

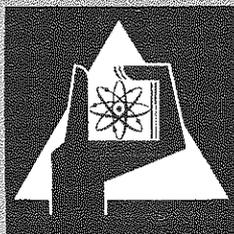
KFK-17

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

OKTOBER 1959

KFK 17

TECHNISCHE ABTEILUNG/REAKTOR  
GASDICHTE KABELDURCHFÜHRUNGEN  
IM KARLSRUHER REAKTOR FR 2  
VON  
KARL HITZIG



KERNREAKTOR  
BAU- UND BETRIEBS-GESELLSCHAFT M. B. H.  
KARLSRUHE





# Gasdichte Kabeldurchführungen im Karlsruher Reaktor FR 2

VON

KARL HITZIG



Sonderdruck aus der » SIEMENS-ZEITSCHRIFT «

33. Jahrgang · Heft 10 · Oktober 1959 · Seite 630 bis 634

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AKTIENGESELLSCHAFT



## Gasdichte Kabeldurchführungen im Karlsruher Reaktor FR 2

VON KARL HITZIG

Bei einer nur oberflächlichen Betrachtung der Gesamtinstallation für die Meß- und Regelanlagen des Karlsruher Reaktors (Bild 1) würde man nur wenige Anhaltspunkte dafür finden, daß die Installationsart von der bei Anlagen ähnlichen Umfangs – etwa in Kraftwerken – üblichen abweicht. Die besonderen Forderungen des Reaktorbetriebes ergaben jedoch eine Reihe von Bedingungen, die es notwendig machten, an verschiedenen Stellen nach grundsätzlich neuen Wegen zu suchen, um sowohl den Erfordernissen des praktischen Reaktorbetriebes als auch den umfangreichen Sicherheitsvorkehrungen gerecht zu werden. Von besonderer Bedeutung ist hierbei, daß im Innern des eigentlichen Reaktorgebäudes (Bild 2) ein Unterdruck von 5 bis 15 mm WS gegenüber der Außenatmosphäre besteht und daß das Gebäude druckfest und technisch gasdicht ausgeführt ist. Das aber bedeutet, daß sämtliche Kabel, die für die Messung und Regelung sowie für die Energieversorgung benötigt werden, gasdicht in das Reaktorgebäude eingeführt werden müssen. Die Vorschläge hierfür mußten außer auf ihre konstruktive Durchführ-

barkeit vor allem hinsichtlich des auszuwählenden Materials sorgfältig geprüft werden, da hiervon die Betriebssicherheit des Reaktors zu einem großen Teil abhängt.

Bei der Auswahl geeigneter Bauelemente stellte es sich z. B. als zweckmäßig heraus, auf die seit Jahren bei Post und Bahn erprobten Bauteile der Fernsprechtechnik zurückzugreifen. Entscheidend für diese Überlegung waren vor allem

der vieladrige Aufbau,  
die vielseitigen Einbaumöglichkeiten,  
die Gewähr für einwandfreie Ausführung.

Die Abnahmebedingungen der Deutschen Bundespost und der Deutschen Bundesbahn konnten übernommen werden.

Die Schaltwarte sowie der Geräteraum – für die Unterbringung der Relaisgestelle, Verstärker usw. – liegen aus Sicherheitsgründen außerhalb des eigentlichen Reaktorgebäudes. Eine Vielzahl von Meß- und Regelleitungen muß deshalb an bestimmten Stellen gasdicht durch die

