mode betrieben wird. Bei einem Koppelfaktor $(f_0 - f\pi)/f_c = 1,1\%$ sollte damit unter Berücksichtigung der Öffnungen für Einkopplung, Abstimmstempel und Pumpen ein Resonanzwiderstand von ca. 12 M Ω/m erreicht werden.

Da ein nicht unerheblicher Teil der Kosten einer solchen Struktur durch die Abstimmstempel verursacht wird, wurden nicht für jede Zelle ein, sondern zur Abstimmung der fünfzelligen Struktur nur zwei Stempel vorgesehen. Die Zellenfrequenzen wurden so gewählt, daß sich die optimale Energieverteilung bei der maximalen Verlustleistung von 125 kW ergibt. Der Stempeldurchmesser wurde verhältnismäßig groß gewählt, damit er auch bei voller Belastung nur geringfügig in den Resonator eintaucht. Auf diese Weise wird vermieden, daß durch den Strahl in der Struktur erregte parasitäre Resonanzen stark an die Abstimmereinheit koppeln und große Ströme über die Flanschverbindung und die Faltenbalgabschirmung fließen. Der Variationsbereich der Abstimmereinheiten wurde erheblich größer gewählt, als es im Betriebszustand erforderlich ist, damit ein Ausheizen der Struktur mit Hochfrequenzleistung bei abgeschalteter Kühlung möglich ist.

Am Umfang jeder Zelle der Struktur ist ein großer Flansch (NW 150) zum Anschluß von Hochfrequenzeinkopplung, Frequenzabstimmstempel oder Vakuumpumpe vorgesehen. Außerdem hat jede Zelle noch zwei kleine Flansche (NW 35), auf die die Meßschleifen zur Detektion der Zellenspannung montiert werden und die außerdem, falls sich dies später als erforderlich erweisen sollte, Elemente zur Dämpfung der von Strahl induzierten parasitären Modes aufnehmen können.

Die beiden zur Kopplung erforderlichen Durchbrüche in den Scheiben zwischen den Zellen wurden unter einem Winkel zur Einbaulage der Struktur angeordnet, so daß auch höhere polarisierte Modes gute Kopplungsmöglichkeit haben.

Dadurch wird der Resonanzwiderstand dieser Resonanzen für den Strahl erheblich reduziert. Die Form dieser Durchbrüche wurde so gestaltet, daß ein "Multipactoring" an dieser Stelle weitgehend vermieden wird.

Herstellung und Technologie

Im Vordergrund der Überlegungen zur technischen Gestaltung der Beschleunigungsresonatoren stand die Forderung, Technologien zu entwickeln, die eine einfache und preisgünstige Herstellung erlauben. Erste Abschätzungen zeigten, daß die "Electroforming- Methode", nach der die kleineren Stückzahlen der DORIS-²⁾ und DESY-³⁾ Beschleunigungsresonatoren hergestellt wurden, zur Fertigung der PETRA- Strukturen viel zu teuer sein würde. Diskussionen mit Fachleuten auf dem Gebiet des Elektronenstrahlschweißens führten zu der Erkenntnis, daß die Anwendung dieses Verfahrens die Herstellungskosten erheblich senken würde. Es werden dabei die auf Fertigmaß bearbeiteten Scheiben und Zylinder, die bereits mit den Flanschstutzen versehen sind, mittels eines Elektronenstrahls im Vakuum verschweißt. Der Schweißverzug ist dabei unbedeutend, so daß die geforderten engen Toleranzen der Innenmessungen von $\pm 0,15$ mm eingehalten werden können. Lediglich die Schrumpfung der Schweißnaht muß bei der Fertigung der Teile berücksichtigt werden..

Da bei dieser Struktur ein Drittel der Wandverluste im zylindrischen Teil und zwei Drittel in den Scheiben der Zellen umgesetzt wird, konnte für die Wasserkühlung bei der projektierten Verlustleistung von 125 kW eine einfache Lösung gefunden werden. Die Kühlung der Scheiben erfolgt durch radiale Bohrungen, die in Serie vom Wasser durchflossen werden. Zur Kühlung der zylindrischen Teile werden vor der Fertigbearbeitung rechteckige Kühlrohre auf die Außenflächen geschweißt oder gelötet.

Eine Verkalkulation zur Fertigung der Beschleunigungsstrukturen ergab, daß bei Verwendung einer Aluminiumlegierung die geringsten Herstellungskosten auftreten würden. Die erforderliche elektrische Leitfähigkeit muß durch Verkupferung der Innenflächen, die entweder galvanisch oder durch "sputtering" erfolgt, erzielt werden. Die Entscheidung, Aluminium- Prototypstrukturen in enger Kooperation mit dem "Lufthansa-Reparatur-Werk" in Hamburg zu entwickeln, konnte getroffen werden, da zu diesem Zeitpunkt bereits das Problem der Aluminium- Edelstahl- Verbindung ⁴⁾⁵⁾ bei DESY gelöst war. Diese Verbindungen sind erforderlich, um die benötigten Edelstahlflansche zur Aufnahme von Hochfrequenzeinkopplungen, Abstimmeelementen und anderen Komponenten mit dem Aluminiumkörper vakuumdicht verschweißen zu können.

Über die Fertigung der Aluminium- Prototypstrukturen ist an anderer Stelle bereits ausführlich berichtet worden ⁶⁾⁷⁾.

Nachdem der erste Aluminiumresonator, allerdings ohne Innenverkupferung, erfolgreich bis zu einer Verlustleistung von 200 kW geprüft werden konnte, ohne daß thermische oder andere Instabilitäten auftraten, wurden bei Industriefirmen Angebote zur Serienfertigung eingeholt, und zwar für innenverkupferte Aluminiumstrukturen und alternativ für massive Kupferstrukturen. Es zeigte sich, daß bei Einsatz geeigneter Fertigungseinrichtungen die Herstellungskosten der Kupferstruktur nur unwesentlich über denen der Aluminiumversion liegen (ca. 6 %). Da bei der massiven Kupferstruktur die thermische Leitfähigkeit fast doppelt so groß wie die der verkupferten Aluminiumstruktur ist, und außerdem z.B. die Gefahr der Zerstörung der dünnen Kupferschicht (50-100 um) bei unbeabsichtigtem Belüften während des Ausheizens entfällt, wurde beschlossen, die Beschleunigungsresonatoren für PETRA aus Kupfer zu fertigen.

Eine Beschleunigungsstrecke aus Kupfer im Anlieferzustand, d.h., vor dem Verlöten mit dem Kühlwasserverteiler und vor der Montage von Einkopplung und Abstimmstempeln, zeigt Abb. 2.

Abstimmstempel

Zur Kompensation der Verstimmung der Resonanzfrequenz durch die reaktive Strahlbelastung und durch thermische Effekte sind in der fünfzelligen Beschleunigungsstruktur zwei induktiv wirkende Abstimmkolben eingesetzt. Sie sind an den beiden der mittleren Einkoppelzelle benachbarten Zellen installiert, da hier wie weiter unten gezeigt wird, eine erheblich größere Frequenzänderung bei gleicher Variation der Stempelintauchtiefe in die Zelle erzielt wird, als bei Anordnung an den Endzellen. Der Durchmesser des Abstimmkolbens wurde so gewählt, daß zwischen minimaler und maximaler Strukturbelastung nur eine Stempelstellungsveränderung von ca. 5 mm erforderlich ist. Auf diese Weise wird eine starke Kopplung der vom Strahl in den Zellen induzierten parasitären Modes an den Spalt zwischen Stempel und Flanschstutzen vermieden. Der Variationsbereich der Abstimmkolben wurde mit - 20 mm bis + 40 mm erheblich größer gewählt, als es für den üblichen Betriebsfall erforderlich ist. Auf diese Weise lassen sich die Strukturen bei abgeschalteter Kühlung mit Hochfrequenzleistung (siehe unten) ausheizen und außerdem, falls erforderlich, gegenüber der Betriebsfrequenz stark verstimmen. Die Abstimmelemente bestehen aus einem wassergekühlten Kupferkolben, wie in der Schnittzeichnung der Abb. 3 dargestellt. Die Kühlwasserzuführung wird über eine koaxiale Edelstahlspindel vorgenommen, die in einer Kugelgewindebuchse gelagert ist. Dadurch ist die Stempelbewegung mit sehr kleinem Drehmoment möglich. Sie erfolgt über ein Schneckengetriebe (1 : 25) mit einem Schrittmotor, dessen Drehmoment nur 4,5 kp cm beträgt. Die Vakuumdichtung erfolgt über einen Faltenbalg, der sich mit besonderen Zwischenringen gegen die Spindel abstützt. Zur Vermeidung von Hochfrequenzströmen auf dem Faltenbalg ist zwischen dem Gehäuse und der hartverchromten Innenseite des Stempels eine verkupferte, gehärtete Federstahlkontaktkrone angeordnet. Die wassergekühlten Flächen der Anordnung sind nicht verkupfert, so daß die Verlustleistung dort fließender Hochfrequenzströme vorzugsweise an diesen Stellen auftreten sollte. Zur Vermeidung von Verschmutzungen der Kugelrollspindel und der Zahnradgetriebe ist die Einheit mit einem leicht demontierbaren Gehäuse versehen. Die Verbindung der Kühlwasseranschlüsse erfolgt über flexible Metallschläuche.

Die Abb. 4 zeigt die Einzelteile eines Abstimmstempels vor der Endmontage und eine fertige Einheit.

