

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

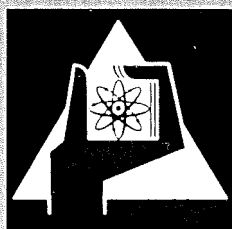
Januar 1970

KFK 1148

Institut für Reaktorentwicklung
Projekt Schneller Brüter

Eine statische Methode zur Unterkritikalitätsbestimmung
an Schnellen Reaktoren

H. W. Glauner, G. Heusener



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

Januar 1970

KFK 1148

Institut für Reaktorentwicklung
Projekt Schneller Brüter

Eine statische Methode zur Unterkritikalitätsbestimmung
an Schnellen Reaktoren.

H.W.Glauner

G. Heusener

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

Zusammenfassung:

Es wird eine Methode zur Entwicklung der Unterkritikalität eines Schnellen Reaktors untersucht, bei der eine künstlich erzeugte Flußasymmetrie ausgemessen und ausgewertet wird. Dazu wird exzentrisch zur Core-Symmetrieebene eine Neutronenquelle eingesetzt und an zwei verschiedenen Positionen - zweckmäßigerweise an azimuthal um 180° versetzten Orten außerhalb des Cores - der Neutronenfluß gemessen. Das Flußverhältnis der beiden Meßwerte ist abhängig von der Unterkritikalität des Reaktors und wird damit zu deren Bestimmung herangezogen.

Der Vorteil der Methode liegt in der einfachen Durchführbarkeit, da im Prinzip keine zusätzlichen Einrichtungen nötig werden.

Abstract:

For the determination of the subcriticality of a fast reactor the method is investigated to measure and evaluate an artificially produced flux-asymmetry in the core. A neutron source is inserted in a asymmetric core position and the resultant neutron flux will be measured at two locations. As the flux-ratio of the two measurements is dependent on the subcriticality it can be used to determine it. The advantage of the method is its simplicity, as there are no additional installations besides the normal flux detectors necessary.

1. Einleitung

Die Ermittlung der Unterkritikalität ($k < 1$) eines abgeschalteten Reaktors interessiert vom betrieblichen Standpunkt, um während einer Brennelement-Umladephase einen genügenden Sicherheitsabstand vom kritischen Zustand ($k = 1$) einzuhalten. Diese Fragestellung kann bei Schnellen Reaktoren mit den verschärften Forderungen an die Core-sicherheit erhöhte Bedeutung erlangen. Eine einfache Meßmethode, die im Bereich $0,8 < k < 1,00$ die Unterkritikalität mit betrieblich genügender Genauigkeit von ca. 10% zu ermitteln gestattet, wird im folgenden beschrieben.

2. Prinzip-Beschreibung der Methode

In einem symmetrisch aufgebauten, unterkritischen Kernreaktor mit exzentrisch angeordneter Neutronenquelle ist der sich stationär einstellende Neutronenfluß asymmetrisch zur Symmetrieebene (z.B. zur Achse bei einem Zylinder-Reaktor). Bei Annäherung an den kritischen Zustand wird die Neutronenflußverteilung - auch bei exzentrischer Quelle - zunehmend symmetrischer, um im kritischen Zustand selbst völlig symmetrisch zu sein.*

Mathematisch läßt sich zeigen, daß sich im unterkritischen Reaktor mit Quelle der Neutronenfluß aus einer Summe von Grund- und Oberwellen aufbaut, von denen im kritischen Zustand nur die Grundwelle mit symmetrischer Verteilung übrigbleibt.

Die Asymmetrie des Flusses bei exzentrischer Neutronenquelle soll nun als Maß für die Kritikalität des Reaktors herangezogen werden.

3. Rechenergebnisse für den Schnellen Natrium-gekühlten Brutreaktor Na-2

3.1 Um Aussagen über die Größe des zu erwartenden Effektes zu erhalten, wurden für das Na-2-Core $\sqrt{1}$ für einige Quellverteilungen die zu-

*) Es sei hier die Vernachlässigung erlaubt, daß ein stationär laufender Reaktor mit Quelle streng genommen nie kritisch sein kann.

