

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

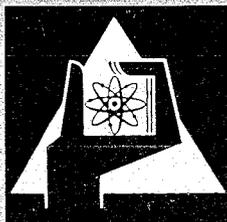
Dezember 1968

KFK 936

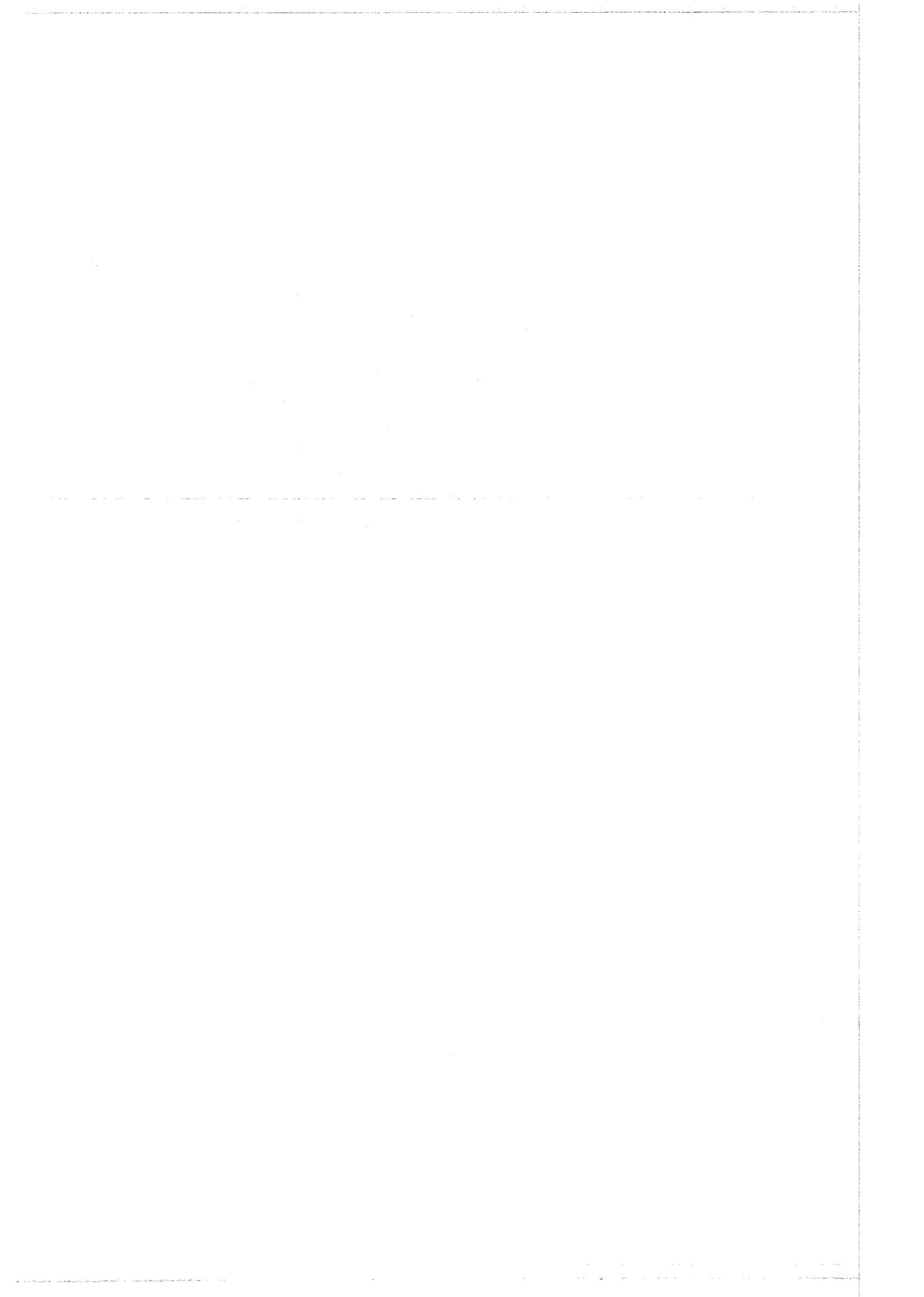
Abteilung Reaktorbetrieb und Technik

Schäden an der Abschirmung und am Coretank
des Karlsruher Forschungsreaktors FR 2

W. P. Schmidt



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE



Werner Paul Schmidt, Karlsruhe

Schäden an der Abschirmung und am Coretank des Karlsruher Forschungsreaktors FR 2

Im Karlsruher Forschungsreaktor FR 2 traten im November 1963 nach etwa einjähriger Betriebszeit an der thermischen Abschirmung und im November 1967 am Coretank Leckstellen auf. Beide Schäden wurden während routinemäßiger Kontrollen entdeckt. Bei den Reparaturarbeiten sammelte man wertvolle Erfahrungen für einen eventuell notwendigen Tankwechsel. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die Auswirkungen der Lecks, die Bestimmung ihrer Größe und Lage, die Maßnahmen zur Aufrechterhaltung und Wiederaufnahme des Reaktorbetriebes sowie über die Schadensursachen.

Der Forschungs- und Materialprüfreaktor FR 2 des Kernforschungszentrums Karlsruhe ist ein heterogener, geschlossener, thermischer Kernreaktor mit schwerem Wasser (D_2O) als Moderator, Neutronenreflek-

tor und Kühlmittel. Seine thermische Leistung beträgt 44 MW und die maximale thermische Neutronenflußdichte $1,1 \times 10^{14}$ n/cm²s. Die Bilder 1, 2 und 3 zeigen schematisch den Aufbau des Reaktorblocks.

