

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

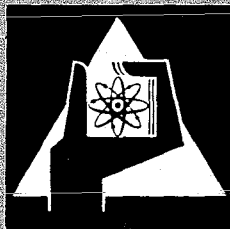
Oktober 1971

KFK 1452

Labor für Elektronik und Meßtechnik
Projekt Schneller Brüter

Hüllenüberwachung an Brennelementen von Kernreaktoren

S. Jacobi, K. Tradowsky



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Oktober 1971

KFK 1452

Labor für Elektronik und Meßtechnik

Projekt Schneller Brüter

Hüllenüberwachung an Brennelementen von
Kernreaktoren⁺)

von

S. Jacobi

K. Tradowsky

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H., KARLSRUHE

⁺)

Sonderdruck aus Atomwirtschaft - Atomtechnik 16 (1971) H. 10
(Sonderheft INTERKAMA)

Zusammenfassung

Als Beitrag zur INTERKAMA '71⁺) wurde aus den Arbeitsgebieten unseres Labors das Thema Hüllenüberwachung an Reaktorbrandelementen gewählt. Die vorliegende Publikation ist für Messebesucher verfaßt.

Nach einer Einführung in die Probleme der Freisetzung von Spaltprodukten und von nuklearem Brennstoff in das Kühlmittel wird die Arbeitsweise derartiger Überwachungsanlagen erläutert. Für wassergekühlte Reaktoren wird das Verfahren der Präzipitation fester Spaltprodukte beschrieben. Bei natriumgekühlten Reaktoren muß die relativ geringe Spaltproduktaktivität gegen die extrem große Kühlmittelaktivität diskriminiert werden. Dies ist nur möglich mittels der verzögert auftretenden Neutronenemission einiger Spaltprodukte. Beide Verfahren werden durch je ein Exponat erläutert. Die wesentlichen Komponenten werden im Original gezeigt.

Abstract

As contribution to the INTERKAMA '71⁺) the subject Failed Fuel Element Detection was chosen. The present paper is composed for visitors of the fair.

After an introduction to the problems of release of fission products and of nuclear fuel into the cooling the working method of such control devices is explained. For water-cooled reactors the method of precipitation of solid fission products is described. At sodium-cooled reactors the relative low activity of the fission products must be discriminate against the very high activity of the sodium. This is only possible by means of the delayed neutron emission of some fission products.

Both methods are explained by one at a time exhibit. The main components are shown in the original.

⁺)

5. Internationaler Kongreß mit Ausstellung für Meßtechnik und Automatik vom 14. bis 20. Oktober 1971 in Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung
2. Arbeitsweise
3. Präzipitation fester Spaltfolgeprodukte
4. Nachweis verzögerter Neutronen

1. Einführung

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Schadens an einer Brennelementhülle in einem Kernreaktor ist in starkem Maße davon abhängig, welchen Entwicklungsstand der betreffende Reaktortyp und seine Brennelemente erreicht haben und welche Produktionserfahrungen seitens der Hersteller mit dem Gesamtkonzept bzw. den entsprechenden Komponenten vorliegen.

Die bewährten Reaktortypen wie Druck- und Siedewassereaktoren zeigen eine relativ kleine Brennelement-Ausfallrate [1]. Diese Erfahrungstatsache und die Kompatibilität zwischen Brennstoff und Kühlmittel sind letztlich die Ursache dafür, daß bei diesen Reaktortypen häufig nur relativ einfache Anlagen für den Hüllenschaden-Nachweis installiert werden. Einige Gründe können allerdings auch bei den Siede- und Druckwasserreaktoren langfristig zu Modifikationen, d. h. zur Einzelüberwachung führen.

- Brennelementdefekte haben gelegentlich Brennstoffaustrag in das Kühlmittel zur Folge. Der mit Spaltprodukten angereicherte Brennstoff lagert sich ebenso wie die bei einem Defekt direkt in das Kühlmittel gelangenden Spaltprodukte in Kreislaufkomponenten ab. Wartung und Reparaturen werden erschwert.
- Die in Aussicht genommene Verwendung von Plutonium mit seiner für Reparaturfälle ungünstig großen Toxizität führt zu neuartigen Problemen.
- Das Bedienungspersonal großer Reaktoren fordert eine möglichst schnelle Lokalisierung defekter Brennelemente.

Große Reaktoren haben Einrichtungen zur Leistungsüberwachung der einzelnen Brennelemente bzw. Brennelementgruppen [2, 3]. Neue Verfahren arbeiten nicht mehr mit In-Core-Detektoren bzw. -Indikatoren, sie benutzen die Aktivität einer kontinuierlich oder diskontinuierlich entnommenen Kühlmittelprobe einzelner Brennelemente als Leistungsindikator. Vorrichtungen für Einzelprobenahmen

könnten zur Brennelementleistungsbestimmung und zur Hüllenüberwachung in gleicher Weise benutzt werden. Es ergäben sich Senkung der Anlagekosten sowie Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit. Bei einigen Reaktortypen könnten zur Erhöhung der Sicherheit bei Betriebsstörungen die Probenahmeleitungen zusätzlich zur Sprüh- oder Rieselkühlung der Brennelemente verwendet werden.