gehörigen Flußverteilungen bestimmt. Hierzu wurde das inhomogene Gleichungssystem

$$-D_j \nabla^2 \phi_j + \sum_k \phi_j = \sum_{i=1}^{j-1} \sum_{i \rightarrow j} \phi_i + x_j \sum_{i=1}^N (\nu \Sigma_{f,i}) \phi_i + G_j$$

mit dem 26 Diffusionscode DIXY für 4 Energiegruppen gelöst. Die Gruppengrenzen sind in Tab. 1 angegeben.

j	Gruppen des Khe 26 Gruppensatz	Energiegruppen
1	1 - 5	>0.8 MeV
2	6 - 11	800-10 KeV
3	12 - 14	10 - 1 KeV
4	15 - 26	< 1 KeV

Tab.1: Grenzen der verwendeten 4 Energiegruppen

Für diese Rechnungen wurde zunächst angenommen, daß alle Quellneutronen (künstliche Quelle und spontane Spaltungen) in dem Bereich $E > 800$ KeV entstehen.

Die Rechnungen wurden für die Mittelebene des Reaktors in R- θ Geometrie unter Berücksichtigung des axialen Ausflusses durch geeignete Bucklings gelöst. Die eingefahrenen Absorberstäbe wurden durch flächengleiche Kreissegmente angenähert.

Die Materialzusammensetzung der einzelnen Zonen entspricht der in [1] angegebenen.

Nicht berücksichtigt wurde, daß die Brennelemente einer Zone aufgrund des verschiedenen Abbrandes verschiedene Anreicherungen besitzen, es wurde vielmehr eine mittlere Anreicherung in jeder Brennstoffzone verwendet. Spätere Rechnungen müssen klären, wie groß der Einfluß dieser Flußverwerfungen ist.

Der Multiplikationsfaktor k_{eff} wurde durch Veränderung der Spaltstoffanreicherung variiert, wobei die Coregeometrie selbst unverändert blieb.

Abb.1 zeigt eine Aufsicht auf das Core und dessen Materialzusammensetzung. Der Ort der Neutronenquelle und die Schnittebene, in der die Neutronenflußverteilung der Abb.2 und 3 dargestellt sind, sind ebenfalls eingezeichnet. Im einzelnen wurden folgende Fälle durchgerechnet:

3.2 Linienquelle am Corerand

Für das Core mit der Standard-Brennstoffmischung und eingefahrenen Absorbern ergibt die Rechnung $k = 0,901$. Abb.2 zeigt die radiale Flußverteilung. Es sind hier sämtliche Neutronengruppen 1 bis 4 eingezeichnet, um einen Vergleich zu ermöglichen. In den nächsten Abbildungen wird dann zur besseren Übersicht nur die Gruppe 2 eingezeichnet, zu der sich die übrigen Gruppenflüsse ähnlich wie in Abb.2 verhalten. Die Asymmetrie der radialen Flußverteilung kommt hier sehr deutlich zum Ausdruck.

3.3 Linienquelle am Corerand und verteilte Quelle über das Core

Durch spontane Spaltung und $O^{17}(\alpha, n)$ -Prozesse bei oxydischen Brennstoffen tritt eine zusätzliche Neutronenquelle auf, die über das ganze Core verteilt ist. Die (α, n) -Prozesse stellen besonders bei Plutoniumoxyd-Brennstoffen (wie in den hier betrachteten Fällen) eine beachtliche natürliche Neutronenquelle dar; zur Orientierung kann für einen typischen Brutreaktor je nach Brennstoffzusammensetzung und -Menge der Wert 10^8 bis 10^9 n/sec angegeben werden.

Die Flußverteilung bei exzentrischer künstlicher Quelle und verteilter natürlicher Quelle entspricht den Verhältnissen bei der Anwendung der beschriebenen Methode an Pu-Reaktoren. Es wurden deshalb folgende weitere Rechnungen durchgeführt:

Einfluß der Quellstärke der verteilten, natürlichen Neutronen und Einfluß des Multiplikationsfaktors k auf die Flußverteilung.

3.3.1 Linienquellstärke = Quellstärke aller Neutronen aus spontaner Spaltung und (α, n)-Prozessen.

Der Neutronenflußverlauf ist für diesen Fall in Abb.3, Kurve b, dargestellt. Den Einfluß der verteilten Neutronenquelle sieht man aus dem Vergleich mit Abb.3, Kurve a, bei der nur die Linienquelle eingesetzt ist.

Hierbei ist wieder $k = 0,901$.