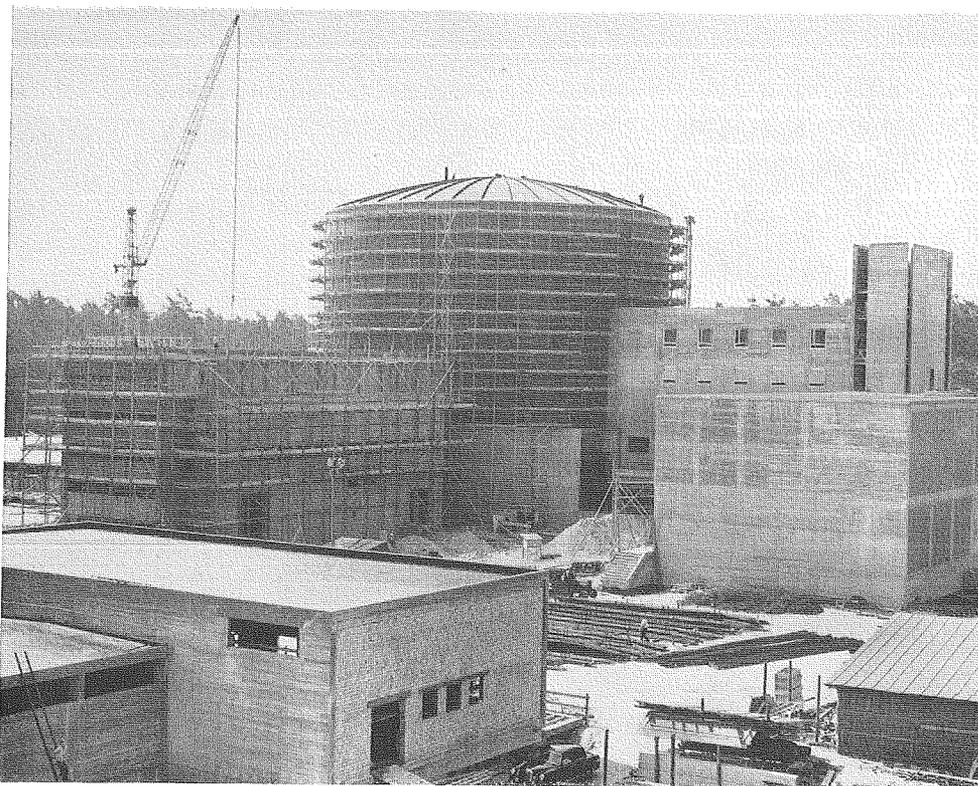


Bild 1  
Baustelle des Forschungsreaktors FR 2, Karlsruhe  
(Bauzustand Juli 1959)

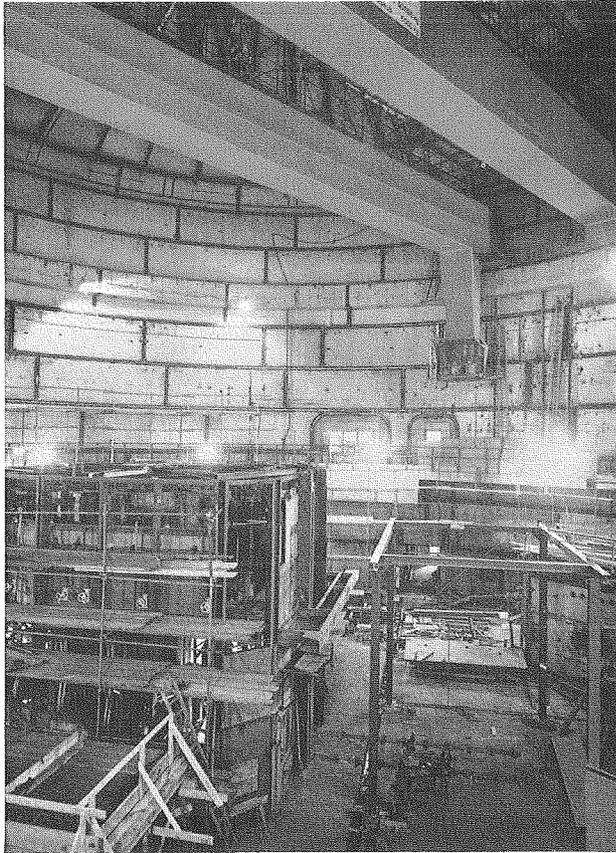


Bild 2 Blick in die Reaktorkuppel.  
In der Mitte der Reaktorkern während der Arbeiten am biologischen Schirm;  
im Hintergrund die Fenster der Reaktorwarte