Neuere Reaktortypen und insbesondere Prototyp-Reaktoren sollen zeigen, daß sich ein neues Konzept technisch realisieren läßt und auch Aussicht auf wirtschaftliche Energieerzeugung hat. Oft stehen Neuentwicklungen von Brennelementen im Vordergrund. Hier sind möglichst viele Informationen über den Zustand des Reaktorkerns während des Betriebes erforderlich:

- Sind Brennelemente defekt und auf welchen Kernpositionen befinden sich diese?
- Welcher Art und wie groß ist der Schaden, sind zeitliche Änderungen festzustellen?
- Kann das defekte Element bis zur nächsten geplanten Abschaltung im Reaktor bleiben oder ist sofortiges bzw. baldiges Auswechseln notwendig?

Anlagen zur Hüllenüberwachung mit Brennelement-Einzelabfrage geben hier wertvolle Aussagen für den sicheren Betrieb und eine große Verfügbarkeit des Reaktors sowie Entscheidungshilfe für die Verbesserung oder Weiterentwicklung der Brennelemente.

2. Arbeitsweise

Defekte Brennelemente kontaminieren das Kühlmittel mit Spaltprodukten. Zur Überwachung wird dem Kühlmittelstrom der einzelnen Brennelemente während des Reaktorbetriebes kontinuierlich oder

in vorgegebenen Zeitabständen automatisch ein Teilstrom als Probe entnommen und einer speziellen Meßvorrichtung für Spaltproduktnachweis zugeführt. Die Meßsignale geben die gewünschte Information.

Es sind bisher etwa zehn verschiedene Verfahren zum Spaltproduktnachweis bekannt [4]. Die Art des angewendeten Verfahrens ist primär vom Reaktortyp, seinem Entwicklungsstand und seiner Aufgabe abhängig. Es werden zwei Verfahren für zwei besonders wichtige Reaktortypen beschrieben.

3. Präzipitation fester Spaltfolgeprodukte

Bei wassergekühlten Reaktoren werden in einem Entgaser die gasförmigen Spaltfolgeprodukte Xenon und Krypton vom Kühlmittel getrennt und durch einen Trägergasstrom dem Präzipitator zugeführt, (Abb. 1) [5, 6]. Die Folgeprodukte werden z. B. nach den folgenden Zerfallsreihen gebildet:

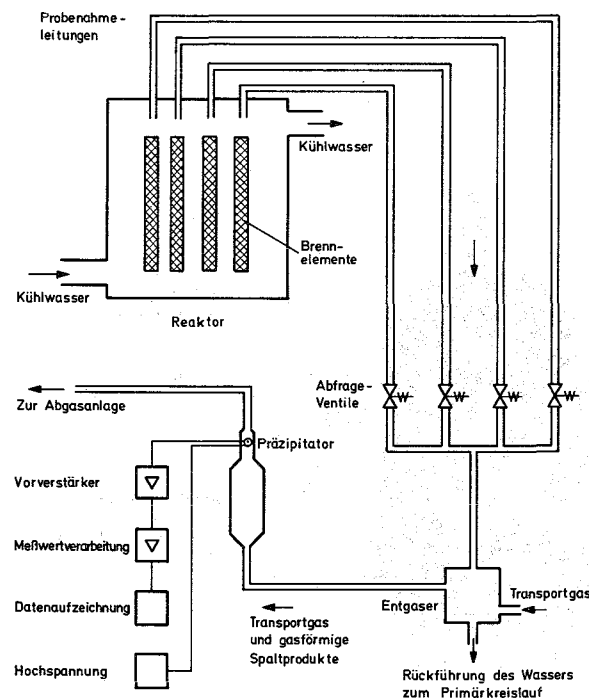
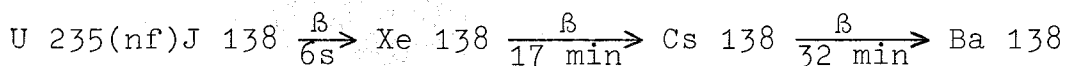
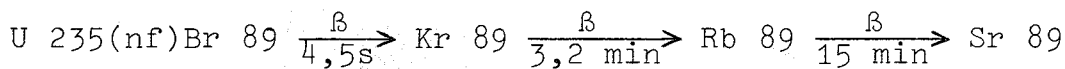


Abb. 1. Brennelement-Hüllenüberwachung an wassergekühlten Kernreaktoren

Die ionisierten Rubidium- und Caesium-Atome werden im Präzipitator im elektrostatischen Feld zwischen dem Gehäuse und der Kathode eines Geiger-Müller-Zählrohres beschleunigt und auf dieser präzipitiert [7, 8]. Infolge ihrer Adhäsionskräfte zu dieser Metallelektrode bleiben sie dort haften, sie werden gesammelt und ihre Aktivität mit dem Zählrohr gemessen (Abb. 2 und 3).