HF-Einkopplungen und Signalmeßschleifen

Die Einkopplung der Hochfrequenzleistung in die Beschleunigungsstrukturen erfolgt, wie bei den DORIS-Resonatoren auch, über koaxiale Koppelfenster aus Aluminiumoxydkeramik.

Da das DORIS- Fenster bereits bis zu einer Durchgangsdauerstrichleistung von 140 kW geprüft worden ist, wurde der wesentliche Teil, nämlich die mit den dünnwandigen Kupferteilen verlötete Keramikscheibe für die PETRA- Einkopplung übernommen (Abb.6). Andere Teile mußten gegenüber der DORIS- Ausführung abgeändert werden, da die Abmessungen, insbesondere mit dem dort verwendeten Koaxial- Hohlleiter- Übergang, für den Einsatz in dem sehr engen PETRA- Tunnel zu groß sind. Die Längsabmessungen des Fensters wurden verkürzt und der Hohlleiter wird mit einer Klemmflanschanordnung direkt vom Fensterflansch aufgenommen, wie es die Schnittzeichnung (Abb.5) zeigt. Die Keramikstützscheibe dient zur Entlastung der Keramik- Metall- Verlotung von mechanischen Biegekräften und sorgt außerdem dafür, daß der konzentrisch zugeführte Kühlluftstrom gleichmäßig über die Keramikfläche geleitet wird. Außenleiter und Innenleiterkonus sind mit einer Wasserkühlung versehen. Die Einkopplung wird mit einem Drehflansch an der Beschleunigungsstruktur montiert, so daß die erforderliche Kopplung durch Drehung der Einheit vor der endgültigen Verschraubung eingestellt werden kann. Die Transformation der elektromagnetischen Wellen vom Hohlleiter auf das koaxiale Fenster geschieht über ein aus Kupfer gedrücktes Formteil, welches mit einem verkupferten Edelstahlring verlötet ist, und mit der dem Fenster abgewandten Seite des Hohlleiters verschraubt wird (Abb. 7). Dieses Kupferteil ist in Achsvorrichtung elastisch und so geformt, daß es auftretende mechanische Kräfte aufnehmen kann.

Diese Einkopplungen wurden an PETRA- Beschleunigungsstrukturen mit einer Durchgangsdauerstrichleistung von über 200 kW, an anderer Stelle sogar mit über 500 kW belastet.

Zur Frequenzregelung und Symmetrierung (siehe unten) sowie zur Kontrolle der Energieverteilung in den einzelnen Zellen unter verschiedenen Belastungen werden Meßsonden benötigt. Für die PETRA- Struktur werden hierfür, wie schon für die DORIS- Resonatoren, induktive Schleifen verwendet. Diese Schleifen

können zwischen 32 dB und 48 dB Koppeldämpfung eingestellt werden und befinden sich außerhalb des Vakuums hinter einem Keramikdom, der mit einem am Flansch verschweißten Vacon-Rohr verlötet ist (Abb.8). Die Meßschleife, mit einem keramisch isolierten N- Steckers versehen, wird über ein Schneckengetriebe eingestellt und in Position gehalten.

Elektrische Daten

Die Ergebnisse der Hochfrequenzmessungen an den ersten angelieferten Strukturen sind in guter Übereinstimmung mit den vorberechneten Werten. Die wichtigen Daten sind in Abb. 9 zusammengestellt.

Der Resonanzwiderstand wurde nach der Slater'schen Störkörpermethode ermittelt und ergibt unter Berücksichtigung des Laufzeitfaktors für relativistische Teilchen bei einer Leerlaufgüte von 30 000 und Abstimmung der Resonanzfrequenz auf 499,667 MHz bei einer Verlustleistung von 125 kW ca. 12,3 M Ω /m. Resonanzwiderstand und Stärke der Kopplung ändern sich etwas in Abhängigkeit von der Stempelstellung. Das Verhalten der Struktur bei Variation der Eintauchtiefe und unterschiedlichen Einbaupositionen der beiden Stempel ist in den Abbildungen 10 und 11 dargestellt. Werden die Stempel in den beiden der Mittelzelle benachbarten Zellen angeordnet, so wird die Resonanzfrequenz in starkem Maße von der Stempelstellung beeinflusst. Die Kopplung nimmt mit zunehmender Eintauchtiefe der Stempel ab. Werden die Stempel in den Endzellen installiert, so wird die Resonanzfrequenz des π -Modes sehr viel schwächer durch die Variation der Stempelstellung beeinflusst und die Kopplung nimmt mit zunehmender Eintauchtiefe zu. Die Resonanzfrequenz des π -Modes erhöht sich durch Evakuieren der Struktur um 185 kHz. Die Kurven der Abbildungen 10 und 11 geben den evakuierten Zustand wieder.

Wie oben bereits angedeutet, ist auch die Energieverteilung in den Zellen von der Stempelstellung, d.h. vom Verhältnis der Resonanzfrequenz der einzelnen Zellen zueinander abhängig. Da damit auch der Resonanzwiderstand der Struktur von der Energieverteilung in den Zellen beeinflusst wird, wurde die Struktur so ausgelegt, daß bei maximaler Beschleunigungsspannung bzw. Verlustleistung die Energieverteilung möglichst gleichmäßig ist. Das Verhältnis der Zellenspannungen zur Spannung der Mittelzelle als Funktion der Verlustleistung der Struktur zeigt Abb. 12. Die Variation des Resonanzwiderstandes zwischen kleinster und größter Belastung beträgt 2,2 %.

Wichtige Aufschlüsse über das Verhalten der Struktur ergeben sich aus der Dispersionskurve. Abbildung 13 zeigt den Amplituden- (oben) und Phasenverlauf (unten) mit einer Auflösung von 0,8 MHz/div. Die Resonanzfrequenz des π -Modes liegt bei 499,667 MHz und entspricht der niedrigsten Resonanz in der Darstellung.

Die Leistungsmessung ergibt, daß bei maximaler Verlustleistung - die Strukturen werden am Testsender mit der maximal zur Verfügung stehenden Dauerstrichleistung von ca. 200 kW geprüft - etwa 2,5 % der Leistung in den beiden Abstimmstempeln und 0,25 % in der Einkopplung umgesetzt wird. Die Struktur wird bei einem Druckabfall von 1,35 kp/cm² mit einer Wassermenge von 8,5 m³/h, die beiden Stempel mit je 0,5 m³/h und der Einkopplung mit 0,3 m³/h gekühlt. Zur Kühlung der Keramikscheiben der Fenster ist außerdem ein Luftstrom von 15 m³/h bei einem Druckabfall von 200 mm Ws erforderlich.

Die Struktur wird während der Messungen und im Ringtunnel auf einem justierbaren Gestell gelagert. Eine fertige Einheit mit montierten Abstimmstempeln und angeschlossenem Hohlleiter zeigt die Abbildung 14.

Über die Messungen höherer Modes, die als parasitäre Resonanzen von Strahl in den Strukturen erregt werden können, über die Berechnung und Messung der Resonanzwiderstände dieser Modes sowie über die Möglichkeiten ihrer Bedämpfung, falls dies später erforderlich sein sollte, wird an anderer Stelle berichtet werden.

Regelung der Strukturen

Die Abstimmung der Beschleunigungsstrukturen auf Resonanzfrequenz erfolgt durch induktiv wirkende Stempel, wie oben beschrieben. Durch thermische Effekte und durch reaktive Strahlbelastung ändert sich die Resonanzfrequenz. Ein automatischer Abgleich ist daher erforderlich. Die Abweichung von der Resonanzfrequenz wird, wie bei DORIS auch⁸⁾, durch Vektorvergleich von Vorlaufspannung und Resonatorspannung mit einem Phasendiskriminator ermittelt. Das Ablagesignal wird in eine proportionale Pulsfolge umgewandelt, mit der die Schrittmotoren der beiden Abstimmstempel angetrieben werden.

Da bei der fünfzelligen Beschleunigungsstruktur der Frequenzabgleich mit nur zwei Abstimmstempeln durchgeführt wird, tritt durch Unsymmetrien bei höherer Verlustleistung eine ungleichmäßige Energieverteilung in den Zellen auf. Diese ungleichmäßige Energieverteilung kann im Extremfall zur thermischen Instabilität, bei der Betriebsverlustleistung aber mindestens zu einer Verringerung; der erreichbaren Beschleunigungsspannung führen. Dieses Problem konnte dadurch gelöst werden, daß der Phasenvergleichsschleife zum Resonanzfrequenzabgleich eine weitere Regelschleife überlagert wurde, die die Amplitude, in den der Mittelzeile benachbarten Kreisen vergleicht.

Diese Regelanordnung wurde bereits anlässlich der Sitzung des "PETRA Maschine Advisory Committees" im Februar 1977 vorgestellt und ausführlich diskutiert. Die prinzipielle Anordnung zeigt Abbildung 15. Tritt zwischen den Signalen der beiden Zellen ein Amplitudenunterschied auf, so wird einem der beiden Stempelmotoren über eine Relaischaltung eine entsprechende Pulsfolge eines Hilfsgenerators zugeführt. Der zweite Stempel folgt über die Phasenvergleichsschleife in entgegengesetzter Richtung, so daß der Frequenzabgleich erhalten bleibt. Messungen bis zu einer Verlustleistung von über 200 kW haben gezeigt, daß auf diese Weise eine sehr gute Symmetrie der Energieverteilung gewährleistet ist, wie die Diagramme der Abbildung 15 zeigen. Bei der höchsten Verlustleistung spricht die überlagerte Amplitudenvergleichsschleife höchstens fünf- bis zehnmal in der Stunde an.