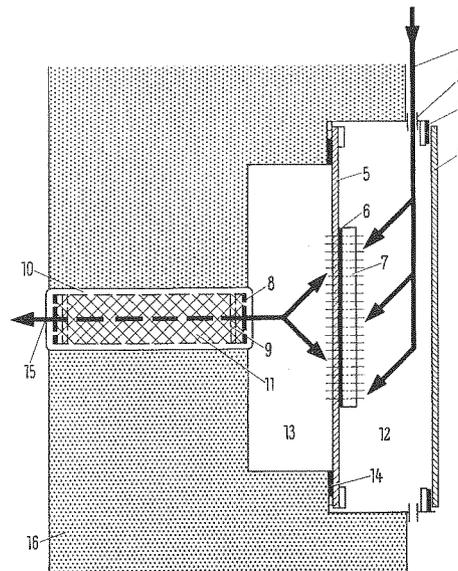
Beton-Rotunde oder durch die Stahl-Druckschale hindurch in das eigentliche Reaktorgebäude geführt werden.

Diese Durchführungen sind als »Endverzweiger« eingerichtet, so daß die Leitungen im Innern des Reaktorgebäudes von diesen Stellen zu den einzelnen Meß- und Regelkreisen verzweigt werden können. Zwei Verzweiger sind in die 1000 mm starke Beton-Rotunde eingebaut, ein dritter ist für die unmittelbare Kabeldurchführung durch die 14 mm starke Stahl-Druckschale bestimmt. Wegen der verschiedenen Baustoffe, Beton und Stahl, sowie ihrer unterschiedlichen Dicke, 1000 mm und 14 mm, waren zwei Arten von Durchführungen notwendig. Bei der ersten Art, für die Durchführung durch die Beton-Rotunde, ist die grundsätzliche Auftrennbarkeit der Kabel an dieser Stelle und ihre Aufschaltung auf Lötplatten zu je 100 Adern vorgesehen. Die zweite Art ist eine Durchführung mit eigens für diesen Zweck entwickelten Gießharz-Garnituren. Mit diesen Garnituren ist der dritte Verzweiger ausgestattet. Nicht aufgetrennt werden bei der ersten Art der Verzweiger die »Sonderkabel«, unter denen z. B. Koaxial- und Ausgleichleitungen für Thermoelemente zu verstehen sind. Deren Durchführungssystem besteht grundsätzlich aus Gießharz-Garnituren.

## Gasdichte Kabeldurchführungen mit Bauelementen der Fernsprechtechnik

Die Anordnung der beiden Verzweiger in der Beton-Rotunde geht aus Bild 3 hervor. Die Montageplatte aus verstrebttem Stahlblech ist mit einer Anzahl Ausnehmungen versehen, durch die die Lötstifte von 19 Lötplatten ragen. Die Montageplatte selbst ist auf einen im Beton eingelassenen Stahlrahmen aufgeschraubt. Zwischen beiden liegt eine Gummidichtung, für die zur besseren Fassung und Dichtung eine Nut in den Stahlrahmen eingefräst ist. Die Gewindebolzen zur Befestigung der Montageplatte sind rückseitig im Stahlrahmen verschweißt, so daß die Möglichkeit des Durchdringens von Luft durch die Gewindegänge ausgeschaltet ist. Die Befestigungsbolzen für die Lötplatten sind mit Polyesterharz in die Montageplatte eingesetzt und abgedichtet.

Die Lötplatten sind zusammen mit einer weitgehend alterungsbeständigen Kunstkautschuk-Dichtung auf die Montageplatte aufgeschraubt. Beschriftungsstreifen zu beiden Seiten jeder Platte ermöglichen eine genaue Übersicht über die aufgeschalteten Adern. In der Fernsprechtechnik wird diese Platte in sogenannten Trenn-Endverschlüssen verwendet. Sie ist zum Durchschalten von 100 Adern eingerichtet. Damit die Kabel einwandfrei ausgebunden werden können, sind auf der Vorderseite der Montageplatte Rangierbügel vorgesehen.



- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1 Steuerkabel (ankommend)     | 9 Dichtwickel (beiderseits)            |
| 2 Kabeleinführung             | 10 Kabelformstein 100 mm $\varnothing$ |
| 3 Türabdichtung               | 11 Dichtmasse                          |
| 4 Tür                         | 12 Kabelraum (ankommende Seite)        |
| 5 Montageplatte               | 13 Kabelraum (abgehende Seite)         |
| 6 Gummidichtung der Lötplatte | 14 Montageplattendichtung              |
| 7 Lötplatte                   | 15 Steuerkabel (abgehend)              |
| 8 Dichtschale (beiderseits)   | 16 Betonwand                           |

Bild 3 Anordnung eines in die Beton-Rotunde eingebauten Verzweigers mit gasdichter Kabeldurchführung

Mit dem Auftrennen der Kabel in diesen Verzweigern wird zweierlei erreicht: An diesen Stellen des Übergangs vom Innern des Reaktorgebäudes nach dem Geräteraum und der Schaltwarte ist jeglicher Luftdurchsatz durch die Kabel grundsätzlich ausgeschaltet, und ferner sind dadurch an diesen Stellen Prüf- und Schaltarbeiten möglich geworden.

Um das Entstehen von Schwitzwasser zu vermeiden, ist der Kabelraum hinter der Montageplatte mit einer Dispersionsfarbe auf Polyvinyl-Acetat-Basis zweimal gestrichen und zusätzlich mit Silikagel gesichert worden. Das Gefäß mit der Silikagel-Füllung ist ebenfalls gasdicht eingesetzt. Zum Erneuern der Füllung kann es jederzeit herausgenommen werden. Dann ist es überdies möglich, durch die entstandene Öffnung Temperatur- oder Feuchtefühler einzuführen, so daß entsprechende Messungen im Kabelraum hinter der Montageplatte vorgenommen werden können. Durch diese Maßnahmen wird erreicht, daß die Lötstellen im Kabelraum weitgehend vor Oxydation geschützt sind.

Im Hinblick auf Dichtheit bietet diese Durchführung zweifache Sicherheit: Zum einen ist die Montageplatte gasdicht aufgeschraubt, zum anderen sind die Kabel in das Innere des Reaktorgebäudes durch Kabelformsteine geführt, die in die Beton-Rotunde eingegossen und mit

Biegefestigkeit	500 kp/cm <sup>2</sup>
Schlagzähigkeit	2,5 cmkp/cm <sup>2</sup>
Formbeständigkeit	125 °C
Wasseraufnahme	20 mg
Spezifischer Widerstand	10 <sup>12</sup> Ω/cm
Dielektrischer Verlustfaktor bei 800 Hz	tan δ < 0,1
Durchschlagfestigkeit	100 kV/cm

Tafel 1 Werkstoff-Kennwerte der Anschlußplatte 108 T 6 (Preßmasse ammoniakfrei)

Dichtungsmaterial für Anschlußplatten und Rahmen	Anschlußplatten			Befestigungselemente (Schrauben, Scheiben, Muttern)	Blech- und Stahlteile	Dichtungsmaterial für Schrauben
	Preßstoff	Anschlußstifte	Isolationswiderstand			
Kunstkautschuk Neoprene (schwarz) 40 bis 45 Shore	108 T 6 Preßstoff Typ 31.5 DIN 7708	Ms, 6 µm vernickelt Lötstellen verzinkt	10 <sup>5</sup> MΩ	St, 6 µm kadmiiert	St V 23 DIN 1541	Polyesterharz

Tafel 2 Werkstoffe für gasdichte Verzweiger

Dichtmasse, Dichtwickeln und Dichtschalen verschlossen sind.

In den Tafeln 1 und 2 sind die wichtigsten Angaben über die verwendeten Werkstoffe zusammengestellt.

Über diese beiden Verzweiger in der Beton-Rotunde sind zusammen 3800 Adern gasdicht in das Innere des Reaktorgebäudes geführt.

### Gasdichte Kabeldurchführungen mit Gießharz-Garnituren

Nicht alle Durchführungen können in der Art der vorstehend beschriebenen Verzweiger ausgeführt werden. So ist in vielen Fällen eine Auftrennung der Kabel gar nicht erforderlich oder sogar unerwünscht, in anderen Fällen ist nicht genügend Platz vorhanden, und schließlich machen die Besonderheiten des Werkstoffs, durch den die Kabel geführt werden müssen, z. B. Stahlplatten, Stahlrahmen oder eingegossene Stahlrohre, einen grundsätzlich anderen Aufbau der Durchführungen notwendig. Nach gründlichen Versuchen konnten die hier auftretenden besonderen Probleme mit der Entwicklung von Garnituren auf Gießharzbasis gelöst werden. Ein solches Gießharz ist z. B. das von den Siemens-Schuckertwerken entwickelte PROTOLIN\*. Es enthält zu etwa 60% Epoxyharz und als Zusätze organische wie auch anorganische Stoffe (Metalloxyde).

