

KfK 4149
Dezember 1986

Regelbare Bestrahlungseinrichtungen für den KNK II-Reaktor

L. Schmidt, H. Lehning, K. Müller, G. Reimann
Institut für Material- und Festkörperforschung
Projekt Schneller Brüter

Kernforschungszentrum Karlsruhe



Kernforschungszentrum Karlsruhe
Institut für Material- und Festkörperforschung

Projekt Schneller Brüter

KfK 4149

Regelbare Bestrahlungseinrichtungen für den
KNK II-Reaktor

L. Schmidt, H. Lehning, K. Müller, G. Reimann

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

Z u s a m m e n f a s s u n g :

Im KNK II-Reaktor im Kernforschungszentrum Karlsruhe werden in fünf Kernpositionen Materialbestrahlungsexperimente durchgeführt. Zwei Positionen besitzen Durchbrüche im Reaktordeckel für Meß- und Versorgungsleitungen und sind daher für instrumentierte Testeinsätze geeignet. Es handelt sich um die zentrale Core-Position, in der mit Hilfe eines speziellen Trägerbrennelementes ein Bestrahlungskanal geschaffen wurde, und um die Reflektorposition 511 in der fünften Elementreihe.

Für die Zentralposition wurde eine Bestrahlungseinrichtung entwickelt, in der gleichzeitig acht elektrisch beheizte Druckrohrproben bestrahlt werden können. Die Testbedingungen, wie Temperatur und Innendruck, sind für jede Probe stationär oder dynamisch individuell einstellbar.

Für die Reflektorposition steht ein Testeinsatz zur Verfügung, in dem Materialproben in elektrisch beheizten Kapseln bestrahlt werden. Ein weiterer Testeinsatz dient zur in-pile-Erprobung von Schaltern für ein Reaktorschutzsystem.

Die besonderen Handhabungsmöglichkeiten am Reaktor machen einen recht komplizierten Aufbau der Testeinsätze erforderlich. Im Herbst 1984 wurde mit den Bestrahlungsexperimenten begonnen. Es gab bisher keine nennenswerten Störungen.

Controllable Irradiation Facilities for KNK II

A b s t r a c t :

Material irradiation experiments are being performed at five core positions of the KNK II reactor at the Karlsruhe Nuclear Research Center. Two positions have been provided with penetrations in the reactor lid for measurement and supply lines and, therefore, they are suited to accommodate instrumented test rigs. These are the central core position at which an irradiation channel has been realized with the help of a special carrier fuel element, and the reflector position 511 in the fifth element row.

For the central position an irradiation rig has been developed in which eight electrically heated pressure tube specimens can be irradiated simultaneously. The testing conditions such as temperature and internal pressure can be adjusted individually for each specimen in a steady-state or dynamic mode.

For the reflector position a test rig is available in which the material specimens are irradiated in electrically heated capsules. Another test rig serves for in-pile testing of switches to be used in a reactor protective system.

The particular means of manipulation existing at the reactor call for a rather sophisticated layout of the test rigs. The in-pile experiments started in autumn 1984. No noticeable incidents have so far occurred.

<u>Inhaltsverzeichnis:</u>	<u>Seite</u>
1 Einleitung	1
2 Bestrahlungsmöglichkeiten	1
3 Bestrahlungseinrichtungen	5
3.1 Druckrohrtesteinrichtung auf Zentral- position	5
3.2 Bestrahlungseinsätze für die Reflektor- position 511	13
4 Meß- und Versorgungsanlagen	18
5 Betriebserfahrungen	22
6 Schlußbemerkung	23
Literaturhinweise	24

1 Einleitung

Für die Entwicklung von geeigneten Hüll- und Kernstrukturwerkstoffen für den kommerziellen Schnellen Brutreaktor mit hohen Abbränden sind Materialbestrahlungsexperimente unerlässlich. Aber auch bei den Entwicklungsarbeiten zum Fusionsreaktor gewinnen sie zunehmend an Bedeutung.

Seit Mitte 1983, mit Betriebsbeginn der zweiten Kernladung, nutzen wir den KNK II-Reaktor (Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage mit schnellem Kern im Kernforschungszentrum Karlsruhe) für Materialbestrahlungsexperimente. Sie fingen an mit nichtinstrumentierten Proben in einem Materialtestelement auf einer Reflektorposition und Materialproben in Probenstäben, die anstelle von Brennstäben in Brennelemente assembliert sind. Im Spätjahr 1984 wurde dann mit den instrumentierten Materialbestrahlungsexperimenten begonnen. Mittlerweile sind fünf Kernpositionen mit Materialbestrahlungseinrichtungen besetzt, zwei davon sind instrumentiert.

Es waren zum Teil erhebliche Anstrengungen notwendig, um geeignete Experimentiermöglichkeiten zu schaffen, da bei Planung und Bau des Versuchskernkraftwerkes KNK II die Erprobung dieser natriumgekühlten Reaktoranlage und das Testen von Brüterbrennelementen im Vordergrund standen.

Die zum Teil recht aufwendigen und komplizierten Bestrahlungseinrichtungen werden im Kernforschungszentrum Karlsruhe entwickelt und bereitgestellt. Da es sich hier um Kernbauteile handelt, unterliegen sie den gleichem umfangreichen Genehmigungsverfahren seitens der zuständigen Landesbehörden wie z.B. die Brennelemente.

2 Bestrahlungsmöglichkeiten

Der Reaktor hat eine thermische Leistung von 58 MW und eine elektrische Leistung von 20 MW. Das Neutronenenergiespektrum ist relativ hart, der maximale totale Neutronenfluß beträgt etwa 2×10^{15} n/cm²s und der schnelle Fluß ($E > 0,1$ MeV) etwa $1,6 \times 10^{15}$ n/cm²s. Die Kühlmiteleintrittstemperatur ist 360 °C und die Aufheizspanne über die Brennelemente ca. 200 K. Der

Reaktorkern, Abbildung 1, besteht aus der inneren Testzone mit sieben $(U+Pu)O_2$ -Brennelementen, der Treiberzone mit 22 UO_2 -Brennelementen und der äußeren Reflektorzone. Sektorial an die Treiberzone schließen sich fünf Brutelemente an. Die Regel- und Abschaltssysteme sind in die Treiberzone integriert. Der mittlere aktive Kerndurchmesser ist 824 mm und die aktive Kernhöhe 600 mm.

Vier Kernelementpositionen sind über Öffnungen im Reaktordeckel während des Betriebes von außen für Meß- und Versorgungsleitungen zugänglich. In diese Positionen können vollinstrumentierte und regelbare Versuchseinsätze installiert werden. Es handelt sich um die Zentralposition, die Reflektorposition 511 in der fünften Elementreihe und zwei Reflektoreckpositionen, Position 621 und 626 in der sechsten Reihe. Für Materialbestrahlungsexperimente werden die Zentralposition und die Reflektorposition 511 genutzt, wobei die Zentralposition die begehrteste ist, weil sie den höchsten Neutronenfluß hat.

In Abbildung 2 ist ein Längsschnitt durch den Reaktor mit eingebauten Bestrahlungseinsätzen dargestellt. Der Abstand von der Kernmitte bis zur Oberkante des Reaktordeckels beträgt 6755 mm und der Durchmesser der Deckelöffnungen liegt für die Zentralposition bei ca. 150 mm und für die Reflektorpositionen bei ca. 100 mm.

Die Betriebsweise des Reaktors sieht im allgemeinen jährlich etwa zwei gleich lange Bestrahlungszyklen vor, mit einer längeren betriebsbedingten Abschaltphase Mitte des Jahres und einer kürzeren im Spätherbst.