Für die Aufbereitung der Hochfrequenz- Kleinleistungssignale zur Regelung und Anzeige wird eine große Anzahl von Hochfrequenzkomponenten wie Filter, Amplitudengleichrichter Phasendiskriminatoren etc. benötigt. Aus Kostengründen konnten hierfür keine käuflichen Koaxialkomponenten verwendet werden. Die Elemente wurden daher bei DESY als kombinierte Schaltungsgruppen in "Stripline"-Technik entwickelt und gefertigt. Diese Entwicklung sowie der detaillierte Aufbau der Regelgeräte wird in einem separaten Bericht beschrieben.

Reinigung der Cavities

Nachdem die Strukturen im evakuierten Zustand mit den Kühlrohren verlötet worden sind, müssen die Innenflächen sorgfältig gereinigt werden. Diese Reinigung kann durch mehrtägiges Heizen unter Vakuum bei Temperaturen um 250 °C erfolgen. Dadurch werden Oberflächenverunreinigungen mit hohem Dampfdruck beseitigt. Kohlenwasserstoffverbindungen, die durch den Reinigungsprozeß nach der Fertigbearbeitung der Kupferteile nicht restlos beseitigt wurden oder sich während des Elektronenstrahlschweißens auf den Oberflächen niedergeschlagen haben, werden durch den Heizprozeß aufgebrochen und bleiben dort als Verunreinigungen mit niedrigem Dampfdruck zurück, so daß nach dem Heizen im kalten Zustand ein sehr niedriger Druck bei sehr geringer Abgasrate ($< 2 \cdot 10^{-12}$ Torr *L/s * cm²) erzielt werden kann. Schon bei geringer Hochfrequenzbelastung der Struktur mit wenigen kW werden diese Belegungen jedoch wegen ihres schlechten elektrischen und thermischen Leitwertes von der Oberfläche gelöst und der Druck ändert sich von 10^{-10} Torr auf 10^{-5} Torr. Durch sehr langsame Steigerung der Hochfrequenzbelastung kann dann die Struktur auch von dieser Verunreinigung der Innenflächen befreit werden. Dieser Prozeß dauert häufig länger als 24 Stunden. Er kann dadurch etwas beschleunigt werden, daß die Struktur zunächst bei abgeschalteter Kühlung mit geringer Hochfrequenzleistung (ca. 10 kW) für einige Stunden betrieben wird, so daß die Reinigung mittels der Hochfrequenzwandströme durch die höhere Temperatur der Oberflächen unterstützt wird. Bei starker Verschmutzung mit Kohlenstoffverbindungen besteht bei dieser Methode der Reinigung aber die Gefahr, daß der im elektrischen Hochfrequenzfeld ionisierte Kohlenstoff sich auf der Innenseite der Keramikscheibe das Einkopplfensters niederschlägt, so daß diese durch Erhöhung der dielektrischen Verluste zerstört wird. Eine Möglichkeit die Struktur zu reinigen, ohne daß die HF-Einkopplung erforderlich ist, besteht darin, Kohlenwasserstoffverbindungen durch eine Glimmentladung aufzubrechen den Kohlenstoff zu oxydieren und die entstandenen gasförmigen Verbindungen abzupumpen .

In der Struktur wird zwischen den Strahlrohranschlußflanschen ein Edelstahlstab als Elektrode isoliert angeordnet und mit einer Vakuumstromdurchführung verbunden. Die evakuierte Struktur wird innerhalb von zwei bis drei Stunden auf 250 °C aufgeheizt und dann bei einem effektiven Saugvermögen von ungefähr 5 L/s mit einem Gasgemisch aus 90 % Argon und 10 % Sauerstoff auf einen Druck von 0,1 Torr geflutet. Die Gleichstromglimmentladung wird mit einer Spannung von 1000 V gezündet und mit einem Strom von 2 A bei einer Glimmspannung von 550 V über einen Zeitraum von ca. einer Stunde betrieben. Die dabei oxydierten Kupferinnenflächen werden danach durch Glimmen unter gleichen Bedingungen mit einem Gemisch aus 95 % Argon und 5 % Wasserstoff reduziert. Einen Aufschluß über den Erfolg der Oberflächenreinigung gibt ein Massenspektrum des Restgases. Dabei interessieren in diesem Fall vor allem die schweren, oberhalb $m/e = 44$ liegenden Massen. Abbildung 16 zeigt diese Spektren in linearer Darstellung, und zwar oben im Anlieferungszustand mit einer Intensität von 10^{-10} A in der Mitte nach den oben beschriebenen beiden Glimmzyklen mit einer Intensität von 10^{-11} A und unten nach einem ca. 5 stündigen Betrieb mit voller Hochfrequenzleistung, ebenfalls mit einer Intensität von 10^{-12} A aufgenommen. Die Aufzeichnung erfolgte mit einem Spektrometer Typ QMG, der Fa. Balzers AG, bei einer Emission von 0,9 m A. Es zeigt sich, daß mit dieser Behandlung in sehr kurzer Zeit die erforderliche Oberflächenreinheit der Beschleunigungsstrukturen erzielt wird und bereits nach ca. vier Stunden eine Belastung mit der vollen Hochfrequenzleistung erreichbar ist.

LITERATUR

1. PETRA, ein Vorschlag zur Erweiterung der Speicherringanlagen bei DESY zu hohen Energien;
DESY, Hamburg Nov. 1974
2. H. Gerke, W. Quarz, Hohlraumresonatoren für eine 3-GeV-Doppelring- Speicheranlage
Kerntechnik, 16. Jg. 1974, Heft 6
3. H. Gerke, G. Schaffer, Entwurf und Fabrikation der Hochfrequenz-
Beschleunigungsstrecken für das Elektronensynchrotron DESY
Proceedings of the 5th International Congress of Microwaves,
Paris 1964, S. 511 - 515
4. H. Hartwig, J. Kouptsidis, New techniques of PETRA vacuum system,
IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol NS - 24, N3, June 1977, Page 1248
5. H. Hartwig, J. Kouptsidis, Verbindungen zwischen Aluminium-Legierungen und anderen
Metallen für das Vakuumsystem von Hochenergiebeschleunigern
DVS - Berichte 38 (1975) S. 140
6. H. Hartwig, J. Kouptsidis, K. Reinecken, Elektronenstrahlschweißen von 500 MHz-
Beschleunigungsresonatoren;
DVS - Berichte 38 (1975), S. 43
7. DESY, PETRA cavity prototype tested,
CERN COURIER No. 5, Vol 16, May 1976
8. H. Gerke, Überlegungen zur Regelung des HF-Systems für den Speicherring,
Interner Bericht, DESY-H3/I, Januar 1969
9. A.G. Mathewson, The surface cleanliness of 316 L+N 'Stainless steel studied by SIMS
and AES
Vacuum 24, p. 505 - 509 (1975)