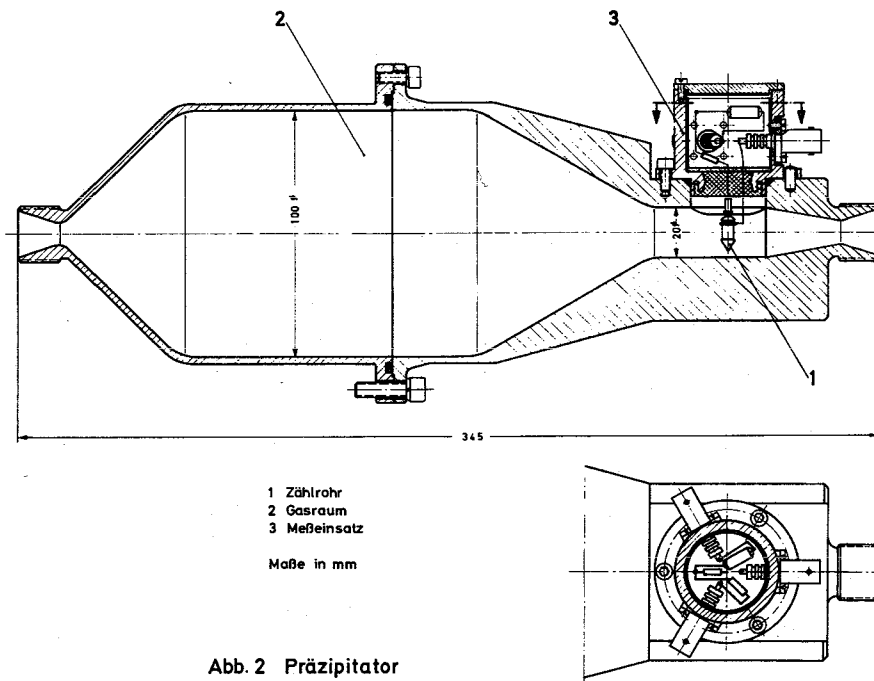


Abb. 2 Präzipitator

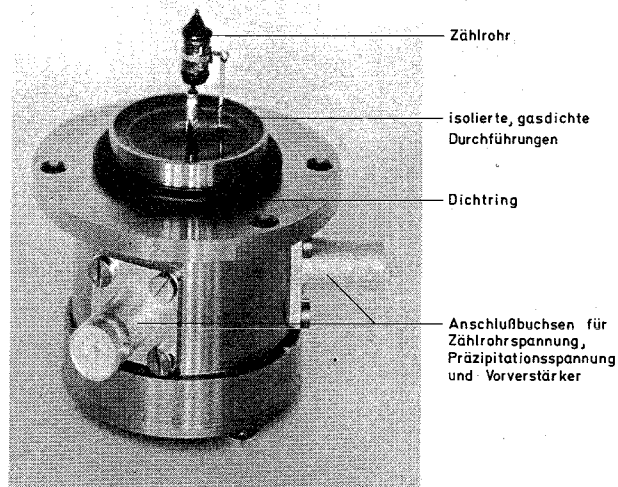


Abb. 3. Meßeinsatz

Gasgekühlte Reaktoren benötigen keinen Entgaser, dampfgekühlte Reaktoren erfordern vor dem Entgaser einen Kondensator. Das Exponat zeigt u. A. den Aufbau einer Hüllenüberwachungsanlage nach der Präzipitationsmethode. Der Präzipitator ist eine GfK-Entwicklung. Jahrelanger Betriebseinsatz zeigte seine besonderen Vorzüge: Aufbau ohne bewegte Teile, große Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit sowie geringe Herstellungskosten.

In eigenen Experimenten konnte nachgewiesen werden, daß unter Reaktorbetriebsbedingungen Hüllenfehler mit einer Fläche von $0,1 \text{ mm}^2$ bereits detektiert werden können und eine Schadensausbreitung vermeidbar ist [9].