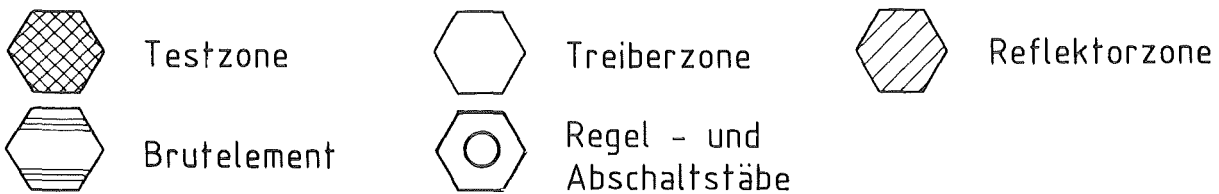
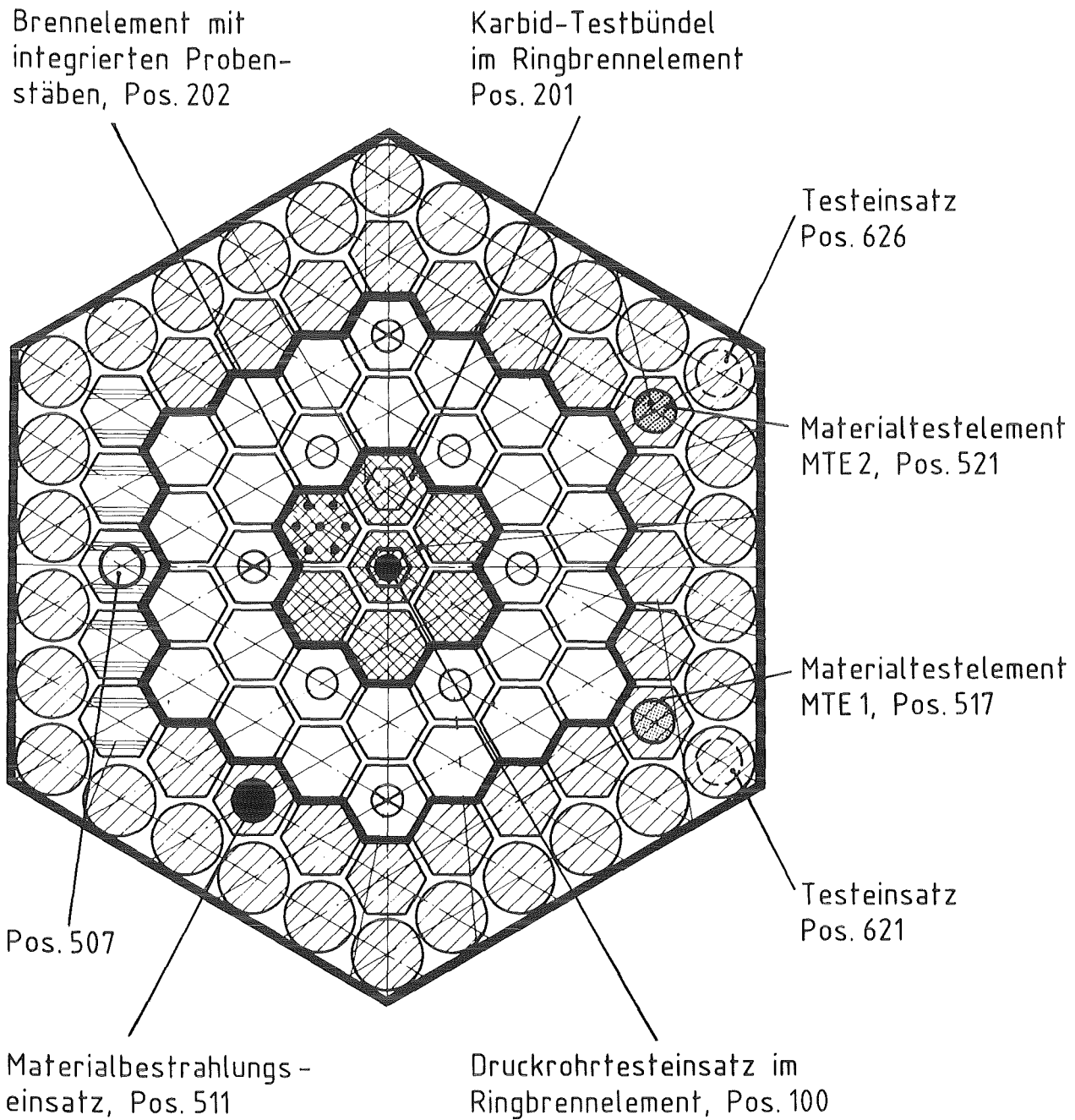


Abb. 1 KNK II - Reaktor mit Bestrahlungsexperimenten

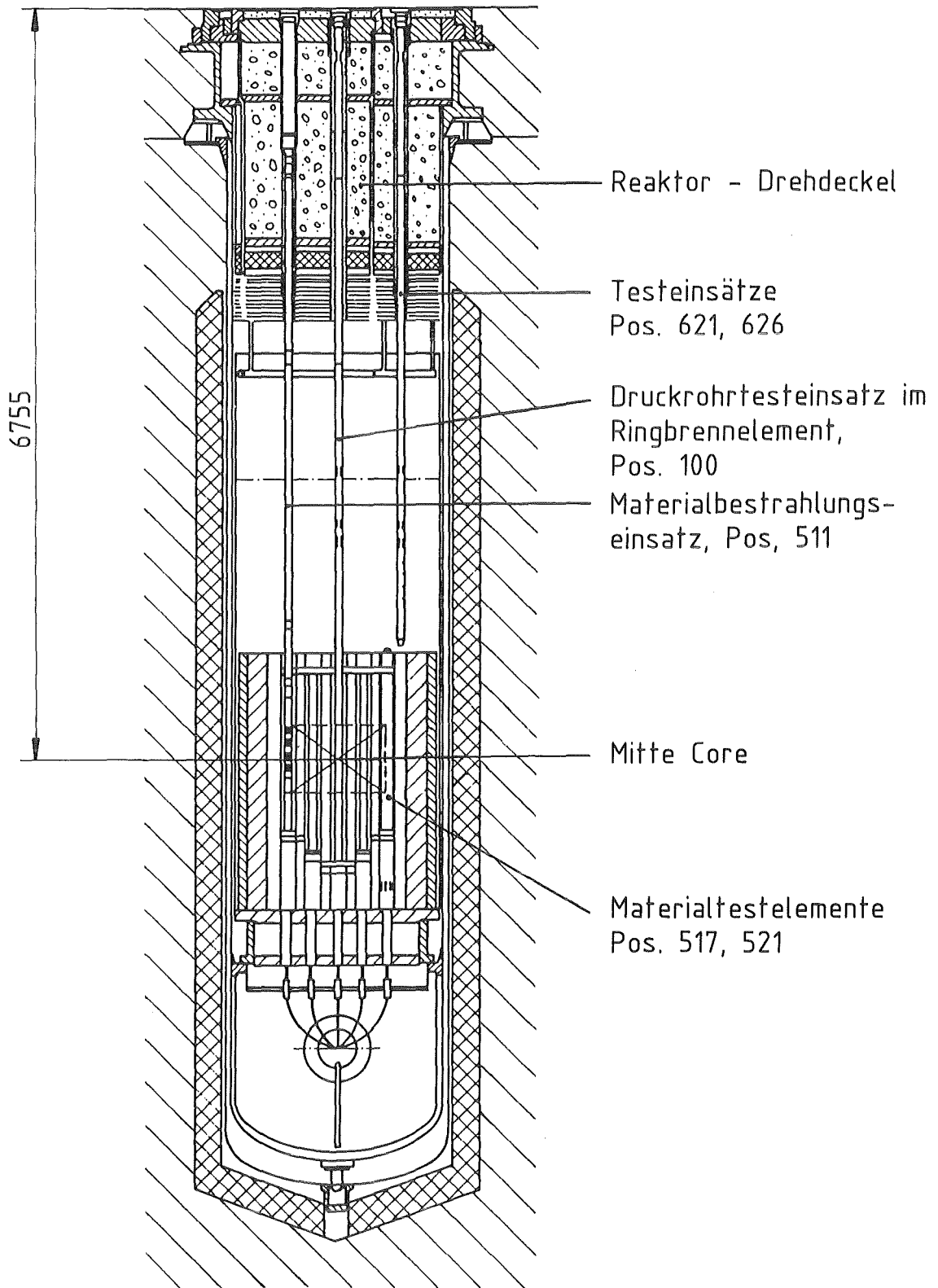


Abb. 2 KNK II - Reaktor - Längsschnitt mit Bestrahlungseinsätzen

3 Bestrahlungseinrichtungen

3.1 Druckrohrtesteinrichtung auf Zentralposition

Das anspruchsvollste Materialbestrahlungsvorhaben in der KNK II ist die Druckrohrtesteinrichtung auf der Zentralposition. Es ist eine vollinstrumentierte Bestrahlungseinrichtung, in der acht Rohrproben gleichzeitig bei elektrisch sehr genau geregelten Temperaturen unter Innendruckbelastung bestrahlt werden können. Die Versuche dienen zur Untersuchung des bestrahlungsinduzierten Kriechens und zur Ermittlung der in-pile Zeitstandfestigkeit.

Der erforderliche Bestrahlungskanal wird mit Hilfe eines speziellen ringförmigen Trägerbrennelementes geschaffen. Das Element, in Abbildung 3 dargestellt, ist aus Reaktivitätsgründen notwendig. Es ist mit 108 Brennstäben beladen. Die Schlüsselweite des hexagonalen Bestrahlungskanals beträgt 32 mm, und der nutzbare Durchmesser für Testeinsätze ist 25 mm.

Abbildung 4 zeigt schematisch den Reaktoreinsatz in seiner Bestrahlungsposition. Der untere Teil, die fingerhutförmige Teststrecke, beherbergt die acht Druckrohrproben. Der obere Teil des Einsatzes, beginnend am Kopf des Ringbrennelementes, ist sehr massiv ausgeführt und nimmt die notwendige Strahlenabschirmung und thermische Isolierung auf. In ihm befinden sich außerdem die Kupplungs- und Anschlußteile für die Meß- und Versorgungsleitungen.

Die Teststrecke hat einen Durchmesser von 25 mm und das Einsatzoberteil von 112 mm. Im konischen Übergang zwischen Teststrecke und Einsatzoberteil sind zehn Thermolemente untergebracht, mit denen die Kühlmittelaustrittstemperatur des Ringbrennelementes gemessen wird. Sie sind auf das Reaktorsicherheitssystem geschaltet.

Die Gesamtlänge des Einsatzes ist auf 6 m begrenzt, weil die Wechseleinrichtungen an der KNK keine längeren Bauteile aufnehmen können. Bei einem Abstand von 7 m zwischen Teststreckenende und Reaktordeckel-Oberkante ist daher noch ein sogenannter Verlängerungsstopfen notwendig, um den Einsatz im Deckel zu befestigen. An der Trennstelle innerhalb des

Deckelbereiches müssen auf begrenztem Raum bei einem Durchmesser von ca. 110 mm alle Meß- und Versorgungsleitungen gasdicht aus dem Einsatz herausgeführt werden. Es sind dies: 34 zweiadrige Thermoelementkabel, 16 Heizerkabel und zehn Gasleitungen. In Abbildung 5 sieht man die Trennstelle während der Montagearbeiten. Die Betriebstemperatur in diesem Bereich beträgt ca. 120 °C.

Der Einsatz ist mit Helium von 1 bar Überdruck gefüllt und mit Sicherheitsventilen ausgerüstet, die bei 2 bar Überdruck ansprechen.