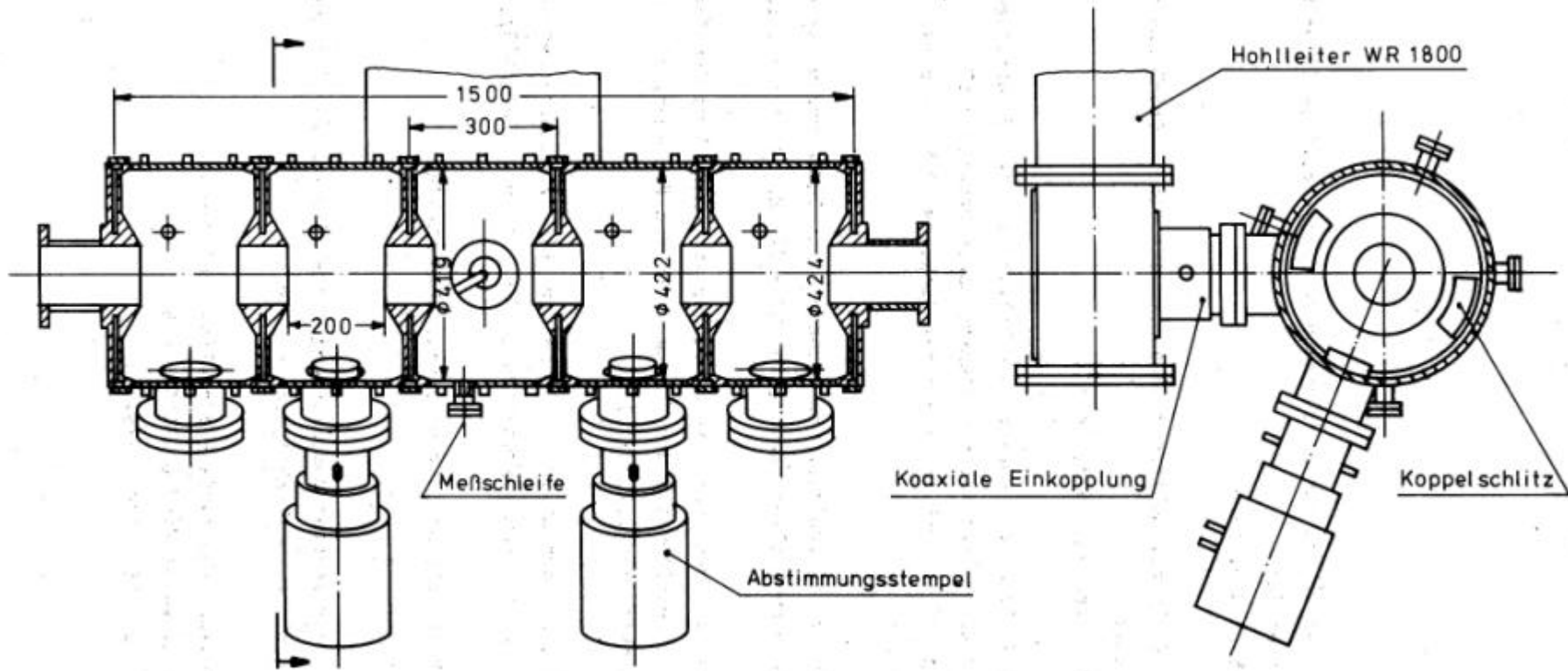


Abb. 1 PETRA Beschleunigerstruktur

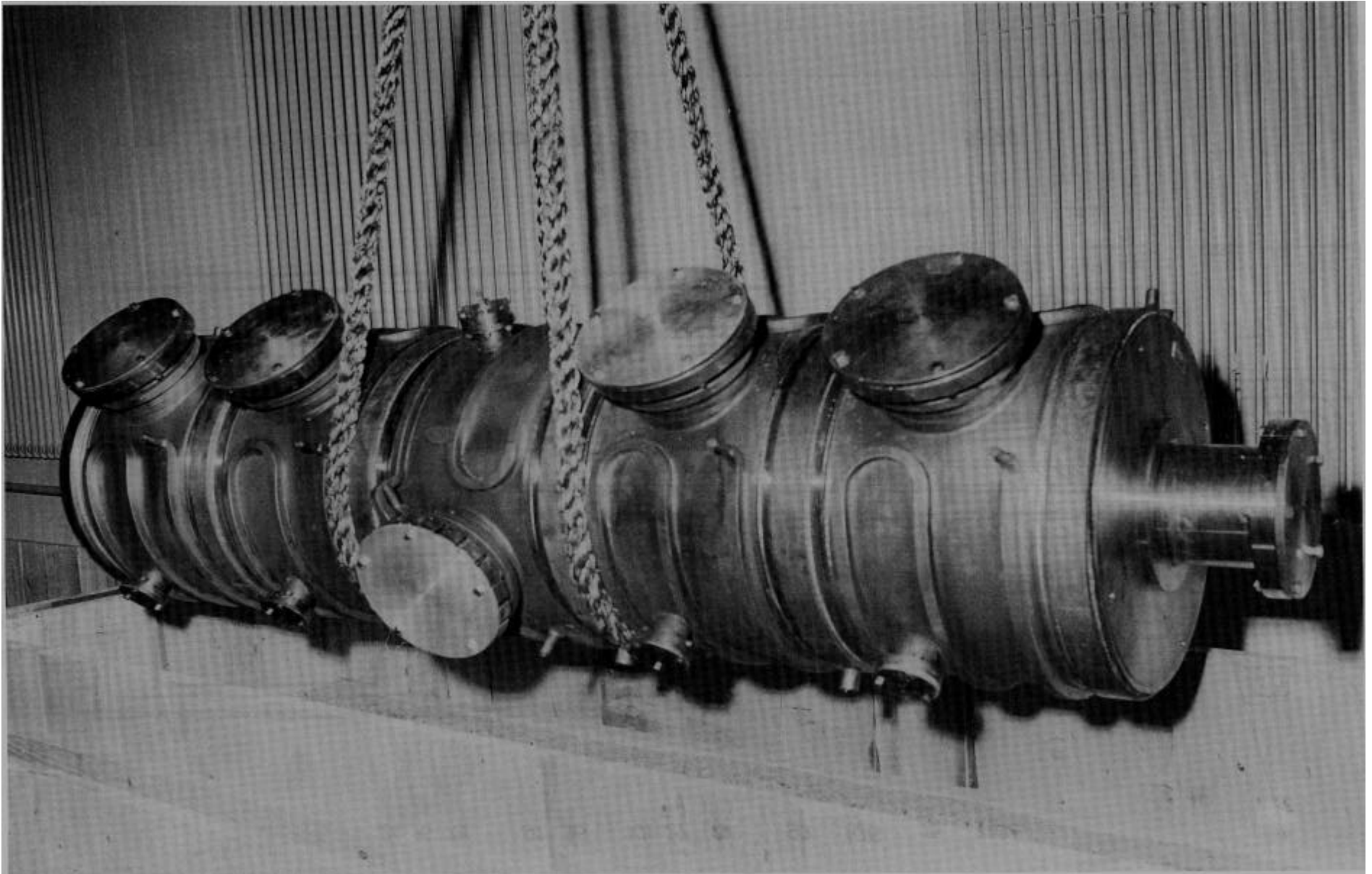


Abb. 2 PETRA Beschleunigungsstruktur im Anlieferungszustand

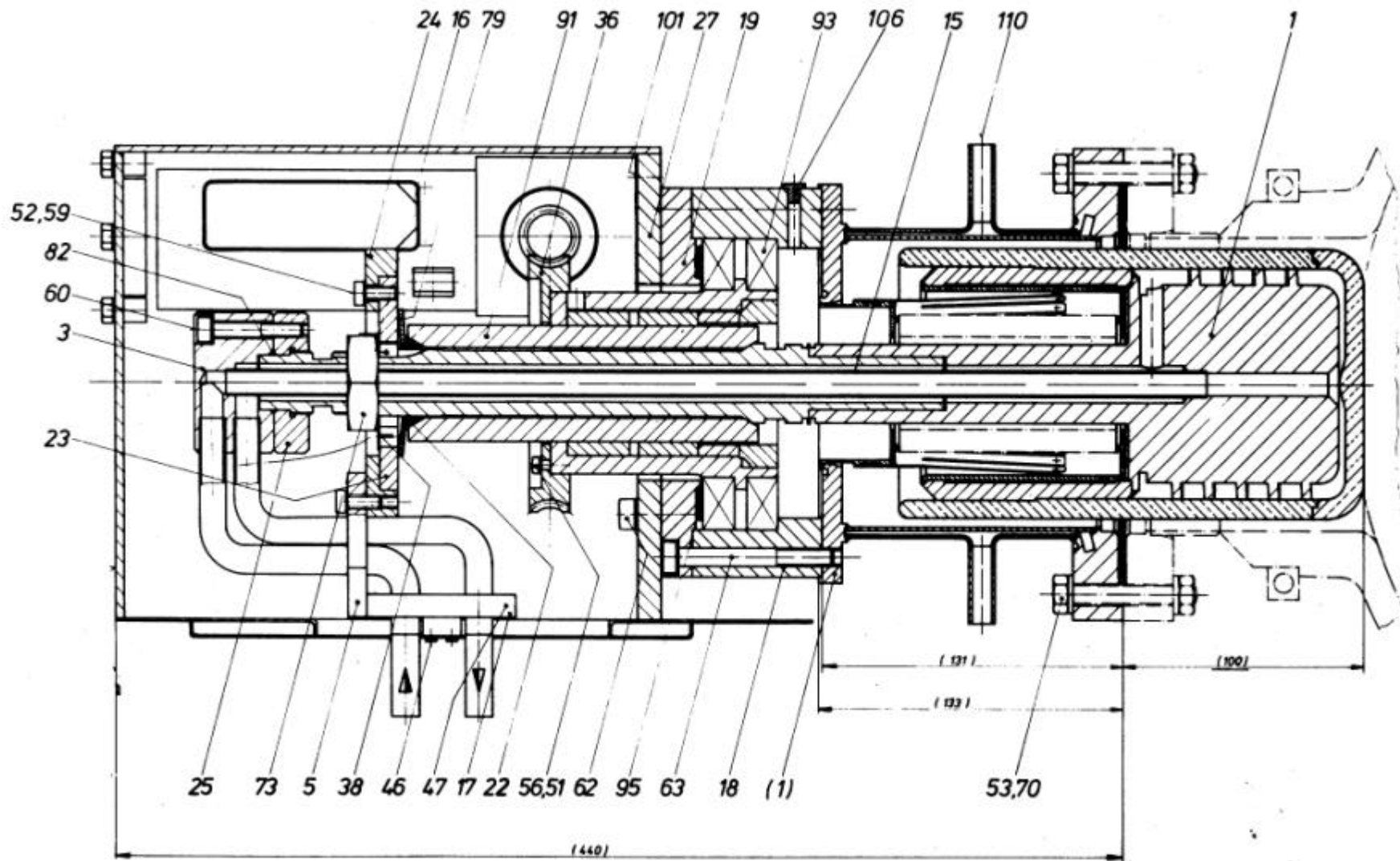


Abb. 3 Frequenzabstimmstempel für PETRA Beschleunigerstruktur (Schnittzeichnung)