Man sieht, daß die gewünschte Fluß-Asymmetrie nicht mehr sehr stark ausgeprägt ist. Es wird deshalb in einer nächsten Rechnung die Linienquellstärke erhöht.

3.3.2 Linienquellstärke = 10 mal der Quellstärke aus spontaner Spaltung und (α, n)-Prozessen.

Der Neutronenflußverlauf ist für diesen Fall in Abb.3, Kurve c, dargestellt. Man sieht die gewünschte stark ausgeprägte Flußasymmetrie. Hierbei ist wieder $k = 0,901$.

Für die praktische Verwendbarkeit der Methode ist es demnach zweckmäßig, die Quellstärke der zusätzlichen Linienquelle größer zu machen als die der verteilten Neutronen.

3.3.3 Veränderung des Multiplikationsfaktors.

Für den vorausgehenden Fall 3.3.2 wird jetzt durch Erhöhung der Anreicherung an Spaltmaterial der Multiplikationsfaktor erhöht auf $k = 0,978$. Die übrigen Verhältnisse bleiben unverändert. Abb.3, Kurve d zeigt durch Vergleich mit Kurve c - neben der Flußerhöhung durch die erhöhte unterkritische Multiplikation - daß der Flußverlauf symmetrischer geworden ist. Im Grenzfall mit $k = 1$ wäre er völlig symmetrisch im Bezug auf die Coreachse.

4. Praktischer Einsatz der Methode

4.1 Die Rechnungen zeigen die Eignung der Methode, wobei die Stärke der künstlichen Linienquelle ein mehrfaches der der verteilten natürlichen (α, n) und spontanen Spaltungsneutronen sein sollte. Die Messung der Flußasymmetrie soll nicht über den ganzen Corequerschnitt,

sondern nur an zwei Punkten außerhalb des Cores erfolgen. Hierzu können die normalen Detektoren der Startinstrumentierung verwendet werden, vorausgesetzt, es befinden sich mindestens 2 Detektoren an verschiedenen Orten, zweckmäßigerweise auf dem gleichen Radius an verschiedenen peripheren Positionen.

Aus Abb.3 ermittelt man für 2 im Brutmantel radial gegenüberliegende Meßorte 1 und 2 folgende Flußverhältnisse ϕ_1 / ϕ_2

k	ϕ_1 / ϕ_2
0.901	14
0.978	3
1.00	1

4.2 Die Stärke der künstlichen Neutronenquelle soll aus den o.a.Gründen ein Mehrfaches der natürlichen Quellstärke sein. Bei Pu-Oxydbrennstoff kommt man für den Na-2-Reaktor auf ca. 5×10^8 n/sec aus spontanen Spaltungen und (α, n)-Prozessen. Die einzusetzende künstliche Quelle sollte dann etwa 5×10^9 n/sec liefern. Als eine billige und einfache Methode wird für den Na-2-Reaktor der Einsatz einer Photoneutronenquelle untersucht. Hierzu wird ein mit Berylliumoxyd gefülltes Rohr in die vorgesehene Position am Corerand eingesetzt. Die durch den vorausgehenden Leistungsbetrieb auch nach dem Abschalten noch vorhandene starke Na24- γ -Aktivität löst im Beryllium Photoneutronen aus.

5. Weitere Untersuchungen.

Bei den bisherigen Rechnungen ist in den verschiedenen Zonen (Corezone 1 und 2, Brutzone 1 und 2 usw.) jeweils die gleiche Materialzusammensetzung angenommen. Weitere Rechnungen sollen den Einfluß zeigen, der durch eine Mischung verschieden stark abgebrannter Brennelemente auftritt, wie er sich beim natürlichen Beladungswechsel ergibt.

Eine weitere Rechnung soll den Einfluß der Ringlagerbeladung zeigen. Aus Abb.3 ist die Fluß-Überhöhung durch die im Ringlager abgesetzten