Der Verlängerungsstopfen dient auch zur Abschirmung und ist beidseitig mit elektrischen Steckverbindungen und Gaskupplungen versehen für den Anschluß der Leitungen an den Testeinsatz und an die Meß- und Versorgungseinrichtungen.

Die Druckrohrprobe, Abbildung 6, hat folgende typische Abmaße: 45 mm Länge und 7,6 mm Durchmesser. Jede Probe hat einen elektrischen Innenheizer und einen Druckgasanschluß, so daß die Versuchsparameter - Innendruck und Temperatur - jeweils individuell eingestellt und stationär oder dynamisch geregelt werden können. Die Probertemperaturen sind zwischen 450 und 800 °C regelbar. Die Drücke können derzeit bis 140 bar eingestellt werden, eine Anlage bis 450 bar auch für dynamische Druckbelastungen ist in Vorbereitung.

Der wendelförmige elektrische Widerstandsheizer liegt eng an der Innenwand der Rohrprobe an. Es handelt sich um einen einadrigen Miniaturmantelheizer von 1 mm Manteldurchmesser mit einer Chrom/Nickel-Heizader. Für die Stromzu- und -rückführungen werden Nickelleiter verwendet. Die Heizer wurden im KfK entwickelt und haben sich sehr gut bewährt. Die Verbindungsstellen zwischen der Heizader und den Anschlußadern sind sehr diffizil. Sie befinden sich noch im Bereich der Wendel und liegen an der Probenwand an, um die am Übergang erzeugte Wärme definiert abzuführen und schädliche Überhitzungen zu vermeiden.

Die Rohrprobe ist mit Endstopfen druckfest und gasdicht verschweißt, die gleichzeitig die exakte konzentrische Lage der Probe im Probenträger gewährleisten. Durch den unteren Endstopfen wird eine Heizeranschlußleitung

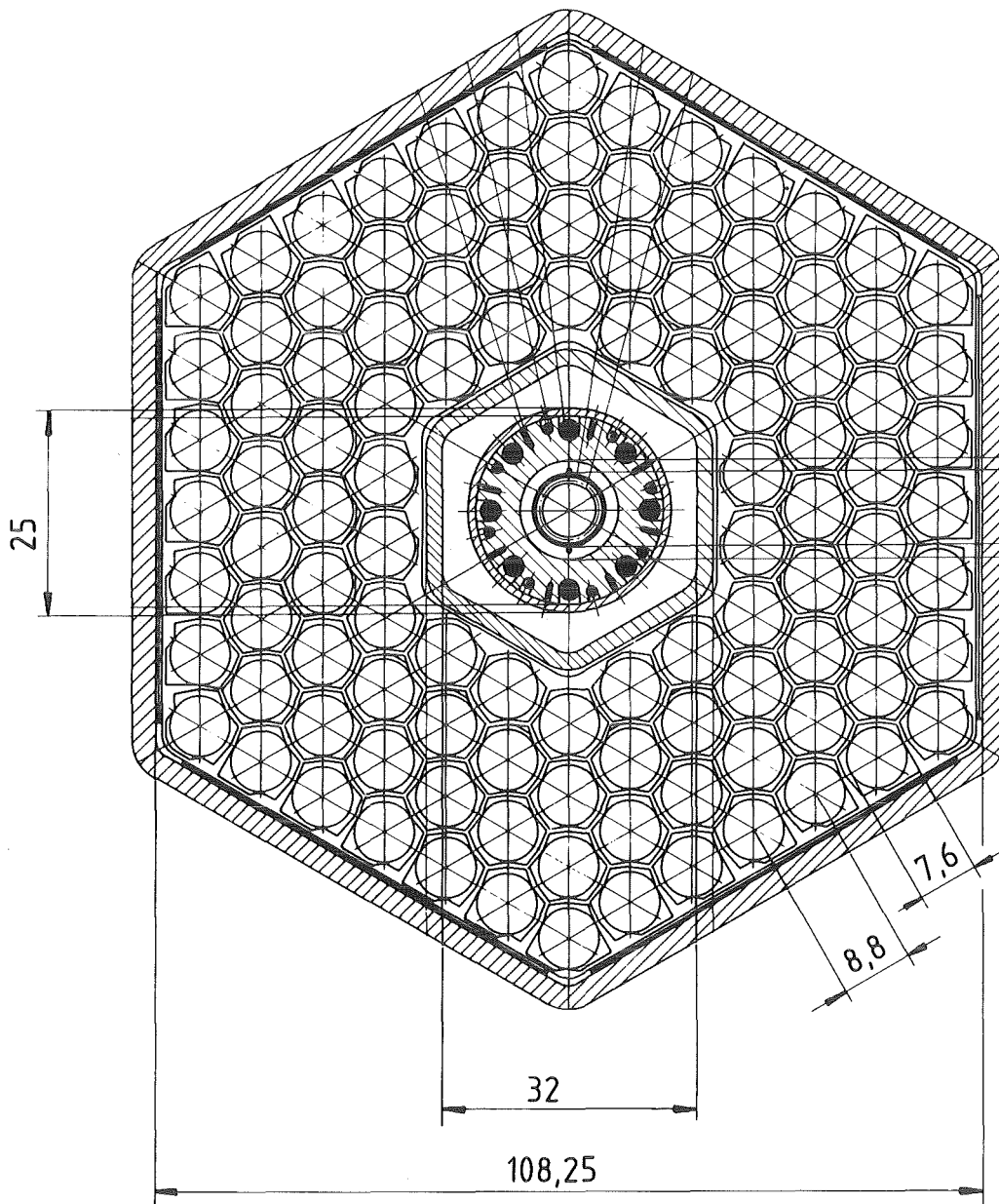
hindurchgeführt. Die andere Heizeranschlußleitung ist im Druckgasröhrchen am oberen Endstopfen verlegt. Die Heizerleitung wird über eine entsprechende Weiche im Testeinsatzoberteil von der Druckgasleitung getrennt.

Die beheizte Länge der Rohrprobe beträgt 40 mm. Durch den innigen Kontakt zwischen Endstopfen und kälterem Probenträger wird axial Wärme abgeführt. Die Endstopfen sind so ausgebildet, daß möglichst wenig Wärme abfließt. Rechnerisch wurde ermittelt und durch out-of-pile Messungen bestätigt, daß über einen Bereich von 20 mm in Probenmitte, die Abweichungen im ungünstigsten Fall bei etwa 10 K liegen. Die radialen Abweichungen wurden mit 2 K ermittelt.

Die Probentemperatur wird mit jeweils drei NiCr/Ni-Thermoelementen gemessen, deren Adern direkt auf die Rohroberfläche aufgeschweißt sind. Es wird dabei das Punktschweißverfahren angewendet. Die Schweißparameter wurden in einer umfangreichen Testserie ermittelt. Bei diesem Verfahren treten keine Schädigungen an der Probe auf, die das Versuchsziel ungünstig beeinflussen können. Zwei Thermoelemente sind in Probenmitte, um 180° am Umfang versetzt, angebracht; das dritte Thermoelement ist etwa 10 mm außerhalb der Mitte auf die Hüllrohroberfläche aufgeschweißt. Der Manteldurchmesser der MgO-isolierten Thermoelemente beträgt 0,5 mm und die Adernstärke 0,1 mm.

Als Druckgas in den Proben wird Helium verwendet. Der Ringspalt zwischen der Probe und dem Probenträger ist ebenfalls mit Helium gefüllt. Er ist so bemessen, daß sich das Probenrohr bis zu einer Umfangsdehnung von ca. 9 % frei verformen kann. Die Probenträger, Abbildung 7, besitzen außen Längsnuten zur Aufnahme der Meß- und Versorgungsleitungen.

In den Proben stellt sich bei Reaktorbetrieb eine Grundtemperatur ein, die sich ergibt aus der Kühlmitteltemperatur und der Gamma-Heizung. Sie steigt von 400 °C an der unteren Probe auf etwa 540 °C an den oberen Proben an. Niedrige Bestrahlungstemperaturen im Bereich zwischen 400 und 550 °C, wie sie z.B. für die Fusionswerkstoffe gewünscht werden, lassen sich daher am günstigsten an den kälteren Proben elektrisch regeln.