Abb. 4 Frequenzabstimmstempel ohne Abdeckhaube sowie Einzelteile vor der Montage

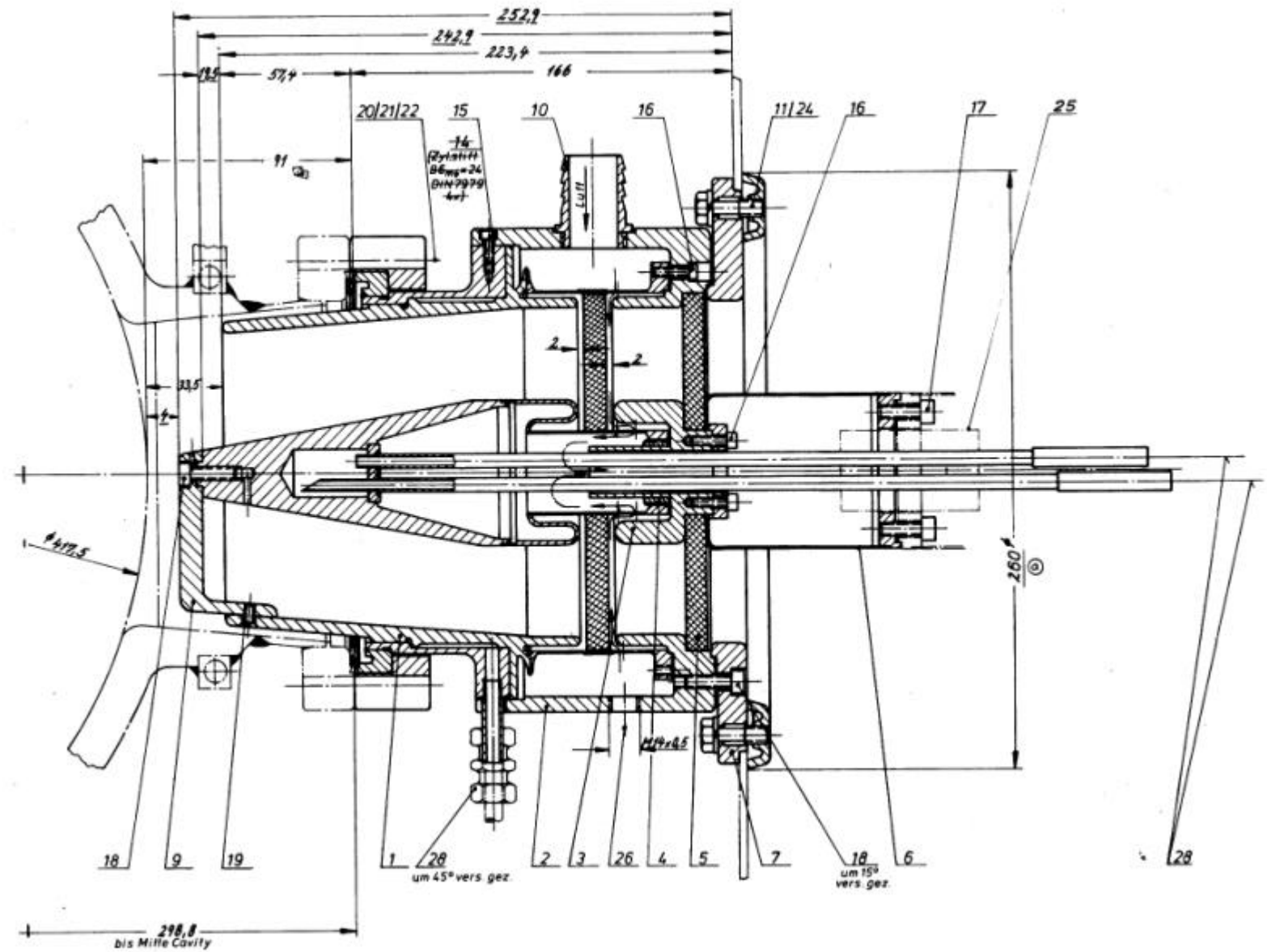


Abb. 5 Hochfrequenzeinkopplung für PETRA Beschleunigerstruktur (Schnittzeichnung)

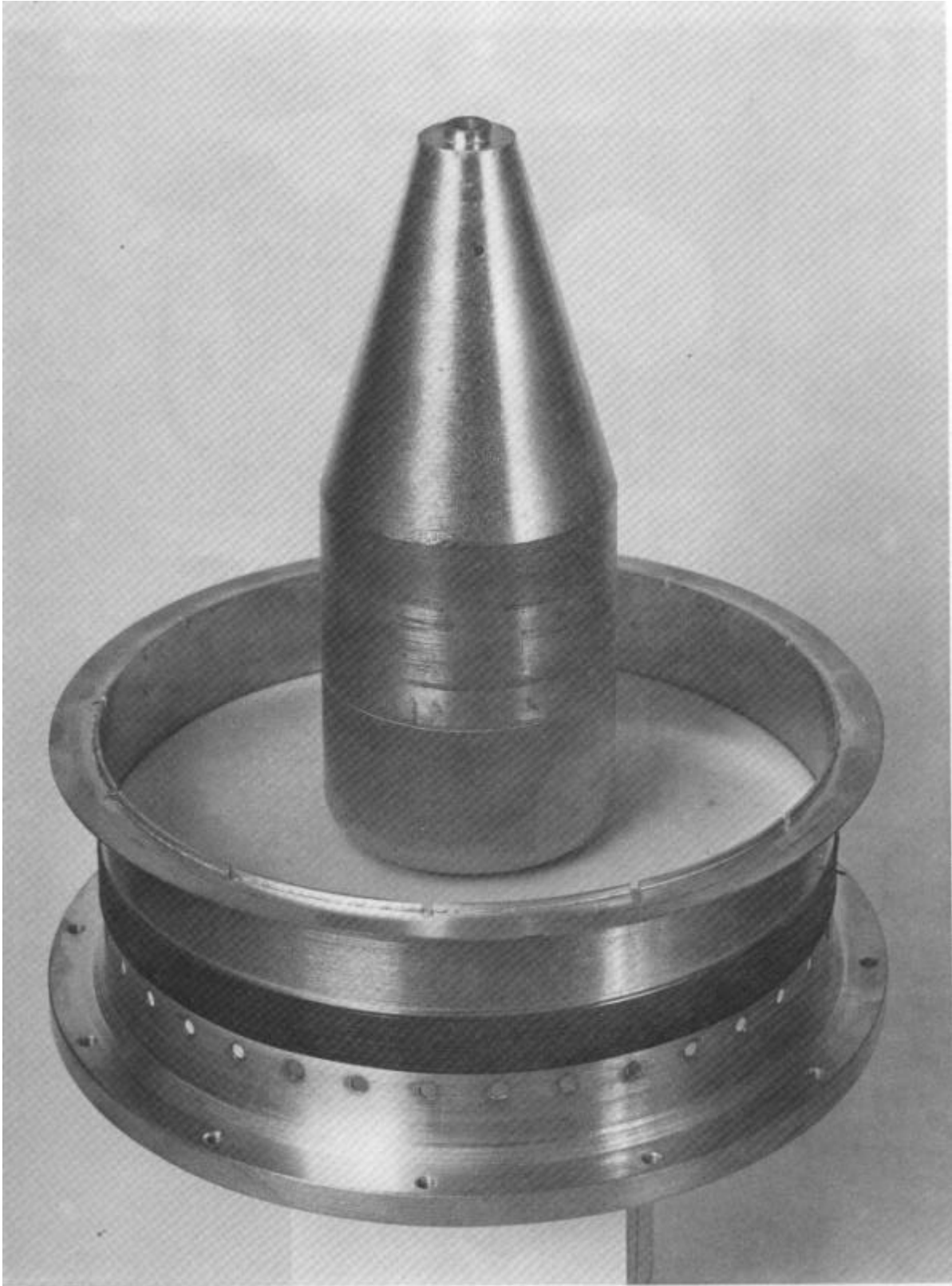


Abb. 6 Hochfrequenzeinkoppelfenster, Keramikscheibe mit Kupferteilen verlötet



Abb. 7 Hochfrequenzeinkopplung und Einzelteile in verschiedenen Fertigungsstadien