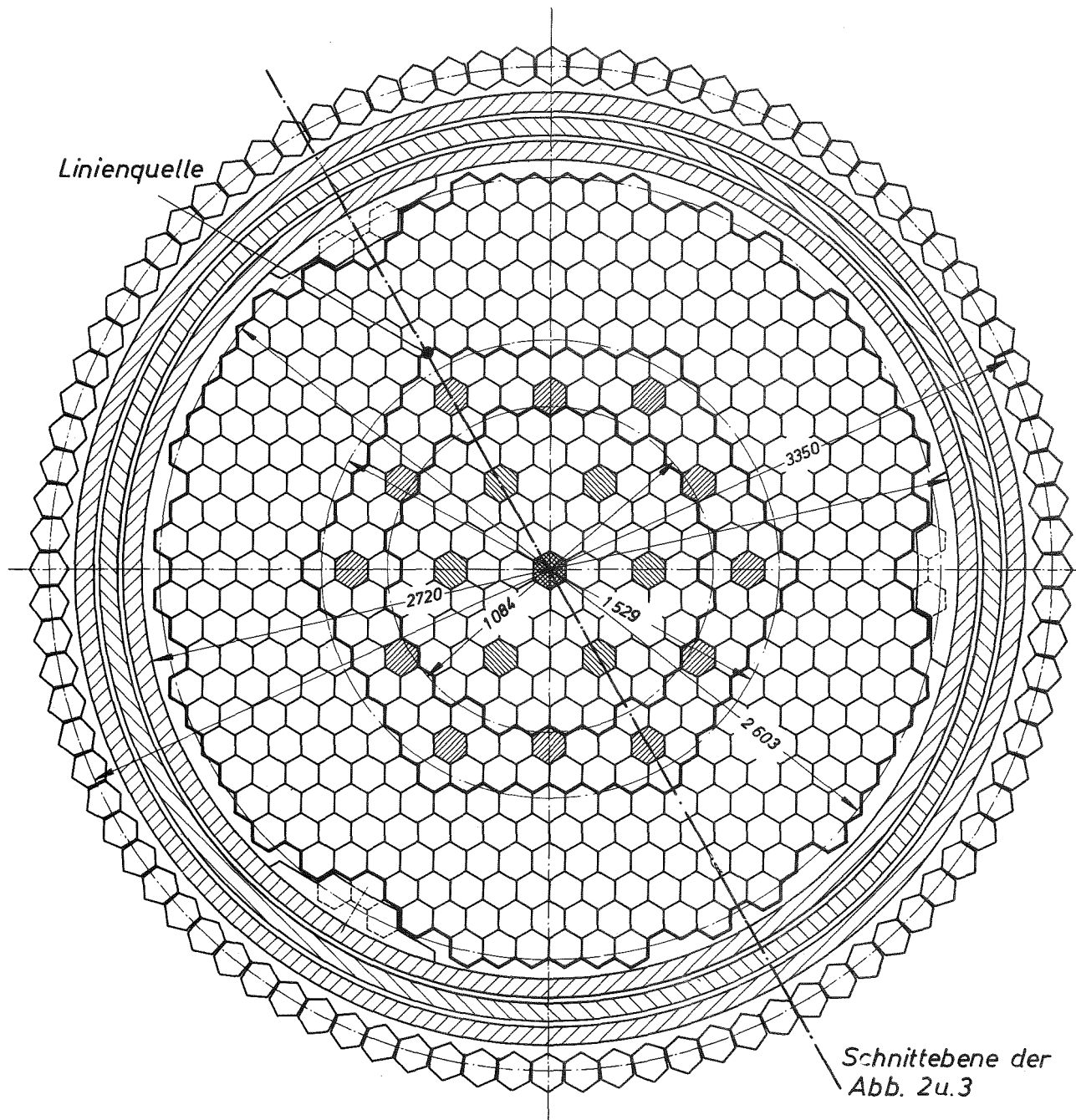
Brennelemente ersichtlich. Aus diesem Grund ist ein gewisser Abstand der Neutronenfluß-Zählrohre vom Ringlager nötig. Ein geeigneter Ort ist z.B. der Brutmantel bei $r = 100$ cm.

Es ist vorgesehen, durch Messungen an der SNEAK diese Rechnungen zu stützen.