kfk IMF III

Abb. 3 KNK II - Druckrohrtesteinsatz im zentralen 108 - Stab - Ringbrennelement

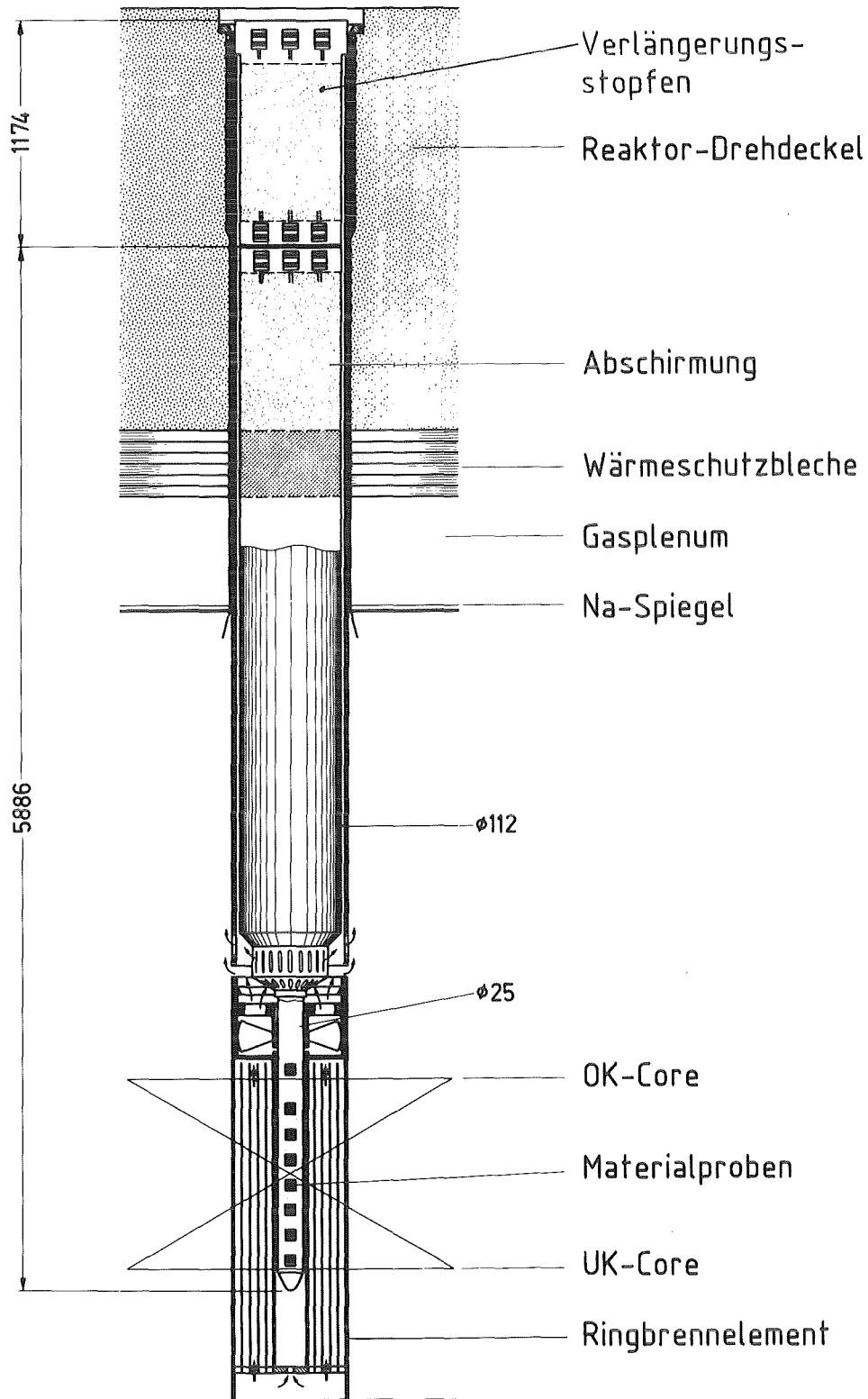


Abb. 4 KNK II - Druckrohrtesteinrichtung in Zentralposition

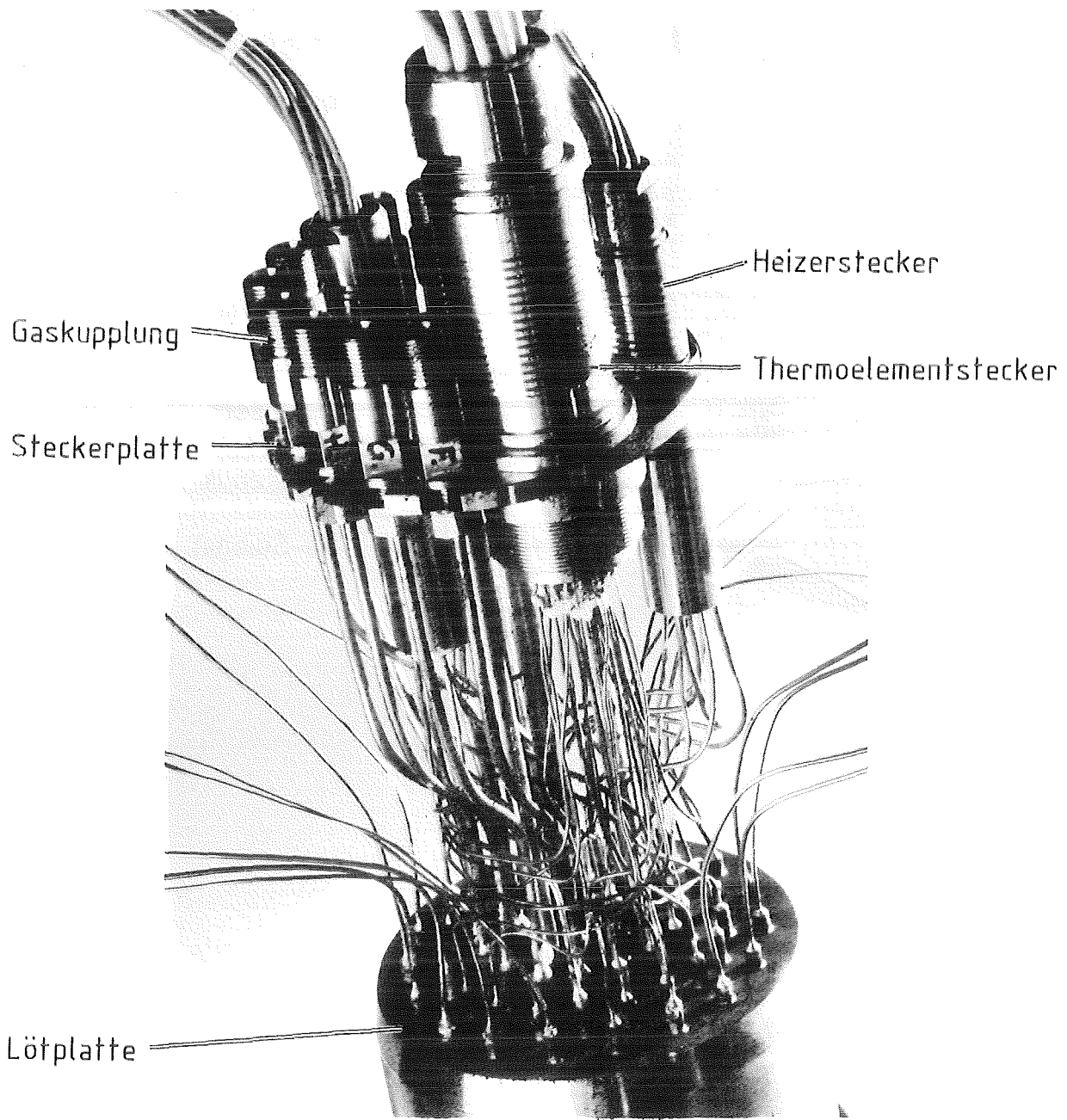


Abb. 5 Leitungsdurchführung und Anschlußkupplungen am Druckrohrtesteinsatz

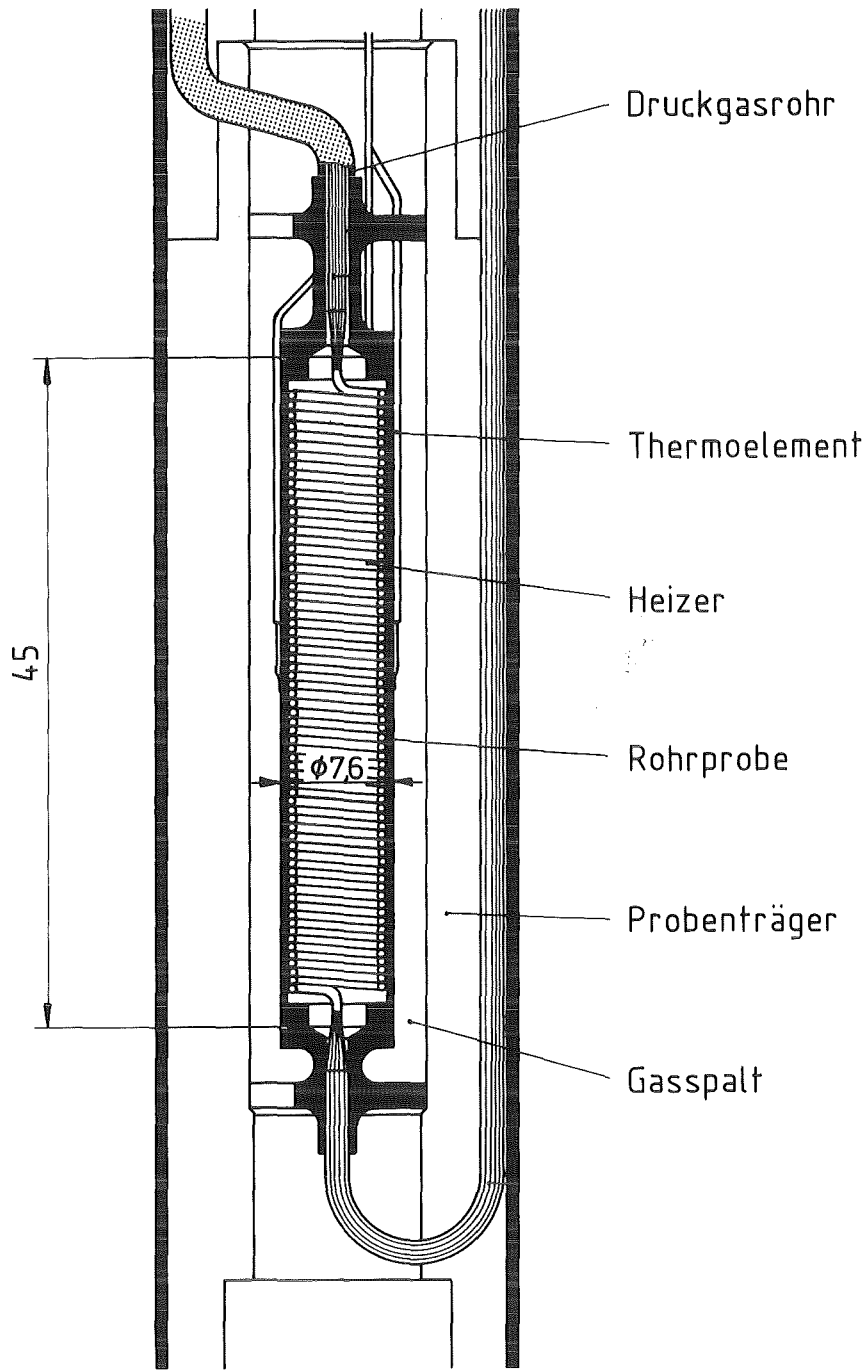


Abb. 6 Instrumentierte Druckrohrprobe

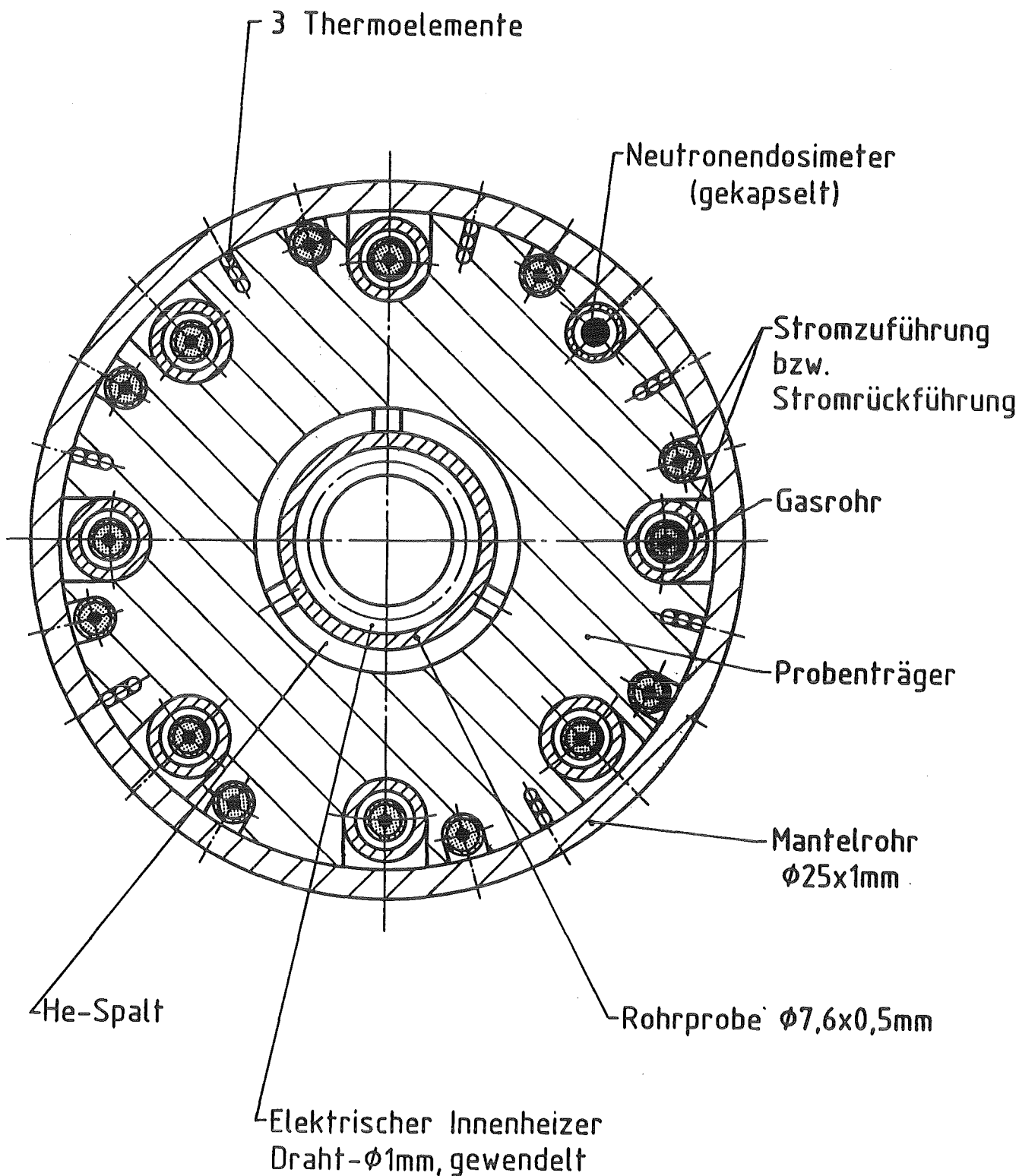


Abb. 7 Probenträger mit Meß - und Versorgungsleitungen im Druckrohrtesteinsatz

3.2 Bestrahlungseinsätze für die Reflektorposition 511

In der Reflektorposition 511 wurde durch den Einbau eines aufgebohrten Reflektorelementes ein Bestrahlungskanal geschaffen. Er erstreckt sich über die gesamte Core-Höhe und bietet im Vergleich mit der Zentralposition einen relativ großen Querschnitt für Bestrahlungseinsätze. Unterhalb der Core-Mitte hat der Kanal einen Durchmesser von 70 mm und oberhalb einen Durchmesser von 90 mm. In dieser Position werden Bestrahlungsexperimente zur SNR 300-Kerninstrumentierung, zur Entwicklung von Hüll- und Kernstrukturmaterialien und zur in-pile Erprobung von Schaltern für ein Reaktorschutzsystem durchgeführt. In der Vorplanungsphase befindet sich ein Experiment zur Untersuchung des Verhaltens von lithiumhaltiger Brutkeramik für den Fusionsreaktor im schnellen Neutronenfluß.

Der Aufbau der Bestrahlungseinsätze ist weitgehend standardisiert. Materialproben und sonstige Bestrahlungsobjekte sind im allgemeinen in instrumentierten Kapseln untergebracht. Abbildung 8 zeigt den Materialbestrahlungseinsatz, in dessen unterem Teil in zwei Ebenen je drei Kapseln mit Materialproben angeordnet sind. Der Bestrahlungseinsatz ist 6 m lang und wie beim Druckrohrtesteinsatz in der Zentralposition ist auch hier wieder für die Handhabung ein Verlängerungsstopfen notwendig. An der Trennstelle zwischen Einsatzkopf- und Verlängerungsstopfen müssen bei noch engeren Platzverhältnissen als im Druckrohrtesteinsatz die Meß- und Versorgungsleitungen aus dem Einsatz herausgeführt und an den Verlängerungsstopfen angekuppelt werden. Der nutzbare Querschnitt hat einen Durchmesser von ca. 70 mm. Beim Materialbestrahlungseinsatz sind hier 27 doppeladrige Thermoelementkabel und 24 Heizerkabel untergebracht.