Schäden an der thermischen Abschirmung

Die wassergekühlte thermische Abschirmung, Bild 4, hat die Aufgabe, den größten Teil der aus dem Reflektor austretenden Strahlung zu absorbieren und gleichzeitig einen möglichst hohen Anteil der dabei freigesetzten Wärme abzuführen. Sie besteht im wesentlichen aus zwei miteinander dicht verschweißten Stahlmänteln, deren Zwischenraum mit Blei gefüllt ist, das homogen um einen Rohrkorb aus korrosionsbeständigen Stahlrohren für die Wasserkühlung eingeschmolzen wurde. Der äußere Stahlmantel trägt die Reaktordeckel und ist dementsprechend stärker ausgeführt als der innere. Auf der Innenseite des inneren Stahlmantels sind 7 mm dicke Boralplatten aufgeschraubt. Zur Überwachung der maximalen Stahl-, Blei- und Boraltemperaturen sind von außen nach innen Fingerhutrohre mit Thermoelementen eingeschweißt.

Zur Dichtheitskontrolle des Rohrkorbcs wurde im Blei des Bodens ein Leckwassersammelraum ausgespart, von dem eine Leckkontrolleitung aus dem Reaktorblock herausführt. Eine Belüftungsleitung für den Bleiraum ist nicht vorhanden.

Während alle Öffnungen für die Experimentiereinrichtungen einfache, im allgemeinen runde und nur bei der thermischen Säule und der Meßsäule rechteckige Fenster sind, stellt das Fenster zur Meßsäule insofern eine Ausnahme dar: es ist mit Blei gefüllt und wird durch Kühlrohre, die mit dem übrigen Rohrkorb verbunden sind, gekühlt. Durch diese Anordnung läßt sich eine besondere Wasserkühlung der Meßsäule einsparen. Allerdings ergeben die durch den

Rahmen des Fensters zur Meßsäule durchtretenden und dicht verschweißten Rohre im Bereich der Schweißstellen besonders gefährdete Stellen.

Leck am Rohrkorb der wassergekühlten thermischen Abschirmung

Im November 1963 stellte man nach etwa einjähriger Betriebszeit der thermischen Abschirmung bei routine-

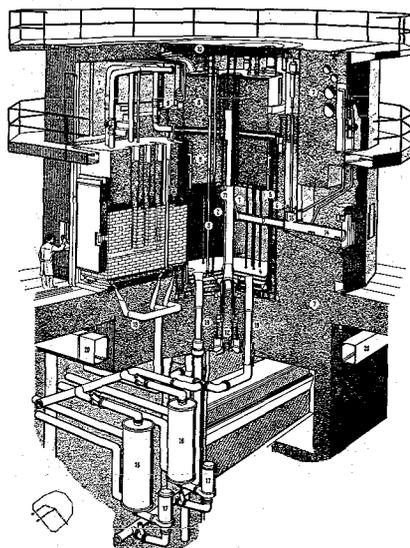


Bild 1. Schnitt durch den Forschungsreaktor FR 2

- 1 Core
- 2 Brennelement
- 3 Trimm-Abschaltstab
- 4 Coretank
- 5 wassergekühlte thermische Abschirmung
- 6 luftgekühlte thermische Abschirmung
- 7 biologische Abschirmung
- 8 Reaktordeckel, zweiteilig
- 9 Deckelungang
- 10 Drehdeckel
- 11 zentraler Experimentierkanal
- 12 Adapter
- 13 thermische Säule
- 14 horizontaler Experimentierkanal
- 15 Strahlenschieber
- 16 D_2O/H_2O -Wärmeaustauscher
- 17 D_2O -Pumpe
- 18 Kühlluft für thermische Säule
- 19 D_2O -Zu- und Rücklauf
- 20 Raumbelüftung

mäßigen Prüfungen erstmals in der Leckkontrolleitung zur Überwachung des Rohrkorbcs Wasser fest. Die sofort eingeleitete Untersuchung ergab, daß am Fenster zur Meßsäule in Höhe des oberen Rahmens ein Leck im Rohrkorb sein mußte, durch das bei Raumtemperatur und einem Überdruck von 0,5 at rd. 40 cm³/min Wasser bzw. 3000 cm³/min Luft austraten.

Ermittlung der Leckstelle

Zur Untersuchung entwässerte man zunächst Rohrkorb und Stahlmantel und füllte den Rohrkorb mit Druckluft von 0,5 atü. Die durch die geöffnete Leckkontrolleitung entweichende Luft wurde gemessen, dabei der Rohrkorb von unten langsam mit Wasser gefüllt und der Wasserstand im Rohrkorb nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren über einen Klar-sichtschlauch beobachtet. Als der austretende Luftstrom plötzlich auf Null zurückging, mußte der Wasser-spiegel das Leck erreicht haben. Wasserstand und Druck wurden weiter konstant gehalten, bis aus der Leckkontrolleitung Wasser in konstanter Leckrate anfiel.

Es war nicht möglich, auch die Umfangskomponente des Lecks meßtechnisch zu bestimmen. Jedoch konnte man aus der ermittelten Höhe den Schluß ziehen, daß eines der Rohre, die den Rahmen des Fensters zur Meßsäule durchdringen und mit dem Rahmen dicht verschweißt sind, im oberen Rahmen oberhalb der Schweißnaht leck sein mußte. Für einen Schaden an einem dieser Rohre sprachen auch die an dieser Stelle während der Fertigung aufgetretenen Schwierigkeiten. Die sowieso problematische Verbleiung der austenitischen Rohre, die ein Vorverzinnen mit chlorhaltigen Flußmitteln erforderte, mußte beim Meßsäulenfenster zweimal wiederholt werden, wobei man auf Salzsäure als Flußmittel nicht verzichten konnte. Die ungünstige Anordnung der Schweißnähte ergab Spalte, in denen ohne weiteres schwer entfernbare Säurerückstände verbleiben konnten, die vermutlich zu einer Spannungsrißkorrosion beitrugen.