[1] KFK 660

E. Gast, E.G. Schlechtendahl



Schneller Na-gekühlter Reaktor Na2



Innere Spaltzone

 Brennelemente	78
 Steuerelemente	6
 Leerposition	$\frac{1}{85}$

Äußere Spaltzone

 Brennelemente	72
 Steuerelemente	12
	<hr style="width: 100px; margin: 0;"/> 84

Radiare Brutzone



 Brutelemente	321
 nicht auswechselbare Stahlelemente	9
	<hr style="width: 100px; margin: 0;"/> 330

Abb.1 Coreaufsicht auf den Schnellen Brutreaktor Na 2 und
Schnittebene für die Neutronenflußverteilungen der Abb. 2u.3

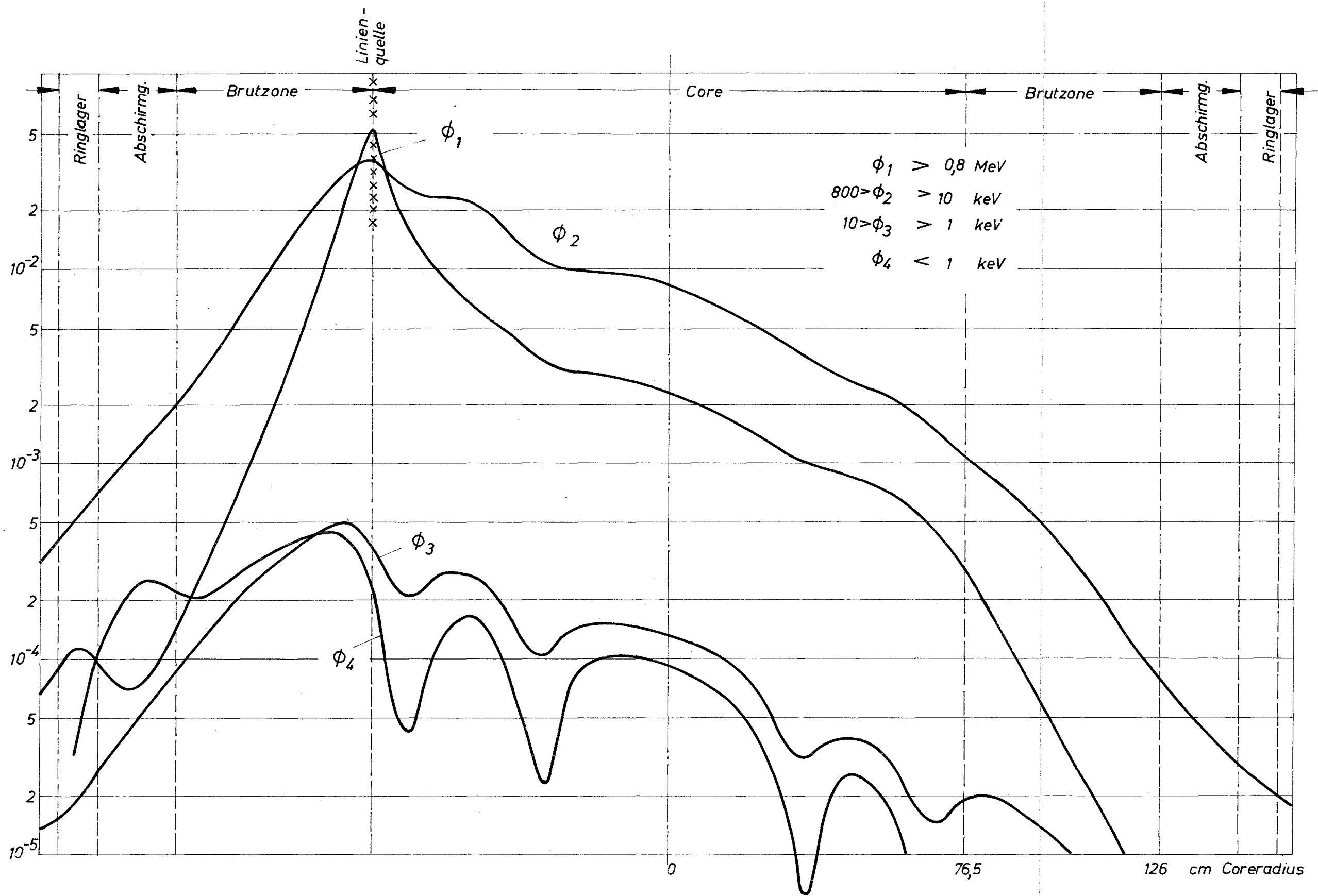


Abb. 2 Neutronenfluß im unterkritischen Reaktor mit einer Linienquelle bei $r = 76,5$ $k = 0.901$
 Normierung: Linienquelle liefert $1n/\text{sec}$ pro cm Corehöhe

