

AED-Conf. 1976
735-003

Die SNR-Kerne - KNK-II, SNR-300 bis SNR-2

Dr.-Ing. J. HÖCHEL
INTERATOM GmbH, 5060 Berg. Gladbach 1

Compact

Während die schnellen Reaktoren der ersten Generation (Entwicklung bis 1960) (kleine Kerne mit externem Brüten) hauptsächlich auf die Verdopplungszeit ausgerichtet waren, wurde Anfang der 60er Jahre der Schwerpunkt auf den Brennstoffzyklus verschoben. Hoher Abbrand wurde zur Bedingung für einen wirtschaftlichen Brennstoffzyklus. UO_2/PuO_2 war der ausgewählte Brennstoff, auf dessen Grundlage Studien für große Reaktoren durchgeführt wurden. Zu dieser Zeit war es der Doppler-Koeffizient, der im Zentrum des Interesses lag (SEFOR). Kurz danach wandte sich die Aufmerksamkeit jedoch dem Na-Void-Koeffizienten zu, nachdem man beobachtet hat, daß große Oxid-Reaktoren einen positiven Na-Temperatureffekt haben können. Da man damals meinte, alle Leistungskoeffizienten unbedingt negativ zu halten, wurde insbesondere in den USA eine Reihe von Auslegungsstudien in Angriff genommen, die zu sehr ungewöhnlich flachen Kernformen führten. 1963/64 war man weltweit der Überzeugung, daß schnelle Reaktoren bis Ende der 70er Jahre wirtschaftlich verfügbar sein müssen und können, und daraus wurden $1000 MW_e$ als Zielgröße festgelegt. 1965 (ARGONNE) wurden die Ergebnisse der in den verschiedenen Ländern durchgeführten Entwurfsstudien vorgestellt, von deutscher Seite der $1000 MW_e$ -Na-1-Reaktor, der einen normalen homogenen Zylinderkern aufwies.

Der Verfasser dankt der INB für die Freigabe, der GfK und Belgonucléaire für die Überlassung des Materials sowie den Mitarbeitern der INTERATOM für die hilfreiche Unterstützung.

Zu dieser Zeit hatten fast alle Länder die Absicht, Prototypen in der Größenordnung von 200 bis 300 MW_e zu bauen. Der deutsche Prototyp wurde als Na-2-Reaktor 1967 (KFK-660) vorgestellt und stellte weitgehend die Basis für den in Kalkar im Bau befindlichen SNR-300 dar.

Der Kern des SNR-300 baute auf der Auslegung in der Na-2-Studie auf, wobei gewisse konstruktive Anpassungen infolge der Berücksichtigung des Stahlschwellens erforderlich waren.

Ausschließlich wirtschaftliche Überlegungen während der Auftragsverhandlungen zum Bau des SNR-300 führten zu einer Modifikation, da bereits vom 2. Kern an kostengünstigere Brennelemente mit vergrößertem Brennstabdurchmesser eingesetzt werden sollten. Dazu war es erforderlich, einen Ring Brennelemente zusätzlich um den ursprünglichen Kernaufbau zu legen, um auch mit dem 2. Kern, genannt Mk-II, die geforderte Reaktorleistung zu erbringen. Dafür wurden die drei Brutelementringe auf zwei verringert, um die Gesamtkern-Größe und den Tankdurchmesser nicht verändern zu müssen. Um nicht nach Ausbau des ersten Kerns, nun Mk-I genannt, aufwendige Umrüstarbeiten an den Gitterplatteneinsätzen der inneren Brutelementreihe für die Aufnahme des zusätzlichen Ringes von Mk-II-Brennelementen vornehmen zu müssen, wurde bereits der erste Kern ebenfalls auf die vergrößerte Anzahl von Brennelementen gebracht und erhielt die Bezeichnung Mk-Ia.

Die wichtigsten Daten der Kerne Na-2, SNR-300 Mk-I, SNR-300 Mk-Ia und SNR-300 Mk-II sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Bei der Entscheidung für Mk-Ia wurde bewußt der Rückgang in der theoretischen Brutrate in Kauf genommen, da die sofortige Brutleistung des Prototyp-Kernkraftwerkes nicht im Vordergrund stand. Erst spätere Kerne (siehe Mk-II) liefern wieder deutliche Werte > 1 .