Bei den Bestrahlungskapseln im Materialbestrahlungseinsatz gibt es einen kurzen Kapseltyp in der unteren Etage und einen langen Kapseltyp in der oberen Etage. Die Kapsel, Abbildung 9, hat einen Außendurchmesser von 26 mm und eine Gesamtlänge von 510 mm beim kurzen Typ bzw. 767 mm beim langen Typ. Sie besteht im wesentlichen aus der inneren Kapsel mit den Materialproben und dem äußeren Mantelrohr. Die Beheizung der Proben er-

folgt mit einem rohrförmigen elektrischen Ofen, der zwei getrennt regelbare Wendelheizer besitzt. Die Proben sind in Natrium als Wärmeträger eingebettet. Die für Temperaturmessung und -regelung erforderlichen Thermoelemente werden nach oben aus der Kapsel herausgeführt. Die Heizerschlußleitungen sind in den unteren Kapselboden eingelötet. Zwischen innerer Kapsel und Mantelrohr befindet sich ein Gasspalt, der als radiale Wärmebarriere erforderlich ist. Die axiale Verteilung der Gamma-Heizung und der Kühlmitteltemperatur sowie die Wärmefreisetzung aus den elektrischen Öfen machen es erforderlich, den Gasspalt einer jeden Kapsel entsprechend den Bestrahlungstemperaturen zu profilieren, d.h. ihn über die Kapsellänge unterschiedlich breit auszuführen. In jeder Etage wird jeweils eine Kapsel bei Proben temperaturen von 450, 550 und 650 °C bestrahlt.

Ein anderes Beispiel für eine Bestrahlungskapsel ist in Abbildung 10 dargestellt. In ihr sollen Schalter für ein Reaktorschutzsystem in-pile erprobt werden bei Bestrahlungstemperaturen zwischen 540 und 610 °C. Vom Aufbau und ihrer Funktion her ist die Kapsel vergleichbar mit den bereits beschriebenen. Aufgrund ihrer größeren Abmaße läßt sich nur eine Kapsel im Bestrahlungseinsatz unterbringen.

Die Schalter sind Curiepunkt-gesteuert, d.h. bei Überschreiten der Curie-Temperatur eines Fe/Ni-Schaltelementes wird ein elektrisches Signal ausgelöst, das später im Reaktor bei ansteigender Brennelementaustrittstemperatur das selbsttätige Abschalten des Reaktors bewirkt (ISA-Schalter, Inhärent Sicheres Abschaltsystem). Das in-pile Experiment soll zeigen, ob unter Neutronenstrahlung die Schalter ebensogut funktionieren, wie in den umfangreichen out-of-pile Versuchen.