Der Reaktor ließ sich ohne Einschränkungen weiter betreiben. Es wurde lediglich der statische Druck im Rohrkorb gesenkt und durch Grenzwertgeber überwacht, weil sich durch das Leck bei geschlossener Leckkontrolleitung der Druck im Rohrkorb auch auf den Stahlmantel auswirkte und dieser vor zu hohen Drücken zu schützen war. Man erkannte auch, daß sich im Stahlmantel beim Zusetzen

Dipl.-Ing. Werner Paul Schmidt ist Technischer Leiter und stellvertretender Abteilungsleiter der Abteilung Reaktorbetrieb und Technik der Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe.

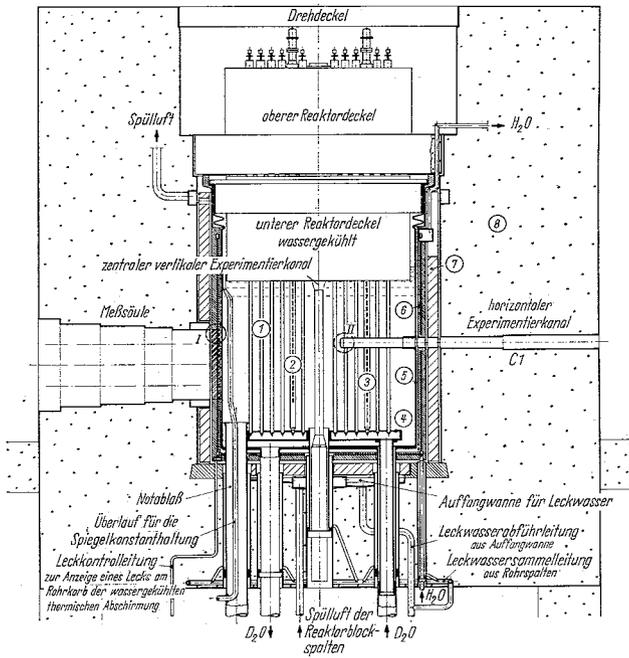


Bild 2. Längsschnitt durch den FR 2

- 1 Brennelemente
- 2 Trimm-Abschaltstäbe
- 3 Regelstab
- 4 Verteilerboden für D₂O (Edelstahl)
- 5 Core-Tank (Aluminium)
- 6 wassergekühlte thermische Abschirmung (Boral - Stahl - Blei - Stahl)
- 7 luftgekühlte thermische Abschirmung (Gußeisen)
- 8 biologische Abschirmung (Schwerbeton)
- I Schadensstelle am Rohrkorb der wassergekühlten thermischen Abschirmung
- II Schadensstelle am Tankrohr des C1-Kanals

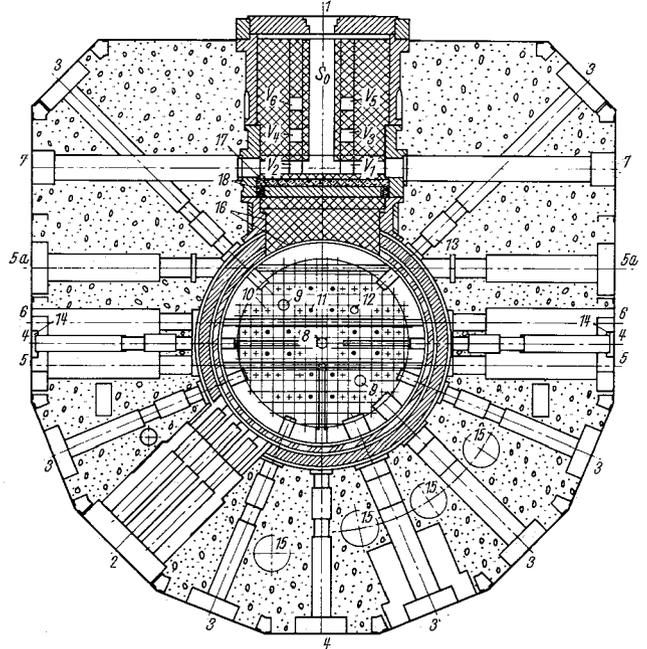


Bild 3. Querschnitt durch den FR 2

- 1 thermische Säule
- 2 Meßsäule
- 3 Experimentier-R-Kanal, in den Reflektor gehend
- 4 Experimentier-C-Kanal, in das Core gehend
- 5 Experimentier-D-Kanal, durchgehend
- 5a Experimentier-T-Kanal, durchgehend
- 6 Experimentier-D-Kanal, Rohrpost
- 7 Experimentier-Th-Kanal, horizontal
- 8 vertikaler Zentralkanal
- 9 vertikale Nebkanäle
- 10 Isotopenkanäle
- 11 Trimm-Abschaltstab
- 12 Regelstab
- 13 Strahlenschieber
- 14 Dichtschieber
- 15 Schacht für Loopleitung
- 16 Aluminiumfenster
- 17 Stahlschieber
- 18 Blei-Boral-Schieber
- V₁ bis V₆ - vertikale Kanäle durch die thermische Säule
- S₀ - horizontaler Kanal durch die thermische Säule