4. Nachweis verzögerter Neutronen

Natriumgekühlte Reaktoren haben eine große Eigenaktivität des Kühlmittels [10, 11]. Der Nachweis kleiner Spaltproduktmengen im Kühlmittel ist deshalb nur über die verzögerte Neutronenemission einiger Spaltprodukte möglich [12] (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Verzögerte Neutronen

Gruppen- Index	Nuklid	Halbwertszeit [s]	Neutronen- Emissionsrate [%]
1	Br 87	55,7	3,3
2	J 137	22,7	21,9
3	Br 89-91	6,22	19,6
4	J-139	2,30	39,5
5	Sb 137 + As 85	0,61	11,5
6	Li 9	0,23	<u>4,2</u>
			100,0

Wie im Exponat gezeigt, wird die Kühlmittelprobe einem Neutronenmonitor zugeführt. Der Monitor besteht aus dem Probebehälter mit thermischer Isolierung, der Gammaabschirmung, einem Neutronenmoderator und den Helium-3- bzw. Borzählrohren als Neutronendetektoren (Abb. 4). Die Gammaabschirmung schützt die Neutronendetektoren vor Zerstörung durch die intensive und energiereiche Gammastrahlung des Natrium 24 und verhindert Zählrohrimpulse durch Gammastrahlung. Der Moderator thermalisiert die beim Zerfall von Brom und Jod entstehenden Neutronen mit Primärenergien von 250 bis 500 keV.

Für Experimente im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprogrammes für den Schnellen Natriumgekühlten Brüter SNR wurden vor wenigen Monaten sowohl im KNK als auch im FR 2 je eine derartige Anlage installiert.

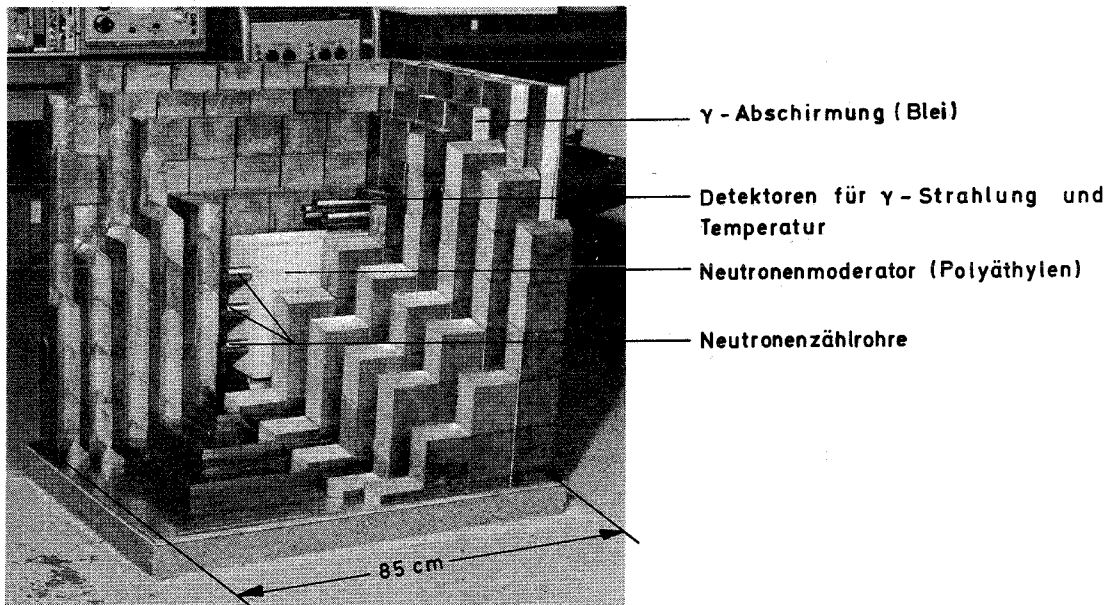


Abb. 4. Monitor zur Messung verzögerter Neutronen im Natrium

Literatur

- [1] Feldmann, I., Atomwirtschaft 14, 446 (1969)

- [2] Ringeis, W. K., Atomwirtschaft 13, 40 (1968)

- [3] Engel, H. und Traube, K., Atomwirtschaft 13, 151 (1968)

- [4] Jacobi, S., Atomwirtschaft 13, 220 (1968)

- [5] Cunningham, K. W. et al., in "Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy", Geneva, 1958, A-Conf 15-P/57

- [6] Aliaga-Kelly, D., Nuclear Power 4, 39, 77 (1959) July

- [7] Jacobi, S., Atompraxis 11, 131 (1965)

- [8] Jacobi, S., in "Detection and Location of Failed Fuel Elements" IAEA, Vienna, 1968

- [9] Golly, W. and Jacobi, S., in "Detection and Location of Failed Fuel Elements", IAEA, Vienna 1968

- [10] Harde, R. und Stöhr, K. W., Atomwirtschaft 11, 354 (1966)

- [11] Gast, K. und Schlechtendahl "Schneller Natriumgekühlter Reaktor Na 2", KFK 660, Oktober 1967
- [12] Porges, K. G. A., in "Problemi di Sicurezza degli Impianti Nucleari", VII Congresso Nucleare, Rom, 1962