

H. Gerke

13. November 1975

N. Lehnart

H. Petersen

H. Sandvoß

T e c h n i s c h e N o t i z

H - 75 / 1

Maßnahmen zur Dämpfung der Oberwellenresonanzen
in den DORIS-Beschleunigerstrecken

Neben systembedingten Instabilitäten traten weitere Störungen auf, die die Schwelle für die Anregung unerwünschter Strahlschwingungen auf Werte bis zu 2 mA herabsetzten. Während den systembedingten Störgrößen mit geeigneten Maschineneinstellungen begegnet werden konnte, mußten bei den zusätzlichen Instabilitäten erst die Ursachen ausfindig gemacht werden. Die Suche erwies sich als langwieriges und beschwerliches Unternehmen, da die Störeffekte nur unter schlecht reproduzierbaren Bedingungen auftraten. Nach gezielten Beobachtungen stellten sich schließlich die Cavities als Hauptstörfriede heraus.

In empfindlicher Abhängigkeit vom Abstimmzustand der HF-Hohlraum-Resonatoren setzten unbeabsichtigte Wechselwirkungen mit dem Strahlstrom ein und machten ihn instabil. Die Wellenlängen der angeregten longitudinalen und transversalen Schwingungen stimmten fast ausnahmslos mit den errechneten, höherfrequenten Cavity-Resonanzen überein. Besonders störend fielen Schwingensätze bei 744 MHz, bei 930 MHz und bei 1585 MHz auf, die frequenzgleich waren mit den Cavity-Resonanzen TM 011, TM 111 und TM 022.

Diese Erkenntnisse führten zu gründlichen, labormäßigen Untersuchungen der höheren Cavity-Modes (siehe hierzu Technische Notiz H3-25), deren praktische Ergebnisse nachstehend beschrieben werden.

Die Messungen an den HF-Hohlraum-Resonatoren brachten im wesentlichen zwei realisierbare Gegenmaßnahmen:

Die erste bestand darin, den TM 011- und den TM 111-Mode selektiv mit antennengekoppelten Topfkreisen zu belasten.

Die zweite, Ferritabsorber im Vakuumrohr zwischen den Cavities, sollte eine HF-Entkopplung der Resonatoren bewirken. Außerdem war mit den Ferriten beabsichtigt, Cavity-Modes, deren Frequenz im Durchlaßbereich des Vakuumrohres liegt, zu bedämpfen.

Beide Vorkehrungen hatten Erfolg und es ließen sich Ströme bis über 200 mA nahezu ohne Strahl-Cavity-Wechselwirkung speichern.

Die 1585 MHz-Instabilität wurde nicht ganz beseitigt. Der Schwellstrom stieg lediglich von ca. 20 mA auf etwa 40 mA an.

Bei Strömen ab 250 mA sowie bei kurzen Ringfüllungen machte sich jedoch ein neuer Effekt unangenehm bemerkbar. In den HF-Abschnitten des Vakuumsystems stieg der Druck von 10^{-9} Torr auf Werte um 10^{-7} Torr an. Die Strahlstrom-Lebensdauer sank entsprechend.

Als Urheber konnten die Ferrite identifiziert werden. Sie wurden unter diesen Betriebsbedingungen wahrscheinlich auf unzulässig hohe Temperaturen aufgeheizt. Um hier Abhilfe zu schaffen, mußte nach einem Material gesucht werden, das die Vorteile, also die dämpfende Eigenschaft der Ferrite hat, jedoch nicht den störenden Temperatureffekt aufweist. Wichtiges Anliegen bei dieser Gelegenheit war außerdem, die 1585 MHz-Störung genauer zu ergründen und dann zu beheben.

Kanthal, Keramik und Wasser waren die Materialien, die auf der Suche nach einem Ferritersatz geprüft wurden. Auf Keramik und Wasser fiel die Wahl als eventuelle Ersatzlösung wegen der hohen dielektrischen Verluste, auf Kanthal aufgrund des großen spezifischen Widerstandes von $\rho = 1,45 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$.

Weder Kanthal noch Keramik brachten nicht annähernd die dämpfende Wirkung des Ferrits. Wasser erwies sich ebenfalls, zumindest in akzeptablen Mengen, als nicht brauchbar. Aus Zeitgründen wurde deshalb zunächst wieder auf Ferrit als Dämpfungsmaterial zurückgegriffen. Allerdings in anderer Einbauweise, in größerer Stückzahl und mit Wasserkühlung. Die erforderliche Kühlung und die erhöhte Stückzahl waren das Ergebnis einer Reihe von thermischen Messungen. Als Einbauvorrichtung wurde eine als gekühlter Ferrithalter gestaltete Vakuumdichtung gewählt. Das Bild 1 zeigt den Apparat so wie er an seinem Einbauort montiert ist. Alle Cavity-Strahlführungsflansche sind z.Zt. mit solchen Vorrichtungen versehen. Endgültige Maßnahmen gegen die 1585 MHz-Resonanz mußten ebenfalls aus Zeitgründen zunächst zurückgestellt werden.