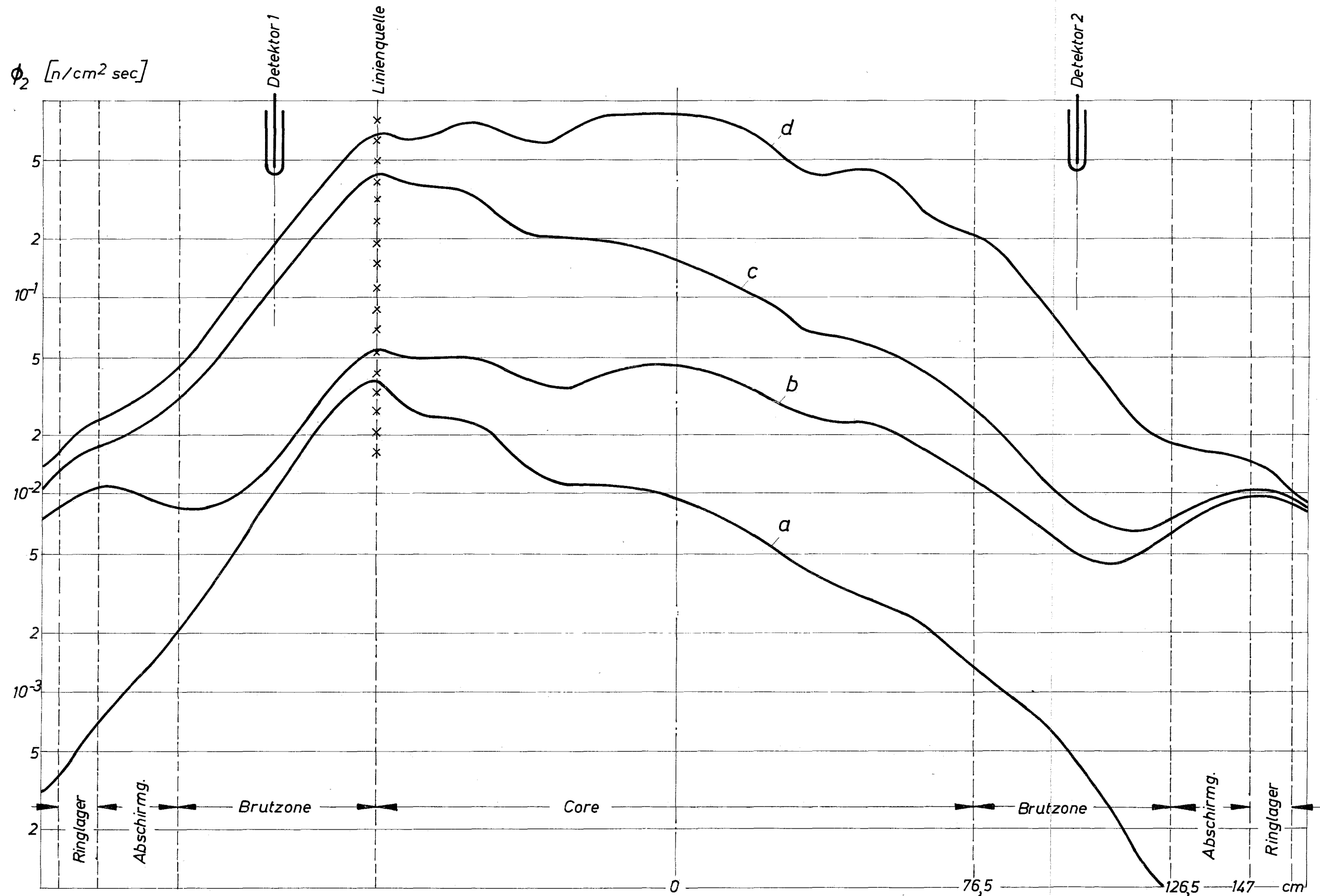


Abb. 3 Neutronenfluß in radialer Richtung bei verschiedenen Quellverteilungen und Multipl. faktoren

Normierung: Kurve a mit Linienquelle von 1n/sec pro cm Corehöhe $k = 0.901$

b " " " 1n/sec und verteilter Quelle von 1n/sec pro cm Corehöhe $k = 0.901$

c " " " 10n/sec " " " " 1n/sec " " $k = 0.901$

d " " " 10n/sec " " " " 1n/sec " " $k = 0.978$

Es sind nur die jeweiligen Gruppenflüsse ϕ_2 eingetragen