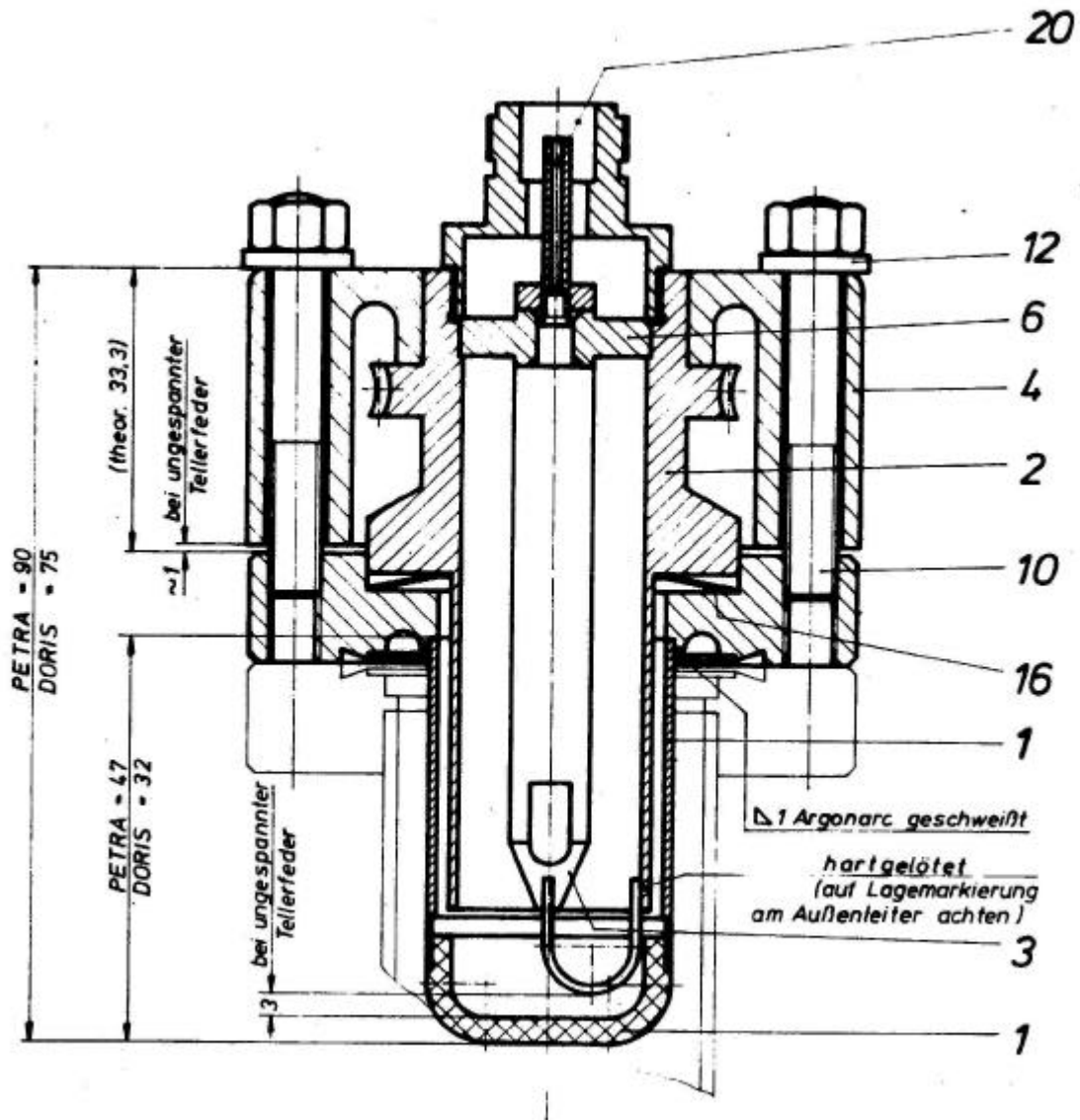


Abb. 8 Meßschleife für PETRA- Beschleunigungsstruktur (Schnittzeichnung)

Resonanzfrequenz des π - Modes	499,667 MHz
Resonanzwiderstand: $R_p \cdot F^2 = \hat{U}_c^2 \cdot F^2 / 2P_{HF}$	12,3 Ω / m
(F = Laufzeitfaktor für relativistische Teilchen)	
Güte : $Q_0 = f\pi / 2 \Delta f$	30 000
Koppelstärke : $K = (f_0 - f\pi) / f_c$	1,1 %
Kopplung : 2 induktive Schlitze	
Abstimmung : 2 induktive Stempel	
Abstimmbereich: -400 ÷ + 1400 kHz	
Einkopplung: Koaxiales Fenster	

Abb. 9 Eigenschaften der PETRA- Struktur

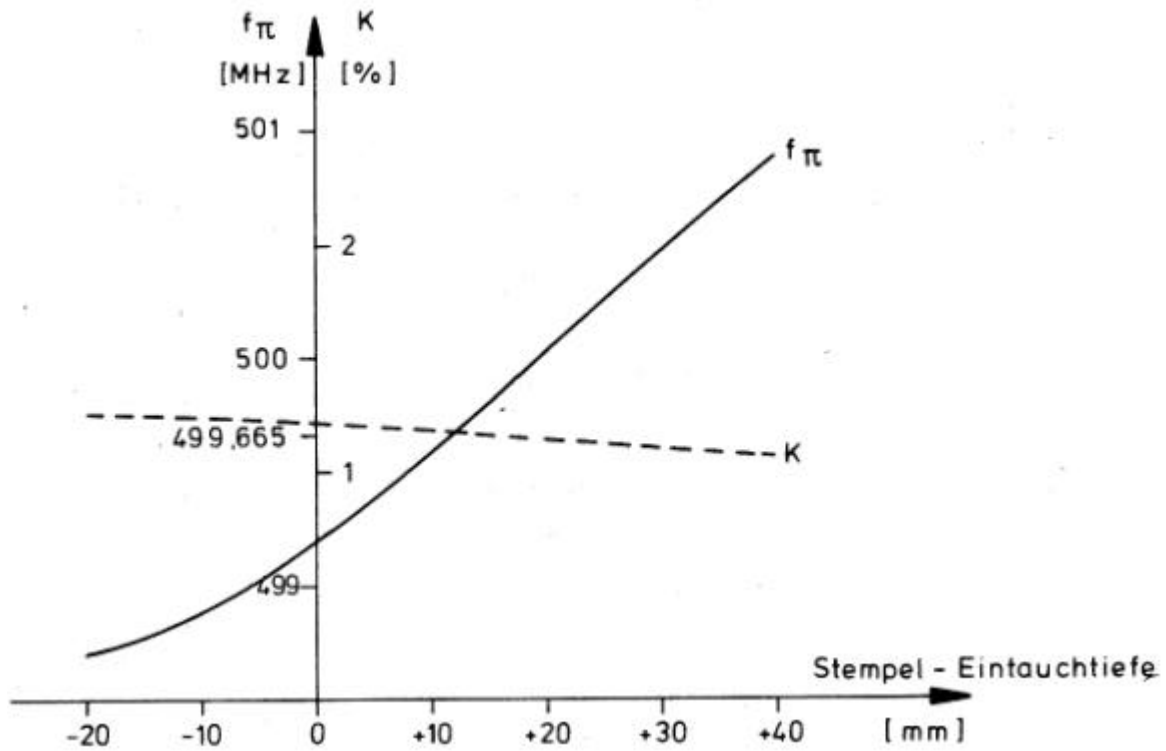


Abb. 10 Resonanzfrequenz des π - Modes und der Koppelstärke als Funktion der Stempel-eintauchtiefe. Stempel in den beiden der Mittelzelle benachbarten Zellen montiert.

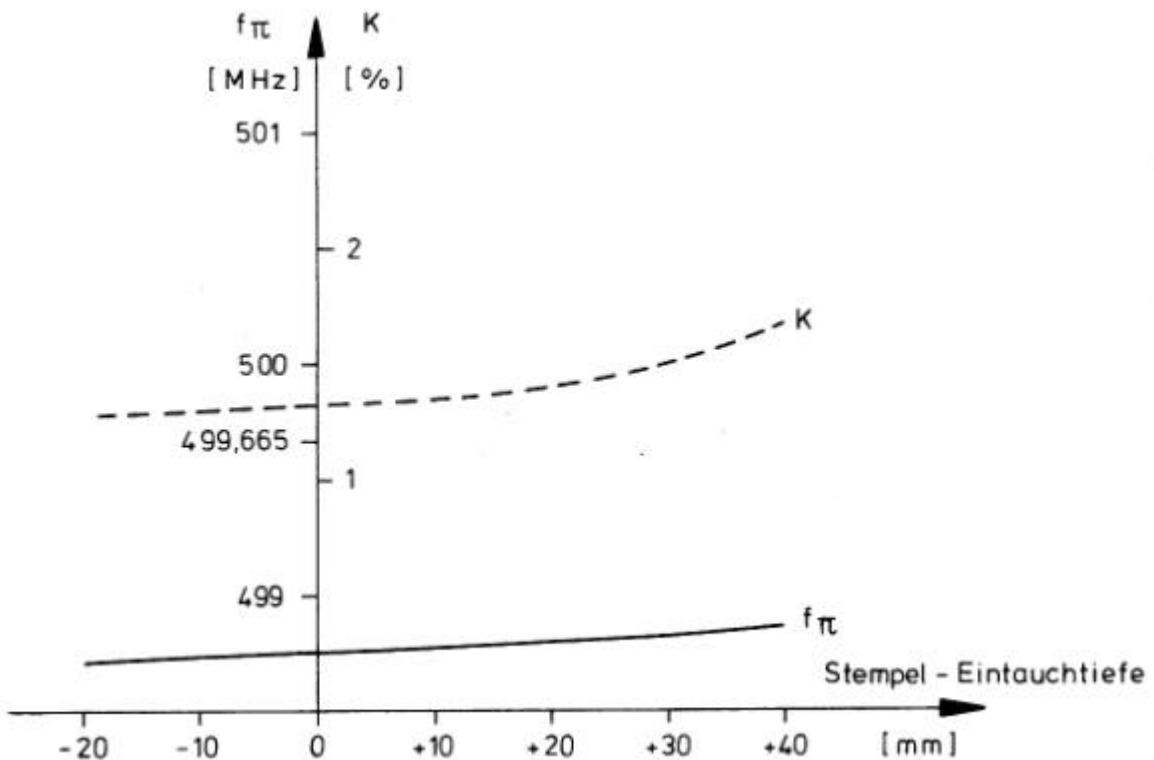


Abb. 11 Resonanzfrequenz des π - Modes und Koppelstärke als Funktion der Stempela-eintauchtiefe; Stempel in den Endzellen montiert.