Da die Beständigkeit und Wirkung der neuen Dämpfungselemente sich erst zeigen wird, wenn der Strahlstrom den kritischen Grenzbereich von 250 - 300 mA überschreitet, wurden im voraus an Labormustern schon verschiedene HF-Messungen durchgeführt. Dabei wurde erstens der Ferriteinfluß auf das Cavity und zweitens der Ferriteinfluß auf das Vakuumrohr zwischen zwei Cavities untersucht. Als dritte Meßreihe schloß sich die Ermittlung der Hauptwirkung der Ferrite an. Meßfrequenz war der Bereich von 1 - 4 GHz. Bei den Messungen am Vakuumrohr wurde mit zentrisch an den Rohrenden angebrachten Stabantennen ein- und ausgekoppelt. Die Einkopplung der Meßsignale in das mit einem Vakuumrohr mit Dämpfungselement belasteten Cavity's erfolgte im Strahlführungsrohr über eine Stabantenne. Die Auskopplung über eine Schleife am zylindrischen Außenmantel.

Und jetzt die Ergebnisse:

Das Bild 2 zeigt in Kammdarstellung die Resonanzen im Cavity mit und ohne Ferritbelastung. Bemerkenswert ist, daß sich die 1585 MHz-Resonanz-Amplitude nur wenig ändert. Das bedeutet, daß diese Cavity-Resonanz mit den Ferriten im Vakuumrohr nicht stark genug bedämpft wird. Dieser Mode müßte also auch wie der TM 011 und der TM 111 mit Antennen belastet werden. Es sei denn, daß diese Strahl-Instabilität auf eine Verkopplung des Vakuumrohr-Grundmodes TM 010- und der TM 022-Cavity-Resonanz zurückzuführen ist. Wenn dieses der Fall sein sollte, dürfte sich die Verkopplung ohne großen Aufwand unterbrechen lassen. Aus Bild 3 und den Erläuterungen geht das deutlich hervor. Außerdem konnte bei den Messungen am Cavity festgestellt werden, daß das Maß der Dämpfung der Oberwellen-Resonanzen unabhängig von der Anzahl der im Vakuumrohr eingesetzten Ferrite ist.

Im Bild 3 sind die wichtigsten Ergebnisse der Messungen am Vakuumrohr dargestellt. 1585 MHz liegt genau auf der Flanke der unteren TM-Rohrgrenzfrequenz. Die Dämpfung steigt fast konstant um 10 dB pro Ferrit an. Also mit den Ferriten müßte eine ideale Entkopplung der Cavities möglich sein. In der Abbildung nicht dargestellt aber gemessen wurde, daß die Dämpfung ab 3,5 GHz leider wieder geringer wird.

Wie schon erwähnt, hatte die dritte und letzte Meßreihe den Zweck zu prüfen,

ob die dämpfende Wirkung der benutzten Ferrite magnetischer oder elektrischer Art ist. Deutlich konnte festgestellt werden, daß die Ummagnetisierungsverluste den Hauptanteil der dämpfenden Wirkung liefern.

Diese Tatsache gibt gleichzeitig die Richtung für weitere Untersuchungen von Dämpfungsmaterialien. Denn es ist erklärtes Ziel, die Ferrite trotz der jetzt brauchbaren Einbaumöglichkeit durch ein vakuumfreundlicheres Dämpfungsmaterial zu ersetzen. Andere Absorbermaterialien wie Kohlenstoff, Graphit, EMI-suppressant tubing und diverse weitere Stoffe sollen auf ihre Wirksamkeit geprüft werden. Das technische Datenblatt für EMI-suppressant tubing gibt bei $f = 1$ GHz eine Dämpfung von 100 dB an. Das sagt wenig aus bezüglich des Einsatzes im Speicherring. Es wird aber sicherlich recht interessant sein, dieses Material unter unseren Bedingungen zu testen.

Neben neuen Dämpfungsmaterialien sind ebenso bessere Dämpfungsmethoden das Ziel künftiger Maßnahmen. Dazu gehört die selektive Dämpfung besonders störender Cavity-Resonanzen genauso wie die Untersuchung und Unterdrückung von Cavity-Verkopplungen über das Hohlleitersystem. Und schließlich ist als nächster und unmittelbar bevorstehender Test vorgesehen, die Dämpfungseigenschaft einer Kombination aus Ferrit-Dämpfungselementen und Mode-Belastungsantennen zu untersuchen. Erste Vormessungen an einem solchen System geben zu der Hoffnung Anlaß, daß es damit möglich ist, auf diese Weise auch die nur schwach an das Strahlrohr angekoppelten Cavity-Resonanzen stark zu bedämpfen.