	Na-2 (1967)	SNR-300 Mk-I (1970)	SNR-300 Mk-Ia (1972)	SNR-300 Mk-II (1972)	
				BØL	Gleichgew.
Anzahl Brennelemente	150	151	193	193	205
Anzahl Absorber	18	18	12	12	12
Anzahl Blindelemente	-	-	12	12	0
Anzahl Leerpositionen	1	-	-	-	-
Anzahl Brutelemente	321	330	96	96	96
Durchmesser der Brennstäbe (mm)	6	6	6	7,6	
Durchmesser der Brutstäbe (mm)	9,5	9,5	11,6	11,6	
thermische Gesamtleistung (MW_{th})	730	730	762	762	
Pu-Masse (BØL) (kg)	1064	1056	1450	1500	
theoretische Brutrate	1,24*	1,16	0,96	1,06	
max. Stablängenleistung (W/cm)	446	461	354	450	
max. spez. Brennstoffleistung (MW/kg)	0,264	0,273	0,210	0,172	
Standzeit (EFPD)	350	351	441	570	
max. lokaler Abbrand (MWd/t_{HM})	85000	80700	83200	88700	
ermittelter Spaltstoffabbrand (MWd/t_{HM})	56000	54800	57100	59800	
$\phi_{total} \times t \times \bar{E}$ ($MeV \cdot n/cm^2$)	$1,3 \cdot 10^{23}$	$1,3 \cdot 10^{23}$	$1,2 \cdot 10^{23}$	$1,5 \cdot 10^{23}$	

* noch mit "alten" Wirkungsquerschnitten gerechnet

Wenngleich das jeweilige Einzelinventar des Mk-Ia- und Mk-II-Kernes größer als das eines Mk-I-Kernes ist, so verringert sich der akkumulierte Pu-Bedarf über die Betriebszeit der Anlage wegen der vergrößerten Standzeit von Brennelementen mit größerem Stabdurchmesser gegenüber einem Betrieb ausschließlich mit einem Mk-I-Kern.

Das Brennelement für den Mk-II-Kern mit 7,6 mm Brennstabdurchmesser ist in seiner Grundkonzeption auch gültig für den SNR-2, wobei Schlüsselweite und Länge der größeren Reaktorleistung optimal angepaßt werden müssen.

Abb. 1 zeigt den Querschnitt des SNR-2-Referenzkernes.

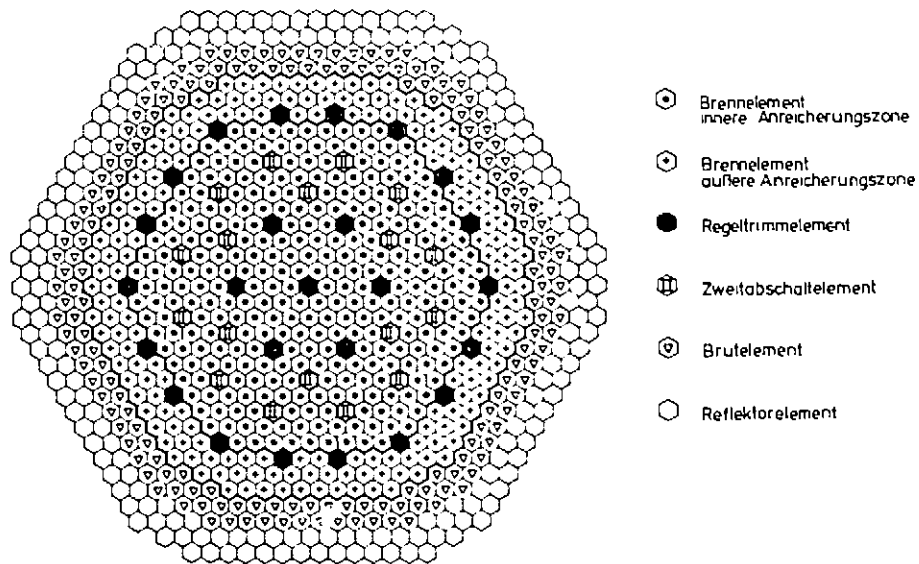


Abb. 1

In Tabelle 2 sind die wichtigsten vorläufigen Projektdaten für den Referenzkern zusammengestellt.

Tabelle 2

Anzahl Brennelemente	486	
Anzahl Absorber	43	
Anzahl Blindelemente	0	
Anzahl Leerpositionen	0	
Anzahl Brutelemente	174	
Durchmesser der Brennstäbe	7,6	mm
Durchmesser der Brutstäbe	11,6	mm
thermische Gesamtleistung	3910	MW _{th} (vorläufiger Wert)
Pu-Masse	6300	kg
theoretische Brutrate	1,17	
max. Stablängenleistung	450	W/cm
max. spez. Brennstoffleistung	0,160	MW/kg
Standzeit	548	EFPD
max. lokaler Abbrand	84000	MWd/t _{HM}
$\phi_{\text{total}} \times t \times \bar{E}$	$1,8 \cdot 10^{23}$	MeV·n/cm ²

Alternativen mit heterogenen Kernen für SNR-2 werden überlegt.

Die Brennstoffdichte für die SNR-300-Mk-Ia-Brennelemente ist mit 80 % Schmierdichte festgelegt worden. Dem weltweiten Trend folgend, wurde für SNR-2 bereits eine Schmierdichte von 85 % gewählt, Überlegungen zum Übergang auf höhere Dichten für die Nachfolgekern SNR-300 finden statt.