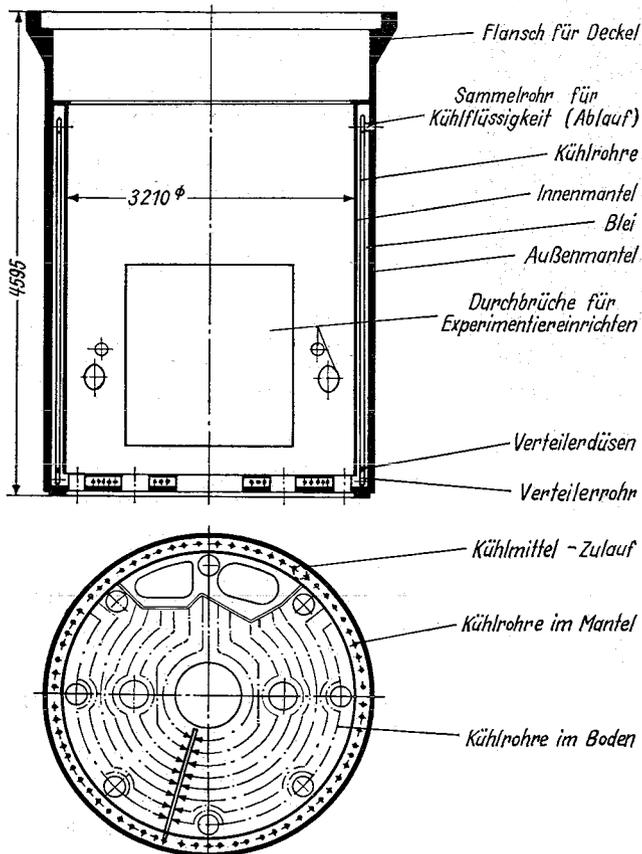


Bild 4. Längsschnitt durch die Abschirmung des FR 2

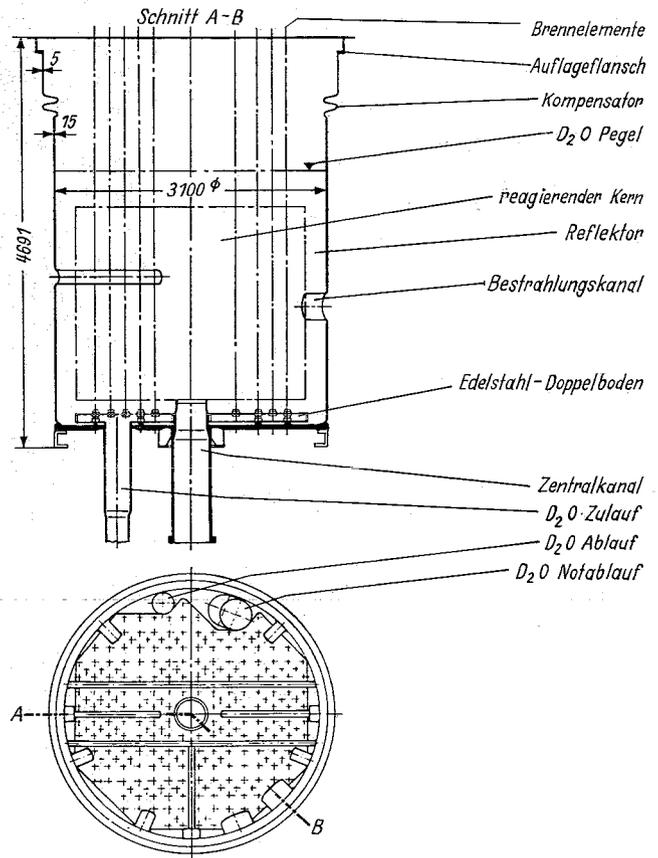


Bild 5. Längsschnitt durch den Coretank des FR 2

des Lecks durch Radiolyse oder durch Verdampfung ein erhöhter Druck aufbauen könnte. Deshalb baute man eine Druckmeßstelle in die Leckkontrollleitung ein und ließ den Druck routinemäßig einmal je Schicht ablesen und protokollieren. Die Leckrate wurde in Abschaltphasen des Reaktors wiederholt überprüft. Dabei zeigte sich, daß sich das Leck nicht nennenswert veränderte.

Leck am Stahlmantel der wassergekühlten thermischen Abschirmung

Etwa 3 Jahre nachdem das Leck am Rohrkorb der wassergekühlten thermischen Abschirmung des FR 2 aufgetreten war, wurde erstmals im Juli 1966 kurz nach der Leistungserhöhung des Reaktors auf 44 MW bei routinemäßigen Prüfungen in der Reaktorblock-Leckwasser-Sammelleitung Wasser gefunden. Die Analyse ergab, daß es sich um Wasser aus der wassergekühlten thermischen Abschirmung handelte.

Zur Bestimmung der Lage des Lecks ging man ähnlich wie bei der Lokalisierung des Lecks im Rohrkorb der wassergekühlten thermischen Abschirmung vor. Der Rohrkorb und der Stahlmantelraum wurden entwässert, Rohrkorb und Stahlmantelraum über die Leckkontrollleitung miteinander verbunden und mit Druckluft von 0,5 atü gefüllt. Die durch das Leck im Stahlmantel entweichende Luft wurde gemessen, aber diesmal wegen der Undichtheit des Reaktorblocks nicht anhand der austretenden Luft, sondern über den nachgespeisten Luftdurchsatz. Zur Aufrechterhaltung des Überdrucks von 0,5 at mußte ein Luftstrom von rd. 5 dm³/min (im Normzustand) eingespeist werden.

Dann füllte man den Stahlmantelraum von unten langsam mit Wasser, wobei der Wasserpegel ebenfalls über einen Klarsichtschlauch nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren beobachtet wurde. Etwa 80 mm über der Mittelebene des Cores war der gesamte Luftstrom plötzlich unterbunden. Die Leckrate für Wasser von 25 °C betrug bei 0,5 at Druckdifferenz an der Leckstelle rd. 40 cm³/min.