Das in der Vorplanung befindliche Bestrahlungsvorhaben zur Untersuchung der Tritium-Erzeugungsrate in lithiumhaltiger Brutkeramik im schnellen Neutronenfluß stellt besondere Anforderungen an die Bestrahlungseinrichtung. Mehrere Probenkapseln sollen individuell temperaturgeregelt und mit Gas gespült werden, um den Einfluß der Temperatur auf die Tritium-Freisetzung zu studieren. Bisherige Überlegungen ergaben, daß in einem Testeinsatz etwa zehn Kapseln gleichzeitig bestrahlt werden können.

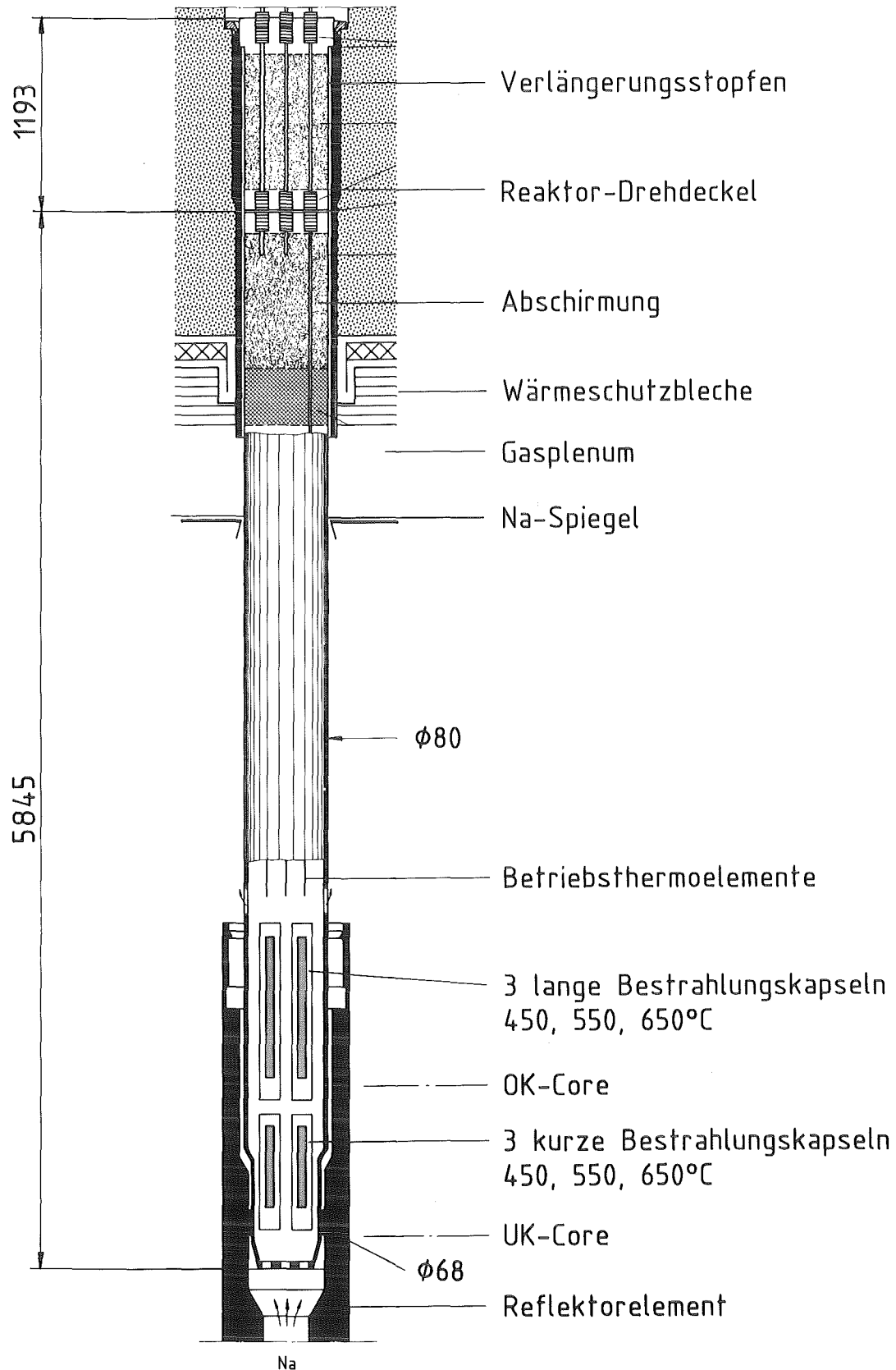


Abb. 8 KNK II - Materialbestrahlungseinsatz
in Reflektorposition

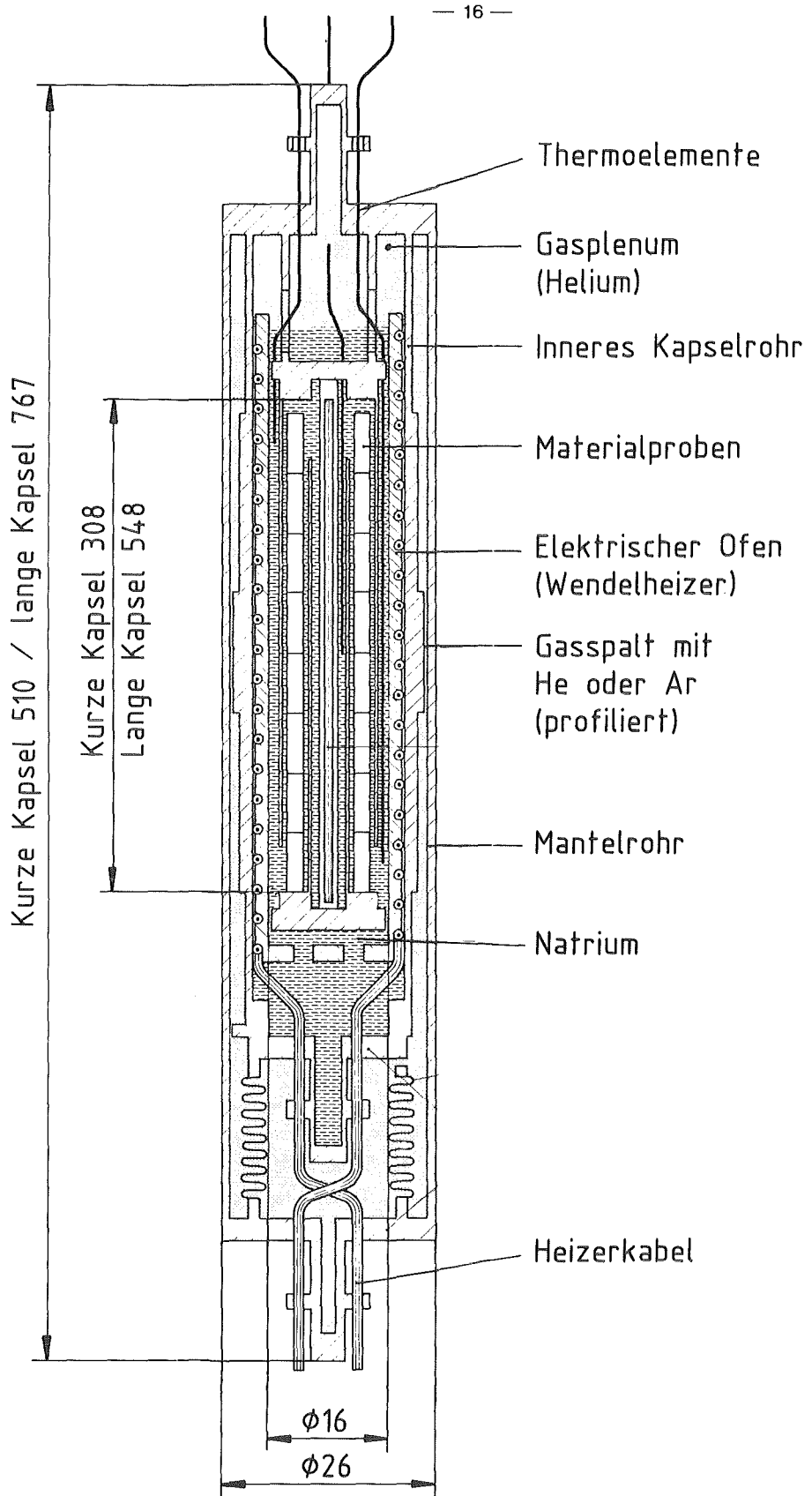


Abb. 9 Elektrisch beheizte Bestrahlungskapsel für Materialbestrahlungseinsatz

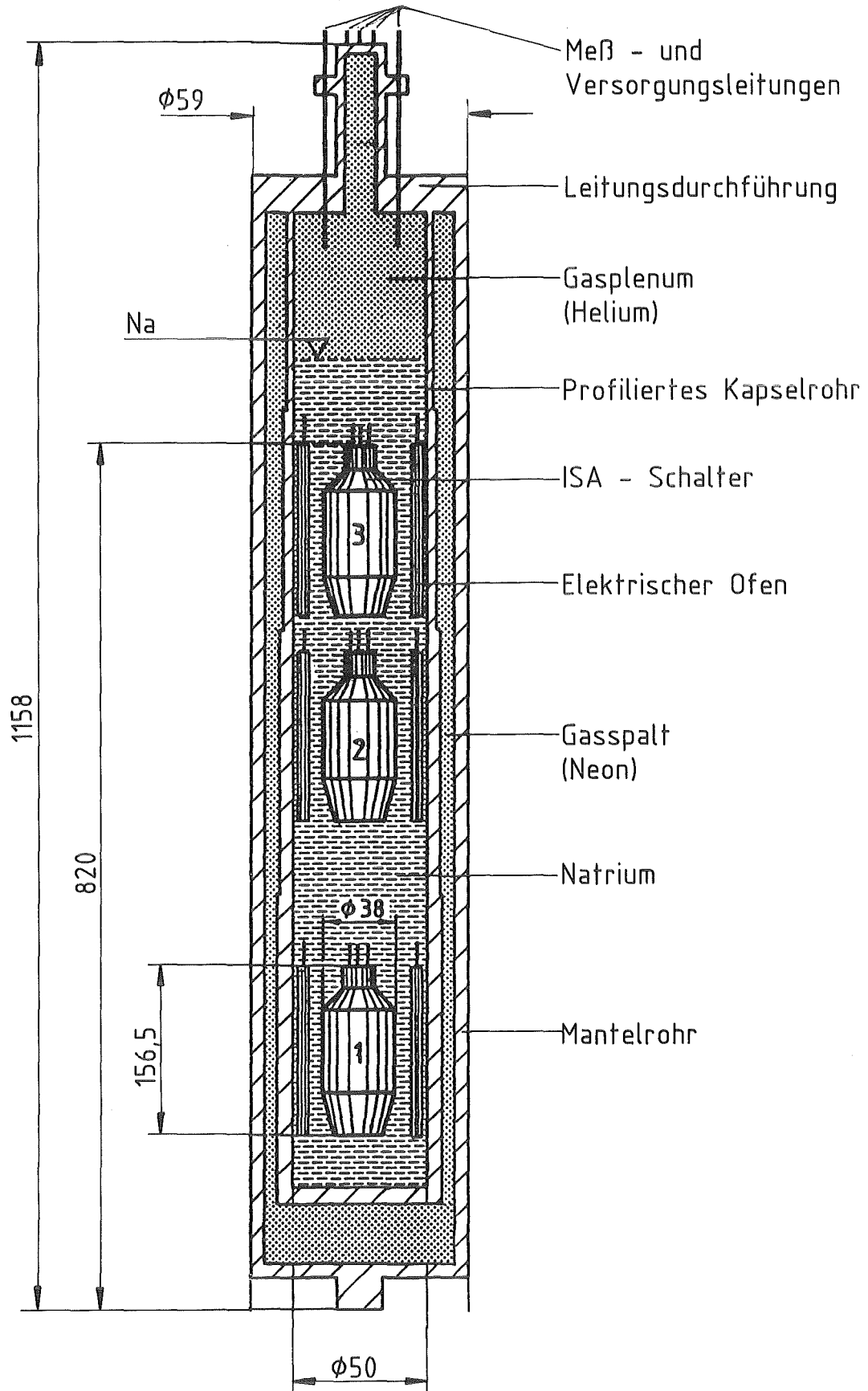


Abb. 10 Elektrisch beheizte Bestrahlungskapsel mit Curiepunkt gesteuerten Schaltern

4 Meß- und Versorgungsanlagen

Für den Betrieb der Bestrahlungseinsätze stehen folgende Meß- und Versorgungsanlagen zur Verfügung: eine Temperaturregelanlage, ein Meßdatenerfassungs- und Meßdatenüberwachungssystem sowie eine Druckversorgungsanlage.

Von den Testeinsätzen zu den Meß- und Regelschränken sind flexible, vielpolige, steckbare Thermoelement- und Heizerkabel verlegt. Als Druckgasleitungen zwischen Einsatz und Druckversorgungsanlage werden 3 mm dicke elastische Edelstahlröhrchen verwendet. Abbildung 11 zeigt einen Blick auf den Reaktordeckel mit den eingebauten Testeinsätzen und den verschiedenen Leitungen.