Im Laufe der Projektbearbeitung SNR-300 mußte von dem ursprünglichen Referenzhüllwerkstoff 1.4988 abgewichen werden, da dieser selbst bei den bisher erreichten Dosen von $8 \cdot 10^{22}$ n/cm² zu starkes neutroneninduziertes Schwellen zeigt. Der neue Referenzwerkstoff für die SNR-Brennelemente ist der Stahl 1.4970.

Im Rahmen der Kernelemententwicklung für die Kerntypen kommt der KNK-II eine zentrale Bedeutung zu. Abb. 2 gibt die Kernbeladung des 1. Kerns wieder.

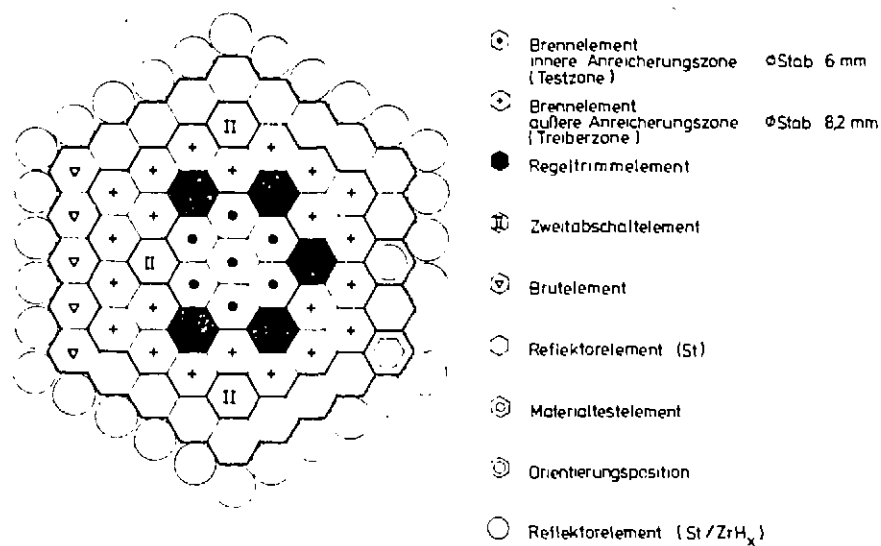


Abb. 2

Die erste Nachladung ist auch bereits weitgehend definiert.

Die KNK-II wird insbesondere bei der weiteren Entwicklung in Richtung höherer Brennstoffdichte, fortschrittlicher Brennstoffe und - falls erforderlich - heterogenem Kern für SNR-2-Alternativen eine wichtige Rolle spielen.

Die Verknüpfung von Experiment zu Projekt, bei der auch alle anderen wesentlichen Bestrahlungsexperimente in ihrer Bezie-

hung zu der jeweiligen Projektanforderung dargestellt sind, zeigt Abb. 3.

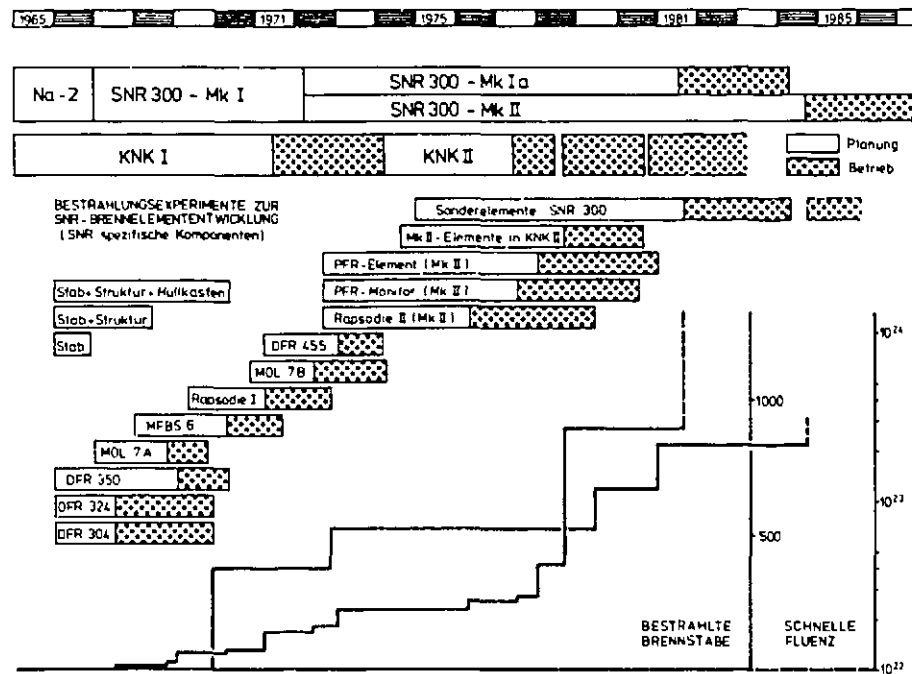


Abb. 3