Anmerkung:

Die Autoren danken Herrn Dr. Pingel für Diskussionen und Anregungen zur optimalen vakuummäßigen Gestaltung der Ferrithalter.

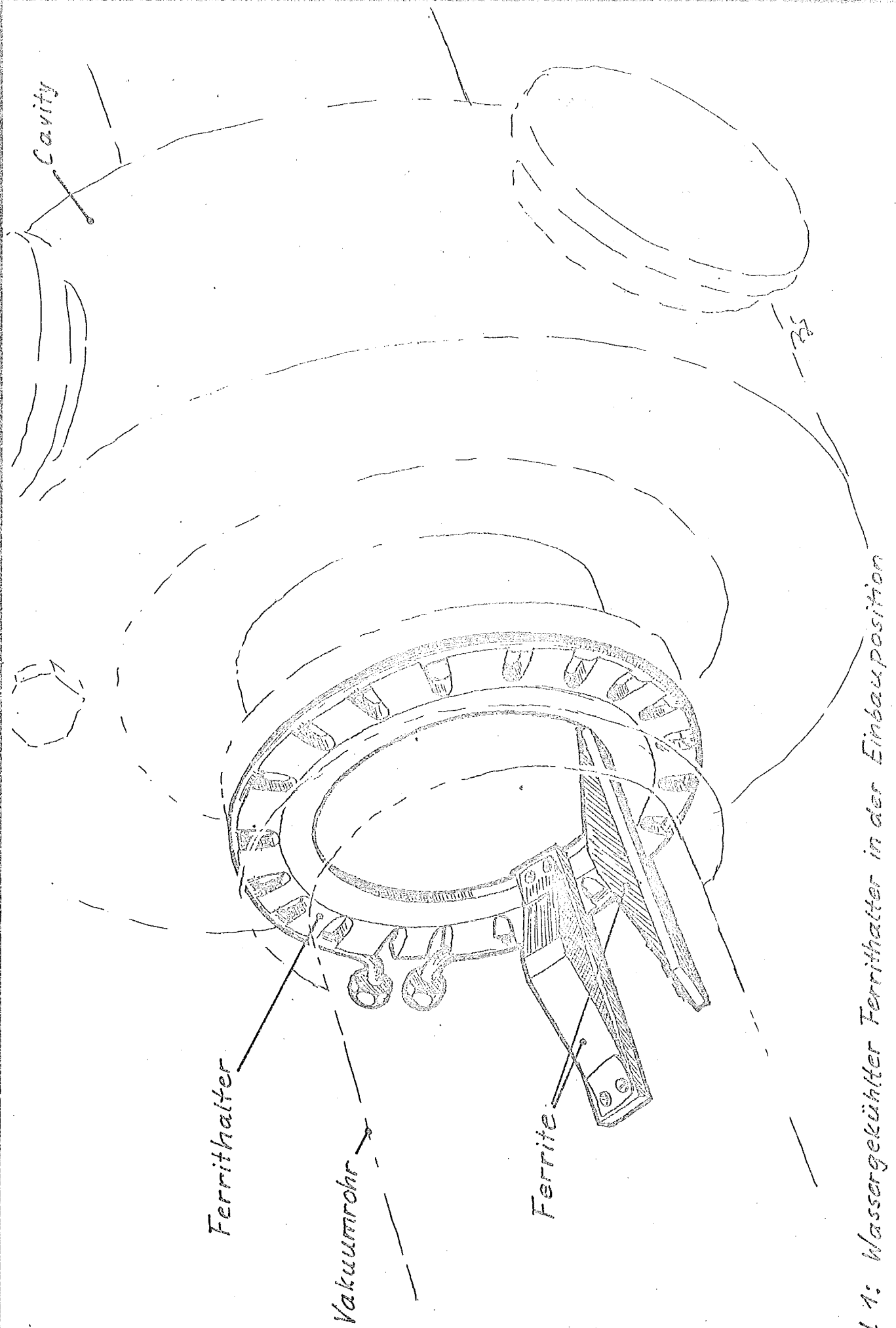
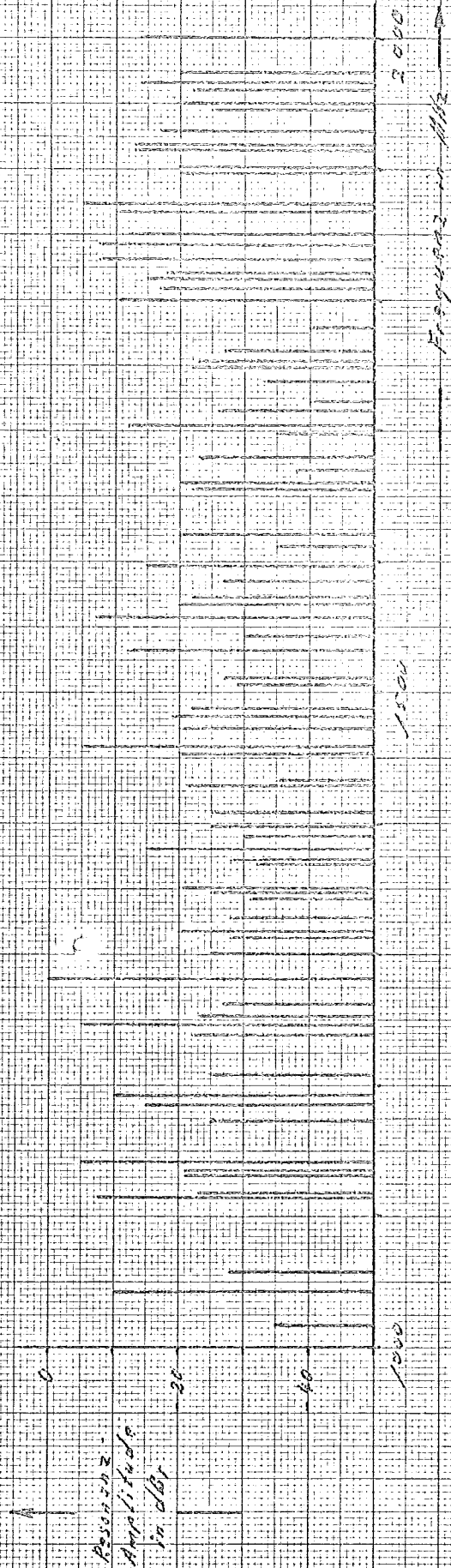