Die zur Zeit benutzte Druckversorgungsanlage ist von einfacher Bauart. Proben und Testeinsatz werden über Handventile einzeln gespeist. Die Anlage ist an handelsübliche Helium-Druckgasflaschen angeschlossen. Druckmessung und -überwachung erfolgt mit dem vorhandenen Meßdatenerfassungssystem.

Die Temperaturregelanlage ist mit 16 identischen Regelkreisen ausgerüstet. Acht davon werden für den Druckrohrtesteinsatz benötigt, die restlichen stehen für Bestrahlungseinsätze in der Reflektorposition zur Verfügung. Der Regelbereich liegt zwischen 20 und 900 °C, die Nennleistung beträgt 1 kW bei einer maximalen Spannung von 220 V.

Die Regelkreise werden von einer Zentraleinheit überwacht, die von einem Prozeßrechner gesteuert wird. Sie ist ausgerüstet mit Analogeingängen für alle Meßsignale und hat Analogausgänge zur Sollwertvorgabe für den Regler und Relaisausgänge zur Auswahl der Regelthermoelemente sowie zur Abschaltung der Regelkreise beim Überschreiten von Grenzwerten.

Der Prozeßrechner steuert und überwacht sämtliche Regelkreise sowie das Erfassen und die Ausgabe der Meßdaten. Die Ausgabe der Meßdaten erfolgt nach vorgegebenen Zykluszeiten und bei Überschreiten von Grenzwerten. Die Meßdaten werden auf Magnetplatten abgelegt und bei Bedarf aufbereitet und graphisch und numerisch dargestellt.

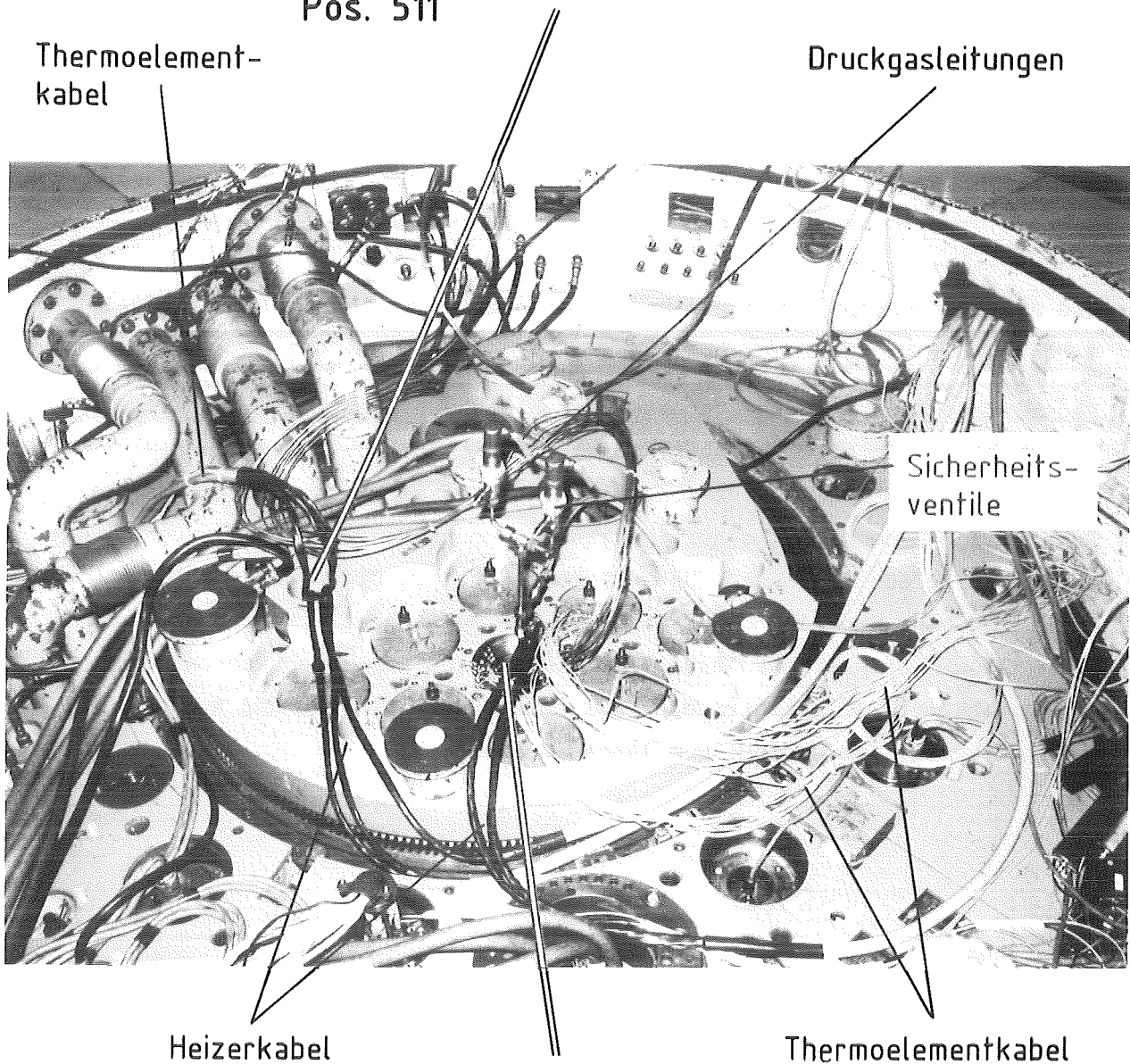
Das Blockschaltbild in Abbildung 12 soll einen Eindruck über Art und Umfang der Meßwerterfassung vermitteln. Die verfügbaren 96 Meßstellen sind wie folgt aufgeteilt:

- Temperatur	54
- Heizerspannung	16
- Heizerstrom	16
- Druck	10

Die Abfragefrequenz beträgt 2 Hz pro Meßstelle, und der Ablagetakt der Meßwerte auf Magnetplatte beträgt zwei Minuten.