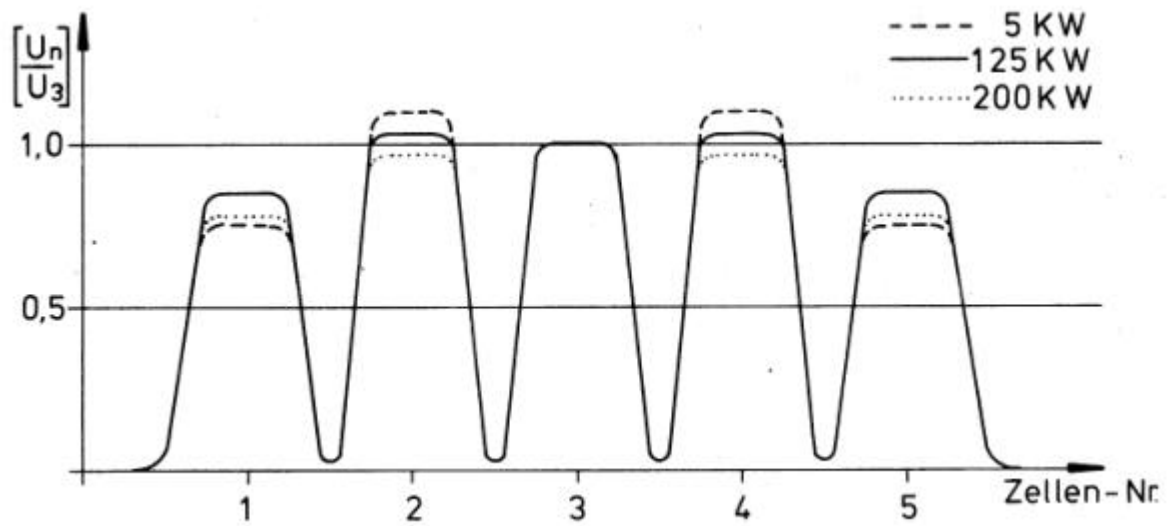


Abb. 12 Auf die Spannung der Mittelzelle normierte Zellenspannungen der PETRA- Struktur bei verschiedenen Hochfrequenzleistungen. Erregung im π - Mode

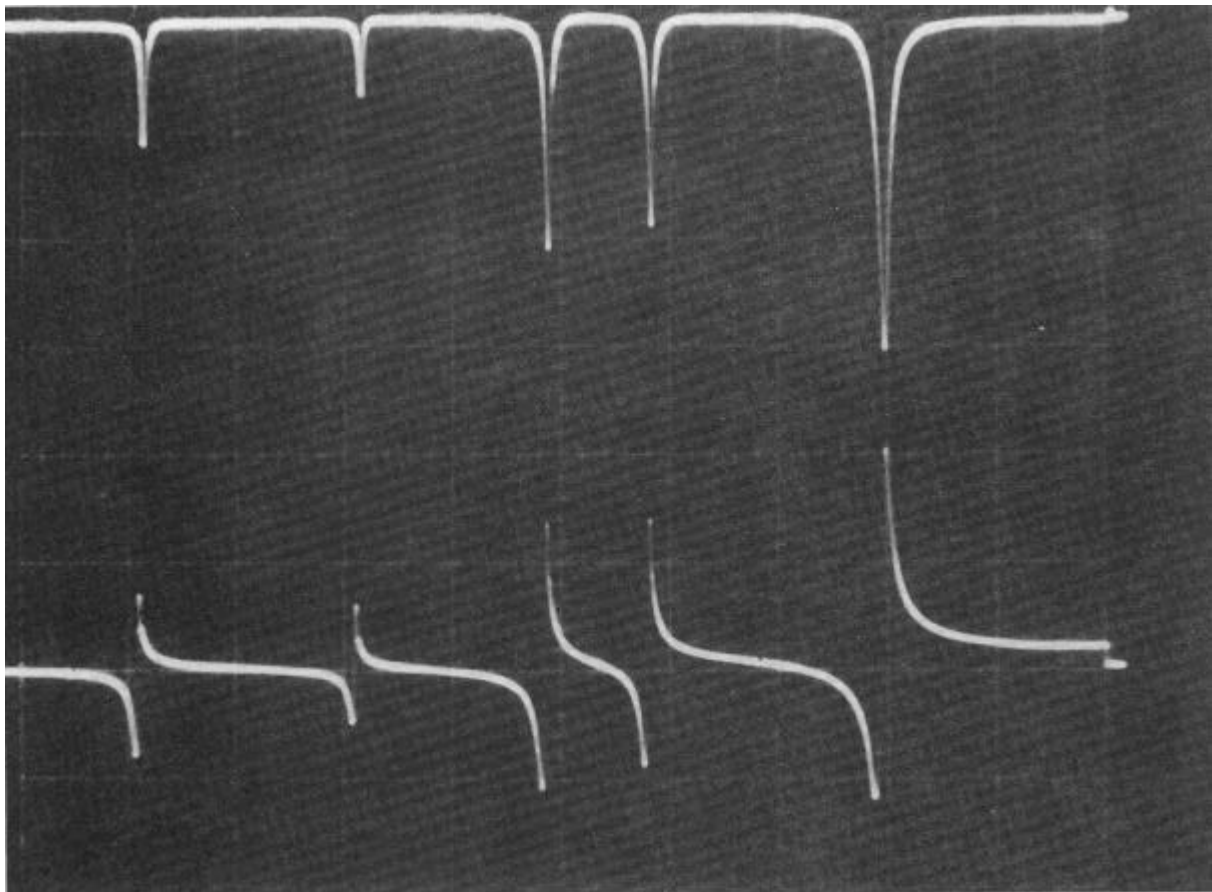


Abb. 13 Amplituden- (oben) und Phasenverlauf der PETRA- Beschleunigungsstruktur als Funktion der Frequenz (Auflösung 0,8 MHz / div.)