Als Anwendungsbeispiele für diese Art von Durchführungen innerhalb der Verkabelung des Reaktors sind zu nennen: die unmittelbare Durchführung von etwa 4000 Adern durch die Stahl Druckschale, der bereits erwähnte dritte Verzweiger, die Durchführungen der Steuerleitungen in die einzelnen Schleusen sowie die Durchführungen der Sonderkabel, Koaxial- und Ausgleichsleitungen, der Steuerkabel für die Rohrpost, der Leitungen für die sogenannten »heißen Räume« im Absetzbecken und schließlich die Durchführungen sämtlicher Energiezuführungskabel bis zu einem Querschnitt von 120 mm<sup>2</sup>.

Für die Durchführung der Meß-, Regel- und Energieversorgungskabel mit Gießharz-Garnituren wurde grundsätzlich folgende Anordnung gewählt:

\* Eingetragenes Warenzeichen

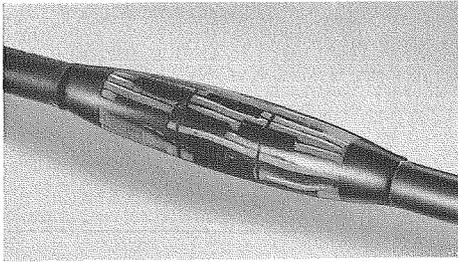


Bild 4 Gießharzmuffe, eingegossen in ein 24adriges Steuerkabel

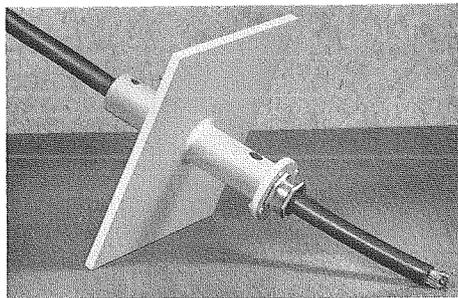


Bild 5 Fertig vergossene Kabeldurchführung, 24adrig

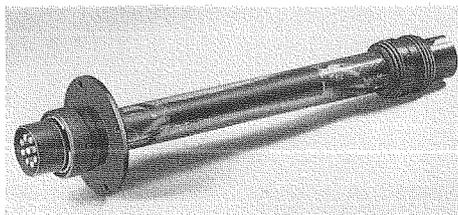


Bild 6 Durchführung für Koaxialkabel mit eingegossenen Steckverbindungen

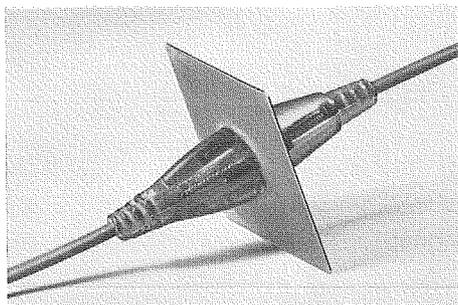


Bild 7 Durchführung für Ausgleichsleitungen

Die einzelnen Kabel werden an den Durchführungsstellen auf einer Länge von etwa 150 mm abgemantelt und die Leiter freigelegt. Die Leiterisolation wird auf etwa 10 mm entfernt, so daß nach dem Verguß an diesen Stellen auch ein Luftdurchsatz zwischen dem Leiter und

der Isolation ausgeschaltet ist. Bei mehradrigen Kabeln werden diese abisolierten Stellen gegeneinander versetzt angeordnet, damit eine Berührung der einzelnen blanken Stellen unmöglich wird. Dann wird unter Verwendung handelsüblicher Vergußformen um diese Stelle eine Gießharzmuffe gegossen. Nach der Aushärtung lassen sich die Muffen einwandfrei überprüfen, da sie eine glasklare Struktur haben. Die Muffen werden nun in die Durchführungs-Stahlrohre eingesetzt und diese ebenfalls mit Gießharz ausgegossen, nachdem zu beiden Seiten dieser Rohre die Kabelausgänge abgedichtet sind. Bild 4 zeigt die fertig vergossene Gießharzmuffe. Zum besseren Erkennen sind die abisolierten Stellen der einzelnen Leiter mit einem Isolierschlauch überzogen. Bild 5 zeigt die fertig vergossene Durchführung. Die Gießharzmuffe ist in das Durchführungsrohr eingesetzt und eingegossen.