Bild 1: Wassergekühlter Ferrithalter in der Einbauposition

a) ohne Ferrit-Kompensationselement



b) mit Ferrit-Kompensationselement
(verzerrungsfreier Kurvenverlauf mit zwei Resonanzen)

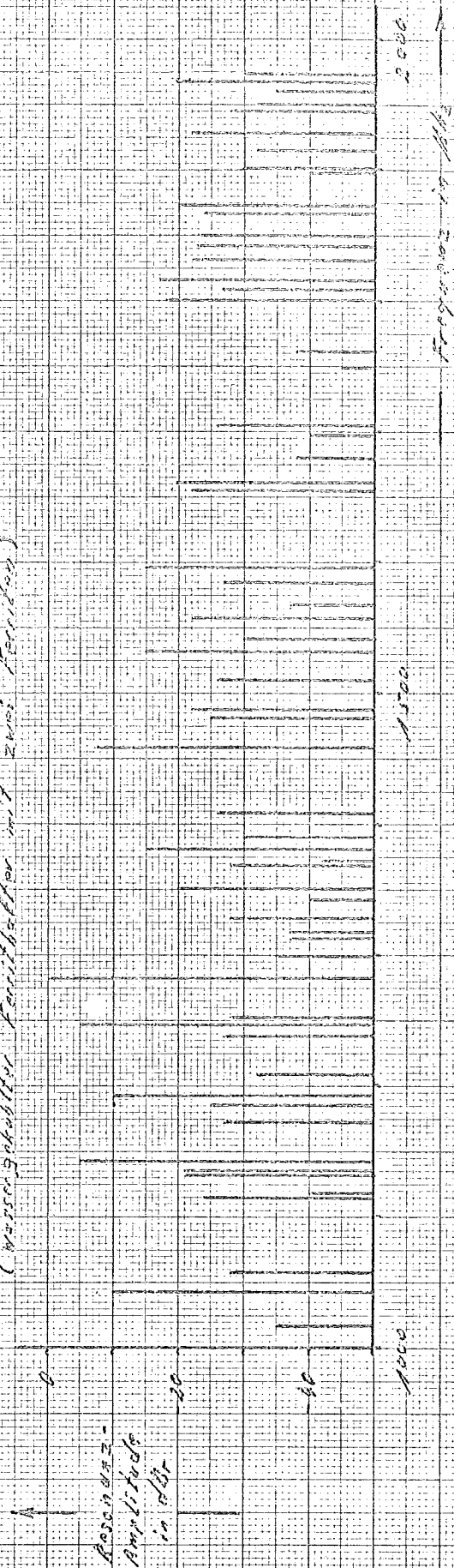


Bild 2: Relative Amplituden der cavity-Überschwingungen im Frequenzbereich von 1-2 GHz



Bild 3: Durchgangsdämpfung der HF im Vakuumrohr als Funktion der Frequenz