Da in der ermittelten Leckhöhe am Stahlmantel mehrere leckverdächtige Stellen lagen, war eine Aussage über die genaue Lage schwieriger als beim Leck im Rohrkorb. Um weitere Anhaltspunkte zu gewinnen, wurde näher untersucht, wo das Leckwasser anfiel. Zu diesem Zweck mußte man zunächst die Leckleitung aus der Leckwasserauffangwanne von der Ringsammelleitung der Rohrspalte im unteren biologischen Schirm trennen (siehe Bild 2). Dabei zeigte sich, daß das gesamte Leckwasser aus der Ringleitung kam. Durch Anbohren der Rohrspalt-Stopfbuchsen erkannte man darüber hinaus, daß das Leckwasser nur in den Rohrspalten um die Not-

ablaßleitung und die D₂O-Rücklaufleitung anfiel. Diese Aussage ließ sich dadurch erhärten, daß um die Auffangwanne für Leckwasser eine grabenartige Rinne verläuft, in die am Stahlmantel herunterlaufendes Wasser tropft, und die nur von der Notablaßleitung und die D₂O-Rücklaufleitung unterbrochen ist.

Da wesentlich mehr Leckwasser aus der Stopfbuchse der D₂O-Rücklaufleitung als aus der Stopfbuchse der Notablaßleitung austrat, lag es nahe, daß das Leck am Umfang näher beim D₂O-Rücklauf als beim Notablaß sein mußte. In der ermittelten Höhe und nahe beim D₂O-Rücklauf war die am meisten leckverdächtige Stelle das eingeschweißte Fingerhutrohr für das Thermoelement zur Messung der maximalen Bleitemperatur.

Die Ursache für dieses Leck dürfte auf einen Überwachungsfehler zurückzuführen sein. Der Druck im Tankmantel war, wie aus den Protokollen nachträglich entnommen werden konnte, auf nahezu 4 atü angestiegen und dann plötzlich wieder abgefallen. Der Druckanstieg wurde deshalb nicht erkannt, weil er sehr langsam eintrat (etwa 0,03 at pro Schicht) und der als höchstzulässig erachtete Wert von 2 atü nicht deutlich genug aus dem Protokollblatt hervorging. Außerdem war die auf dem Manometer angebrachte Markierung abgefallen.

Es bestand der Verdacht, daß durch den erhöhten Druck im Mantelraum der wassergekühlten thermischen Abschirmung eine Schweißnaht, z. B. die des angeführten Fingerhutrohres zum Überwachen der maximalen Bleitemperatur, gerissen sein konnte.

Betriebliche Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des Betriebes

Während des Reaktorbetriebs verdampft das aus dem Rohrkorbleck austretende Wasser an dem über 100 °C heißen Blei und tritt als Wasserdampf durch das Leck im Stahlmantel in die Reaktorblockspalte, von wo es von der Reaktorblockspülluft abtransportiert wird. Nur bei abgeschaltetem Reaktor oder stark reduzierter Reaktorleistung kann das Wasser in flüssigem Zustand im Reak-

torblock anfallen und dann über die Leckkontrollleitungen des Reaktorblocks nachgewiesen werden. Da Leckwasser in den Reaktorblockspalten, z. B. an den Zu- und Ablaufrohren des Coretanks, Schaden verursachen könnte, stellt man die Wasserkühlung bei abgeschaltetem Reaktor und niedriger Reaktorleistung ab bzw. entwässert die Leckleitungen regelmäßig. Eventuell anfallendes Leckwasser wird auf D₂O untersucht, um einen Schaden am Coretank rechtzeitig zu erkennen.

Für die Zukunft sind Maßnahmen geplant, die es erlauben, den Kühlkreislauf mit so niedrigem Druck zu fahren, daß kein Wasser mehr aus dem Leck im Rohrkorb austritt.

Auf den Reaktorbetrieb selbst hatte auch dieses Leck keinen unmittelbaren Einfluß.

Schlußfolgerungen

Der Rohrkorb der wassergekühlten thermischen Abschirmung stellt einen großen Unsicherheitsfaktor dar. Allein schon deshalb erscheinen die Vorbereitungen für den Einbau einer neuen wassergekühlten thermischen Abschirmung gerechtfertigt.

Das Leck im Stahlmantel ist weniger bedenklich. Durch die Dichtheit des Stahlmantels wird lediglich ein „second-containment“ für das Kühlwasser gebildet. Wegen der günstigen Lage des Lecks läßt sich der Stahlmantelraum bei abgeschaltetem Reaktor nach wie vor als Leckkontrollraum nutzen. Bei voller Reaktorleistung könnte man die von der Spülluft der Reaktorspalte in Form von Dampf abgeführte Leckmenge durch Ermittlung der unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalte der ein- und austretenden Luft bestimmen. Hierauf wird aber verzichtet. Es hat sich gezeigt, daß es genügt, von Zeit zu Zeit bei abgeschaltetem Reaktor und einem bestimmten Druck im Rohrkorb das sich in der Leckkontrollleitung sammelnde Wasser zu überwachen. Bei der Auslegung, Fertigung, Fertigungsüberwachung und Abnahme einer neuen wassergekühlten thermischen Abschirmung will man die gewonnenen Erfahrungen nutzen.

Schaden am Coretank des FR 2

Der Coretank des FR 2 ist ein stehender zylindrischer Behälter aus Aluminium mit einem unteren ebenen Boden, Bild 5. Den oberen Abschluß bildet der Reaktordeckel. Unterhalb des oberen Auflageflansches ist ein Wellkompensator im Mantel zur Aufnahme der Wärmedehnungen eingeschweißt. Im Mittelteil des Tankmantels sind für die Experimentierkanäle horizontal drei durchgehende Rohre und zehn Fingerhutrohre verschiedener Länge und unterschiedlichen Durchmessers eingeschweißt.