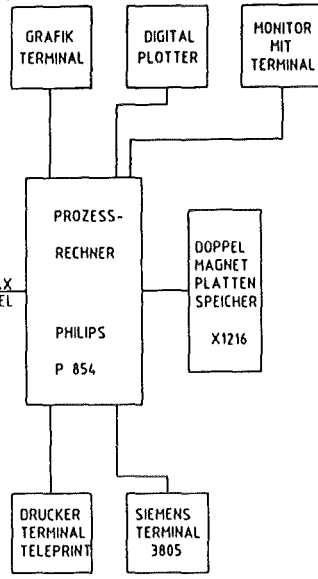
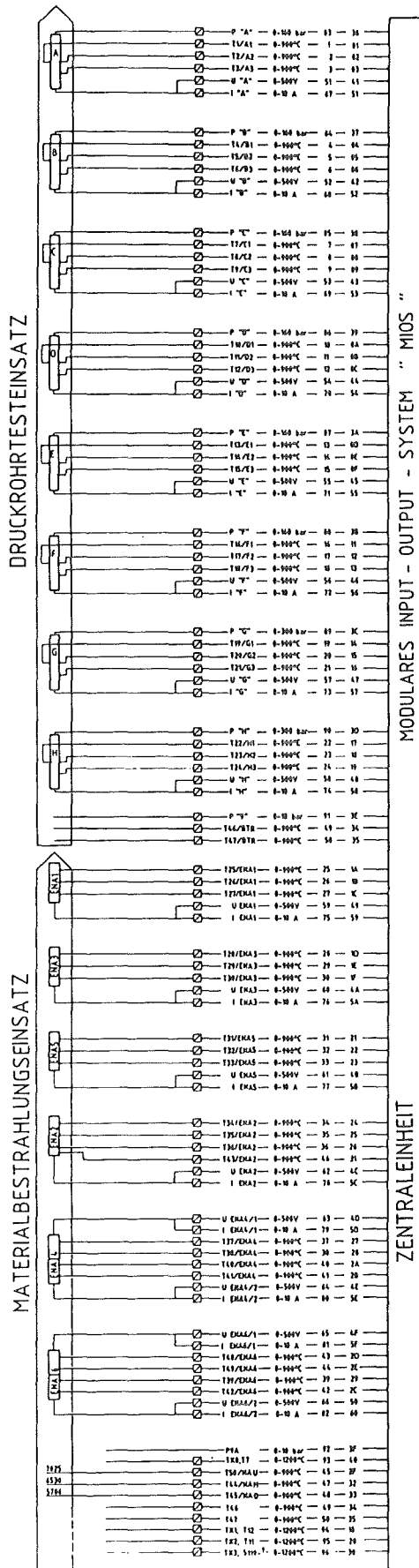
Regelanlage und rechnergesteuerte Zentraleinheit sind im Reaktorsicherheitsbehälter in Nähe des Reaktordeckels aufgestellt. Ebenso auch die Druckversorgungsanlage. Zur Kontrolle der Meßstellen vor Ort ist an der Regelanlage eine digitale Anzeigeneinheit vorhanden. Aus Platzgründen und nicht zuletzt wegen der hohen Temperaturen im Sicherheitsbehälter, die zeitweise über 40 °C ansteigen, wurde der Prozeßrechner einschließlich seiner Peripherie außerhalb im sogenannten Experimentatorenraum untergebracht. Der Datentransfer zwischen Zentraleinheit und Rechner erfolgt seriell über ein 150 m langes Koax-Kabel.

**Materialbestrahlungseinsatz
Pos. 511**



**Druckrohrtesteinsatz
Pos. 100**

Abb. 11 KNK II - Reaktordeckel mit eingebauten Bestrahlungseinsätzen



Meßstellen gesamt	96
Temperatur T	54
Heizerspannung U	16
Heizerstrom A	16
Druck P	10



Abb. 12 Meßdatenerfassungssystem für KNK II Bestrahlungsexperimente

5 Betriebserfahrungen

Der Druckrohrtesteinsatz wurde im Herbst 1984 erstmals in den Reaktor eingebaut und in Betrieb genommen. Die Betriebszeit der Proben unter Sollbedingungen beträgt ca. 5000 h und die akkumulierte schnelle Neutronendosis im Maximum etwa 3×10^{22} n/cm² entsprechend 14 dpa (NRT). Die Probentemperaturen werden geregelt auf 650, 685 und 720 °C. Fünf Proben sind mit konstantem Innendruck zwischen 46 und 140 bar beaufschlagt. Bei drei Proben wird alle 14 Tage der Druck von Hand um einen festen Wert erhöht, um den Spaltgasdruckaufbau im Brennstab zu simulieren. Die Probenheizer sind alle noch intakt, von den 24 Probenthermoelementen sind bisher sieben ausgefallen. Der Weiterbetrieb der Proben wird dadurch nicht gefährdet. Auch die Druckversorgung der Proben funktioniert einwandfrei.

An den zehn Betriebsthermoelementen, die zur Messung der Kühlmittelaustrittstemperatur am Brennelement dienen, gab es bisher keine Störungen. Ebenso auch nicht an zwei Thermoelementen, mit denen die Temperatur an Durchführungen und Verbindungsstellen im Einsatzoberteil kontrolliert wird.

Der Materialbestrahlungseinsatz auf Reflektorposition wurde ebenfalls im Herbst 1984 in Betrieb genommen. Auch hier wurden die Proben etwa 5000 Stunden unter Sollbedingungen bestrahlt, und die akkumulierte maximale schnelle Neutronendosis beträgt etwa 6×10^{21} n/cm² entsprechend 3 dpa (NRT). Die spezifizizierte Zieldosis von 5×10^{21} n/cm² wurde damit erreicht und die Bestrahlung beendet. In zwei Kapseln traten an jeweils einem Heizer gleich bei der Inbetriebnahme Störungen auf und zwar in einer langen und in einer kurzen Kapsel. Während in der kurzen Kapsel die Probensolltemperaturen mit dem verbliebenen Heizer erreicht werden konnten, sanken sie in der langen Kapsel am oberen Ende nur unwesentlich ab. Von den 20 Thermoelementen in den Kapseln wurde eines während der Montage beschädigt und ein weiteres fiel im Reaktor aus. Diese Ausfälle hatten keinen Einfluß auf den Kapselbetrieb. Die sechs Betriebsthermoelemente blieben bis Bestrahlungsende intakt.

Während der Abschaltphasen, jeweils Mitte des Jahres und im Spätjahr, müssen die Bestrahlungseinsätze aus dem Reaktor entnommen werden. Aus- und Einbau dieser komplizierten Einrichtungen sind sehr aufwendig und erfordern umfangreiche Tests und Prüfungen. Bei diesen Prozeduren kann es auch zu Beschädigungen z.B. an Gasdichtungen und elektrischen Stekkern kommen.

6 Schlußbemerkung

Bei den Experimenten in der Druckrohrtesteinrichtung handelt es sich um ein langfristiges Programm. Die Planungen reichen bis zum Betriebsende der dritten KNK II-Kernladung. Um die Verfügbarkeit des Bestrahlungskanals zu gewährleisten, werden für jede Kernladung zusätzlich Reserveringbrennelemente bereitgestellt. Der jetzt eingebaute Einsatz erreicht seine Zieldosis voraussichtlich Ende dieses Jahres. Danach sind zwei Einsätze mit kürzeren Bestrahlungszeiten vorgesehen. In 1988 soll mit der Bestrahlung von ferritischen Proben unter dynamischer Innendruckbelastung begonnen werden.

In der Reflektorposition 511 wurden zwischen Anfang 1979 bis Mitte 1984 sieben sogenannte instrumentierte Experimentierstopfen bestrahlt. Nach dem Materialbestrahlungseinsatz soll der Testeinsatz mit Schaltern für ein Reaktorschutzsystem etwa ein Jahr lang bestrahlt werden. Zwischen- durch wird für die Erprobung eines DND-Systems kurzzeitig ein Teststopfen mit offenen Brennstoffoberflächen eingebaut. Etwa in 1988 könnte man mit Bestrahlungsexperimenten an lithiumhaltiger Brutkeramik für den Fusionsreaktor beginnen. Dieses Programm ist sehr umfangreich und würde aus heutiger Sicht die Reflektorposition über eine lange Zeit belegen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die KNK II, obwohl ursprünglich nicht dafür vorgesehen, intensiv und erfolgreich für Bestrahlungsexperimente genutzt wird, vor allen Dingen, wenn man auch noch die beiden nicht-instrumentierten Materialtestelemente und die Brennstabkleinbündelexperimente in die Betrachtungen mit einbezieht.

Literaturhinweise

- /1/ E. Bojarsky, H.E. Häfner, K. Müller, L. Schmidt
Neuere Arbeiten im KfK zur Bestrahlungstechnik für schnelle
Reaktoren
KfK-Nachrichten 10, 1978, Nr. 3/4
- /2/ W. Kathol
Die KNK II als Bestrahlungsreaktor
International Topical Meeting on Irradiation Technology,
Grenoble, 1982
- /3/ K. Ehrlich, L. Schmidt
Stand und Tendenzen bei der Hüll- und Kernstrukturmaterialentwicklung
KfK-Nachrichten 15, 1983, Nr. 2
- /4/ E. Bojarsky, H.E. Häfner, L. Schmidt
Bestrahlungsexperimente im KNK II-Reaktor
28th Plenary Meeting of the European Working Group on Irradiation
Technology, Brasimone, 1984
- /5/ L. Schmidt, K. Müller
Materialbestrahlungsmöglichkeiten im Schnellen Natriumgekühlten
Reaktor KNK II in Karlsruhe
Jahrestagung Kerntechnik, Aachen, 1986
- /6/ K. Kummerer
The Experimental Fast Reactor KNK II as a Special Tool for Breeder
Fuels and Materials Testing
ENC4, Geneva, 1986
- /7/ E. Bojarsky, H. Reiser
Inherently Safe SNR Shutdown System with Curie Point Controlled Sensor/
Switch Unit
Conference on Fast Reactor Safety, Guernsey, 1986