Die Dichtigkeit wird hier einmal durch die in den Kabelmantel eingefügte Muffe erreicht, die einen Luftdurchsatz sowohl zwischen den einzelnen Leitern und deren Isolation als auch zwischen Isolation und Außenmantel ausschließt, zum anderen durch das Eingießen dieser Muffen in die Durchführungs-Stahlrohre, die ihrerseits entweder in Beton eingegossen oder in Stahlplatten eingeschweißt sind.

Die Bilder 6 und 7 zeigen Durchführungen für Koaxial- und Ausgleichsleitungen für Thermoelemente, Bild 8 zeigt ein zum Verguß vorbereitetes Energieversorgungskabel 120 mm<sup>2</sup>. Die einzelnen Leiter sind auch hier auf etwa 10 mm Länge abisoliert, damit das Gießharz in die Verseilung der Leiter eindringen kann. In Bild 9 ist die fertig vergossene Durchführung dieses 120-mm<sup>2</sup>-Kabels dargestellt. Durch Wegfall aller Lötstellen gewinnt diese Art von Durchführungen im Hinblick auf die Betriebssicherheit beträchtlich an Wert, denn an vielen Stellen, wo keine Prüf- und Schaltarbeiten nötig sind, wären Lötstellen ohnehin nicht erforderlich. Abgesehen davon sind auch der Zeitgewinn gegenüber der Anfertigung von einigen tausend Lötstellen sowie die wesentlich einfachere Wartung der Gießharz-Garnituren von großer Bedeutung.

Die Durchführungen der Sonderkabel, Koaxial- und Ausgleichsleitungen wurden sämtlich in Gießharztechnik ausgeführt, da ein Auftrennen dieser Leitungen an den

Temperaturbeständigkeit	bis etwa 200 °C
Druckfestigkeit	8,6 kp/mm <sup>2</sup> (bei Raumtemperatur)
Isolationswert	$5 \cdot 10^{14} \Omega$ (nach dreimonatiger Wasserlagerung)
Durchschlagfestigkeit	20 bis 26 kV/cm

Tafel 3 Kennwerte des PROTOLIN

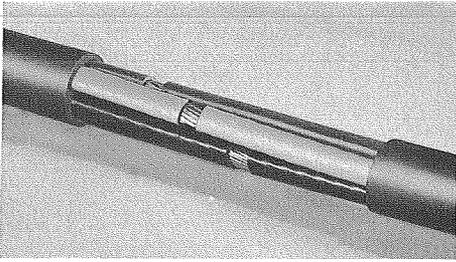


Bild 8 Zum Verguß vorbereitetes Energiekabel  
 $4 \times 120 \text{ mm}^2$

einzelnen Durchführungsstellen und das Umschalten auf Lötplatten Meßwertverfälschungen zur Folge hätte. Hinzu käme noch das Problem der Abschirmung dieser Lötplatten. Im ganzen gesehen ist eine Ausführung

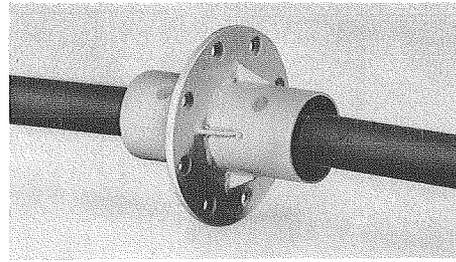


Bild 9 Durchführung für Energieversorgungskabel  
 $4 \times 120 \text{ mm}^2$ , fertig vergossen

dieser Sonderkabel in Gießharztechnik wesentlich einfacher und betriebssicherer. In Tafel 3 sind die wichtigsten Kennwerte des PROTOLIN zusammengestellt.