Der Tankboden enthält fünf eingeschweißte Rohrstutzen; einen für den durchgehenden vertikalen zentralen Experimentierkanal, zwei für die beiden D₂O-Zuläufe, einen für den D₂O-Rücklauf und einen für den Notablaß. Die Tankrohrstutzen aus korrosionsbeständigem Stahl für die D₂O-Zuläufe und -Rückläufe sowie den Notablaß sind mit den entsprechenden D₂O-Kreisläufen über eine Alu-Stahl-Flanschverbindung gekuppelt. Oberhalb des Tankbodens befindet sich der Kühlwasserverteilerboden aus

Werkstoff Nummer 1.4571, der mit zwei Rohrstützen in die beiden entsprechenden Tankstützen für den D₂O-Zulauf ragt, gegen die er durch Spaltdichtung abgedichtet wird. Durch das D₂O-Notablaßrohr führt das wesentlich kleinere D₂O-Überlaufrohr.

Leck an einem horizontalen Tankrohr

Im November 1967 gab die Abnahme des D₂O-Standes im Überlaufbehälter des Forschungsreaktors Anlaß zur Dichtheitsprüfung des D₂O-Systems. Da an keiner D₂O-Leckkontrollstelle D₂O gefunden wurde, verstärkte sich der Verdacht, daß der Coretank selbst ein Leck haben müsse, durch das D₂O in dampfförmiger Phase mit der Spülluft des Reaktorblocks entweichen kann. Tatsächlich enthielten die aus einem Teilstrom der Reaktorblock-Abluft ausgefrorenen Wasserproben einen D₂O-Gehalt von rd. 13%. Daraufhin wurde der Reaktor abgeschaltet und die Spülluft der Reaktorblockspalte abgestellt. Das sich jetzt in den Leckleitungen des Reaktorblocks sammelnde D₂O bestätigte die Undichtheit des Coretanks.

Als erstes galt es, die Lage des Lecks zu ermitteln und die Frage zu klären, ob der Schaden behoben werden kann. Die Messung der Leckrate bei verschiedenen Höhen des D₂O-Standes im Coretank ermöglichte die Bestimmung der Größe und der Höhenlage des Lecks. Unter Betriebsbedingungen drangen rd. 700 cm³/h D₂O durch das Leck, dessen Lage in Höhe der unteren Hälfte der oberen horizontalen Tankrohre sein mußte.

Nach Ausbau der Brennelemente und Einstellen des D₂O-Spiegels im Core wenig über der ermittelten Höhenlage des Lecks war es möglich, dieses bei geringem Luftüberdruck in den Reaktorblockspalten durch aufsteigende Luftblasen mit Hilfe eines Endoskops und einer eigens hierfür entwickelten Corebeleuchtung zu erkennen. Die Schweißnaht der Kappe eines bis ins Core ragenden Fingerhutrohres (C1-Kanal) war undicht.

Bei dem Versuch, den Schaden zu beheben, stellten sich bald Schwierigkeiten ein. Das Leck war nur durch meterlange, enge Bohrungen durch

die Reaktordeckel oder den betroffenen Experimentierkanal erreichbar. Der komplizierte und zeitraubende Abbau der Reaktordeckel wäre unzweckmäßig gewesen, da die Abschirmung wegen der hohen Aktivität des Verteilerbodens aus korrosionsbeständigem Stahl im Coretank unbedingt erforderlich war. Im Coretank wurde bei abgesenktem D₂O-Pegel eine Dosisleistung von mehr als 5000 r/h gemessen. Eine beruflich strahlenexponierte Person darf aber in einem Zeitraum von 13 aufeinanderfolgenden Wochen höchstens 3 rem ausgesetzt werden. Nur wenn es zwingend geboten erscheint, etwa um eine erhebliche Störung des Reaktorablaufs oder eine Gefährdung von Personen beseitigen zu können, ist einmal im Leben eine Einzeldosis von mehr als 3 rem bis zu 12,5 rem zulässig. Alle Operationen mußten also über Fernbedienungswerkzeuge und Seilzüge bei Beobachtung durch Endoskope und Fernsehkameras vorgenommen werden. Hieraus erklärt sich auch die nicht ganz einwandfreie Qualität der Bilder von der Leckstelle, da diese ebenfalls durch das über 6 m lange Endoskop aufgenommen wurden. Um von der Luftseite das Leck beobachten zu können, waren zunächst der mit Experimentiereinrichtungen umbaute Reaktorblock an der Stelle des schadhaften Experimentierkanals (C1-Kanal) freizumachen und dann die Experimentierkanaleinbauten (Luftumlenkrohr und Seelenrohr) auszubauen. Die Verweilzeit vor dem geöffneten Kanal mußte wegen der Strahlenbelastung am Austritt aus dem biologischen Schirm bei abgesenktem D₂O-Spiegel von etwa 1 r/h auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Beseitigung des Schadens

Die auf der Luftseite stark oxydierte und zerklüftete Leckstelle ließ es unmöglich erscheinen, das Leck fernmanipuliert, z. B. mit Hilfe elektromagnetisch angezogener Pendelelektroden, zu verschweißen. Um kein Risiko einzugehen und nicht unnützlich Zeit zu vergeuden, wurden zeitraubende Schweißversuche aufgegeben und alle Kräfte auf das Verschließen des Tankrohres mit einem Dichtstopfen konzentriert.

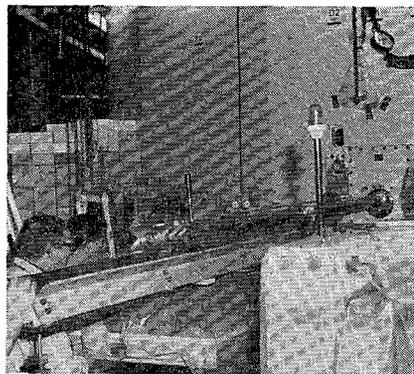


Bild 7. Einbau des Dichtstopfens mit Hilfe der Einbauvorrichtung

Diese Lösung ermöglichte gleichzeitig die äußerst wertvolle metallographische Untersuchung der Schadensstelle, da diese bei Verwendung eines Dichtstopfens gekappt und nach Ausschleusung aus dem Coretank verschiedenen Untersuchungen zugeführt werden konnte. Die Schadensursache ließ sich dadurch später auch eindeutig klären. Die Untersuchungen erbrachten wertvolle Hinweise für die Auslegung und Fertigung eines neuen Coretanks und rückten leider auch das Auftreten weiterer ähnlicher Lecks am eingebauten Coretank näher in den Bereich des Möglichen.