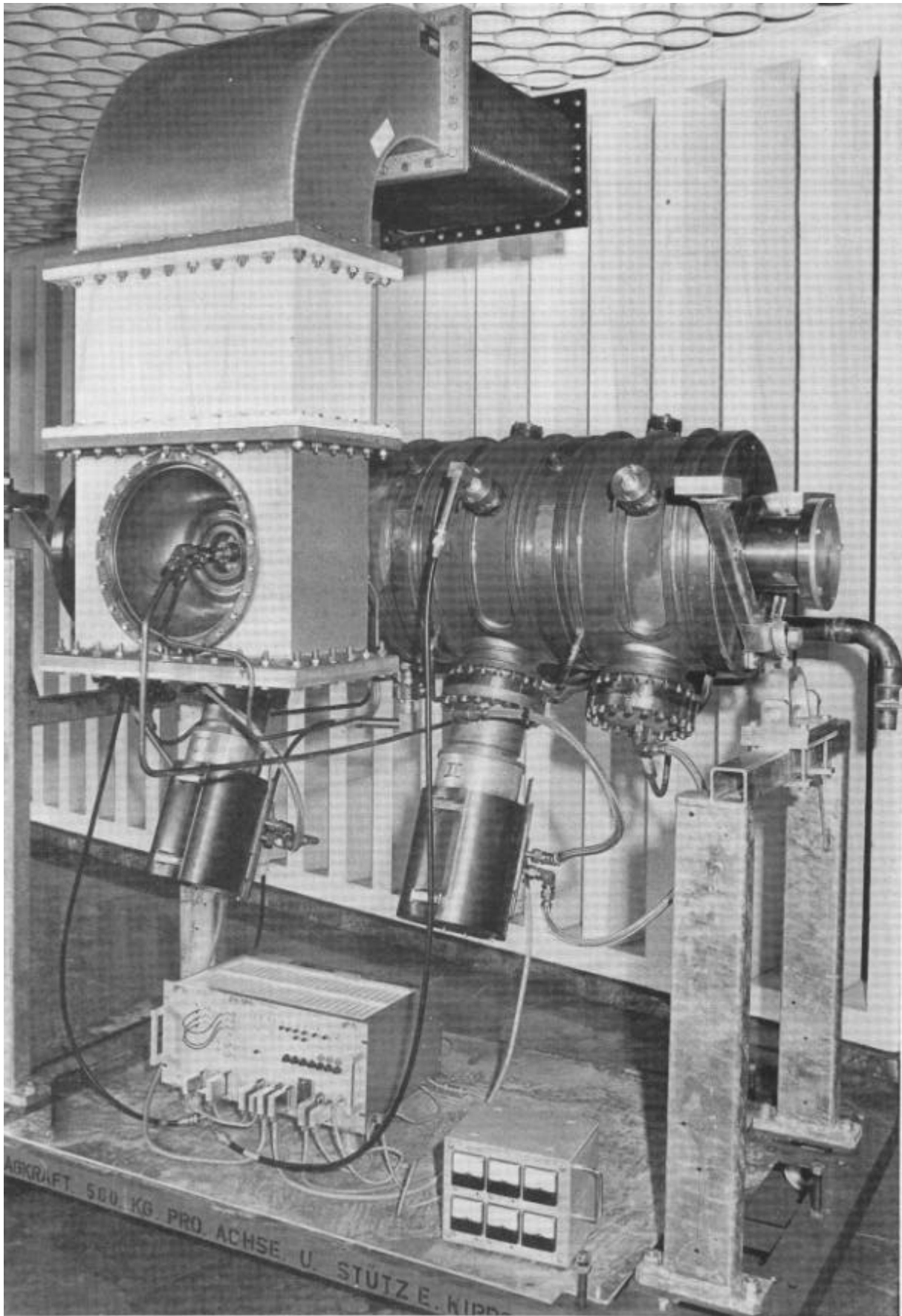
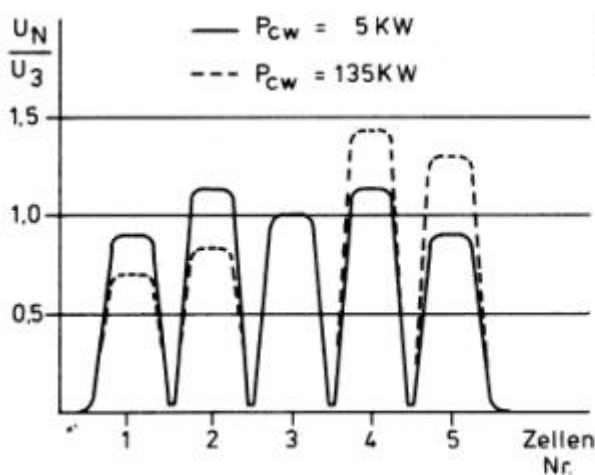
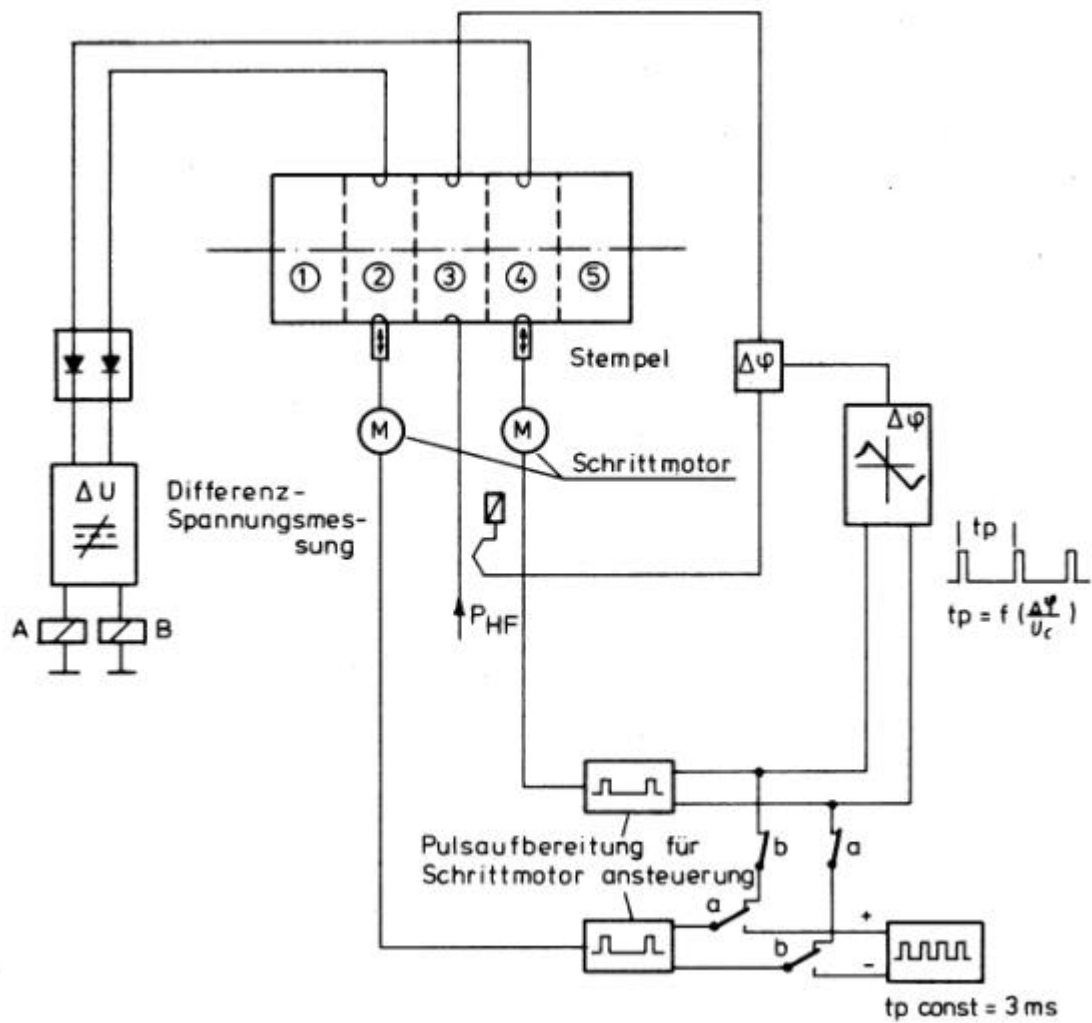
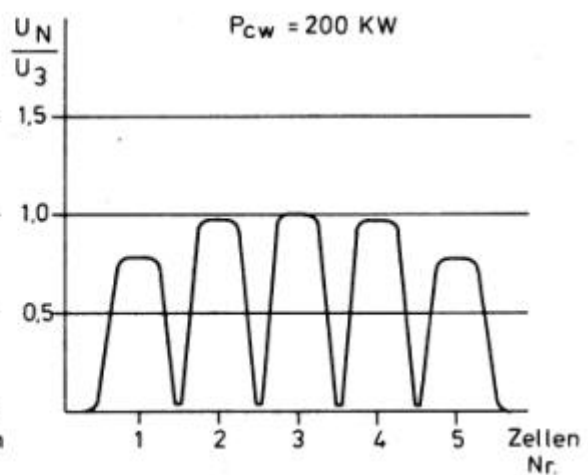


Abb. 14 PETRA Beschleunigungsstruktur mit montierten Abstimmstempeln und angeschlossenem Hohlleiter



Spannungsverteilung in den Zellen der Struktur ohne Differenzspannungsregelung



Spannungsverteilung in den Zellen der Struktur mit Differenzspannungsregelung

Abb. 15 Frequenzregelanordnung für PETRA- Beschleunigerstruktur

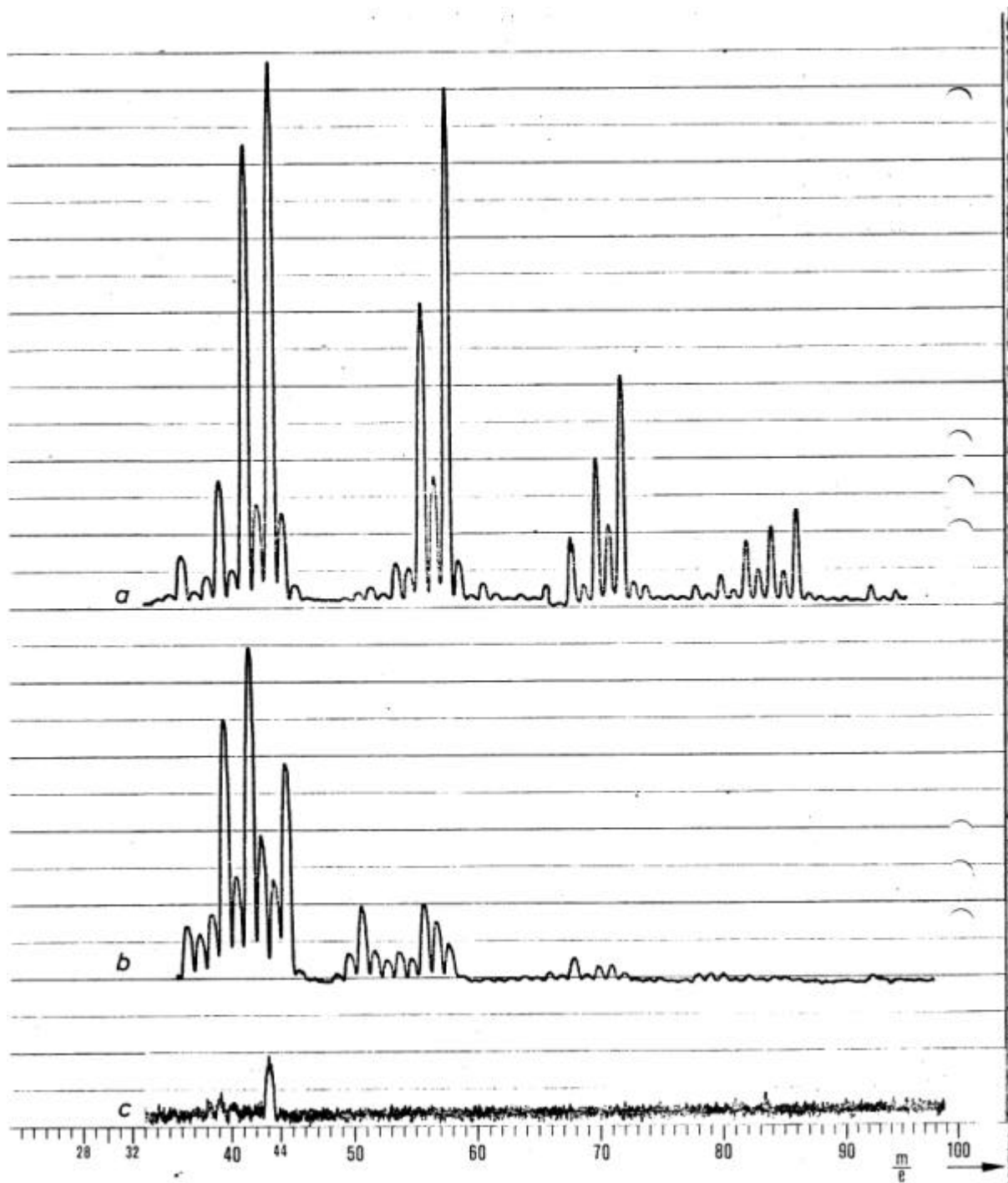


Abb. 16 Spektren der Massen $m/e < 32$ im Restgas der Struktur, a) im Anlieferungszustand mit einer Empfindlichkeit von 10^{-10} A, b) nach zwei Glimmzyklen mit einer Empfindlichkeit von 10^{-11} A und nach 4- stündigem Betrieb mit 180 kW Hochfrequenzleistung mit einer Empfindlichkeit von 10^{-12} A aufgezeichnet.