Einbau des Stopfens

Verschiedene Ausführungsformen von Dichtstopfen wurden diskutiert und die im Bild 6 gezeigte bis zur Einbaureife entwickelt. Alle Arbeiten wurden zuvor an einer Kanalimitation in der Vorbereitungshalle für Experimente der Abteilung Reaktorbetrieb und Technik erprobt.

Um den Dichtstopfen einbauen zu können, mußte zuvor eine Muffe des Experimentierkanals im biologischen Schirm ausgebohrt werden, da ihr lichter Durchmesser kleiner als der Tankrohr-Innendurchmesser war.

Die gleiche Bohrvorrichtung diente dazu, um mit Schneidmessern das Tankrohr abzuschneiden und nach einem Austausch dieser gegen Walzrollen die Schnittkante zurückzurollen. Zum Versteifen der dünnen Rohrwandung des Tankrohrstützens (5 mm) wurde über diesen eine vorher durch die Notablaßleitung in den Coretank eingeschleuste Muffe aufgeschoben. Diese Arbeit war, wie auch das Ausschleusen des abgeschnittenen Tankrohres mit Hilfe von Seilen und Spreizwerkzeugen, unvorstellbar mühsam.

Der Einbau des Dichtstopfens erforderte eine besondere Einbauvorrichtung, um den Versatz zwischen Tankrohrachse und Kanalachse im biologischen Schirm sowie ihre schiefwinklige Lage auszugleichen, Bild 7.

Die Dichtfläche im Grund des Rohrstützens war trotz einer Reinigung durch Bürsten und Schaben rau und mit Furchen durchsetzt. Versuche an

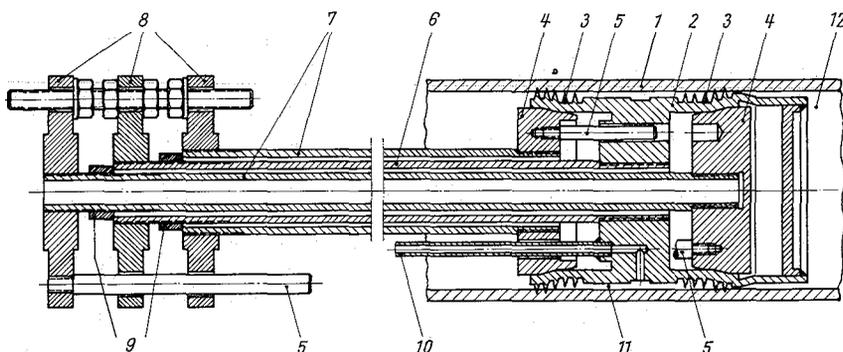


Bild 6. Längsschnitt durch den Dichtstopfen mit Gestänge

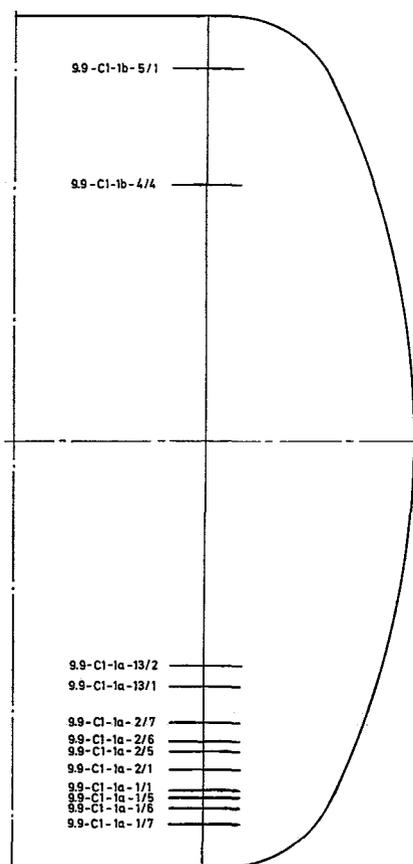


Bild 8. Schnittplan für Schlitze durch die Schweißnaht der Tankrohr-Kappe des C1-Kanals (unten Schadensstelle)

künstlich geätzten und genarbtten Rohren hatten aber gezeigt, daß der entwickelte Stopfen solche Oberflächen abdichten konnte. Zwischen den Dichtkammern auf der D₂O- und der Luftseite hat der Stopfen einen Leckkontrollraum, der über eine Rohrleitung, die aus dem Reaktorblock herausführt, zur Überwachung an einen Naßfühler, eine Vakuumpumpe oder eine Heliumflasche angeschlossen werden kann. Von den je fünf Dichtkammern mußten nur einer oder zwei in das Rohr eindringen, um eine ausreichende Dichtigkeit zu erzielen.

Die Leckrate hat sich an der reparierten Stelle bisher kaum geändert. Die Dichtigkeit auf der D₂O-Seite ist besser als $1 \cdot 10^{-4}$ cm³/s Helium unter Normaldruck und Normaltemperatur gegen Vakuum. $1 \cdot 10^{-4}$ cm³/s im Normzustand bedeuten rd. $3 \cdot 10^{-7}$ cm³/s D₂O im Normzustand oder rd. 1 cm³ D₂O im Jahr unter Betriebsbedingungen bei Anschluß an einen Naßfühler. Über die Lebensdauer der Dichtung läßt sich heute allerdings noch keine Aussage machen. Auswechselbar ist sie nicht.

Da sich der Strahlenschieber des Kanals wegen des Stopfengestänges nicht mehr schließen ließ, war ein mehrteiliger Strahlenabschirmstopfen um das Gestänge erforderlich. Die noch verbleibenden Spalten wurden durch einen Beamcatcher abgeschirmt.

Der Kanal ist für die Durchführung von Experimenten nicht mehr geeignet. An seiner Stelle wird jetzt ein Kanal benutzt, der zuvor aus Platzgründen nicht zugänglich war. Der Reaktor konnte nach erfolgreichem Abschluß der Reparaturarbeiten bereits am 31. 12. 1967 wieder in Betrieb genommen werden. Einschließlich der bis zur Entdeckung des Lecks ausgelaufenen D₂O-Menge gingen insgesamt 785 kg D₂O unwiederbringlich verloren. Keiner der eingesetzten Mitarbeiter war während der Reparatur einer nennenswerten Strahlenbelastung ausgesetzt.

Untersuchung der Schadensursachen

Das abgeschnittene und aus dem Core-tank ausgeschleuste Tankrohr wurde in einer Heißen Zelle in Teilstücke zerlegt und gründlichen metallographischen und metallurgischen Untersuchungen unterzogen.

Während die chemischen Analysen keine schädlichen Verunreinigungen zutage förderten und die mechanischen Festigkeitswerte keine anomalen Veränderungen aufwiesen, deckten die metallographischen Untersuchungen Fertigungsfehler auf, durch die das Leck entstehen konnte.

Es ließ sich eindeutig beweisen, daß die Kappe des Tankrohres bei der Fertigung auf das rechteckovale Tankrohr vor allem an den Ecken versetzt aufgeschweißt wurde. Dabei entstand sowohl innerhalb als auch außerhalb des Rohres ein Absatz, der außen abgeschliffen wurde.

Durch den Versatz und das Nachschleifen wurde die Wanddicke stellenweise auf weniger als 2 mm geschwächt, während der Sollwert für das Rohr $4 \pm 0,24$ mm und für die Kappe $5 \pm 0,24$ mm betrug. Durch das Nachschleifen der Schweißnaht entstanden Quetschalten, von denen die Risse ausgingen, die zu den aufgetretenen Lecks geführt haben. Eindrucksvoll zeigen dies die Schnitte durch die Schweißnaht der Kappe des Tankrohres, Bild 8 und 9.

Schlussfolgerungen

Die bei der Klärung der Schadensursache gewonnenen Erkenntnisse rechtfertigen voll und ganz den Arbeitsaufwand. Es stellte sich heraus, daß das an einem horizontalen Tankrohr aufgetretene Leck von einem Fertigungsfehler herrührte, der sich jedoch bei der Neuanfertigung eines Coretanks vermeiden läßt. Für einen eventuell notwendigen Tankwechsel am FR 2 sowie zur Bereitstellung von Hilfsmitteln für Reparaturen am Reaktorblock können diese Erfahrungen ebenfalls von Vorteil sein. Die Wahrscheinlichkeit eines Tankwechsels ergibt sich dadurch, daß der Coretank zwei weitere Tankrohre in der gleichen Ausführung wie das schadhafte enthält (C2- und C3-Kanal) und bis jetzt nicht bekannt ist, ob sich eventuelle

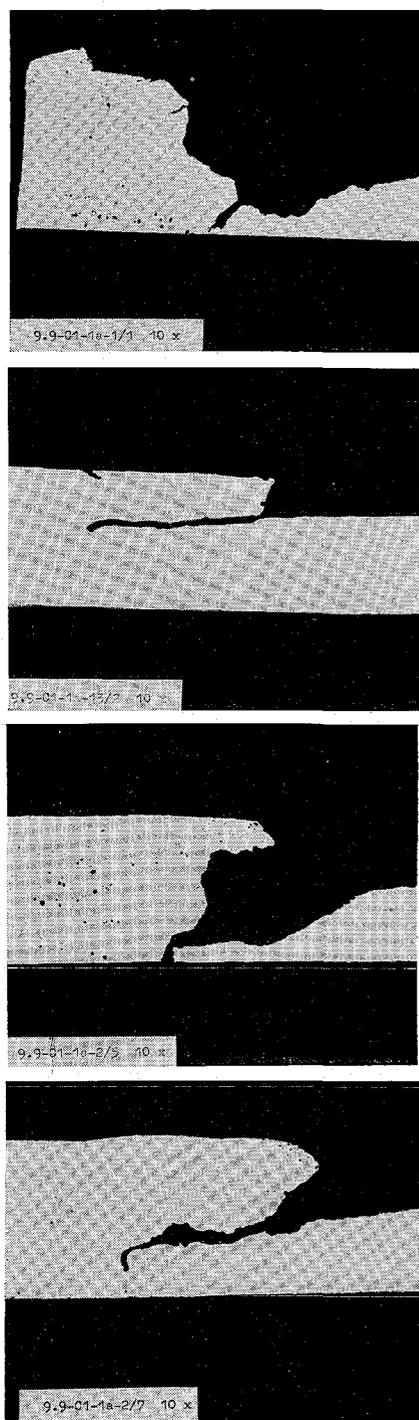


Bild 9. Schnitte durch die Schweißnaht im Bereich der Schadensstelle
Luftseite jeweils oben und D₂O-Seite unten

Schäden durch eine Reparatur beheben lassen.

In diesem Zusammenhang ist vielleicht interessant, daß auch das am „Downreay Fast Reactor“ aufgetretene Leck von einem Versatz in einer Stumpfschweißnaht herrührte. (Location and repair of the DFR leak by R. R. Matthews and K. J. Herry, U. K. AEA, Downreay, Nuclear Engineering, October 1968.) TÜ 695

Bilder: Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe

DK 621.039.586:621.039.572:614.7/8